

PMR-3101 – INTRODUÇÃO À MANUFATURA MECÂNICA

Aula 9: PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO

Prof. Delson Torikai

Sala: MS-12

E. mail: delsontorikai@usp.br

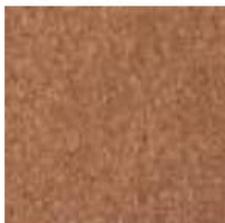


Materiais de Engenharia:

- **Materiais naturais, como a Madeira, Cortiça, Couro, Fibras (animais, vegetais e minerais) e as Rochas;**
- **Metais e suas ligas;**
- **Cerâmicos (produtos cerâmicos sólidos e porosos, vidro, cimento e concreto);**
- **Polímeros, como Plásticos e Borrachas, Espumas Poliméricas, Fibras Sintéticas e Fibras Artificiais;**
- **Compósitos.**



Madeira



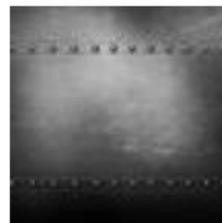
Cortiça



Couro



Fibra



Metal



Cerâmica



Plástico



Propriedades dos Materiais

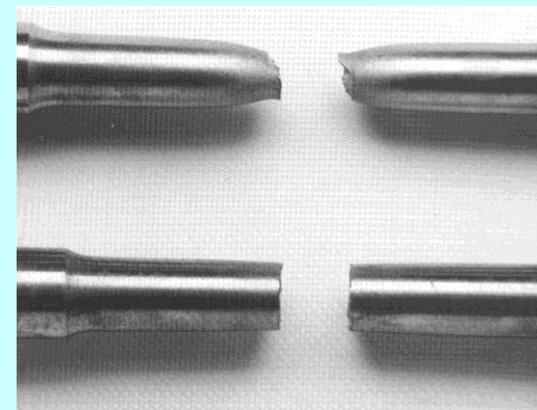
☞ Existem várias propriedades que devem ser levadas em consideração no uso dos materiais em processos de conformação:

- Econômicas
- Mecânicas
- Superficiais
- Físicas e Químicas
- Micro estruturais
- Estéticas



Propriedades Mecânicas

- Resistências
- Dureza
- Ruptura
- Fadiga
- Escoamento (início da deformação plástica)
- Fluência (processo lento de deformação, depende da temperatura e tempo)
- Desgaste, etc.





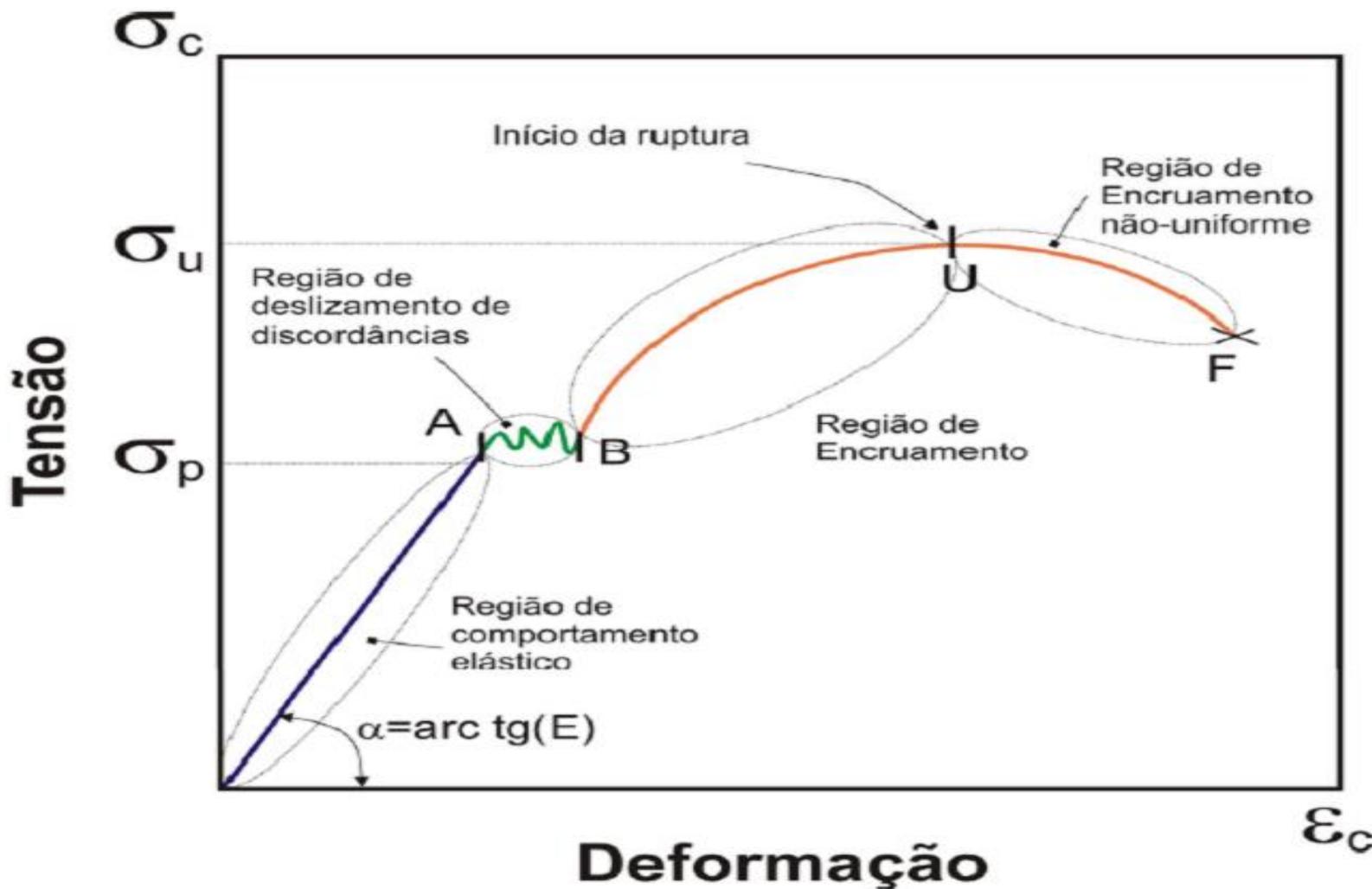
PROPRIEDADES MECÂNICAS/MICROESTRUTURAIS NA CONFORMAÇÃO

☞ Existem várias propriedades mecânicas relativas ao material, que devem ser levadas em consideração nos processos de conformação:

- MÓDULO DE ELASTICIDADE
- LIMITE DE ESCOAMENTO
- TENSÃO MÁXIMA
- TENSÃO DE RUPTURA
- DUCTILIDADE
- TENACIDADE À FRATURA



COMPORTAMENTO DOS MATERIAIS SOB TENSÃO:





Parâmetros de Ductilidade:

A ductilidade é definida como a capacidade do material se deformar plasticamente sem apresentar trincas.

