

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - SEP**  
**LABORATÓRIO DE PROCESSOS AVANÇADOS E SUSTENTABILIDADE - LAPRAS**

**GUIA PRÁTICO PARA PROJETO DE FERRAMENTAS DE CORTE  
E DOBRA EM CHAPAS METÁLICAS**

Reginaldo Teixeira Coelho, PhD

AGOSTO 2015 – REVISADA NOV2017

## SUMÁRIO

1.1 - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO .....	7
1.2 – NOÇÕES SOBRE OS MATERIAIS METÁLICOS MAIS COMUNS .....	9
1.2.1 - AÇOS .....	10
1.2.2 - FERRO FUNDIDO .....	13
1.2.3 - LIGAS DE ALUMÍNIO .....	14
1.2.4 - LIGAS DE COBRE .....	15
1.3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS METÁLICOS.....	16
1.3.1 - TESTE DE TRAÇÃO UNIAXIAL .....	17
1.3.2 - TESTE DE TORÇÃO.....	23
1.3.3 - TESTE DE DUREZA .....	26
1.4 - TRATAMENTOS TÉRMICOS DOS METAIS.....	29
1.5 – Critérios de Resistência em Materiais .....	38
1.5.1 – Critério de Máxima Tensão de Cisalhamento .....	39
1.5.2 – Critério da Energia de Distorção .....	40
3.1 – Projeto da Tira.....	49
3.2 – Cálculo da carga de corte no estampo .....	61
3.3 – Operações de dobra e cargas de dobra no estampo .....	67
3.4 – Localização da posição e seleção da espiga .....	74
3.5 – Projeto do prensa-chapas.....	75
3.6 – Projeto dos punções e matrizes .....	80
3.6.1 – Projeto dos punções.....	84
3.6.2 – Projeto das Matrizes .....	93
3.7 – Uso de pino guia.....	98
3.8 – Projeto das colunas.....	99
3.9 – Projeto das bases .....	102
3.10 – Fixação do estampo na máquina .....	104

## Lista de símbolos

$a, b$  = Deslocamento na direção da deformação angular e perpendicular a ela

$d_w$  = Abertura da matriz de dobramento em “V”.

$e$  = Deformação de engenharia

$e_{ps}$  = Espessura da chapa do prensa-chapas

$f$  = Folga matriz-punção

$g$  = Folga entre arestas de corte

$h$  = Espessura da chapa a ser cortada/dobrada

$k$  = Tensão de Tresca

$k_I$  = fator para calcular o raio neutro na operação de dobramento

$k_c$  = Pressão específica de corte ao cisalhamento

$k_v$  = Fator para calcular a força de dobramento em “V”

$k_U$  = Fator para calcular a força de dobramento em “U”

$k_F$  = Fator para calcular a força de flangeamento

$l$  = Comprimento final para cálculo da deformação

$l_e$  = Comprimento deformado na tensão de escoamento

$l_f$  = Comprimento deformado máximo

$l_0$  = Comprimento inicial

$l_u$  = Comprimento deformado na tensão máxima

$m$  = Borda lateral da fita

$n$  = Expoente na equação entre tensão e deformação.

$p$  = Passo do estampo progressivo

$p_r$  = Perímetro de corte ao cisalhamento

$r_N$  = Raio neutro na operação de dobramento

$r_i$  = Raio interno de dobra

$t$  = Espaço entre furos na fita

$t_l$  = Extensão do talão da matriz

$u$  = Folga lateral entre punção e matriz

$w$  = Largura da chapa sem dobrada

$A$  = Largura do sistema de alimentação

$A_f$  = Área final

$C$  = Constante na equação de flambagem de Euler

$E$  = Módulo de Young

$F_{BV}$  = Força para dobramento em “V”

$F_{BU}$  = Força para dobramento em “U”

$F_{BF}$  = Força para operação de flangeamento

$F_c$  = Força de corte por cisalhamento

$F_{cr}$  = Força crítica para flambagem de vigas na Equação de Euler

$F_e$  = Força do extrator para dobramento em “U”

$G$  = Módulo de elasticidade transversal

$H$  = Espessura da chapa de guia no sistema de alimentação da tira

$HB$  = Dureza Brinell

$J$  = Momento de inércia da seção transversal

$K$  = Constante de proporcionalidade entre tensão de deformação

$L$  = Extensão da matriz de dobra em “V”

$L_{max}$  = Comprimento máximo para evitar flambagem

$L_g$  = Comprimento da guia de alimentação da fita

$M_T$  = Momento torsor

$P_m$  = Porcentagem mínima da espessura da chapa para calcular a folga matriz-punção

$P_M$  = Porcentagem máxima da espessura da chapa para calcular a folga matriz-punção

$W$  – Largura da fita

$X_c$  = Coordenada X do centro de forças do estampo

$Y_c$  = Coordenada Y do centro de forças do estampo

$Y$  = Tensão na tração unidimensional para critérios de escoamento

$\theta$  = Ângulo de deformação angular

$\varepsilon$  = Deformação verdadeira

$\gamma$  = Deformação angular

$\sigma_e$  = Tensão de escoamento

$\sigma_r$  = Tensão de ruptura à tração

$\sigma_p$  = Tensão de proporcionalidade

$\tau$  = Tensão de cisalhamento do material a ser cisalhado para calcular a folga matriz-punção

$\tau_m$  = Tensão de cisalhamento mínima usada para calcular a folga matriz-punção

$\tau_M$  = Tensão de cisalhamento máxima usada para calcular a folga matriz-punção

$\tau_c$  = Tensão de ruptura ao cisalhamento

$\nu$  = Coeficiente de Poisson

# 1 - INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação são a espinha dorsal de toda nação industrializada moderna, pelo fato de que, como uma atividade econômica, compreende, aproximadamente, um terço do valor de todos os bens e serviços produzidos. A fabricação também é utilizada como agente multiplicador dela mesma, na medida em que os processos são utilizados para a produção de máquinas e equipamentos que produzem outros bens. Por exemplo, prensas são usadas para produzir o corpo de carros, peças de outras prensas, e assim por diante. Pode-se afirmar que, atualmente, o nível de vida de uma sociedade moderna é determinado, primeiramente, pelos bens e serviços disponíveis para seu povo. Na maioria dos casos, materiais são utilizados na forma de bens manufaturados, tipicamente divididos em duas classes: bens de consumo e bens de produção. Os primeiros são aqueles adquiridos diretamente pelos consumidores, ou o público em geral. Os outros são usados para a produção de outros bens de capital ou de bens de consumo. Converter materiais em produtos e serviços adiciona valor e quanto mais eficientemente uma sociedade é capaz de realizar essa transformação, melhor será o nível de vida de seus membros.

A história do homem sempre esteve ligada à sua habilidade de trabalhar materiais e transformar o ambiente ao seu redor, desde a pré-história, passando pela idade dos metais básicos e, mais recentemente, a idade do aço, indo para materiais mais sofisticados, como compósitos, polímeros, etc. Atualmente, materiais especiais podem ser fabricados sob encomenda, conforme as necessidades de cada aplicação. Respeitando-se o meio ambiente, preservando-o para as futuras gerações, a humanidade deve seguir transformando os materiais, através dos processos de fabricação, com máxima eficiência e mínimo desperdício no caminho da sustentabilidade.

As aplicações dos processos de fabricação envolvem a combinação de materiais, recursos humanos e equipamentos com o intuito de oferecer qualidade, baixos custos dentro de um determinado prazo de entrega aos clientes de uma empresa. Por meio de dados obtidos em países com larga industrialização, atribui-se, tipicamente, 40% do preço de venda de um produto aos custos de produção, sendo o restante: 15% para os custos de engenharia, 25% para vendas, marketing e administração e 20% de lucros (De Garmo, 1997). Uma vez que, em economias de mercado com acirrada competição o preço final é ditado pelo consumidor, a manutenção dos lucros pode depender da capacidade de reduzir os custos de fabricação. Para uma estratégia bem sucedida, em termos de produtividade, os processos de fabricação devem ser entendidos e dominados. Desta forma, este texto se empenha em fornecer os fundamentos para o entendimento e domínio dos processos de conformação metálica, os quais representam uma significativa parcela dos custos de produção em grande parte das empresas.

Um engenheiro encarregado de desenvolvimento de produtos deve, melhor do que qualquer outro, conhecer o que o produto deve ser capaz de desempenhar em termos de exigências em serviço. A responsabilidade de tornar esse produto uma realidade está com o engenheiro de fabricação, por meio da implementação dos processos para a transformação dos materiais no produto especificado. A correta seleção dos processos de fabricação deve estar baseada em três fatores principais: a competição global, avanços tecnológicos e novas estruturas de fabricação e gestão. Devido à competição global, e aos meios de comunicação, os processos selecionados devem ser os mais eficientes e econômicos, já que os concorrentes também terão acesso às mais recentes e avançadas tecnologias, proporcionando vantagens competitivas. A gestão é, sem dúvida, outra chave para o sucesso nesse sistema competitivo uma vez que deve sempre haver um esforço para melhorar os métodos de gestão pelos quais os materiais são transformados e entregues aos clientes.

## **1.1 - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

Quando os diversos *Processos de Fabricação* são agregados formam um *Sistema Produtivo*. O *Sistema Produtivo* será entendido, neste texto, como um sistema que pode ser uma indústria produzindo bens e/ou serviços, uma companhia, ou uma corporação global. As máquinas, equipamentos e dispositivos, que auxiliam a produção na transformação e na distribuição das informações, de forma a agregar valor e atingir os objetivos estratégicos da produção, serão as “*Tecnologias de Processos*” (Slack, N. et al. 1996). Os *Processos Produtivos* compreendem um termo mais amplo onde se podem agregar aqueles processos utilizados para a produção de bens, ou serviços, onde pode haver, ou não, modificações ou transformações de materiais.

De uma maneira geral, os processos de fabricação podem ser classificados como:

- Processos de fundição e de injeção;
- Processos de conformação;
- Processos de usinagem;
- Processos aditivos;
- Processos de união ou montagem;
- Processos de tratamento superficiais;
- Processos de tratamento térmico;
- Outros processos.

Esta classificação não é rígida e há tecnologias que podem ser empregados para mais de uma dessas classes. Por exemplo, a tecnologia de *laser* pode ser classificada como um processo de

usinagem, de soldagem ou ainda de adição de material (impressão 3D), dependendo do emprego do princípio do *laser*. Os processos de fundição e de injeção consistem em processos primários, usados para obter-se uma forma primária da peça final. O material é fundido e então vazado, ou injetado em uma cavidade, cujo formato e dimensões são próximas à peça final. Os processos de conformação também podem ser considerados processos primários, usados, basicamente para se obter a primeira forma da peça. Neste caso o material é “deslocado” pela aplicação de esforço, fluídico ou mecânico, mudando sua forma original para a desejada. Normalmente, não se remove material, mas apenas se conforma o mesmo. Pode ser executado a frio ou a quente, ou em uma combinação sequencial de ambos. Com os mais recentes desenvolvimentos dos processos de conformação a frio, este pode, em certos casos ser empregado como processo de obtenção da forma final, substituindo operações de usinagem. Exemplo disso são dentes de engrenagens produzidos por forjamento a frio, o qual substituiu o corte de dentes por fresamento. De forma semelhante, o processo de sinterização, normalmente empregado como processo primário, já tem sido utilizado para produção de peças acabadas, devido a recentes avanços tecnológicos e aperfeiçoamentos. Por exemplo, alguns insertos de metal duro são produzidos na forma e dimensões finais, eliminando-se o processo de usinagem por retificação.

Nos processos de usinagem, o excesso de material é removido na forma de cavaco. O material pode ser removido pela ação de uma aresta de corte (gume) com geometria definida, como nos processos de torneamento, fresamento, furação, serramento, mandrilamento, brochamento. Há processos de usinagem, no entanto, nos quais a geometria da aresta de corte não é definida, como nos processos abrasivos. A remoção pode também ser pela ação de energia elétrica, na eletro-erosão, por corrosão química, na usinagem eletroquímica, ou ainda por outras formas menos convencionais.

Quando se fala em processos aditivos associa-se o termo à “impressão 3D”, mas esta é um dos vários processos de adição de materiais. O termo processos aditivos abrange toda a gama de processos nos quais peças são produzidas a partir de um modelo CAD 3D sólido, sem a necessidade de ferramentas algum. Nesta classe tem-se o processo PBF (Powder Bed Fusion) no qual camadas de pó metálico são espalhadas e cada uma delas é varrida por um feixe laser fundindo e solidificando apenas uma secção da peça. Camadas sucessivas são adicionadas até que se obtenha a peça final. Este é o sistema mais desenvolvido atualmente para metais. O sistema DED (Direct Energy Deposition) é outro processo que tem sido empregado para peças metálicas, assim como o FDM (Fusion Deposition Modeling) tem sido muito empregado para peças em polímeros (Gibson, et al, 2010).

Nos processos de união ou montagem, estão agrupados todos os aqueles usados para unir, ou montar partes advindas de outros processos. São mais comuns a soldagem, união por parafusos ou rebites, adesão e os processos montagem.

Nos processos de tratamentos superficiais estão todos aqueles empregados para a modificação das características físicas e mecânicas das superfícies somente. Estão neste grupo estão o jateamento, recobrimentos superficial por CVD (Chemical Vapour Deposition), por PDV (Physical Vapour Deposition), recobrimento por plasma, etc.

No grupo dos processos de tratamento térmico estão agrupados os processos de modificação das características mecânicas, físicas, e até químicas, dos materiais, tais como a obtenção de estrutura martensítica, o revenimento, solubilização, precipitação, recozimento, etc.

Neste texto, tratam-se apenas dos processos de conformação, nos seus fundamentos teóricos, de modo a estabelecer os conhecimentos básicos necessários, assim como de aplicações dessa teoria em exemplos práticos. Alguns conhecimentos e noções são necessários antes de se estabelecer o estudo da conformação de metais propriamente.

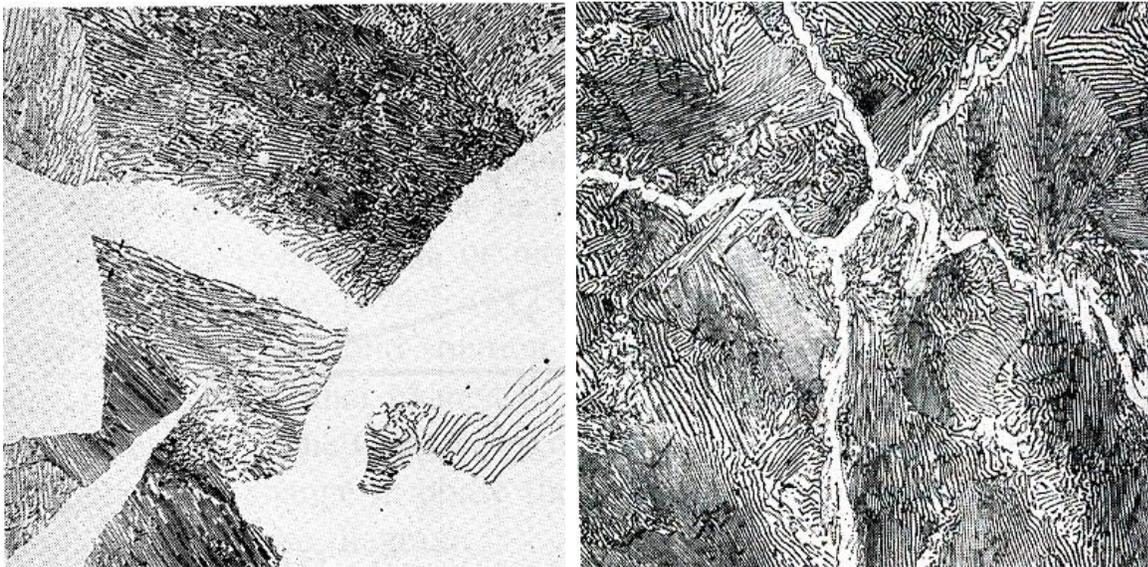
## **1.2 – NOÇÕES SOBRE OS MATERIAIS METÁLICOS MAIS COMUNS**

Quando da seleção de um material para um determinado produto, o engenheiro deve se preocupar, primeiramente, em assegurar que as propriedades físicas e mecânicas sejam adequadas à aplicação. As exigências são estimadas, ou determinadas, e o material que melhor se adapta é eleito, com base em dados determinados por meio de testes e ensaios padronizados aplicados aos materiais. É importante que o engenheiro saiba como utilizar corretamente os dados fornecidos, identificando em cada aplicação as propriedades relevantes, assim como as restrições impostas ao emprego de cada material.

Uma das maneiras mais simples de se classificar os materiais para aplicações em engenharia é separá-los em metálicos e não-metálicos. Na primeira classe estão o aço, ligas de cobre, ligas de alumínio, ligas de magnésio, de níquel, de titânio, etc., enquanto na segunda classe estão as cerâmicas, compósitos, plásticos de engenharia, as madeiras, vidros, borrachas, etc. Os metálicos possuem certas propriedades em comum, tais como: alta condutividade térmica e elétrica, são relativamente dúcteis, alguns com propriedades magnéticas, etc. Os não metálicos, ao contrário, possuem baixa condutividade elétrica e térmica e são, em geral frágeis como vidros e cerâmicas, ou elásticos como polímeros. Esses dois grupos de materiais ainda não competem entre si, pois, na seleção algumas propriedades são decisivas e normalmente recai sobre um grupo apenas. Quando mais de um material é eleito, normalmente os custos são decisivos, incluídos aqueles referentes ao material e à fabricação do componente com este.

Os materiais metálicos são, na sua grande maioria, ligas formadas por um metal base e outros elementos, que lhe dão propriedades particulares. Pode-se citar o aço, tendo como metal base o ferro

com adição de carbono e, por vezes, outros elementos de liga, ligas de alumínio, de titânio, de níquel, etc. O aço, material mais utilizado atualmente, é uma liga Fe-C que, dependendo da porcentagem de carbono, possui distintas micro-estruturas e, conseqüentemente, diferentes propriedades mecânicas. Como exemplo pode-se observar a Figura 1.1, onde se mostram diferentes micro-estruturas de aços, em função da porcentagem de carbono presente.



(a) Aço com menos de 0,07% C

(b) Aço com mais de 0,77% C

Figura 1.1 - Micro-estrutura típica de aços-carbono, em função da porcentagem de carbono (DeGarmo, et al.1997).

### 1.2.1 - AÇOS

De maneira geral, os aços podem ser divididos, segundo a AISI (American Iron and Steel Institute) em aços ao carbono e aços ligados (Bethlehem, Steel Company, 1961). Os aços ao carbono são aqueles cujas porcentagens dos elementos Al, B, Cr, Co, Mo, Ni, Ti, W, V, e Zr, ou outro qualquer estejam abaixo de um máximo especificado ou estejam presentes apenas como resíduos. Ainda contenham um máximo de 1,65% de Mn, 0,6% Si e o conteúdo de Cu estiver entre 0,4 e 0,6%. Os aços ligados, por sua vez, são aqueles cujos conteúdos daqueles elementos, ou outros quaisquer, estejam presentes em uma faixa especificada em porcentagem.

O carbono é o principal elemento para endurecimento e aumento da resistência mecânica do aço. Por outro lado, aumentos na porcentagem de carbono diminuem sua ductilidade. O manganês contribui também para o aumento da resistência mecânica e da dureza, porém em menor intensidade do que o carbono. O fósforo, quando presente no aço, facilita sua usinabilidade e resistência à corrosão atmosférica. Normalmente a porcentagem de fósforo é limitada, uma vez que prejudica aços que devam

ser tratados termicamente. O enxofre também tem um efeito de facilitar a usinagem, porém tem os mesmos efeitos prejudiciais do fósforo, sendo mantido abaixo de um limite máximo. O silício é também adicionado aos aços ao carbono em pequenas quantidades como desoxidante, e pode prejudicar a usinagem.

O níquel, quando adicionado ao aço, produz melhorias em ductilidade, aumento da resistência à corrosão e facilita o tratamento térmico, melhorando a resposta a meios menos severos de resfriamento. O cromo, se adicionado ao aço, aumenta sua facilidade de endurecimento em secções espessas e melhora a resistência à abrasão. Os carbonetos de cromo são os mais estáveis em altas temperaturas, aumentando a resistência à abrasão em altas temperaturas. Em porcentagens acima de 4% aumentam a resistência à corrosão nos aços. O molibdênio, juntamente com o manganês e o cromo, aumenta o efeito de endurecimento dos aços além de proporcionar uma maior resistência mecânica a altas temperaturas. Aços contendo molibdênio são menos susceptíveis a fragilidade no tratamento térmico. O vanádio é muito usado nos aços ligados para refinar os grãos e melhorar as propriedades mecânicas.

Os aços para construção mecânica são classificados de acordo com a porcentagem de carbono e seus principais elementos de liga. A classificação segue, segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), a AISI e a SAE (Society of Automotive Engineers), uma codificação de 4 dígitos, sendo os dois últimos cem vezes a porcentagem média de carbono. Os dois primeiros dígitos indicam o tipo de aço, conforme a designação abaixo (Dallas, D.B, 1976):

- 10xx Aços carbono não resulfurados, Mn 1% máx.
- 15xx Aços carbono não resulfurados, 1% < Mn < 1,75 %.
- 11xx Aços carbono resulfurados
- 12xx Aços carbono refosforados e resulfurados
- 13xx Aços ligados ao Manganês, Mn 1,75%
- 40xx Aços ligados ao Molibdênio, Mo 0,20-0,25%
- 41xx Aços ligados ao Cr-Mo, Cr 0,50, 0,80 ou 0,95% e Mo 0,20 ou 0,30%.
- 43xx Aços ligados ao Ni-Cr-Mo, Ni 1,83%, Cr 0,50-0,80% e Mo 0,25%.
- 44xx Aços ligados ao Mo, Mo 0,53%
- 46xx Aços ligados ao Ni-Mo, Ni 0,85 ou 1,83, Mo, 0,20 ou 0,35.
- 47xx Aços ligados ao Ni-Cr-Mo, Ni 1,05%, Cr 0,45%, Mo 0,20 ou 0,35.
- 48xx Aços ligados ao Ni-Mo, Ni 3,50, Mo 0,25%.
- 50xx Aços ligados ao Cr, Cr 0,40%.
- 51xx Aços ligados ao Cr, Cr 0,80 - 0,88 - 0,93 - 0,95 - 1,00%.
- 61xx Aços ligados ao Cr-V, Cr 0,60 ou 0,95%, V 0,13 – 0,15% min.
- 86xx Aços ligados ao Ni-Cr-Mo, Ni 0,55%, Cr 0,50%, Mo 0,20%.

- 87xx Aços ligados ao Ni-Cr-Mo, Ni 0,55%, Cr 0,50%, Mo 0,25%.
- 88xx Aços ligados ao Ni-Cr-Mo, Ni 0,55%, Cr 0,50%, Mo 0,35%.
- 92xx Aços ligados ao Si, Si 2%.
- 50Bxx Aços ligados ao Cr, Cr 0,28 ou 0,50%.
- 51Bxx Aços ligados ao Cr, Cr 0,80%.
- 81Bxx Aços ligados ao Ni-Cr-Mo, Ni 0,3%, Cr 0,45%, Mo 0,12%.
- 94Bxx Aços ligados ao Ni- Cr-Mo, Ni 0,45%, Cr 0,40%, Mo 0,12%.

Onde o B significa ainda adição de Boro.

No APÊNDICE - I - COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DE AÇOS E FERROS FUNDIDOS, são apresentadas tabelas com as composições químicas propriedades de alguns aços e ferros fundidos mais comuns em fabricação mecânica. Além dos aços normalizados apresentados acima, outros tipos especiais podem ser encontrados, com composições especiais, segundo especificações dos clientes, ou dos fabricantes. Os códigos, segundo o grupo de 4 dígitos são um indicativo da composição química média dos aços, porém cada produtor de aço pode ter a sua própria designação e, geralmente, uma tabela de equivalência aos códigos AISI, SAE e ABNT é necessária. Um exemplo dessa tabela está no APÊNDICE II – EQUIVALÊNCIAS ENTRE ALGUNS DOS AÇOS MAIS COMUNS.

Além dos aços ao carbono e ligados, para construção mecânica, outros tipos também são fabricados tais como os aços inoxidáveis, aços-ferramenta, tornando o trabalho de especificação de um aço uma tarefa bastante elaborada e especializada. Os aços inoxidáveis possuem, em geral, mais de 4% de Cromo e mais de 50% de Ferro, sendo ainda adicionados outros elementos, tais como o Níquel, Molibdênio, Nióbio, Titânio, Manganês, Enxofre e Selênio. Estas combinações de elementos de liga conferem a esses aços uma grande capacidade de resistência à corrosão. As suas composições químicas típicas encontram-se também no APÊNDICE I. Os aços inoxidáveis podem ser divididos em três grandes grupos, de acordo com suas características metalográficas: as ligas Martensíticas, as Ferríticas e as Austeníticas. Esta classe de aços possui uma enorme variedade de ligas e designações, cujos detalhes não serão tratados neste texto pela limitação de espaço, porém, podem ser encontrados em literaturas especializadas. As aplicações dos aços inoxidáveis têm crescido bastante nas industriais farmacêuticas, alimentícias, instrumentação e petrolífera, principalmente.

A necessidade de que os aços mantivessem suas propriedades mecânicas a altas temperaturas, levou ao desenvolvimento de uma classe conhecida como Superligas. São aços com altas porcentagens de Cromo, Cobalto e, principalmente, Níquel, cujas propriedades a quente superam com vantagens outras ligas. Os principais representantes desta classe são o INCONEL™ e o WASPALOY™, cujas composições químicas completas estão também no APÊNDICE I.

## 1.2.2 - FERRO FUNDIDO

Após os aços, o material mais largamente utilizado na fabricação mecânica é o Ferro Fundido (FoFo). Da mesma forma que os aços, o FoFo é uma liga Fe-C, porém com conteúdo de carbono entre 2 e 4%. Possui ainda adições de silício, entre 1 e 3%, Manganês, entre 0,20 a 1,0%, Enxofre, entre 0,02 e 0,2% e Fósforo, entre 0,05 e 1,0%. A alta porcentagem de carbono e a presença de Silício tornam o FoFo adequado para o processo de fundição, facilitando a fusão e a sua fluidez. O excesso de carbono faz com que este se precipite, formando uma fase própria na solidificação, identificada na sua micro-estrutura como grafite em pó na forma de lamelas. O formato que essa fase adquire na micro-estrutura do FoFo determina suas propriedades e, conseqüentemente, sua classificação. Segunda essa classificação os FoFo's mais comuns podem ser divididos em Branco, Cinzento e Nodular, além de outro tipo mais recente o FoFo vermicular. O ferro fundido branco pode ser obtido quando há uma correta combinação de elementos de liga presentes e uma velocidade adequada de resfriamento. Neste caso o carbono dissolvido, na liga fundida, forma colônias de carbonetos, sendo uma fase mais dura e resistente. Uma vez que o principal carboneto presente, o de ferro, conhecido como cementita, é extremamente duro e frágil, o FoFo branco resultante terá também essa natureza. Possui alta resistência mecânica à compressão, à abrasão e mantém suas propriedades a altas temperaturas.

O FoFo cinzento é o mais utilizado, devido às suas boas propriedades mecânicas e a possibilidade de se obter formas complexas por meio da fundição. A maioria dos blocos para motores de combustão interna é fabricada com este material. A fase grafite mostra-se, tipicamente na forma de lamelas, contendo pó de grafite dentro de si. Sendo assim, sempre que se corta o FoFo cinzento, haverá a liberação deste pó de grafite. As lamelas de grafite conferem ao FoFo cinzento propriedades únicas, como a facilidade de usinagem devido à produção de cavacos segmentados, além de excelentes propriedades de amortecimento a vibrações, muito apreciadas em estruturas de máquinas-ferramentas.

O FoFo nodular é, basicamente, uma variação do cinzento, na medida em que as lamelas de grafite adquirem a forma esferoidal, por diferenciação na composição química e adição de magnésio à liga em estado fundido. A forma esferoidal do grafite confere a esses materiais propriedades especiais, além daquelas já encontradas no FoFo cinzento, tais como um significativo aumento nas tensões de escoamento e ruptura, e na ductilidade.

Os FoFo vermicular ou *Compacted Graphite Iron* – CGI, pode ser produzido pela adição de Mg-Ce-Ti, resultando em forma de grafite intermediárias entre as lamelas do cinzento e a forma esferoidal do nodular. A usinabilidade, fundibilidade, amortecimento dinâmico e condutividade térmica se aproximam das características do FoFo cinzento, enquanto as propriedades mecânicas são próximas daquelas do FoFo nodular. Blocos de motores diesel começam a ser fabricados com esse material. A

Figura 1.2 mostra dois exemplos de micro-estruturas típicas dos FoFo's. O APÊNDICE I também mostra tabelas com a composição química e propriedades mecânicas dos principais ferros fundidos comercializados e utilizados pela indústria.

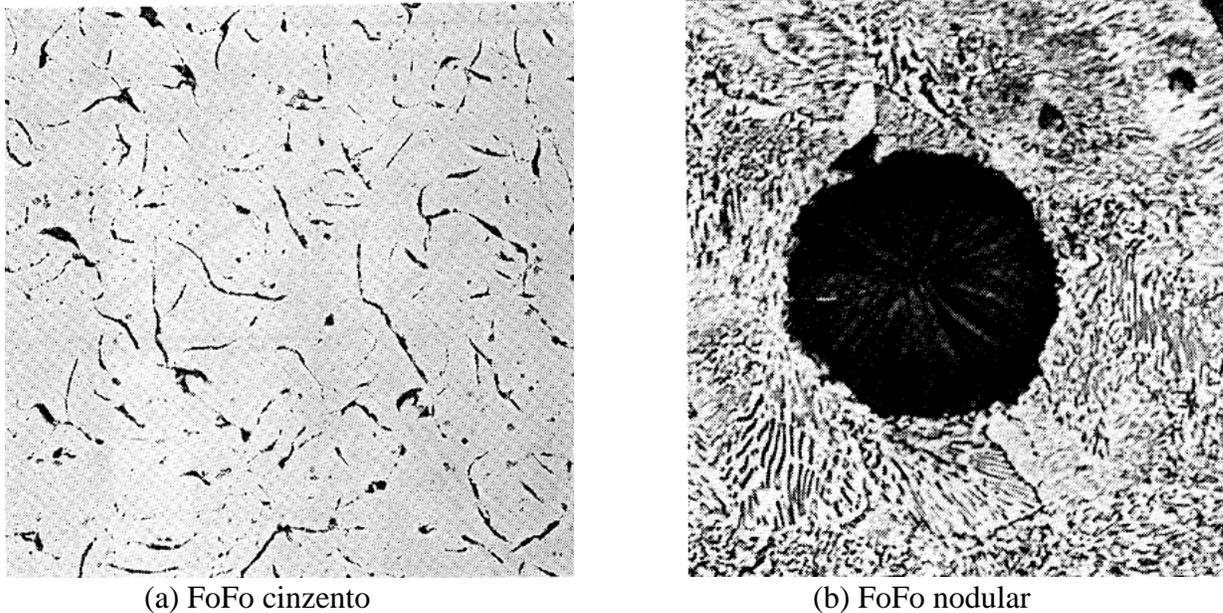


Figura 1.2 - Micro-estruturas típicas de FoFo's cinzento e nodular (DeGarmo, et al. 1997).

### 1.2.3 - LIGAS DE ALUMÍNIO

Além dos aços e ferros fundidos, as ligas de alumínio também são bastante utilizadas pelas indústrias metal-mecânicas, principalmente a aeronáutica e, mais recentemente, a automobilística. As ligas que empregam o alumínio como metal base formam um grupo bastante extenso, destinadas à laminação e à fundição. O emprego de ligas de alumínio encontra grande aplicação onde o peso deve ser minimizado e a resistência mecânica pode ser moderada, embora algumas ligas de alumínio já apresentem propriedades mecânicas semelhantes, ou superiores a certos aços. Possui densidade média em torno de  $2.700 \text{ kg/m}^3$ , comparado ao aço, em média  $7.850 \text{ kg/m}^3$ . Também são muito utilizadas onde a resistência à corrosão, condutividade térmica e elétrica devem ser altas.

As ligas de alumínio, em geral, empregam elementos de liga como Mn, Si, Cu, Mg, Cr, Ni, Pb, Bi ou Zn. Com esses ligantes, podem ser submetidas a tratamentos térmicos que melhoram significativamente as propriedades mecânicas. A classificação das ligas de alumínio segue também um código de 4 dígitos, porém distingue-se entre as obtidas para a laminação e as destinadas à fundição. As ligas destinadas à laminação seguem o seguinte código:

- 1xxx Alumínio contendo Al 99% ou mais.
- 2xxx Ligas cujo principal ligante é Cu.

- 3xxx Ligas cujo principal ligante é Mn.
- 4xxx Ligas cujo principal ligante é Si.
- 5xxx Ligas cujo principal ligante é Mg.
- 6xxx Ligas cujos principais ligantes são Mg e Si.
- 7xxx Ligas cujo principal ligante é Zn.
- 8xxx Ligas contendo outros elementos.

As ligas fundidas possuem também um código de 4 dígitos, porém o último indica a forma do produto, a saber, formas para fundição futura, ou em lingotes. Os grupos de códigos são designados como abaixo:

- 1xx.x Alumínio contendo Al 99% ou mais.
- 2xx.x Ligas cujo principal ligante é Cu.
- 3xx.x Ligas cujo principal ligante é Cu/Mn.
- 4xx.x Ligas cujo principal ligante é Si.
- 5xx.x Ligas cujo principal ligante é Mg.
- 7xx.x Ligas cujo principal ligante é Zn.
- 8xx.x Ligas cujo principal ligante é Sn.
- 9xx.x Ligas contendo outros elementos.

Uma outra particularidade encontrada na designação de uma liga de alumínio está no seu tratamento térmico, que também segue uma codificação própria. Normalmente, é designado por uma letra seguido de um número. As letras podem ser:

- F obtido por processos primários;
- O recozido;
- H endurecido por encruamento (*strain-hardened*);
- W tratado por solubilização e;
- T tratado termicamente por outro processo.

Os números, que se seguem às letras, indicam mais detalhes do tratamento térmico e formam uma enorme variedade de combinações. O APÊNDICE I mostra a composição química e propriedades mecânicas de algumas ligas de alumínio mais comuns.

#### **1.2.4 - LIGAS DE COBRE**

Ligas de cobre contendo zinco (Zn) são comumente conhecidas como “Ligas de Latão”, ou simplesmente Latão. As ligas contendo estanho (Sn) são chamadas “Ligas de Bronze”, ou Bronze. Os latões são as ligas mais utilizadas por terem uma boa resistência à corrosão, boa resistência mecânica e algumas possuem ainda excelente ductilidade propiciando boa conformabilidade. São muito utilizados em conexões para ar e água, elementos de fechaduras e cadeados. Ligas de latão contendo 64% Cu são chamadas de *latões alfa* e comumente conhecidos pela sua habilidade de suportar trabalhos a frio. As ligas contendo menos de 64% Cu são conhecidas como *latões beta* e são excelentes para trabalhos a quente. As ligas de latão são comumente usináveis e com pequena adição (0,5 a 4%) de Pb tornam-se mais favoráveis à usinagem. Para a fundição das ligas de latão adicionam-se alguns elementos como Sn (1 a 6%), Pb (1 a 10%), Fe (0,5 a 3%) e pequenas porcentagens de Ni, Sb e Al.

As ligas de bronze contendo aproximadamente 1,25 a 10% Sn possuem boa resistência à tração e conformabilidade. Quando são desoxidadas com fósforo são conhecidas como “*Bronze Fosforoso*”, restando cerca de 0,35% P na composição final. Esta liga possui alta dureza e resistência à tração, em relação às demais ligas de bronze. Ligas de bronzes para fundição normalmente contêm entre 10 e 25% Pb. Altas concentrações de Pb limitam a conformabilidade das ligas de bronze e suas aplicações em temperaturas próximas à de fusão do chumbo. Adições de até 4% de Sn, Pb e Zn podem melhorar a usinabilidade das ligas de bronze fosforoso.

### 1.3 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS METÁLICOS

Os materiais normalmente empregados em fabricação mecânica possuem diversas propriedades importantes para a conformação. Dependendo das suas características mecânicas, um material pode oferecer mais, ou menos, resistência ao escoamento. Quando o material é submetido a esforços mecânicos, deforma-se segundo um dos modelos básicos mostrados na Figura 1.3.

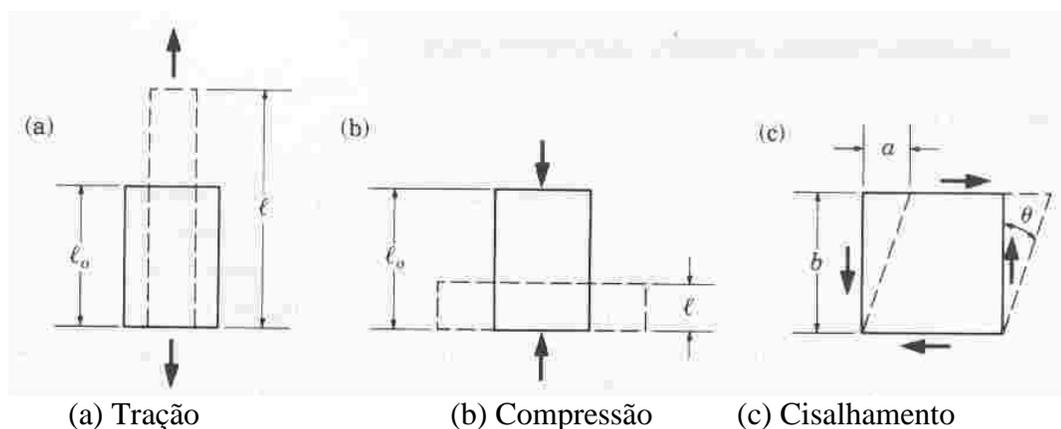


Figura 1.3 – Modelos básicos de deformação de um sólido (Kalpakjian, S., 1995).

A quantificação das deformações se dá segundo as seguintes equações:

$$e = \frac{l - l_0}{l} \quad (1.1)$$

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) \quad (1.2)$$

$$\gamma = \frac{a}{b} \quad (1.3)$$

onde  $e$  é a deformação de engenharia, empregada para pequenas deformações, e  $l$  e  $l_0$  são, respectivamente, o comprimento inicial e final do corpo sendo deformado por tração ou compressão,  $\varepsilon$  é a deformação verdadeira, empregada mais comumente grandes deformações como nos processos de conformação,  $\gamma$  é a deformação angular, empregada em pequenas deformações, e  $a$  e  $b$  são, respectivamente a deformação e o comprimento ao longo do qual se dá a deformação angular. Para grandes deformações a deformação angular é expressa em termos de diferenciais e leva em conta as contribuições das deformações planas nas duas direções perpendiculares (Altan, T., et al., 1999). As deformações nos materiais ocorrem devido à aplicação de cargas, a saber, de tração, de compressão e de cisalhamento. Quando essas cargas são divididas pelas respectivas áreas de atuação têm-se as tensões correspondentes,  $\sigma$ , para tração e compressão e  $\tau$  para cisalhamento.

Para avaliar-se a resistência mecânica dos materiais, com relação às cargas de tração, compressão e cisalhamento, foram desenvolvidos testes padronizados que avaliam e comparam os diversos materiais empregados em engenharia.

### 1.3.1 - TESTE DE TRAÇÃO UNIAXIAL

Devido à sua simplicidade o teste de tração uniaxial é o mais comum para determinar o comportamento dos materiais quando sujeitos a esforços de tração. Utilizam-se corpos de provas de forma e dimensões padronizadas, conforme mostrados na Figura 1.4.

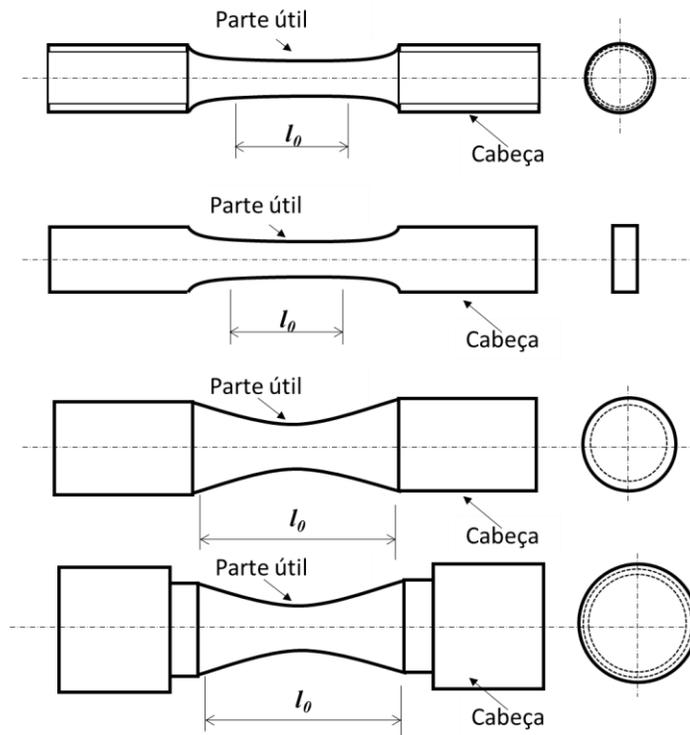


Figura 1.4 – Corpos de prova para ensaio de tração (Souza, S.A de, 1982).

Os corpos de prova são submetidos a esforço uniaxial com velocidade controlada, registram-se, simultaneamente a deformação e as cargas, em uma máquina própria. A Figura 1.5 mostra um dessas máquinas.

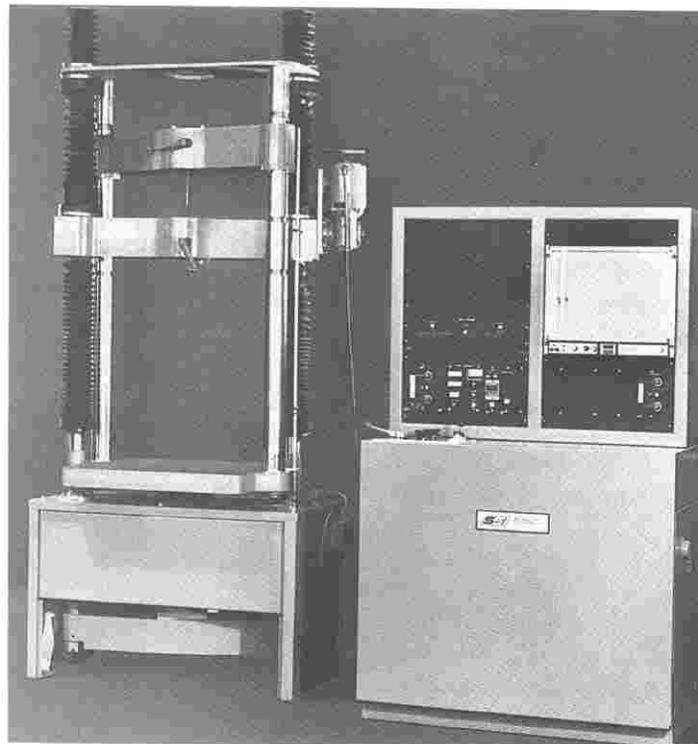


Figura 1.5 – Máquina de ensaio de tração (DeGramo, et al. 1997.).

A Figura 1.6 mostra um gráfico típico obtido durante o ensaio de tração, conforme o corpo de provas se deforma.

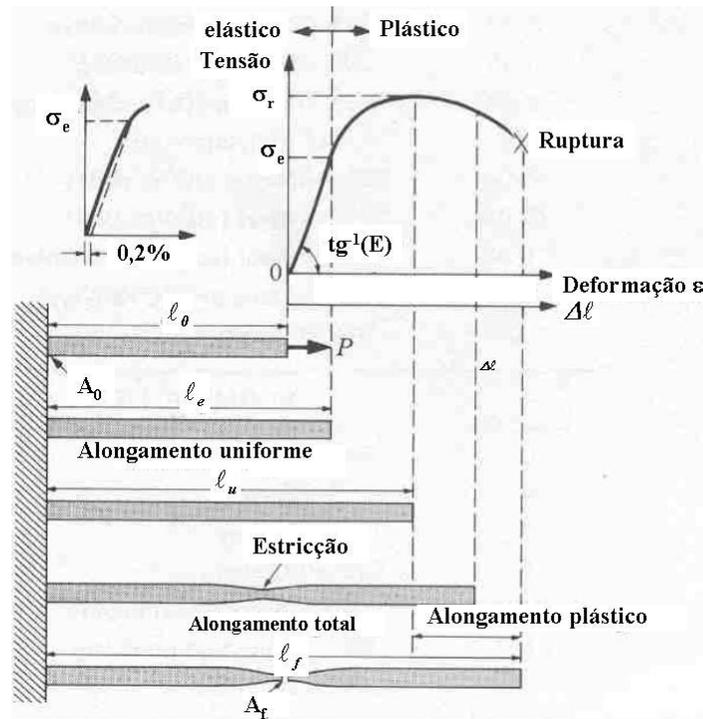


Figura 1.6 – Exemplo de gráfico obtido durante o ensaio de tração de um aço carbono comum (Kalpakjian, S., 1995).

O gráfico da Figura 1.6 mostra que inicialmente a tensão é linearmente proporcional à deformação. A tensão na qual esta proporcionalidade termina é a tensão limite de proporcionalidade, ou **limite de proporcionalidade** ( $\sigma_p$ ). Neste trecho o material obedece à **lei de Hooke**, a qual determina que a tensão seja linearmente proporcional à deformação. A constante de proporcionalidade é conhecida como **módulo de elasticidade** ( $E$ ), ou módulo de Young. É uma propriedade inerente ao material e de extrema importância em engenharia, principalmente no dimensionamento de elementos de máquinas. Expressa ainda uma medida de rigidez do material sendo submetido a esforços de tração ou compressão. A Tabela 1.1 mostra alguns valores típicos do módulo de elasticidade de materiais comuns em fabricação mecânica.

Tabela 1.1 – Valores típicos do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson para materiais comuns em fabricação. Valores obtidos à temperatura ambiente (Kalpakjian, S. 1995).

Metais	E (Gpa)	$\nu$
Ligas de Al	69-79	0,31-0,34
Ferro fundido	105-150	0,21-0,30

Ligas de Cu	105-150	0,33-0,35
Ligas de Pb	14	0,43
Ligas de Mg	41-45	0,29-0,35
Mo	325	0,32
Ligas de Ni	180-214	0,31
Aços carbono	200	0,33
Aços Inox	190-200	0,28
Ligas de Ti	80-130	0,31-0,34
W	400	0,27
Não-metálicos	E (Gpa)	$\nu$
Acrílico	1,4-3,4	0,35-0,40
Epoxes	3,5-17	0,34
Nylons	1,4-2,8	0,32-0,40
Borrachas	0,01-0,1	0,5
Plásticos reforçados	2-50	-
Vidro e porcelanas	70-80	0,24
Diamante	820-1050	-
Grafite	240-390	-

O coeficiente de Poisson é uma medida da proporção entre a deformação observada em na direção de aplicação da carga e aquela nas direções perpendiculares.

Na sequência da aplicação dos esforços se a carga é removida ainda dentro da região elástica, o corpo de provas retorna ao seu comprimento inicial. Para tensões entre valor zero e este valor, a resposta do material é elástica e a tensão máxima em que este efeito é observado é chamada tensão limite de elasticidade, ou *limite elástico* ( $\sigma_{el}$ ). Para certos materiais estes limites são muito próximos, com o limite elástico um pouco acima e sua determinação obedece a critérios normalizados (DeGarmo, et al. 1995). Para o limite elástico admite-se uma deformação permanente de 0,2%.

A quantidade de energia que uma unidade de volume do material absorve durante o regime elástico é chamada de *resiliência*, tendo o material seu *módulo de resiliência* ( $U_R$ ). Uma vez que energia é o produto da força pela distância, a área sob o gráfico tensão-deformação, até o limite elástico, fornece a energia absorvida pelo corpo de provas. Esta é uma energia potencial liberada quando o corpo de provas é descarregado.

Qualquer deformação além do limite elástico é permanente e chamada *deformação plástica*. A partir deste ponto, componentes de máquinas estariam sujeitos a deformações que mudariam sua forma original permanentemente, não sendo mais úteis em sua função original. Esta região de deformação se torna particularmente importante para os processos de conformação, onde o objetivo é justamente modificar permanentemente a forma dos componentes, conformando-se o material pela aplicação de tensões de tração, compressão e cisalhamento. Quando o limite elástico é ultrapassado, aumentos na deformação não requerem um aumento proporcional na tensão e proporcionalidade deixa de existir, iniciando-se um fluxo plástico do material. Para alguns materiais, atingindo-se um determinado valor

de tensão, adicionais aumentos de deformação ocorrem sem nenhum aumento em tensão, pelo contrário há diminuição. Este ponto é chamado de *limite de escoamento* ( $\sigma_e$ ). Para os aços com baixo teor de carbono há dois limites de escoamento significativos: o superior e o inferior. O primeiro é o pico inicial, atingido antes que haja deformação aparente no corpo de prova. A seguir este apresenta uma secção estrangulada, propiciando o aumento da deformação com uma efetiva diminuição de carga. A Figura 1.7 mostra um corpo de prova de ensaio de tração com este estrangulamento se iniciando.

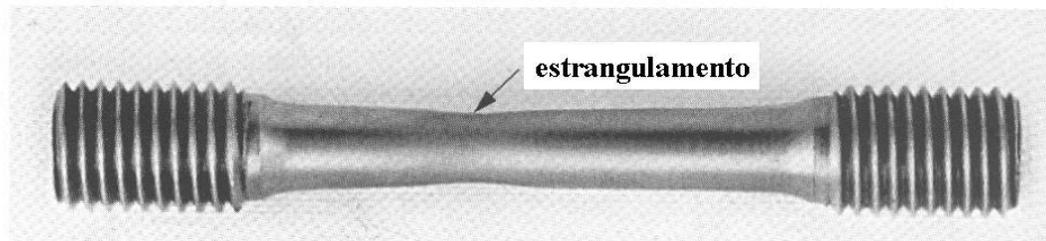


Figura 1.7 – Exemplo de um corpo de provas de tração em início de estrangulamento (DeGarmo, et al., 1995).

A partir deste ponto o material começa a fluir e a tensão permanece praticamente constante. Tabelas fornecem este valor para o limite de escoamento de diversos materiais. Quando material não apresenta um nítido limite de escoamento na curva tensão-deformação, a transição do limite elástico para o de escoamento é determinada pela deformação permanente admissível de 0,2%, na maioria dos casos, chegando às vezes a 0,02% em certos materiais ou componentes muito exigidos em serviço.

Continuando a aplicação de carga ao material sua deformação plástica prossegue e a tensão suportada aumenta. Uma vez que a secção transversal do corpo de provas diminui, pelo estrangulamento, a tensão (carga dividida por área) aumenta e, este fenômeno se estende até um limite máximo, chamado de *limite de resistência* ( $\sigma_R$ ). Há materiais cujo comportamento neste estágio se altera devido ao fenômeno do *encruamento*, onde a resistência à deformação é proporcional à deformação a frio (Souza, S.A de, 1982). À medida que a deformação aumenta e o material resiste pelo encruamento se a carga persistir também crescendo, chega-se a um ponto onde o aumento da carga é maior do que a resistência e, a ruptura acontecerá. Neste ponto atinge-se o *limite de ruptura* ( $\sigma_R$ ). A Tabela 1.2 mostra alguns valores típicos de propriedades mecânica obtidas em ensaios de tração para vários materiais comumente usinados.

Tabela 1.2 – Propriedades mecânicas de materiais comumente usinados obtidos em ensaios de tração à temperatura ambiente (Kalpakjian, S. 1995).

Metais	$\sigma_e$ (Mpa)	$\sigma_r$ (Mpa)	Alongamento 50mm (%)
Al	35	90	45

Ligas de Al	35-550	90-600	45-4
Be	185-260	230-350	3,5-1
Nb	205	275	30
Cu	70	220	45
Ligas de Cu	76-1100	140-1310	65-3
Fe	40-200	185-285	60-3
Aços	205-1725	415-1750	65-2
Pb	7-14	17	50
Ligas de Pb	14	20-55	50-9
Mg	90-105	160-195	15-3
Ligas de Mg	130-305	240-380	21-5
Ligas de Mo	80-2070	90-2340	40-30
Ni	58	320	30
Ligas de Ni	105-1200	345-1450	60-5
Ligas e Ta	480-1550	550-1550	40-20
Ti	140-550	275-690	30-17
Ligas de Ti	344-1380	415-1450	25-7
W	550-690	620-760	0
<hr/>			
Não-Metálicos			
Cerâmicas	-	140-2600	0
Vidro	-	140	0
Fibra de Vidro	-	3500-4500	0
Fibra de Grafite	-	2100-2500	0
Termoplásticos	-	7-80	5-1000
Termoplásticos reforç.	-	20-120	1-10
Termorígidos	-	35-170	0
Termorígidos reforç.	-	200-520	0

A plasticidade que o material demonstra é um importante fator para sua avaliação quanto ao desempenho durante sua submissão aos processos de fabricação. Para os processos de conformação, quanto maior sua plasticidade, mais adequado o material será. Esta habilidade em se deformar sem romper é chamada **ductilidade**. Uma das formas de se avaliar a ductilidade de um material é determinar sua **porcentagem de alongamento** durante o teste de tração. Toma-se um comprimento padronizado na área útil do corpo de provas, antes e depois da ruptura, calculando-se a porcentagem de alongamento. Outra prática para avaliação da ductilidade é a porcentagem de redução de área sofrida pelo corpo de provas, medindo-se a área inicial e área final, no ponto de estrangulamento. Quando um material possui baixa ductilidade é chamado de frágil (*brittle*).

**Tenacidade** é definida como a energia por unidade de volume requerida para a ruptura do material. O teste de tração fornece uma maneira de se estimar a tenacidade de um material, como a área sob a curva tensão-deformação até a ruptura. Variações em temperatura e velocidade de aplicação da carga alteram significativamente o módulo de tenacidade. A tenacidade também é avaliada através de testes de impacto, mas sem correlação com os resultados dos testes de tração.

As curvas tensão-deformação podem usar a área e o comprimento iniciais do corpo de provas para os cálculos ou, a área e comprimentos instantâneos. No primeiro caso chama-se de curva tensão-deformação de engenharia e no segundo a *curva verdadeira*. Esta última curva só tem sentido até o ponto onde se inicia o estrangulamento assim como ela fornece maiores valores de tensão.

Em materiais que apresentam o fenômeno do encruamento a representação da curva tensão-deformação se dá pela aproximação pela seguinte equação:

$$\sigma = K\varepsilon^n \quad (1.4)$$

onde  $K$  é uma constante de proporcionalidade e  $n$  é o *coeficiente de encruamento*. A Tabela 1.3 mostra alguns valores de  $K$  e de  $n$  para materiais mais comuns em usinagem

Tabela 1.3 – Valores típicos de  $K$  e  $n$  para materiais comumente usinados (Kalpakjian, S., 1995)

Material	$K$ (MPa)	$n$
A1100-0	180	0,20
2024-T4	690	0,16
5052-O	210	0,13
6061-O	205	0,20
6061-T6	410	0,05
7075-O	400	0,17
Latão 60-39-1Pb recozido	800	0,33
Latão 70-30 Recozido	895	0,49
Latão 85-15 laminado quente	580	0,34
Bronze fosforoso, recozido	720	0,46
Liga de Co (endurecido)	2070	0,50
Cobre recozido	315	0,54
Mo recozido	725	0,13
Aço baixo carbono	530	0,26
ABNT1045 – laminado quente	965	0,14
ABNT1112 – recozido	760	0,19
ABNT1112 – laminado quente	760	0,08
ABNT4135 – recozido	1015	0,17
ABNT4135 – Lam. quente	1100	0,14
ABNT4340 – recozido	640	0,15
ABNT52100 – recozido	1450	0,07
ABNT302 – recozido	1300	0,30
ABNT304 – recozido	1275	0,45
ABNT410 - recozido	960	0,10

### 1.3 2 - TESTE DE TORÇÃO

O teste de torção não é, geralmente, utilizado para especificar propriedades de materiais, embora seja um ensaio de simples realização. O ensaio de tração sempre o substitui por fornecer maiores informações com menores complicações matemáticas e aproximações. Entretanto, para diversas aplicações os ensaios de torção são indispensáveis, principalmente nos casos de altas velocidades de deformação, como nos processos de usinagem, ou conformações em prensas excêntricas, martelos de forjamento ou de prensas de parafuso (prensas de fricção).

O teste de torção pode ser conduzido da mesma forma que o de tração, traçando-se um gráfico de tensão-deformação e determinando-se algumas propriedades do material. O corpo de provas é bastante semelhante, porém sendo mais comum o de secção tubular a fim de se obter uma distribuição uniforme das tensões de cisalhamento. Para obter-se a tensão de cisalhamento em um corpo de provas circular usa-se a equação:

$$\tau = \frac{M_T}{2\pi r^2 e} \quad (1.5)$$

onde  $M_T$  é o momento de torção aplicado,  $r$  é o raio do corpo de provas, entre o diâmetro interno e o externo e  $e$  a espessura da parede. A deformação no ensaio de torção é dada por:

$$\gamma = \frac{r\phi}{\ell_0} \quad (1.6)$$

onde  $\gamma$  é a deformação angular,  $\phi$  é o ângulo de torção e  $\ell_0$  o comprimento útil do corpo de provas. No regime elástico, semelhantemente ao ensaio de tração, a inclinação da curva tensão-deformação é chamada de *módulo de elasticidade transversal*  $G$ , dado pela equação:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (1.7)$$

o qual só é válido no regime elástico. Há uma relação entre o módulo de elasticidade  $E$ , obtido no ensaio de tração e o módulo de elasticidade transversal  $G$ , dada pela equação:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1.8)$$

Todos as outras propriedades mostradas para o gráfico do ensaio de tração podem ser calculadas no ensaio de torção, com as devidas adaptações, o que pode ser encontrado em detalhes em (Souza, S. A. de, 1982).

Normalmente, testes de torção a quente, em altas temperaturas, são executados em corpos de prova circulares para determinação do conformabilidade dos materiais submetidos a severos processos de forjamento. Nestes processos normalmente o estado de tensões não é uniaxial, ou seja, sempre há mais de uma direção de aplicação de tensões ao mesmo tempo. Para esses casos realizam-se ensaios de torção combinados com compressão. A combinação de torção com compressão, um estado bi-axial de tensões, aproxima-se mais dos casos reais de carregamentos em processos de conformação, assim como em usinagem. A Figura 1.8 apresenta um exemplo da variação da tensão de ruptura ao cisalhamento quando o material está submetido simultaneamente à compressão no teste de torção.

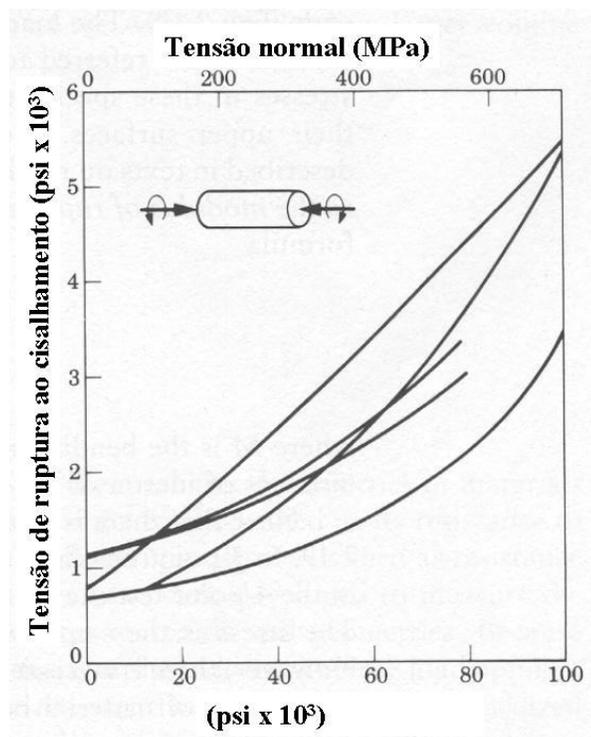


Figura 1.8 – Efeito da compressão na tensão de ruptura ao cisalhamento em ensaio de torção.

O efeito do aumento da tensão de ruptura ao cisalhamento devido à compressão também é observado no processo de formação de cavacos em usinagem.

Outros testes de avaliação de propriedades dos materiais são também realizados para estimar propriedades diversas daquelas apresentadas até este ponto, tais como o teste impacto Charpy para avaliar a resistência à fratura em altas velocidades de aplicação de carga, testes de fadiga que avaliam a resistência dos materiais a esforços cíclicos, etc. Outros testes ainda avaliam estas mesmas propriedades, porém em condições diferentes, como em altas temperaturas, em estados bi- e tri-axiais de tensão, testes de flexão, etc.. Estes testes não serão apresentados neste texto, por estarem mais bem detalhados em Souza, S.A. de, 1982, por exemplo. Uma consulta a outros textos mais especializados pode esclarecer maiores dúvidas e curiosidades.

### 1.3.3 - TESTE DE DUREZA

Depois da avaliação do comportamento do material no teste de tração o seu comportamento no teste de dureza é o segundo fator em importância para o processo de fabricação em metais. A dureza de um material é de difícil definição, mas poderia ser definida de forma simplificada como a resistência que o material oferece à penetração. Por este ponto de vista, deve-se definir, para fins de comparação de dureza em uma escala, um penetrador e a carga. Materiais submetidos e um mesmo penetrador com a mesma carga em um teste padrão, apresentam diferentes comportamentos e podem ser comparados entre si, possibilitando a sua classificação em uma escala de dureza. Desta forma, diversas escalas de dureza, com diferentes penetradores e cargas foram criadas. Cada escala melhor se presta a descrever comportamento do material em determinados estados.