O ensaio de tração fornece os seguintes parâmetros de ductilidade do material:

Alongamento total:

$$\%Al. = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100\%$$

**Redução de área
ou estrição:**

$$\%R.A. = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$



Fatores metalúrgicos que influem na tenacidade dos aços:

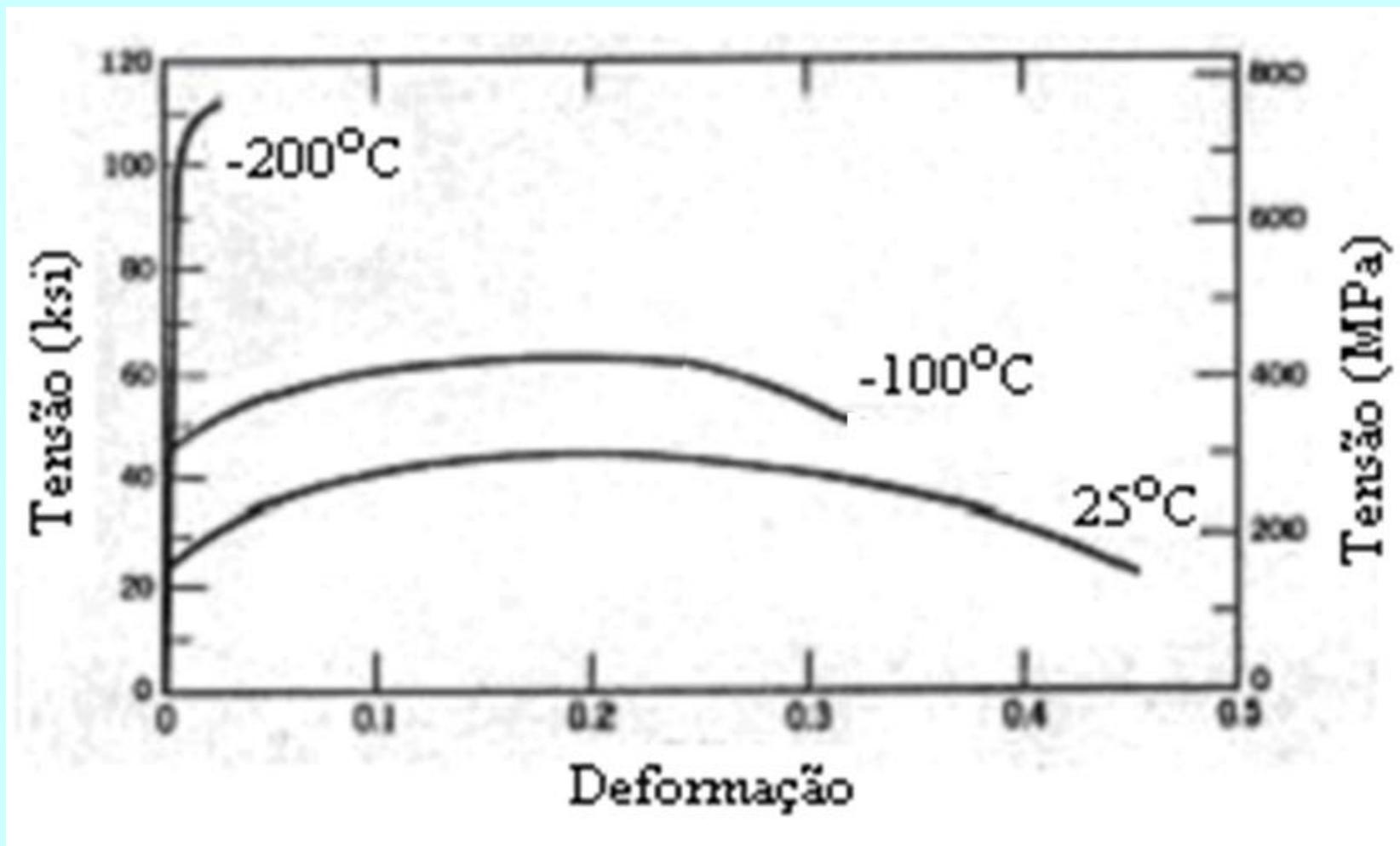
Tamanho de Grão: Quanto menor o tamanho dos grãos do material policristalino menor a temperatura de transição dúctil-frágil e maior a tenacidade a uma dada temperatura. Isso porque os contornos de grão (contornos de alto ângulo) são obstáculos à propagação de trincas. Quanto passa de um grão para o outro a trinca tem que mudar de direção para continuar se propagando em um plano de clivagem. Essa mudança de direção consome energia.

Presença de Fases Frágeis: A precipitação de fases frágeis no tratamento térmico, durante o processo de fabricação ou mesmo em serviço pode fragilizar o material. Alguns exemplos são: cementita nos aços de alto carbono, fase β' nos latões, fases σ e α' nos aços inoxidáveis.

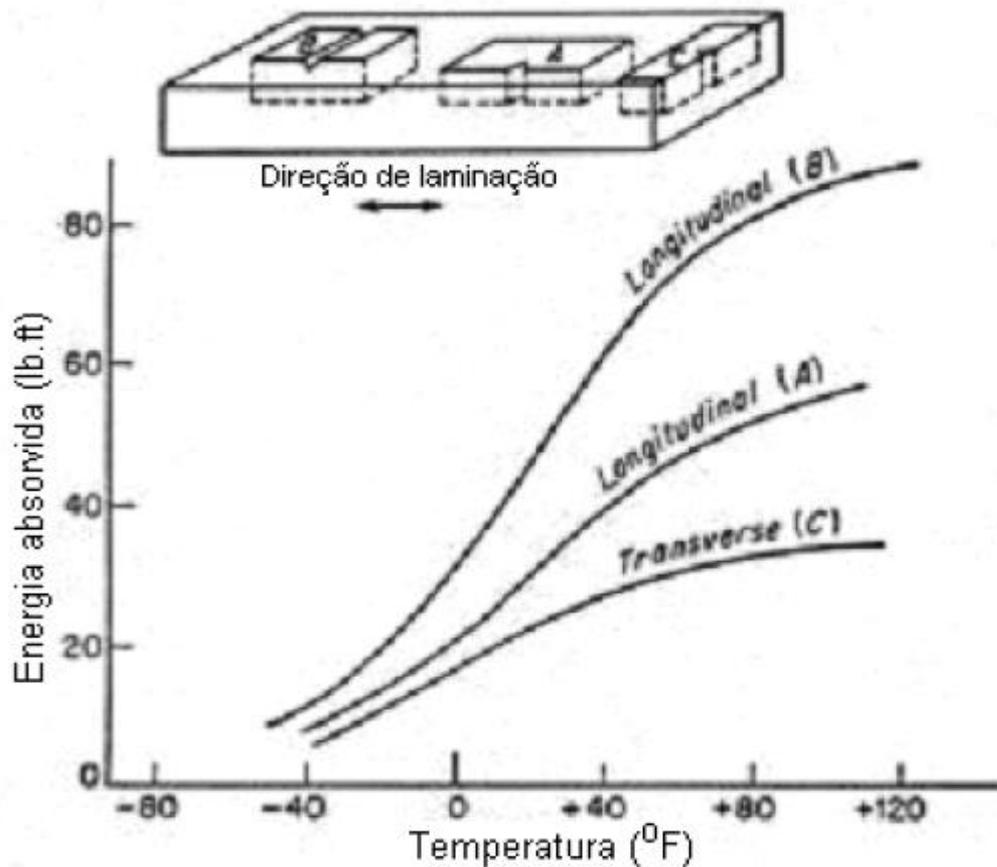
Composição Química: A presença de impurezas (ligas) pode aumentar ou abaixar a tenacidade. No aço, por exemplo, pouco enxofre e fósforo aumentam a dureza do aço, mas em grande quantidade causa fragilização. Já o níquel confere boa tenacidade ao aço, podendo ser usado em aços para fins criogênicos (uso em temperaturas inferiores a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Efeito da temperatura na curva de tração do ferro



Orientação preferencial dos grãos poli cristalinos como na laminação: é um fator que influencia no comportamento da tenacidade, principalmente se o material tiver inclusões ou grãos alongados na direção de laminação.



Influência da orientação de retirada do corpo de prova Charpy, em relação à direção de laminação, na tenacidade do material [3].



Divisão dos processos de fabricação





Conformação do material

- Processo de fabricação no qual ocorre modificação tri-dimensional da forma por meio da **conformação plástica**, sem contudo alterara a massa ou a coesão do material
- Ao contrário da usinagem a conformação é o método pelo qual se da forma com geometria controlada
- Conformação plástica: Modificação da forma/dimensões de um corpo metálico pela ação de tensões mecânicas sem que haja remoção de material
- Cerca de 80% dos produtos manufaturados na indústria metal mecânica sofrem uma ou mais operações de conformação plástica.



Variáveis mais significativas nos processos de conformação

Produto/Peça

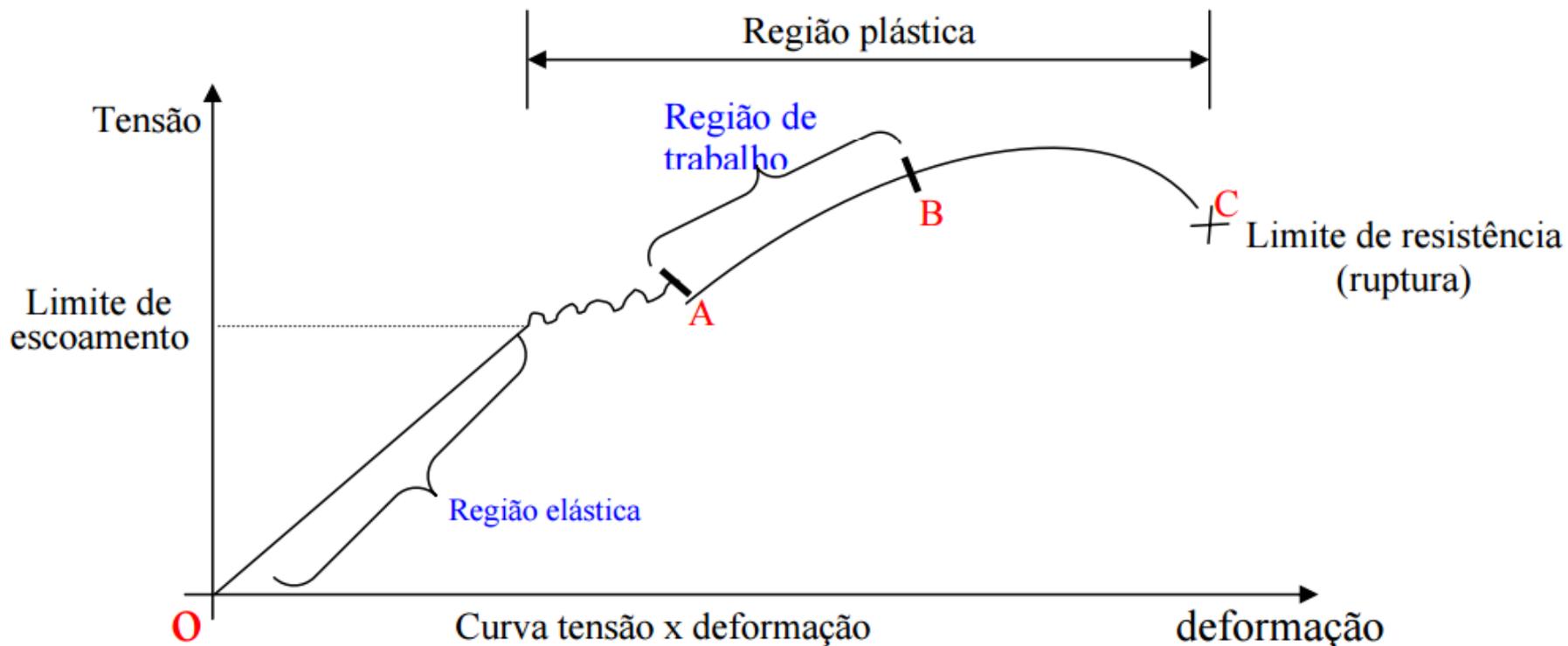
- Geometria
- Precisões dimensionais, geométricas e tolerâncias
- Acabamento superficial
- Micro estrutura, propriedades mecânicas e metalúrgicas