#### 1.3.3.1 - ESCALA BRINELL DE DUREZA

O teste Brinell de dureza consiste em aplicar uma carga sobre uma esfera de carbeto de tungstênio, ou aço endurecido, com 10 mm de diâmetro assentada sobre o material a ser testado. Os valores de carga podem ser 500, 1500 3000 kg aplicadas por um período de 5 a 10 segundos para permitir a total acomodação das deformações plásticas. Removendo-se a carga e a esfera, obtém-se uma calota esférica no material sendo testado. A divisão da carga pela área esférica da calota produzida é a dureza Brinell em  $\text{kg/mm}^2$ . Há tabelas que já fornecem o valor da dureza em função do diâmetro da calota, evitando-se o cálculo toda vez que se for medir a dureza de um material. A Figura 1.9 mostra o esquema de medição de dureza Brinell.

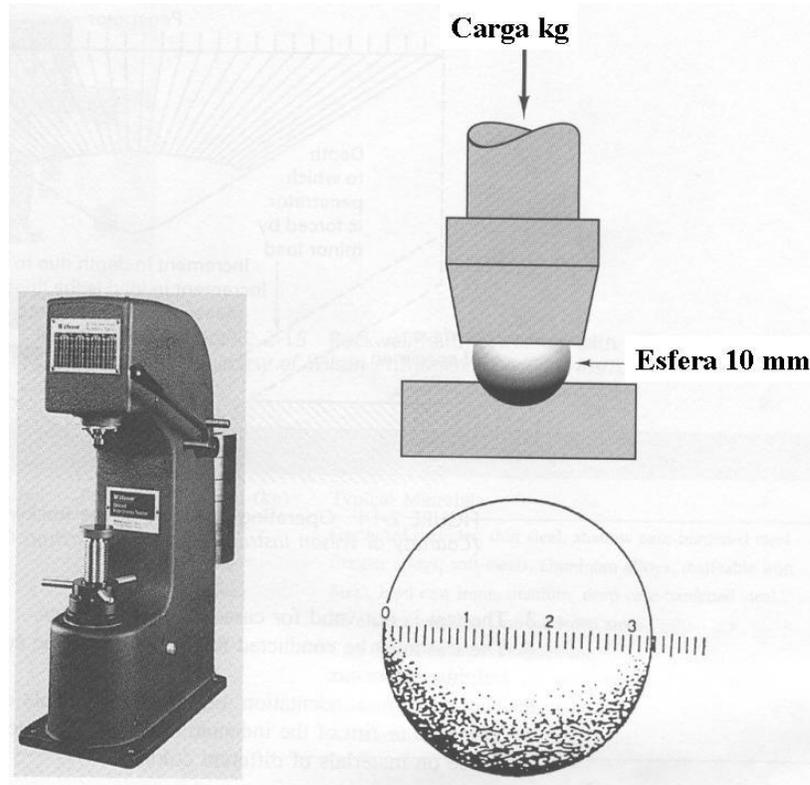


Figura 1.9 – Esquema para teste de dureza Brinell.

O teste Brinell tem a característica de avaliar a dureza sobre uma área relativamente grande do material sendo testado, o que fornece uma dureza mais genérica do material como um todo. Por outro lado, não pode ser empregado em materiais que sofreram tratamento térmico de endurecimento, sendo válido somente em materiais com dureza abaixo de 500 HB (Hardness Brinell). Este teste tem também limitações quanto à espessura mínima do material a ser testado, recomendado como sendo 10 vezes a profundidade da calota. Não pode ser aplicado em superfícies de certas peças acabadas, uma vez que a calota esférica é normalmente visível e imprime uma marca permanente.

#### 1.3.3.2 - ESCALA DE DUREZA ROCKWELL

As escala Rockwell é também largamente empregada, consistindo na aplicação de carga em um penetrador formado por uma esfera de pequeno diâmetro, ou um cone de diamante. Uma carga de 10 kg é inicialmente aplicada para acomodação seguida de carga de ensaio real. O penetrador de esfera utiliza esferas de 1/16" ou 1/8", enquanto o penetrador de diamante é um cone de 120° com pequeno raio na ponta. No caso desta escala o valor de dureza corresponde à penetração sobre a superfície testada. A Figura 1.10 mostra um medidor de dureza do tipo Rockwell.

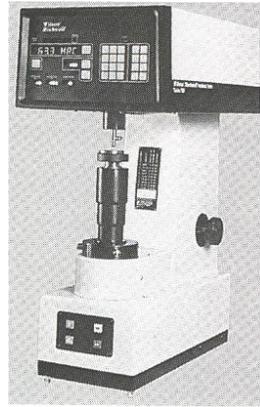


Figura 1.10 - Exemplo de um medidor do tipo Rockwell.

Dependendo da combinação de cargas e penetradores a escala Rockwell recebe uma letra após as designações comuns de *Hardness Rockwell – HR*. Tabela 1.4 mostra as escalas de dureza Rockwell e suas aplicações comuns.

Tabela 1.4 – Escalas de dureza Rockwell mais comuns, de acordo com as cargas e penetradores.

Escala	Penetrador	Carga (kg)	Materiais
A	Diamante	60	Carbetos, aços de pouca espessura, cementações
B	Esfera 1/16"	100	Ligas de Cu, aços sem têmpera, ligas de Al, FoFo
C	Diamante	150	Aços e FoFo's temperados, cementações, ligas de Ti
D	Diamante	100	Aços de pouca espessura, cementações
E	Esfera 1/8"	100	FoFo, ligas de Al, ligas de Mg
F	Esfera 1/16"	60	Ligas de Cu recozidas, aços de pouca espessura
G	Esfera 1/16"	150	Ligas e Cu endurecidas, FoFo
H	Esfera 1/8"	60	Ligas de Al, de Zn e de Pb

Devido ao pequeno tamanho da indentação produzida pelo teste Rockwell, torna-se mais aceitável para avaliação de dureza em superfícies acabadas, mas os resultados podem também ser influenciados pela rugosidade superficial. O método Rockwell é mais rápido que o Brinell, pois fornece a dureza pela leitura direta no medidor.

### 1.3.3.3 - ESCALA DE DUREZA VICKERS

O teste Vickers é um misto entre os sistemas Rockwell e Brinell, pois utiliza um penetrador na forma de uma pirâmide de diamante e a dureza é dada pela carga utilizada dividida pela área da marca deixada pelo penetrador, em  $\text{kg}/\text{mm}^2$ . A grande vantagem da escala Vickers está na possibilidade de se medir dureza em áreas muito pequenas e a maior precisão na medição das diagonais deixadas pelo penetrador em forma de pirâmide. Um sistema óptico é acoplado ao medidor para facilitar a medição das diagonais. A Figura 1.11 mostra um medidor de dureza Vickers.



Figura 1.11 – Medidor de dureza Vickers com sistema de microscópio acoplado.

Ainda a pequena área da ponta do penetrador é capaz de produzir uma marca suficientemente grande para medição, mesmo sujeito a cargas tão pequenas quanto 25 g. Quando pequenas cargas são utilizadas, entre 25 e 3600 g o teste é chamado de *teste de microdureza*. Um outro penetrador, contendo uma das diagonais mais alongadas, pode também ser utilizado para facilitar a medição em áreas microscópicas, sendo o teste chamado de *teste Knoop*.

#### **1.4 - TRATAMENTOS TÉRMICOS DOS METAIS**

Todos os metais podem sofrer, em algum estágio de fabricação, um processo de fusão, seguido de solidificação. No processo de solidificação normal, durante o resfriamento até a temperatura ambiente, pequenos pontos sólidos se formam aleatoriamente no metal líquido. Quando as condições ideais são atingidas, esses pontos se formam pela aglomeração dos átomos presentes, segundo o arranjo atômico de cada material naquelas condições, formando as primeiras células cúbicas (VanVlack, L.H., 1970). Estas células agem como sementes que dão origem aos grãos metálicos que crescem até dimensões maiores, porém ainda em nível microscópicos. A Figura 1.12 ilustra um esquema deste processo desde as dimensões atômicas, no metal fundido, até dimensões microscópicas, com a completa solidificação.

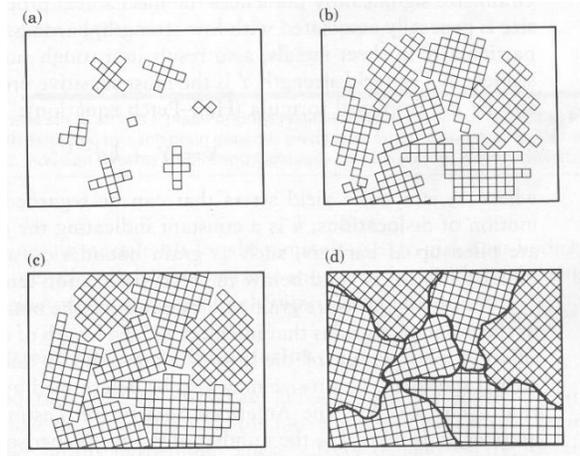
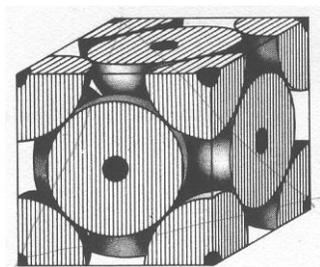
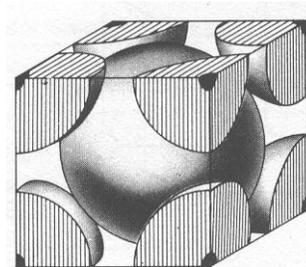


Figura 1.12 – Esquema de solidificação de um metal, formando os grãos vistos ao microscópio. (a) estado líquido com as primeiras sementes; (b) semi-sólido com início de interferência entre os grãos vizinhos; (c) semi-sólido quase ao final da solidificação; (d) figura vista ao microscópio após a total solidificação.

Na solidificação as células vão se expandido espacialmente, em direções e intensidades aleatórias, até encontrarem outras vizinhas, as quais vão limitar sua expansão. Durante o processo de solidificação diversos fenômenos ocorrem, inclusive mudanças de estrutura atômica, conforme a temperatura. O ferro, por exemplo, em temperaturas acima de  $910^{\circ}\text{C}$  apresenta estrutura atômica cúbica de face centrada (cfc), conhecido também como *ferro  $\gamma$* . Abaixo desta temperatura a estrutura se modifica para cúbica de corpo centrada (ccc), conhecido também como *ferro  $\alpha$*  (Pereira, R.L., 1979). A Figura 1.13 mostra estas duas estruturas esquematicamente.



(a) Cúbica de face centrado (cfc)



(b) Cúbica de corpo centrada (ccc)

Figura 1.13 – Estruturas atômicas do Fe conforme a temperatura acima ou abaixo de  $910^{\circ}\text{C}$  (VanVlack, L.H., 1970).

Os metais utilizados em engenharia, usinados ou conformados, são soluções contendo diversos elementos, além do Fe, os quais possuem átomos de natureza e dimensões diferentes. Tanto no resfriamento, quanto no aquecimento, ocorrem modificações em suas estruturas atômicas devido às acomodações desses elementos em diversos arranjos atômicos, conforme as condições do resfriamento

ou aquecimento. Formam-se fases diferentes, com propriedades diversas, além de variações na solubilidade dessas soluções. Com a variação na velocidade de resfriamento, fenômenos ocorrem, criando a oportunidade de se modificar as propriedades dos metais. A liga Fe-C, por exemplo, passa por diversas mudanças desde a temperatura de fusão até a completa solidificação à temperatura ambiente. Para representar essas mudanças de fase, as quais também dependem da porcentagem de carbono, utiliza-se o diagrama de equilíbrio Fe-C. O equilíbrio se refere ao fato de que as mudanças de fase nele mostradas ocorrem em velocidades de resfriamento/aquecimento muito lentas, praticamente em equilíbrio. A Figura 1.14 mostra um exemplo simplificado desse diagrama.

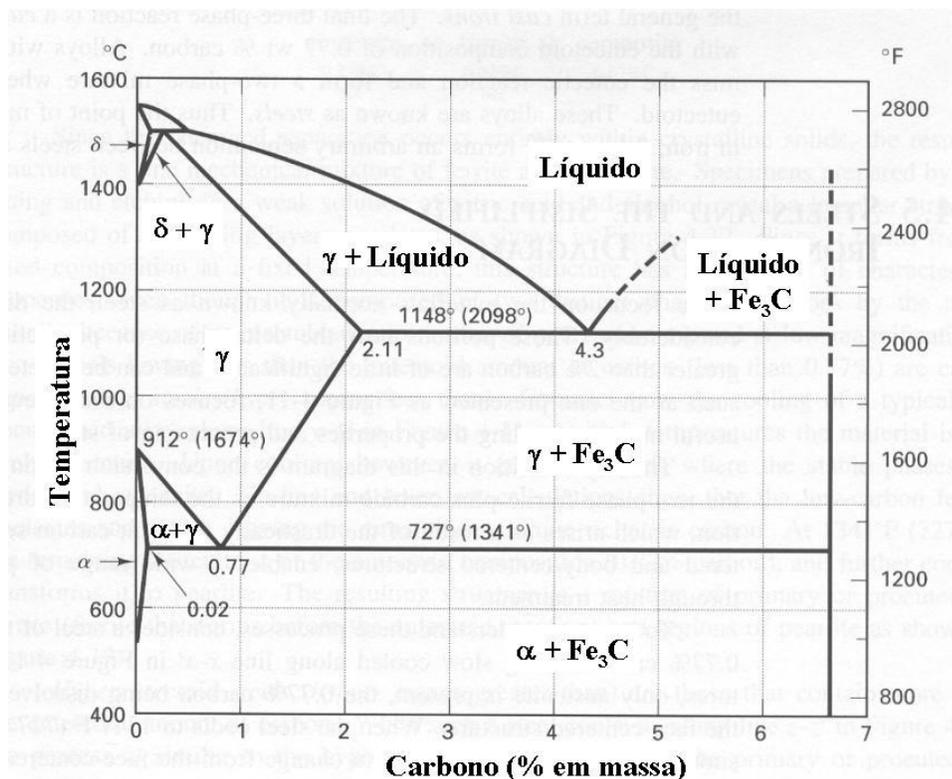


Figura 1.14 – Diagrama de equilíbrio Fe-C simplificado.

Desde a temperatura de fusão, 1536°C, até a temperatura de 1394°C, o Fe puro (0% C no diagrama), apresenta uma estrutura ccc, chamada de *ferrita-δ*. Nestas condições possui poucas aplicações em engenharia. De 1394 a 912°C o Fe assume a estrutura cfc chamada de *austenita ferro γ*, em homenagem ao metalurgista inglês Sir Roberts Austen. Esta estrutura tem grande importância uma vez que possui boa conformabilidade e boa solubilidade para o carbono (até 2%). O forjamento a quente de aços se vale dessa propriedade, assim como a maioria dos tratamentos térmicos se inicia com o material neste estado.

Abaixo de 912°C a estrutura mais estável é a ccc chamada de *ferrita ou ferro α*. Esta estrutura pode reter até 0,02% de C em solução sólida forçando, assim, a criação de duas fases na maioria dos

aços. A próxima mudança que ocorre com os aços em temperaturas menores é a transição de não-magnético para magnético em 770°C, chamado de ponto Curie.

A quarta fase simples mostrada no diagrama de equilíbrio é a **cementita ou  $Fe_3C$**  sendo uma fase intermetálica com alta dureza e frágil.

Há ainda, no diagrama, pontos de equilíbrio de entre três fases distintas, que são:

- O **peritetóide**, a 1495°C, o qual ocorre somente para aços com baixas porcentagens de C;
- O **eutética**, a 1148°C, com a composição eutetóide de 4,3% C. Portanto, todas as ligas contendo mais de 2,11% C passarão pela reação eutetóide e são chamadas FoFo's.
- O **eutetóide**, a 727°C, com a composição de 0,77% C. Ligas contendo menos de 2,11% C não passam pela reação eutética e formam uma mistura de duas fases através da reação eutetóide, sendo chamadas de aços.

Quando o diagrama de equilíbrio é destinado apenas às análises dos aços torna-se simplificado como o da Figura 1.15.

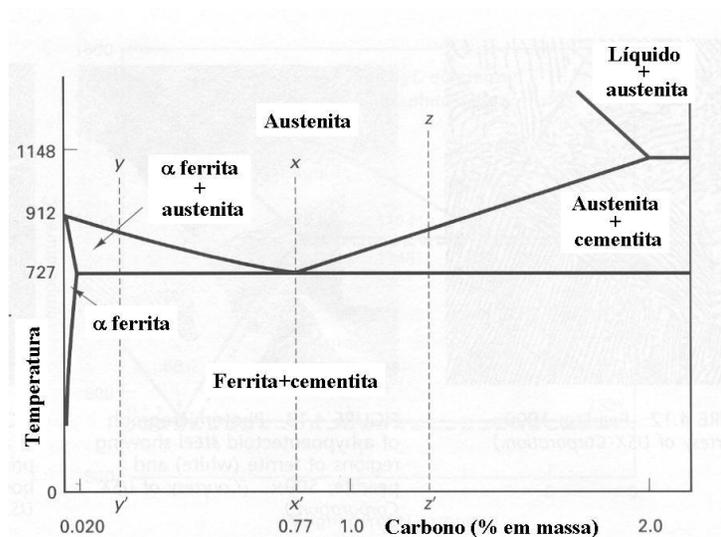


Figura 1.15 – Diagrama Fe-C simplificado para os aços.

O ponto mais importante para os tratamentos térmicos é a mudança da fase austenita para as duas fases ferrita+cementita, com a queda da temperatura. Inicialmente pode-se pensar na queda de temperatura seguindo a linha x-x', Figura 1.15. Em altas temperaturas somente austenita está presente e os 0,77% C estão dissolvidos na solução sólida em estrutura cfc. Quando o aço se resfria para 727°C muitas mudanças ocorrem simultaneamente. O Fe deseja mudar de austenita cfc para ferrita ccc, mas a ferrita somente pode dissolver 0,02%C em solução sólida. O carbono rejeitado forma um composto intermetálico rico em C ( $Fe_3C$ ), a cementita. A reação no eutetóide, portanto é:



Uma vez que a separação ocorre inteiramente dentro de sólidos cristalinos, a estrutura resultante é uma fina mistura mecânica de ferrita e cementita. A estrutura resultante, lamelar composta por camadas alternadas, está mostrada na Figura 1.16 (a).

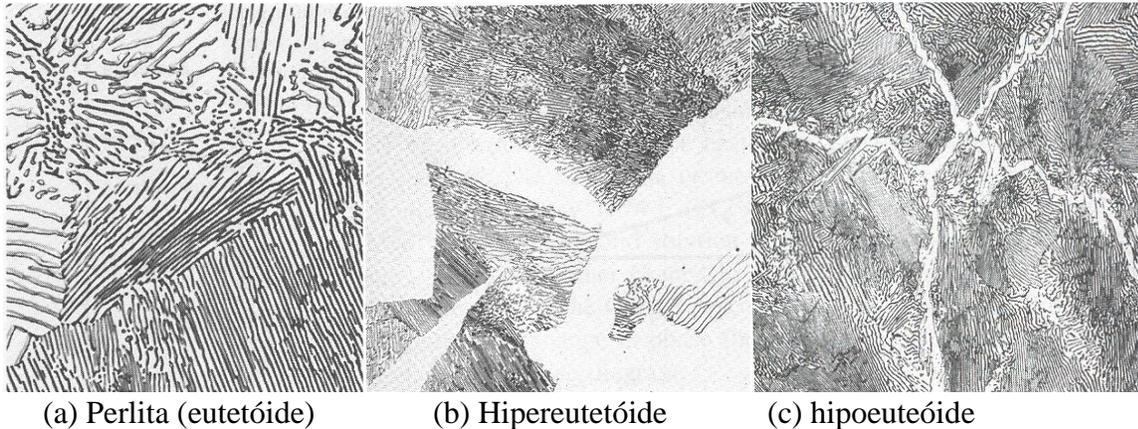


Figura 1.16 – Estruturas típicas de aços eutetóides, hipereutetóides e hipoeutetóides.

Aços contendo menos que 0,77%C são chamados hipoeutetóides e se comportam no resfriamento seguindo a linha y-y'. Saindo da estrutura austenítica entra em uma região onde as fases estáveis são a ferrita e a austenita. Nesta região a ferrita, de baixo carbono, nucleia e começa a se expandir, deixando o restante para a austenita, rica em carbono. Aos 727°C, a austenita restante é do tipo eutetóide (0,77%C) e termina por se transformar em perlita, como toda composição eutetóide. A estrutura resultante, portanto, é composta de ferrita, e regiões com perlita, como mostrado na Figura 1.16(b).

Os aços contendo mais de 0,77%C são os hipereutetóides e seguem a linha z-z' no resfriamento. O processo é similar ao hipoeutetóide, porém, ao invés de se formar a ferrita com fase primária, forma-se a cementita, devido ao excesso de carbono. A Figura 1.16(c) mostra um exemplo típico dessa microestrutura. Estas transformações descritas são obtidas pelo resfriamento, ou aquecimento, lentos. Em casos de resfriamentos rápidos como nos casos de têmpera, as estruturas formadas são inteiramente diferentes e apresentam propriedades diversas. Esta é a propriedade explorada e da qual se beneficiam os tratamentos térmicos de endurecimento, como a têmpera.

Por tratamento térmico entende-se a operação de aquecer um material e, em seguida resfriá-lo, em condições controladas, com a finalidade de dar-lhe propriedades especiais. Como exemplos citam-se algumas ligas que podem sofrer tratamentos térmicos: Fe-C, Al-Cu, Cu-Sn (Bronze), Cu-Zn (latão), Cu-Ag, Cu-Cr, etc. (Pereira, R.L., 1979).

O primeiro, e mais simples, tratamento térmico aplicado aos aços é o **recozimento**. Trata-se de um tratamento onde o aço é aquecido e resfriado de forma suave, com baixas velocidades. É utilizado com as seguintes finalidades:

- Regularizar a estrutura de um aço vindo de processo de fusão, dando maior homogeneidade à estrutura;
- Regularizar a estrutura de um material vindo de processo de deformação a frio reduzindo tensões;
- Reduzir a dureza em materiais que tenham sofrido aumento indesejado de dureza;

A temperatura de aquecimento varia conforme a porcentagem de carbono no aço, ou a presença de elementos de liga. Para os aços ao carbono esta temperatura varia entre 750 e 930°C, sendo as mais altas para aços de baixo teor de carbono. O material deve permanecer na temperatura de aquecimento estipulada por um tempo suficiente para a completa homogeneização, além de permitir a difusão do carbono na austenita. Grosseiramente, para aços em geral, o tempo de permanência recomendado é em torno de 20 minutos para cada 10 mm de espessura da peça. Normalmente testes práticos são recomendados antes de se recozer uma peça única e importante. Um tempo excessivo de permanência na temperatura de aquecimento permitirá o crescimento dos grãos, uma vez que permite a expansão ou fusão de grãos adjacentes. Um tempo insuficiente pode levar a um recozimento irregular ou distorções. O resfriamento da peça deve ser lento como, por exemplo, mantendo-se a peça no forno e desligando-o, constituindo-se a prática mais comum. São também utilizados outros meios de resfriamento para o recozimento, tais como: resfriamento em areia, em cinza, cal ou ar parado. Peças grandes ou com baixo teor de C podem ser resfriadas mais rapidamente. Aços ligados, ao contrário, devem ser resfriados bem lentamente, pois podem aumentar a dureza, mesmo sendo resfriados em ar parado.

A **normalização** é outro tratamento térmico semelhante ao recozimento, porém as temperaturas de aquecimento são ligeiramente superiores às de recozimento, o resfriamento é sempre ao ar e sua finalidade é a de uniformizar e refinar a granulação dos aços. Sendo mais altas as temperaturas, permite-se ao aço maior uniformidade de distribuição do carbono na austenita. A normalização é muito empregada antes da têmpera, com a finalidade de evitar aparecimento de trincas e empenamentos.

Outro tratamento térmico muito comum aos aços é a **têmpera**, utilizada com a principal finalidade de aumentar a resistência mecânica. Este tratamento consiste em aquecer o aço até temperaturas idênticas às das do recozimento, porém seguido por resfriamento rápido. Na têmpera os meios de resfriamento vão desde água salgada (meio severo) até óleo (meio brando). Neste tratamento as finalidades são: aumentar a dureza, os limites de escoamento e de resistência, porém em detrimento da resiliência, alongamento e da ductilidade.

A prática de mergulhar aço aquecido, com a cor vermelha, em água é um procedimento conhecido desde há muito pelo homem. Espadas já passaram por esse procedimento e aqueles que dominavam esta prática já foram conhecidos como possuidores de poderes extraordinários. Estudos científicos, no entanto, tornaram esse conhecimento tácito disponível a qualquer um que se disponha a aprender. Estes estudos possuem somente cerca de 100 anos e muito ainda pode ser desenvolvido nesta área. Um dos grandes desafios iniciais foi o entendimento da importância da velocidade de resfriamento, uma vez que se trabalha fora do diagrama de equilíbrio. Variações na velocidade de resfriamento resultam em aços temperados com grandes diferenças nas propriedades mecânicas. O entendimento do *diagrama TTT*, ou *diagrama tempo-temperatura transformação*, é a chave para entender-se como os aços são endurecidos pela têmpera. A Figura 1.17 mostra um diagrama TTT para aço de composição eutetóide (0,77%C).

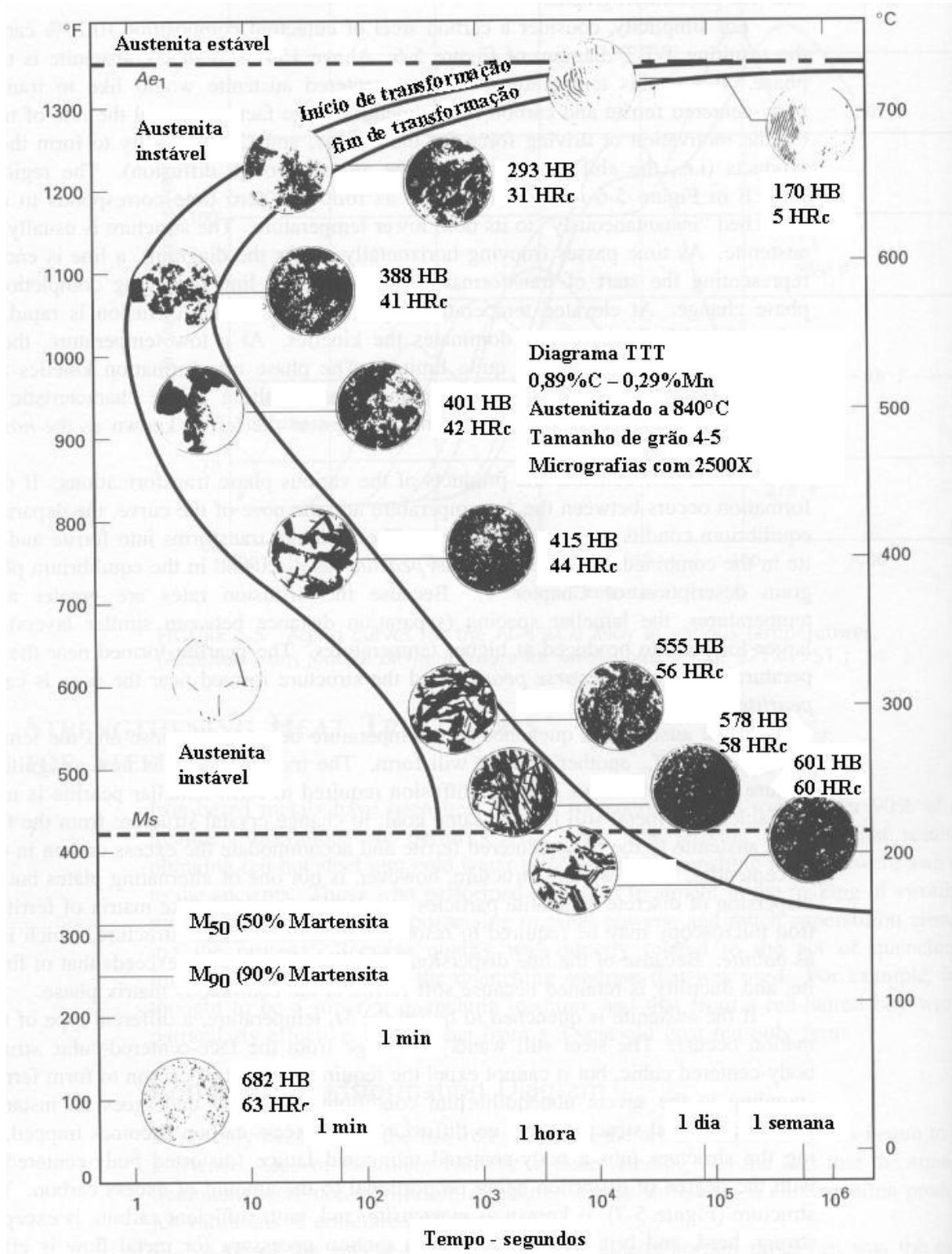


Figura 1.17 – Exemplo de diagrama TTT para aço eutetóide (0,77%C)

Acima de 727°C austenita, cfc, é a fase estável e abaixo disso tende a se transformar em ferrita ccc e cementita, rica em C. Dois fatores controlam a taxa de transformação: uma motivação para a transformação e a habilidade para uma difusão em um sólido. Um resfriamento para a temperatura

ambiente em tempo muito curto, usando-se um meio muito severo, com água, por exemplo, em uma peça de pouca massa, produzirá uma estrutura que passando á esquerda da curvas de início e fim de transformação. A estrutura resultante será uma austenita instável, a qual tenderá a se transformar em ferrita+cementita, uma vez que esta é a mais estável nas condições ambientes. Neste caso a motivação para a transformação será alta, porém a habilidade para difusão será baixa, devido à estrutura cristalina sólida. Caso o resfriamento seja muito lento deixará tempo suficiente para que as mudanças ocorram e as estruturas resultantes serão aquelas discutidas no diagrama de equilíbrio.

Se a austenita, no entanto, é resfriada para temperaturas abaixo da temperatura  $M_S$ , (Figura 1.17) um tipo diferente de transformação ocorrerá. A transformação estará distante daquela de equilíbrio e a difusão requerida para formar perlita não ocorrerá. Por outro lado o material ainda tenderá a mudar de austenita cfc para ferrita ccc e acomodar o carbono restante na forma de cementita. Devido à estrutura cristalográfica e à baixa temperatura esta transformação ocorre, mas o excesso C não pode mais ser expulso para forma a ferrita. Em resposta ao severo estado de não equilíbrio, o material passa por uma severa mudança na estrutura cristalina com baixíssimas possibilidades de difusão. O excesso de carbono, nesta nova estrutura, tendendo a ccc, se torna prisioneiro distorcendo a célula unitária em uma estrutura tetragonal de corpo centrado com um grau de distorção proporcional ao excesso de carbono. A nova estrutura conseguida é chamada de *martensita* e, com uma porcentagem suficiente de carbono é extremamente dura e frágil. A Figura 1.18 mostra um exemplo dessa estrutura.



Figura 1.18 – Estrutura típica de martensita. 1000 x

A dureza da estrutura martensítica é proporcional à porcentagem de carbono no aço, sendo que abaixo de 0,10% fica abaixo de 30 HRc, o que não representa vantagem no tratamento térmico. Entre 0,3 e 0,7% C a dureza aumenta rapidamente atingindo cerca de 65 HRc. Acima de 0,7%, contudo, não há significativo aumento de dureza e começam a aparecer traços de austenita retida, prejudicando a dureza e as propriedades mecânicas no material. Os diagramas TTT para aços hipo- ou hipereutetóides

são ligeiramente diferentes, uma vez que haverá outras estruturas primárias além da ferrita. Neste ponto, no entanto, é suficiente somente o entendimento simplificado do processo de endurecimento dos aços através do tratamento térmico de têmpera.

Devido à baixa tenacidade e ductilidade, a estrutura martensítica não encontra grandes aplicações em engenharia e, portanto, deve ser adequada a uma dureza um pouco menor, com maior ductilidade e tenacidade. Para conseguir tais propriedades usa-se outro tratamento térmico chamado **revenimento**. Consiste em aquecer o material abaixo da temperatura crítica de transformação ( $727^{\circ}\text{C}$ ) resfriado-o em seguida. Como a martensita é uma solução sólida de C supersaturada em uma estrutura de Fe- $\alpha$ , portanto, uma estrutura metaestável, o aquecimento provoca a rejeição de C, levando a transformação na direção de uma ferrita estável e fases de cementita. Esta decomposição é dependente do tempo e da temperatura para facilitar a difusão. As temperaturas de aquecimento variam entre  $300$  e  $700^{\circ}\text{C}$  dependendo da porcentagem de C e de seus elementos de liga. O tempo de permanência na temperatura de aquecimento depende das propriedades desejadas, sendo que maiores tempos implicam em menor dureza e maior ductilidade.

Em ligas cuja estrutura não permitem a formação de estruturas do tipo martensita, com as ligas de Al, Ni e Cu, necessita-se outro tipo de tratamento para melhoria de suas propriedades mecânicas. Utiliza-se o tratamento de **precipitação** seguida de **envelhecimento**. Ligas contendo determinadas porcentagens de elementos propícios a formar precipitados em solução sólida podem ser submetidos a este tipo de tratamento. Ligas de Al, por exemplo, com porcentagens de Cu abaixo de 5,65% apresentam esta propriedade. Uma liga de Al-4%Cu se aquecida a temperaturas acima de  $500^{\circ}\text{C}$  o Cu presente se dissolverá completamente na solução sólida. Um resfriamento rápido não permitirá que o excesso de cobre se precipite, uma vez que, à temperatura ambiente, somente 0,2% Cu pode existir em solução. Neste caso a estrutura resultante, após o resfriamento, será supersaturada em cobre e o excesso deverá se precipitar tão logo condições de temperatura e tempo o permitam. Se o material for submetido a temperaturas acima de  $170^{\circ}\text{C}$  cachos de cobre se formarão aumentando a resistência mecânica da liga e sua ductilidade. Controlando-se o tempo e a temperatura de envelhecimento, podem-se obter as melhores condições para as propriedades mecânicas desejadas no material.

Para outras ligas como de Cu, Ni, etc. tratamentos térmicos semelhantes são aplicados e leituras em publicações mais especializadas são recomendadas.

## **1.5 – Critérios de Resistência em Materiais**

Na maioria das operações envolvendo deformação dos materiais, quer seja em processos de conformação ou de usinagem, dificilmente haverá solicitação de tensões em apenas uma direção como nos ensaios de tração, compressão ou torção. Na sua grande maioria as solicitações são em estado triaxial de tensões. Na conformação por forjamento, por exemplo, o material sendo deformado sofre solicitações de tensões de compressão e cisalhamento, impostas pela pelo estampo. Num ensaio de tração simples as tensões atuam somente na direção axial do corpo de provas e quando esta atinge um determinado valor (tensão de escoamento, por exemplo) o material inicia sua deformação plástica. Contudo, se as solicitações forem em um estado mais complexo de tensões há relações entre este e o estado uniaxial de ensaio, permitindo uma comparação direta, assim, dos valores de escoamento em qualquer estado de solicitações. Estas relações são conhecidas como *Critérios de Resistência*. Os mais comuns são o de máxima tensão de cisalhamento e o da energia de distorção.

### 1.5.1 – Critério de Máxima Tensão de Cisalhamento

Este critério é também conhecido como critério de *Tresca* e estabelece que o escoamento ocorre quando a máxima tensão de cisalhamento atinge um valor crítico  $k$ . Ou seja,

$$\tau_{máx} \geq k \quad (1.9)$$

A Figura 1.19 mostra alguns exemplos de solicitações uni- bi- e tri-axiais, sua correspondente representação no círculo de Morh e a tensão máxima de cisalhamento.

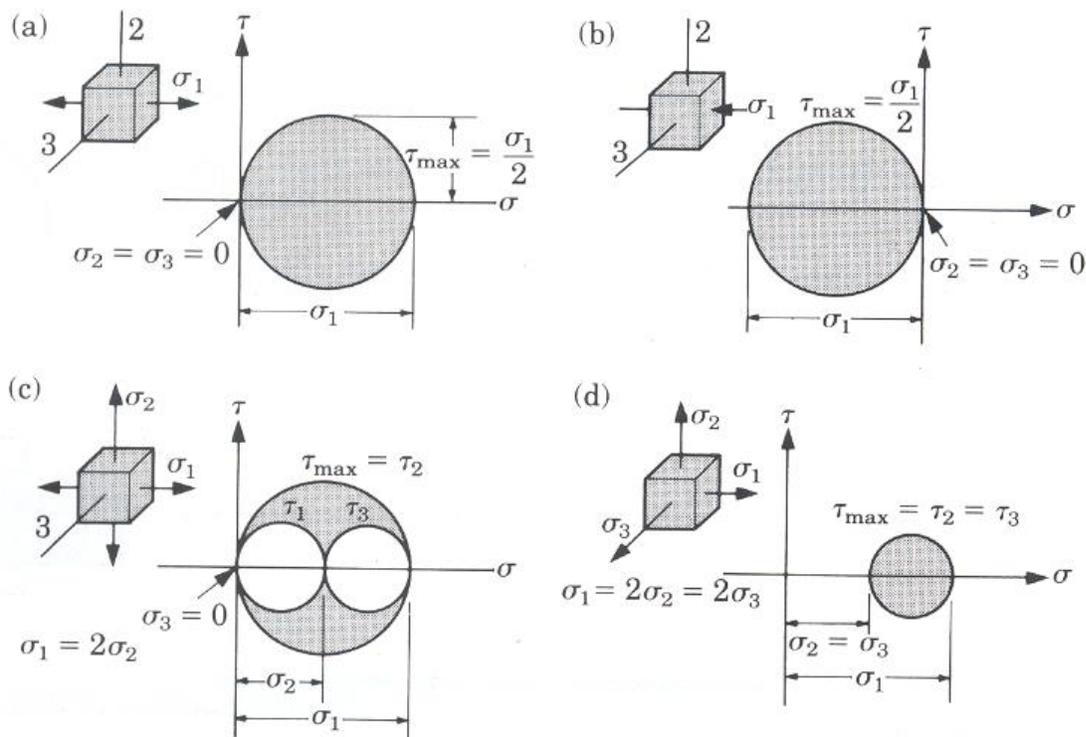


Figura 1.19 – Diversos estados de tensão, suas representações no círculo de Mohr e a relação com a máxima tensão de cisalhamento. (a) Estado uni-axial de tração; (b) Estado uni-axial de compressão; (c) Estado bi-axial (estado plano); (d) Estado tri-axial.

No ensaio de tração uni-axial, por exemplo, se o valor de tensão de escoamento atinge o valor  $Y$ , o valor de  $k$  será:

$$k = \frac{Y}{2} \quad (1.10)$$

Para um caso onde o estado de solicitações seja mais complexo pode-se escrever que:

$$\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n} = Y = 2k \quad (1.11)$$

Isto significa que a máxima e a mínima tensão normal produzem sempre o maior círculo e, portanto a maior tensão de cisalhamento. Conseqüentemente, as tensões intermediárias não afetam o escoamento.

### 1.5.2 – Critério da Energia de Distorção

Este critério é também conhecido como *Critério de Von Mises-Hencky*, sendo mais aplicável a materiais dúcteis, como a maioria dos materiais metálicos usinados ou conformados. A observação de que os materiais dúcteis, tensionados hidrosticamente (tração ou compressão iguais em todas as direções), possuíam limites de escoamento muito acima dos valores dados pelos testes de tração

normais originou esta teoria. Com base nestas constatações postulou-se que: o escoamento não é um simples fenômeno de tração ou compressão, mas, ao contrário, está relacionado de algum modo à distorção angular do elemento tensionado. Ora uma das mais antigas teorias de falhas previa que o escoamento começaria sempre que a energia total de deformação armazenada no elemento tensionado se tornasse igual à energia total de deformação de um elemento de um corpo de provas submetido um teste de tração, na ocasião de escoamento. Esta teoria, chamada Teoria da Energia de Distorção máxima, não é mais usada, mas foi precursora da atual energia de distorção. Sendo assim, considera-se a energia total de deformação, subtraindo-se dela qualquer energia usada somente para produzir variação de volume. A energia restante será a responsável pela distorção angular, que efetivamente produzirá o escoamento. A Figura 1.20 mostra como essa subtração pode ser representada:

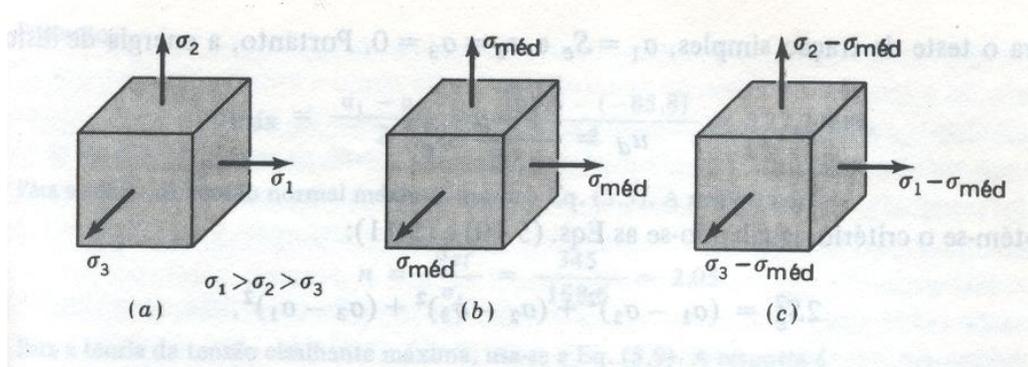


Figura 1.20 – Esquema representativo do Critério da Energia de Distorção. (a) Elemento com solicitação tri-axial, sofrendo simultaneamente variação de volume e distorção angular; (b) Elemento sob tensão hidrostática, sofre apenas variação de volume; (c) Elemento com distorção angular, sem variação de volume.

Para o elemento unitário mostrado na Figura 1.20(a), submetido a tensões de modo que  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ , a energia de deformação pode ser escrita como:

$$u_n = \frac{\sigma_n \varepsilon_n}{2} \quad (1.12)$$

onde  $n = 1, 2, 3$ . Portanto, da Equação (1.12), a energia total de deformação é:

$$u = u_1 + u_2 + u_3 = \left[ \frac{1}{2E} \right] \left[ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3) \right] \quad (1.13)$$

onde  $E$  é o módulo de elasticidade e  $\nu$  é o coeficiente de Poisson.

A seguir define-se uma tensão média:

$$\sigma_{méd} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (1.14)$$

e aplica-se esta tensão a cada uma das direções principais de um cubo unitário, Figura 1.20(b). As tensões restantes:

$$\sigma_1 - \sigma_{méd}$$

$$\sigma_2 - \sigma_{méd}$$

$$\sigma_3 - \sigma_{méd}$$

mostradas na Figura 1.20(c) produzirão somente distorção angular. Substituindo-se  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , e  $\sigma_3$  por  $\sigma_{méd}$  na Equação (1.13), obtém-se a quantidade de energia que produz somente variação de volume:

$$u_v = \frac{1}{2E} [3\sigma_{méd}^2 - 2\nu(3)\sigma_{méd}^2] = \frac{3\sigma_{méd}^2}{2E} (1 - 2\nu) \quad (1.15)$$

Substituindo-se  $\sigma_{méd}^2 = [(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3]^2$  na Equação (1.15) e simplificando-se, obtém-se:

$$u_v = \frac{1 - 2\nu}{6E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2\sigma_1\sigma_2 + 2\sigma_2\sigma_3 + 2\sigma_1\sigma_3) \quad (1.16)$$

Obtém-se então a energia de distorção, subtraindo-se a Equação (1.16) de (1.13):

$$u_d = u - u_v = \frac{1 + \nu}{3E} \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (1.17)$$

Nota-se que a energia de distorção é zero se  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ . Para o teste de tração simples:

$$\sigma_1 = Y \text{ e } \sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

Portanto, a energia de distorção neste caso é:

$$u_{dT} = \frac{1 + \nu}{3E} Y^2 \quad (1.18)$$

Pelo critério estabelecido o escoamento se dará quando a energia de distorção no ensaio de tração uni-axial se igualar ao estado tri-axial de tensões, ou seja:

$$u_d = u_{dT} \Rightarrow 2Y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (1.19)$$

que define o início do escoamento em qualquer estado de tensões.

Para qualquer critério de escoamento que se estabeleça, o escoamento acontecerá sempre que a tensão obtida no ensaio de tração uni-axial se iguale a  $Y$  calculada pelas relações acima.

## 2 - PROCESSOS DE CORTE E DOBRA DE CHAPAS

Uma grande quantidade de metais extraídos na mineração é transformada em materiais metálicos e esses comercializados na forma de chapas laminadas a frio, ou a quente, a custos compatíveis com o mercado. Tais chapas são transformadas em produtos como automóveis, máquinas de lavar, fogões, aviões, frascos para refrigerantes e alimentos, assim como materiais para construção e uma enorme variedade de objetos de todas as dimensões e utilidades. Metais na forma de chapas oferecem uma grande vantagem, pois se permitem cortar, dobrar e repuxar oferecendo versatilidade para criação das mais diversas formas finais de produtos. Uma gama muito grande de processos e técnicas são empregadas para produção de peças usando a chapa como matéria-prima.

Peças usando chapas metálicas são normalmente fabricadas a frio, embora conformação a quente seja também possível, especialmente quando as forças envolvidas resultam muito altas. Tiras de chapas, ou mesmo partes cortadas por cisalhamento são as formas mais comuns de entrada nas ferramentas de corte e de dobra de chapas. As ferramentas de corte e dobra abordadas neste texto são normalmente aplicadas em casos onde o volume de produção é médio ou alto, de forma que os custos de projeto e fabricação possam ser divididos pelo volume produzido, tornando o preço por unidade produzida acessível ao mercado. Ferramentas de corte e dobra, ou estampos, como normalmente são conhecidas, possibilitam a produção em altos volumes em tempo reduzidos, quando comparados à produção de uma peça somente. Também possibilitam uma excelente repetibilidade das características dimensionais e de propriedades mecânicas das peças, desde que o projeto e fabricação das ferramentas sejam adequados. A operação de uma máquina de conformação com ferramentas adequadas e bem ajustadas possibilita automação, contribuindo para maior produtividade e qualidade.

Os processos de conformação em chapas podem ser divididos em dois grandes grupos: corte e deformação plástica. No grupo de corte são processos que submetem o material ao cisalhamento entre duas arestas afiadas, levando-o à ruptura. Pode-se citar o corte por tesouras, facas de fio linear, curvo ou circular. Neste caso o material é fixado por um mecanismo chamado de prensa-chapas e submetido ao cisalhamento entre duas arestas que se movem na mesma direção e em sentidos opostos, com movimentos em trajetórias retas ou circulares. A Figura 2.1 ilustra, esquematicamente, o corte por cisalhamento com facas de fio linear.

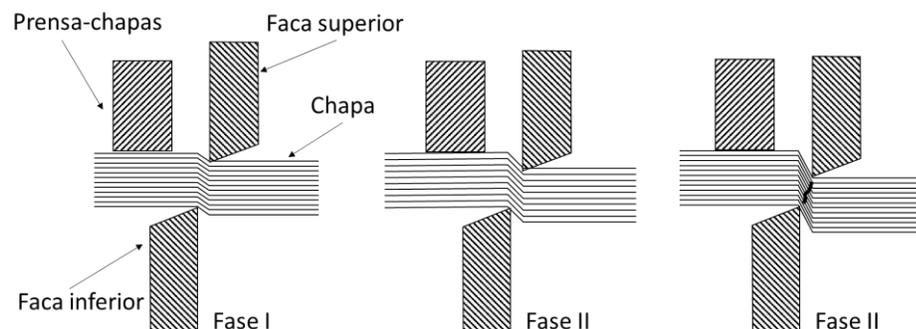


Figura 2.1 – ilustração do processo de corte usando facas de fio linear.

A Figura 2.2 ilustra o corte de chapas com facas de fio circular.

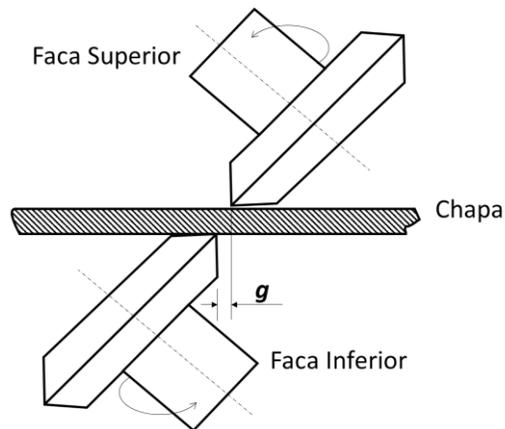


Figura 2.2 – Corte de chapas com facas de fio circular.

Muitas vezes, antes de se usar uma ferramenta de corte e/ou dobra para a produção de peças, as chapas vindas das usinas, na forma retangular ou em bobinas, devem ser partidas em fitas, por processos de corte usando os processos mostrados nas Figuras 2.1 e 2.2.

No puncionamento a chapa é submetida ao cisalhamento pelas arestas da matriz e do punção, conforme ilustrado na Figura 2.3

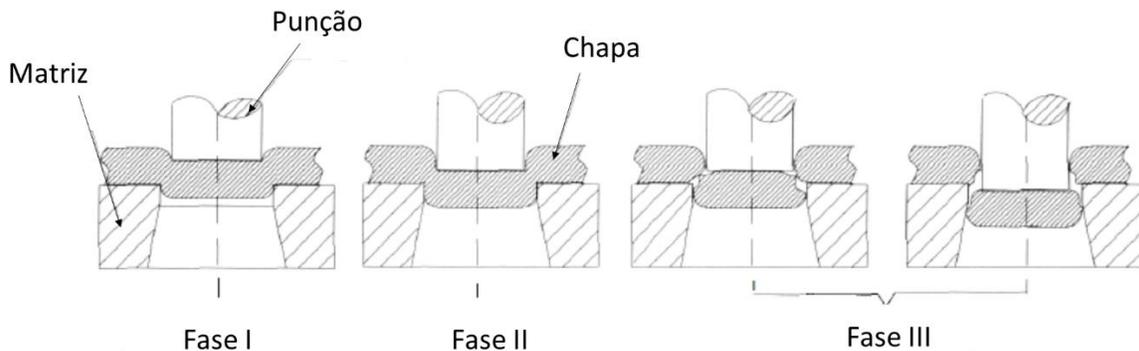


Figura 2.3 – Ilustração do processo de corte por puncionamento.

O formato da secção transversal dos punções pode ser o mais variado possível, sendo o quadrado e o redondo, os mais comuns. A furação por cisalhamento tem limitações quanto à relação entre o diâmetro do furo a ser executado e a espessura do material, o que é função da resistência ao cisalhamento do material a ser cisalhado, conforme mostrado na Figura 2.4.

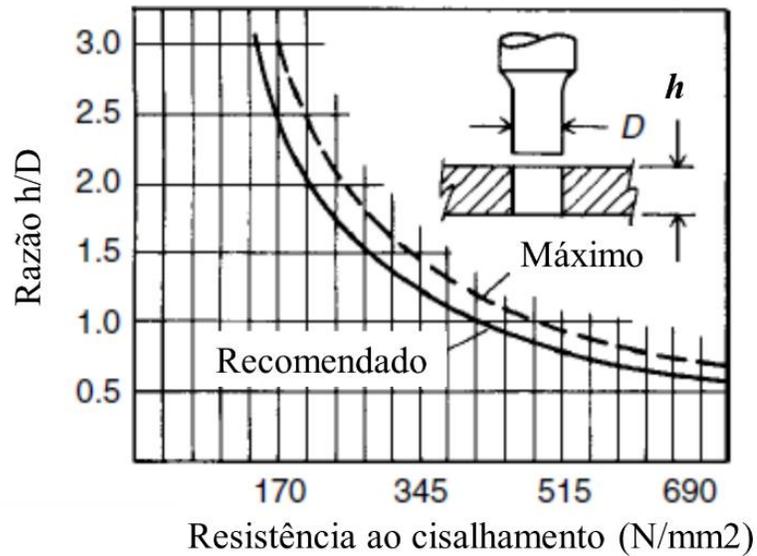


Figura 2.4 – Limite para a razão entre a espessura da chapa e o diâmetro do furo (Anonymous, 1998).

Nos processos de deformação plástica dois grupos também podem ser encontrados: Dobra e Repuxo. O processo de dobra consiste em submeter a chapa a tensões impostas por um punção e uma matriz que ao serem pressionados sobre a chapa em sentidos opostos a deformam até o formato final desejado. A Figura 2.5 mostra alguns exemplos de processos de dobra de chapas.

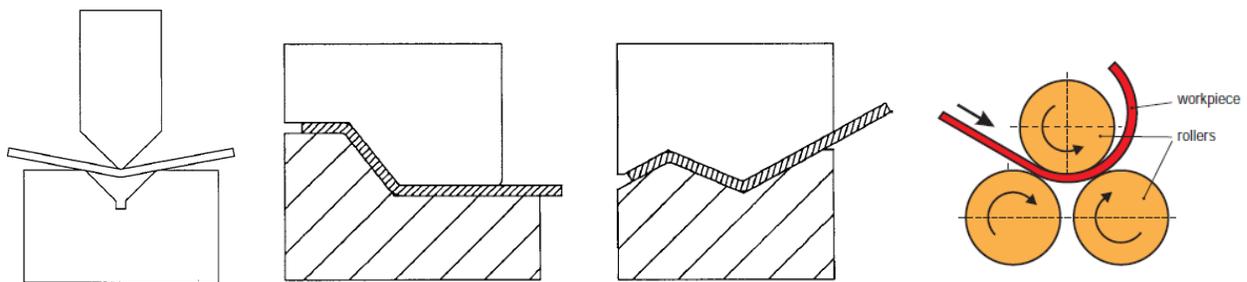


Figura 2.5 – Exemplos de dobra de chapas.

Nos processos de repuxo a chapa presa (por um mecanismo chamado de prensa-chapas) em suas extremidades contra a matriz, a qual somente contém a seção transversal da forma final. Depois disso um punção com a forma desejada a força repuxando a chapa. Este processo é mais comumente empregado para produção de copos, ou recipientes assim parecidos. A Figura 2.6 mostra exemplos dessas operações.

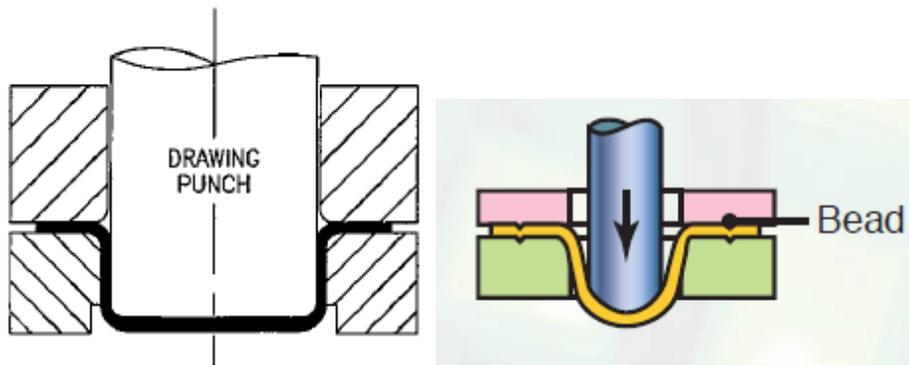


Figura 2.6 – Exemplos de processos de repuxo em chapa.

Os exemplos mostrados anteriormente são os mais tradicionais. Há, no entanto, um número muito grande de variações para cada um dos grupos apresentados, vide, por exemplo os itens relacionados na Bibliografia deste texto.

O projeto de um estampo é uma tarefa importante pelo fato de que essas ferramentas não são, normalmente, encontradas prontas comercialmente. Cada estampo deve ser projetado e construído de forma única, para executar operações específicas. Há, no entanto, partes de um estampo, as quais são comuns e que podem ser adquiridas comercialmente, o que deve sempre ser preferido para diminuir os tempos de projeto e execução. O texto a seguir orienta projetistas e engenheiros na tarefa de projetar ferramentas de corte e dobra.

### **3 PROJETO DE FERRAMENTAS DE CORTE E DOBRA DE CHAPAS.**

A opção por peças estampadas a partir de chapas vai depender, em grande parte, da avaliação de custo e de funcionalidade do componente concebido pelo Engenheiro de Produtos. Em geral, a opção por peças estampadas proporciona um custo inicial maior, porém um custo unitário muito baixo, desde que a expectativa de produção seja de um número alto de peças ou alta a frequência de produção de pequenos lotes. Adicionalmente, o ciclo de tempo de produção tende a ser muito baixo em comparação com outros processos capazes de produzir a mesma peça com qualidade similar, em termos dimensionais e de resistência mecânica. Prensas excêntricas, por exemplo, o tipo mais comum, podem trabalhar entre 60 a 90 golpes por minuto. No caso de se produzir pelo menos uma peça por golpe, tem-se uma produção horária de 60 a 90 peças por hora. Componentes de forma geométrica simples, que possam ser produzidos com cortes e dobras combinados, são os mais indicados para esse processo. A Figura 3.1 mostra alguns exemplos de peças produzidas pela combinação de cortes e dobras.

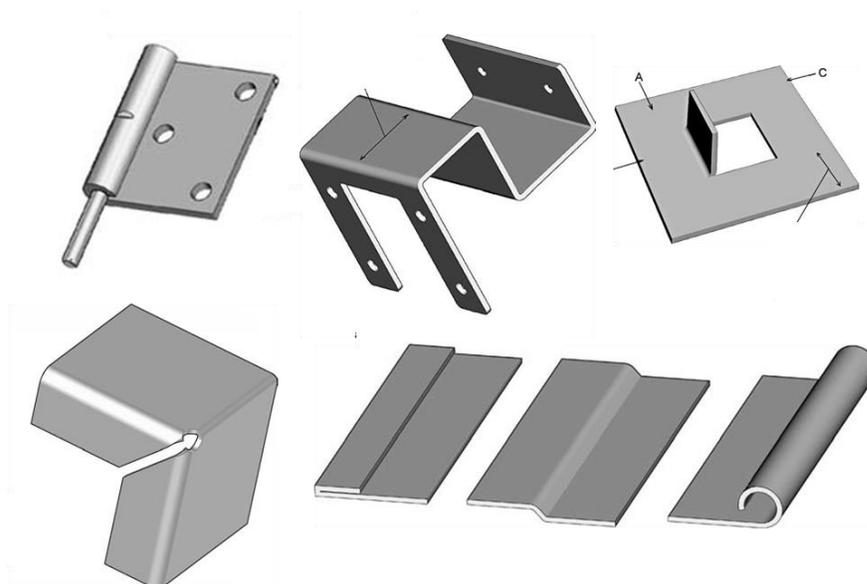


Figura 3.1 – Exemplos de peças produzidas pela combinação de cortes e dobras em chapas.

Assim, tomada a decisão de que a peça será produzida por corte e/ou dobra, inicia-se o projeto da ferramenta, o estampo. Um estampo pode ser simples se a cada golpe da prensa uma peça completa é fabricada, ou progressivo se a peça é conformada progressivamente, necessitando, pois de vários passos para completar uma unidade. Independentemente do tipo de estampo, algumas partes são comuns a todos, as quais são mostradas na Figura 3.2.

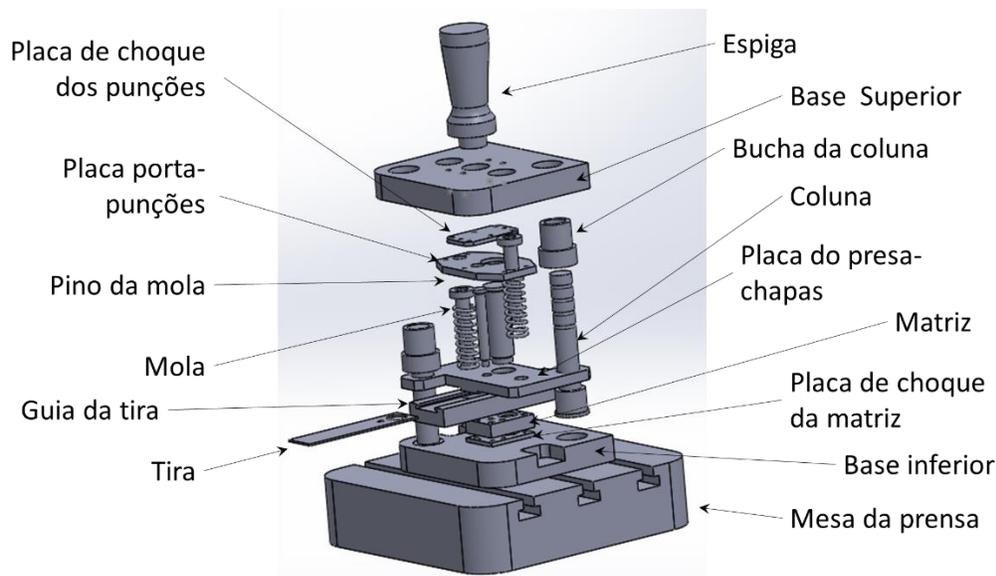


Figura 3.2 – Exemplo de partes que compõem um típico estampo de corte e dobra.

A Figura 3.3 mostra detalhes internos do mesmo estampo para uma visão mais detalhada das partes internas.