Ambiente

- Capacidade da mão de obra disponível
- Poluição do ar, sonora e emissão de resíduos
- Controle da produção
- Equipamentos disponíveis para controle da produção
(metrológicos e metalúrgicos)



REGIÃO DE TRABALHO NA CONFORMAÇÃO:



Curva Tensão deformação para os aços
(Fonte- Laminação dos Aços- ABM1997)

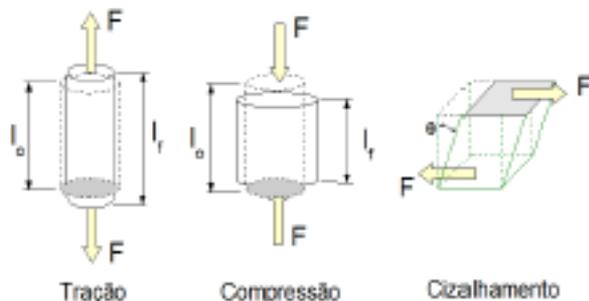


Classificação dos Processos de Conformação Mecânica

Conformação Mecânica

Quanto ao tipo de esforço predominante

- compressão direta
- compressão indireta
- tração
- flexão
- cisalhamento



Quanto a temperatura de trabalho

- *frio* $T_t < T_{recr}$
- *quente* $T_t > T_{recr}$
- *morno* $T_t \sim T_{recr}$
- *isotérmico* $T_t > T_{recr}$ constante

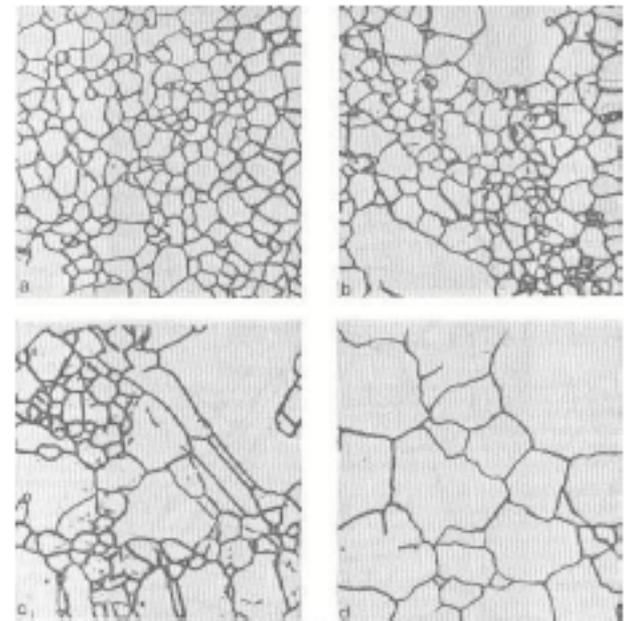
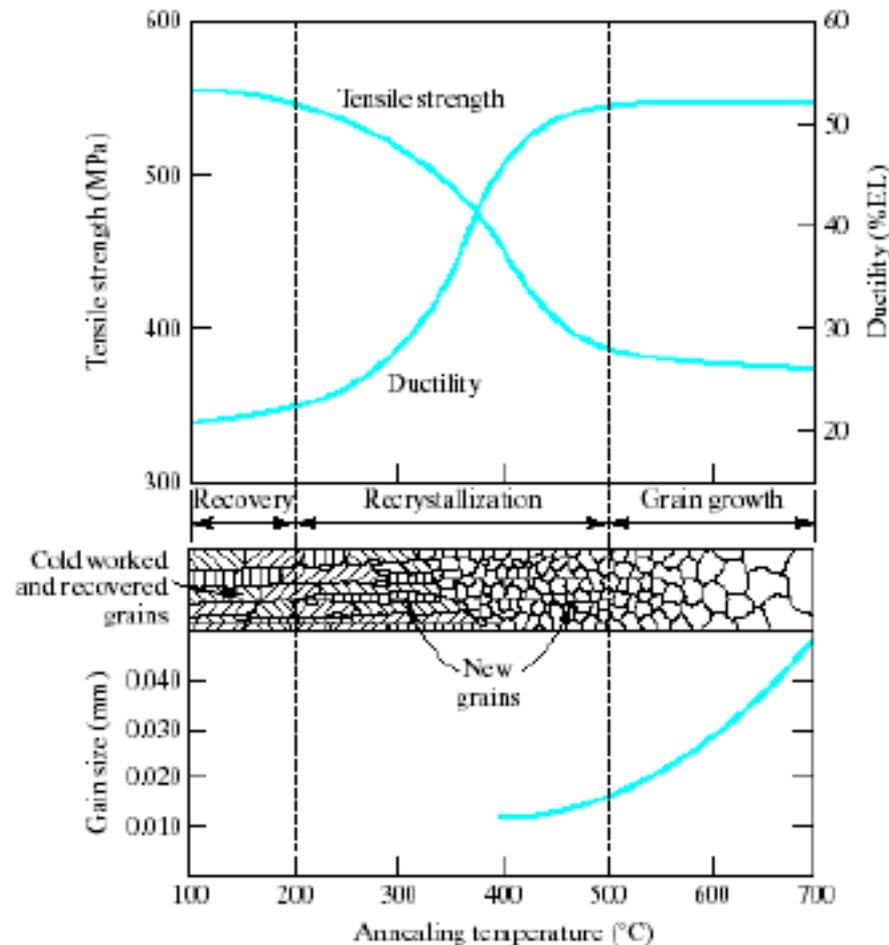
Onde:

⇒ T_t = temperatura de trabalho

⇒ T_{recr} = temperatura de recristalização



Efeito da temperatura no metais



Crescimento de grão durante recristalização (Gulhaév, pág. 103)

Mudança de propriedades e estrutura com a recuperação e a recristalização (fonte: Shackelford).



Características dos processos em função da temperatura de trabalho (T_t)

Quanto a temperatura de trabalho

- | | | |
|---------------------|------------------------------|---|
| → <i>frio</i> | $T_t < T_{recr}$ | → Pequenas deformações (relativamente) |
| → <i>quente</i> | $T_t > T_{recr}$ | → Encruamento |
| → <i>morno</i> | $T_t \sim T_{recr}$ | → Elevada qualidade dimensional e superficial |
| → <i>isotérmico</i> | $T_t > T_{recr}$ e constante | → Normalmente empregado para "acabamento" |
| | | → Recuperação elástica |
| | | → Equipamentos e ferramentas mais rígidos |





Características dos processos em função da temperatura de trabalho (T_t)

Quanto a temperatura de trabalho

- *frio* $T_t < T_{recr}$
- *quente* $T_t > T_{recr}$
 - grandes deformações
 - recozimento
 - baixa qualidade dimensional e superficial
 - normalmente empregado em operações grosseiras
 - peças grandes e de formas complexas
 - contração térmica, crescimento de grãos, oxidação
- *morno* $T_t \sim T_{recr}$
- *isotérmico* $T_t > T_{recr}$ e constante





Características dos processos em função da temperatura de trabalho (T_t)

Quanto a temperatura de trabalho

- *frio* $T_t < T_{recr}$
- *quente* $T_t > T_{recr}$
- ***morno*** $T_t \sim T_{recr}$
- *isotérmico* $T_t > T_{recr}$ e constante

→ reúne as características vantajosas do trabalho a frio e a quente

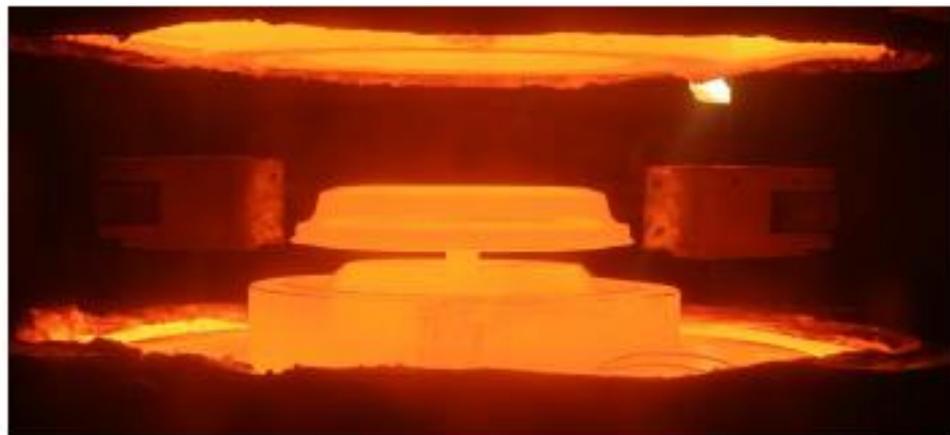




Características dos processos em função da temperatura de trabalho (T_t)

Quanto a temperatura de trabalho

- *frio* $T_t < T_{recr}$
- *quente* $T_t > T_{recr}$
- *morno* $T_t \sim T_{recr}$
- *isotérmico* $T_t > T_{recr}$ e constante



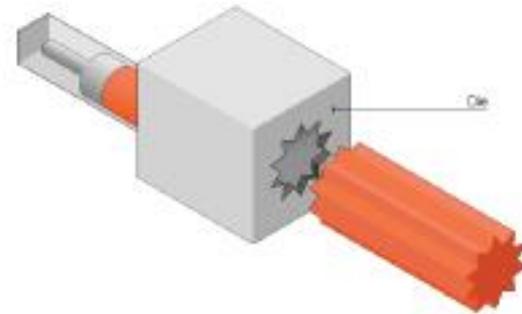
- reúne as características do trabalho a quente
- peça e ferramentas apresentam temperaturas próximas
- possibilidade de grandes deformações a taxas de deformação reduzidas



Conformação sobre condições compressivas

Classificação

- Laminação
- Forjamento em matriz aberta
- Forjamento me matriz fechada
- Cunhagem
- Estrusão / trefilamento





Conformação sobre condições compressivas

Vídeos exemplo

<https://www.youtube.com/watch?v=13dUL9OQFvw>

Esse é um vídeo mostrando o processo de laminação contínua.

<https://www.youtube.com/watch?v=XTU0Z-FkhtU>

Esse é um vídeo mostrando alguns exemplos de processo de forjamento em matriz aberta. Interessante é observar a dimensão das peças