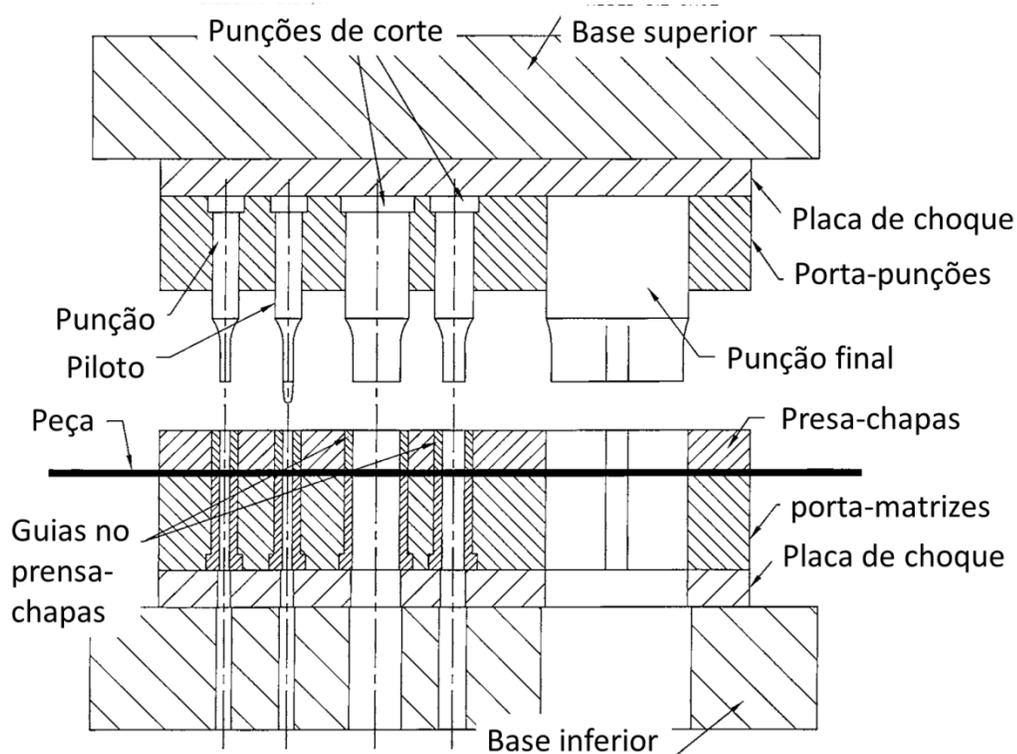
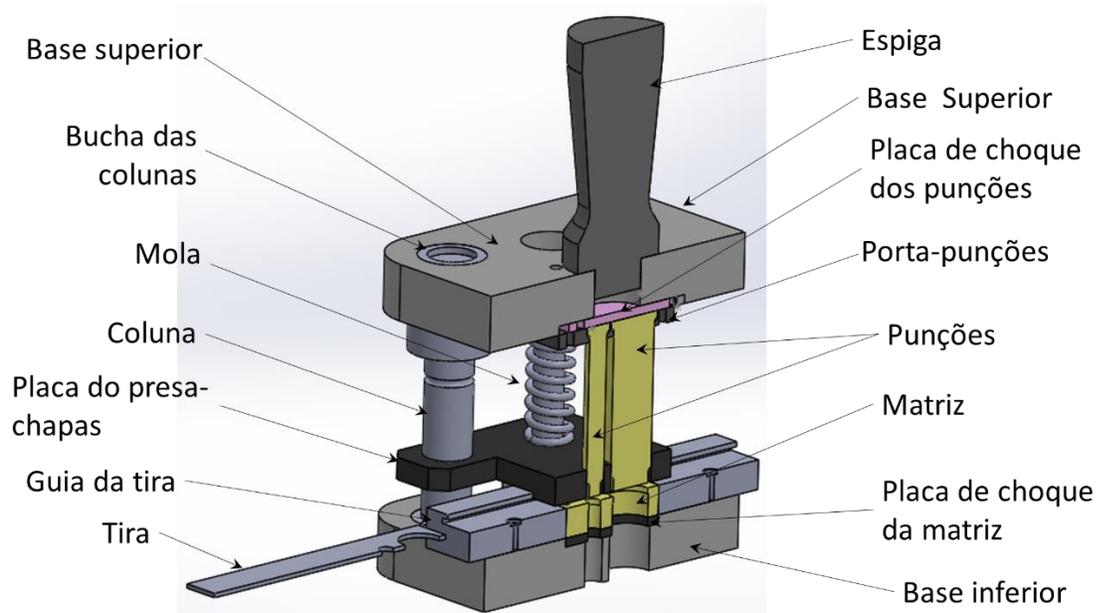


Figura 3.3 – Exemplos de partes internas que compõem um típico estampo de corte e dobra.

Para se iniciar o projeto de uma ferramenta para corte e dobra várias decisões já devem ter sido tomadas com base em informações diversas de ordem econômica, estratégica, por conveniência, etc. O projeto da ferramenta propriamente pode se iniciar de diversas formas, uma vez que todo projeto mecânico se faz por um processo iterativo. Com a experiência adquirida em vários projetos, pode-se diminuir significativamente o número de iterações nesse processo. Sendo assim, este texto está organizado em uma ordem que visa diminuir o número de iterações e, portanto, o tempo de projeto. A

ordem aqui apresentada não significa, no entanto, a ideal para todos os projetos e iterações sempre poderão ocorrer, ou seja, à medida que se avança no projeto, algumas decisões já tomadas podem necessitar revisão e correção. Trata-se de um processo natural em qualquer projeto e mesmo problemas simples, executados por engenheiros e projetistas experientes podem resultar em correções de rumo à medida que se avança. O primeiro passo recomendado para o projeto de um estampo de corte e dobra é o projeto e definição da tira.

### 3.1 – Projeto da Tira

Como projeto da tira compreende-se a definição da matéria-prima a ser inserida no estampo para a produzir a peça estampada e a definição da sequência de operações de corte e de dobra. Inicialmente deve-se avaliar se a tira será cortada de chapas (em geral com 1200 mm x 3000 mm) ou será na forma de bobinas (com uma largura definida e comprimento de 50m, 100 m, ou mais). O ponto principal a ser considerado é o volume de peças a ser produzido, ou o tamanho do lote, tempo de ciclo de produção, disponibilidade no mercado de matéria-prima desejada. Para lotes grandes (milhares de peças) e reduzidos tempos de produção a compra de bobinas deve ser preferida. Neste caso deve-se especificar a largura necessária, pelo projeto, uma vez que o comprimento dependerá mais da capacidade de se transportar o peso e a dimensão final da bobina. Também deve-se preferir a alimentação automatizada da bobina no estampo, sendo essa mais uma razão para que o volume produzido seja alto e os tempos de ciclo baixos, maximizando a produtividade. A Figura 3.4. Mostra um exemplo de ferramenta trabalhando com matéria-prima na forma de bobina.

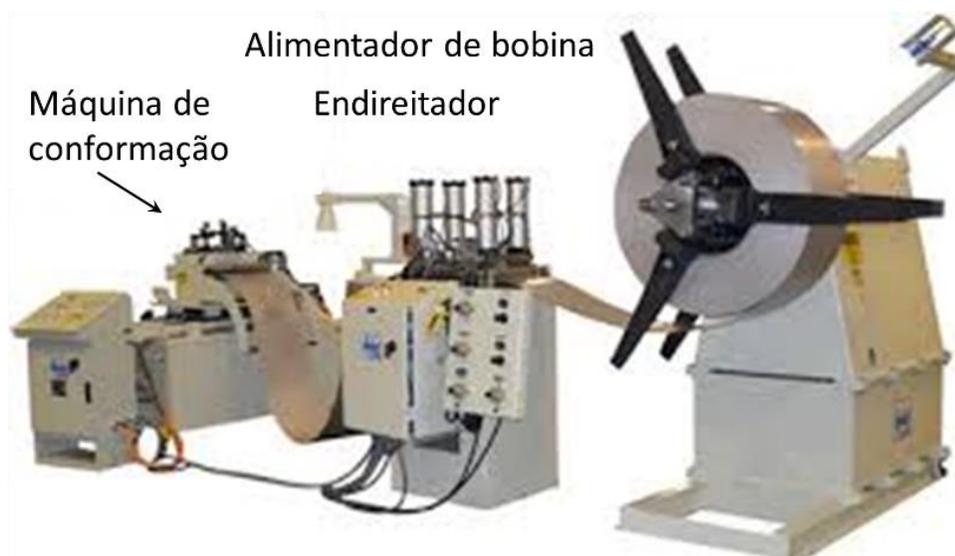


Figura 3.4 – Exemplo de um sistema de alimentação por meio de bobona de chapa.

Para outros casos, podem-se cortar em guilhotinas as tiras na largura desejada, a partir de bobinas ou mesmo chapas planas maiores, as quais em geral são compradas das usinas nas dimensões 1200 x 3000 mm, ou em dimensões diferentes, mas padronizadas. A Figura 3.5 mostra um exemplo de corte de uma fita na largura especificada a partir de matéria-prima na forma de bobina.



Figura 3.5 – Exemplo de corte de uma fita na largura especificada a partir de uma bobina.

A alimentação da tira na entrada do estampo deve ser projetada de forma a guiar corretamente a mesma para o corte ou dobra, mantendo-a alinhada e com movimento uniforme ao longo da operação. Um bom projeto permitirá ainda que a tira, ou os retalhos, sejam extraídos ao final sem dificuldades. Um exemplo típico de um sistema de guia é mostrado na Figura 3.6.

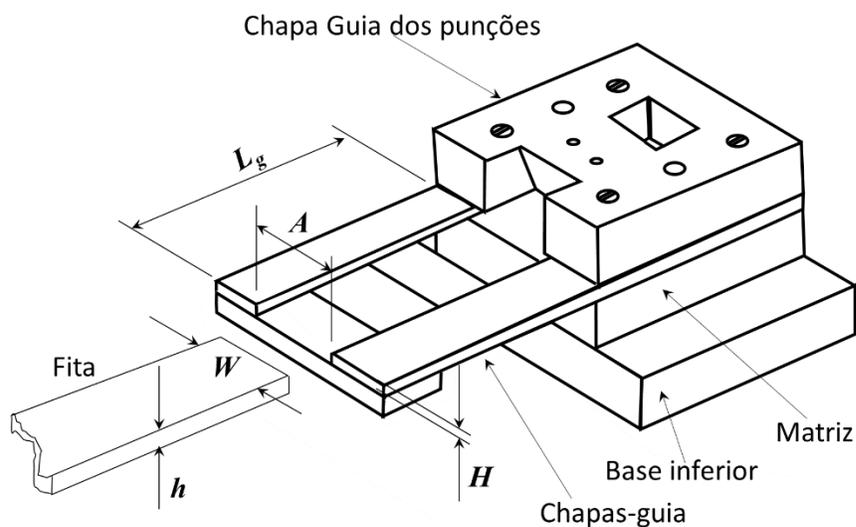


Figura 3.6 – Exemplos de sistema de alimentação de tiras para estampas de corte e dobra.

Recomendações para o comprimento  $L_g$  é que esteja entre 0,75 e 1,0 do comprimento das bases, embora essa proporção seja apenas uma indicação, pois vai depender muito do tipo de sistema de alimentação, se manual usando tiras extraídas de chapas, ou automático usando bobinas. Maior importância, no entanto, deve ser dada às dimensões  $A$  e  $H$ , pois dessas dependerá o funcionamento uniforme da ferramenta. Para ilustrar melhor essas dimensões a Figura 3.7 mostra uma seção em corte com os perfis das principais partes envolvidas.

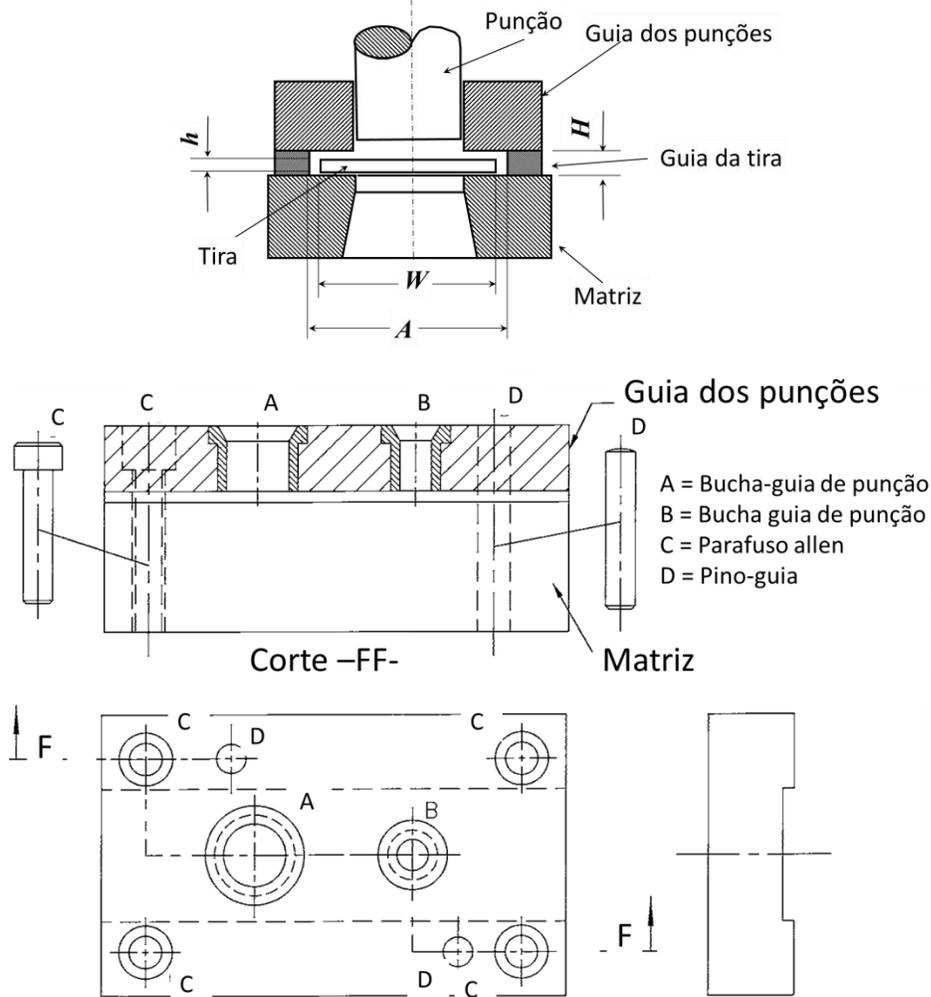


Figura 3.7 – Corte dos detalhes do sistema de alimentação da tira.

As recomendações para as dimensões  $A$  e  $H$  estão na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Recomendações para as dimensões  $A$  e  $H$  para projeto do sistema de alimentação da tira no estampo.

Espessura da Chapa $h$ (mm)	Dimensão $H$ (mm)		Dimensão $A$ (mm)
	Alimentação Manual	Alimentação automática	
			$A = W + 2c$

$< 2$	4 a 6	4 a 6	$c = 0,25$
$2 \leq h < 3$	6 a 8	6 a 8	$c = 0,25$
$3 \leq h < 4$	8 a 10	6 a 8	$c = 0,75$
$4 \leq h < 6$	10 a 12	8 a 10	$c = 0,75$
$6 \leq h < 10$	12 a 15	10 a 15	$c = 0,75$

A segunda parte nesta etapa do projeto da tira está em decidir-se como a ferramenta deverá executar cada passo para que se obtenha a peça final. Para estampos simples, nos quais em um único golpe da prensa a peça completa é executada, não há necessidade desta segunda parte, mas para os casos em que o estampo será progressivo, os passos devem ser estipulados. Sempre se deve tentar executar o menor número de passos possível, diminuindo-se assim o tamanho geral do estampo. O custo de fabricação desta ferramenta guarda uma relação direta com o peso final. Assim, quanto mais leve resultar o estampo, menor será o custo, com raras exceções mais ligadas à precisão dimensional dos componentes. Todas as fases seguintes irão depender dessa inicial, mas não se deve tentar minimizar todos os aspectos, inicialmente. Ao tentar pensar em todos os aspectos seguintes e na sua minimização, pode-se incorrer no erro de demorar muito para avançar gastando-se muito tempo nessa fase. Deve-se balancear essa decisão, em termos de tempo, deixando-se aberta a possibilidade de retorno e mudanças, à medida que se avança no projeto. Ao buscar a minimização do número de passos necessários para a peça final, sempre deve-se pensar em reservar um último passo para corte da tira em retalhos o que facilitará a armazenagem e a reciclagem dos retalhos.

A otimização do uso de material deve ser um dos principais aspectos nessa etapa para minimizar a geração de retalhos, os quais serão um dos resíduos do processo de conformação. Para otimizar o aproveitamento de material, várias ideias podem ser usadas. A Figura 3.8 sugere algumas possibilidades para peças no formato de “L”, por exemplo.

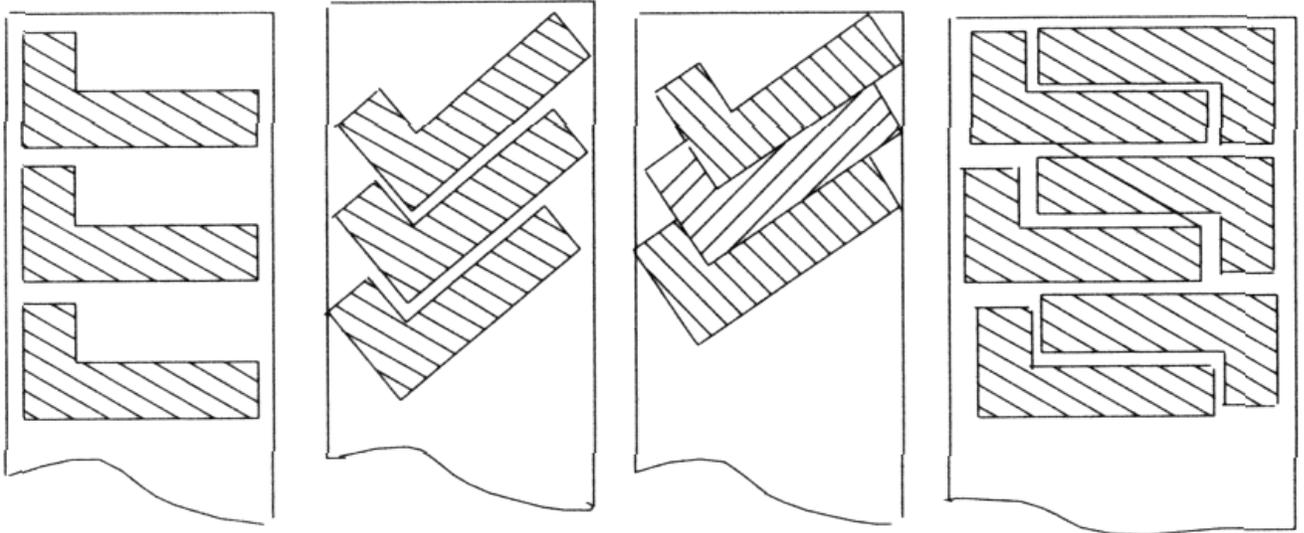


Figura 3.8 – Sugestões de otimização de material para peças na forma de “L”.

A Figura 3.9 sugere ideias para modificações no projeto do produto, que podem minimizar o uso de material.

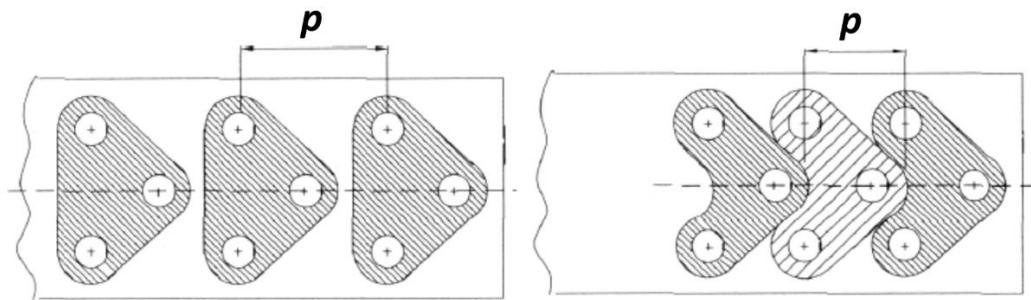


Figura 39 – Exemplo de pequenas modificações no produto que podem racionalizar o uso de material.

A Figura 3.10 mostra um outro exemplo de peças que podem ser cortadas de forma a maximizar o número de peças por área da tira, minimizando-se o uso de material.

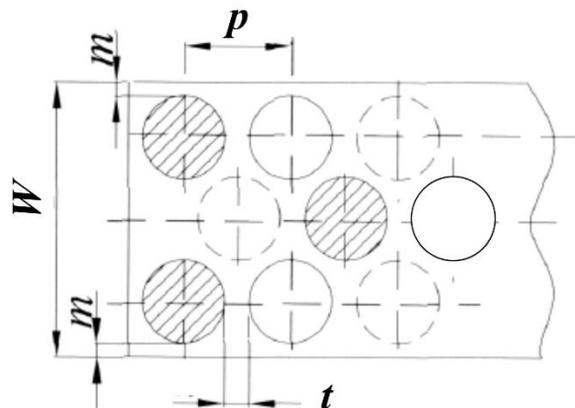


Figura 3.10 – Maximização do número de peças por área da fita.

As dimensões  $m$  e  $n$  são fundamentais para o bom funcionamento da ferramenta. Se exageradas, perde-se o objetivo de minimização do uso de material. Se muito pequenas, podem levar ao mau funcionamento do estampo. A Tabela 3.2 mostra recomendações para essas dimensões, as quais devem garantir um bom funcionamento.

Tabela 3.2 – Recomendações de espaços entre as peças, ou para sobras laterais na fita.

Alguns autores e alguns industriais adotam para o estudo da tira os dados fornecidos pela tabela abaixo.

Estes valores são de orientação e podem ser alterados convenientemente. Eles são escolhidos em relação a A ou B conforme o caso, dependendo da influência de cada um. É bom não esquecer que a tira de sobra deverá permanecer *rígida*.

	Espessura mm	A ou B	x	t	z	ε	δ
Aço doce, ferro, latão, bronze fosforoso, alumínio e similares	0,2–0,5	10	0,5	0,5–1,2	1	0,5	3
		10–30	0,5–1	1,2–2	1–1,5	0,5	3
		30–100	1–2	2–3	1,5–2	0,5–1	3,5
		100–300	2–3	3–5	2–2,5	1–2	4
	0,5–1	10	1	1–1,5	1,5	1	3
		10–30	1–1,5	1,5–2	1,5–2	1	3,5
		30–100	1,5–2	2–3,5	2–2,5	1–2	4
1–1,5	10	1,5	1,5–2	2	1,5	3	
	10–30	1,5–2	2–2,5	2–2,5	1,5	3,5	
	30–100	2–2,5	2,5–3,5	2,5–3	1,5–2,5	4	
1,5–2	10	2	2–2,5	2,5	2	3,5	
	10–30	2–2,5	2,5–3,5	2,5	2	4	
	30–100	2,5–3,5	3,5–5	2,5–3	2–3	4	
2–3	10	3	3–3,5	3,5	3	4	
	10–30	3–3,5	3,5–4	3,5–4	3	4	
	30–100	3,5–4,5	4–5	4–4,5	3–4,5	5	
3–5	10	5	5–5,5	5	5	5	
	10–30	5–5,5	5,5–6	5–6	6	5	
	30–100	5,5–6	6–8	6–7	6–8	6	
100–300	10	6–8	8–10	7–8	8–10	8	
	10	2	2–2,5	2,5	1,5	3	
	10–30	2–2,5	2,5–3	2,5–3	1,5–2	3,5	
0,2–0,5	30–100	2,5–3	3–4	3–4	2–2,5	4	
	100–300	3–4	4–5	4–5	2,5–3	6	
	10	2,5	2,5–3	2,5	2	3	
0,5–1	10–30	2,5–3	3–4	2,5–3	2–2,5	3,5	
	30–100	3–4	4–6	3–4	2,5–3	4	
	100–300	4–6	6–8	4–5	3–4	6	
1–2	10	3	3–4	3	2,5	3	
	10–30	3–4	4–5	3–4	2,5–3	3,5	
	30–100	4–5	5–6,5	4–5	3–4	5	
100–300	10	5–6,5	6,5–10	5–6	4–6	6	
	10	0,5	1	2	0,5	3	
	10–50	0,5–2	1–3	2–3	0,5–1,5	3,5	
0,2–0,5	50–200	2–4	3–5	3–5	1,5–5	4	
	10	1,5	1,5	3	1	3	
	10–50	1,5–3	1,5–3,5	3–4	1–1,5	3,5	
0,5–1,5	50–200	3–5	3,5–5,5	4–5	1,5–3	4	
	10	3	3	5	2,5	3	

Sempre deve-se lembrar que os valores recomendados pela Tabela 3.1 são mínimos, mas que podem ser alterados mais à frente no projeto, por exemplo, devido a pouca resistência mecânica na matriz, devido à excessiva proximidade entre os passos. Novamente, deve-se lembrar que o projeto é uma atividade que pode demandar iterações entre as suas diversas etapas.

Em outros casos pode-se também pensar maximizar o aproveitamento de material, extraindo-se peças menores do que seria descartado em peças maiores. Isso é ilustrado na Figura 3.11.

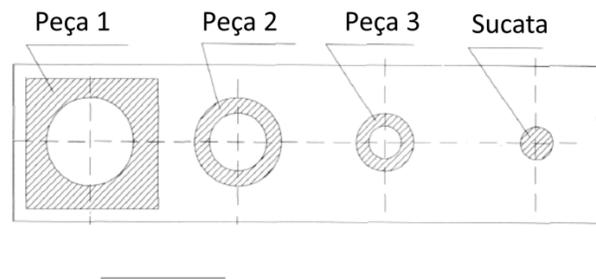


Figura 3.11 – Maximização do aproveitamento de material, extraindo-se peças menores de material que seria descartado de peças maiores.

Lembrando-se que cortar a sobra da tira em retalhos pequenos é sempre desejável, a Figura 3.12 mostra dois exemplos de como alcançar esse objetivo, com ideias simples.

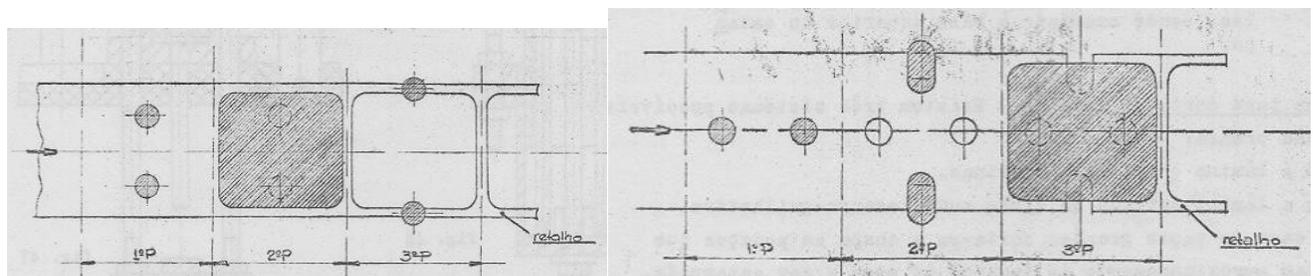


Figura 3.12 – Ideias simples para cortar a sobra da fita em retalhos.

Como última recomendação para a definição do desenho da tira e consequente estabelecimento dos passos necessários deve-se balacear os passos no que diz respeito às cargas em cada um. Se as cargas forem demasiadamente desequilibradas entre os passos, pode acontecer que a posição da resultante das forças se localize muito longe do centro das bases. Na posição geométrica dessa resultante se colocará a espiga, a qual liga o cabeçote da prensa à ferramenta. Para evitar momentos sobre o cabeçote a cada golpe, a resultante não deve estar a mais do que 10% fora da posição central. Ferramentas que não obedecem a esses critério e devem produzir milhares de peças, desgaste excessivo e irregular serão certos, além de prejudicarem a precisão dimensional da prensa, a longo prazo. Assim, deve-se sempre que possível tentar o melhor equilíbrio de cargas entre os passos, buscando a uniformidade dos perímetros de corte entre os passos. Caso isso não seja possível, recomenda-se o uso

de colunas em maior número, ou mais reforçadas, para minimizar o momento resultante sobre a prensa. Nesta fase, deve-se buscar esse equilíbrio, sem no entanto, proceder o cálculo final das cargas de corte, e/ou dobra, que será feito na próxima etapa. A Figura 3.13 mostra exemplos mais complexos de projetos de tira.

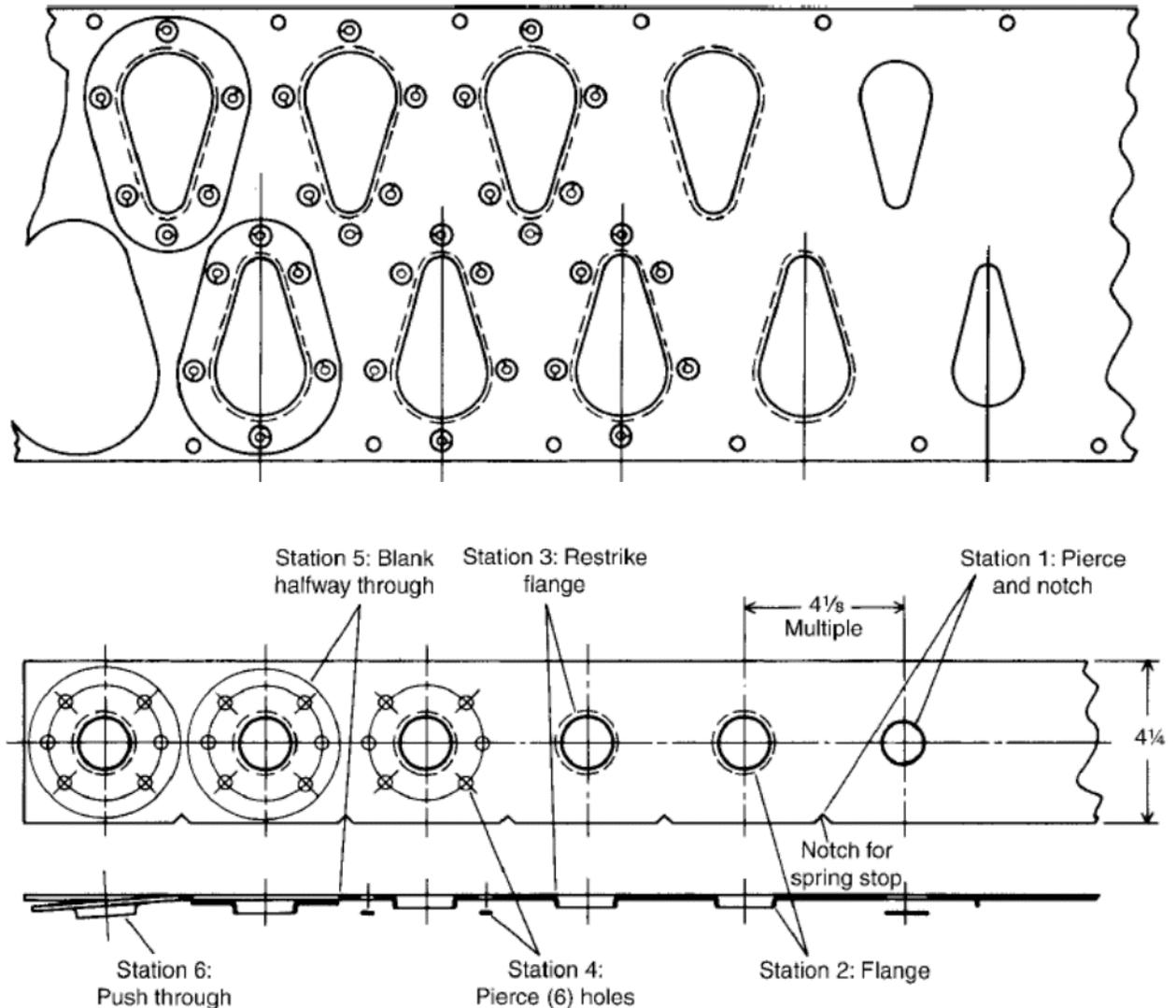


Figura 3.13 – Exemplos de projetos mais complexos para tiras de peças com corte e dobra.

Para completar o projeto da tira há que se pensar ainda na marcação do passo do estampo progressivo para garantir que a alimentação seja realizada progressivamente e em alinhamento com o passo anterior. Quando a alimentação da máquina é automática, o passo pode ser determinado pelo avanço controlado do alimentador. Quando não for possível essa automação ou a alimentação for manual, algum tipo de marcador deve ser previsto. Diversos são os sistemas para esse fim, com maior ou menor complexidade, dependendo da produtividade desejada e da precisão dimensional da peça

acabada. Algumas ideias são simples para pequenos lotes de peças com baixo grau de precisão dimensional. A Figura 3.14 mostra alguns desses sistemas.

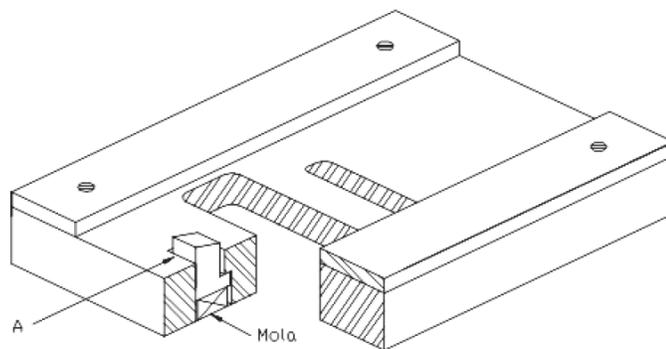
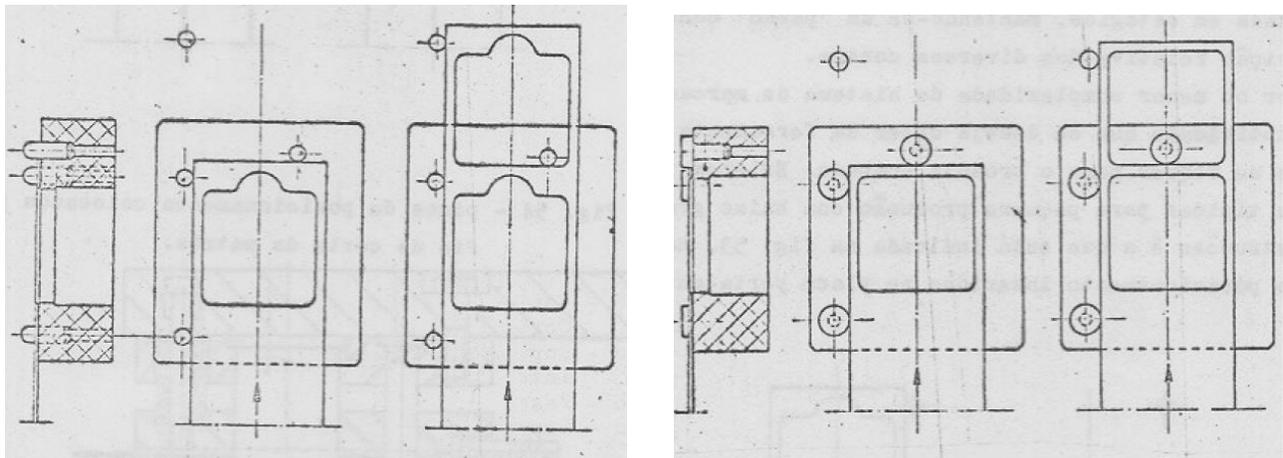


Figura 3.14 – Sistemas simples para marcação do passo em estampos progressivos.

Para os casos onde maior precisão dimensional é requerida pode-se usar um punção para cortar a lateral da tira garantindo maior precisão de posicionamento, conforme mostrado na Figura 3.15.

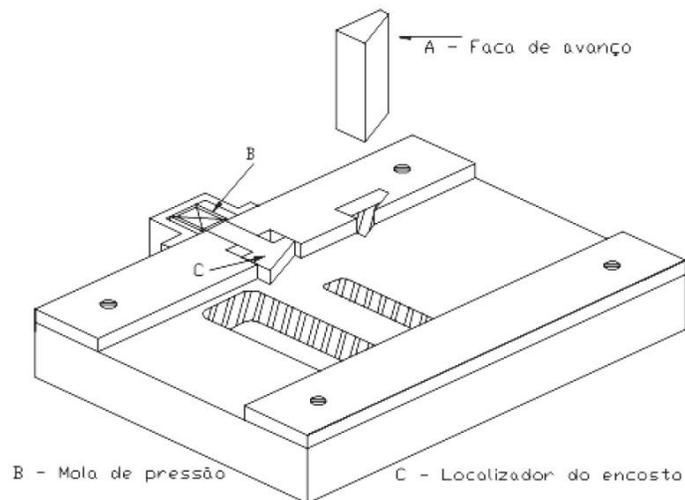
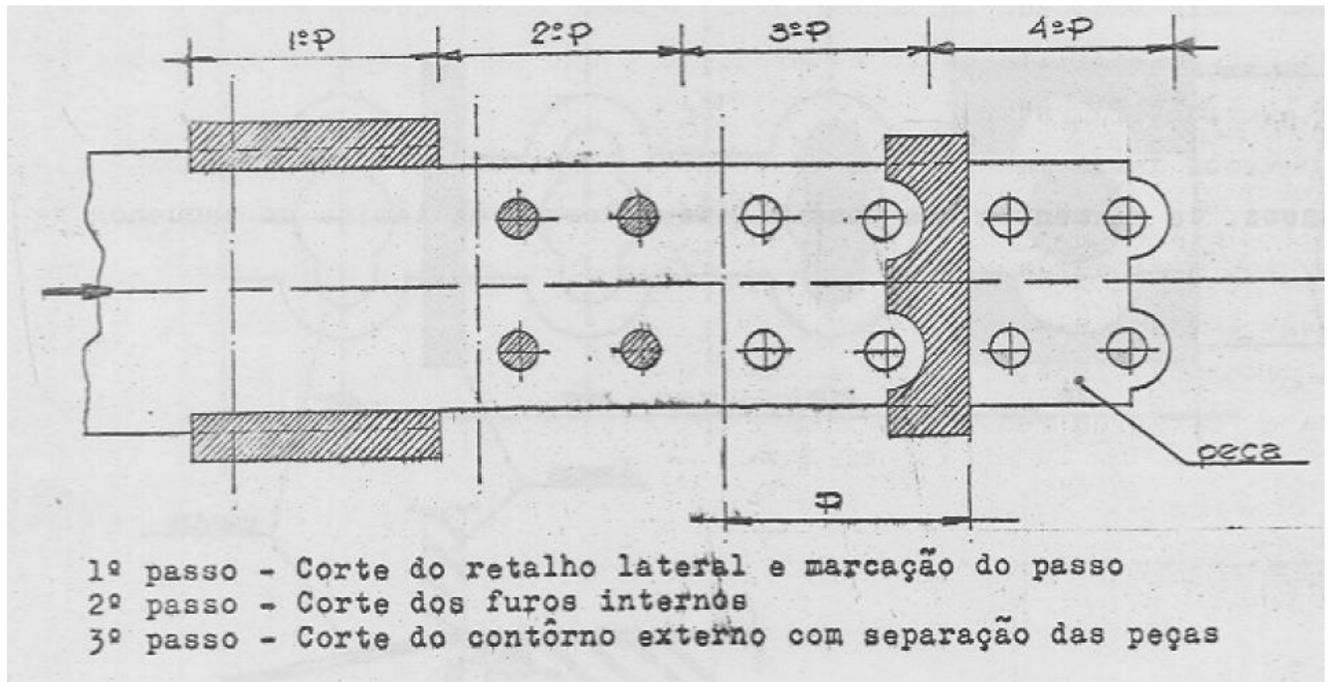


Figura 3.15 – Exemplo de sistema de marcação do passo em estampo progressivo usando um punção para corte lateral na tira.

Outra ideia interessante é retalhar a tira no último passo, deixando cair a parte final cortada, conforme mostrado na 3.16.

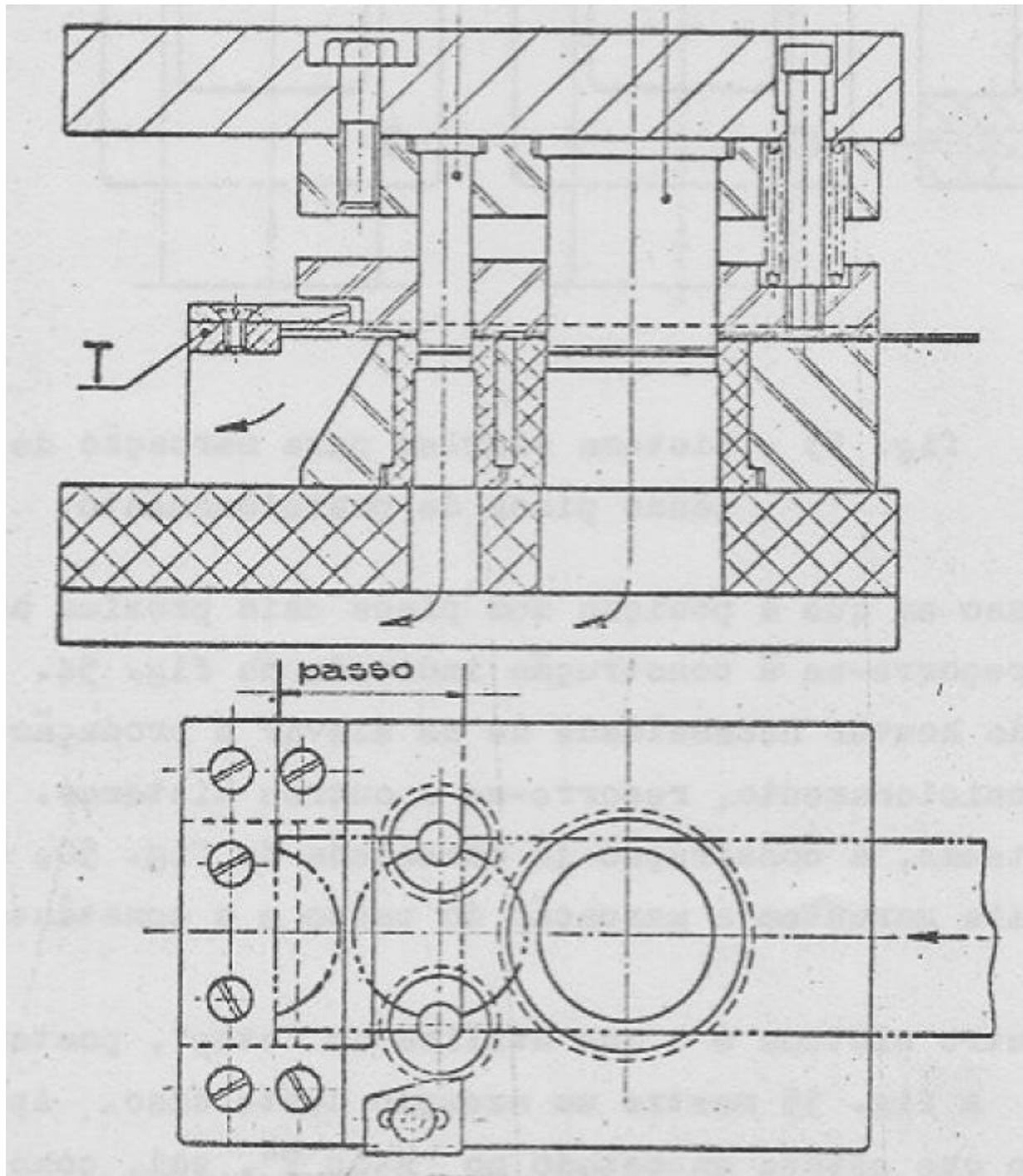


Figura 3.16 – Exemplo de marcador de passo ao final da tira com corte do retalho.

A Figura 3.17 mostra um exemplo de marcador de passo que usa um pino piloto guiado por furos funcionais na tira.

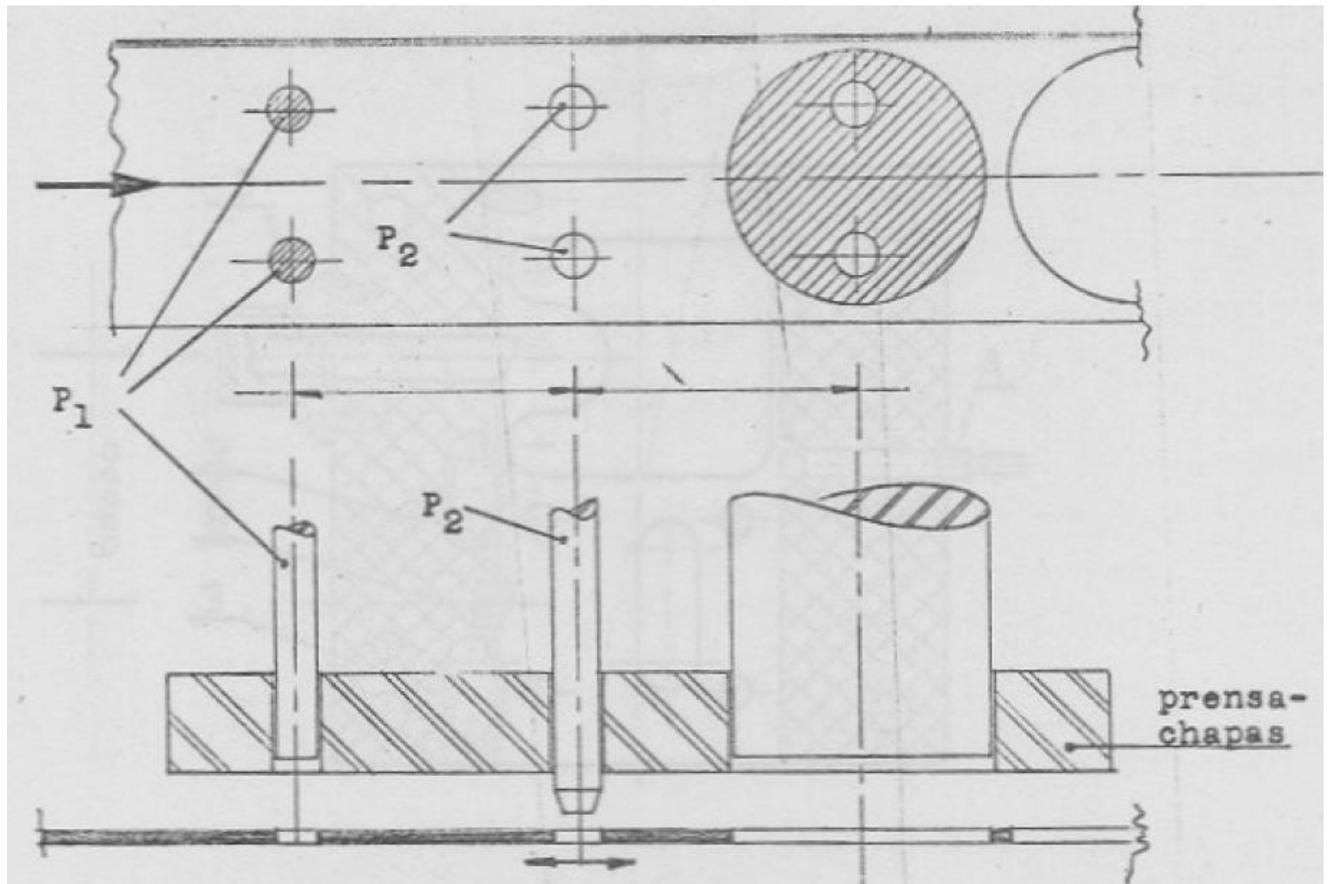


Figura 3.17 – Exemplo de marcador de passo usando pino piloto.

Definido o desenho da tira, o próximo passo pode ser o cálculo da carga de corte e de dobra necessária para a fabricação da peça.

### 3.2 – Cálculo da carga de corte no estampo

Para o corte o material passará pelas fases já mostradas anteriormente, na Figura 2.3, sendo elas: deformação elástica, seguida de plástica, penetração das arestas de corte no material da peça e finalmente a ruptura e separação do material. No exato instante que se segue à ruptura a força exercida pela ferramenta (faca ou punção) tenderia a cair rapidamente para zero, porém o material ainda deve ser removido e no caso de punções este penetrará no furo recém-fabricado com um ajuste interferente, restando ainda uma força para essa penetração. Ao final do movimento do punção se inicia o retorno, ou extração, fase na qual uma força ainda deverá ser exercida, agora em sentido contrário. A Figura 3.18 mostra esquematicamente cada passo da operação de puncionamento seguida do aspecto da secção transversal do furo produzido.

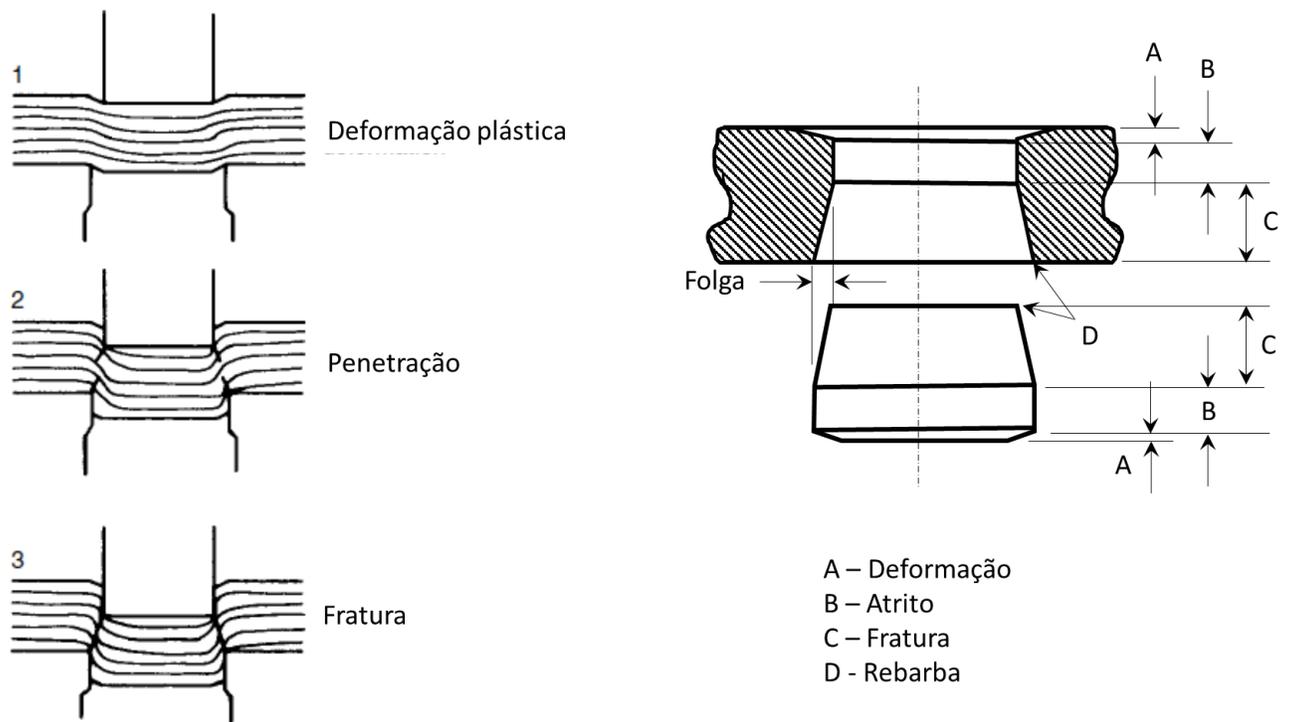
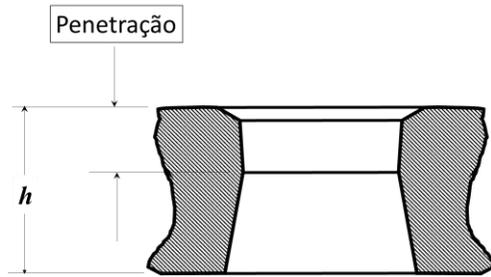


Figura 3.18 – Aspectos do puncionamento e do furo executado por cisalhamento.

Assim sendo, o punção, ou a faca de corte, não necessariamente precisa penetrar por toda a espessura do material para que este se rompa. Geralmente basta uma porcentagem da espessura, valor este que depende da dureza do material, da porcentagem de alongamento e da folga entre punção e matriz. Quanto mais duro e menor seu alongamento, menor a porcentagem da espessura necessária para a ruptura. Quanto maior a folga, maior será a flexão do material antes de atingir as condições de ruptura, resultando assim em maior penetração antes da ruptura. A Tabela 3.3 mostra exemplos de porcentagens de penetração do punção no material, em relação à espessura para alguns materiais mais comuns.

Tabela 3.3 – Exemplos de porcentagens da espessura necessárias para a ruptura do material sendo cisalhado.



Material	Porcentagem da espessura $h$ (%)
Ligas de alumínio	60
Ligas de cobre	55
Latão	50
Bronze	25
Aço ABNT 1010 Recozido	50
Aço ABNT 1010 laminado frio	38
Aço ABNT 1030 recozido	33
Aço ABNT 1030 Laminado frio	22
Aço silício	30
Ligas de níquel	55

Os valores típicos de resistência ao cisalhamento de cada material e as folgas recomendadas entre punção e matriz serão discutidos à frente no decorrer das próximas etapas da definição do projeto. Mesmo assim, no projeto do estampo de corte, ou furação, deve-se garantir que o punção penetre pelo menos 20% além da dimensão do talão da matriz para garantir a completa expulsão da parte cortada.

Estudos, detalhados em Altan, T., Uh, S., Gegel, H., (1999) demonstram que durante a penetração do punção no material, a força tem um comportamento típico conforma mostrado na Figura 3.19.

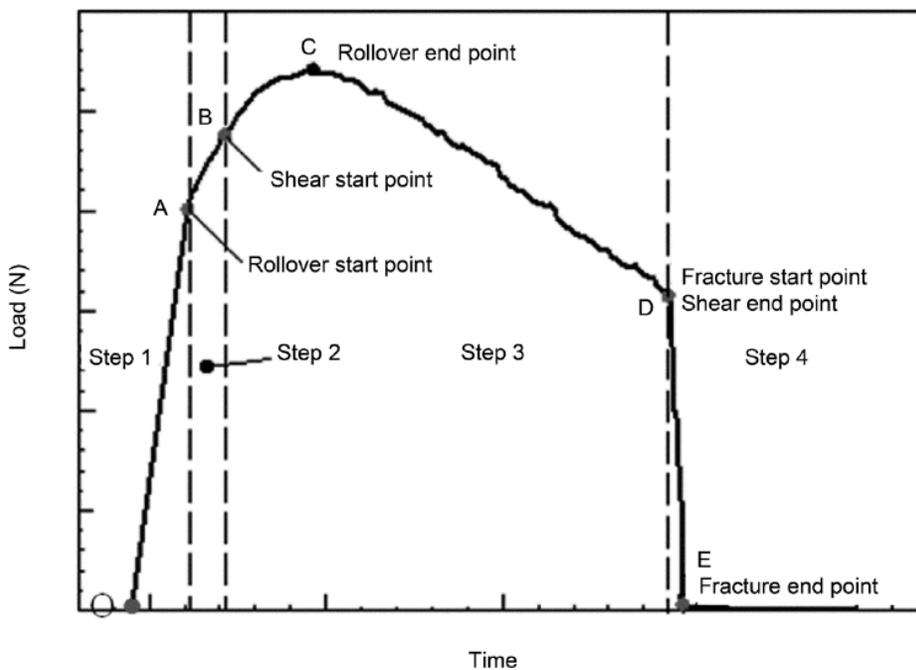
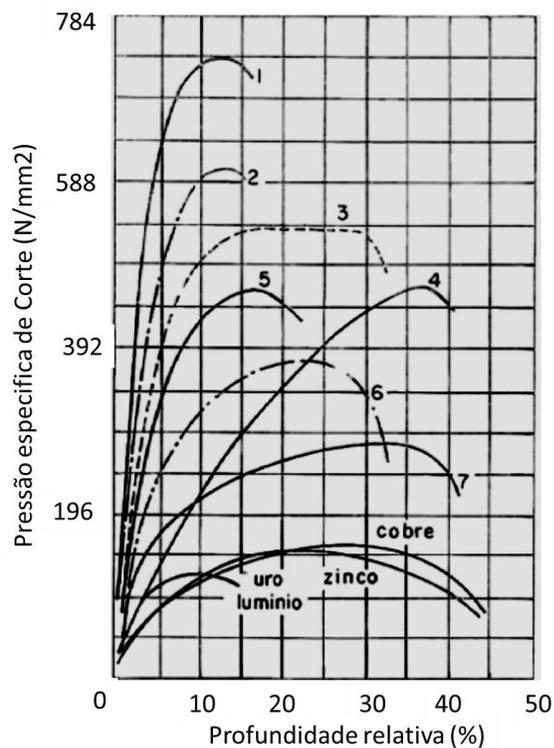


Figura 3.19 – Típico comportamento da força em função do tempo em uma operação de puncionamento (Altan, T., Uh, S., Gegel, H., 1999).

Da origem até o ponto A o material se deforma elasticamente. No ponto B atinge o limite de deformação elástica e o material começa a se deformar plasticamente. Material começa a fluir ao redor das arestas de corte na direção da folga, semelhantemente ao que ocorre nas operações de repuxo. Este fluxo de material pode levar ao encruamento naqueles materiais em que esse efeito está presente aumentando a resistência mecânica. Entre os pontos B e D o aumento na tensão concentrada nas arestas de corte impedem o material de continuar fluido e o cisalhamento se inicia. Para que o cisalhamento se inicie há um acréscimo inicial de força até ponto C, o qual é usado como base para o cálculo da carga necessária para o completo cisalhamento. Após atingir o ponto C as forças de cisalhamento diminuem mais rapidamente do que aumentam devido ao encruamento, graças à diminuição da seção transversal resistente. No último trecho entre D e E a fratura ocorre depois de atingir o limite de resistência do material e as trincas nascidas em cada uma das arestas se encontrarem. Para o cálculo da carga necessária para a fabricação da peça deve-se usar o valor máximo atingido durante o ciclo, ou seja, o ponto C. A Figura 3.20 mostra gráficos experimentais de pressão específica de corte,  $k_c$ , para uma variedade de materiais.



Material	$k_c$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	735
2	598
3	529
4	461
5	451
6	372
7	274
Ligas de Cobre	157
Ligas de Zinco	147
Duralumínio	127

Figura 3.20 – Exemplo de curvas experimentais de pressão específica de corte,  $k_c$ , para diversos materiais (Frateschi, C., Negrini, L.G., 1980).

Teoricamente sabe-se que no corte por cisalhamento a pressão específica de corte é proporcional à tensão de ruptura por cisalhamento, obtida por testes padronizados ( $\tau_c$ ). Experimentalmente constata-se que a pressão específica de corte,  $k_c$ , varia com a porcentagem de penetração das ferramentas, com a folga entre punção e matriz e com a temperatura da peça durante o corte. Observa-se que a espessura da chapa sendo cortada também pode afetar o valor máximo de  $k_c$ . Dada à dificuldade de se medir experimentalmente a pressão específica de corte,  $k_c$ , para vários materiais, pode-se adotar o valor da tensão de ruptura ao cisalhamento,  $\tau_c$ , como valor de  $k_c$ . Quanto mais próximo do cisalhamento ideal for a operação a ser executada, mais real será essa aproximação. Para os casos em que dados de  $k_c$  ou de  $\tau_c$  não estiverem disponíveis para o material a ser cisalhado uma aproximação ainda aceitável é o uso da tensão de ruptura à tração,  $\sigma_r$ . Esse dado é mais comum para uma variedade maior de materiais. No entanto, como o material a ser cortado se romperá por esforço de cisalhamento e não de tração, utiliza-se uma porcentagem de  $\sigma_r$ . Como o esforço por cisalhamento é mais “rigoroso” para com os materiais, usa-se um valor entre 70 e 80% de  $\sigma_r$ . Para operações de corte por cisalhamento que se afastam mais do cisalhamento ideal, maiores porcentagens da tensão de ruptura a tração devem ser adotadas.

O cálculo da força necessária para o corte por cisalhamento pode ser obtido como:

$$F_c = k_c p_r h \quad (3.1)$$

Na qual  $F_c$  é a força necessária para cisalhar o material,  $k_c$  é a sua pressão específica de corte por cisalhamento,  $p_r$  é o perímetro do corte a ser executado e  $h$  é a espessura do material a ser cortado. A Tabela 3.4 mostra alguns valores indicativos para o cálculo de  $F_c$  para diversos materiais.

Tabela 3.4 – Valores indicativos de tensões para uso no cálculo de força de corte por cisalhamento (várias referências).

Material	Tensão ruptura Cisalhamento (N/mm <sup>2</sup> )	Tensão ruptura Tração (N/mm <sup>2</sup> )
Al 1100-O	65	90
Al 1100-H14	76	124
Al 3003-H14	97	152
Al 2024-T4	283	469
Al 5005-H18	110	200
Al 6063-T5	124	207
Al 6061-T4	165	241
Al6061-T6	200	283
Al 7075-T6	338	565
Latão laminado macio	221	317
Latão laminado medio	303	448
Latão laminado duro	345	538
Cobre medio	172	262
Bronze laminado	490	
Bronze fosforoso	588	
Cobre duro	241	345
Aço baixo carbono A-7	345	448
Aço estrutural A36	414	586
Aço estrutural ASTM242	441	620
AISI 1010 Laminado frio	314	
AISI 1010 Laminado quente	245	
AISI 1018 Laminado frio	414	586
AISI 1020 Laminado quente	314	
AISI 1020 Laminado frio	292	
AISI 1030 Laminado a quente	353	
AISI 1030 Laminado a frio	471	
AISI 1040 Laminado a quente	441	
AISI 1040 Laminado a frio	549	
AISI 1050 Laminado quente	483	689
AISI 1050 Laminado a frio	600	
AISI 1060 Laminado quente	686	
AISI 1060 Laminado frio	706	
AISI 1080 Laminado quente	706	
AISI 1080 Laminado frio	882	
AISI 1095 Laminado quente recozido	758	1034
AISI 1100 Laminado quente	784	
AISI 1100 Laminado frio	1029	
Aço Silicio	539	
Inox 302 recozido	483	620
Inox 304 Laminado frio	588	620

Inox 316 Laminado frio	588	620
Ligas de chumbo	30	
Papel	157	
Couro	10	
Zinco	196	
Baquelite	30	

### **3.3 – Operações de dobra e cargas de dobra no estampo**

Certas peças necessitam dobras, além do corte, para completa fabricação em estampos progressivos. Quando a dobra pode ser efetuada já no estampo progressivo, estará incluída no projeto da ferramenta. Para os casos de dobras simples as informações aqui contidas são suficientes, mas em casos mais complexos, ou para dobras com maior qualidade, literatura específica deve ser consultada. A operação de dobra mais simples é mostrada na Figura 3.21, chamada dobra em “V” em matriz aberta.

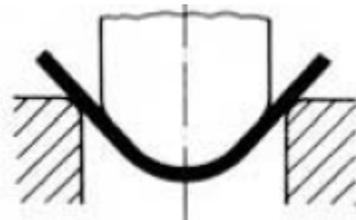


Figura 3.21 – Exemplo de dobra em “V” em matriz aberta.

Nesta operação a matriz contém duas extremidades com pontos sobre as quais a chapa inicialmente se apoia. O punção é formado pelo ângulo aproximado da dobra com um raio arredondando a intersecção entre as duas faces da ponta angular. O ângulo da ponta do punção não necessariamente será o mesmo da dobra e o ângulo final dependerá de quanto o punção avança entre os pontos de apoio da matriz. Trata-se de um processo de pouca precisão angular para a dobra, assim como para o raio de dobramento. No entanto, a mesma ferramenta serve a vários ângulos e espessuras de chapas. A Figura 3.22 mostra outro exemplo de operação de dobra em chapas, para casos nos quais o ângulo de dobra deve ser mais preciso ao longo da largura da chapa. Trata-se da operação de dobra em “V” com matriz fechada.

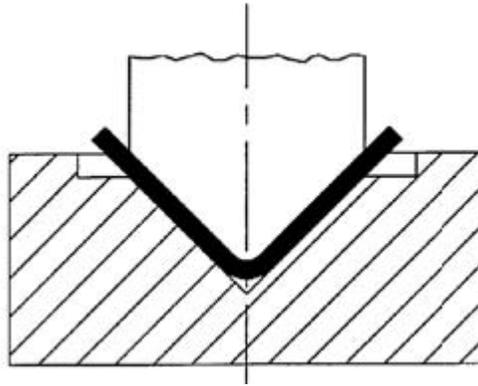


Figura 3.22 – Exemplo de dobra em matriz em “V” com matriz fechada.

Nesta operação tanto o punção quanto a matriz possuem o mesmo ângulo, o da dobra, a menos do retorno elástico da chapa, que resultará em um ângulo final ligeiramente menor que o da matriz. Trata-se de uma operação de maior previsibilidade no ângulo final, assim como no raio interno de dobra e, portanto, mais precisa. Porém, para cada ângulo é necessário um conjunto matriz-punção. A dobra a 90°, em particular, pode ser executada como na Figura 3.23, e que pode ser chamada de flangeamento.

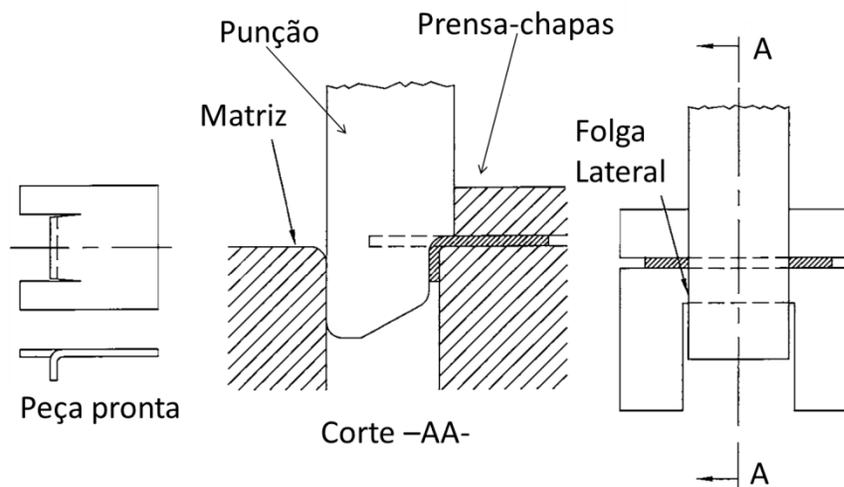


Figura 3.23– Exemplo de dobra a 90° com o uso de prensa-chapas e punção (flangeamento).

Variações mais complexas das operações de dobra já mostradas podem ser encontradas, como aquela usando punção rotativo, mostrada na Figura 3.24.

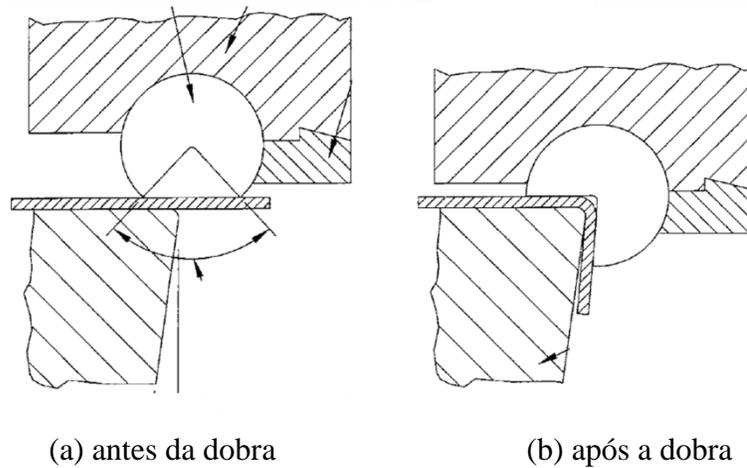


Figura 3.24 – Exemplo de dobra usando punção rotativo.

Nesta operação do punção rotaciona conforme o cabeçote da prensa desce, possibilitando dobras acima de 90° com boa qualidade possibilitando ainda a compensação para o retorno elástico. Outro tipo de dobra é chamado de dobra em “U” o qual é mostrado na Figura 3.25.

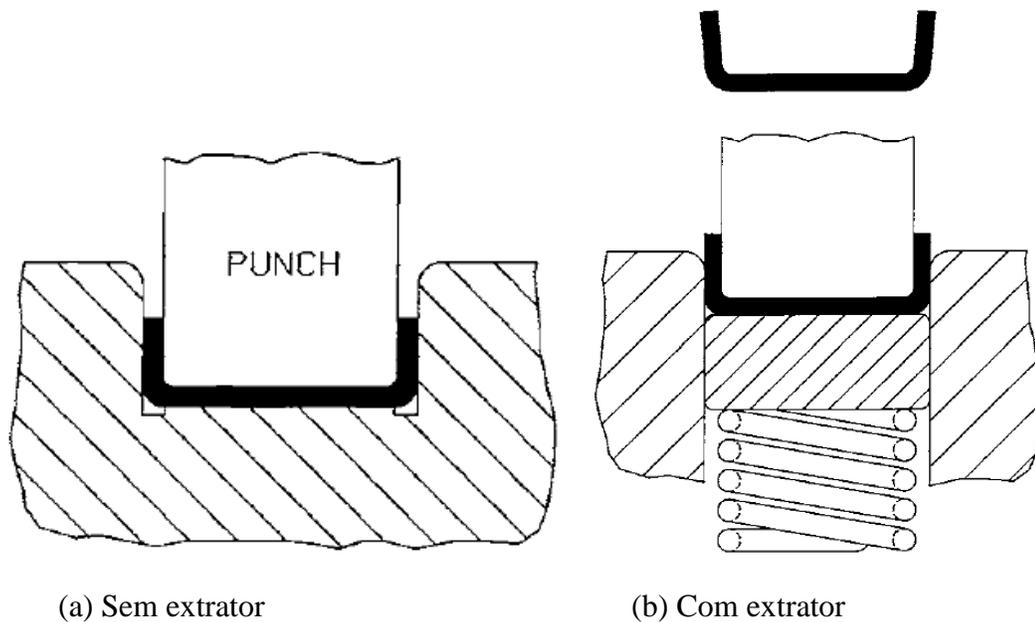


Figura 3.25 – Exemplo de dobra em “U”

Nesta operação duas dobras são executadas simultaneamente e pode ser executada em matriz sem extrator (Figura 3.25a) ou com esse recurso (Figura 3.25b). Normalmente a peça estará presa à matriz após a operação e para extração sem interferência do operador o extrator é necessário. Outras variações do processo de dobra em “V” e em “U” são mostradas na Figura 3.26.

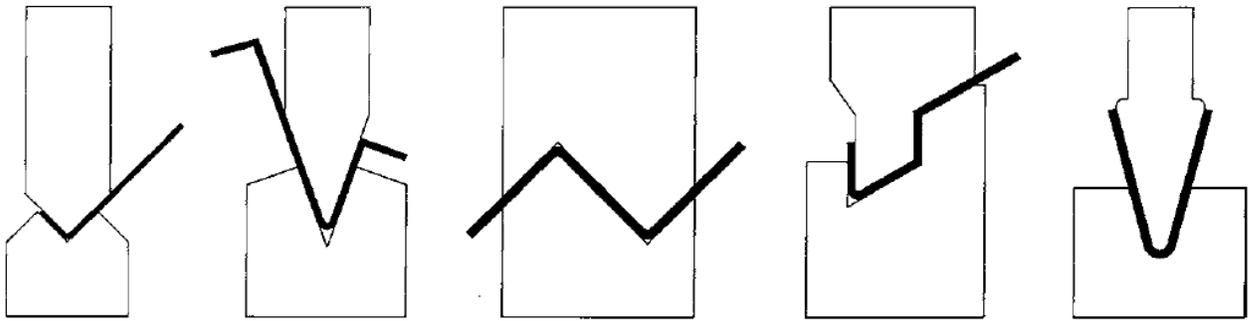


Figura 3.26 – Variações dos processos de dobra em “V” e em “U”.

Há ainda outro tipo de dobra indicada principalmente quando o raio de dobra é muito grande e poderia ser chamado de “curvamento” ao invés de dobra. Trata-se da operação de calandragem, mostrada na Figura 3.27.

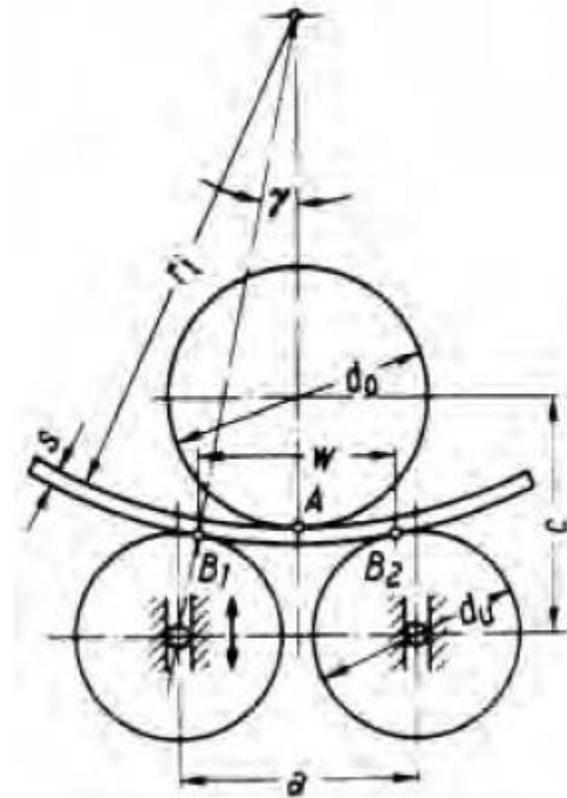


Figura 3.27 – Exemplo de operação de calandragem.

Nesta operação 3 cilindros são necessários. Dois deles, os inferiores na Figura 3.27, possuem um espaçamento  $a$ , o qual pode ser fixo ou variar, conforme o modelo da calandra. Inicialmente a chapa ainda plana é colocada sobre esses e o terceiro cilindro é levemente pressionado sobre a mesma. Os dois cilindros inferiores são acionados e a chapa é rolada entre os 3 cilindros, tracionada pelos inferiores, ou pelos 3, conforme o modelo da máquina. Após a primeira passagem o cilindro superior é

levemente pressionado sobre a chapa e a rolagem repetida, desta vez em sentido oposto. Certos modelos de calandra aproximam os dois cilindros inferiores, ao invés do superior. Essas operações são repetidas até que a curvatura atinja o grau requerido. Tubos de grande diâmetro (acima de 300 mm, por exemplo) podem ser produzidos por esse processo também. Variações desses processos apresentados são ainda possíveis, conforme as necessidades e a Bibliografia pode ser consultada para esse fim. Este processo, embora aqui mencionado não se aplicaria a estampos progressivos.

Em toda operação de dobra uma camada próxima à superfície interna da chapa sofre compressão, enquanto uma camada externa sofre tração, conforme mostrado esquematicamente na Figura 3.28.

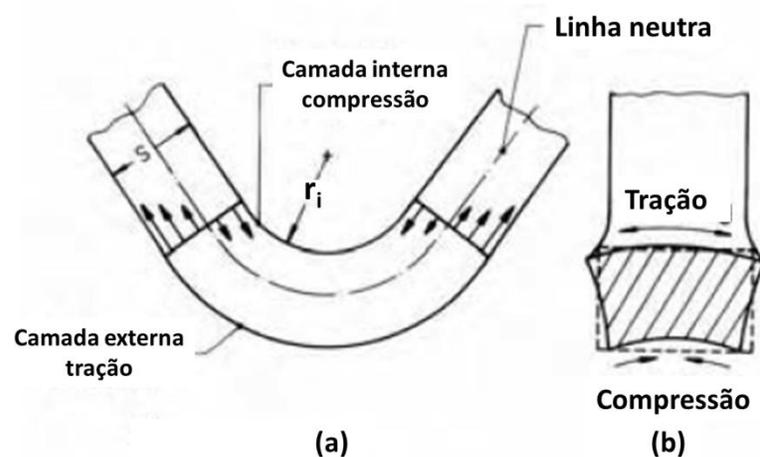


Figura 3.28 – Esquema das tensões em uma chapa dobrada.

Observa-se também que entre as camadas de tração e de compressão há uma fronteira, chamada de linha neutra (ou plano neutro), que não se altera em comprimento, sendo esta usada para o cálculo do comprimento da peça planificada (comprimento desenvolvido). A posição dessa linha neutra, em relação à espessura da chapa, é fundamental para o cálculo das dimensões da peça planificada. Ela depende, entre outras variáveis, principalmente do raio interno ( $r_i$ ), da espessura da chapa  $h$  e do material. A referência Anonymous, 1998, indica raios internos de dobra normalizados e recomenda raios mínimos, segundo dados experimentais, os quais podem servir como primeira tentativa, conforme a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Valores indicativos de raio mínimo para a dobra.

Tensão de tração do material	Direção de dobra em relação à laminação	Espessura da chapa $h$ , mm							
		$0,0 < e \leq 1,5$	$1,0 < e \leq 1,5$	$1,5 < e \leq 2,5$	$2,5 < e \leq 3,0$	$3,0 < e \leq 4,0$	$4,0 < e \leq 5,0$	$5,0 < e \leq 6,0$	$6,0 < e \leq 7,0$
ate 390	90°	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10
	0°	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12
de 390 a 490	90°	1,2	2	3	4	5	8	10	12
	0°	1,2	2	3	4	6	10	12	16
de 490 a 600	90°	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12
	0°	1,6	2,5	4	5	8	10	12	16

Tensão de tração do material	Direção de dobra em relação à laminação	$7,0 < e \leq 8,0$	$8,0 < e \leq 10$	$10 < e \leq 12$	$12 < e \leq 14$	$14 < e \leq 16$	$16 < e \leq 18$	$18 < e \leq 20$
		ate 390	90°	12	16	20	25	28
0°	16		20	25	28	32	40	45
de 390 a 490	90°	16	20	25	28	32	40	45
	0°	20	25	32	36	40	45	50
de 490 a 600	90°	16	20	25	32	36	45	50
	0°	20	25	32	36	40	40	63

A mesma referência ainda recomenda que se a dobra for para ângulos maiores do que 120° usar o raio normalizado imediatamente acima daquele encontrado na Tabela 3.5. Usando-se os raios mínimos de dobra recomendados pela Tabela 3.4 o raio neutro ( $r_N$ ) será dado por:

$$r_N = r_i + \frac{h}{2} k_1 \quad (3.2)$$

Na qual  $r_i$  é o raio interno da dobra e  $h$  a espessura da chapa. O fator  $k_1$  é dado pela curva na Figura 3.29.

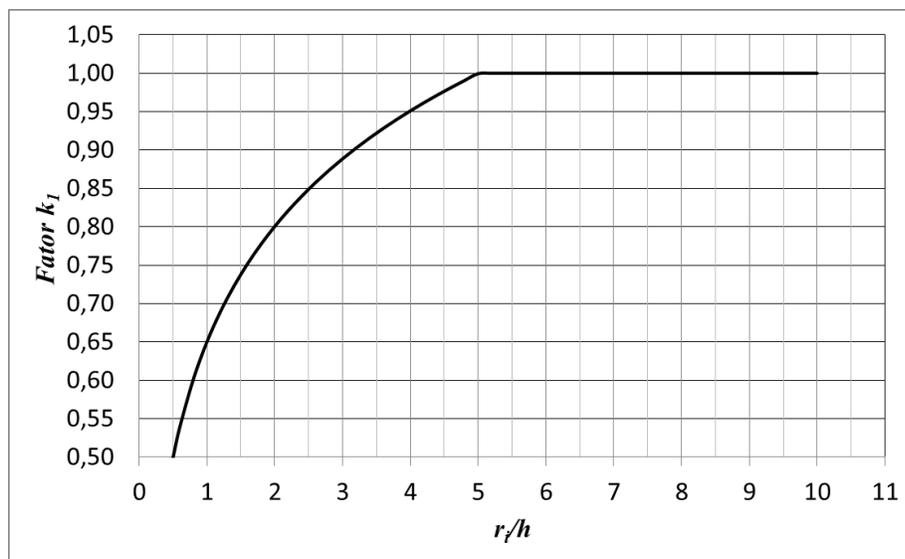
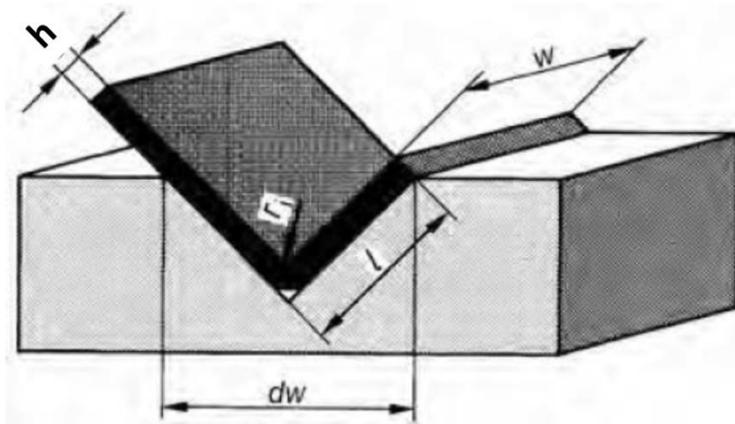


Figura 3.29 – Fator  $k_1$  usado para estimar o raio neutro em dobras

O gráfico da Figura 3.29 se inicia com o valor  $r_i/h$  em 0,5, e valores menores que esse não devem ser empregados, a menos que seja absolutamente necessário. Recomenda-se, sempre que possível, não usar o raio de dobra inferior ao valor da espessura da chapa, uma vez que trincas poderão ocorrer na superfície externa da dobra, a menos que o material da chapa seja bastante dúctil, como alguns aços de baixo teor de carbono e certas ligas de alumínio ou de cobre em estado recozido. Como regra geral, deve-se preferir o uso dos maiores valores de raio de dobra possíveis, respeitando-se as especificações do produto.

Para a estimativa da carga necessária ao dobramento em “V” pode-se recorrer à (Tschaetsch, H. (2005)) o qual recomenda:

$$F_{BV} = \frac{k_v w h^2 \sigma_r}{d_w} \quad (3.3)$$



na qual  $F_{BV}$  é a força de dobramento,  $k_v$  é um fator que depende da relação  $r_i/h$  e varia entre 0,75 e 2,5 (para valores menores de  $r_i/h$  usam-se maiores valores de  $k_v$ , segundo Suchy, I, 2006),  $w$  é a largura da chapa sendo dobrada,  $h$  a sua espessura,  $\sigma_r$  é a tensão de ruptura do material a tração (Tabela 3.4) e  $d_w$  a abertura da matriz em “V”. Para fins de projeto da matriz recomenda-se que  $L$  seja igual a pelo menos 6 vezes a espessura da chapa sendo dobrada.

Para a operação de dobramento em “U” (Figura 3.25) o valor da força pode ser estimado por:

$$F_{BU} = k_U w h \sigma_r + F_e \quad (3.4)$$

na qual  $F_{BU}$  é a força de dobramento para operação em “U”,  $k_U$  é um fator que depende das condições da ferramenta e varia entre 0,4 e 1,0 (valores menores se a folga entre punção e matriz for maior do que a espessura da chapa),  $F_e$  é a força do extrator (Figura 3.25b). A carga de extração pode ser especificada como 25% do valor da carga de dobra em “U”.

Para a operação de dobra a  $90^\circ$  como mostrada na Figura 3.23, ou seja, flangeamento, a força é dada por:

$$F_{BF} = k_F w h \sigma_r \quad (3.5)$$

na qual  $F_{BF}$  é a força de flangeamento,  $k_f$  é o fator que nesta operação assume o valor de 0,2 para todos os casos.

Determinada a carga de corte e dobra do estampo, prossegue-se com a determinação, ou verificação, da localização da posição da espiga.

### 3.4 – Localização da posição e seleção da espiga

Após a decisão dos passos a serem executados sobre a tira e os cálculos das cargas em cada passo, deve-se encontrar o centro de equilíbrio dessas forças para a localização da espiga. Esta localização, por sua vez, deve ser simétrica em relação a todos os passos do estampo. Se não for assim, toda a ferramenta estará sujeita a um momento a cada golpe da prensa, resultando em desgastes acentuados em determinadas partes do estampo e da prensa. As colunas, por sua vez, também estarão sempre sujeitas a esse momento, acentuando seu desgaste ao longo do uso. Para se calcular a localização ideal da espiga estabelece-se um referencial qualquer, por exemplo, em uma das extremidades da ferramenta, como mostrado na Figura 3.30.

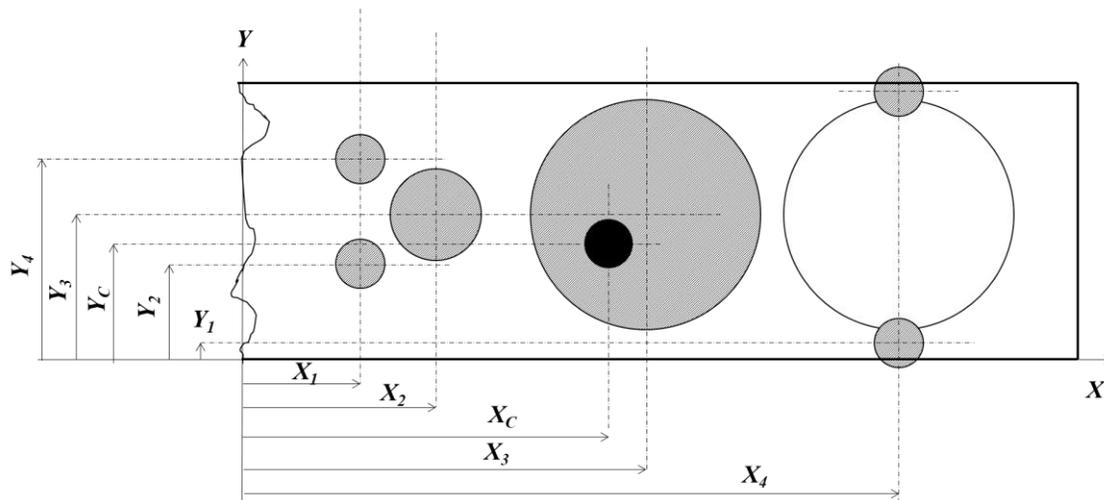


Figura 3.30 – Exemplo de cálculo da posição da espiga

Com base nesse referencial calcula-se o centro de equilíbrio de forças para a coordenada  $X_c$  e a  $Y_c$ , segundo:

$$X_c = \frac{F_{c1}X_1 + F_{c2}X_2 + \dots + F_n X_n}{F_{c1} + F_{c2} + \dots + F_{cn}} \quad (3.6)$$

$$Y_c = \frac{F_{c1}Y_1 + F_{c2}Y_2 + \dots + F_n Y_n}{F_{c1} + F_{c2} + \dots + F_{cn}} \quad (3.7)$$

Caso o centro de equilíbrio das forças não resulte simétrico em relação aos passos estabelecidos no projeto da tira, uma nova distribuição de passos deve ser proposta e verificada até que resulte aceitável, levando-se em conta as cargas de corte e de dobra. Quanto maior a carga, mais próximos deve estar o centro do estampo e o centro de equilíbrio. Afastamentos em torno de até 10% são aceitáveis.

O tipo e as dimensões da espiga são função da prensa a ser usada e esta é, basicamente, selecionada conforme a carga total do estampo, incluindo-se a carga do prensa-chapas a ser determinada no item seguinte. O APÊNDICE IV mostra os tipos mais comuns de espiga com as respectivas dimensões e esta pode ser selecionada ao final do projeto.

### **3.5 – Projeto do prensa-chapas**

Para completar a estimativa de carga total sobre o estampo deve-se ainda determinar a carga do sistema de sujeição da chapa antes do corte, denominado prensa-chapas. As Figuras 3.1 e 3.2, assim como a 3.31 mostram esquematicamente exemplo de prensa-chapas. Este consiste, basicamente, de uma chapa com os mesmos furos da matriz, pelos quais passam livres os punções. O prensa-chapas tem a função de manter a chapa firmemente segura durante a operação de corte, ou dobra, guiar os punções centrados com os furos da matriz e extrair os punções que cisalharam a chapa, durante o retorno do punção, após o corte. A superfície inferior do prensa-chapas deve estar ligeiramente abaixo da extremidade dos punções de modo a tocar e prender a chapa antes do contato para o corte. Para estampos de corte cerca de  $2,0-3,0h$  ( $h$  é a espessura da fita) abaixo é suficiente, mas a carga das molas do prensa-chapas deve ser verificada, de modo a atingir pelo menos 20% do valor da carga selecionada. No caso de repuxo, a força de sujeição deve ser calculada de acordo com as recomendações específicas para esse tipo de operação. Na Bibliografia há publicações que abordam esse tipo de operação.

No corte, durante movimento descendente da parte superior do estampo o prensa-chapas inicialmente prensa a chapa a ser cortada contra a face superior das matrizes, devido à força exercida pelas suas molas. Após essa prensagem inicial os punções vêm a seguir no movimento descendente e contactam a chapa iniciando o corte. Com o corte executado a parte superior do estampo inicia o movimento ascendente e a chapa estará presa aos punções de corte devido à interferência entre estes e os furos recém-executados. Durante esse retorno as molas do prensa-chapas se encarregam de extrair a chapa, vencendo aquelas forças de interferência. O prensa-chapas pode ter suas próprias colunas de guia, ou quando o projeto do estampo demandar maior precisão de posicionamento dos furos e alinhamento

entre punções e matrizes, devido a menores folgas, o prensa-chapas pode ser guiador pelas colunas do estampo. A Figura 3.31 mostra um exemplo dessa solução de projeto.

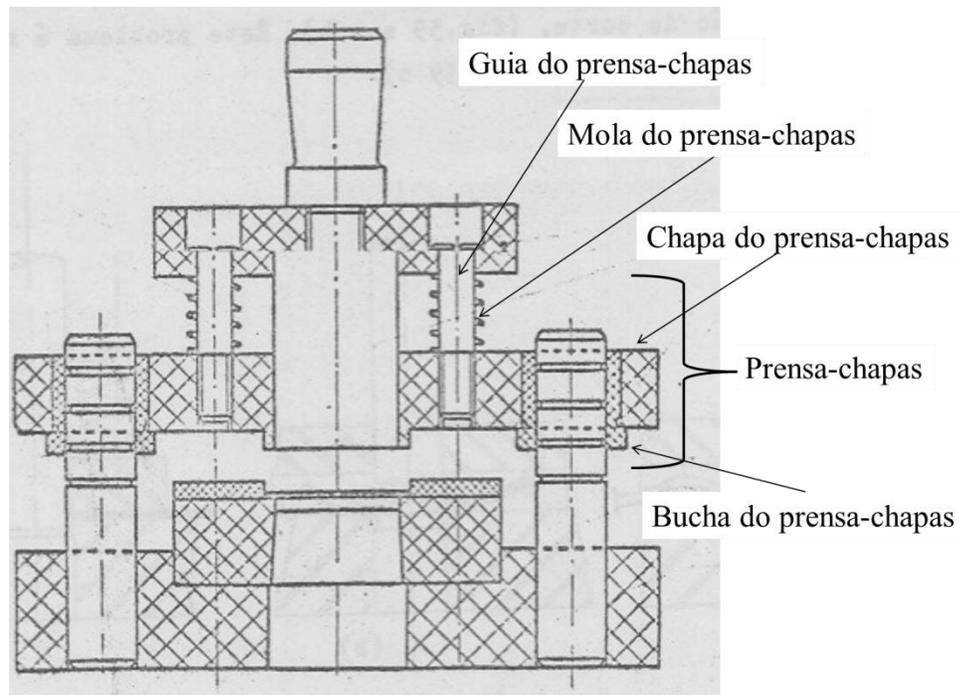


Figura 3.31 – Exemplo de prensa-chapas guiado pelas colunas do próprio estampo.

O ajuste entre os punções e o prensa-chapas deve ser deslizante, por exemplo,  $h6/E8$  para chapas com espessura até 1,0 mm e  $h6/D10$  para chapas com espessura acima de 1,0 mm. A chapa do prensa-chapas pode ser de material ABNT 1010/1020, para a maioria das aplicações. Se maior durabilidade é desejada, ou a chapa a ser cortada é de espessura acima de 6 mm, ABNT 1045 é a melhor opção. Da mesma forma, buchas podem ser usadas para refinar o ajuste punção prensa-chapas, conforme mostrado esquematicamente na Figura 3.32.

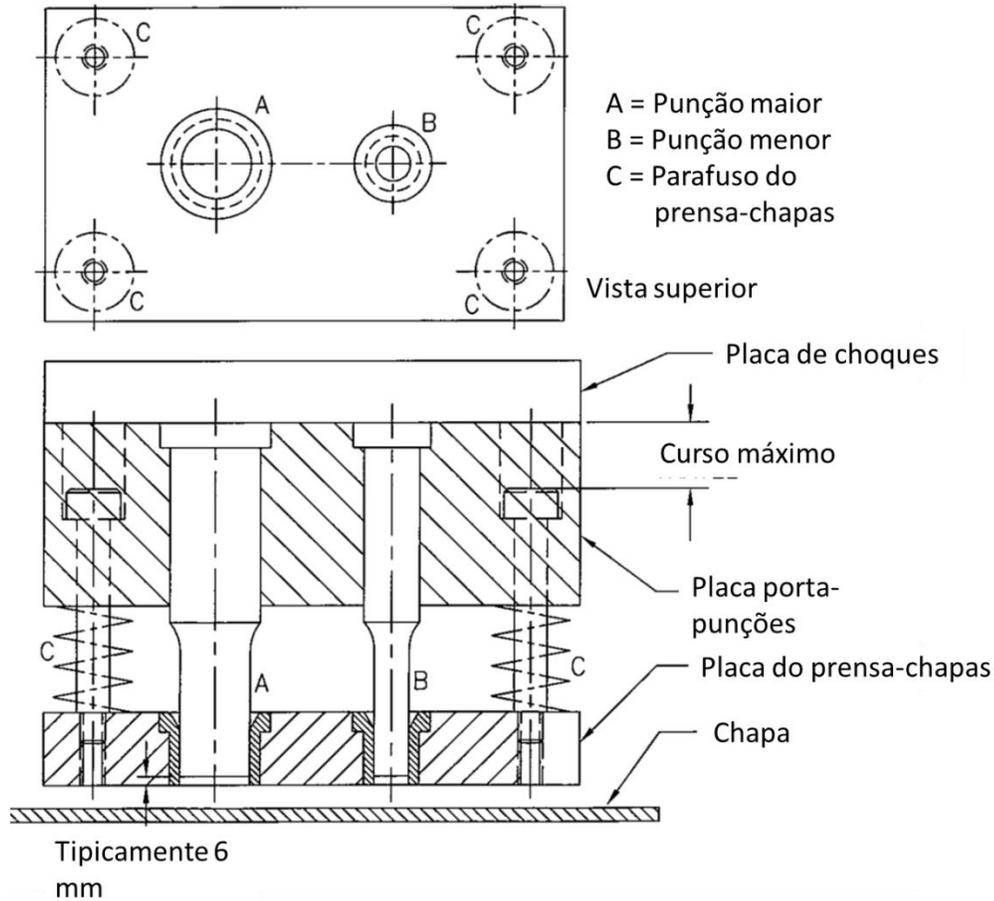


Figura 3.32 – Exemplo de uso de bucha-guia entre punção e prensa-chapas.

A espessura da chapa para o prensa-chapas deve ser suficiente para não permitir que se flexione durante a prensagem, pois assim perderia uma de suas funções, a de manter a chapa firme contra a matrizes. Uma indicação inicial para essa espessura pode ser:

$$e_{ps} = (0,15 \text{ a } 0,25)W + 2h \quad (3.8)$$

na qual  $e_{ps}$  é a espessura da chapa do prensa-chapas,  $W$  é a largura da fita e  $h$  é a espessura da mesma (Suchy, I., 2006). Essa é uma indicação, porém a espessura a ser usada dependerá também das necessidades extras de largura capaz de acomodar as molas, assim como do comprimento para não flexionar e da distribuição espacial das molas. Há casos de estampos muito simples nos quais o uso de prensa-chapas se torna desnecessário e apenas uma chapa guia para os punções e para a fita, conforme mostra a Figura 3.33.

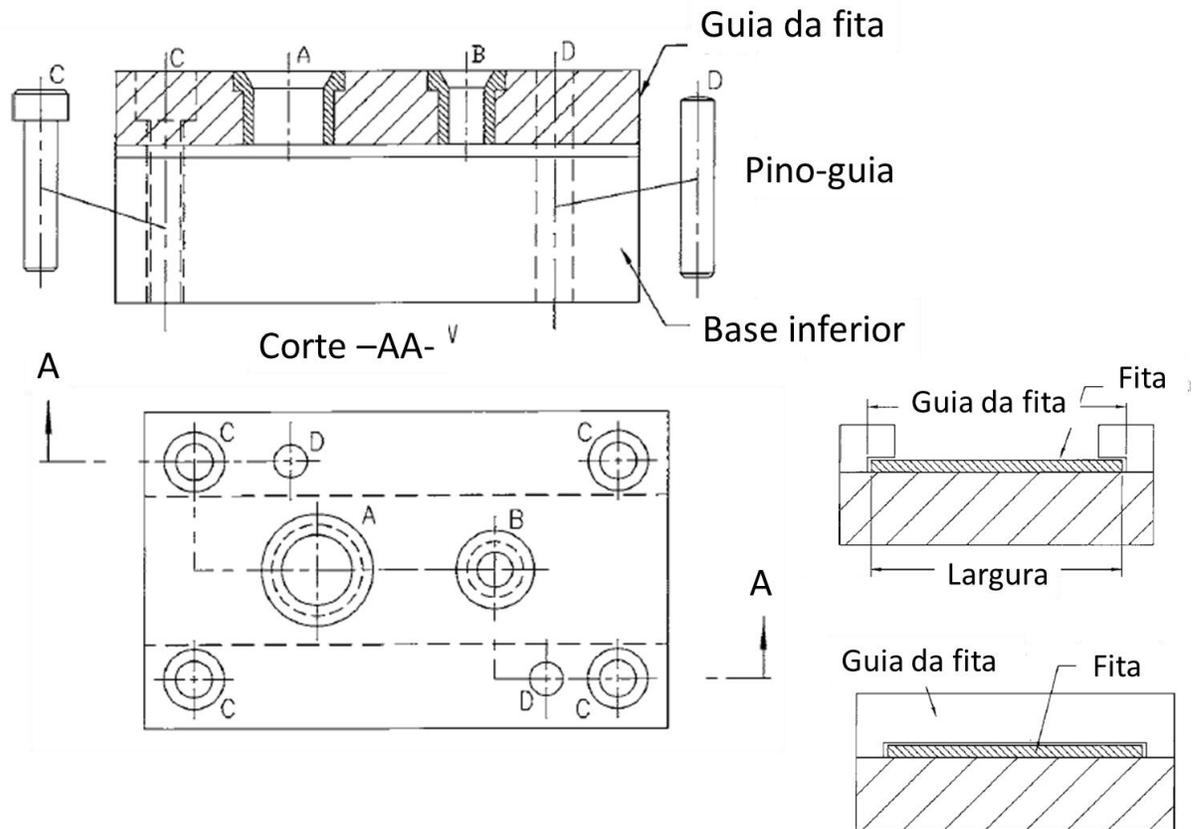


Figura 3.33 – Exemplo de guia para a fita, ao invés de prensa-chapas.

No entanto, 8 mm é uma espessura mínima recomendável para a chapa do prensa-chapas. Para a completa definição da largura e comprimento do prensa-chapas, deve-se calcular a carga das molas, a qual será adicionada àquela necessária para o corte, dobra ou repuxo a fim de se fabricar a peça. A Tabela 3.6 mostra indicações de cargas a serem adotadas para o prensa-chapas.

Tabela 3.6 – Cargas recomendadas para prensa-chapas em estampos de corte e/ou dobra de chapas.

Espessura da fita	Porcentagem da força de corte mais a de dobra	
	Estampo simples	Estampo progressivo
Até 1 mm	1,2 a 3,5	5,0 a 7,0
Maior que 1 e menor que 5 mm	3,5 a 5,5	6,0 a 9,0
Maior que 5 mm	5,5 a 7,0	9,0 a 15,0

Com esse valor calculado e somado à carga necessária para o corte e/ou dobra, tem-se assim a carga total no estampo. Esse valor será importante para todos os demais passos no projeto do estampo. Para completar o projeto do prensa-chapas, falta selecionar as molas a serem usadas. O mais comum é o uso de molas helicoidais com arames de secção circular ou de secção retangular. Também pode-se

usar molas-prato, geralmente quando a carga de prensa-chapas resulta muito alta para os tipos comuns de molas e isso levaria ao um estampo muito grande, devido à necessidade de muitas molas, ou molas muito grandes. Há também a possibilidade de se utilizar molas de poliuretano (Plastiprene™). Essa decisão deve ser tomada pelo projetista, sob pena de rever, caso haja necessidade, mas à frente no projeto. A Figura 3.34 mostra diferentes tipos de molas e o Apêndice III mostra exemplos de molas helicoidais de secção circular e retangular.

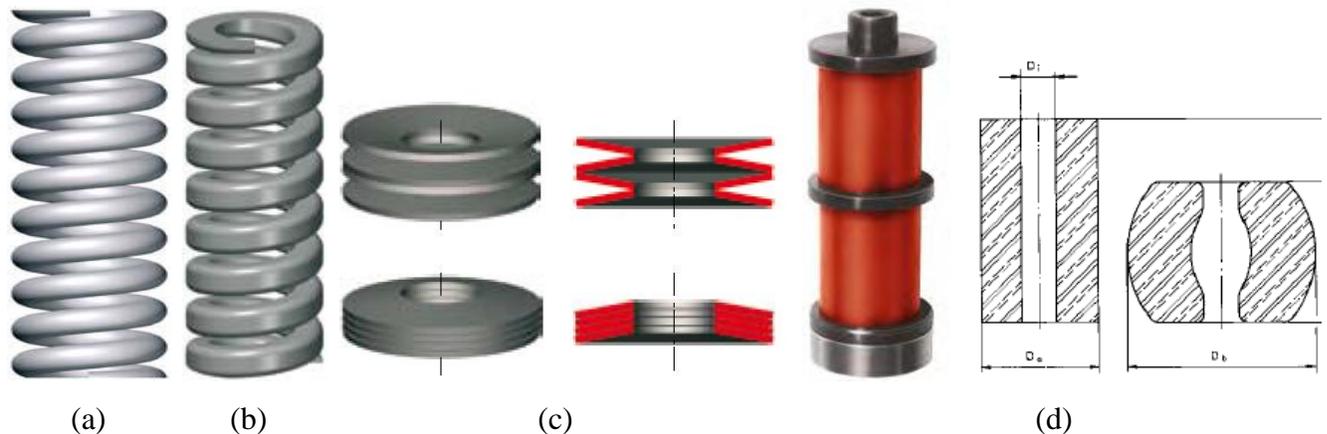


Figura 3.34 Exemplos de diferentes tipos de molas para uso em prensa-chapas. Em (a) mola helicoidal com arame de secção circular, (b) mola helicoidal com arame de secção retangular, (c) Mola-prato e (d) Molas de poliuretano.

Para selecionar a mola correta, toma-se a força necessária para o prensa-chapas e procura-se igualar esse valor com as cargas das molas. No entanto, a carga das molas depende do valor de flexão, sendo aproximadamente linear a relação carga-flexão, exceto para as molas de poliuretano. O valor de flexão das molas deve ser o menor possível, mas deve ser o suficiente para prender a fita, antes da chegada dos punções de corte e estes devem passar pela espessura da fita e pelo talão da matriz o suficiente para expelir as partes cisalhadas. Assume-se para o cálculo inicial mínimo de flexão das como 9-10 vezes a espessura da chapa a ser trabalhada. Com esses valores mínimos procuram-se molas que atendam à necessidade. Ao final do projeto a flexão das molas deve ser verificada levando-se em conta que o prensa-chapas deve pressionar a chapa antes do contato com os punções em pelo menos 20% da carga de prensagem determinada. As molas selecionadas devem ser distribuídas simetricamente de modo a equilibrar a reação na base superior, durante o movimento descendente do estampo. O comprimento das molas também deve ser o menor possível para evitar que os punções resultem muito longos. No entanto, o comprimento estará associado à necessidade de flexão da mola. Independentemente do tipo de mola selecionado, há um limite para a flexão, sob pena de se danificar permanentemente a mesma. Molas muito longas implicarão em punções longos, os quais podem não atender as condições para evitar a flambagem. Assim, a seleção das molas para o prensa-chapas

demonstra que há várias condições de contorno que devem ser atendidas. Como não há meios de se determinar exatamente essas condições neste ponto, devem-se assumir esses valores iniciais de prosseguir, verificando-se ao final. Para estampos que devem executar dobras, além de corte o curso das molas também deve ser capaz de acomodar o deslocamento até o final da dobra.

Ainda sobre o projeto do prensa-chapas, deve-se lembrar que as molas normalmente requerem condições apropriadas de alojamento nas extremidades para que trabalhem de forma segura. A Figura 3.35 mostra algumas recomendações para diferentes tipos de mola.

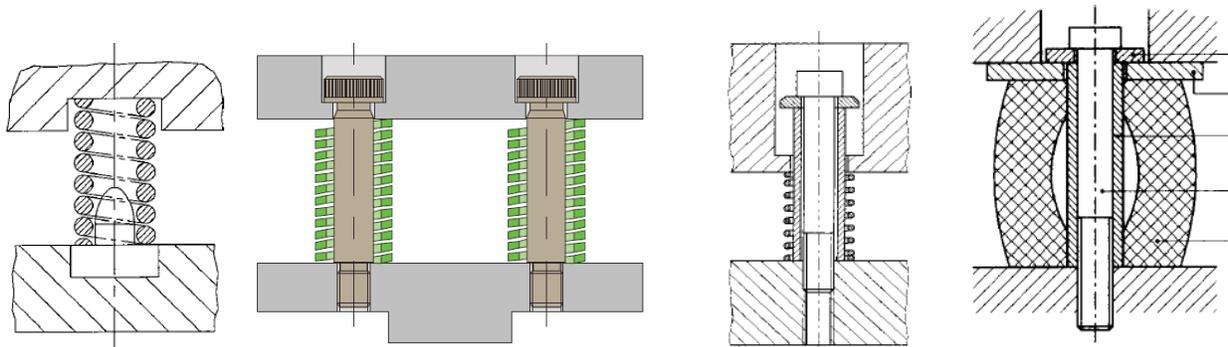


Figura 3.35 – Exemplos de alojamentos para as extremidades de molas usadas em prensa-chapas.

Selecionadas as molas procede-se à sua distribuição espacial ao redor das matrizes e punções em uma visão sobre o projeto inicial da tira. Com isso segue-se para as próximas etapas do projeto do estampo. Neste ponto o projeto dos punções e matrizes pode ser finalizado.

### **3.6 – Projeto dos punções e matrizes**

Os punções e as matrizes devem ser desenhados com base nas especificações da peça a ser fabricada. Um exemplo típico de um punção e de uma matriz está na Figura 3.36 com as recomendações requeridas para a fabricação desses componentes

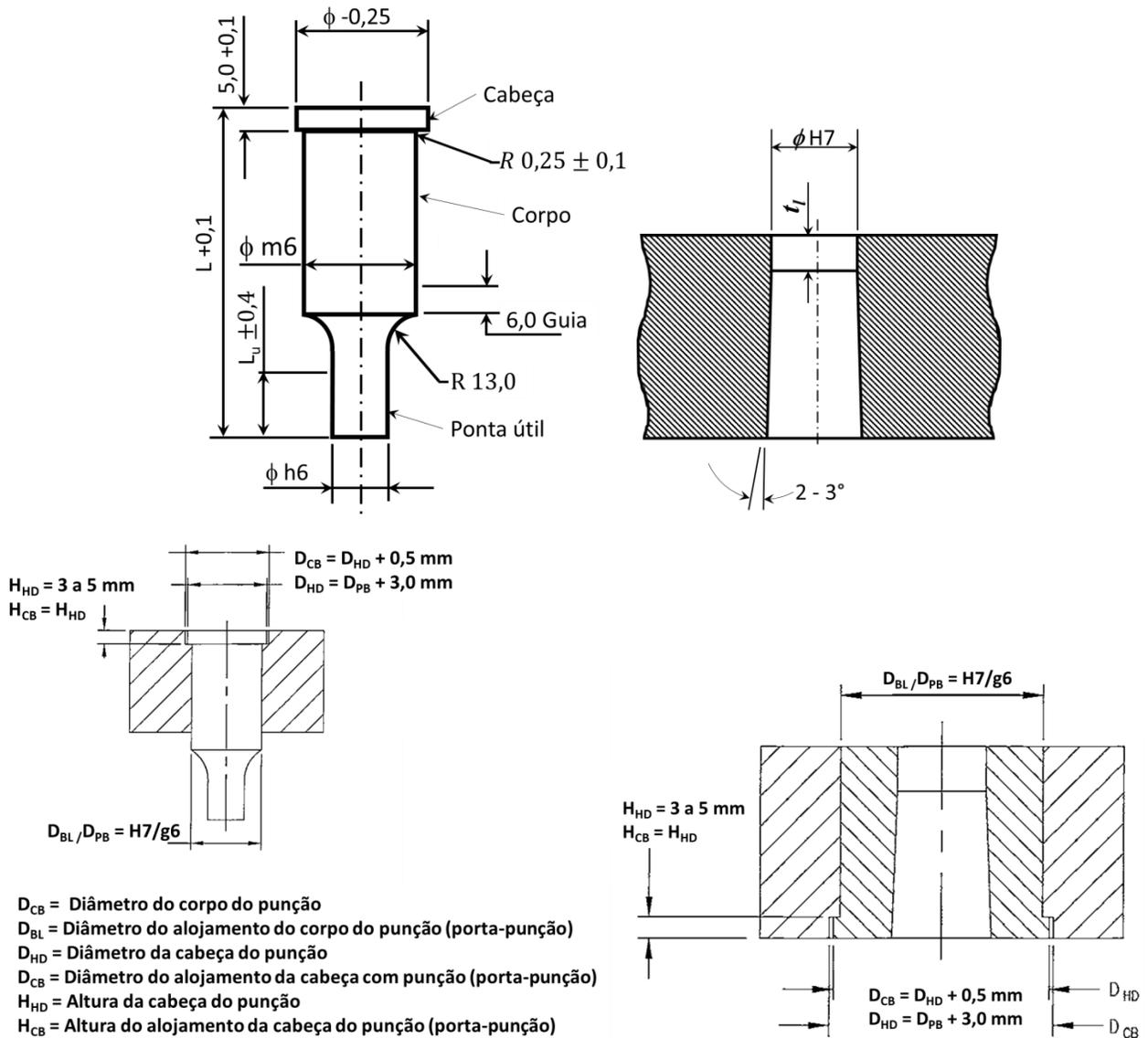


Figura 3.36 – Exemplo de um desenho de punção e matriz de seção circular com as principais tolerâncias.

Qualquer punção de cisalhamento possui uma cabeça (Figura 3.36), qual servirá para fixá-lo na placa porta-punções (Figuras 3.1 e 3.2), uma ponta útil (Figura 3.36), qual será responsável pela operação de cisalhamento e um corpo entre essas partes. A Figura 3.37 mostra em corte uma visão geral da disposição de alguns componentes do estampo incluindo o punção e a matriz.

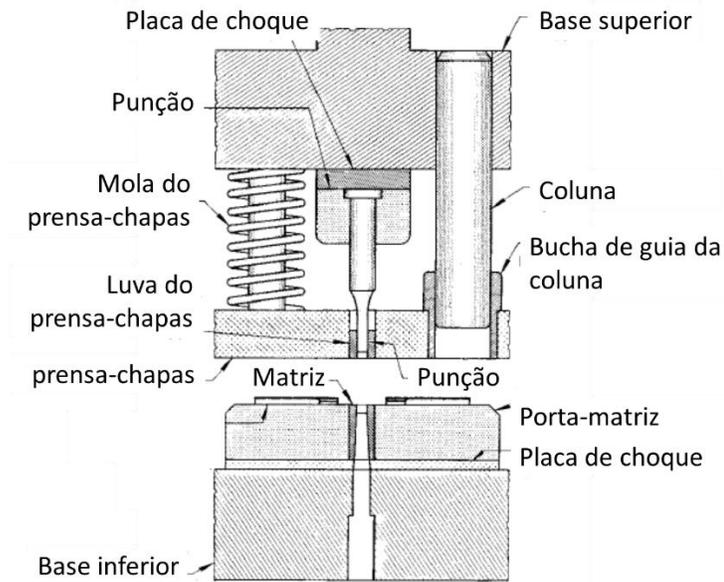


Figura 3.37 – Vista em corte da disposição geral de alguns componentes de um estampo de corte.

Para que o corte por cisalhamento resulte com qualidade, a folga entre o punção e a respectiva matriz deve ser calculada. Excessiva folga resultará em peças com rebarbas e pouca folga pode levar à quebra prematura das arestas, nos punções ou nas matrizes, além de exigir força de corte acima daquela calculada. A Figura 3.38 mostra como calcular a folga ( $f$ ) entre punções e matrizes para casos gerais.

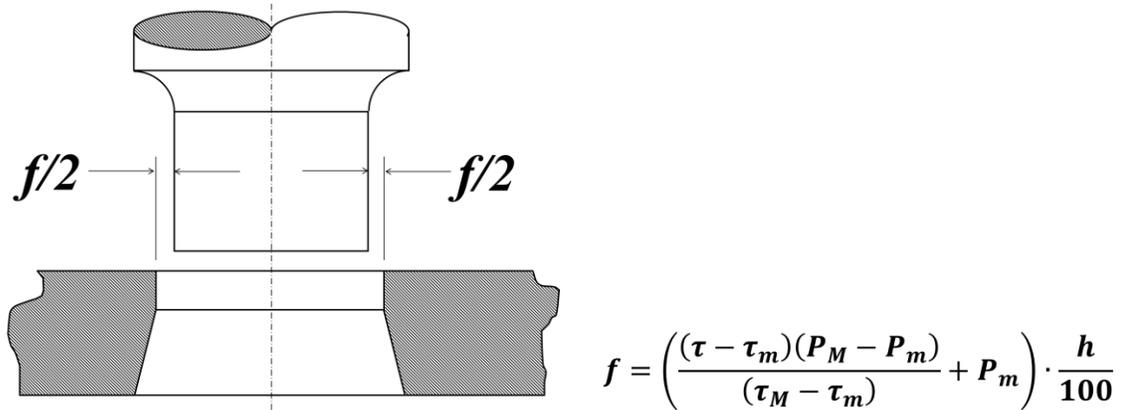


Figura 3.38– Recomendações de folga punção-matriz para ferramentas de corte por cisalhamento.

A folga punção-matriz depende do material sendo cisalhado e da espessura do mesmo. Para caracterizar o material usa-se a sua tensão de cisalhamento ( $\tau_c$ ), dada pela Tabela 3.4. Segundo recomendação das referências listadas ao final desse texto, folgas podem variar entre 6 e 20% da espessura do material a cisalhar. Como regra geral, usam-se folgas de 20% para materiais com altas tensões de cisalhamento e 6% para os de menor valor. Assumindo uma distribuição linear destas

porcentagens para os diversos materiais a serem cisalhados, conforme Tabela 3.3, a equação na Figura 3.38 foi deduzida, sendo:

$\tau$  = Tensão de cisalhamento do material a ser cisalhado;

$\tau_m$  = Tensão de cisalhamento do material menos resistente que se possa cisalhar (adotado 65 N/mm<sup>2</sup> segundo Tabela 3.4);

$\tau_M$  = Tensão de cisalhamento do material mais resistente que se possa cisalhar (adotado 1029 N/mm<sup>2</sup> segundo Tabela 3.4);

$P_m$  = Mínima porcentagem de folga (adotada 6%);

$P_M$  = Máxima porcentagem de folga (adotada 20%);

Devido a essa folga  $f$ , necessária para o corte, a dimensão externa da parte destacada pelo punção e a dimensão do vazio deixado na parte sobre a matriz não coincidem. A dimensão da parte destacada corresponde à medida da matriz, pois passou pelo talão da mesma. Da mesma forma, a dimensão do vazio deixado na parte sobre a matriz corresponde à dimensão do punção, pois este passou pelo vazio. Para esclarecer melhor esse conceito estabelecem-se duas operações distintas: O puncionamento e o corte, *blanking*, conforme mostrado na Figura 3.39.

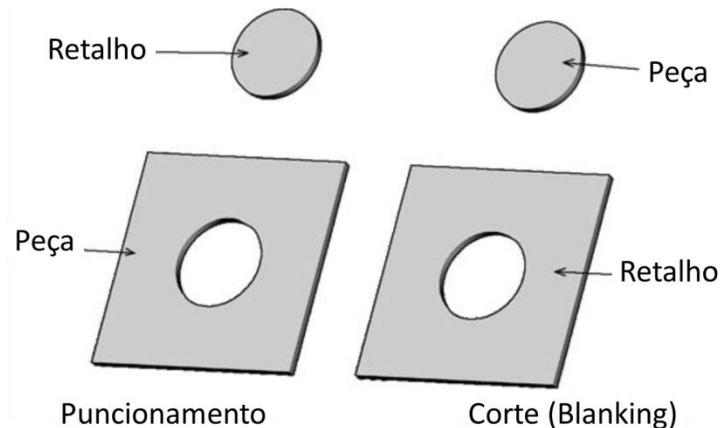


Figura 3.39 – distinção entre a operação de puncionamento e o corte ou *blanking*.

Este conceito é importante para o correto dimensionamento e atribuição das tolerâncias ao punção e à matriz. Têm-se assim duas situações distintas para o dimensionamento:

1 - Na operação de puncionamento. Neste caso, atribui-se ao punção a maior dimensão especificada para o furo levando-se em conta a tolerância do mesmo. Esta será a dimensão nominal do punção. A esta dimensão atribui-se a tolerância típica do punção (h6), segundo a recomendação na Figura 3.36. A seguir calcula-se a folga recomendada, segundo a equação proposta na Figura 3.38.

Soma-se, então a folga ao valor nominal da dimensão do punção obtendo-se a dimensão nominal da matriz. A este valor então atribui-se a tolerância típica da matriz (H7), recomendada na Figura 3.36.

2 – Na operação de corte ou *blanking*. Neste caso atribui-se ao furo da matriz a menor dimensão especificada para a peça levando-se em conta a tolerância da mesma. Esta será a dimensão nominal da matriz. A esta dimensão atribui-se a tolerância típica da matriz (H7), segundo a recomendação na Figura 3.36. A seguir calcula-se a folga recomendada, segundo a equação proposta na Figura 3.36. Diminui-se, então a folga do valor nominal da dimensão da matriz obtendo-se a dimensão nominal do punção. A este valor então atribui-se a tolerância típica do punção (h6), recomendada na Figura 3.36.

### **3.6.1 – Projeto dos punções**

Para a completa determinação do punção falta ainda o material, o tratamento térmico, a dureza final, comprimento e a verificação à flambagem. Punções para corte devem ser fabricados usando-se aços para trabalho a frio, os quais são adequados para os tratamentos térmicos de têmpera e revenimento. A Tabela 3.7 mostra alguns materiais recomendados para a fabricação de punções.

Tabela 3.7 – Recomendações de materiais para punções e matrizes.

Material da peça	Material dos punções e matrizes para produzir até:				
	1000 peças	10.000 peças	100.000 peças	1.000.000 peças	10.000.000 peças
Peças tipo 1 até 75 mm	O1, A2	O1, A2	O1, A2	D2, CPM 10V	Carbeto
Ligas de Al, Cu e Mg	O1, A2	O1, A2	O1, A2	D2, CPM 10V	Carbeto
Aço inoxidável austenítico	O1, A2	O1, A2	A2, D2	D2, CPM 10V	Carbeto
Aço mola endurecido a 55 HRC	A2	A2, D2	D2	D4, CPM 10V	Carbeto
Aço silício até 0,64 mm	A2	A2, D2	A2, D2	D4, CPM 10V	Carbeto
Papel, vedações e similares	W1	W1	W1	W1	D2, CPM 10V
plásticos sem reforço	O1, A2	O1, A2	O1, A2	D2, CPM 10V	Carbeto
plásticos reforçados	O1, A2	A2	A2	D2, CPM 10V	Carbeto
Peças tipo 2 até 305 mm					
Ligas de Al, Cu e Mg	4140	4140	A2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Aços Carb. Até 0,70%C e Inóx	4140	4140	A2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Inóx austenítico endurecido	A2	A2, D2	D2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Aço mola até 53 HRC	A2	A2, D2	D2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Aço silício até 0,64 mm	A2	A2, D2	A2, D2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Papel, vedações e similares	4140	4140	A2	A2	A2, D2, CPM 10V
plásticos sem reforço	4140	4140	A2	D2, CPM 10V	Carbeto
plásticos reforçados	A2	A2	D2	D2, CPM 10V	Carbeto
Peças tipo 3 até 75 mm					
Ligas de Al, Cu e Mg	O1, A2	O1, A2	O1, A2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Aços Carb. Até 0,70%C e Inóx	O1, A2	O1, A2	O1, A2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Inóx austenítico endurecido	A2	A2, D2	A2, D2	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Aço mola até 53 HRC	A2	A2, D2	D2, D4	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Aço silício até 0,64 mm	A2	A2, D2	D2, D4	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Papel, vedações e similares	W1	W1	W1, A2	W1, A2	D2, CPM 10V
plásticos sem reforço	O1	O1	A2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
plásticos reforçados	O1	A2	A2	D2, CPM 10V	Carbeto
Peças tipo 4 até 305 mm					
Ligas de Al, Cu e Mg	A2	A2	A2, D2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Aços Carb. Até 0,70%C e Inóx ferrítico	A2	A2	A2, D2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
Inóx austenítico endurecido	A2	A2	A2, D2	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Inóx martensítico	A2	D2	D2	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Aço mola até 53 HRC	A2	A2, D2	D2	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Aço silício até 0,64 mm	A2	A2, D2	D2	D2, D4, CPM 10V	Carbeto
Papel, vedações e similares	W1	W1	W1	W1, A1	D2, CPM 10V
plásticos sem reforço	A2	A2	A2	A2, D2, CPM 10V	Carbeto
plásticos reforçados	A2	A2	D2	D2, CPM 10V	Carbeto

A Figura 3.39 mostra algumas formas típicas das peças produzidas pelos punções e matrizes indicados na Tabela 3.7

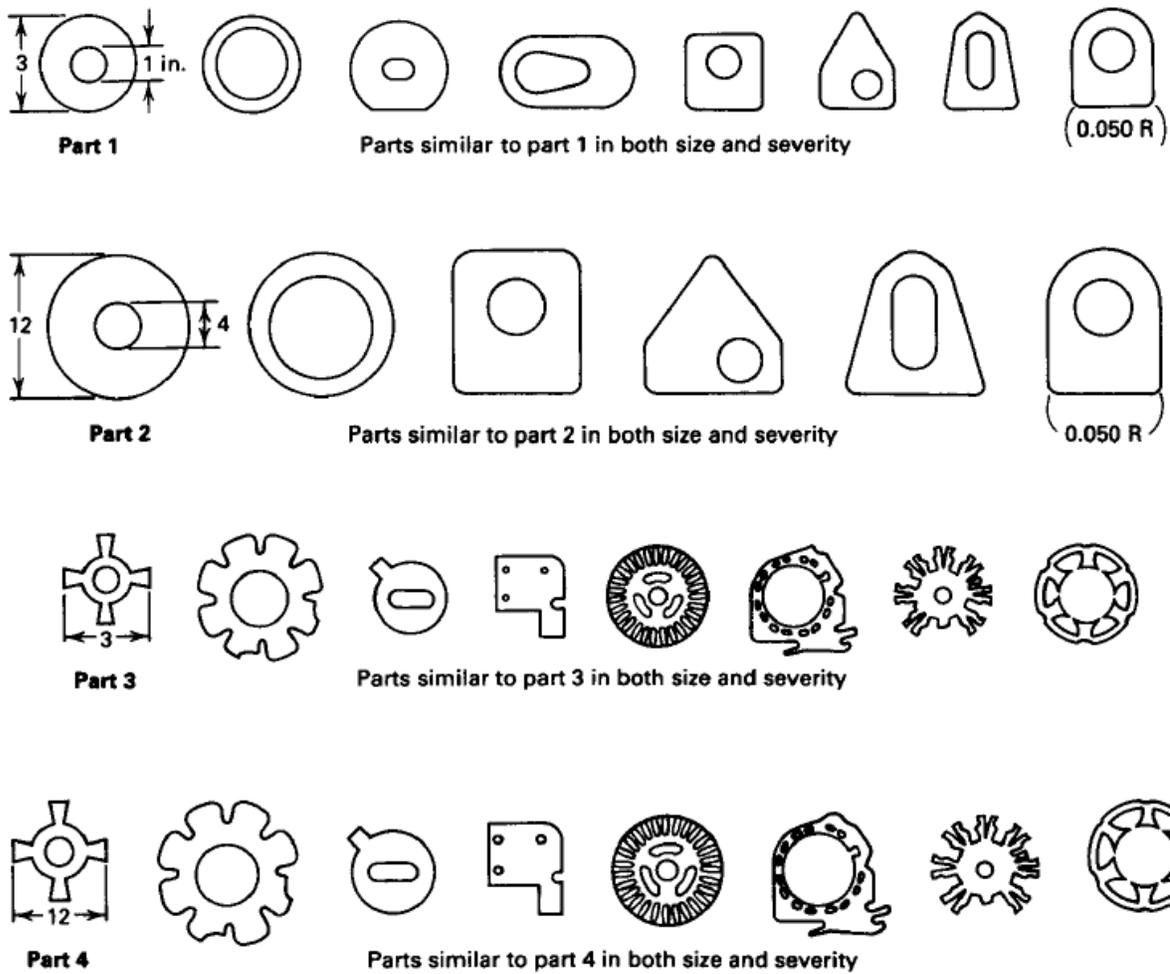


Figura 3.39 – Peças típicas produzidas pelos materiais indicados na Tabela 3.6

A Tabela 3.8 mostra a composição química dos aços normalmente usados em punções e matrizes para corte de chapas. Alguns não são citados na Tabela 3.7, mas que também podem ser usados em ferramentas para diversas outras operações de conformação.