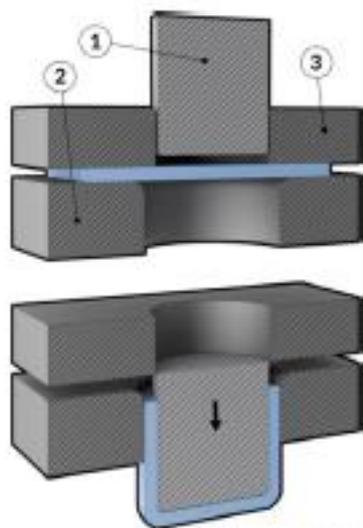


Conformação sobre condições combinadas de tração e compressão

♦ Classificação

→ Embutimento profundo

→ Flangeamento



MANUFACTURING

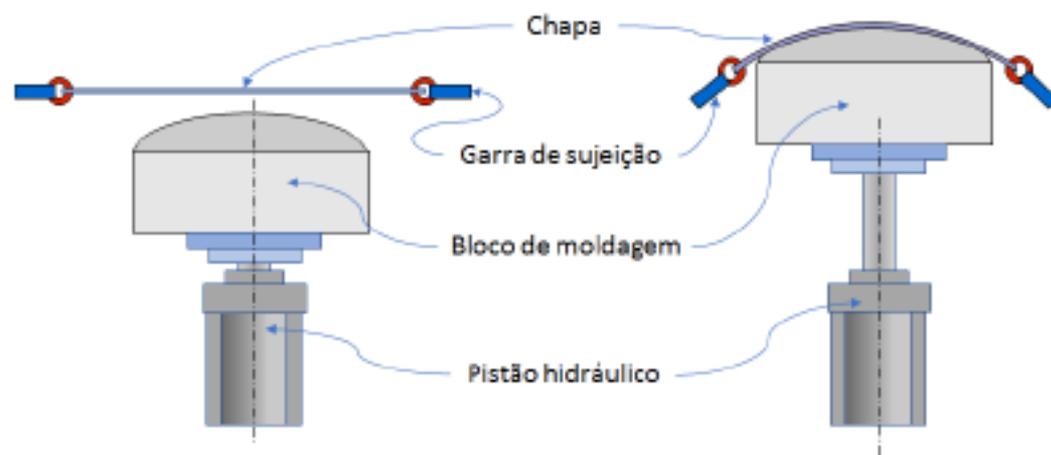




Conformação sobre condições de tração

Classificação

- Estiramento
- Expansão
- Expansão por estiramento

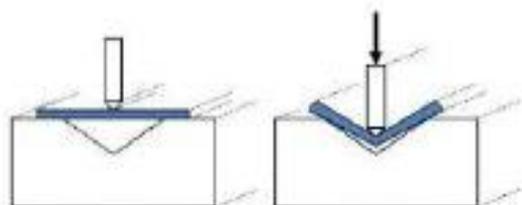




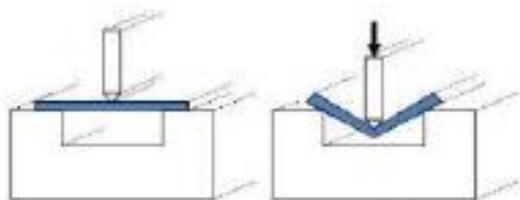
Conformação por dobramento

Classificação

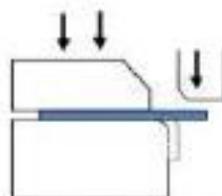
- Dobramento linear
- Dobramento circular



Dobramento em matriz em "V"



Dobramento em matriz em "U"



Dobramento em matriz em "L"



Uma dobra

Duas dobras



Três dobras





Conformação sobre condições de cisalhamento

Classificação

- Torcionamento
- Estampagem





Divisão dos processos de fabricação





Forjamento

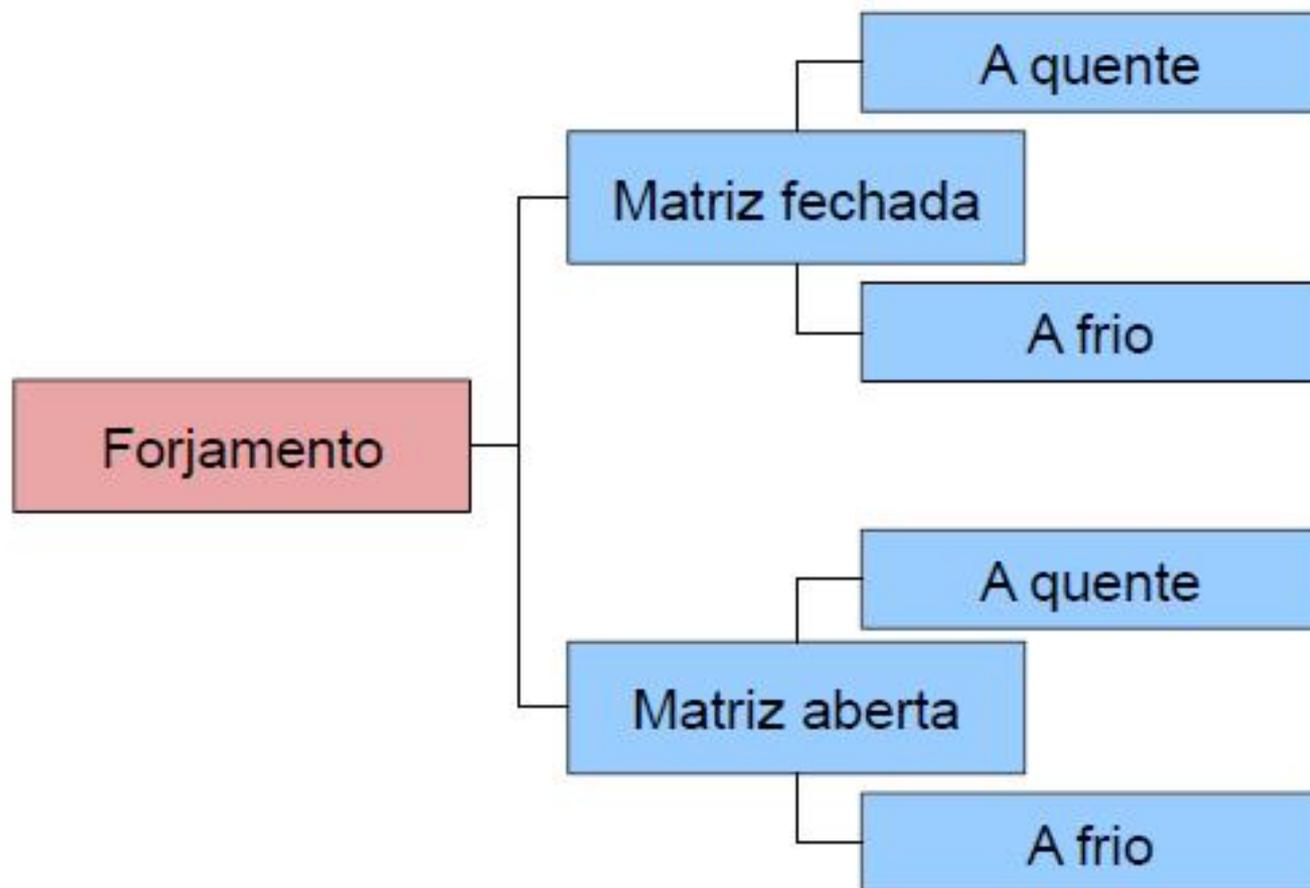
Definição

- Processo de fabricação onde a forma final do componente é obtida através da deformação plástica resultante da aplicação de pressão ou impacto promovido por uma prensa ou martelo



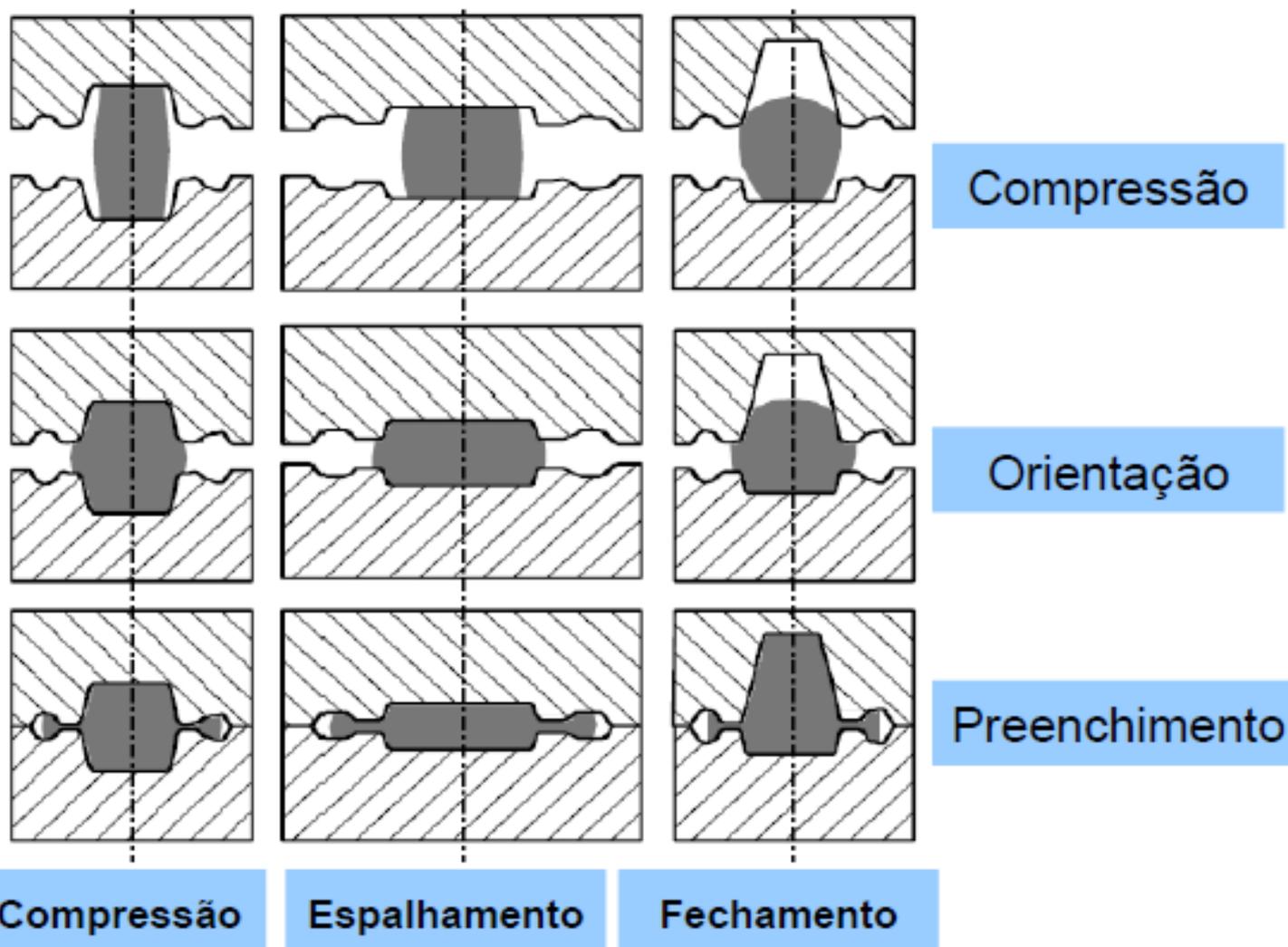


Forjamento - Classificação





Forjamento – Tipos básicos de operações quando o enchimento





Forjamento

- Sequência de forjamento



- a primeira etapa confere pré-forma ao blank e é realizada a parte da sequência de conformação principal
- as fase intermediárias otimizam a distribuição da massa, antes que a forma final seja forjada.
- a seleção de uma sequência depende da interpretação dos diferentes métodos de conformação, e como estes permitem as reduções nas formas intermediárias.
- a divisão em vários estágios de formação reduz as tensões na matriz, permitindo a distribuição de forças e reduzindo o desgaste da matriz
- o preenchimento escalonado pode influenciar positivamente na qualidade do forjado
- peças de grande volume podem ser forjadas com cargas menores => economia



Texturização causada pelo forjamento





Forjamento

➤ Vantagens

- Resistência das peças
- Produtividade relativa. Serve tanto para produção em massa quanto peças de lote único
- Equipamento relativamente simples (prensa)
- Pode ser feito sem a necessidade de ferramental especial (forjamento em matriz aberta)

➤ Desvantagens

- Custos de máquinas
- Projeto e custo das ferramentas devem ser amortizados em função do número de peças a serem produzidos
- Automação simples
- O desempenho é definido por unidade de tempo e deve ser menor para o processo automatizado



Tipos de Forja

➤ Martelo de queda livre



➤ Martelo de queda livre de dupla ação



➤ Martelo pneumático



➤ Prensa excêntrica



➤ Prensa hidráulica



Máquina para Forjamento	Velocidade [$m.s^{-1}$]
Martelo de queda livre	3,6-4,8
Martelo de dupla ação	3,0-9,0
Prensa hidráulica	0,05-0,3
Prensa mecânica	0,06-1,5



Exemplos de peças forjadas





Possibilidades de Defeitos em Produtos Forjados que devem ter atenção especial de projetistas e processistas:

Falta de Redução: Preenchimento incompleto do metal na cavidade da ferramenta. Isto ocorre porque o metal não fluiu como planejado na cavidade da matriz e não completou a peça, faltando partes da mesma, ou porque a força aplicada não foi suficiente para fazer isso.

Trincas Superficiais: Rachaduras que aparecem na superfície da peça, que se deve ao excessivo trabalho na superfície da peça em temperatura baixa ou por fragilidade a quente inerente ao material (metal).