Tabela 3.8 – Composição química de aços típicos para uso em punções e matrizes.

Designation		Composition(a), %								
AISI	UNS	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
<b>Air-hardening, medium-alloy, cold-work steels</b>										
A2	T30102	0.95–1.05	1.00 max	0.50 max	4.75–5.50	0.30 max	0.90–1.40	...	0.15–0.50	...
A3	T30103	1.20–1.30	0.40–0.60	0.50 max	4.75–5.50	0.30 max	0.90–1.40	...	0.80–1.40	...
A4	T30104	0.95–1.05	1.80–2.20	0.50 max	0.90–2.20	0.30 max	0.90–1.40	...	...	...
A6	T30106	0.65–0.75	1.80–2.50	0.50 max	0.90–1.20	0.30 max	0.90–1.40	...	...	...
A7	T30107	2.00–2.85	0.80 max	0.50 max	5.00–5.75	0.30 max	0.90–1.40	0.50–1.50	3.90–5.15	...
<b>High-carbon, high-chromium, cold-work steels</b>										
D2	T30402	1.40–1.60	0.60 max	0.60 max	11.00–13.00	0.30 max	0.70–1.20	...	1.10 max	...
D3	T30403	2.00–2.35	0.60 max	0.60 max	11.00–13.50	0.30 max	...	1.00 max	1.00 max	...
D4	T30404	2.05–2.40	0.60 max	0.60 max	11.00–13.00	0.30 max	0.70–1.20	...	1.00 max	...
<b>Oil-hardening cold-work steels</b>										
O1	T31501	0.85–1.00	1.00–1.40	0.50 max	0.40–0.60	0.30 max	...	0.40–0.60	0.30 max	...
O2	T31502	0.85–0.95	1.40–1.80	0.50 max	0.50 max	0.30 max	0.30 max	...	0.30 max	...
O6	T31506	1.25–1.55(c)	0.30–1.10	0.55–1.50	0.30 max	0.30 max	0.20–0.30	...	...	...
<b>Water-hardening tool steels</b>										
W1	T72301	0.70–1.50(e)	0.10–0.40	0.10–0.40	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	...
W2	T72302	0.85–1.50(e)	0.10–0.40	0.10–0.40	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.15–0.35	...
W5	T72305	1.05–1.15	0.10–0.40	0.10–0.40	0.40–0.60	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	...

Os punções devem ser temperados e revenidos de forma a atingir dureza suficiente para reter propriedades de corte e minimizar o desgaste, assim como evitar quebra prematura devido a choques. As condições de tratamento térmico dependem de cada material e se constituem em um assunto mais amplo. A Tabela 3.9 mostra durezas tipicamente especificadas para os aços da Tabela 3.7.

Tabela 3.9 – Típica faixa de dureza para os aços mais comuns

Material	Têmpera e revenimento HRC
A2	57-62
A3	57-65
A4	54-62
A6	54-60
A7	57-67
D2	54-61
D3	54-61
D4	54-61
O1	57-62
O2	57-62 </td
O6	58-63
W1	50-64
W2	50-64
W5	50-64

Tendo já selecionado a forma, algumas dimensões, tolerâncias e os materiais dos punções, deve-se prosseguir com sua fixação na placa porta-punções e seu apoio na placa de choques. (vide Figura 3.1 e 3.2 para esclarecimento sobre as placas). A Figura 3.40 mostra exemplos de como o arranjo dos punções nessas placas pode resultar.

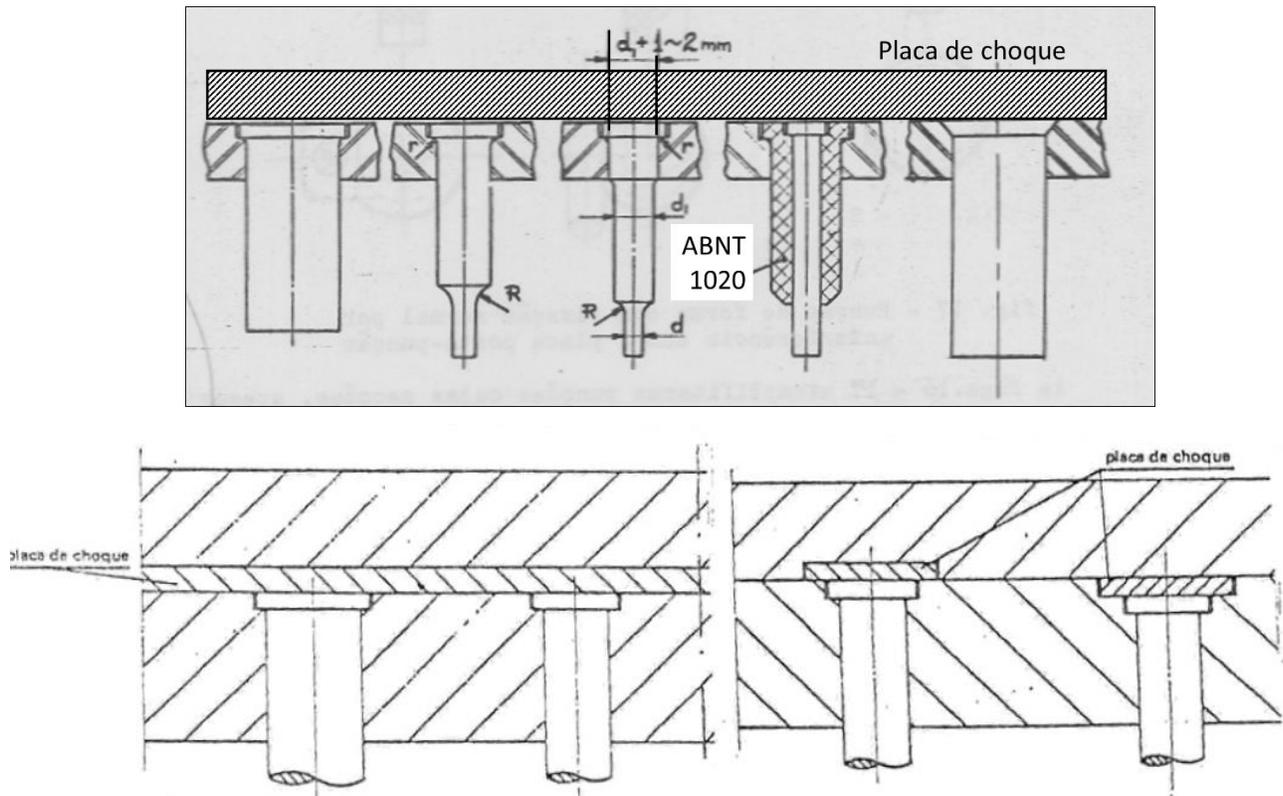


Figura 3.40 – Exemplos de como fixar punções na placa porta-punções em contato com a placa de choque.

A placa porta-punções serve, basicamente, para alojamento dos punções de forma a garantir seus alinhamento e firmeza em posição durante o trabalho, este sujeito a choques e vibrações fortes. É muito importante o alinhamento dos punções em relação às cavidades das matrizes para garantir uma folga uniforme ao longo de todo o perímetro as ser cisalhado. Deve-se sempre ter em mente que a boa qualidade do cisalhamento depende fortemente da folga entre as arestas de corte. Desta forma as tolerâncias de posicionamento dos furos de alojamento dos punções na placa porta-punções é tão importante quanto aquelas nos furos das matrizes. A espessura da placa porta-punções pode ser igual a 2,0 vezes o diâmetro do punção de menor seção transversal, como uma indicação inicial. Espessuras abaixo de 10 mm não devem ser utilizadas. Se for muito fina não ajuda a estabilizar os punções quanto à flambagem. Se for muito espessa demandará punções muito longos, aumentando seu custo. As demais dimensões (largura e comprimento) dessa placa dependerão da localização dos punções de forma a englobar todos eles com sobras laterais maiores do que o raio do punção que ocupa as extremidades. O material normalmente usado nessa peça é ABNT 1045, podendo ser substituído por ABNT 1020 em casos de estampos para lotes de até 10.000 peças. A fixação dessa placa na base do estampo sempre deve incluir dois pinos-guia, para garantir o correto reposicionamento, durante desmontagens do estampo. A seleção de pinos-guia será tratada mais adiante neste texto. Entre a placa porta-punções e a base superior há ainda a placa de choques.

A placa de choques receberá toda a carga do cisalhamento, transmitindo-se para a base superior. Usa-se esta placa para evitar danos à base superior, que muitas vezes é de custo muito maior e se danificada prematuramente, pode levar a inutilização prematura do estampo todo. Assim, a placa de choques pode funcionar como uma peça de “sacrifício” sendo substituída a custos e tempos menores. Para garantir o bom desempenho de sua função a placa de choques deve ser de material e espessura compatíveis com a carga que receberá de todos os punções do estampo. O material dessa chapa pode ser de baixo custo, como ABNT 1010/20 e a espessura superior a 6 mm, para cargas de até 10 toneladas. Para cargas maiores a espessura deve aumentar 2 mm para cada 10 toneladas, como primeira escolha. Selecionada a espessura, verifica-se ainda se a carga de compressão de cada punção sobre a placa de choque não ultrapassa o valor de  $70 \text{ N/mm}^2$ , que é 30% da tensão de escoamento do aço ABNT 1020. Calcula-se esse valor usando-se a área da cabeça de cada punção. Caso algum punção resulte em uma carga maior do que  $70 \text{ N/mm}^2$  ações corretivas devem ser tomadas, como aumento da área da cabeça do punção em contato com a placa de choques, ou uso de material mais resistente á compressão.

Para a determinação do comprimento dos punções, os quais em geral têm todos a mesma dimensão, recomenda-se que seja desenhada uma vista em corte de pelo menos um deles, com todos os componentes, a saber, a placa de choque, a placa porta punções, as molas do prensa-chapas , a placa do

prensa-chapas e a chapa a ser cisalhada. Com essa vista em corte o comprimento dos punções ficará mais evidente.

Punções muito esbeltos, ou seja, com altos valores de  $L/D$  (comprimento/diâmetro) podem estar sujeitos à flambagem, como esquematicamente indicado na Figura 3.41.

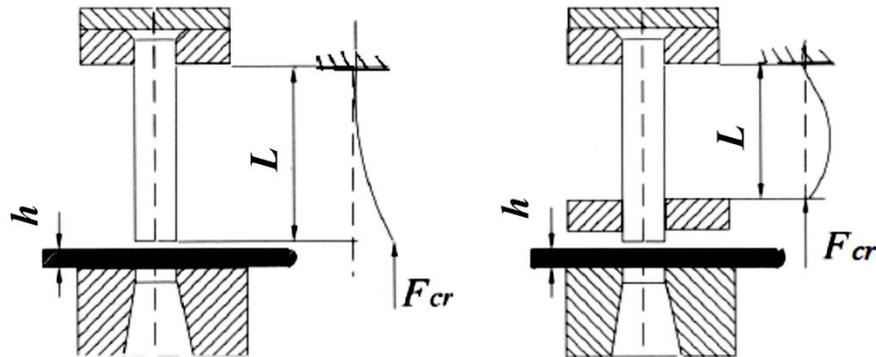


Figura 3.41 – Esquema de como um punção pode falhar por flambagem.

Para evitar essa falha, deve-se calcular o comprimento máximo para falha por flambagem. Para isso, calcula-se a força crítica necessária para a flambagem, segundo a equação proposta por Euler:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EJ}{(CL)^2} \quad (3.9)$$

na qual  $E$  é o módulo de elasticidade do material do punções,  $J$  é o momento de inércia da seção transversal do punção e  $C$  é uma constante, que para vigas engastadas em um ponta é 2. Assim, assume-se que a força crítica seja igual à força necessária para o cisalhamento ( $P_c$ ) e o comprimento máximo para evitar a flambagem no punção será:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\pi^2 EJ}{F_c}} \quad (3.10)$$

na qual  $L_{max}$  é o máximo comprimento permitido para evitar a flambagem. O comprimento do punção no estampo nunca deve exceder o valor máximo calculado pela Equação (3.10). Essa verificação não é necessária para todos os punções, mas somente para aqueles de maior risco.

Para punções muito esbeltos cujo comprimento resulte maior do que aquele calculado pela Equação (3.10) pode-se fixá-lo usando soluções como mostradas na Figura 3.42.

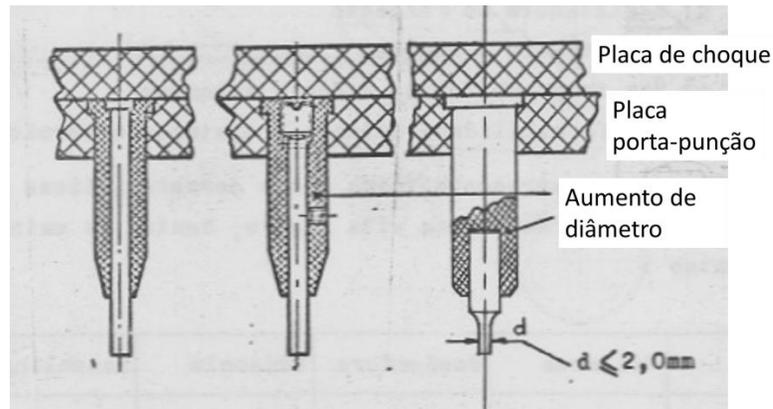


Figura 3.42 – Fixação de punções esbeltos

A fixação de punções que devem se manter posicionados sem rotação durante o trabalho pode ser por meio das soluções mostradas na Figura 3.43.

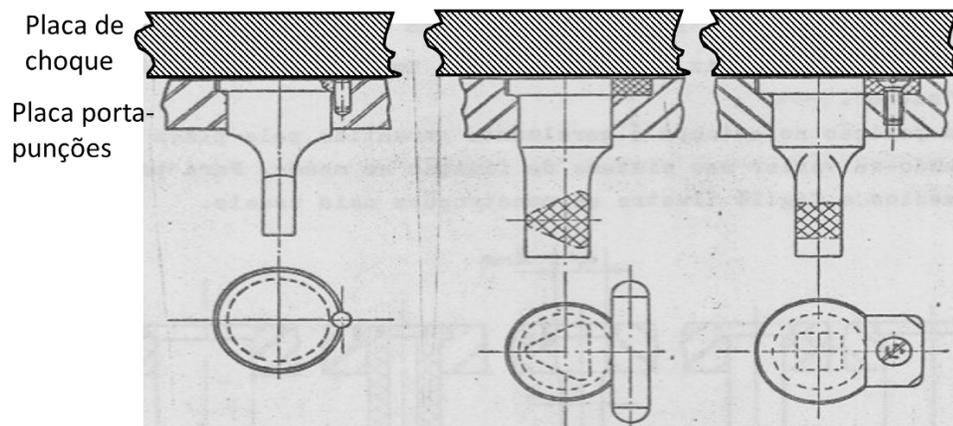


Figura 3.43 – Exemplos de fixação de punções que não podem rotacionar durante o trabalho.

Quando o punção é muito grande, com relação à sua área de contato com a base superior, pode-se optar por fixá-lo diretamente à placa de choque. A Figura 3.44 mostra um exemplo de como essa fixação pode ser realizada, embora outras formas possam ser usadas.

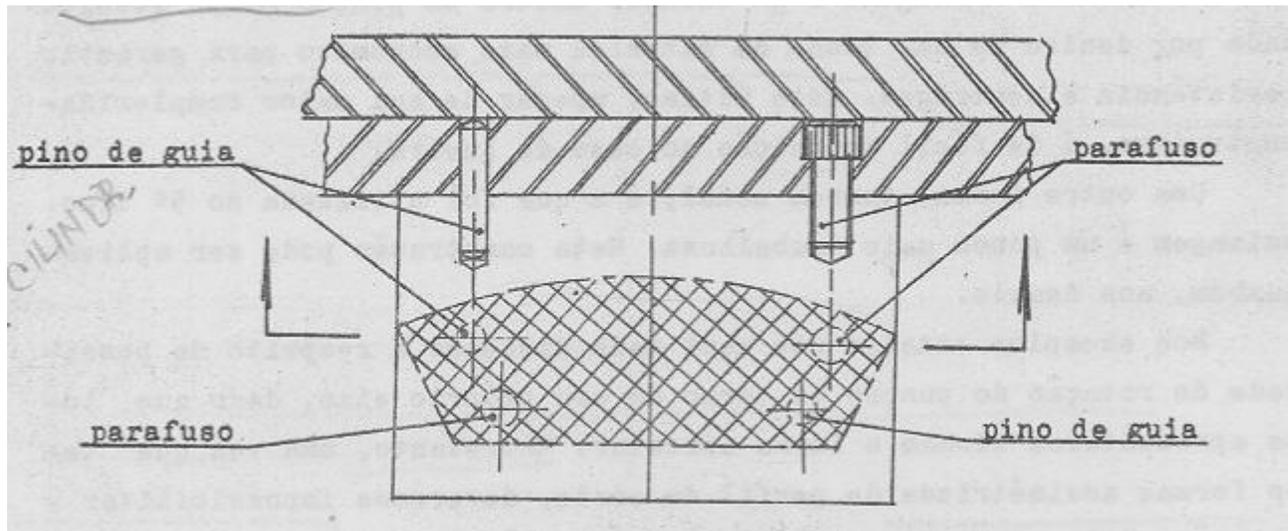


Figura 3.44 – Exemplo de fixação de um punção diretamente sobre a base superior.

Para casos em que o punção de corte resulta muito grande, pode-se usar material endurecido somente nas bordas, onde efetivamente será necessária aresta de corte. A Figura 3.45 mostra um exemplo desse tipo.

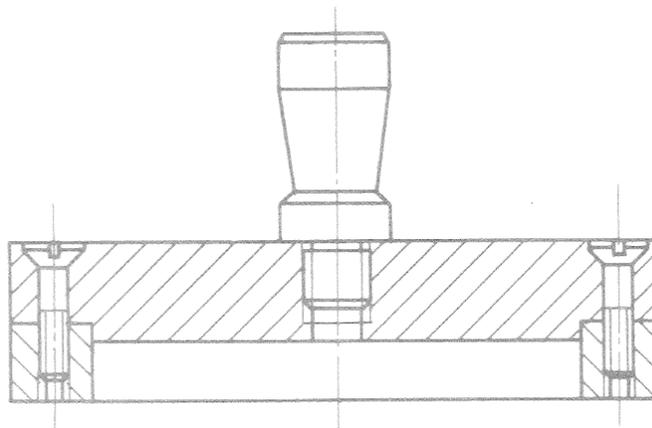


Figura 3.45 exemplo de um punção com material endurecido somente nas bordas.

Também neste caso deve-se optar pelo uso de pinos-guia para garantir a fixação precisa após uma desmontagem. Ainda sobre a fixação de punções a Figura 3.46 mostra outros exemplos, sem, contudo, esgotar o assunto.

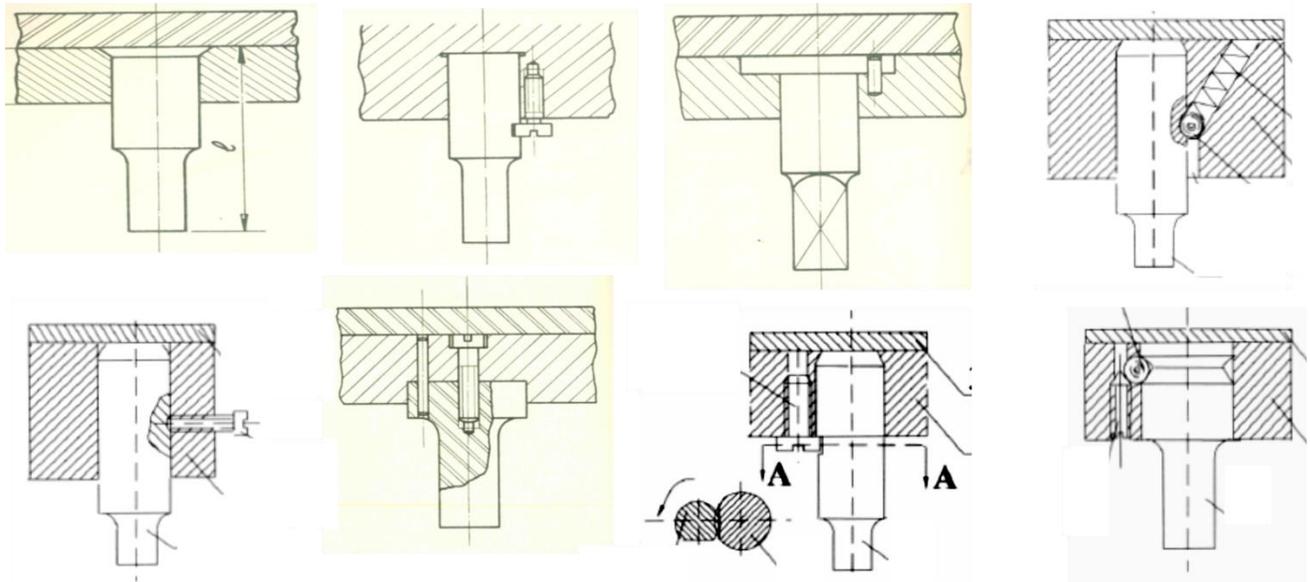


Figura 3.46 – Exemplos diversos para a fixação de punções

A Figura 3.47 mostra exemplos de tolerâncias e folgas normalmente recomendadas para a fixação da cabeça dos punções na placa porta-punções.

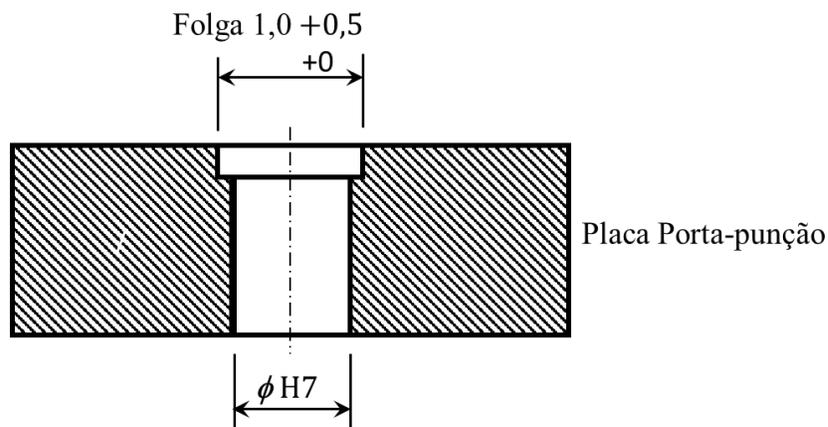


Figura 3.47 – Recomendações de folgas e tolerâncias para a fixação de punções na placa porta-punções.

### 3.6.2 – Projeto das Matrizes

O projeto das matrizes segue um caminho muito parecido com o dos punções e ambos devem ser projetados quase que simultaneamente. A separação aqui é apenas didática, e neste tópico somente os aspectos particulares serão abordados. Os materiais podem ser os mesmos dos punções, segundo a Tabela 3.6, com um detalhe importante: as matrizes podem ter dureza ligeiramente menor que os

punções. Isso se deve ao fato de que, em geral, resultam em corpos maiores, com maior volume e se tornam mais difíceis de atingir durezas mais altas na faixa possível dos materiais para aplicações em ferramentas de cisalhamento. Também estão mais sujeitas a conter furos com cantos vivos, o que deve ser evitado sempre que possível, pois são pontos de concentração de tensões que levam a trincas durante o endurecimento, ou mesmo a falhas prematuras por fadiga mecânica. O projeto da geometria da matriz pode evitar alguns desses problemas de concentração de tensões observando-se alguns princípios básicos. Um deles é a distância mínima entre furos e bordas no projeto da matriz, o qual é derivado do projeto da fita. Neste ponto pode-se ver a necessidade de retornar ao projeto da fita e rearranjar os passos, caso alguma das condições ilustradas na Figura 3.48 não sejam observadas.

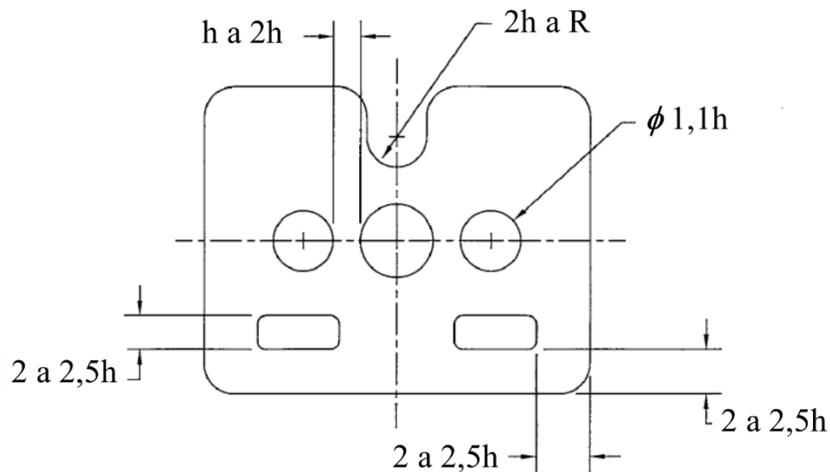


Figura 3.48 – Recomendações para limites de bordas em matrizes.

Mesmo obedecidos esses limites de bordas as matrizes podem ser entre 2-3 pontos de dureza HRC em relação aos respectivos punções.

A matriz possui uma parte útil, chamada de “talão” a qual deve ter tolerância mais estreita em diâmetro, e uma folga ( $f$ ) em relação à dimensão do punção, já calculada anteriormente. Abaixo do talão há um trecho aliviado, o qual pode ser cônico, ou uma dimensão maior com a finalidade de aliviar a saída da parte cisalhada. O comprimento do talão ( $t_l$ ) deve ser cuidadosamente dimensionado, pois dele dependerá o bom funcionamento da matriz e o seu tempo de vida. Um talão muito longo dificultará a saída da parte cisalhada, obrigando o punção a penetrar mais na passagem da matriz, mantendo a força de cisalhamento alta por longos períodos dentro do ciclo de corte. Por outro lado, um talão excessivamente curto não permitirá muitas afiações da matriz, encurtando seu tempo de vida útil. A Figura 3.49 mostra os desenhos mais comuns para a passagem da matriz com matrizes na forma de insertos intercambiáveis.

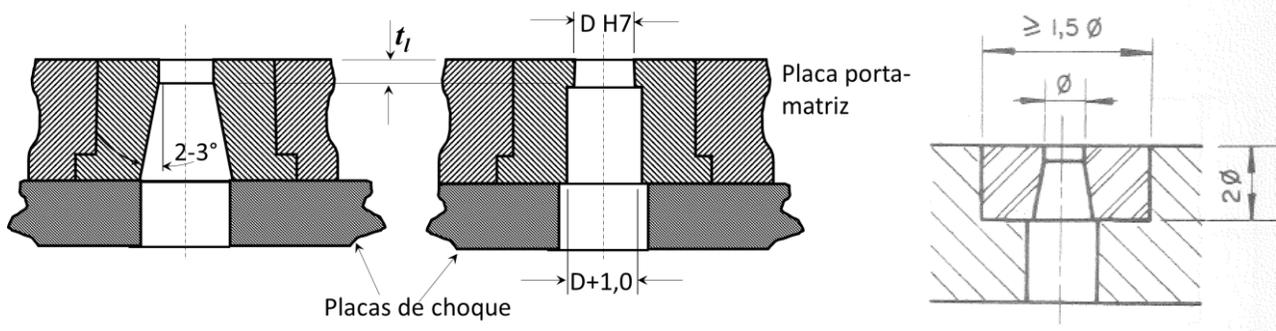


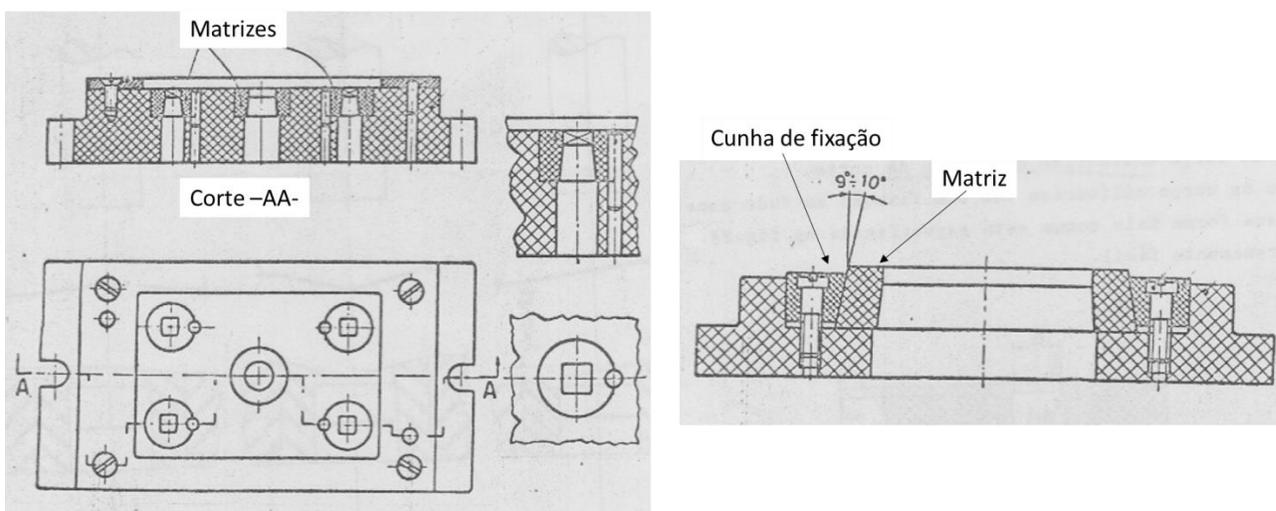
Figura 3.49 – Dois exemplos de desenho de passagem para a matriz.

A Tabela 3.10 mostra algumas recomendações para a dimensão do talão

Tabela 3.10 – Recomendações para a extensão do talão em matrizes para corte de chapas.

Espessura $h$ da chapa (mm)	$< 0,5$	$\leq 0,5 < 5,0$	$\geq 5,0$
Extensão do talão $t_l$ (mm)	2 a 10 $h$	2 a 5 $h$	1,5 $h$

A fixação das matrizes na base inferior, apoiada na placa de choques pode ser realizada de diversas maneiras. A Figura 3.49 mostra casos, no quais usam-se inserts inseridos em uma placa porta-matrizes, mas o caso mais comum é fabrica-la em placas usando-se os mesmos materiais recomendados para os punções e apoiam-se nas placas de choque. Pinos-guia são também usados para manter precisamente as matrizes alinhadas com os punções durante as desmontagens. A Figura 3.50 mostra algumas técnicas para fixação de matrizes.



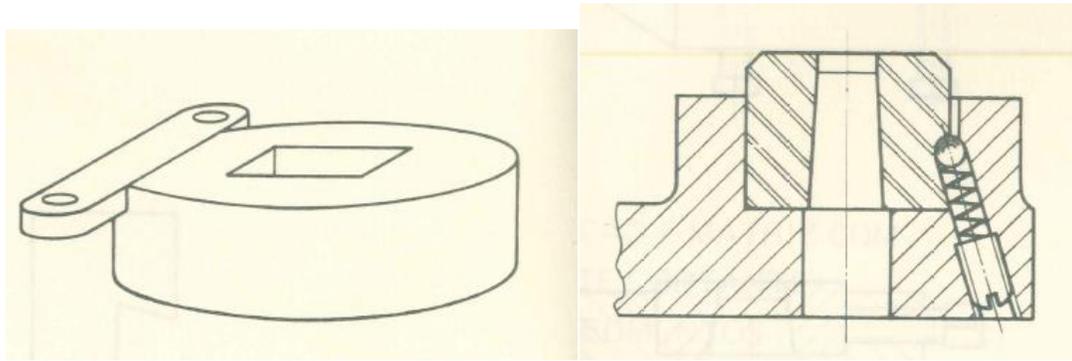


Figura 3.50 – Exemplos de fixação de matrizes em estampas.

Em certos casos as matrizes resultam em formas complexas e a sua fabricação pode resultar em altos custos. Há casos, porém, que se simplificam com a colocação de insertos de formas simples, como mostrado na Figura 3.51.

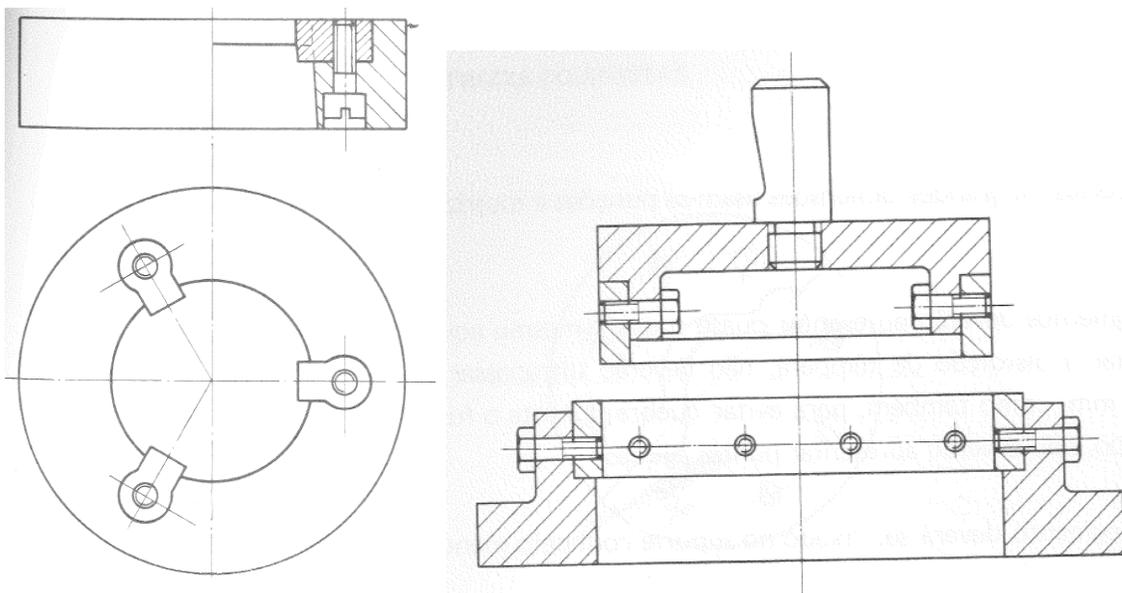


Figura 3.51 – Exemplo de insertos simples para perfis complexos em punções e matrizes.

O projeto da matriz também deve levar em conta certos aspectos como a concentração de tensões em cantos vivos, o que pode resultar em falha prematura da ferramenta. A Figura 3.52 mostra alguns exemplos de escolhas melhores e piores na fabricação de matrizes.

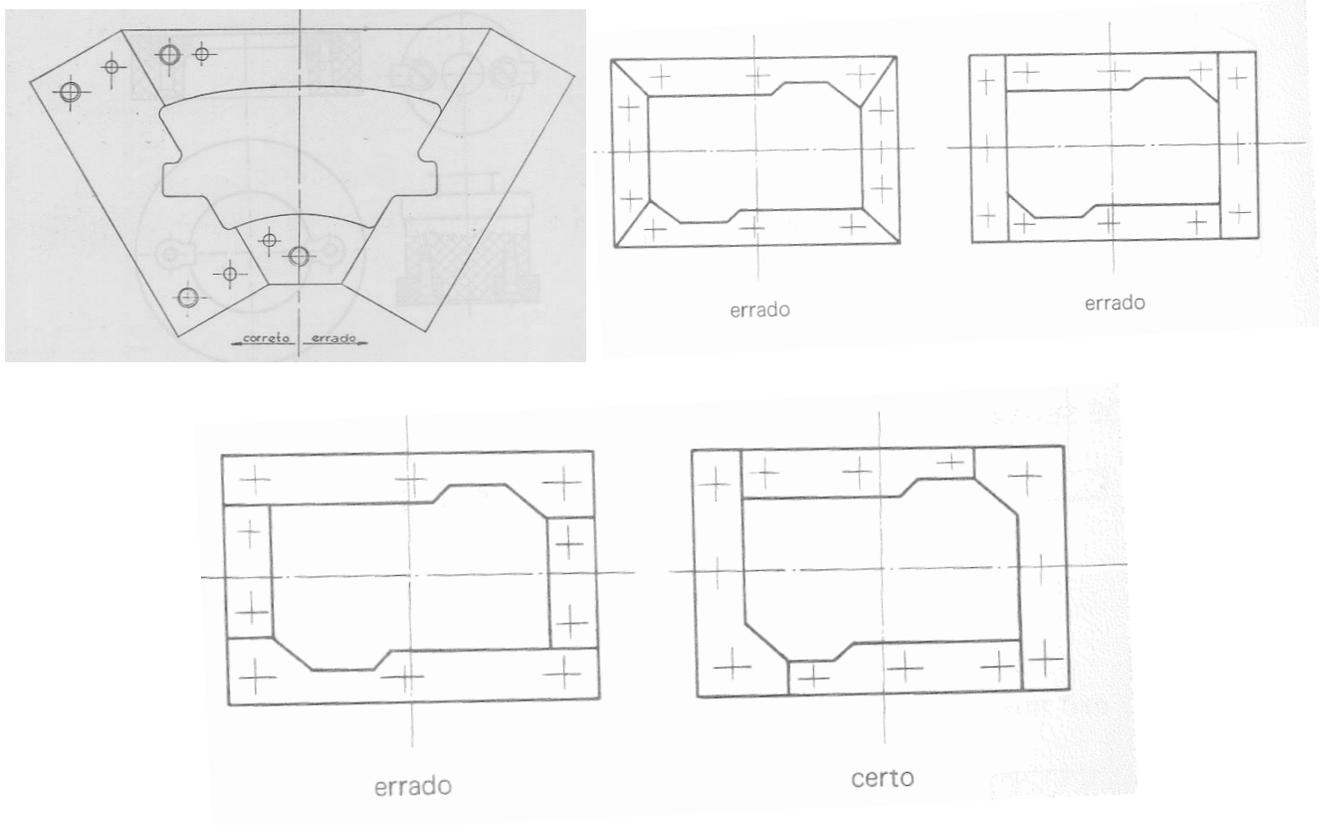


Figura 3.52 – Exemplos de escolhas melhores ou piores em casos de simplificação de matrizes.

As arestas de corte dos punções e das matrizes normalmente são perpendiculares aos seus eixos de simetria e as forças de cisalhamento são calculadas para esses casos. No entanto, podem-se diminuir consideravelmente essas se inclinando as extremidades desses componentes, conforme ilustrado na Figura 3.53.

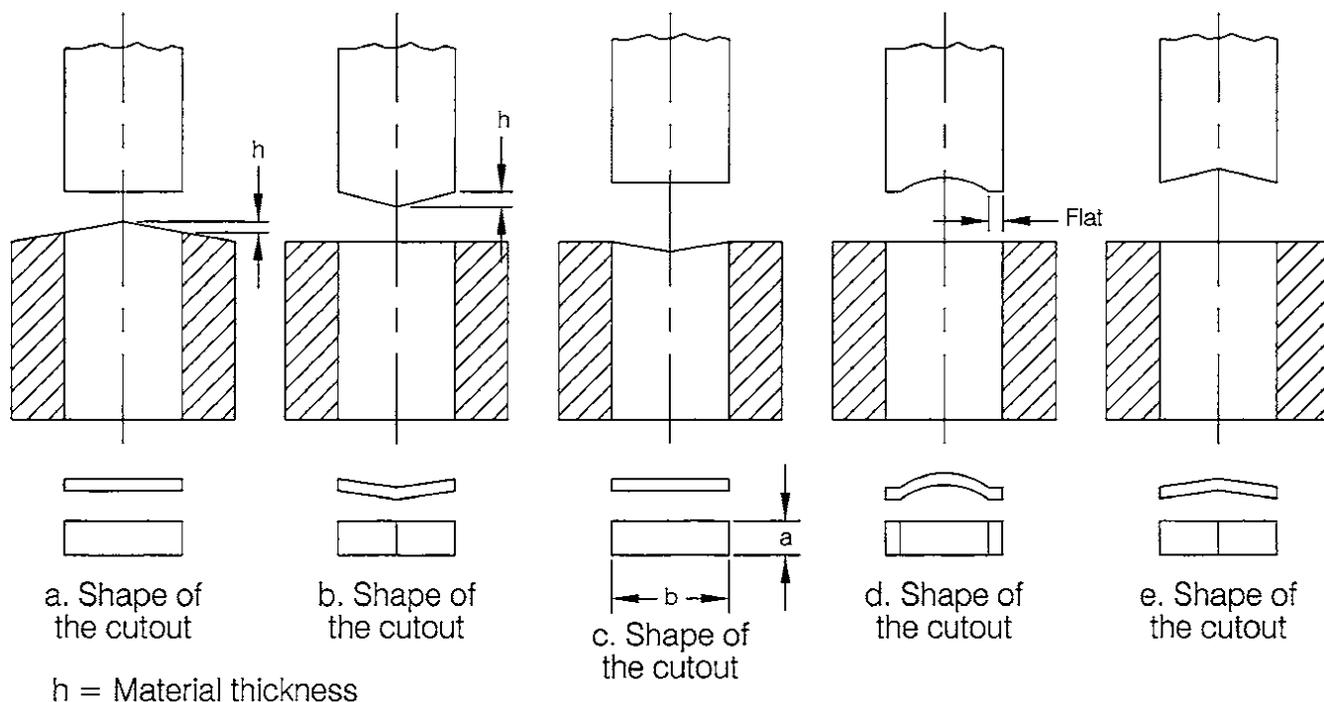


Figura 3.53 – Exemplos de cortes com arestas inclinadas para diminuição das forças de cisalhamento.

As inclinações usadas para diminuir as forças de cisalhamento não podem ser muito grandes para não provocar escorregamento nas chapas durante o corte, mesmo quando se usam prensa-chapas. Recomenda-se, no entanto ângulos entre  $1,5$  e  $4^\circ$  para chapas até  $10$  mm e entre  $5$  e  $10^\circ$  para chapas mais espessas. Com valores dentro dessas faixas, pode-se reduzir as forças de cisalhamento para até 60% dos valores calculados.

### 3.7 – Uso de pino guia

Pinos-guia são elementos de referência dimensional em qualquer projeto, em particular nos estampos. Servem principalmente como garantia de que uma peça será novamente posicionada precisamente, após desmontagem e recolocação. Também podem ser usados para resistir a carga de cisalhamento, embora não seja essa a sua principal função. Sendo assim, devem ser montados com ajuste interferente, mas de baixa carga de montagem e desmontagem. Geralmente usam ajustes H7m6 para garantir a interferência leve, além de serem usados sempre em pares, posicionados de forma a permitir a montagem em uma única posição, evitando inversões de posição na recolocação. Normalmente, são fornecidos por fabricantes especializados em medidas padronizadas no diâmetro e, muitas vezes também no comprimento. Conforme a necessidade, podem também ser fabricados em medidas especiais. Os materiais usados variam muito, desde aço ABNT 1010/20 cementados, aço

prata, ou mesmo em aços ligados temperados e revenidos. Sua utilização típica é mostrada na Figura 3.54.

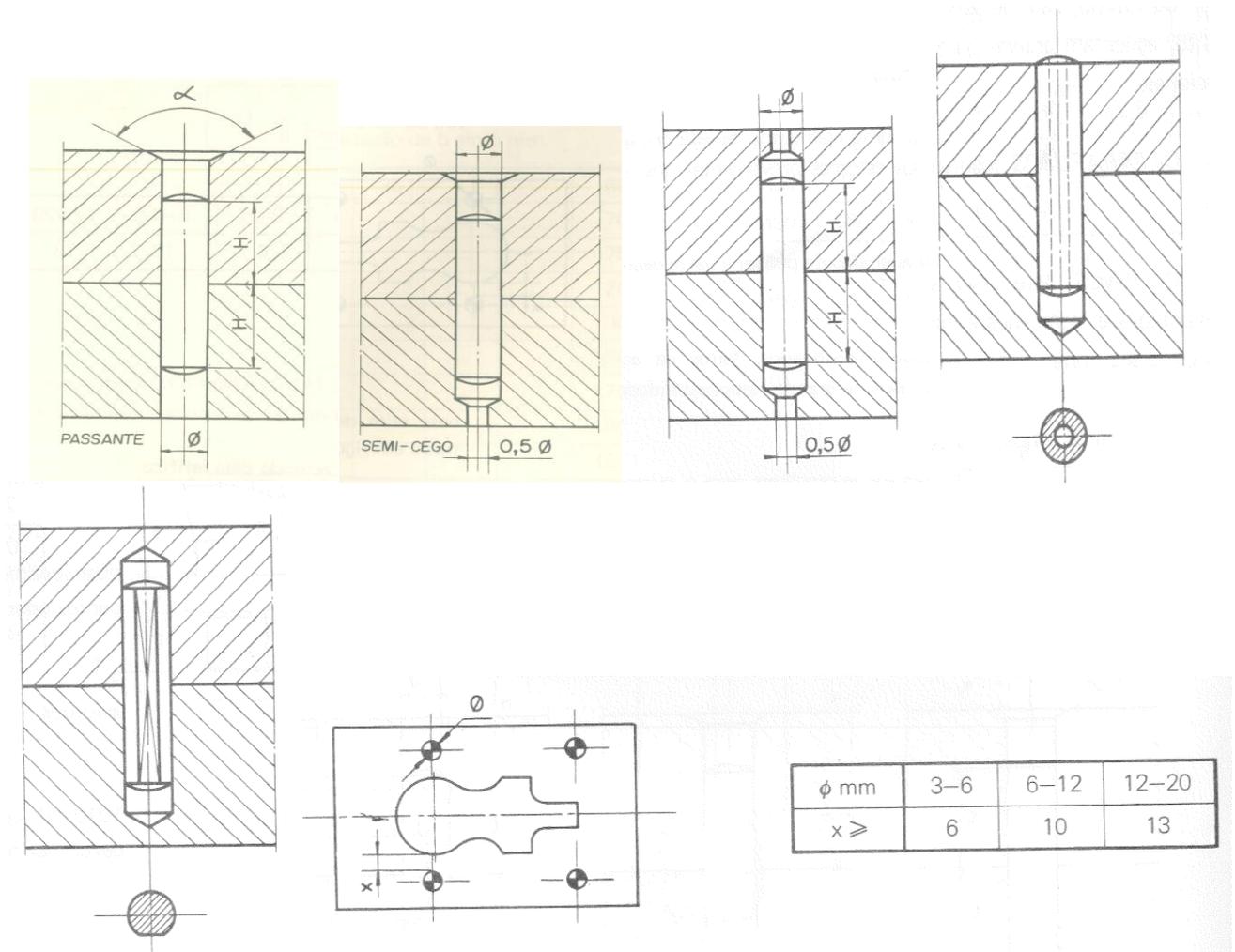


Figura 3.54 – Exemplos típicos de uso de pinos-guia.

É importante que durante o projeto de colocação de pinos-guia sua desmontagem seja também pensada. Pinos com roscas internas são a melhor opção para sua retirada, embora o uso de ferramentas como saca-pinos também seja aceitável, desde que furos de extração sejam deixados. O APÊNDICE V mostra alguns exemplos de pinos-guia com dimensões e arranjos geométricos para uso geral.

### 3.8 – Projeto das colunas

As colunas são componentes do estampo usados para guiar e alinhar os punções com as matrizes, garantindo o correto funcionamento, quanto à folga entre ambos ao longo do trabalho e da vida útil da ferramenta. São, em geral, componentes robustos, assim como as bases inferior e superior

das ferramentas. A Figura 3.55 mostra um arranjo típico muito simples desses componentes que constituem a “estrutura” dos estampos.

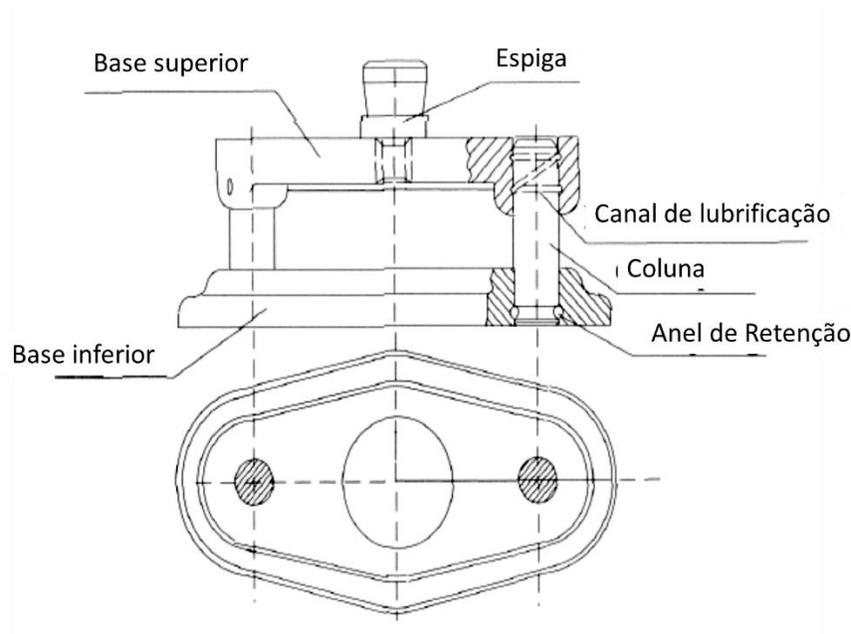


Figura 3.55 – exemplo típico de um arranjo simples entre as colunas e as bases de um estampo.

O diâmetro das colunas dependerá de fatores diversos, mas principalmente da necessidade de guiar as ferramentas. De modo geral, quanto mais punções e matrizes estiverem presentes na ferramenta, quanto maior for esse conjunto, maior deverá ser o diâmetro das colunas para garantir o correto alinhamento dessas ferramentas e, por conseguinte, a manutenção das folgas entre punções e os furos das matrizes, durante o funcionamento do estampo. A presença de punções com dimensões pequenas, cortando chapas finas resultará em folgas pequenas o que demandará colunas de maior diâmetro, ou em maior número. O comprimento das colunas será o resultado da disposição do prensa-chapas com suas molas, mais as dimensões selecionadas para as chapas porta-punções, porta-matrizes, placas de choque e as bases a serem selecionadas. O número e disposição das colunas também será função das cargas envolvidas e das dimensões dos punções e matrizes dispostos na sequência projetada pelo projeto da tira. A Figura 3.56 mostra algumas disposições mais comuns para as colunas de um estampo.

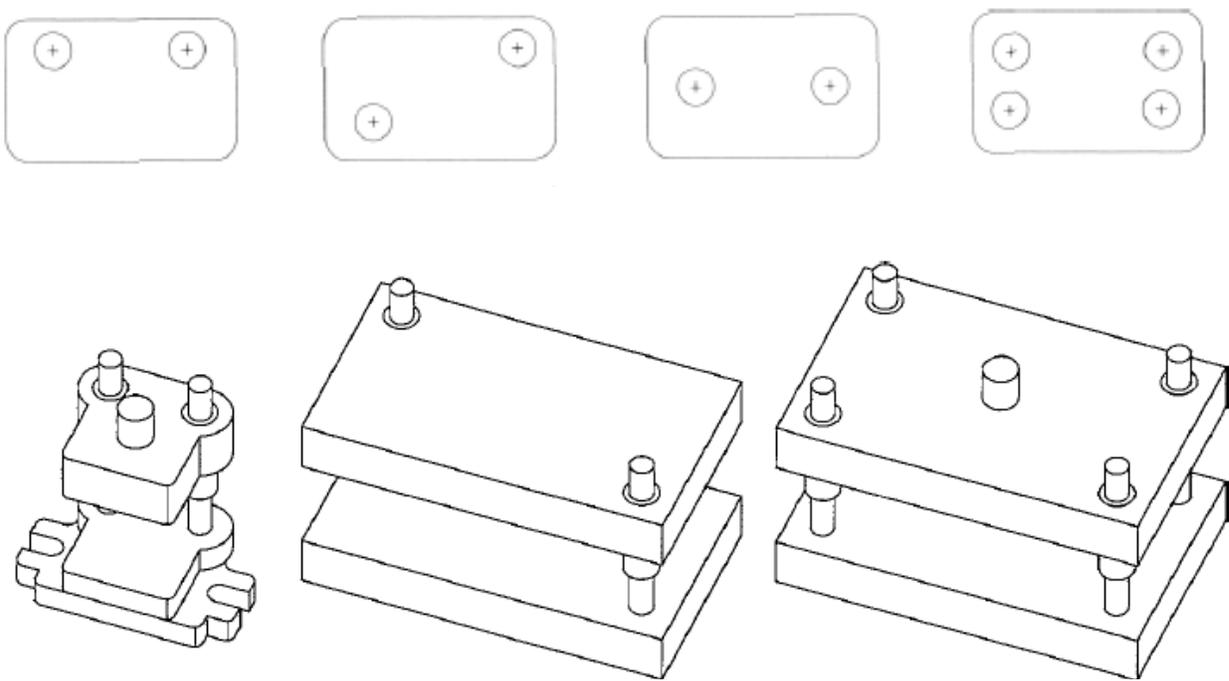


Figura 3.56 – Exemplos de disposição das colunas para estampas de corte.

Como uma primeira orientação para o dimensionamento das colunas, toma-se a área total dos punções como uma indicação da área total das colunas. Com este valor inicial, e que pode ser adotado com um mínimo, opta-se sempre pelo menor número de colunas. Normalmente as colunas são fixadas na base inferior e a base superior desliza sobre elas durante o funcionamento da ferramenta. Por esta razão, o acoplamento entre a base superior e cada coluna deve ser deslizante, por meio de mancais entre essas partes, ou com uma bucha de deslizamento. Quando a ferramenta é projetada para centenas, ou milhares de peças, a base superior pode ser de ferro fundido e a coluna de aço, muitas vezes cementado e retificado, sem necessidade de buchas. Canais de lubrificação para alojamento de graxa também são uma solução elegante. Com um acoplamento deslizante garantem-se as folgas matrizes-punções e o lubrificante um funcionamento com baixo atrito e prolongada vida, minimizando o desgaste dessas partes. Um caso simples desse é mostrado na Figura 3.55. Nos casos onde a ferramenta deve produzir milhões de peças, buchas de deslizamento podem ser introduzidas entre a coluna e a base superior. Essas buchas podem também ser de esferas, o que diminui muito o atrito e prolonga ainda mais a vida dessas partes. Nos casos de desgaste as buchas são geralmente substituídas, pois as colunas são fabricadas em aço endurecido (ou cementado) e retificado, retardando ainda mais seu desgaste. A Figura 3.57 mostra exemplos desses arranjos entre bases e colunas em estampas.

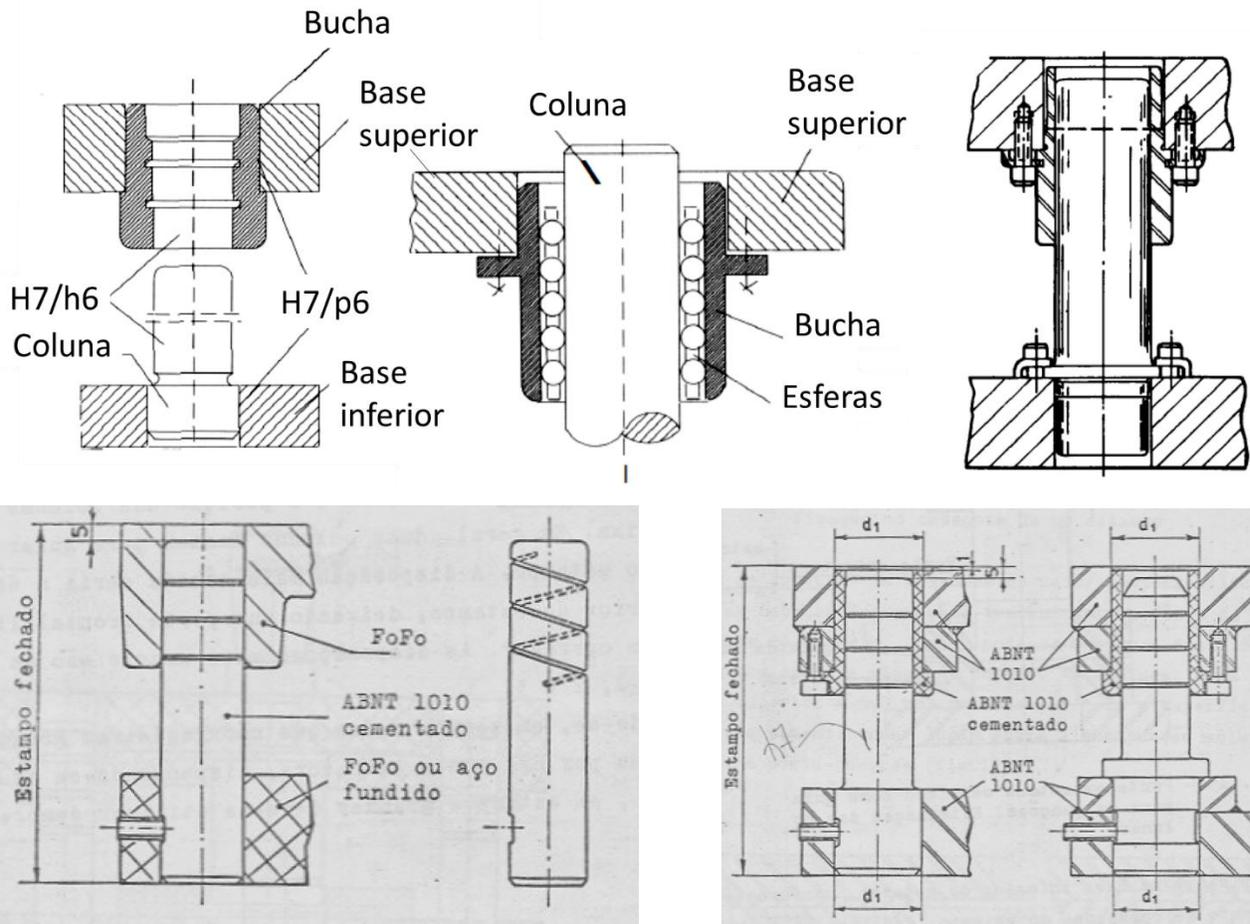
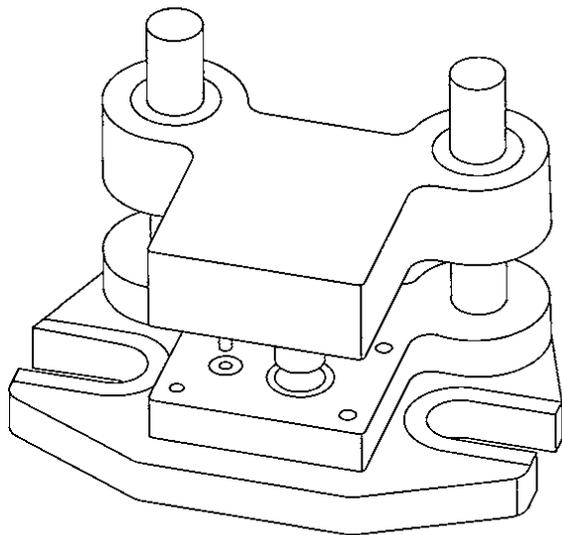


Figura 3.57 – Exemplos de acoplamentos entre colunas e bases em estampos.

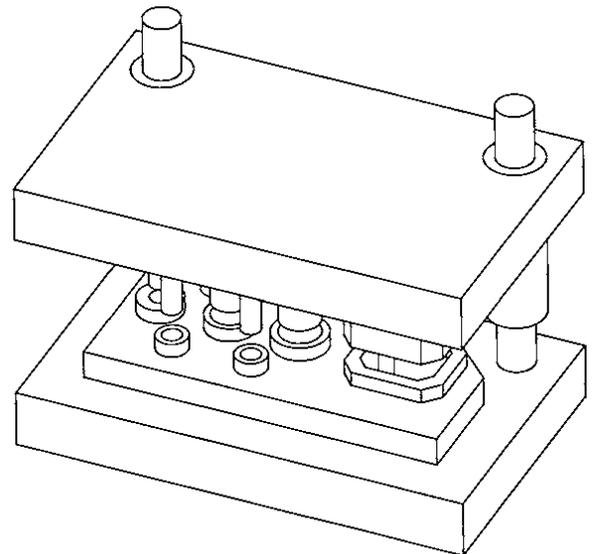
O Apêndice VI mostra alguns modelos de colunas para a seleção em projetos simples com dimensões comercialmente encontradas, embora outras dimensões e modelos possam ser especificados e construídos.

### 3.9 – Projeto das bases

Como última fase no projeto de uma ferramenta de corte e dobra tem-se o projeto das bases superior e inferior. Neste ponto a decisão deve levar em conta a carga total a ser suportada pela ferramenta, a qual será transmitida do cabeçote da prensa para a base superior, desta para a peça, através dos punções, suportada pela matriz assentada sobre a base inferior e a mesa da prensa. As dimensões externas das bases devem ser capazes de abranger todos os punções, matrizes, molas, colunas e eventuais acessórios. A Figura 3. 58 mostra alguns exemplos de bases e sua disposição.



a. COMPOUND DIE



b. PROGRESSIVE DIE

Figura 3.58 – Exemplos típicos de bases utilizadas em estampo de corte e dobra.

A espessura dessas bases deve ser compatível com as cargas envolvidas, não se deformando durante o trabalho. Como regra geral, as bases não devem resultar menores do que 35 mm de espessura, uma vez que alojarão cabeças de parafusos, pinos-guia, etc. Um limite superior para a espessura deve levar em conta os esforços a que estarão sujeitas as bases, distribuídos conforme as matrizes e punções sejam alocados. Neste dimensionamento um coeficiente de segurança alto deve ser usado, pois flexão é indesejável, mesmo no regime elástico e falhas por fadiga são inadmissíveis durante o trabalho das ferramentas sujeitas, muitas vezes, a milhões de ciclos. Como regra mais geral a Tabela 3.11 indica espessura mínimas para as bases de estampos de corte.

Tabela 3.11 – Recomendações para espessura de bases de estampos de corte

Força total (tonf)	Espessura mínima recomendada (mm)	
	Base Inferior	Base Superior
20 a 30	40	35
30 a 50	50	48
50 a 80	65 a 75	60

Pode-se fabricar as bases em ferro fundido cinzento, GG25, ou equivalente, ou mesmo aço ABNT 1020. No entanto, se pode também comprar bases e colunas já montados e ajustados de fornecedores especializados. Nestes casos, seleciona-se de uma relação de diversas configurações e dimensões já existentes, o que pode encurtar o tempo de fabricação. A Figura 3.59 mostra alguns exemplos de peças fornecidas por fabricantes especializados.



Figura 3.59 – Exemplos de bases e colunas oferecidas pelo mercado.

Na seleção da espessura e dimensões externas das bases, há que se levar em conta que essas deverão receber furos de fixação, de passagem (base inferior), alívios para passagem das colunas (base superior) e muitas outras remoções que contribuem para seu enfraquecimento mecânico. Assim, geralmente as bases parecem superdimensionadas externamente, mas contém muitos fatores que as enfraquecem e esses devem ser pensados na sua escolha. O Apêndice VI traz alguns exemplos de dimensões padronizadas por fabricantes de bases e colunas.

### **3.10 – Fixação do estampo na máquina**

Para estampos pequenos, com peso até 30 kg aproximadamente, usam-se grampos para prendê-lo à mesa da prensa nos rasgos perfil “T”, conforme mostrado na Figura 3.60.

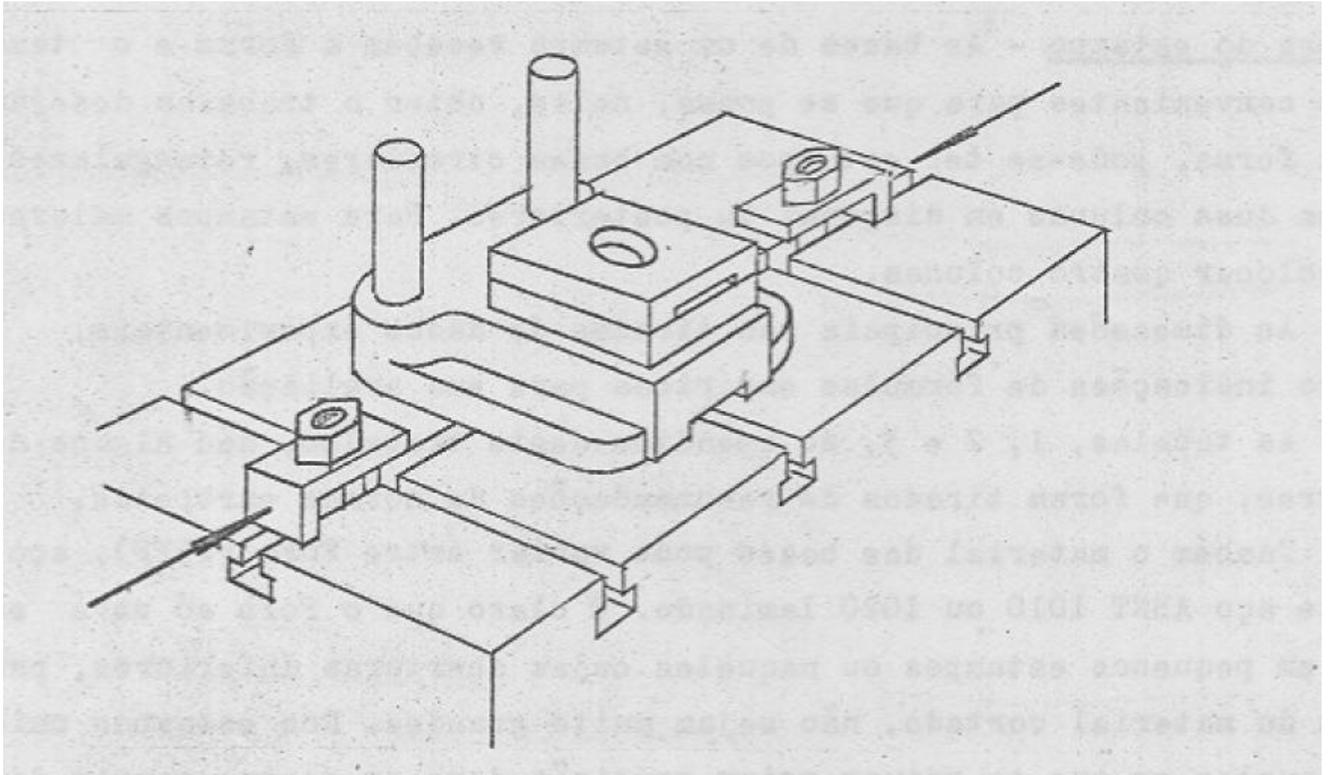


Figura 3.60 – Exemplo de fixação de estampas pequenos diretamente na mesa da prensa.

Estampas maiores, geralmente com peso maior que 30 -40 kg, devem possuir rasgos na base inferior para fixação mais forte nos rasgos da mesa da prensa, conforme figura 3.61.

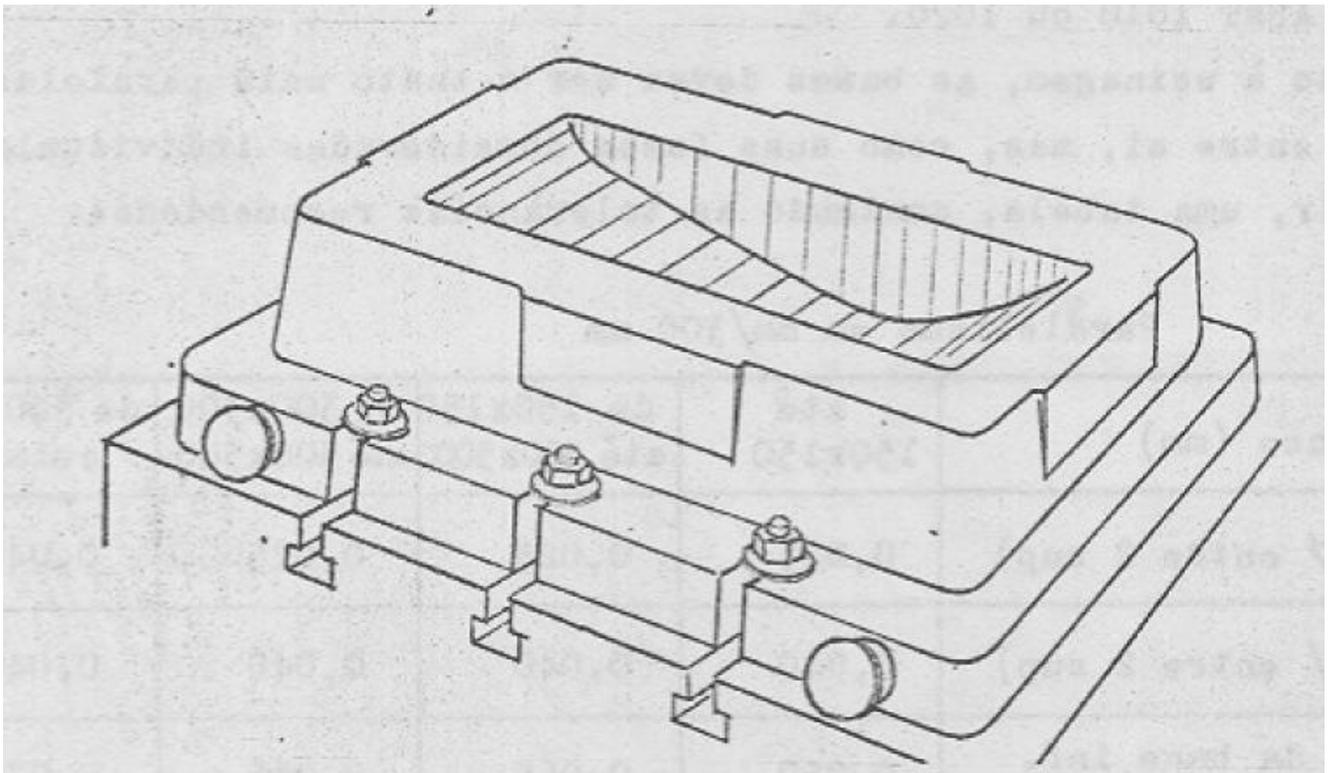


Figura 3.61 – Exemplo de fixação de estampas maiores contendo rasgos na base inferior.



## 4 - BIBLIOGRAFIA

- Anonymous, (1998), Metal Working Handbook-Schuler, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Altan, T., Uh, S., Gegel, H., (1999), “Conformação dos Metais – Fundamentos e Aplicações”, EESC-USP, São Carlos, ISBN 85-85205-25-3.
- Dallas, D.B, (1976), Tool and Manufacturing Engineers Handbook, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill Book Company.
- DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A. (1997), “Materials and Processes in Manufacturing”, Prentice Hall, ISBN 0-02-328621-0.
- Frateschi, C., Negrini, L.G., (1980), Estampos de Corte – Elementos, Apostila publicada pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 64p.
- Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B. (2010), Additive Manufacturing Technologies - Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing, Springer New York Heidelberg Dordrecht London.
- Kalpackjian, S. (1995), “Manufacturing Processes for Engineering Materials”, Addison-Wesley Publishing Company, 2<sup>nd</sup> ed., ISBN 0-201-60702-6.
- Suchy, I., (2006), “Handbook of Die Design”, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill Books.
- Pereira, R.L., (1979), “Tratamento Térmico dos Metais”, EESC-USP. São Carlos.
- Shaw, M.C., (1986), “Metal Cutting Principles”, Oxford University Press, USA, ISBN 0-19-859002-4
- Slack, N. et al. 1996
- Souza, S.A. de, (1982), “Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos”, Editora Edgar Blucher Ltda. ISBN 85-212-0012-09.
- Tschaetsch, H. (2005), “Metal Forming Practise - Processes – Machines – Tools, ISBN-10 3-540-33216-2 Springer Berlin Heidelberg New York.
- Trent, E.M., (1984), “Metal Cutting”, Butterworths, Londres. ISBN 0-408-10856-8
- VanVlack, L.H., (1970), “Princípios de Ciências dos Materiais”, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo.

**APÊNDICE – I – COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PROPRIEDADES  
MECÂNICAS DE AÇOS E FERROS FUNDIDOS**

Tabela AI.1 – Principais elementos químicos na composição típica de aços ao carbono

Designação ABNT	C (%)	Mn (%)	P máx. (%)	S máx. (%)
1008	0,10 máx	0,30-0,50	0,040	0,050
1010	0,08-0,013	0,30-0,60	0,040	0,050
1012	0,10-0,15	0,30-0,60	0,040	0,050
1015	0,13-0,18	0,30-0,60	0,040	0,050
1016	0,13-0,18	0,60-0,90	0,040	0,050
1017	0,15-0,20	0,30-0,60	0,040	0,050
1018	0,15-0,20	0,60-0,90	0,040	0,050
1019	0,15-0,20	0,70-1,00	0,040	0,050
1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050
1021	0,18-0,23	0,60-0,90	0,040	0,050
1022	0,18-0,23	0,70-1,00	0,040	0,050
1023	0,20-0,25	0,30-0,60	0,040	0,050
1025	0,22-0,28	0,30-0,60	0,040	0,050
1026	0,22-0,28	0,60-0,90	0,040	0,050
1029	0,25-0,31	0,60-0,90	0,040	0,050
1030	0,28-0,34	0,60-0,90	0,040	0,050
1035	0,32-0,38	0,60-0,90	0,040	0,050
1037	0,32-0,38	0,70-1,00	0,040	0,050
1038	0,35-0,42	0,60-0,90	0,040	0,050
1039	0,37-0,44	0,70-1,00	0,040	0,050
1040	0,37-0,44	0,60-0,90	0,040	0,050
1042	0,40-0,47	0,60-0,90	0,040	0,050
1043	0,40-0,47	0,70-1,00	0,040	0,050
1044	0,43-0,50	0,30-0,60	0,040	0,050
1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050
1046	0,43-0,50	0,70-1,00	0,040	0,050
1049	0,46-0,53	0,60-0,90	0,040	0,050
1050	0,48-0,55	0,60-0,90	0,040	0,050
1053	0,48-0,55	0,70-1,00	0,040	0,050
1055	0,50-0,60	0,60-0,90	0,040	0,050
1060	0,55-0,65	0,60-0,90	0,040	0,050
1070	0,65-0,75	0,60-0,90	0,040	0,050
1078	0,72-0,85	0,30-0,60	0,040	0,050
1080	0,75-0,88	0,60-0,90	0,040	0,050
1084	0,80-0,93	0,60-0,90	0,040	0,050
1090	0,85-0,98	0,60-0,90	0,040	0,050
1095	0,90-1,03	0,30-0,50	0,040	0,050
1513	0,10-0,16	1,10-1,40	0,040	0,050
1518	0,15-0,21	1,10-1,40	0,040	0,050
1522	0,18-0,24	1,10-1,40	0,040	0,050
1524	0,19-0,25	1,35-1,65	0,040	0,050
1525	0,23-0,29	0,80-1,10	0,040	0,050
1526	0,22-0,29	1,10-1,40	0,040	0,050
1527	0,22-0,29	1,20-1,50	0,040	0,050
1536	0,30-0,37	1,20-1,50	0,040	0,050
1541	0,36-0,44	1,35-1,65	0,040	0,050
1547	0,43-0,51	1,35-1,65	0,040	0,050
1548	0,44-0,52	1,10-1,40	0,040	0,050
1551	0,45-0,56	0,85-1,15	0,040	0,050
1552	0,47-0,55	1,20-1,50	0,040	0,050
1561	0,55-0,65	0,75-1,05	0,040	0,050
1566	0,60-0,71	0,85-1,15	0,040	0,050
1572	0,65-0,76	1,00-1,30	0,040	0,050

Tabela AI.2 – Principais elementos químicos na composição típica de aços ao carbono re-sulfurados

Designação ABNT	C (%)	Mn (%)	P máx. (%)	S (%)
1109	0,08-0,13	0,60-0,90	0,040	0,08-0,13
1110	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,08-0,13
1116	0,14-0,20	1,10-1,40	0,040	0,16-0,23
1117	0,14-0,20	1,00-1,30	0,040	0,08-0,13
1118	0,14-0,20	1,30-1,60	0,040	0,08-0,13
1119	0,14-0,20	1,00-1,30	0,040	0,24-0,33
1132	0,27-0,34	1,35-1,65	0,040	0,08-0,13
1137	0,32-0,39	1,35-1,65	0,040	0,08-0,13
1139	0,35-0,43	1,35-1,65	0,040	0,13-0,20
1140	0,37-0,44	0,70-1,00	0,040	0,08-0,13
1141	0,37-0,45	1,35-1,65	0,040	0,08-0,13
1144	0,40-0,48	1,35-1,65	0,040	0,24-0,33
1145	0,42-0,49	0,70-1,00	0,040	0,04-0,07
1146	0,42-0,49	0,70-1,00	0,040	0,08-0,13
1151	0,48-0,55	0,70-1,00	0,040	0,08-0,13

Tabela AI.3 – Principais elementos químicos na composição típica de aços ao carbono re-fosforados

Designação ABNT	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Pb (%)
1211	0,13 máx.	0,60-0,90	0,07-0,12	0,10-0,15	
1212	0,13 máx	0,70-1,00	0,07-0,12	0,16-0,23	
1213	0,13 máx	0,70-1,00	0,07-0,12	0,24-0,33	
1215	0,09 máx	0,75-1,05	0,04-0,09	0,26-0,35	
12L14	0,15 máx	0,85-1,15	0,04-0,09	0,26-0,35	0,15-0,35

Tabela AI.4 – Principais elementos químicos na composição típica de aços ligados

Designação ABNT	C (%)	Mn (%)	P máx. (%)	S máx. (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)
1330	0,28-0,33	1,60-1,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	-
1335	0,33-0,38	1,60-1,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	-
1340	0,38-0,43	1,60-1,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	-
1345	0,43-0,48	1,60-1,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	-
4012	0,09-0,14	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	0,15-0,25
4023	0,20-0,25	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	0,20-0,30
4024	0,20-0,25	0,70-0,90	0,035	0,035- 0,050	0,20-0,35	-	-	0,20-0,30
4027	0,25-0,30	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	0,20-0,30
4028	0,25-0,30	0,70-0,90	0,035	0,035- 0,050	0,20-0,35	-	-	0,20-0,30
4037	0,35-0,40	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	0,20-0,30
4047	0,45-0,50	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	-	0,20-0,30
4118	0,18-0,23	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,40-0,60	0,08-0,15
4130	0,28-0,33	0,40-0,60	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4137	0,35-0,40	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4142	0,40-0,45	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4145	0,43-0,48	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4147	0,45-0,50	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4150	0,48-0,53	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15-0,25
4161	0,56-0,64	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	0,25-0,35
4320	0,17-0,22	0,45-0,65	0,035	0,040	0,20-0,35	1,65-2,00	0,40-0,60	0,20-0,30
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,035	0,040	0,20-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30
E4340	0,38-0,43	0,65-0,85	0,035	0,025	0,20-0,35	1,65-2,00	0,70-0,90	0,20-0,30
4419	0,18-0,23	0,45-0,65	0,035	0,040	0,20-0,35	1,65-2,00	-	0,45-0,60
4615	0,13-0,18	0,45-0,65	0,035	0,040	0,20-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30
4620	0,17-0,22	0,45-0,65	0,035	0,040	0,20-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30
4621	0,17-0,23	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	1,65-2,00	-	0,20-0,30
4626	0,24-0,29	0,45-0,65	0,035	0,040	0,20-0,35	0,70-1,00	-	0,15-0,25
4718	0,16-0,21	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,90-1,20	0,35-0,55	0,30-0,40
4720	0,17-0,22	0,50-0,70	0,035	0,040	0,20-0,35	0,90-1,20	0,35-0,55	0,15-0,25
4815	0,13-0,18	0,40-0,60	0,035	0,040	0,20-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30
4817	0,15-0,20	0,40-0,60	0,035	0,040	0,20-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30
4820	0,18-0,23	0,50-0,70	0,035	0,040	0,20-0,35	3,25-3,75	-	0,20-0,30
5015	0,12-0,17	0,30-0,50	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,30-0,50	-
5120	0,17-0,22	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
5130	0,28-0,33	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	-
5132	0,30-0,35	0,60-0,80	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,75-1,00	-
5135	0,33-0,38	0,60-0,80	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,05	-
5140	0,38-0,43	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
5145	0,43-0,48	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
	0,46-0,51	0,70-0,95	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,85-1,15	-
5150	0,48-0,53	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
5155	0,51-0,59	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
5160	0,56-0,64	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
E51100	0,98-1,10	0,25-0,45	0,025	0,025	0,20-0,35	-	0,90-1,15	-
E52100	0,98-1,10	0,25-0,45	0,025	0,025	0,20-0,35	-	1,30-1,60	-
6118	0,16-0,21	0,50-0,70	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,50-0,70	0,10-0,15

Designação ABNT	C (%)	Mn (%)	P máx. (%)	S máx. (%)	Si (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)
6150	0,48-0,53	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,80-1,10	0,15 min
8615	0,13-0,18	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8617	0,15-0,20	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8620	0,18-0,23	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8622	0,20-0,25	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8625	0,23-0,28	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8627	0,25-0,30	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8630	0,28-0,33	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8637	0,35-0,40	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8640	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8642	0,40-0,45	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8645	0,43-0,48	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8655	0,51-0,59	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,15-0,25
8720	0,18-0,23	0,70-0,90	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,20-0,30
8740	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,20-0,30
8822	0,20-0,25	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,40-0,70	0,40-0,60	0,30-0,40
9254	0,51-0,59	0,60-0,80	0,035	0,040	1,20-1,60	-	0,60-0,80	-
9255	0,51-0,59	0,70-0,95	0,035	0,040	1,80-2,20	-	-	-
9260	0,56-0,64	0,75-1,00	0,035	0,040	1,80-2,20	-	-	-
Aços ao Boro normalizados (0.0005% B – mínimo)								
50B44	0,43-0,48	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,40-0,60	-
50B46	0,44-0,49	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,20-0,35	-
50B50	0,48-0,53	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,40-0,60	-
50B60	0,56-0,64	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,40-0,60	-
51B60	0,56-0,64	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	-	0,70-0,90	-
81B45	0,43-0,48	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,20-0,40	0,35-0,55	0,08-0,15
94B17	0,15-0,20	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,30-0,60	0,30-0,50	0,08-0,15
94B30	0,28-0,23	0,75-1,00	0,035	0,040	0,20-0,35	0,30-0,60	0,30-0,50	0,08-0,15

Tabela AI.5 – Principais elementos químicos na composição típica de aços inoxidáveis

Designação ABNT	C (%)	Cr (%)	Ni. (%)	Mn (%)	Outros elementos (%)
Ligas Martensítica					
403	0,15 max	11,5-13,0	-	1,0 max	Turbine quality Si 0,50 max
410	0,15 max	11,5-13,5	-	1,0 max	
414	0,15 max	11,5-13,5	1,25-2,50	1,0 max	
416	0,15 max	12,0-14,0	-	1,25 max	S 0,15 min
416 Se	0,15 max	12,0-14,0	-	1,25 max	Se 0,15 min
420	>0,15 (0,30-0,40)	12,0-14,0	-	1,0 max	
431	0,20 max	15,0-17,0	1,25-2,50	1,0 max	
440A	0,60-0,75	16,0-18,0	-	1,0 max	Mo 0,75 max
440B	0,75-0,95	16,0-18,0	-	1,0 max	Mo 0,75 max
440C	0,95-1,20	16,0-18,0	-	1,0 max	Mo 0,75 max
Ligas Feríticas					
405	0,08 max	11,5-14,5	-	1,0 max	Al 0,10-0,30
430	0,12 max	14,0-18,0	-	1,0 max	
430F	0,12 max	14,0-18,0	-	1,25 max	S 0,15 min
430F Se	0,12 max	14,0-18,0	-	1,25 max	Se 0,15 min
446	0,20 max	23,0-27,0	-	1,5 max	N <sub>2</sub> 0,25 max



Designação comercial	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Co (%)	Mo (%)	W (%)	Cb (%)	Fe (%)	Ti (%)	Al (%)	B (%)	Zr (%)	Outros
IN 100	0,18	-	-	10,0	Bal	15,0	3,0	-	-	-	4,7	5,5	0,014	0,06	1,0V
IN 102	0,06	-	-	15,0	Bal	-	3,0	3,0	3,0	7,0	0,6	0,4	0,005	0,03	0,02Mg
L-605	0,10	1,50	0,50	20,0	10,0	Bal	-	15,0	-	-	-	-	-	-	-
M-22	0,13	-	-	5,7	Bal	-	2,0	11,0	-	-	-	6,3	-	0,60	3,0Ta
MAR-M200	0,15	-	-	9,0	Bal	10,0	-	12,5	1,0	-	2,0	5,0	0,015	0,05	-
MAR-M246	0,15	-	-	9,0	Bal	10,0	2,5	10,0	-	-	1,5	5,5	0,015	0,05	1,5Ta
MAR-M302	0,85	-	-	21,5	-	Bal	-	10,0	-	-	-	-	0,005	0,20	9,0Ta
M-252	0,15	0,50	0,50	20,0	Bal	10,0	10,0	-	-	-	2,6	1,0	0,005	-	-
Nicrotung*	0,10	-	-	12,0	Bal	10,0	-	8,0	-	-	4,0	4,0	0,050	0,05	-
Nimonic* 80 A	0,06	0,10	0,70	19,5	Bal	1,1	-	-	-	-	2,5	1,3	-	-	-
Nimonic*90	0,07	0,50	0,70	19,5	Bal	18,0	-	-	-	-	2,4	1,4	-	-	-
Nimonic*115	0,15	-	-	15,0	Bal	15,0	3,5	-	-	-	4,0	5,0	-	-	-
N-155	0,15	1,50	0,50	21,0	20,0	20,0	3,0	2,5	1,0	Bal	-	-	-	-	0,15N
IN 162	0,12	-	-	10,0	Bal	-	4,0	2,0	1,0	-	1,0	6,5	0,020	0,10	2,0Ta
Refractaloy*26	0,03	0,80	1,00	18,0	Bal	20,0	3,2	-	-	16,0	2,6	0,2	-	-	-
René 41*	0,09	-	-	19,0	Bal	11,0	10,0	-	-	-	3,1	1,5	0,005	-	-
René 41*															
S-816	0,38	1,20	0,40	20,0	20,0	Bal	4,0	4,0	4,0	4,0	-	-	-	-	-
TD-Nickel	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	Bal	0,03	<0,01	-	-	<0,01	-	<0,01	-	-	2,2ThO <sub>2</sub>
TD-Nickel															
TRW 1900	0,11	-	-	10,3	Bal	10,0	-	9,0	1,5	-	1,0	6,3	0,030	0,10	-
Unimet*500	0,08	-	-	18,0	Bal	18,5	4,0	-	-	-	2,9	2,9	0,006	0,05	-
Unimet*500	0,07	-	-	19,0	Bal	19,9	4,2	-	-	-	3,0	3,0	0,007	0,05	-
Unimet*520	0,05	-	-	19,0	Bal	12,0	6,0	1,0	-	-	3,0	2,0	0,005	-	-
Unimet*630	0,03	-	-	18,0	Bal	-	3,0	3,0	6,5	18,0	1,0	0,5	-	-	-
Unimet*700	0,08	-	-	15,0	Bal	18,5	5,2	-	-	-	3,5	4,3	0,030	-	-
Unitemp* AF 1753	0,24	-	-	16,3	Bal	7,2	1,6	8,4	-	9,5	3,2	1,9	0,008	0,06	-
WI-52	0,45	0,25	0,25	21,0	-	Bal	-	11,0	2,0	2,0	-	-	-	-	-
Waspaloy	0,08	-	-	19,5	Bal	13,5	4,3	-	-	-	3,0	1,3	0,006	0,06	-
X-40	0,50	0,75	0,75	25,5	10,5	Bal	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-
16-25-6	0,06	1,35	0,70	16,0	25,0	-	6,0	-	-	Bal	-	-	-	-	0,15N

Tabela AI.7 MAR— Principais elementos químicos na composição típica de ferros fundidos

Tipo	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
Cinzento	2,5-4,0	1,0-3,0	0,25-1,0	0,02-0,25	0,05-1,0
Branco	1,8-3,6	0,5-1,9	0,25-0,8	0,06-2,0	0,06-0,18
Maleável	2,0-2,6	1,10-1,60	0,20-1,0	0,04-0,18	0,18 máx.
Nodular	3,0-4,0	1,8-2,8	0,10-1,0	0,03 máx	0,10 máx

Tabela AI.8 – Principais elementos químicos na composição típica de ligas de alumínio

AA	Si (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Ni (%)	Zn (%)	Sn (%)	Bi (%)
EC			99,45% mín. de Al						
1050			99,50% mín. de Al						
1060			99,60% mín. de Al						
1100			99,00% mín. de Al						
1145		0,12	99,45% mín. de Al						
1175			99,75% mín. de Al						
1200			99,00% mín. de Al						
1230			99,30% mín. de Al						
1235			99,35% mín. de Al						
1345			99,45% mín. de Al						
2011			5,5					0,40	0,40
2014	0,8		4,4	0,8	0,50				
2017			4,0	0,7	0,60				
2018			4,0		0,7		2,0		
2024		4,4	0,6	1,5					
2025	0,8	4,5							
2117		2,6		0,35					
2124		4,4	0,6	1,5					
2218		4,0		1,5		2,0			
2219*		6,3	0,30						
2618?		2,3		1,6		1,0			
3003		0,12	1,2						
3004			1,2	1,0					
3005			1,2	0,40					
3105			0,50	0,50					
4032	12,2	0,9		1,1		0,9			
4043	5,2								
4045	10,0								
4343	7,5								
5005				0,8					
5050				1,4					
5052				2,5	0,25				
5056			0,12	5,1	0,12				
5083			0,7	4,45	0,15				
5086			0,45	4,0	0,15				
5154				3,5	0,25				
5252				2,5					
5254				3,5	0,25				
5356?			0,12	5,0	0,12				
5454			0,8	2,7	0,12				
5456			0,8	5,1	0,12				
5457			0,30	1,0					
5652				2,5	0,25				
5657				0,8					
6003	0,7			1,2					

AA	Si (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Ni (%)	Zn (%)	Sn (%)	Bi (%)
6053	0,7			1,3	0,25				
6061	0,6	0,27		1,0	0,20				
6063	0,4			0,7					
6066	1,3	0,9	0,8	1,1					
6070	1,4	0,3	0,7	0,8					
6101	0,5			0,6					
6151	0,9			0,6	0,25				
6201	0,7			0,8					
6253				1,2	0,25		2,0		
6262	0,6	0,27		1,0	0,09			0,55	0,55
6463	0,40			0,7					
6951	0,30	0,25		0,6					
7001		2,1		3,0	0,30		7,4		
7072							1,0		
7075		1,6		2,5	0,30		5,6		
7079		0,6	0,70	3,3	0,20		4,3		
7178		2,0		2,7	0,30		6,8		

Tabela AI.9 – Propriedades mecânicas típicas de alguns aços ao carbono

ABNT	laminado a frio					laminado a frio					laminado a frio				
	tensões		along (2"%)	redução de área (%)	dureza HB	tensões		along (2"%)	reduçã o de área	dureza HB	tensões		along (2"%)	redução de área (%)	dureza HB
	ruptura (MPa)	esc. (MPa)				ruptura (MPa)	esc. (MPa)				ruptura (MPa)	esc. (MPa)			
1018, 1025															
16 a 22	483	414	18	40	143						448	310	20	45	131
22,1 a 32	448	379	16	40	131						414	310	20	45	121
32,1 a 51	414	345	15	35	121						379	310	16	40	111
51,1 a 76	379	310	15	35	111						345	276	15	40	101
1117, 1118											0	0			
16 a 22	517	448	15	40	149	552	483	15	40	163	483	345	18	45	143
22,1 a 32	483	414	15	40	143	517	448	15	40	149	448	345	16	45	131
32,1 a 51	448	379	13	35	131	483	414	13	35	143	414	345	15	40	121
51,1 a 76	414	345	12	30	121	448	379	12	35	131	379	310	15	40	111
1035											0	0			
16 a 22	586	517	13	35	170	621	552	13	35	179	552	414	16	45	163
22,1 a 32	552	483	12	35	163	586	517	12	35	170	517	414	15	45	149
32,1 a 51	517	448	12	35	149	552	483	12	35	163	483	414	15	40	143
51,1 a 76	483	414	10	30	143	517	448	10	30	149	448	379	12	35	131
1040, 1140											0	0			
16 a 22	621	552	12	35	179	655	586	12	35	187	586	448	15	45	170
22,1 a 32	586	517	12	35	170	621	552	12	35	179	552	448	15	45	163
32,1 a 51	552	483	10	30	163	586	517	10	30	170	517	414	15	40	149
51,1 a 76	517	448	10	30	149	552	483	10	30	163	483	379	12	35	143
1045,1146,1145											0	0			
16 a 22	655	586	12	35	187	689	621	12	35	197	621	483	15	45	179
22,1 a 32	621	552	11	30	179	655	586	11	30	187	586	483	15	45	170
32,1 a 51	586	517	10	30	170	621	552	10	30	179	552	448	15	40	163
51,1 a 76	552	483	10	30	163	586	517	10	25	170	517	414	12	35	149
1050,1137,1151											0	0			
16 a 22	689	621	11	35	197	724	655	11	35	212	655	517	15	45	187
22,1 a 32	655	586	11	30	187	689	621	11	30	197	621	517	15	40	179
32,1 a 51	621	552	10	30	179	655	586	10	30	187	586	483	15	40	170
51,1 a 76	586	517	10	30	170	621	552	10	25	179	552	448	12	35	163
1141											0	0			
16 a 22	724	655	11	30	212	758	689	11	30	223	689	552	15	40	197
22,1 a 32	689	621	10	30	197	738	655	10	30	212	655	552	15	40	187
32,1 a 51	655	586	10	30	187	689	621	10	25	197	621	517	15	40	179
51,1 a 76	621	552	10	20	179	655	586	10	20	187	586	483	12	20	170
1144											0	0			
16 a 22	758	689	10	30	223	793	724	10	30	229	724	586	15	40	212
22,1 a 32	724	655	10	30	212	758	689	10	30	223	689	586	15	40	197
32,1 a 51	689	621	10	25	197	724	655	10	25	212	655	552	15	35	187
51,1 a 76	655	586	10	20	187	689	621	10	20	197	621	517	12	30	179

Tabela AI.10 – Propriedades mecânicas típicas de alguns aços ligados

ABNT	tensões		along (2 <sup>o</sup> %)	redução de área (%)	dureza (HB)
	ruptura (MPa)	esc. (MPa)			
2330					
laminado a quente	724	469	21	50	207
laminado a frio	855	820	12	43	223
austenitizado a 830 Celsius e revenido a 534 Celsius	903	731	20	57	262
2340					
laminado a quente	655	462	17	52	197
laminado a frio	758	655	14	42	221
austenitizado a 774 Celsius e revenido a 534 Celsius	945	820	22	59	277
3140					
laminado a quente	662	441	26	56	197
laminado a frio	717	629	17	48	212
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1027	883	16	45	302
3150					
laminado a quente	717	503	19	50	212
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1069	910	14	42	311
4130					
laminado a quente	621	414	30	45	183
laminado a frio	676	600	21	52	201
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1048	951	12		302
4140					
laminado a quente	621	434	27	58	187
laminado a frio	703	621	18	50	223
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1055	903	16	45	302
4150					
laminado a quente	689	455	21	51	197
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1089	924	14	42	311
4340					
laminado a quente	696	476	21	45	207
laminado a frio	765	683	16	42	223
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1255	1117	15	40	363
52100					
laminado a quente	689	558	25	57	192
6150					
laminado a quente	627	400	22	53	183
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1069	910	15	44	302
8640					
laminado a quente	634	421	27	57	192
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1020	876	15	42	302
8642					
laminado a quente	641	434	27	57	192
laminado a frio	724	621	18	49	223
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius	1027	883	16	45	302
8650					
laminado a quente	683	400	20	48	197
laminado a frio	1069	910	14	42	311
austenitizado a 843 Celsius e revenido a 534 Celsius					
9255					
laminado a quente	758	538	22	45	223
austenitizado a 885 Celsius e revenido a 534 Celsius	1241	1103	15	32	352

Tabela AI.11 – Propriedades mecânicas típicas de alguns aços inoxidáveis

ABNT	módulo elastic. (MPa)	tensões		along (2"%)	dureza (HB)	Impacto Izod (Nm)
		ruptura (MPa)	esc. (MPa)			
Aços inoxidáveis ferríticos						
405 recozido	196.501	414	241	20	160-180	318 a 556
406 recozido	199.948	586		25		
430 recozido	203.395	448	241	20-35	130-165	238 a 556
430 endurecido		1034	758	3	255-300	239 a 556
430F recozido	199.948	483	310	15-30	150-190	240 a 556
430F endurecido		1034	758	3	275-300	
446 recozido	193.053	552	345	25-30	160-185	16 a 160
Aços inoxidáveis austeníticos						
301	196.501	758	276	50-60	155-175	1113-1748
201	196.501	758	345	50-60	165-185	1113-1749
302	196.501	586	241	50-60	140-160	1113-1750
302B	193.053	586	276	50-60	150-170	1271-1590
303	196.501	621	241	30-55	155-175	1113-1749
304	196.501	586	207	50-60	140-160	1113-1750
304L	196.501	517	193	50-60	120-140	1113-1751
305	196.501	586	262	50-60		
308	196.501	586	241	50-60	145-165	
309	199.948	621	276	45-50	165-185	1113-1754
310	203.395	621	28	45-50	165-185	1113-1755
316	193.053	552	207	50-60	140-160	1113-1756
317	193.053	552	241	50-60	140-160	1113-1757
321	196.501	621	241	50-55	145-160	1113-1758
347	196.501	621	276	45-55	155-180	1113-1759

Tabela AI.12 – Propriedades mecânicas típicas de algumas superligas

Nome	estado	tensão de escoamento (MPa) à temperatura (Celsius)						
		35	538	649	760	871	982	1093
liga 713C	fundido	738	703	717	745	496	303	
liga 713LC	fundido	752	758	786	758	579	283	
liga 901	barra	896	779	786	634			
liga 901	chapa	738	662	641	462			
A-286	barra	724	607	607	427			
B-1900	fundido	827	869	924	807	696	414	193
D-979	barra	1007	924	889	655	303		
Discaloy	barra	731	648	627	427	0		
GMR235-D	fundido	710	565	586	593	448		
Hasteloy R235	chapa	807	779	765	724	407	124	
Hasteloy X	chapa	359	290	276	262	179	110	55
Inconel 600	barra	248	193	179	117	62	28	
Inconel 625	barra	365	255	255	269	248	131	62
Inconel 700	barra	710	641	641	614	407	138	
Inconel 702	chapa	579	545	524	427	193	48	
Inconel 718	barra	1186	1062	1020	738	331	103	55
Inconel 718	chapa	1055	945	869	627			
Inconel 722	chapa	565	524	538	427	193		
Inconel X-750	barra	634	579	565	455	165	34	
Inconel X-750	chapa	827	752	717	538	276		
IN 100	fundido	848	883	889	862	696	372	(241)
IN 102	barra	503	400	400	200			
L-650	chapa	462	248	241	262	241	159	83
M-22	fundido	683	731	765	772	676	359	
MAR-M200	fundido	827	848	862	841	758	469	
MAR-M246	fundido	862	862	862	862	689	379	
MAR-M302	fundido	689	503	448	386	310	214	152
M-252	barra	841	765	745	717	483		
Nicrotung	fundido	827	772	758	731	524	359	
Nimonic 80A	barra	621	531	552	503	262	62	
Nimonic 90A	barra	807	724	683	538	262	62	
Nimonic 115	barra	862	793	814	800	552	241	
N-155	barra	400	338	296	248	172		
IN 162	fundido	814	793	855	848	710	448	
Refractaloy 26	barra	627	586	614	552	324		
Rene 41	chapa	1062	1014	1000	938	552	262	
Rene 41	barra	1020	938	896	834	579	172	
S-816	barra	462	303	303	283	241		
TD-Nickel	barra	621	296	248	214	179	152	131
TD-Nickel	chapa	310	207	179	159	131	117	83
TRW 1900	fundido	814		772	779	579		
Udimet 500	barra	758		758	731	496	228	
Udimet 500	fundido	814	724	703	703	600		
Udimet 520	barra	862	827	793	724	517	310	
Udimet 630	barra	1310	1172	1103	862			
Udimet 700	barra	965		855	827	634	303	83
Udimet AF 1753	barra	703	676	676	696	496		
WI-52	fundido	586	441	400	345	276	193	103
Waspaloy	barra	793	724	689	676	517		
X-40	fundido	524	276	262				
16-25-6	barra	352	221	221	221			

Nome	estado	tensão de ruptura (MPa) à temperatura (Celsius)						
		35	538	649	760	871	982	1093
liga 713C	fundido	848	862	869	938	724	469	
liga 713LC	fundido	896	896	1082	951	752	469	
liga 901	barra	1207	1027	958	724			
liga 901	chapa	1145	951	841	531			
A-286	barra	1007	903	717	441			
B-1900	fundido	972	1007	1014	951	793	552	269
D-979	barra	1407	1296	1103	717	345		
Discaloy	barra	1000	862	717	483			
GMR235-D	fundido	772	717	758	793	724		
Hasteloy R235	chapa	1165	1034	1055	896	524	179	65
Hasteloy X	chapa	786	648	572	434	255	152	90
Inconel 600	barra	621	579	448	186	103	52	
Inconel 625	barra	855	745	710	503	283	131	62
Inconel 700	barra	1172	1007	993	876	607	234	
Inconel 702	chapa	1020	814	621	496	331	76	
Inconel 718	barra	1434	1276	1227	951	338	103	62
Inconel 718	chapa	1276	1145	1034	676			
Inconel 722	chapa	1089	862	814	586	262		
Inconel X-750	barra	1117	965	827	483	234	62	
Inconel X-750	chapa	1234	1007	883	676	365		
IN 100	fundido	1014	1089	1110	1069	883	565	(379)
IN 102	barra	958	827	710	441	214	0	
L-650	chapa	1007	800	710	455	324	234	131
M-22	fundido	731	779	834	910	883	545	
MAR-M200	fundido	931	945	951	931	841	552	324
MAR-M246	fundido	965	1000	1034	1034	862	552	
MAR-M302	fundido	931	793	786	703	448	276	152
M-252	barra	1241	1227	1158	945	510	0	
Nicrotung	fundido	896	841	827	807	593	462	
Nimonic 80A	barra	1000	876	793	600	310	76	
Nimonic 90A	barra	1234	1076	938	655	331	76	
Nimonic 115	barra	1241	1089	1124	1082	827	462	
N-155	barra	814	648	545	427	262	0	
IN 162	fundido	1007	1020	1089	1007	827	586	
Refractaloy 26	barra	1062	986	938	669	331	0	
Rene 41	chapa	1420	1400	1338	1103	621	290	
Rene 41	barra	1276	1200	1131	965	607	276	
S-816	barra	965	834	772	621	414	172	
TD-Nickel	barra	689	310	262	228	193	165	138
TD-Nickel	chapa	448	228	193	172	145	124	97
TRW 1900	fundido	896	0	876	903	669	365	145
Udimet 500	barra	1213	0	1172	1041	641	290	
Udimet 500	fundido	931	896	883	855	662	131	
Udimet 520	barra	1310	1241	1172	724	517	310	
Udimet 630	barra	1517	1379	1276	965			
Udimet 700	barra	1407		1241	1034	689	359	103
Udimet AF 1753	barra	1213	1138	1103	896	545		
WI-52	fundido	752	745	738	607	414	276	159
Waspaloy	barra	1276	1172	1117	793	524		
X-40	fundido	745	552	517	483	324	200	
16-25-6	barra	752	621	434	345			

Tabela AI.13 – Propriedades mecânicas típicas de algumas ligas de alumínio.

Liga -TT	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Alongamento em 2” (1/2” diâmetro) (%)	Dureza (HB)	Tensão de cisalhamento (MPa)	Módulo de Young (MPa x 10 <sup>3</sup> )
2014-0	186	97	18	45	124	73
2014-T4, T451	427	290	20	105	262	73
2014-T6, T651	483	414	13	135	290	73
2024-0	186	76	22	47	124	73
2024-T3	483	345	-	120	138	73
2024-T4	469	324	19	120	138	73
2024-T361	496	393	-	130	290	73
6061-0	124	55	30	30	83	69
6061-T4, T451	241	145	25	65	24	69
6061-T6, T651	310	276	17	95	207	69
7075-0	228	103	16	60	152	72
7075-T6, T651	572	503	11	150	331	72

Tabela AI.14 - Propriedades mecânicas típicas de alguns ferros fundidos cinzentos

Designação	Dureza (HB)	Microestrutura	Ruptura à tração min.	
			(MPa)	(psi)
G1800	143-187	Ferrita+perlita	140	18000
G2500	170-229	Perlita +ferrita	175	25000
G3000	187-241	Perlita	210	30000
G3500	207-225	Perlita	245	35000
G4000	217-269	Perlite fina	280	40000

Tabela AI.14 – Propriedades mecânicas típicas de alguns ferros fundidos nodulares

Designação	Dureza (HB)	Microestrutura (80% esferoid.)	Tensões.		Along. (2''%)
			Ruptura (MPa)	Esc. (MPa)	
D 4018	170 máx.	Ferrita	420	280	18
D 4512	156-217	Ferrita +perlita	456	315	12
D 5506	187-255	Ferrita +perlita	560	390	6
D 7003	241-302	Perlita	700	490	3

Dados obtidos de SME – Society of Manufacturing Engineers, “Tool and Manufacturing Engineers Handbook” – McGraw-Hill Book Company, 1976.

**APÊNDICE II – EQUIVALÊNCIA ENTRE ALGUNS DOS AÇOS MAIS  
COMUNS**

III.1 – Tabela de equivalência entre aços ao carbono mais comuns em construção mecânica

ABNT Brasil	W. nr. Alemanha	DIN Alemanha	BS Grã-Bretanha	JIS Japão
1015	1.0401	C15	080M15	S15C
	1.1141	Ck15		
1020	1.0402	C22	050A20	
1025	1.1158	Ck25		S25C
1035	1.0501	C35	060A35	S35C
	1.1183	Cf35		
1039	1.1157	40Mn4	150M36	
1045	1.0503	C45	080M46	S45C
	1.1191	Ck45		
1050	1.1213	Cf53	060A52	S50C
1055	1.0535	C55	070M55	S55C
	1.1203	Ck55		
1060	1.0601	C60	080A62	S58C
	1.1221	CK60		
1095	1.1274	Ck101	060A96	
1115	1.0038	GS-CK16	030A04	
1140	1.0726	35S20	212M36	
1213	1.0715	9SMn28	230M07	SUM22
12L13	1.0718	9SMnPb28	-	SUM22L
12L14	1.0737	9SMnPb36	-	-
1215	1.0736	9SMn36	240M7	
1330	1.1170	28Mn6	150M28	SCMn1
1335	1.1167	36Mn5	-	SMn438(H)
2515	1.5680	12Ni19		
3135	1.5710	36NiCr6	640A35	SNC236
3310	1.5752	14NiCr14	655M13;A2	SNC815(H)
3415	1.5732	14NiCr10		SNC415(H)
4130	1.7218	25CrMo4	1717CDS110	SCM420;SCM430
4135;4137	1.7220	34CrMo4	708A37	SCM423;SCCRM3
4140;4142	1.7223	41CrMo4	708M40	SCM440
	1.7225	42CrMo4		SCM440(H)
4340	1.6582	35CrNiMo6	817M40	
4520	1.5423	16Mo5	1503-245-420	
5015	1.7015	15Cr3	523M15	SCr415(H)
5115	1.7131	16MnCr5	(527M20)	
5120	1.0841	St.52-3	15M19	
5132	1.7033	34Cr4	530A32	SCr430(H)
5140	1.7035	41Cr4	530A40	SCr440
	1.7045	42Cr4		SCr440(H)
5155	1.7176	55Cr3	527A60	SUP9(A)
6150	1.8159	50CrV4	735A50	SUP10
8620	1.6523	21NiCrMo2	805M20	SNCM220(H)
	1.5419	20MoCrS4	605A32	
8740	1.6546	40NiCrMo22	311-TYPE7	SNCM240
9255	1.0904	55Si7	250A53	
9840	1.6511	36CrNiMo4(KB)	816M40	
D3	1.2080	X210Cr12	BD3	SKD1
	1.3343	S6-5-2	4959BA2	SUH3

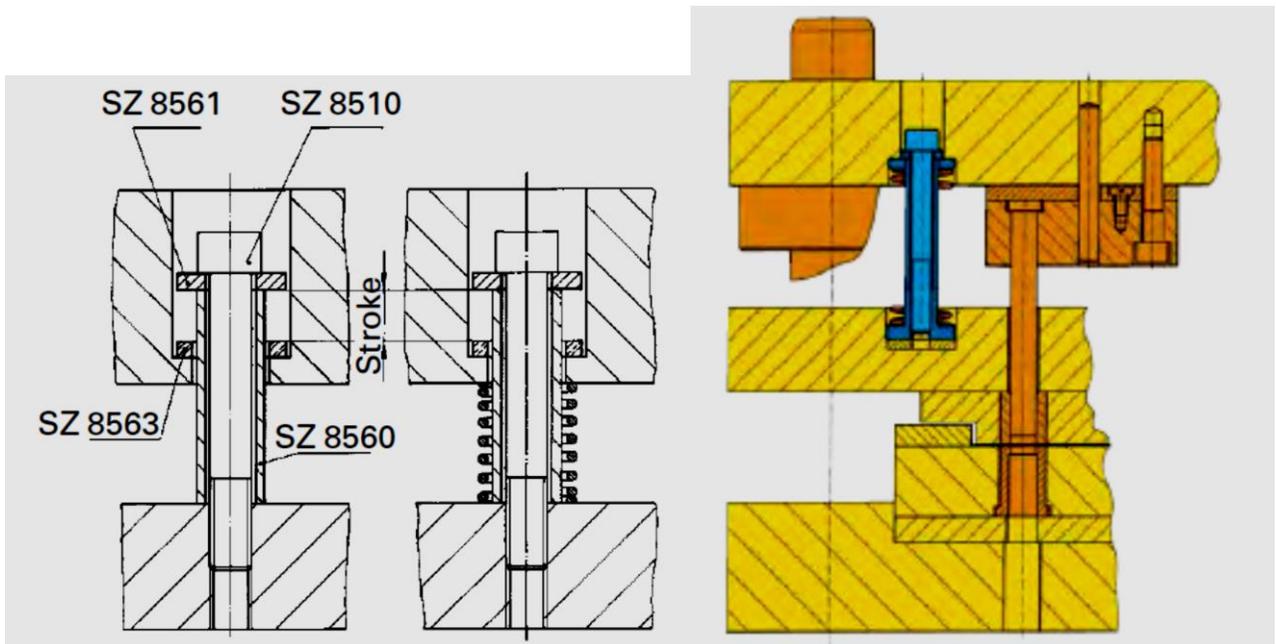
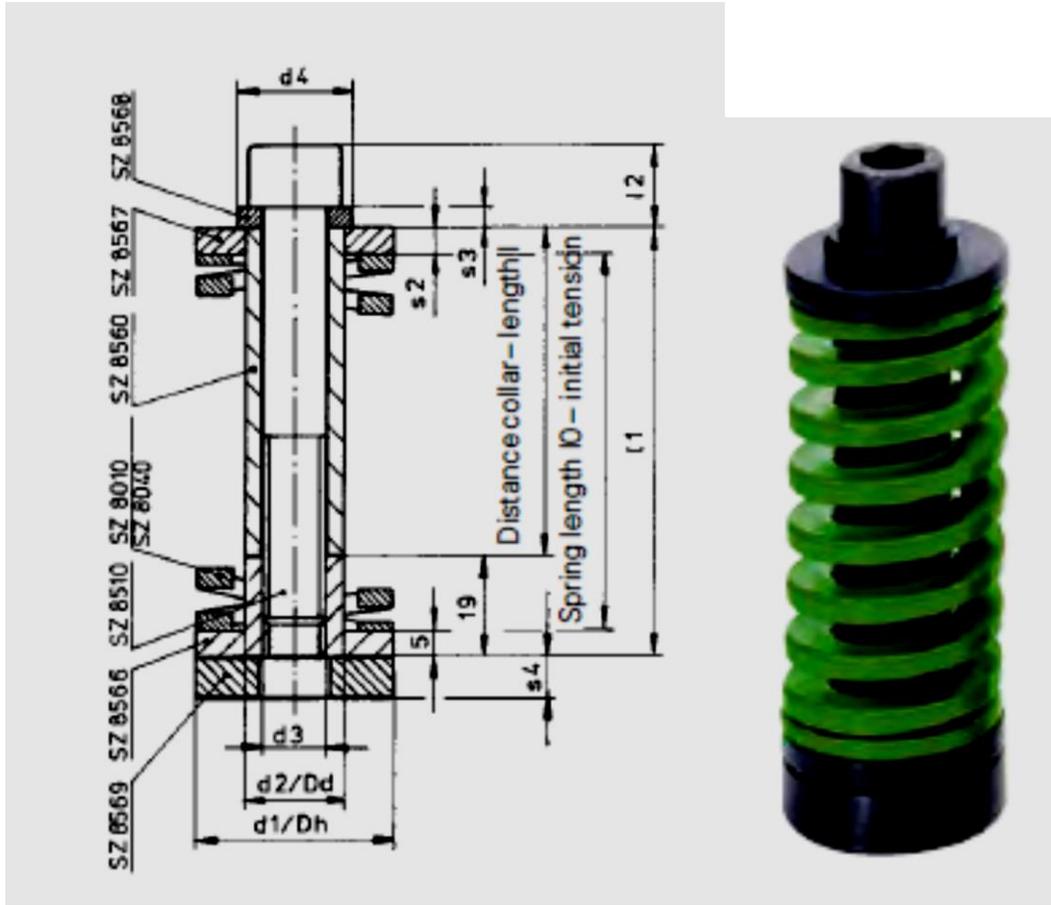
ABNT Brasil	W. nr. Alemanha	DIN Alemanha	BS Grã-Bretanha	JIS Japão
H13	1.2344	X40CrMoV51	BH13	SKD61
A2	1.2363	X100CrMoV51	BA2	SKD12
S1	1.2542	45WCrV7	BS1	
H21	1.2581	X30WCrV9	BH21	SKD5
HW3	1.4718	X45CrSi93	401S45	SUH1
M2	1.3343	S6/5/2	BM2	SKH51
M7	1.3348	S2/9/2		
M35	1.3243	S6/5/2/5	BM35	SKH55

AII.2 – Tabela de equivalência entre aços inoxidáveis mais comuns em construção mecânica

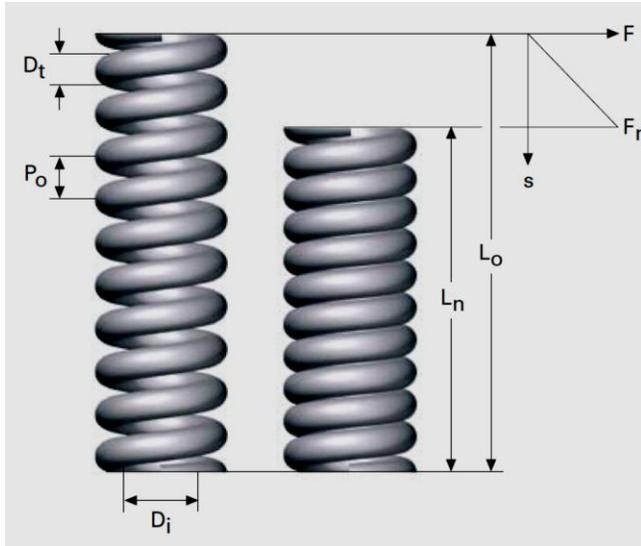
ABNT Brasil	W. nr. Alemanha	DIN Alemanha	BS Grã-Bretanha	JIS Japão
403	1.4000	X7Cr13	403S17	SUS403

## **APÊNDICE III – SELEÇÃO DE MOLAS PARA PRENSA-CHAPAS**

# RECOMENDAÇÕES PARA INSTALAÇÃO CORRETA DE MOLAS HELICOIDAIS



## MOLAS HELICOIDAIS COM ARAME REDONDO



All dimensions are in mm

$D_t$  = Wire diameter

$D_i$  = Inner diameter

$D_y$  = Outer diameter  $D_i + D_t + D_t$

$L_o$  = Unloaded length

$n_t$  = Total number of coils

$P_o$  = Pitch

$L_n$  = Loaded length at spring force  $F_n$

$F_n$  = Spring force in Newtons at  $L_n$

$c$  = Rate

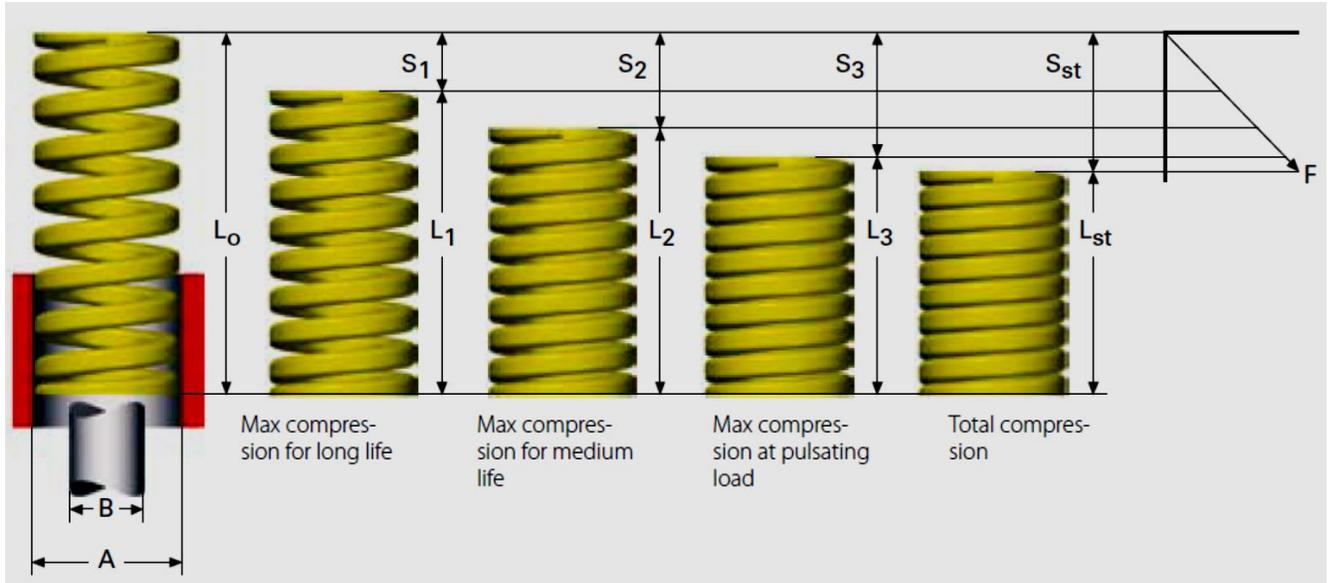
$L_{st}$  = Solid length =  $D_t \times n_t$

$s$  = Deflection

$D_t$	$D_i$	$L_o$	$n_t$	$P_o$	$L_n$	$F_n$	$c$	Cat. no.
3,5	14	50	9,2	6,0	31,9	647	35,7	2717
3,5	14	65	11,7	6,0	40,9	647	26,9	2718
3,5	14	80	14,2	6,0	50,0	647	21,6	2719
3,5	14	100	17,6	6,0	62,0	647	17,0	2720
4	10	40	7,7	5,80	31,8	1206	147,1	2721
4	10	55	10,3	5,80	43,4	1206	104,0	2722
4	10	70	12,9	5,80	55,0	1206	80,4	2723
4	10	85	15,5	5,80	67,5	1206	65,2	2724
4	12	45	8,2	6,10	32,9	1108	92,0	2725
4	12	60	10,7	6,10	43,4	1108	66,7	2726
4	12	75	13,1	6,10	54,0	1108	52,8	2727
4	12	90	15,6	6,10	64,5	1108	43,5	2728
4	14	50	8,5	6,50	33,4	1020	61,4	2729
4	14	65	10,9	6,50	42,7	1020	45,7	2730
4	14	80	13,2	6,50	52,3	1020	36,8	2731
4	14	100	16,3	6,50	65,0	1020	29,1	2732
4	16	55	9,1	6,90	34,8	833	41,3	2733
4	16	70	11,1	6,90	44,5	833	32,7	2734
4	16	85	13,2	6,90	54,0	833	26,9	2735
4	16	100	15,4	6,90	63,0	833	22,6	2736
5	12	45	7,2	7,0	36,5	1873	220,3	2737
5	12	60	9,4	7,0	48,1	1873	157,3	2738
5	12	75	11,5	7,0	60,0	1873	124,8	2739
5	12	90	13,6	7,0	71,9	1873	103,4	2740
5	14	50	7,7	7,30	37,9	1745	144,2	2741
5	14	65	9,7	7,30	49,0	1745	109,0	2742
5	14	80	11,8	7,30	59,9	1745	86,8	2743
5	14	100	14,5	7,30	74,6	1745	68,6	2744

$D_t$	$D_i$	$L_o$	$n_t$	$P_o$	$L_n$	$F_n$	$c$	Cat. no.
5	16	55	8,0	7,70	39,0	1638	102,3	2745
5	16	70	9,9	7,70	49,2	1638	78,7	2746
5	16	85	11,9	7,70	59,3	1638	63,7	2747
5	16	100	13,8	7,70	69,6	1638	53,8	2748
5	18	60	8,3	8,10	40,8	1422	74,0	2749
5	18	75	10,1	8,10	50,8	1422	58,6	2750
5	18	90	12,0	8,10	60,3	1422	47,9	2751
5	18	110	14,5	8,10	73,3	1422	38,7	2752
6	16	50	6,7	8,5	39,9	2314	229,1	2753
6	16	65	8,5	8,5	51,4	2314	170,1	2754
6	16	80	10,2	8,5	63,1	2314	136,9	2755
6	16	100	12,5	8,5	78,7	2314	108,6	2756
6	18	55	7,1	8,80	41,6	2206	164,6	2757
6	18	70	8,8	8,80	52,5	2206	126,1	2758
6	18	85	10,5	8,80	63,4	2206	102,1	2759
6	18	100	12,2	8,80	74,3	2206	85,8	2760
6	20	60	7,4	9,20	43,1	2069	122,3	2761
6	20	75	9,0	9,20	53,5	2069	96,2	2762
6	20	90	10,6	9,20	64,0	2069	79,6	2763
6	20	110	12,8	9,20	77,7	2069	64,0	2764
6	22	65	7,6	9,60	44,3	1961	94,9	2765
6	22	80	9,2	9,60	54,0	1961	75,1	2766
6	22	100	11,4	9,60	66,5	1961	58,5	2767
6	22	120	13,4	9,60	79,7	1961	48,6	2768

# MOLAS HELICOIDAIS COM ARAME SEÇÃO RETANGULAR



All dimensions are in mm

A = Hole diameter

B = Shaft diameter

$L_0$  = Unloaded length

c = Rate

$s_1$  = Spring deflection at  $F_1$

$F_n$  = Spring force in Newtons at  $s_1$

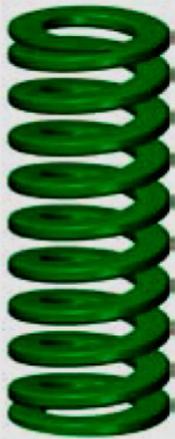
$s_2$  = Spring deflection at  $F_2$

$F_n$  = Spring force in Newtons at  $s_2$

$s_3$  = Spring deflection at  $F_3$

$F_n$  = Spring force in Newtons at  $s_3$

$s_{st}$  = Spring deflection to solid length



1. Low load



2. Medium load



3. High load



4. Very high load



5. Ultrahigh load See separate table on

Force class	A	B	L <sub>o</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	10	5	25	10	63	6,3	75	7,5	100	10	135	13,5
1	10	5	32	8,5	68	8	82	9,6	109	12,8	149	17,5
1	10	5	38	6,8	65	9,5	78	11,4	103	15,2	141	20,8
1	10	5	44	6	66	11	79	13,2	106	17,6	143	23,9
1	10	5	51	5	64	12,8	77	15,3	102	20,4	145	28,9
1	10	5	64	4,3	69	16,0	83	19,2	110	25,6	155	36,1
1	10	5	76	3,2	61	19,0	73	22,8	97	30,4	138	43,2
1	10	5	305	1,1	84	76,3	101	91,5	134	122	197	178,7
2	10	5	25	16	101	6,3	120	7,5	150	9,4	163	10,2
2	10	5	32	13	104	8,	125	9,6	156	12	185	14,2
2	10	5	38	11,9	113	9,5	136	11,4	170	14,3	200	16,8
2	10	5	44	10,3	113	11	136	13,2	170	16,5	200	19,4
2	10	5	51	8,9	114	12,8	136	15,3	170	19,1	208	23,4
2	10	5	64	7,5	120	16	144	19,2	180	24	212	28,2
2	10	5	76	5,3	101	19	121	22,8	151	28,5	181	34,2
2	10	5	305	1,6	122	76,3	146	91,5	183	114,4	214	133,8
3	10	5	25	22,1	111	5,0	139	6,3	166	7,5	203	9,2
3	10	5	32	17,5	112	6,4	140	8	168	9,6	212	12,1
3	10	5	38	17,1	130	7,6	162	9,5	195	11,4	226	13,2
3	10	5	44	15	132	8,8	165	11	198	13,2	227	15,1
3	10	5	51	12,8	131	10,2	164	12,8	196	15,3	250	19,5
3	10	5	64	10,7	137	12,8	171	16	205	19,2	233	21,8
3	10	5	76	7,5	114	15,2	143	19	171	22,8	209	27,9
3	10	5	305	2,1	128	61	160	76,3	192	91,5	267	127,2
4	10	5	25	36,8	158	4,3	184	5	232	6,3	283	7,7
4	10	5	32	27,9	151	5,4	179	6,4	223	8	296	10,6
4	10	5	38	23,7	154	6,5	180	7,6	225	9,5	299	12,6
4	10	5	44	19,2	144	7,5	169	8,8	211	11	265	13,8
4	10	5	51	16,5	144	8,7	168	10,2	211	12,8	267	16,2
4	10	5	64	13,2	144	10,9	169	12,8	211	16	269	20,4
4	10	5	76	10,9	141	12,9	166	15,2	207	19	275	25,2
4	10	5	305	2,6	135	51,9	159	61	198	76,3	288	110,8

Force class	A	B	L <sub>o</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	12,5	6,3	25	17,9	113	6,3	134	7,5	179	10	236	13,2
1	12,5	6,3	32	16,4	131	8,0	157	9,6	210	12,8	295	18
1	12,5	6,3	38	13,6	129	9,5	155	11,4	207	15,2	286	21
1	12,5	6,3	44	12,1	133	11	160	13,2	213	17,6	290	24
1	12,5	6,3	51	11,4	146	12,8	174	15,3	233	20,4	327	28,7
1	12,5	6,3	64	9,3	149	16	179	19,2	238	25,6	333	35,8
1	12,5	6,3	76	7,1	135	19	162	22,8	216	30,4	303	42,7
1	12,5	6,3	89	5,4	120	22,3	144	26,7	192	35,6	272	50,4
1	12,5	6,3	305	1,4	107	76,3	128	91,5	171	122,0	241	172
2	12,5	6,3	25	30	189	6,3	225	7,5	282	9,4	357	11,9
2	12,5	6,3	32	24,8	198	8	238	9,6	298	12	402	16,2
2	12,5	6,3	38	21,4	203	9,5	244	11,4	306	14,3	400	18,7
2	12,5	6,3	44	18,5	204	11	244	13,2	305	16,5	394	21,3
2	12,5	6,3	51	15,5	198	12,8	237	15,3	296	19,1	397	25,6
2	12,5	6,3	64	12,1	194	16	232	19,2	290	24	392	32,4
2	12,5	6,3	76	10,2	194	19	233	22,8	291	28,5	398	39
2	12,5	6,3	89	8,4	187	22,3	224	26,7	281	33,4	386	45,9
2	12,5	6,3	305	2,1	160	76,3	192	91,5	240	114,4	320	152,5
3	12,5	6,3	25	42,1	211	5,0	265	6,3	316	7,5	413	9,8
3	12,5	6,3	32	33,2	212	6,4	266	8	319	9,6	452	13,6
3	12,5	6,3	38	29,3	223	7,6	278	9,5	334	11,4	428	14,6
3	12,5	6,3	44	24,6	216	8,8	271	11	325	13,2	445	18,1
3	12,5	6,3	51	19,6	200	10,2	251	12,8	300	15,3	437	22,3
3	12,5	6,3	64	15,0	192	12,8	240	16	288	19,2	410	27,3
3	12,5	6,3	76	13,2	201	15,2	251	19	301	22,8	437	33,1
3	12,5	6,3	89	11,4	203	17,8	254	22,3	304	26,7	443	38,9
3	12,5	6,3	305	2,8	171	61	214	76,3	256	91,5	391	139,7
4	12,5	6,3	25	58,5	252	4,3	293	5	369	6,3	474	8,1
4	12,5	6,3	32	43,9	237	5,4	281	6,4	351	8	435	9,9
4	12,5	6,3	38	36	234	6,5	274	7,6	342	9,5	464	12,9
4	12,5	6,3	44	30,3	227	7,5	267	8,8	333	11	427	14,1
4	12,5	6,3	51	26,2	228	8,7	267	10,2	335	12,8	456	17,4
4	12,5	6,3	64	21,2	231	10,9	271	12,8	339	16	445	21
4	12,5	6,3	76	17,1	221	12,9	260	15,2	325	19	451	26,4
4	12,5	6,3	89	14,5	219	15,1	258	17,8	323	22,3	457	31,5
4	12,5	6,3	305	4,3	223	51,9	262	61	328	76,3	479	111,3

Force class	A	B	L <sub>0</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	16	8	25	23,4	147	6,3	176	7,5	234	10,0	295	12,6
1	16	8	32	22,9	183	8,0	220	9,6	293	12,8	376	16,4
1	16	8	38	19,3	183	9,5	220	11,4	293	15,2	380	19,7
1	16	8	44	17,1	188	11,0	226	13,2	301	17,6	385	22,5
1	16	8	51	15,7	201	12,8	240	15,3	320	20,4	413	26,3
1	16	8	64	10,7	171	16,0	205	19,2	274	25,6	356	33,3
1	16	8	76	10	190	19,0	228	22,8	304	30,4	402	40,2
1	16	8	89	8,6	192	22,3	230	26,7	306	35,6	409	47,6
1	16	8	102	7,8	199	25,5	239	30,6	318	40,8	432	55,4
1	16	8	305	2,5	191	76,3	229	91,5	305	122,0	413	165,3
2	16	8	25	49,4	311	6,3	371	7,5	464	9,4	519	10,5
2	16	8	32	37,1	297	8	356	9,6	445	12	490	13,2
2	16	8	38	33,9	322	9,5	386	11,4	485	14,3	583	17,2
2	16	8	44	30	330	11	396	13,2	495	16,5	582	19,4
2	16	8	51	26,4	338	12,8	404	15,3	504	19,1	639	24,2
2	16	8	64	20,5	328	16	394	19,2	492	24	599	29,2
2	16	8	76	17,8	338	19	406	22,8	507	28,5	646	36,3
2	16	8	89	15,2	339	22,3	406	26,7	508	33,4	634	41,7
2	16	8	102	13,5	344	25,5	413	30,6	517	38,3	660	48,9
2	16	8	305	4,8	366	76,3	439	91,5	549	114,4	680	141,6
3	16	8	25	75,7	379	5,	477	6,3	568	7,5	636	8,4
3	16	8	32	52,8	338	6,4	422	8	507	9,6	554	10,5
3	16	8	38	48,5	369	7,6	461	9,5	553	11,4	660	13,6
3	16	8	44	42,8	377	8,8	471	11	565	13,2	681	15,9
3	16	8	51	37,1	378	10,2	475	12,8	568	15,3	701	18,9
3	16	8	64	30,3	388	12,8	485	16	582	19,2	754	24,9
3	16	8	76	25,7	391	15,2	488	19	586	22,8	750	29,2
3	16	8	89	21,7	386	17,8	484	22,3	579	26,7	749	34,5
3	16	8	102	19,3	394	20,4	492	25,5	591	30,6	755	39,1
3	16	8	305	7,1	433	61	542	76,3	650	91,5	736	103,6
4	16	8	25	118	507	4,3	590	5	743	6,3	1003	8,5
4	16	8	32	89	481	5,4	570	6,4	712	8	979	11
4	16	8	38	72,1	469	6,5	548	7,6	685	9,5	952	13,2
4	16	8	44	60,9	457	7,5	536	8,8	670	11	895	14,7
4	16	8	51	52,3	455	8,7	533	10,2	669	12,8	926	17,7
4	16	8	64	41,2	449	10,9	527	12,8	659	16	902	21,9
4	16	8	76	34,1	440	12,9	518	15,2	648	19	948	27,8
4	16	8	89	29,5	445	15,1	525	17,8	658	22,3	920	31,2
4	16	8	102	25,6	443	17,3	522	20,4	653	25,5	970	37,9
4	16	8	305	8,4	436	51,9	512	61	641	76,3	953	113,5

Force class	A	B	L <sub>o</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	20	10	25	55,8	352	6,3	419	7,5	558	10	675	12,1
1	20	10	32	45	360	8	432	9,6	576	12,8	689	15,3
1	20	10	38	33,3	316	9,5	380	11,4	506	15,2	629	18,9
1	20	10	44	30	330	11	396	13,2	528	17,6	645	21,5
1	20	10	51	24,5	314	12,8	375	15,3	500	20,4	613	25
1	20	10	64	20	320	16	384	19,2	512	25,6	622	31,1
1	20	10	76	16	304	19	365	22,8	486	30,4	597	37,3
1	20	10	89	14	312	22,3	374	26,7	498	35,6	623	44,5
1	20	10	102	12	306	25,5	367	30,6	490	40,8	613	51,1
1	20	10	115	10,9	314	28,8	376	34,5	501	46	634	58,2
1	20	10	127	9,5	302	31,8	362	38,1	483	50,8	617	64,9
1	20	10	140	8,4	294	35	353	42	470	56	601	71,5
1	20	10	152	7,5	285	38	342	45,6	456	60,8	591	78,8
1	20	10	305	4	305	76,3	366	91,5	488	122	630	157,4
2	20	10	25	98	617	6,3	735	7,5	921	9,4	1029	10,5
2	20	10	32	72,6	581	8,	697	9,6	871	12	1009	13,9
2	20	10	38	56	532	9,5	638	11,4	801	14,3	930	16,6
2	20	10	44	47,5	523	11	627	13,2	784	16,5	893	18,8
2	20	10	51	41,7	534	12,8	638	15,3	796	19,1	963	23,1
2	20	10	64	32,3	517	16	620	19,2	775	24	888	27,5
2	20	10	76	25,1	477	19	572	22,8	715	28,5	848	33,8
2	20	10	89	22	491	22,3	587	26,7	735	33,4	873	39,7
2	20	10	102	19,8	505	25,5	606	30,6	758	38,3	937	47,3
2	20	10	115	18,1	521	28,8	624	34,5	780	43,1	950	52,5
2	20	10	127	16,6	528	31,8	632	38,1	790	47,6	945	56,9
2	20	10	140	15,1	529	35	634	42	793	52,5	938	62,1
2	20	10	152	13,15	500	38	600	45,6	750	57	889	67,6
2	20	10	305	6,1	465	76,3	558	91,5	698	114,4	875	143,4
3	20	10	25	216	1080	5	1361	6,3	1620	7,5	1793	8,3
3	20	10	32	168	1075	6,4	1344	8	1613	9,6	1831	10,9
3	20	10	38	129	980	7,6	1226	9,5	1471	11,4	1613	12,5
3	20	10	44	112	986	8,8	1232	11	1478	13,2	1680	15
3	20	10	51	94	959	10,2	1203	12,8	1438	15,3	1654	17,6
3	20	10	64	72,1	923	12,8	1154	16	1384	19,2	1629	22,6
3	20	10	76	59,7	907	15,2	1134	19	1361	22,8	1642	27,5
3	20	10	89	50,5	899	17,8	1126	22,3	1348	26,7	1601	31,7
3	20	10	102	44,2	902	20,4	1127	25,5	1353	30,6	1658	37,5
3	20	10	115	38,4	883	23	1106	28,8	1325	34,5	1636	42,6
3	20	10	127	34,1	866	25,4	1084	31,8	1299	38,1	1552	45,5
3	20	10	140	31	868	28	1085	35	1302	42	1553	50,1
3	20	10	152	28,2	857	30,4	1072	38	1286	45,6	1574	55,8
3	20	10	305	15	915	61	1145	76,3	1373	91,5	1712	114,1
4	20	10	25	293	1260	4,3	1465	5	1846	6,3	2022	6,9
4	20	10	32	224	1210	5,4	1434	6,4	1792	8	2106	9,4
4	20	10	38	177	1151	6,5	1345	7,6	1682	9,5	2124	12
4	20	10	44	149	1118	7,5	1311	8,8	1639	11	2012	13,5
4	20	10	51	128	1114	8,7	1306	10,2	1638	12,8	2074	16,2
4	20	10	64	99	1079	10,9	1267	12,8	1584	16	2099	21,2
4	20	10	76	81,7	1054	12,9	1242	15,2	1552	19	2018	24,7
4	20	10	89	69,5	1049	15,1	1237	17,8	1550	22,3	2002	28,8
4	20	10	102	60,6	1048	17,3	1236	20,4	1545	25,5	2109	34,8
4	20	10	115	53	1039	19,6	1219	23	1526	28,8	2067	39
4	20	10	127	47,5	1026	21,6	1207	25,4	1511	31,8	2043	43
4	20	10	140	43	1023	23,8	1204	28	1505	35	1948	45,3
4	20	10	152	39	1006	25,8	1186	30,4	1482	38	1966	50,4
4	20	10	305	21,2	1100	51,9	1293	61	1618	76,3	2194	103,5

Force class	A	B	L <sub>0</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	25	12,5	25	100	630	6,3	750	7,5	1000	10	1190	11,9
1	25	12,5	32	80,3	642	8	771	9,6	1028	12,8	1285	16
1	25	12,5	38	62	589	9,5	707	11,4	942	15,2	1135	18,3
1	25	12,5	44	52,9	582	11	698	13,2	931	17,6	1132	21,4
1	25	12,5	51	44	563	12,8	673	15,3	898	20,4	1096	24,9
1	25	12,5	64	35,2	563	16	676	19,2	901	25,6	1105	31,4
1	25	12,5	76	28	532	19	638	22,8	851	30,4	1050	37,5
1	25	12,5	89	24	535	22,3	641	26,7	854	35,6	1044	43,5
1	25	12,5	102	21,1	538	25,5	646	30,6	861	40,8	1078	51,1
1	25	12,5	115	18,7	539	28,8	645	34,5	860	46,0	1086	58,1
1	25	12,5	127	16,7	531	31,8	636	38,1	848	50,8	1070	64,1
1	25	12,5	140	15,3	536	35	643	42,0	857	56,0	1077	70,4
1	25	12,5	152	14	532	38	638	45,6	851	60,8	1079	77,1
1	25	12,5	178	12,5	556	44,5	668	53,4	890	71,2	1164	93,1
1	25	12,5	203	10,4	528	50,8	633	60,9	844	81,2	1068	102,7
1	25	12,5	305	7	534	76,3	641	91,5	854	122,0	1091	155,9
2	25	12,5	25	147	926	6,3	1103	7,5	1382	9,4	1499	10,2
2	25	12,5	32	118	944	8	1133	9,6	1416	12	1617	13,7
2	25	12,5	38	93	884	9,5	1060	11,4	1330	14,3	1460	15,7
2	25	12,5	44	80,8	889	11	1067	13,2	1333	16,5	1471	18,2
2	25	12,5	51	68,6	878	12,8	1050	15,3	1310	19,1	1489	21,7
2	25	12,5	64	53	848	16	1018	19,2	1272	24	1378	26
2	25	12,5	76	43,2	821	19	985	22,8	1231	28,5	1395	32,3
2	25	12,5	89	38,2	852	22,3	1020	26,7	1276	33,4	1452	38
2	25	12,5	102	33	842	25,5	1010	30,6	1264	38,3	1419	43
2	25	12,5	115	28	806	28,8	966	34,5	1207	43,1	1361	48,6
2	25	12,5	127	25,9	824	31,8	987	38,1	1233	47,6	1391	53,7
2	25	12,5	140	23,2	812	35	974	42	1218	52,5	1378	59,4
2	25	12,5	152	20,8	790	38	948	45,6	1186	57	1327	63,8
2	25	12,5	178	17,8	792	44,5	951	53,4	1189	66,8	1363	76,6
2	25	12,5	203	15,8	803	50,8	962	60,9	1202	76,1	1397	88,4
2	25	12,5	305	10,2	778	76,3	933	91,5	1167	114,4	1378	135,1
3	25	12,5	25	364	1456	4	1929	5,3	2730	7,5	3094	8,5
3	25	12,5	32	297	1901	6,4	2376	8	2851	9,6	3267	11
3	25	12,5	38	219	1664	7,6	2081	9,5	2497	11,4	2759	12,6
3	25	12,5	44	187	1646	8,8	2057	11	2468	13,2	2768	14,8
3	25	12,5	51	156	1591	10,2	1997	12,8	2387	15,3	2792	17,9
3	25	12,5	64	123	1574	12,8	1968	16	2362	19,2	2841	23,1
3	25	12,5	76	99	1505	15,2	1881	19	2257	22,8	2604	26,3
3	25	12,5	89	84	1495	17,8	1873	22,3	2243	26,7	2562	30,5
3	25	12,5	102	73	1489	20,4	1862	25,5	2234	30,6	2723	37,3
3	25	12,5	115	65	1495	23,	1872	28,8	2243	34,5	2724	41,9
3	25	12,5	127	57,7	1466	25,4	1835	31,8	2198	38,1	2666	46,2
3	25	12,5	140	52,7	1476	28,	1845	35	2213	42	2598	49,3
3	25	12,5	152	47,8	1453	30,4	1816	38	2180	45,6	2662	55,7
3	25	12,5	178	41	1460	35,6	1825	44,5	2189	53,4	2669	65,1
3	25	12,5	203	35,8	1453	40,6	1819	50,8	2180	60,9	2667	74,5
3	25	12,5	305	22,9	1397	61	1747	76,3	2095	91,5	2524	110,2
4	25	12,5	32	381	1943	5,1	2553	6,7	3162	8,3	3505	9,2
4	25	12,5	38	346	2249	6,5	2630	7,6	3287	9,5	4152	12
4	25	12,5	44	244	1830	7,5	2147	8,8	2684	11	3514	14,4
4	25	12,5	51	207,5	1805	8,7	2117	10,2	2656	12,8	3611	17,4
4	25	12,5	64	161	1755	10,9	2061	12,8	2576	16	3445	21,4
4	25	12,5	76	130,8	1687	12,9	1988	15,2	2485	19	3519	26,9
4	25	12,5	89	110,5	1669	15,1	1967	17,8	2464	22,3	3414	30,9
4	25	12,5	102	96,3	1666	17,3	1965	20,4	2456	25,5	3534	36,7
4	25	12,5	115	85,7	1680	19,6	1971	23	2468	28,8	3454	40,3
4	25	12,5	127	76,3	1648	21,6	1938	25,4	2426	31,8	3441	45,1
4	25	12,5	152	63,5	1638	25,8	1930	30,4	2413	38	3397	53,5
4	25	12,5	178	53,9	1633	30,3	1919	35,6	2399	44,5	3444	63,9
4	25	12,5	203	47	1622	34,5	1908	40,6	2388	50,8	3299	70,2
4	25	12,5	305	30,9	1604	51,9	1885	61	2358	76,3	3402	110,1

Force class	A	B	L <sub>0</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	32	16	38	94	893	9,5	1072	11,4	1429	15,2	1720	18,3
1	32	16	44	79,5	875	11	1049	13,2	1399	17,6	1709	21,5
1	32	16	51	67	858	12,8	1025	15,3	1367	20,4	1709	25,5
1	32	16	64	53	848	16	1018	19,2	1357	25,6	1691	31,9
1	32	16	76	44	836	19	1003	22,8	1338	30,4	1698	38,6
1	32	16	89	37,2	830	22,3	993	26,7	1324	35,6	1730	46,5
1	32	16	102	32	816	25,5	979	30,6	1306	40,8	1702	53,2
1	32	16	115	29	835	28,8	1001	34,5	1334	46	1740	60
1	32	16	127	25	795	31,8	953	38,1	1270	50,8	1668	66,7
1	32	16	140	23	805	35	966	42,0	1288	56	1651	71,8
1	32	16	152	21,5	817	38	980	45,6	1307	60,8	1688	78,5
1	32	16	178	18,2	810	44,5	972	53,4	1296	71,2	1718	94,4
1	32	16	203	15,8	803	50,8	962	60,9	1283	81,2	1692	107,1
1	32	16	254	12,5	794	63,5	953	76,2	1270	101,6	1706	136,5
1	32	16	305	10,3	786	76,3	942	91,5	1257	122	1676	162,7
2	32	16	38	185	1758	9,5	2109	11,4	2646	14,3	3016	16,3
2	32	16	44	158	1738	11	2086	13,2	2607	16,5	2986	18,9
2	32	16	51	134	1715	12,8	2050	15,3	2559	19,1	3095	23,1
2	32	16	64	99	1584	16	1901	19,2	2376	24	2822	28,5
2	32	16	76	80,5	1530	19	1835	22,8	2294	28,5	2753	34,2
2	32	16	89	69,1	1541	22,3	1845	26,7	2308	33,4	2792	40,4
2	32	16	102	58,8	1499	25,5	1799	30,6	2252	38,3	2822	48
2	32	16	115	51,5	1483	28,8	1777	34,5	2220	43,1	2796	54,3
2	32	16	127	44,8	1425	31,8	1707	38,1	2132	47,6	2652	59,2
2	32	16	140	42,3	1481	35	1777	42	2221	52,5	2762	65,3
2	32	16	152	37,8	1436	38	1724	45,6	2155	57	2759	73
2	32	16	178	32,5	1446	44,5	1736	53,4	2171	66,8	2746	84,5
2	32	16	203	28,9	1468	50,8	1760	60,9	2199	76,1	2800	96,9
2	32	16	254	21,4	1359	63,5	1631	76,2	2039	95,3	2587	120,9
2	32	16	305	18,3	1396	76,3	1674	91,5	2094	114,4	2688	146,9
3	32	16	38	388	2949	7,6	3686	9,5	4423	11,4	4850	12,5
3	32	16	44	324	2851	8,8	3564	11	4277	13,2	4828	14,9
3	32	16	51	272	2774	10,2	3482	12,8	4162	15,3	4842	17,8
3	32	16	64	212	2714	12,8	3392	16	4070	19,2	4749	22,4
3	32	16	76	172	2614	15,2	3268	19	3922	22,8	4489	26,1
3	32	16	89	141	2510	17,8	3144	22,3	3765	26,7	4343	30,8
3	32	16	102	122	2489	20,4	3111	25,5	3733	30,6	4490	36,8
3	32	16	115	107	2461	23	3082	28,8	3692	34,5	4430	41,4
3	32	16	127	93	2362	25,4	2957	31,8	3543	38,1	4129	44,4
3	32	16	140	86	2408	28	3010	35	3612	42	4171	48,5
3	32	16	152	78	2371	30,4	2964	38	3557	45,6	4274	54,8
3	32	16	178	67,2	2392	35,6	2990	44,5	3588	53,4	4274	63,6
3	32	16	203	59,1	2399	40,6	3002	50,8	3599	60,9	4285	72,5
3	32	16	254	46,4	2357	50,8	2946	63,5	3536	76,2	4306	92,8
3	32	16	305	38	2318	61	2899	76,3	3477	91,5	4248	111,8
4	32	16	38	520	3172	6,1	4160	8	5148	9,9	5460	10,5
4	32	16	44	424,4	3183	7,5	3735	8,8	4668	11	5814	13,7
4	32	16	51	353	3071	8,7	3601	10,2	4518	12,8	5507	15,6
4	32	16	64	269,2	2934	10,9	3446	12,8	4307	16	5384	20
4	32	16	76	218,5	2819	12,9	3321	15,2	4152	19	5331	24,4
4	32	16	89	180,3	2723	15,1	3209	17,8	4021	22,3	5355	29,7
4	32	16	102	155	2682	17,3	3162	20,4	3953	25,5	5441	35,1
4	32	16	115	140	2744	19,6	3220	23	4032	28,8	5460	39
4	32	16	127	124	2678	21,6	3150	25,4	3943	31,8	5307	42,8
4	32	16	152	102	2632	25,8	3101	30,4	3876	38	5345	52,4
4	32	16	178	88,2	2672	30,3	3140	35,6	3925	44,5	5371	60,9
4	32	16	203	76	2622	34,5	3086	40,6	3861	50,8	5259	69,2
4	32	16	254	60,8	2627	43,2	3089	50,8	3861	63,5	5356	88,1
4	32	16	305	49	2543	51,9	2989	61	3739	76,3	5106	104,2

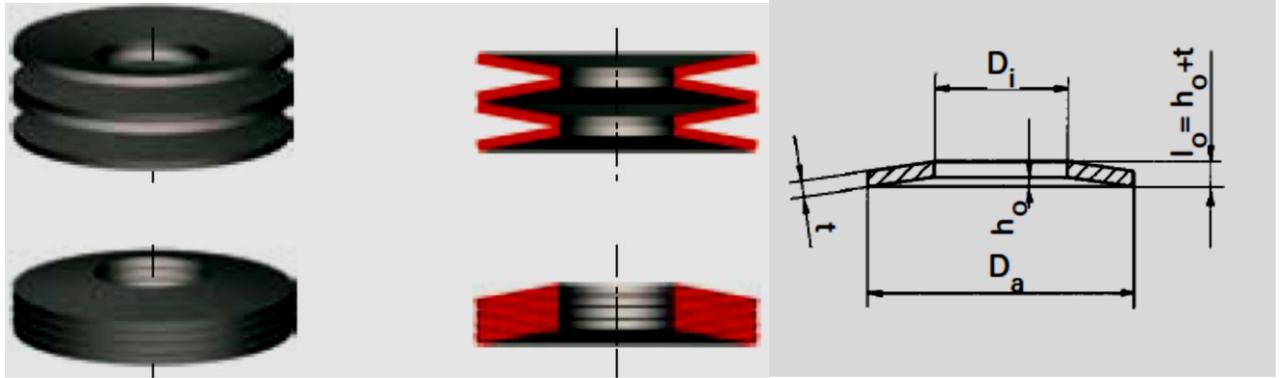
Force class	A	B	$L_0$	c	$F_1$	$s_1$	$F_2$	$s_2$	$F_3$	$s_3$	$F_{st}$	$s_{st}$
1	40	20	51	92	1178	12,8	1408	15,3	1877	20,4	2346	25,5
1	40	20	64	73	1168	16	1402	19,2	1869	25,6	2292	31,4
1	40	20	76	63	1197	19	1436	22,8	1915	30,4	2381	37,8
1	40	20	89	51	1137	22,3	1362	26,7	1816	35,6	2259	44,3
1	40	20	102	43	1097	25,5	1316	30,6	1754	40,8	2180	50,7
1	40	20	115	39,6	1140	28,8	1366	34,5	1822	46	2301	58,1
1	40	20	127	37	1177	31,8	1410	38,1	1880	50,8	2390	64,6
1	40	20	140	32	1120	35	1344	42,0	1792	56	2243	70,1
1	40	20	152	28	1064	38	1277	45,6	1702	60,8	2145	76,6
1	40	20	178	25,2	1121	44,5	1346	53,4	1794	71,2	2278	90,4
1	40	20	203	22,7	1153	50,8	1382	60,9	1843	81,2	2324	102,4
1	40	20	254	17	1080	63,5	1295	76,2	1727	101,6	2190	128,8
1	40	20	305	14,8	1129	76,3	1354	91,5	1806	122	2310	156,1
2	40	20	51	181,6	2324	12,8	2778	15,3	3469	19,1	3886	21,4
2	40	20	64	140	2240	16	2688	19,2	3360	24	3752	26,8
2	40	20	76	108	2052	19	2462	22,8	3078	28,5	3532	32,7
2	40	20	89	90,7	2023	22,3	2422	26,7	3029	33,4	3537	39
2	40	20	102	81	2066	25,5	2479	30,6	3102	38,3	3572	44,1
2	40	20	115	71,8	2068	28,8	2477	34,5	3095	43,1	3633	50,6
2	40	20	127	62,7	1994	31,8	2389	38,1	2985	47,6	3505	55,9
2	40	20	140	57,5	2013	35	2415	42	3019	52,5	3554	61,8
2	40	20	152	51,6	1961	38	2353	45,6	2941	57	3483	67,5
2	40	20	178	44,1	1962	44,5	2355	53,4	2946	66,8	3405	77,2
2	40	20	203	36,7	1864	50,8	2235	60,9	2793	76,1	3369	91,8
2	40	20	254	30,1	1911	63,5	2294	76,2	2869	95,3	3392	112,7
2	40	20	305	24,6	1877	76,3	2251	91,5	2814	114,4	3397	138,1
3	40	20	51	315	2583	8,2	3371	10,7	4820	15,3	5827	18,5
3	40	20	64	262	2662	10,2	3497	13,4	5011	19,2	6026	23
3	40	20	76	219	3329	15,2	4161	19	4993	22,8	5847	26,7
3	40	20	89	190	3382	17,8	4237	22,3	5073	26,7	5947	31,3
3	40	20	102	163	3325	20,4	4157	25,5	4988	30,6	6047	37,1
3	40	20	115	142	3266	23	4090	28,8	4899	34,5	5822	41
3	40	20	127	128	3251	25,4	4070	31,8	4877	38,1	5952	46,5
3	40	20	140	115	3220	28	4025	35	4830	42	6107	53,1
3	40	20	152	105	3192	30,4	3990	38	4788	45,6	5891	56,1
3	40	20	178	89	3168	35,6	3961	44,5	4753	53,4	5999	67,4
3	40	20	203	77	3126	40,6	3912	50,8	4689	60,9	5867	76,2
3	40	20	254	61	3099	50,8	3874	63,5	4648	76,2	5868	96,2
3	40	20	305	51	3111	61	3891	76,3	4667	91,5	5855	114,8
4	40	20	51	620	5084	8,2	6634	10,7	8246	13,3	9424	15,2
4	40	20	64	487	5308	10,9	6234	12,8	7792	16	9497	19,5
4	40	20	76	379	4889	12,9	5761	15,2	7201	19	8831	23,3
4	40	20	89	321	4847	15,1	5714	17,8	7158	22,3	8571	26,7
4	40	20	102	281	4861	17,3	5732	20,4	7166	25,5	9498	33,8
4	40	20	115	245	4802	19,6	5635	23	7056	28,8	8869	36,2
4	40	20	127	221	4774	21,6	5613	25,4	7028	31,8	8995	40,7
4	40	20	152	168	4334	25,8	5107	30,4	6384	38	8333	49,6
4	40	20	178	146	4424	30,3	5198	35,6	6497	44,5	8745	59,9
4	40	20	203	132	4554	34,5	5359	40,6	6706	50,8	8857	67,1
4	40	20	254	107	4622	43,2	5436	50,8	6795	63,5	9234	86,3
4	40	20	305	87,8	4557	51,9	5356	61	6699	76,3	9096	103,6

Force class	A	B	L <sub>o</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	50	25	64	156	2496	16	2995	19,2	3994	25,6	4836	31
1	50	25	76	125	2375	19	2850	22,8	3800	30,4	4650	37,2
1	50	25	89	109	2431	22,3	2910	26,7	3880	35,6	4752	43,6
1	50	25	102	94	2397	25,5	2876	30,6	3835	40,8	4728	50,3
1	50	25	115	81	2333	28,8	2795	34,5	3726	46	4706	58,1
1	50	25	127	71	2258	31,8	2705	38,1	3607	50,8	4523	63,7
1	50	25	140	66,5	2328	35	2793	42	3724	56	4622	69,5
1	50	25	152	60	2280	38	2736	45,6	3648	60,8	4590	76,5
1	50	25	178	52	2314	44,5	2777	53,4	3702	71,2	4779	91,9
1	50	25	203	44	2235	50,8	2680	60,9	3573	81,2	4607	104,7
1	50	25	254	35	2223	63,5	2667	76,2	3556	101,6	4571	130,6
1	50	25	305	28,5	2175	76,3	2608	91,5	3477	122	4415	154,9
2	50	25	64	209	3344	16	4013	19,2	5016	24	5894	28,2
2	50	25	76	168	3192	19	3830	22,8	4788	28,5	5863	34,9
2	50	25	89	140	3122	22,3	3738	26,7	4676	33,4	5488	39,2
2	50	25	102	119	3035	25,5	3641	30,6	4558	38,3	5629	47,3
2	50	25	115	106	3053	28,8	3657	34,5	4569	43,1	5576	52,6
2	50	25	127	97	3085	31,8	3696	38,1	4617	47,6	5801	59,8
2	50	25	140	87	3045	35	3654	42	4568	52,5	5664	65,1
2	50	25	152	80	3040	38	3648	45,6	4560	57	5664	70,8
2	50	25	178	69,5	3093	44,5	3711	53,4	4643	66,8	5852	84,2
2	50	25	203	59,8	3038	50,8	3642	60,9	4551	76,1	5771	96,5
2	50	25	254	43,9	2788	63,5	3345	76,2	4184	95,3	5347	121,8
2	50	25	305	38,6	2945	76,3	3532	91,5	4416	114,4	5666	146,8
3	50	25	64	413	5286	12,8	6608	16	7930	19,2	9251	22,4
3	50	25	76	339	5153	15,2	6441	19	7729	22,8	8984	26,5
3	50	25	89	288	5126	17,8	6422	22,3	7690	26,7	9072	31,5
3	50	25	102	245	4998	20,4	6248	25,5	7497	30,6	9212	37,6
3	50	25	115	215	4945	23	6192	28,8	7418	34,5	9181	42,7
3	50	25	127	192	4877	25,4	6106	31,8	7315	38,1	9120	47,5
3	50	25	140	168	4704	28	5880	35	7056	42	8702	51,8
3	50	25	152	154	4682	30,4	5852	38	7022	45,6	8901	57,8
3	50	25	178	134	4770	35,6	5963	44,5	7156	53,4	9179	68,5
3	50	25	203	117	4750	40,6	5944	50,8	7125	60,9	9079	77,6
3	50	25	254	89	4521	50,8	5652	63,5	6782	76,2	8713	97,9
3	50	25	305	73	4453	61	5570	76,3	6680	91,5	8811	120,7
4	50	25	64	709	7728	10,9	9075	12,8	11344	16	13684	19,3
4	50	25	76	572	7379	12,9	8694	15,2	10868	19	13842	24,2
4	50	25	89	475	7173	15,1	8455	17,8	10593	22,3	13300	28
4	50	25	102	405	7007	17,3	8262	20,4	10328	25,5	13568	33,5
4	50	25	115	352	6899	19,6	8096	23	10138	28,8	13587	38,6
4	50	25	127	316	6826	21,6	8026	25,4	10049	31,8	13082	41,4
4	50	25	152	239	6166	25,8	7266	30,4	9082	38	11998	50,2
4	50	25	178	215	6515	30,3	7654	35,6	9568	44,5	13137	61,1
4	50	25	203	187	6452	34,5	7592	40,6	9500	50,8	12660	67,7
4	50	25	254	153	6610	43,2	7772	50,8	9716	63,5	13311	87
4	50	25	305	127	6591	51,9	7747	61	9690	76,3	13132	103,4

Force class	A	B	L <sub>o</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
1	63	38	76	189	3591	19	4309	22,8	5746	30,4	6899	36,5
1	63	38	89	158	3523	22,3	4219	26,7	5625	35,6	6857	43,4
1	63	38	102	131	3341	25,5	4009	30,6	5345	40,8	6511	49,7
1	63	38	115	116	3341	28,8	4002	34,5	5336	46,0	6450	55,6
1	63	38	127	103	3275	31,8	3924	38,1	5232	50,8	6458	62,7
1	63	38	152	84,3	3203	38	3844	45,6	5125	60,8	6500	77,1
1	63	38	178	71,5	3182	44,5	3818	53,4	5091	71,2	6592	92,2
1	63	38	203	61,7	3134	50,8	3758	60,9	5010	81,2	6386	103,5
1	63	38	254	47	2985	63,5	3581	76,2	4775	101,6	6129	130,4
1	63	38	305	38,2	2915	76,3	3495	91,5	4660	122,0	6013	157,4
2	63	38	76	312	5928	19	7114	22,8	8892	28,5	9578	30,7
2	63	38	89	260	5798	22,3	6942	26,7	8684	33,4	9490	36,5
2	63	38	102	221	5636	25,5	6763	30,6	8464	38,3	9636	43,6
2	63	38	115	187	5386	28,8	6452	34,5	8060	43,1	9144	48,9
2	63	38	127	168	5342	31,8	6401	38,1	7997	47,6	9106	54,2
2	63	38	152	136	5168	38	6202	45,6	7752	57	8935	65,7
2	63	38	178	114	5073	44,5	6088	53,4	7615	66,8	8721	76,5
2	63	38	203	100	5080	50,8	6090	60,9	7610	76,1	8800	88
2	63	38	229	89,2	5111	57,3	6128	68,7	7662	85,9	9268	103,9
2	63	38	254	78,4	4978	63,5	5974	76,2	7472	95,3	8812	112,4
2	63	38	305	64,7	4937	76,3	5920	91,5	7402	114,4	8657	133,8
3	63	38	76	618	9394	15,2	11742	19	14090	22,8	15265	24,7
3	63	38	89	515	9167	17,8	11485	22,3	13751	26,7	15450	30
3	63	38	102	438	8935	20,4	11169	25,5	13403	30,6	15374	35,1
3	63	38	115	370	8510	23	10656	28,8	12765	34,5	13875	37,5
3	63	38	127	333	8458	25,4	10589	31,8	12687	38,1	15285	45,9
3	63	38	152	269	8178	30,4	10222	38	12266	45,6	15199	56,5
3	63	38	178	226	8046	35,6	10057	44,5	12068	53,4	15097	66,8
3	63	38	203	198	8039	40,6	10058	50,8	12058	60,9	15602	78,8
3	63	38	254	155	7874	50,8	9843	63,5	11811	76,2	15763	101,7
3	63	38	305	128	7808	61	9766	76,3	11712	91,5	15667	122,4
4	63	38	76	952	12281	12,9	14470	15,2	14470	15,2	14471	15,2
4	63	38	89	819	12367	15,1	14578	17,8	14580	17,8	19040	20
4	63	38	102	700	12110	17,3	14280	20,4	17850	25,5	21449	30,7
4	63	38	115	620	12152	19,6	14260	23	17856	28,8	21640	34,9
4	63	38	127	565	12204	21,6	14351	25,4	17967	31,8	21470	38
4	63	38	152	458	11816	25,8	13923	30,4	17404	38	21618	47,2
4	63	38	178	384	11635	30,3	13670	35,6	17088	44,5	21427	55,8
4	63	38	203	337	11627	34,5	13682	40,6	17120	50,8	21838	64,8
4	63	38	254	263	11362	43,2	13360	50,8	16701	63,5	22802	86,7
4	63	38	305	218	11314	51,9	13298	61	16633	76,3	23043	105,7

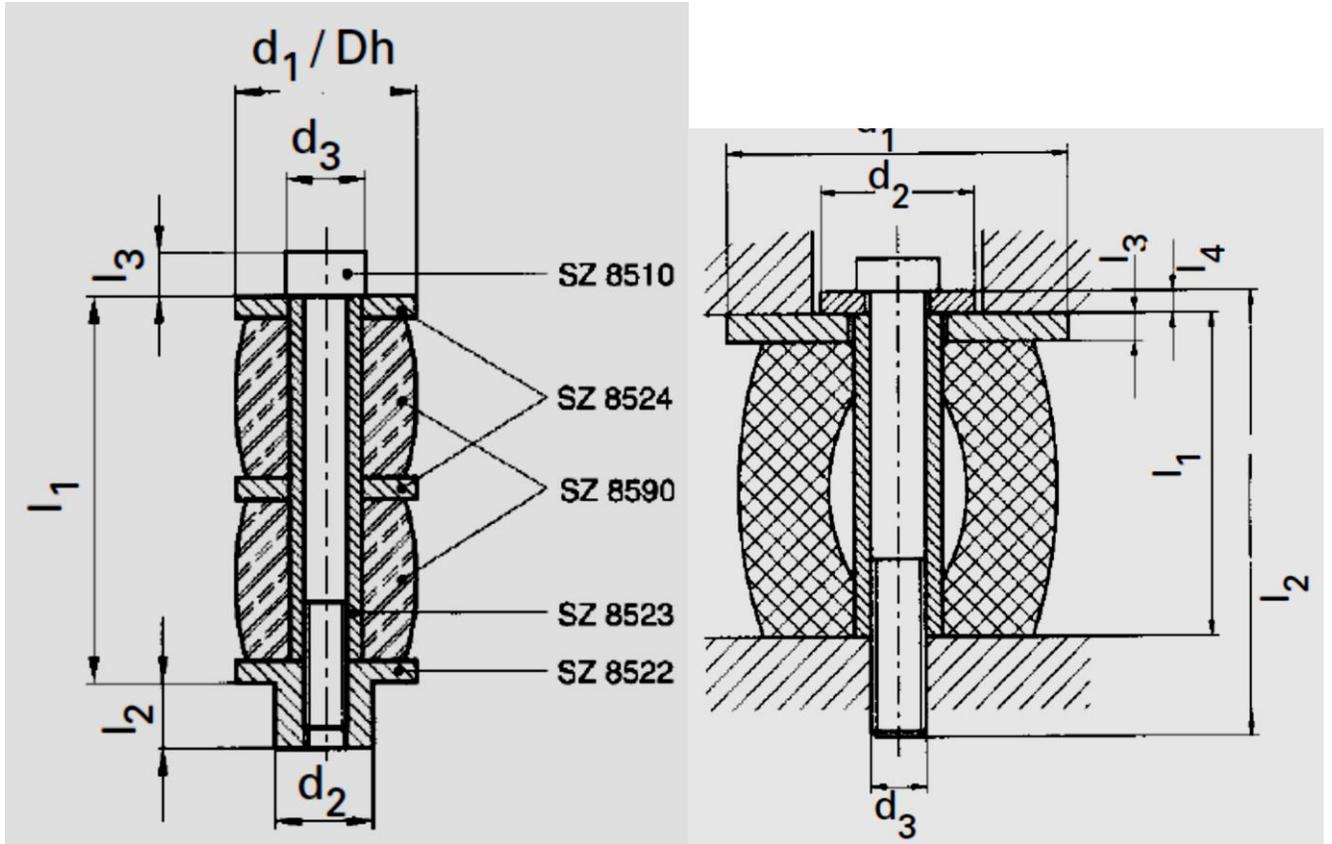
Force class	A	B	L <sub>o</sub>	c	F <sub>1</sub>	s <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	s <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	s <sub>3</sub>	F <sub>st</sub>	s <sub>st</sub>
5	25	12,5	64	644	4122	6,4	4959	7,7	6182	9,6	8372	13
5	25	12,5	76	556	4226	7,6	5060	9,1	6338	11,4	8896	16
5	25	12,5	89	462	4112	8,9	4943	10,7	6168	13,4	9240	20
5	25	12,5	102	390	3978	10,2	4758	12,2	5967	15,3	8970	23
5	25	12,5	115	360	4140	11,5	4968	13,8	6210	17,3	9360	26
5	25	12,5	127	326	4140	12,7	4955	15,2	6210	19,1	9128	28
5	25	12,5	152	255	3876	15,2	4641	18,2	5814	22,8	8670	34
5	25	12,5	178	230	4094	17,8	4922	21,4	6141	26,7	8970	39
5	25	12,5	203	202	4101	20,3	4929	24,4	6151	30,5	9090	45
5	25	12,5	305	136	4148	30,5	4978	36,6	6222	45,8	8568	63
5	32	16	64	1077	6892	6,4	8270	7,7	10337	9,6	13998	13
5	32	16	76	874	6642	7,6	7971	9,1	9964	11,4	13984	16
5	32	16	89	721	6419	8,9	7702	11	9628	13,35	14424	20
5	32	16	102	620	6324	10	7589	12	9486	15,3	14260	23
5	32	16	115	560	6440	12	7728	14	9660	17,25	14560	26
5	32	16	127	496	6299	13	7559	15	9449	19,05	13888	28
5	32	16	152	408	6202	15	7442	18	9302	22,8	13872	34
5	32	16	178	353	6280	18	7536	21	9420	26,7	13759	39
5	32	16	203	304	6171	20	7405	24	9257	30,45	13680	45
5	32	16	254	243	6177	25	7413	30	9266	38,1	15078	62
5	32	16	305	196	5978	31	7174	37	8967	45,75	14700	75
5	40	20	89	880	7832	8,9	9416	10,7	11748	13,4	17600	20
5	40	20	102	762	7772	10,2	9296	12,2	11659	15,3	17526	23
5	40	20	115	679	7809	11,5	9370	13,8	11713	17,3	17654	26
5	40	20	127	622	7899	12,7	9454	15,2	11849	19,1	17416	28
5	40	20	152	509	7737	22,8	9264	18,2	11605	22,8	18324	36
5	40	20	178	429	7636	17,8	9181	21,4	11454	26,7	18447	43
5	40	20	203	374	7592	20,3	9126	24,4	11388	30,5	18326	49
5	40	20	254	296	7518	25,4	9028	30,5	11278	38,1	18352	62
5	40	20	305	246	7530	30,5	9004	36,6	11255	45,8	18450	75
5	50	25	89	1410	12549	8,9	15087	10,7	18824	13,4	26790	19
5	50	25	102	1215	12393	10,2	14823	12,2	18590	15,3	26730	22
5	50	25	115	1076	12374	11,5	14849	13,8	18561	17,3	26900	25
5	50	25	127	968	12294	12,7	14714	15,2	18440	19,1	27104	28
5	50	25	152	806	12251	15,2	14669	18,2	18377	22,8	27404	34
5	50	25	178	698	12424	17,8	14937	21,4	18637	26,7	27920	40
5	50	25	203	612	12424	20,3	14933	24,4	18635	30,5	27540	45
5	50	25	254	472	11989	25,4	14396	30,5	17983	38,1	27376	58
5	50	25	305	388	11834	30,5	14201	36,6	17751	45,8	27160	70

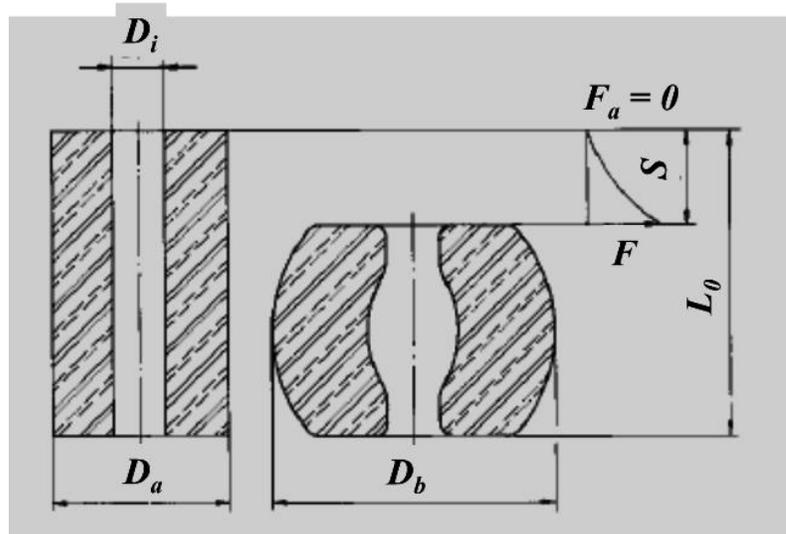
# MOLAS DO TIPO PRATO



$D_a$	$D_i$	$t$	$h_0$	$l_0$	$s = 0.2 h_0$		$s = 0.4 h_0$		$s = 0.6 h_0$		$s = 0.75 h_0$	
					$F^*$ (N)	$s$	$F^*$ (N)	$s$	$F^*$ (N)	$s$	$F^*$ (N)	$s$
8,0	4,2	0,3	0,25	0,55	42,5	0,05	75,6	0,10	102	0,15	119	0,19
8,0	4,2	0,4	0,2	0,6	63,5	0,04	120	0,08	173	0,12	210	0,15
10,0	5,2	0,4	0,3	0,7	72,1	0,06	130	0,12	178	0,18	213	0,23
10,0	5,2	0,5	0,25	0,75	98,5	0,05	187	0,10	268	0,15	329	0,19
12,5	6,2	0,5	0,35	0,85	98,3	0,07	180	0,14	248	0,21	291	0,26
12,5	6,2	0,7	0,3	1,0	194	0,06	372	0,12	539	0,18	673	0,23
14,0	7,2	0,5	0,4	0,9	98,9	0,08	177	0,16	239	0,24	279	0,30
14,0	7,2	0,8	0,3	1,1	229	0,06	444	0,12	648	0,18	813	0,23
15,0	5,2	0,7	0,4	1,1	174	0,08	326	0,16	461	0,24	555	0,30
16,0	8,2	0,6	0,45	1,05	141	0,09	255	0,18	349	0,27	412	0,34
16,0	8,2	0,9	0,35	1,25	293	0,07	566	0,14	825	0,21	1000	0,26
18,0	9,2	0,7	0,5	1,2	191	0,10	348	0,20	480	0,30	572	0,38
18,0	9,2	1,0	0,4	1,4	364	0,08	703	0,16	1020	0,24	1250	0,30
20,0	10,2	0,8	0,55	1,35	249	0,11	456	0,22	631	0,33	745	0,41
20,0	10,2	0,9	0,55	1,45	336	0,11	624	0,22	877	0,33	1040	0,41
20,0	10,2	1,1	0,45	1,55	443	0,09	854	0,18	1240	0,27	1530	0,34
22,5	11,2	0,8	0,65	1,45	252	0,13	450	0,26	608	0,39	710	0,49
22,5	11,2	1,25	0,5	1,75	560	0,10	1080	0,20	1570	0,30	1950	0,38
23,0	12,2	1,25	0,6	1,85	700	0,12	1330	0,24	1920	0,36	2330	0,45
25,0	12,2	0,9	0,7	1,6	302	0,14	542	0,28	737	0,42	868	0,53
25,0	12,2	1,5	0,55	2,05	838	0,11	1630	0,22	2380	0,33	2910	0,41
28,0	14,2	1,0	0,8	1,8	392	0,16	702	0,32	949	0,48	1110	0,60
28,0	14,2	1,5	0,65	2,15	836	0,13	1600	0,26	2320	0,39	2850	0,49
31,5	16,3	1,25	0,9	2,15	648	0,18	1180	0,36	1620	0,54	1920	0,68
31,5	16,3	1,75	0,7	2,45	1120	0,14	2170	0,28	3160	0,42	3900	0,53
35,5	18,3	1,25	1,0	2,25	602	0,20	1080	0,40	1460	0,60	1700	0,75
35,5	18,3	2,0	0,8	2,8	1500	0,16	2910	0,32	4230	0,48	5190	0,60
40,0	20,4	1,5	1,15	2,65	911	0,23	1640	0,46	2240	0,69	2620	0,86
40,0	20,4	2,25	0,9	3,15	1890	0,18	3640	0,36	5300	0,54	6540	0,68
45,0	22,4	1,75	1,3	3,05	1250	0,26	2260	0,52	3100	0,78	3660	0,98
45,0	22,4	2,5	1,0	3,5	2240	0,20	4320	0,40	6290	0,60	7720	0,75
50,0	25,4	2,0	1,4	3,4	1600	0,28	2910	0,56	4020	0,84	4760	1,05
50,0	25,4	2,5	1,4	3,9	2820	0,28	5300	0,56	7520	0,84	9060	1,05
50,0	25,4	3,0	1,1	4,1	3430	0,22	6660	0,44	9740	0,66	12000	0,83
56,0	28,5	2,0	1,6	3,6	1570	0,32	2810	0,64	3810	0,96	4440	1,20
56,0	28,5	3,0	1,3	4,3	3350	0,26	6430	0,52	9320	0,78	11400	0,98
63,0	31	2,5	1,75	4,25	2410	0,35	4400	0,70	6080	1,05	7180	1,31
63,0	31	3,5	1,4	4,9	4360	0,28	8420	0,56	12300	0,84	15000	1,05

MOLAS DO TIPO POLIURETANO





$D_a$	$D_i$	$L_0$	$D_b$	$D_1$
16	6,5	12	22	28
		16		
		20		
		25		
		32		
20	8,5	16	27	32
		20		
		25		
		32		
25	10,5	20	34	36
		25		
		32		
		40		
32	13,5	32	43	45
		40		
		50		
		63		
40	13,5	32	54	56
		40		
		50		
		63		
		80		
50	17	32	68	71
		40		
		50		
		63		
		100		

$D_a$	$D_i$	$L_0$	$D_b$	$D_1$
63	17	32	85	90
		40		
		50		
		63		
		80		
		100		
		125		
80	21	32	108	112
		40		
		50		
		63		
		80		
100	21	100	135	140
		125		
		32		
		40		
		50		
125	27	32	169	180
		40		
		50		
		63		
		80		
		100		
		125		
		160		



**DIN ISO 10069**

**Rubber springs**

**Material:** Chloroprene elastomer (CR)  
 Hardness  $70 \pm 3$  Shore A

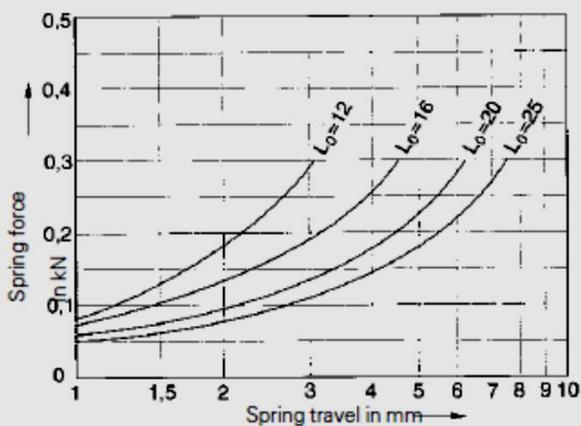


Fig. 1. Spring  $D_a$  16

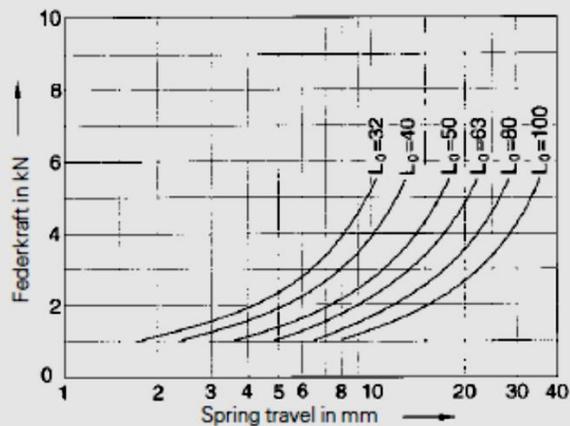


Fig. 6. Spring  $D_a$  50

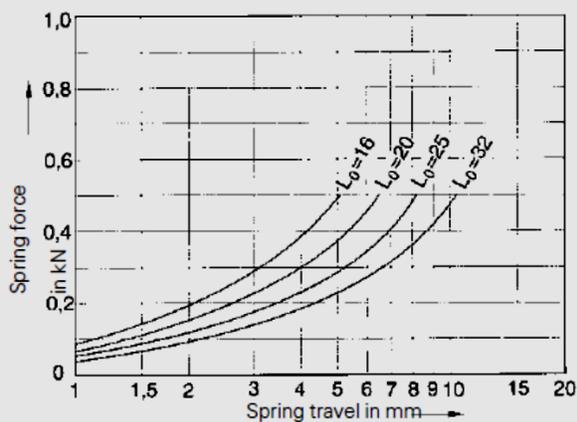


Fig. 2. Spring  $D_a$  20

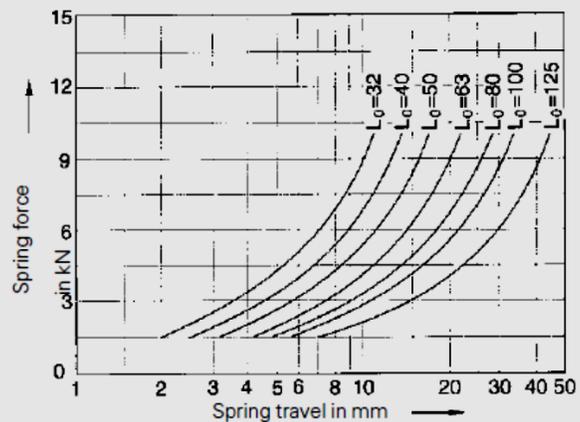


Fig. 7. Spring  $D_a$  63

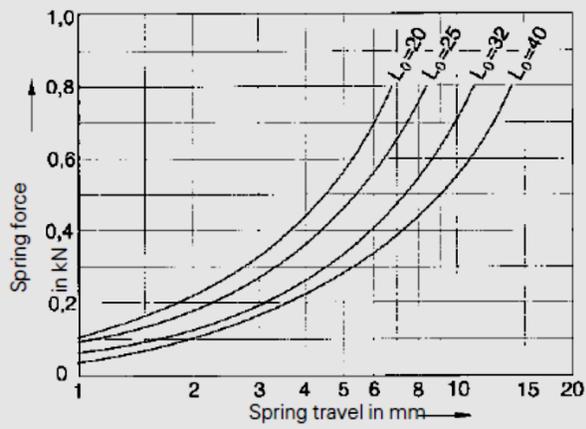


Fig. 3. Spring  $D_a 25$

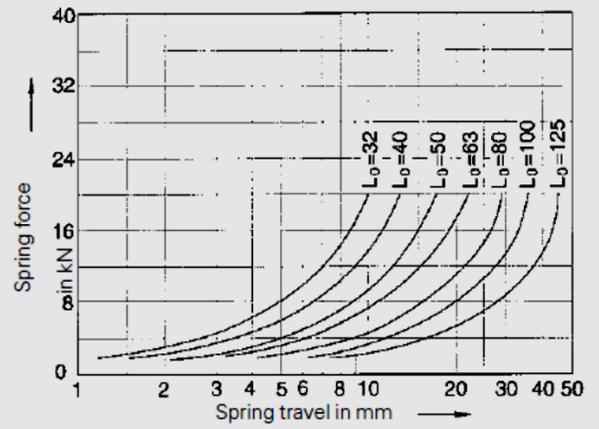


Fig. 8. Spring  $D_a 80$

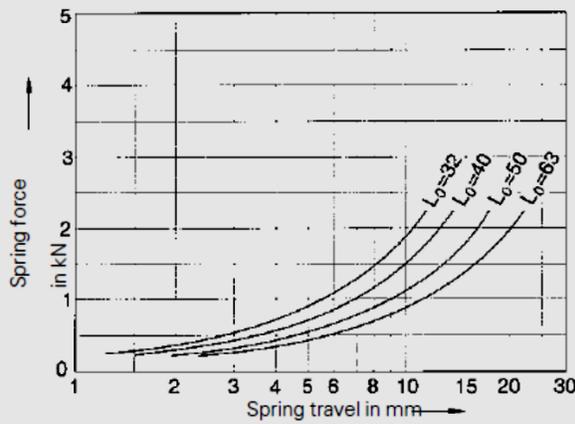


Fig. 4. Spring  $D_a 32$

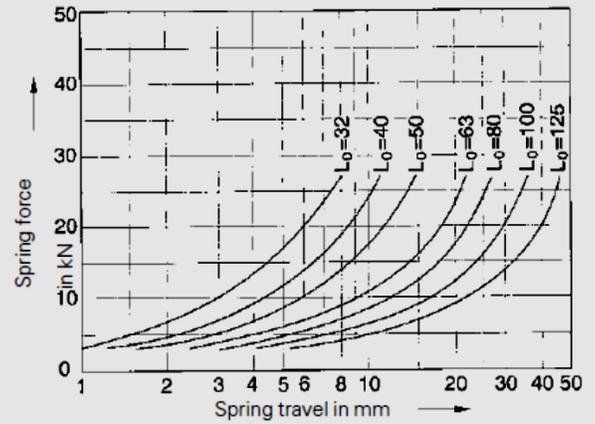


Fig. 9. Spring  $D_a 100$

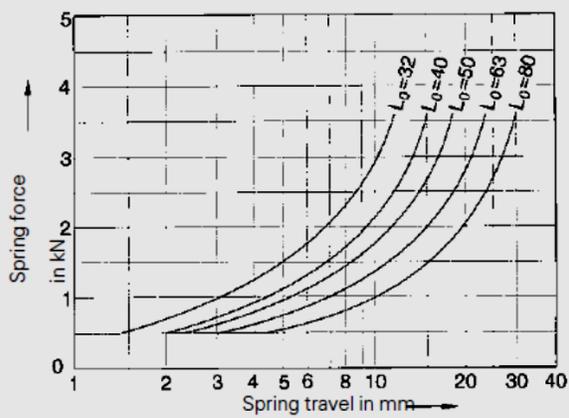


Fig. 5. Spring  $D_a 40$

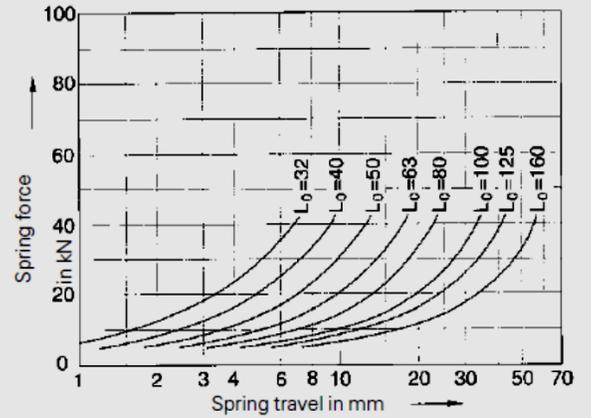
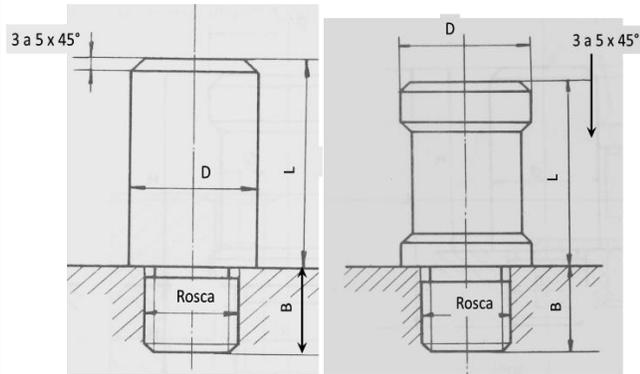
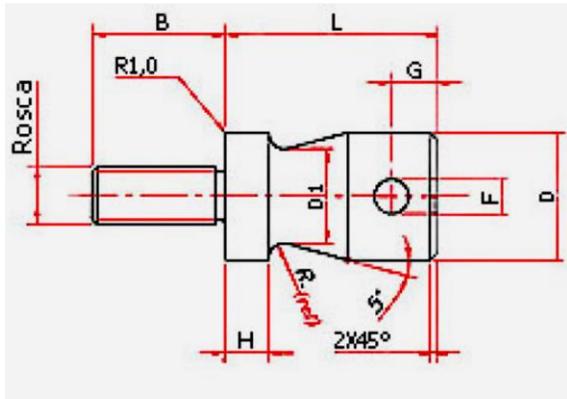


Fig. 10. Spring  $D_a 125$

**APÊNDICE IV – GUIA PARA SELEÇÃO DE ESPIGAS PARA  
ESTAMPOS DE CORTE**

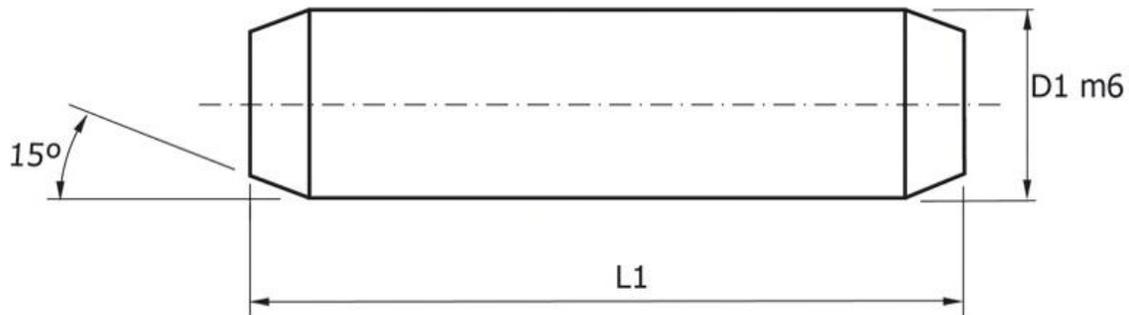


**Sem Tratamento Térmico**  
**Material: Aço SAE 1045**

Características da Prensa										
Capacidade	Furo do Martelo Ø x Profundidade	Código	D -0,20	L +0,50 -0,50	Rosca	B +0,50 -0,50	D1 +0,20 -0,20	H +0,50 -0,50	F +0,50 -0,50	G +0,50 -0,50
3 ton.	25 x 55	PEE-2525-2	25	50	M20 X 2,5	25	20	12	6	
4 ton.	25 x 57	PEE-2530-2		55		30				
8 ton.	25 x 62	PEE-2540-2		40						
12 ton.	32 x 100	PEE-3225-2	32	65	M24 X 3,0	25	27	18	7	8
		PEE-3230-2				30				
		PEE-3240-2				40				
22 ton.	35 x 100	PEE-3525-2	35	70	M24 X 3,0	25	30	18	7	
		PEE-3530-2				30				
		PEE-3540-2				40				
40 ton.	38 x 110	PEE-3825-2	38	70	M24 X 3,0	25	33	18	8	10
45 ton.		PEE-3830-2				30				
		PEE-3840-2				40				
65 ton.	50 X 90	PEE-5030-2	50	70	M30 X 3,5	30	43	20	10	13
80 ton.	50 x 100	PEE-5040-2		90		40				
100 ton.										
130 ton.										
160 ton.										

## **APÊNDICE V – GUIA PARA SELEÇÃO DE PINOS-GUIA**

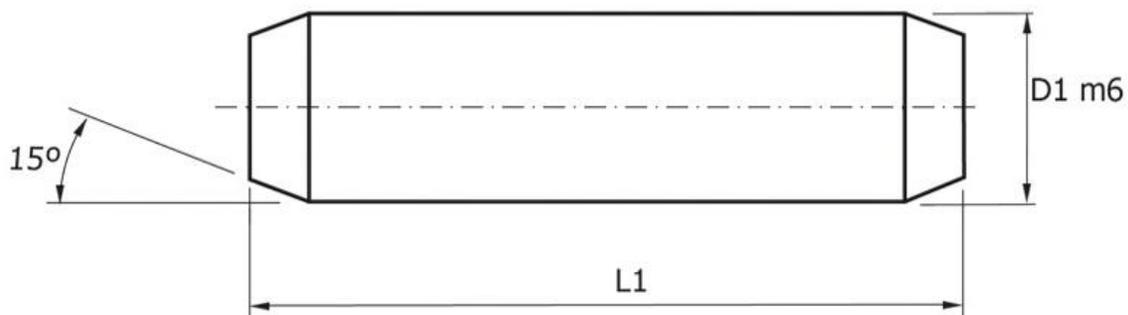
MATERIAL:	Aço 52100
DUREZA:	54 /58 HRC
SUPERFÍCIE:	Retificada
MEDIDAS COMERCIAIS:	Medidas marcadas com a cor cinza



D1 (m6)	L1																
	10	12	16	18	20	25	30	36	40	50	60	70	80	90	100	120	
03,00																	
04,00																	
05,00																	
06,00																	
08,00																	
10,00																	
12,00																	
16,00																	
20,00																	

## Pino de Guia Paralelo (ISO 2338)

MATERIAL:	Aço 52100
DUREZA:	Sem têmpera
SUPERFÍCIE:	Retificada
MEDIDAS:	Comerciais





## PINOS GUIA - DIN 7979 (COM ROSCA)

### SÉRIE - 7979 PG

Pinos Guia - DIN 7979 (com rosca)																						
Série 7979 PG																						
d1	d2	Comprimento L (mm)																				
4	M2.5	12	16	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
5	M3	12	16	20	25	30	35	40	45	50	60											
6	M4	12	16	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100							
8	M5			20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120					
10	M6			20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120					
12	M6			20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
14	M8					30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150		
16	M8							40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
20	M10							40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	

\*\*\* Consulte medidas especiais \*\*\*

#### ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO:

**Material** AÇO carbono

**Norma** ISO 8735 tipo B

**Tratamento térmico** Cementado, temperado e revenido

**Dureza** 58 - 62 HRC

**Tolerância** ISO (m6)

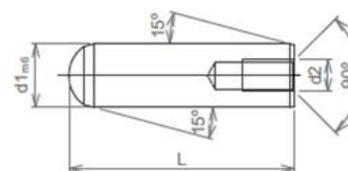
**Aplicações** Pino guia para moldes, estampas e dispositivos com encaixe de furo cego.

PARA SOLICITAR O PRODUTO DESENHO TÉCNICO

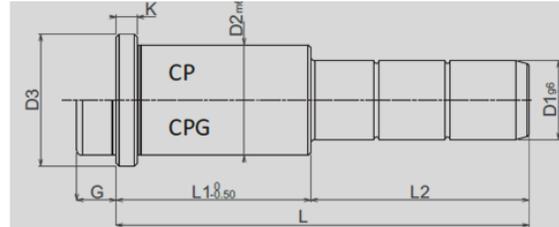
ESPECIFIQUE:

Série	d1	L
-------	----	---

Exemplo 7979 PG 6X20



**APÊNDICE VI – ALGUNS MODELOS DE COLUNAS E BUCHAS  
PARA ESTAMPOS SIMPLES DE CORTE**



Coluna Principal								
Série CP - CPG								
Prefixo	D1	D2	D3	G	k	L1	L2	L
01	16	21	25	12	5	20	20	40
02	16	21	25	12	5	20	34	54
03	16	21	25	12	5	20	60	80
04	16	21	25	12	5	26	20	46
05	16	21	25	12	5	26	34	60
06	16	21	25	12	5	26	58	84
07	16	21	25	12	5	34	20	54
08	16	21	25	12	5	34	34	68
09	16	21	25	12	5	34	60	94
10	16	21	25	12	5	46	20	66
11	16	21	25	12	5	46	34	80
12	16	21	25	12	5	46	60	106
13	16	21	25	12	5	60	20	80
14	16	21	25	12	5	60	34	94
15	16	21	25	12	5	60	60	120
16	20	26	31	17	6	26	20	46
17	20	26	31	17	6	26	34	60
18	20	26	31	17	6	26	60	86
19	20	26	31	17	6	34	20	54
20	20	26	31	17	6	34	34	68
21	20	26	31	17	6	34	60	94
22	20	26	31	17	6	46	20	66
23	20	26	31	17	6	46	34	80
24	20	26	31	17	6	46	60	106
25	20	26	31	17	6	60	20	80
26	20	26	31	17	6	60	34	94
27	20	26	31	17	6	60	60	120
28	20	26	31	17	6	70	20	90
29	20	26	31	17	6	70	34	104
30	20	26	31	17	6	70	60	130
31	24	32	37	17	7	26	20	46
32	24	32	37	17	7	26	34	60
33	24	32	37	17	7	26	60	86
34	24	32	37	17	7	34	20	54
35	24	32	37	17	7	34	34	68
36	24	32	37	17	7	34	60	94
37	24	32	37	17	7	46	20	66
38	24	32	37	17	7	46	34	80
39	24	32	37	17	7	46	60	106
40	24	32	37	17	7	60	20	80
41	24	32	37	17	7	60	34	94
42	24	32	37	17	7	60	60	120
43	24	32	37	17	7	70	20	90
44	24	32	37	17	7	70	34	104
45	24	32	37	17	7	70	60	130
46	32	42	47	21	8	34	34	68
47	32	42	47	21	8	34	60	94

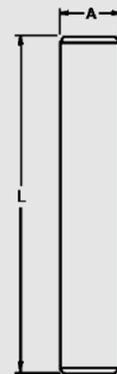
Coluna Principal								
Série CP - CPG								
Prefixo	D1	D2	D3	G	k	L1	L2	L
48	32	42	47	21	8	34	70	104
49	32	42	47	21	8	46	34	80
50	32	42	47	21	8	46	60	106
51	32	42	47	21	8	46	70	116
52	32	42	47	21	8	60	34	94
53	32	42	47	21	8	60	60	120
54	32	42	47	21	8	60	70	130
55	32	42	47	21	8	70	34	104
56	32	42	47	21	8	70	60	130
57	32	42	47	21	8	70	70	140
58	32	42	47	21	8	90	34	124
59	32	42	47	21	8	90	60	150
60	32	42	47	21	8	90	70	160
61	42	52	59	21	10	60	60	120
62	42	52	59	21	10	60	70	130
63	42	52	59	21	10	60	115	175
64	42	52	59	21	10	70	60	130
65	42	52	59	21	10	70	70	140
66	42	52	59	21	10	70	115	185
67	42	52	59	21	10	90	60	150
68	42	52	59	21	10	90	70	160
68	42	52	59	21	10	90	70	160
69	42	52	59	21	10	90	115	205
70	42	52	59	21	10	115	60	175
71	42	52	59	21	10	115	70	185
72	42	52	59	21	10	115	115	230
73	42	52	59	21	10	140	60	200
74	42	52	59	21	10	140	70	210
75	42	52	59	21	10	140	115	255

Post Diameter A	Length L	Catalog Numbers
19	90	510-19900
	100	510-19100
	110	510-19110
	115	510-19115
	120	510-19120
	125	510-19125
	150	510-19150
25	125	510-25125
	135	510-25135
	140	510-25140
	145	510-25145
	150	510-25150
	165	510-25165
	175	510-25175
	190	510-25190
	200	510-25200
	215	510-25215
230	510-25230	
32	125	510-32125
	135	510-32135
	140	510-32140
	145	510-32145
	150	510-32150
	165	510-32165
	175	510-32175
	190	510-32190
	200	510-32200
	215	510-32215
	230	510-32230
	250	510-32250
	260	510-32260

Post Diameter A	Length L	Catalog Numbers
32	280	510-32280
	300	510-32300
40	150	510-40150
	165	510-40165
	175	510-40175
	190	510-40190
	200	510-40200
	215	510-40215
	230	510-40230
	240	510-40240
	250	510-40250
	265	510-40265
	280	510-40280
	290	510-40290
	300	510-40300
	315	510-40315
	330	510-40330
	360	510-40360
	44	150
165		510-44165
175		510-44175
190		510-44190
200		510-44200
215		510-44215
230		510-44230
240		510-44240
250		510-44250
265		510-44265
280		510-44280
290	510-44290	
300	510-44300	
315	510-44315	

Post Diameter A	Length L	Catalog Numbers
44	330	510-44330
	360	510-44360
50	150	510-50150
	165	510-50165
	175	510-50175
	190	510-50190
	200	510-50200
	215	510-50215
	230	510-50230
	240	510-50240
	250	510-50250
	265	510-50265
	280	510-50280
	300	510-50300
	315	510-50315
	330	510-50330
	360	510-50360
	380	510-50380
	400	510-50400
	430	510-50430
460	510-50460	
63	200	510-63200
	215	510-63215
	230	510-63230
	240	510-63240
	250	510-63250
	265	510-63265
	280	510-63280
	300	510-63300
	315	510-63315
	330	510-63330
	360	510-63360
380	510-63380	

Post Diameter A	Length L	Catalog Numbers
63	430	510-63430
	500	510-63500
80	200	510-80200
	215	510-80215
	230	510-80230
	240	510-80240
	250	510-80250
	280	510-80280
	300	510-80300
	330	510-80330
	360	510-80360
	430	510-80430
	500	510-80500

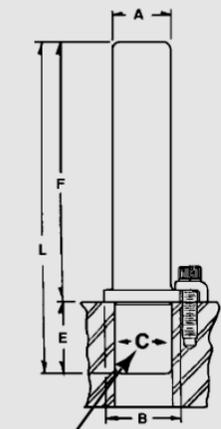


Diameter			Nominal Length			Catalog Numbers
Post A	Flange B	C	E	F	L	
25	33	24.961 24.953	30	70	100	508-25100
				80	110	508-25110
				85	115	508-25115
				90	120	508-25120
				95	125	508-25125
				105	135	508-25135
				110	140	508-25140
				115	145	508-25145
				120	150	508-25150
				135	165	508-25165
				145	175	508-25175
				160	190	508-25190
				170	200	508-25200
				185	215	508-25215
200	230	508-25230				
32	40	31.961 31.953	30	85	115	508-32115
				90	120	508-32120
				95	125	508-32125
				105	135	508-32135
				110	140	508-32140
				115	145	508-32145
				120	150	508-32150
				135	165	508-32165
				145	175	508-32175
				160	190	508-32190
				170	200	508-32200
				185	215	508-32215
				200	230	508-32230
				220	250	508-32250
250	280	508-32280				
270	300	508-32300				
40	48	39.959 39.951	36	79	115	508-40115
				84	120	508-40120
				89	125	508-40125
				99	135	508-40135
				104	140	508-40140
				109	145	508-40145
				114	150	508-40150
				129	165	508-40165
				139	175	508-40175
				154	190	508-40190
				164	200	508-40200
				179	215	508-40215
				194	230	508-40230
				214	250	508-40250
244	280	508-40280				
264	300	508-40300				
44	57	43.960 43.952	43	107	150	508-44150
				122	165	508-44165
				132	175	508-44175
				147	190	508-44190
				157	200	508-44200
				172	215	508-44215
				187	230	508-44230
				207	250	508-44250
				237	280	508-44280
				257	300	508-44300
				317	360	508-44360

Diameter			Nominal Length			Catalog Numbers
Post A	Flange B	C	E	F	L	
50	63	49.959 49.951	49	101	150	508-50150
				116	165	508-50165
				126	175	508-50175
				141	190	508-50190
				151	200	508-50200
				166	215	508-50215
				181	230	508-50230
				201	250	508-50250
				231	280	508-50280
				251	300	508-50300
				281	330	508-50330
				311	360	508-50360
				376	425	508-50425
				451	500	508-50500
63	76	62.959 62.951	49	151	200	508-63200
				166	215	508-63215
				181	230	508-63230
				201	250	508-63250
				231	280	508-63280
				251	300	508-63300
				281	330	508-63330
				311	360	508-63360
				381	430	508-63430
				451	500	508-63500
				80	93	79.959 79.951
153	215	508-80215				
168	230	508-80230				
188	250	508-80250				
218	280	508-80280				
238	300	508-80300				
268	330	508-80330				
298	360	508-80360				
368	430	508-80430				
438	500	508-80500				

The Lempco Flanged Demountable Guide Post for plain bearing assemblies is manufactured from electric furnace 52100 chromium tool steel, through-hardened and precision ground for longest wear with all Lempco plain bearing bushings, steel and bronze precision grade.

This removable type post is tap fit into the dieholder bore with the flange flush to the ground surface of the shoe. It is secured with clamps and cap screws. It may be removed, and on re-installation the die set will register accurately. The end radius is ground with the tool marks running in the direction of vertical motion to minimize wear from engagement and disengagement.



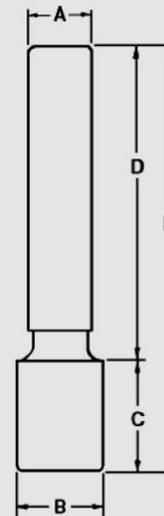
"C" DIM.

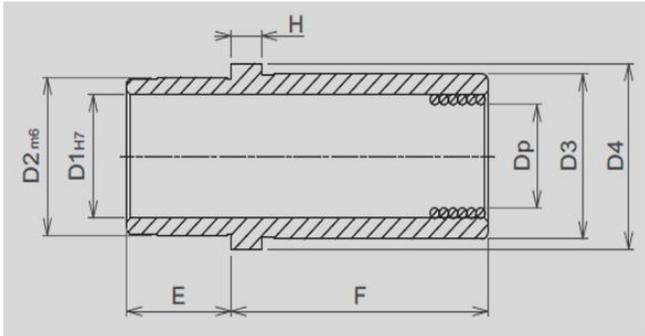
Diameter		Length			Catalog
A	B	L	C	D	Numbers
25	38.227	115	35	80	509-25115
		125		90	509-25125
		140		105	509-25140
		150		115	509-25150
		165		130	509-25165
		175		140	509-25175
		190		155	509-25190
		200		165	509-25200
32	45.212	125	48	77	509-32125
		140		92	509-32140
		150		102	509-32150
		165		117	509-32165
		175		127	509-32175
		190		142	509-32190
		200		152	509-32200
		215		167	509-32215
		230	182	509-32230	
40	54.229	175	60	115	509-40175
		190		130	509-40190
		200		140	509-40200
		215		155	509-40215
		230		170	509-40230
		240		180	509-40240
		250		190	509-40250
44	58.216	190	73	117	509-44190
		200		127	509-44200
		215		142	509-44215
		230		157	509-44230
		240		167	509-44240
		250		177	509-44250
50	65.227	200	86	114	509-50200
		230		144	509-50230
		250		164	509-50250
		280		194	509-50280
		300		214	509-50300
		330		244	509-50330
63	81.229	230	98	132	509-63230
		250		152	509-63250
		280		182	509-63280
		300		202	509-63300
		330		232	509-63330
		360		262	509-63360

Shoulder Guide Posts are intended for use with Shoulder Guide Post Bushings and therefore the mounting diameters of the posts are the same as those of related bushings on the preceding page. *These mounting diameters are a minimum of .007" over the size of Precision Press Fit Bushings and .009" over Precision Demountable Bushings so as to allow grind stock for precision fitting in the construction of new sets and to allow reboring where necessary to replace guide posts and bushings in used sets.*

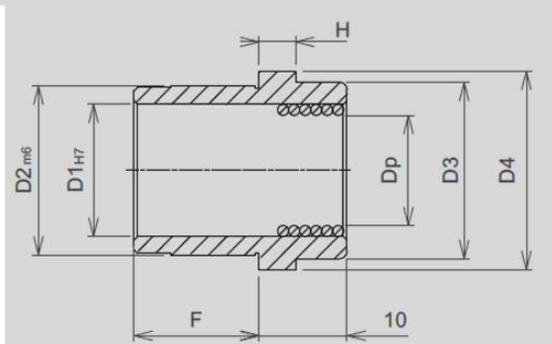
Lempco Shoulder Guide Posts are manufactured of electric furnace 52100 tool steel, through hardened and precision ground. Mounting instructions on Page 122 of this catalog should be strictly followed. Mounting diameter lead edge should be smoothly blended after grinding to prevent hole broaching or drift during assembly. The end radius of the guide post is ground with the tool marks running in the direction of vertical motion to minimize wear from engagement and disengagement.

Other diameters and lengths not listed can be provided on special order.

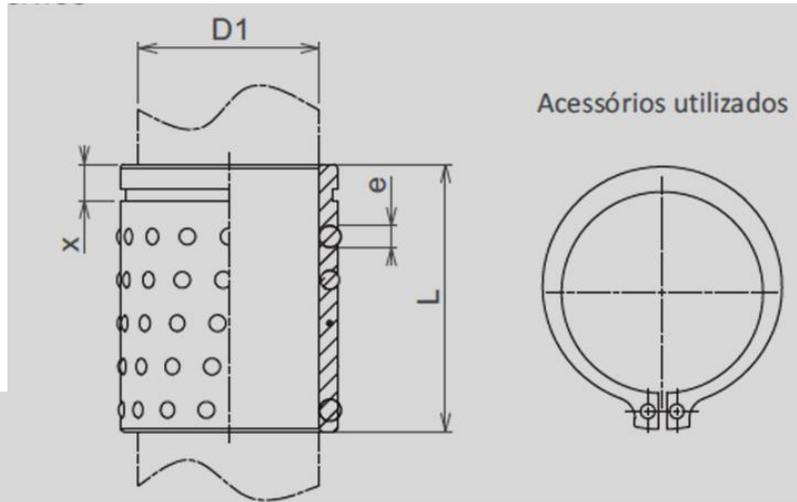




Dp	D1	D2	D3	D4	E	H	Comprimento da Flange F (mm)							
							20	35	50	65	80	100	120	140
20	28	38	42	47	22	5	20	35	50					
25	33	45	49	54	25	5		35	50	65				
32	40	54	58	63	30	5			50	65	80			
40	48	65	70	75	35	5			50	65	80	100		
50	62	81	88	93	48	5				65	80	100	120	
63	75	95	103	108	48	5						100	120	140



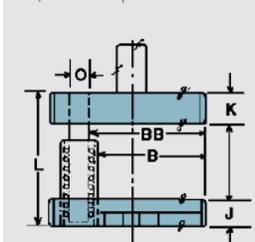
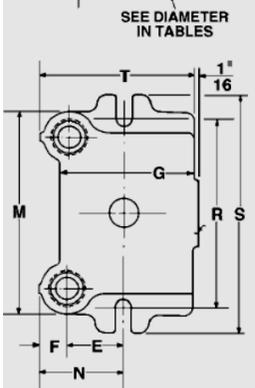
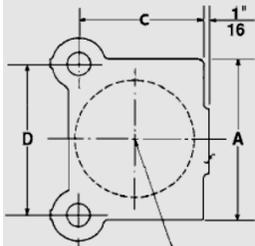
Dp	D1	D2	D3	D4	Comprimento da Flange F (mm)					
					20	25	29	32	36	44
20	28	38	36	47	20	25				
25	33	45	43	54	20	25				
32	40	54	50	63	20	25		32		
40	48	65	64	75			29		36	44
50	62	81	79	93			29		36	44
63	75	95	94	108			29		36	44



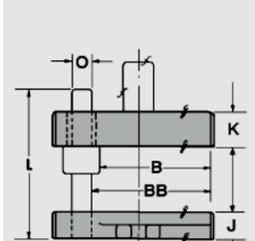
**Material** Alumínio ou bronze  
**D1** Diâmetro do pino  
**L** Comprimento total  
**X** Distância entre a face e o canal interno  
**e** Esfera

			Comprimento L (mm)						
D1	X	e	40	52	63	80	100	125	140
24 - 25	4.2	4	40	52	63	80			
30 - 32	4.9	4	40	52	63	80	100		
38 - 40	5.7	4		52	63	80	100	125	
48 - 50	6.7	6			63	80	100	125	
63	6.7	6						125	
80	6.7	6							140

**APÊNDICE VII – ALGUNS MODELOS DE BASES PARA ESTAMPOS  
SIMPLES DE CORTE**

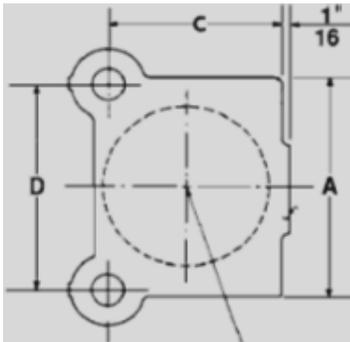


**BALL BEARING**

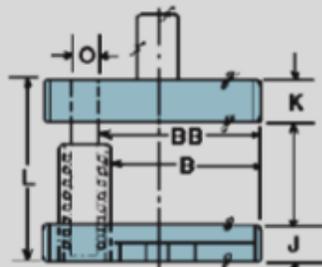
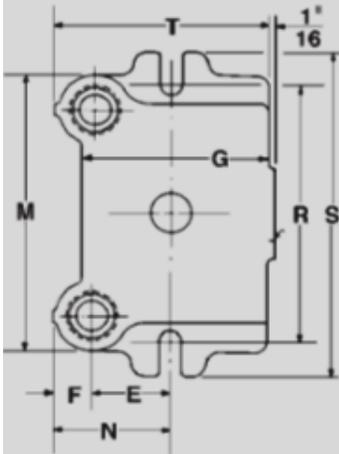


**PLAIN BEARING**

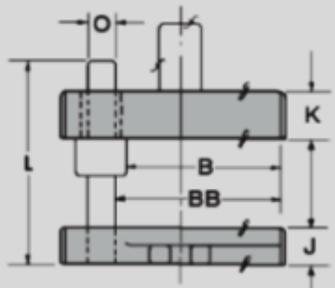
NOMINAL DIMENSIONS													
Left to Right	Front to Back	For Round Dies	Die Holder	Punch Holder									
A	B (BB)		J	K	C	D	E	F	G				
4 reg.	101 (4 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	4 101	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 34	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	4 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 123	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 82	2 <sup>7</sup> / <sub>16</sub> 61	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 139				
4 rev.	101 (5 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	5 127	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 34	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	5 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 149	4 101	2 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> 68	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165				
4 rev.	101 (6 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	6 152	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	6 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 175	5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 130	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 82	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 190				
5 reg.	127 (4 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	4 101	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 114	1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 34	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	4 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 123	4 101	2 <sup>3</sup> / <sub>16</sub> 55	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 139			
5 reg.	127 (5 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	5 127	5 127	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	5 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 149	4 101	2 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> 68	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165			
5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> kick	140 (3 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> )	98 (4 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> )	4 101	1 <sup>5</sup> / <sub>16</sub> 23	7 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 22	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 114	5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 130	1 <sup>15</sup> / <sub>16</sub> 49	1 <sup>5</sup> / <sub>32</sub> 29	5 127			
6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> reg.	165 (4 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	4 101	5 127	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	4 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 123	5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 130	2 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 53	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 140			
6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> reg.	165 (6 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	6 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 175	5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 130	3 <sup>3</sup> / <sub>16</sub> 81	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 190			
				1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 44	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32								
				2 50	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 44								
7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> reg.	190 (5 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	5 127	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 146	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	5 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 149	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 69	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165			
				1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 44	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32								
				2 50	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 44								
7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> reg.	190 (7 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	7 177	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 190	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	7 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 200	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	3 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> 93	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 216			
				1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 44	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32								
				2 50	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 44								
8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> long	206 (4 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> )	4 101		1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	4 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 123	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 196	2 <sup>5</sup> / <sub>16</sub> 58	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 140			
				2 50	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32								



SEE DIAMETER  
IN TABLES



**BALL BEARING**

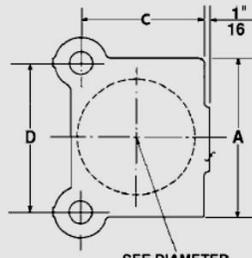


**PLAIN BEARING**

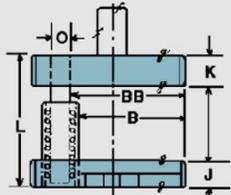
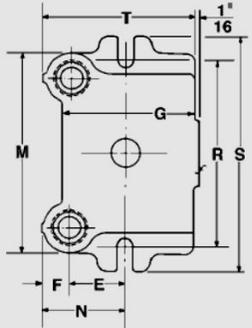
**NOMINAL DIMENSIONS**

											Min. Shut Height		
M	N	O	R	S	T	L							
6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	158	3 <sup>15</sup> / <sub>16</sub>	100	1	25	6	152	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	190	6 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	162	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
7	177	4 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	106	1	25	6	152	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	196	7 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	187	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
8 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	206	4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	120	1	25	6	152	8 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	206	8 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	212	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
7	177	3 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	93	1	25	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	171	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	209	6 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	162	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
7	177	4 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	106	1	25	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	171	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	209	7 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	187	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
7 <sup>7</sup> / <sub>16</sub>	189	3 <sup>3</sup> / <sub>32</sub>	78	3/4	19	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	171	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	196	5 <sup>21</sup> / <sub>32</sub>	144	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	114
8 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	206	3 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	92	1	25	8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	218	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	266	6 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	162	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
												5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	140
8 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	206	4 <sup>11</sup> / <sub>16</sub>	119	1	25	8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	218	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	266	8 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	212	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146
												6	152
9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	241	4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	107	1	25	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	235	11	279	7 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	187	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146
9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	241	5 <sup>3</sup> / <sub>16</sub>	131	1	25	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	235	11	279	9 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	238	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146
10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	273	3 <sup>13</sup> / <sub>16</sub>	96	1	25	10 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	269	12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	317	6 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	162	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	133
												5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	146

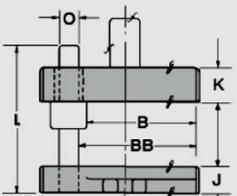




SEE DIAMETER IN TABLES



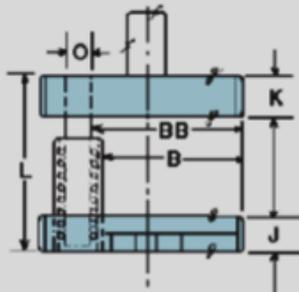
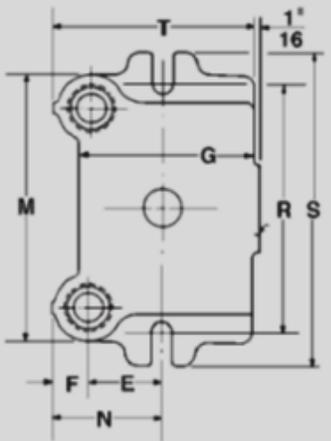
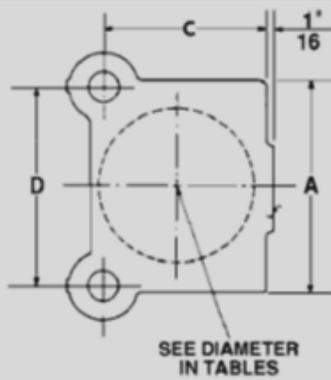
**BALL BEARING**



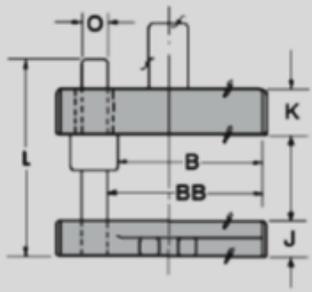
**PLAIN BEARING**

**NOMINAL DIMENSIONS**

Left to Right	Front to Back	For Round Dies	Die Holder	Punch Holder					
A	B (BB)		J	K	C	D	E	F	G
8 1/2 206 reg.	6 152 (6 3/8) 162	7 177	1 1/2 38	1 1/4 32	6 7/8 174	7 3/4 196	3 1/8 79	1 1/2 38	7 1/2 190
			2 1/4 57	1 1/4 32					
			2 1/4 57	1 3/4 44					
8 1/2 206 reg.	8 203 (8 3/8) 212	8 1/2 206	1 1/2 38	1 1/4 32	8 7/8 225	7 3/4 196	4 3/16 106	1 1/2 38	9 1/2 241
			2 50	1 1/4 32					
			2 50	1 3/4 44					
10 254 long	5 127 (5 3/8) 136		1 1/2 38	1 3/8 34	6 152	9 1/8 231	3 3/16 81	1 13/16 45	6 3/4 171
			1 1/2 38	1 3/4 44					
			2 50	1 3/8 34					
10 254 reg.	7 177 (7 3/8) 187		1 5/8 41	1 3/8 34	8 203	9 1/8 231	3 9/16 79	1 13/16 45	8 3/4 222
			1 5/8 41	1 3/4 44					
			2 1/4 57	1 3/8 34					
10 254 reg.	10 254 (10 3/8) 263	10 254	1 5/8 41	1 3/4 44	11 279	10 1/4 260	5 1/4 133	1 13/16 45	11 3/4 298
			2 1/4 57	1 3/8 34					
			2 1/4 57	1 3/4 44					
11 1/4 285 reg.	7 177 (7 1/2) 190	8 203	1 3/4 44	1 1/2 38	8 1/8 206	10 1/4 260	4 101	1 13/16 45	8 7/8 225
12 1/2 317 long	4 101 (4 3/8) 111		1 1/2 38	1 1/2 38	5 127	10 1/4 260	2 9/16 65	1 13/16 45	5 3/4 146
12 1/2 317 long	6 152 (6 1/2) 165		1 1/2 38	1 1/2 38	7 1/8 181	10 1/4 260	4 101	1 13/16 45	7 7/8 200
			1 1/2 38	2 50					
			2 50	1 1/2 38					
12 1/2 317 reg.	10 254 (10 3/8) 263	10 3/4 273	1 3/4 44	1 5/8 41	11 1/8 282	14 355	5 3/8 136	2 1/16 52	12 304
			2 50	2 50					
15 381 long	7 177 (7 3/8) 187		1 1/2 38	1 1/2 38	8 1/8 206	14 355	4 3/8 111	2 1/16 52	9 228
			2 50	1 1/2 38					



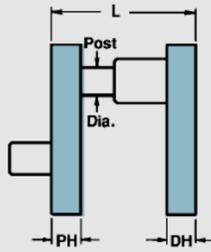
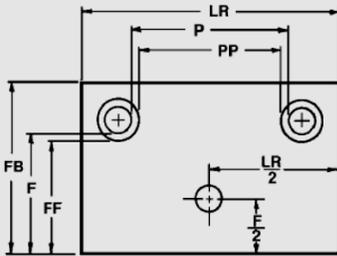
**BALL BEARING**



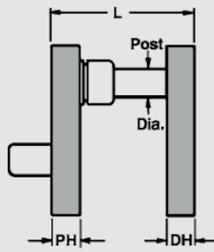
**PLAIN BEARING**

**NOMINAL DIMENSIONS**

						Min. Shut Height	
M	N	O	R	S	T	L	
10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 273	4 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> 117	1 25	10 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> 269	12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 317	8 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 212	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 133	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 146
						6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 133	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 146
						6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
10 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 273	5 <sup>11</sup> / <sub>16</sub> 144	1 25	10 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> 269	12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 317	10 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 263	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 133	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 146
						6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 133	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 146
						6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 323	5 127	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 311	14 355	7 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> 198	6 152	6 152
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						6 152	6 152
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
12 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 323	5 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 136	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 311	14 355	9 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> 249	6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						7 177	7 177
						6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 352	7 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> 179	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 311	13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 352	12 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> 325	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	7 177
						6 152	6 152
						6 152	6 152
13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 352	4 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> 111	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 374	16 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> 422	6 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> 173	6 152	6 152
						6 152	6 152
						6 152	6 152
						6 152	6 152
13 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 352	5 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> 147	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 32	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 374	16 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> 422	8 <sup>15</sup> / <sub>16</sub> 227	6 152	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	7 177
						6 152	6 152
18 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 460	7 <sup>7</sup> / <sub>16</sub> 188	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	14 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 374	16 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 425	13 <sup>3</sup> / <sub>16</sub> 335	7 177	7 177
						7 177	7 177
18 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> 460	6 <sup>7</sup> / <sub>16</sub> 163	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 38	17 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 438	19 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 495	10 <sup>3</sup> / <sub>16</sub> 259	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	7 177
						6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> 165	7 177



**BALL BEARING**



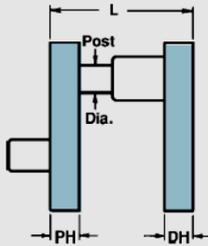
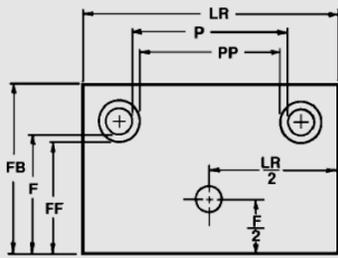
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

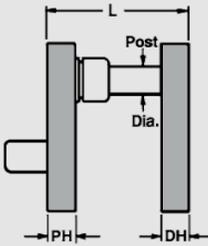
3/4" = 19 mm	4 1/2" = 114 mm
1" = 25 mm	4 3/4" = 121 mm
1 1/4" = 32 mm	5" = 127 mm
1 1/2" = 38 mm	5 1/4" = 133 mm
1 3/4" = 44 mm	5 1/2" = 140 mm
	5 3/4" = 146 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	F	FF	FB	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>0503</b> 133 / 84	5 1/4 133	3 5/16 84	3 76	4 7/8 123	2 1/8 53	1 1/2 38	1 1 1/4	1 1	3/4	4 1/4 4 3/4
<b>0504</b> 133 / 109	5 1/4 133	4 5/16 109	3 15/16 100	5 7/8 149	2 1/8 53	1 1/2 38	1 1 1/4	1 1	3/4	4 1/2 4 3/4
<b>0505</b> 133 / 131	5 1/4 133	5 7/16 138	5 1/16 128	7 177	2 1/8 53	1 1/2 38	1 1 1/4	1 1	3/4	4 1/2 4 3/4
<b>0604</b> 152 / 111	6 152	4 3/8 111	4 101	6 1/4 158	2 1/4 57	1 1/2 38	1 1/4 1 1/4	1 1/4 1 1/4	1	5 5 1/4
<b>0605</b> 152 / 136	6 152	5 3/8 136	5 127	7 1/4 184	2 1/4 57	1 1/2 38	1 1/4 1 1/4	1 1/4 1 1/4	1	5 5 1/4
<b>0606</b> 152 / 155	6 152	6 1/8 155	5 3/4 146	8 203	2 1/4 57	1 1/2 38	1 1/2 1 1/4	1 1/2 1 1/4	1	5 1/4 5 1/2 5 1/2 5 3/4
<b>0704</b> 177 / 93	7 177	3 11/16 93	3 5/16 84	5 1/4 133	3 7/8 98	3 3/16 81	1 1 1/4	1 1	3/4	4 1/2 4 3/4
<b>0804</b> 203 / 112	8 203	4 7/16 112	4 1/16 103	6 152	4 7/8 123	4 3/16 106	1 1/4 1 1/4	1 1/4 1 1/2	3/4	5 5 5 5 5
<b>0806</b> 203 / 155	8 203	6 1/8 155	5 3/4 146	8 203	4 1/4 107	3 1/2 88	1 1/2 1 1/4	1 1/2 1 1/4	1	5 1/4 5 1/2 5 1/2 5 3/4
<b>0808</b> 203 / 206	8 203	8 1/8 206	7 3/4 196	10 254	4 1/4 107	3 1/2 88	1 1/2 1 1/4	1 1/2 1 1/4	1	5 1/4 5 1/2 5 1/2 5 3/4
<b>0904</b> 228 / 93	9 228	3 11/16 93	3 5/16 88	5 1/4 133	5 7/8 149	5 3/16 132	1 1 1/4	1 1	3/4	4 1/2 4 3/4



**BALL BEARING**



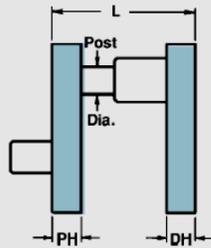
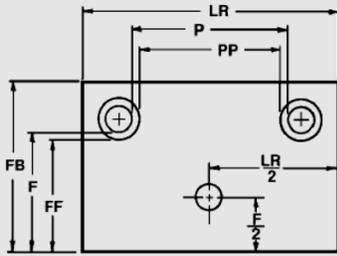
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

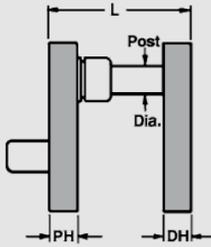
1" = 25 mm	5 1/4" = 133 mm
1 1/4" = 32 mm	5 1/2" = 140 mm
1 1/2" = 38 mm	5 3/4" = 146 mm
1 3/4" = 44 mm	6" = 152 mm
2" = 51 mm	6 1/2" = 165 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	F	FF	FB	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>1004</b> 254 / 104	10 254	4 1/8 104	3 3/4 95	6 152	6 1/4 158	5 1/2 140	1 1/2	1 1/4	1	5 1/4
							1 1/2	1 1/2		5 1/2
							1 3/4	1 1/4		5 1/2
							1 3/4	1 1/2		5 3/4
<b>1006</b> 254 / 155	10 254	6 1/8 155	5 3/4 146	8 203	6 1/4 158	5 1/2 140	1 1/2	1 1/4	1	5 1/4
							1 1/2	1 1/2		5 1/2
							1 3/4	1 1/2		5 3/4
<b>1008</b> 254 / 200	10 254	7 7/8 200	7 3/8 187	10 254	5 3/4 146	4 7/8 124	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
<b>1010</b> 254 / 250	10 254	9 7/8 250	9 3/8 238	12 304	5 3/4 146	4 7/8 124	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
<b>1204</b> 304 / 104	12 304	4 1/8 104	3 3/4 95	6 152	8 1/4 210	7 1/2 190	1 1/2	1 1/4	1	5 1/4
							1 1/2	1 1/2		5 1/2
							1 3/4	1 1/4		5 1/2
<b>1206</b> 304 / 149	12 304	5 7/8 149	5 3/8 136	8 203	7 3/4 196	6 7/8 174	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
<b>1208</b> 304 / 200	12 304	7 7/8 200	7 3/8 187	10 254	7 3/4 196	6 7/8 174	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
<b>1210</b> 304 / 250	12 304	9 7/8 250	9 3/8 238	12 304	7 3/4 196	6 7/8 174	1 3/4	1 1/2	1 1/4	6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/2		6 1/2
							2	1 3/4		6 1/2



**BALL BEARING**



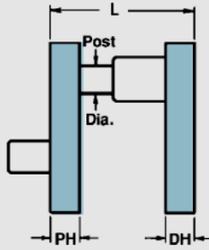
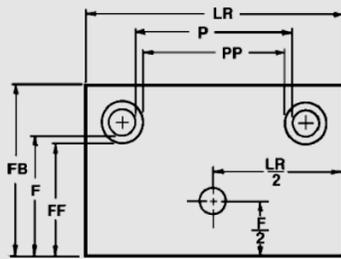
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

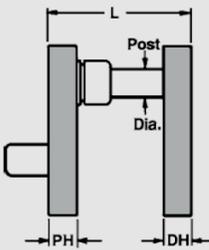
1/4" = 32 mm	5 3/4" = 146 mm
1/2" = 38 mm	6" = 152 mm
3/4" = 44 mm	6 1/2" = 165 mm
2" = 51 mm	7" = 178 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	F	FF	FB	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>1212</b> 304 / 292	12 304	11 1/2 292	11 279	14 355	7 177	6 152	1 3/4	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 3/4	1 3/4		7
							2	1 1/2		7
							2	1 3/4		7
<b>1406</b> 355 / 149	14 355	5 7/8 149	5 3/8 136	8 203	9 3/4 247	8 7/8 225	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
<b>1408</b> 355 / 200	14 355	7 7/8 200	7 3/8 187	10 254	9 3/4 247	8 7/8 225	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
<b>1410</b> 355 / 241	14 355	9 1/2 241	9 228	12 304	9 228	8 203	1 3/4	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 3/4	1 3/4		7
							2	1 1/2		7
							2	1 3/4		7
<b>1412</b> 355 / 292	14 355	11 1/2 292	11 279	14 355	9 228	8 203	1 3/4	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 3/4	1 3/4		7
							2	1 1/2		7
							2	1 3/4		7
<b>1414</b> 355 / 342	14 355	13 1/2 342	13 330	16 406	9 228	8 203	1 3/4	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 3/4	1 3/4		7
							2	1 1/2		7
							2	1 3/4		7
<b>1606</b> 406 / 149	16 406	5 7/8 149	5 3/8 136	8 203	11 3/4 298	10 7/8 276	1 1/2	1 1/2	1 1/4	6
							2	1 1/2		6 1/2
<b>1608</b> 406 / 200	16 406	7 7/8 200	7 3/8 187	10 254	11 3/4 298	10 7/8 276	1 1/2	1 1/2	1 1/4	6
							1 1/2	2		6 1/2
							2	1 1/2		6 1/2
							2	2		7



**BALL BEARING**



**PLAIN BEARING**

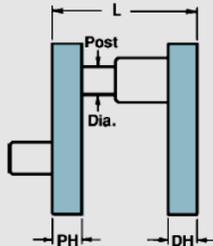
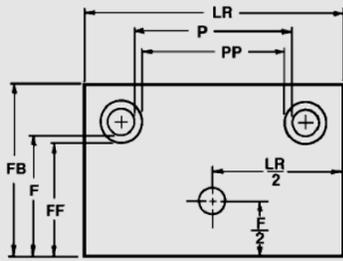
**METRIC EQUIVALENTS**

- 1 1/2" = 38 mm      6 1/2" = 165 mm
- 2" = 51 mm        7" = 178 mm
- 2 1/2" = 63 mm    7 1/2" = 190 mm
- 8" = 203 mm

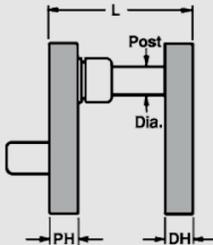
**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	F	FF	FB	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>1610</b> <i>406 / 241</i>	16 406	9 1/2 241	9 228	12 304	11 279	10 254	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>1612</b> <i>406 / 292</i>	16 406	11 1/2 292	11 279	14 355	11 279	10 254	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>1614</b> <i>406 / 342</i>	16 406	13 1/2 342	13 330	16 406	11 279	10 254	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>1806</b> <i>457 / 139</i>	18 457	5 1/2 139	5 127	8 203	13 330	12 304	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							2	1 1/2		7
<b>1808</b> <i>457 / 190</i>	18 457	7 1/2 190	7 177	10 254	13 330	12 304	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>1810</b> <i>457 / 241</i>	18 457	9 1/2 241	9 228	12 304	13 330	12 304	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>1812</b> <i>457 / 292</i>	18 457	11 1/2 292	11 279	14 355	13 330	12 304	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>1816</b> <i>457 / 393</i>	18 457	15 1/2 393	15 381	18 457	13 330	12 304	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8

"Soft" metric equivalents in italic numerals for reference only - DO NOT USE TO ORDER.



**BALL BEARING**



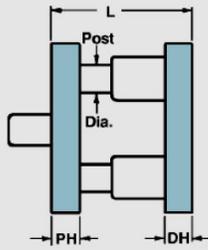
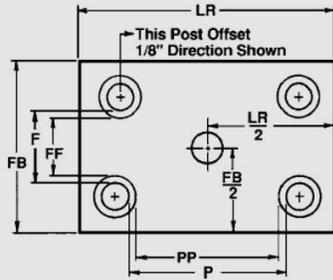
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

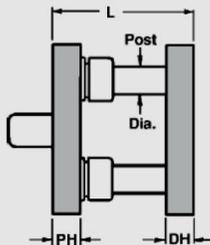
1 1/2" = 38 mm      6 1/2" = 165 mm  
 2" = 51 mm        7" = 178 mm  
 2 1/2" = 63 mm    7 1/2" = 190 mm  
                          8" = 203 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	F	FF	FB	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>2010</b> <i>508 / 241</i>	20 <i>508</i>	9 1/2 <i>241</i>	9 <i>228</i>	12 <i>304</i>	15 <i>381</i>	14 <i>355</i>	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>2012</b> <i>508 / 292</i>	20 <i>508</i>	11 1/2 <i>292</i>	11 <i>279</i>	14 <i>355</i>	15 <i>381</i>	14 <i>355</i>	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2208</b> <i>558 / 190</i>	22 <i>558</i>	7 1/2 <i>190</i>	7 <i>177</i>	10 <i>254</i>	17 <i>431</i>	16 <i>406</i>	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>2210</b> <i>558 / 241</i>	22 <i>558</i>	9 1/2 <i>241</i>	9 <i>228</i>	12 <i>304</i>	17 <i>431</i>	16 <i>406</i>	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>2212</b> <i>558 / 292</i>	22 <i>558</i>	11 1/2 <i>292</i>	11 <i>279</i>	14 <i>355</i>	17 <i>431</i>	16 <i>406</i>	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2608</b> <i>660 / 190</i>	26 <i>660</i>	7 1/2 <i>190</i>	7 <i>177</i>	10 <i>254</i>	21 <i>533</i>	20 <i>508</i>	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	2		7
							2	1 1/2		7
							2	2		7 1/2
<b>2612</b> <i>660 / 292</i>	26 <i>660</i>	11 1/2 <i>292</i>	11 <i>279</i>	14 <i>355</i>	21 <i>533</i>	20 <i>508</i>	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8



**BALL BEARING**



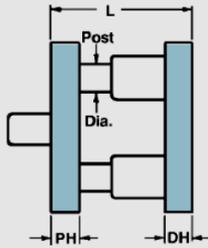
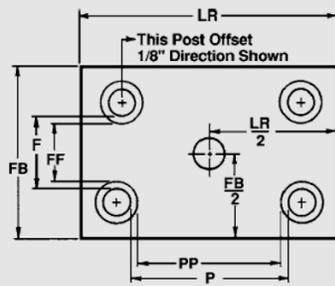
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

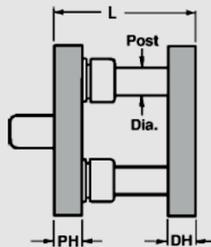
3/4" = 19 mm	4 3/4" = 121 mm
1" = 25 mm	5" = 127 mm
1 1/4" = 32 mm	5 1/4" = 133 mm
1 1/2" = 38 mm	5 1/2" = 140 mm
1 3/4" = 44 mm	5 3/4" = 146 mm
2" = 51 mm	6" = 152 mm
4 1/2" = 114 mm	6 1/2" = 165 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	FB	F	FF	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>0808</b> <i>203 / 203</i>	8 203	8 203	4 7/8 123	4 3/16 107	4 7/8 123	4 3/16 107	1	1	3/4	4 1/2
							1	1 1/4		4 3/4
							1 1/4	1		4 3/4
							1 1/4	1 1/4		5
<b>1008</b> <i>254 / 203</i>	10 254	8 203	4 1/4 107	3 1/2 89	6 1/4 158	5 1/2 140	1 1/4	1 1/4	1	5
							1 1/4	1 1/2		5 1/4
							1 1/2	1 1/4		5 1/4
							1 1/2	1 1/2		5 1/2
							1 3/4	1 1/4		5 1/2
<b>1010</b> <i>254 / 254</i>	10 254	10 254	6 1/4 158	5 1/2 140	6 1/4 158	5 1/2 140	1 1/4	1 1/4	1	5
							1 1/4	1 1/2		5 1/4
							1 1/2	1 1/4		5 1/4
							1 1/2	1 1/2		5 1/2
							1 3/4	1 1/4		5 1/2
<b>1208</b> <i>304 / 203</i>	12 304	8 203	3 3/4 95	2 7/8 73	7 3/4 196	6 7/8 175	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
<b>1210</b> <i>304 / 254</i>	12 304	10 254	5 3/4 146	4 7/8 124	7 3/4 196	6 7/8 175	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/4		6
							2	1 1/2		6 1/2
2	1 3/4	6 1/2								



**BALL BEARING**



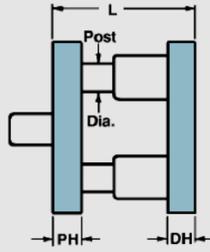
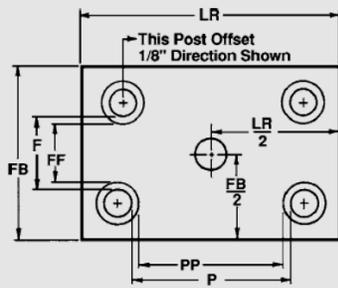
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

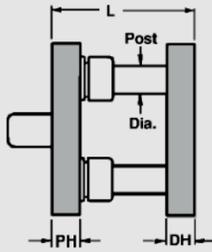
1/4" = 32 mm	2" = 51 mm
1/2" = 38 mm	5 3/4" = 146 mm
3/4" = 44 mm	6" = 152 mm
	6 1/2" = 165 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	FB	F	FF	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>1212</b> 304 / 304	12 304	12 304	7 3/4 196	6 7/8 175	7 3/4 196	6 7/8 175	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/4		6
							2	1 1/2		6 1/2
<b>1408</b> 355 / 203	14 355	8 203	3 3/4 95	2 7/8 73	9 3/4 247	8 7/8 225	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
<b>1410</b> 355 / 254	14 355	10 254	5 3/4 146	4 7/8 124	9 3/4 247	8 7/8 225	1 1/2	1 1/4	1 1/4	5 3/4
							1 1/2	1 1/2		6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 3/4	1 1/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/4		6
							2	1 1/2		6 1/2
<b>1412</b> 355 / 304	14 355	12 304	7 3/4 196	6 7/8 175	9 3/4 247	8 7/8 225	1 1/2	1 1/2	1 1/4	6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/2		6 1/2
	2	1 3/4	6 1/2							



**BALL BEARING**



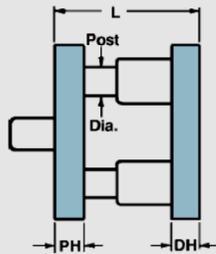
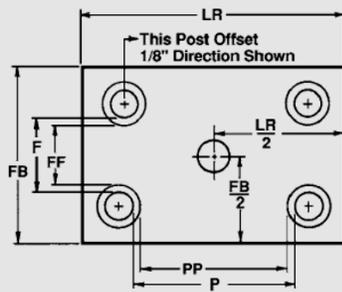
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

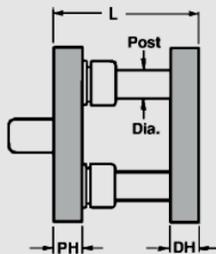
1<sup>1</sup>/<sub>4</sub>" = 32 mm      2" = 51 mm  
 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" = 38 mm      6" = 152 mm  
 1<sup>3</sup>/<sub>4</sub>" = 44 mm      6<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" = 165 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	FB	F	FF	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>1414</b> 355 / 355	14 355	14 355	9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 247	8 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 225	9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 247	8 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 225	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6
							1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
							2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
2	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>								
<b>1610</b> 406 / 254	16 406	10 254	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 146	4 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 124	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 298	10 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 276	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6
							1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
							2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
2	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>								
<b>1612</b> 406 / 304	16 406	12 304	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 196	6 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 175	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 298	10 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 276	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6
							1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
							2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
2	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>								
<b>1614</b> 406 / 355	16 406	14 355	9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 247	8 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 225	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 298	10 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 276	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6
							1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
							2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
2	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>								
<b>1616</b> 406 / 406	16 406	16 406	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 298	10 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 276	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 298	10 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> 276	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6
							1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6
							1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
							2	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>		6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
2	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>								



**BALL BEARING**



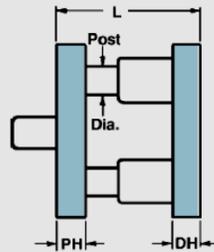
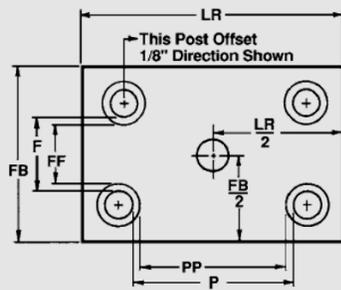
**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

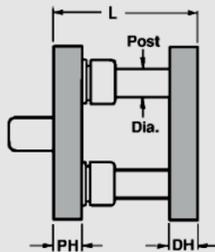
1 1/4" = 32 mm      6" = 152 mm  
 1 1/2" = 38 mm      6 1/2" = 165 mm  
 1 3/4" = 44 mm      7" = 178 mm  
 2" = 51 mm          7 1/2" = 190 mm  
 2 1/2" = 63 mm      8" = 203 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	FB	F	FF	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>1810</b> 457 / 254	18 457	10 254	5 3/4 146	4 7/8 124	13 3/4 349	12 7/8 327	1 1/2	1 1/2	1 1/4	6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/2		6 1/2
<b>1812</b> 457 / 304	18 457	12 304	7 178	6 152	13 330	12 304	1 1/2	1 1/2	1 1/2	6 1/2
							1 1/2	1 3/4		6 1/2
							1 1/2	2		7
							1 3/4	1 1/2		6 1/2
							1 3/4	1 3/4		7
							1 3/4	2		7
							2	1 1/2		7
							2	1 3/4		7
							2	2		7 1/2
<b>1814</b> 457 / 355	18 457	14 355	9 228	8 203	13 330	12 304	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
<b>1816</b> 457 / 406	18 457	16 406	11 279	10 254	13 330	12 304	2 1/2	2	1 1/2	8
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		7 1/2
<b>1818</b> 457 / 457	18 457	18 457	13 330	12 304	13 330	12 304	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
<b>2010</b> 508 / 254	20 508	10 254	5 3/4 146	4 7/8 124	15 3/4 400	14 7/8 378	1 1/2	1 1/2	1 1/4	6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							2	1 1/2		6 1/2
							2	1 3/4		6 1/2



**BALL BEARING**



**PLAIN BEARING**

**METRIC EQUIVALENTS**

1 1/4" = 32 mm	6" = 152 mm
1 1/2" = 38 mm	6 1/2" = 165 mm
1 3/4" = 44 mm	7" = 178 mm
2" = 51 mm	7 1/2" = 190 mm
2 1/2" = 63 mm	8" = 203 mm

**NOMINAL DIMENSIONS**

SIZE	LR	FB	F	FF	P	PP	DH	PH	POST DIA.	L
<b>2214</b> <i>558 / 355</i>	22 558	14 355	9 229	8 203	17 431	16 406	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2216</b> <i>558 / 406</i>	22 558	16 406	11 279	10 254	17 431	16 406	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2218</b> <i>558 / 457</i>	22 558	18 457	13 330	12 304	17 431	16 406	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2220</b> <i>558 / 508</i>	22 558	20 508	15 381	14 355	17 431	16 406	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2410</b> <i>609 / 254</i>	24 609	10 254	5 3/4 146	4 7/8 124	19 3/4 501	18 7/8 479	1 1/2	1 1/2	1 1/4	6
							1 1/2	1 3/4		6
							1 1/2	2		6 1/2
							1 3/4	1 1/2		6
							1 3/4	1 3/4		6 1/2
							1 3/4	2		6 1/2
							2	1 1/2		6 1/2
							2	1 3/4		6 1/2
							2	2		7
<b>2412</b> <i>609 / 304</i>	24 609	12 304	7 178	6 152	19 482	18 457	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8
<b>2414</b> <i>609 / 355</i>	24 609	14 355	9 229	8 203	19 482	18 457	2	1 1/2	1 1/2	7
							2	2		7 1/2
							2 1/2	1 1/2		7 1/2
							2 1/2	2		8