Trincas nas Rebarbas: Rachaduras que aparecem nas regiões das rebarbas, após o rebarbamento (retirada do excesso de metal do forjamento). Aparecem porque o metal apresenta impurezas oriundas da fundição ou porque quando ao se rebarbar o esforço aplicado é muito lento, não cortando, mas sim arrancando a rebarba.

Trincas Internas: Rachaduras que aparecem na parte interna da peça, ocorrendo devido às tensões originárias por grandes deformações, elevadas temperaturas de trabalho e impurezas presentes no metal.

Gota Fria: Aparente rachadura que apresenta o formato de uma ruga na superfície da peça e pode ser mais ou menos profunda. Isto ocorre devido a baixa temperatura de forjamento do metal ou da baixa temperatura de trabalho da matriz.



VANTAGENS E DESVANTAGENS DA APLICAÇÃO DO FORJAMENTO:

Vantagens:

- melhoria das propriedades mecânicas da peça produzindo um alinhamento direcional da microestrutura → melhoria da ductilidade, impacto e resistência a fadiga;
- Menor custo de fabricação, em virtude da mínima perda de material e poucas etapas de fabricação.

Desvantagens:

- As peças a serem forjadas geralmente necessitam de usinagem depois do processo de forjamento;
- Os equipamentos são muito caros.

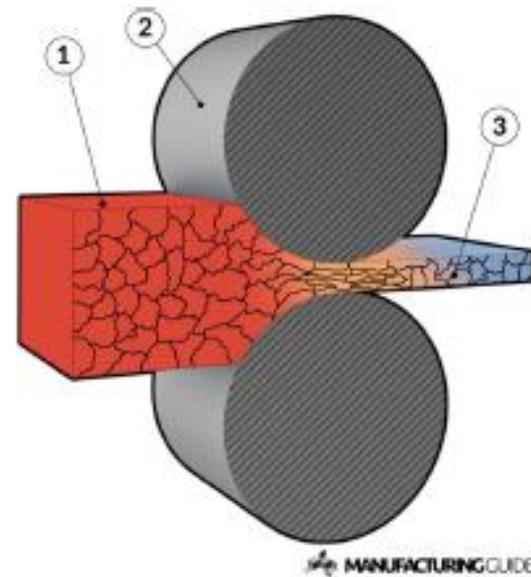
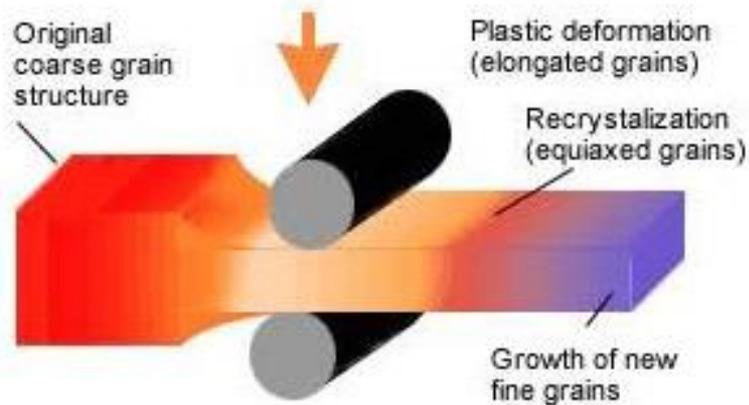


Laminação





Laminação



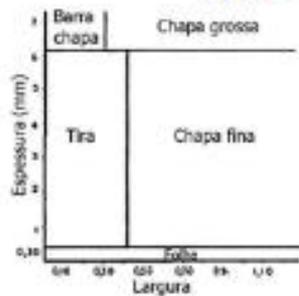
As deformações plásticas são provocadas pela pressão dos cilindros sobre o material

O arraste do corpo é dado pela atrito entre cilindros e corpo



Laminação

Tipos de produtos



- Planos
- Placas
- Chapas



Não planos

- Barras
- Perfis
- Trilhos
- Vergalhões
- Tubos





Laminação a quente

Entrada



Grandes deformações

lingote fundidos
Placas
tarugos lingotados
laminados

Grandes dimensões



Geometrias complexas

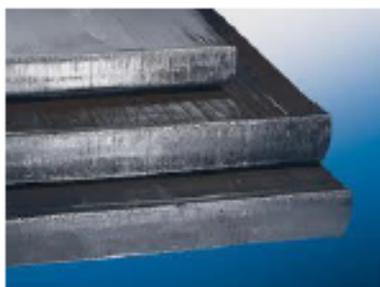


Semi acabados



Laminação a frio

Entrada



Chapas de aço
Placas
barras

Pequenas
deformações

Chapas de aço
Placas
barras

Operações de
acabamento



Superfícies regulares



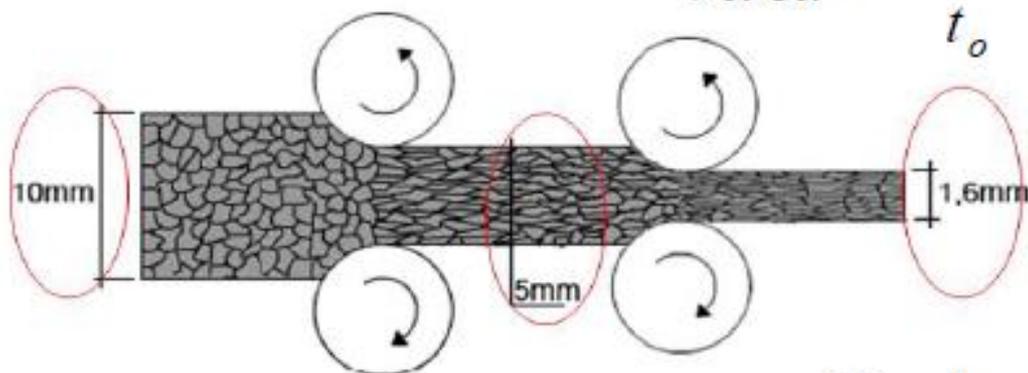
Produtos acabados



Laminação

- Percentual de redução

$$\%red = \frac{t_o - t_f}{t_o} * 100$$



$$\%red = \frac{10 - 1,6}{10} * 100 = 84 \%red$$

- Deformação convencional

Tomando um ponto qualquer de altura h , admitindo deformação homogênea na espessura, tem-se:

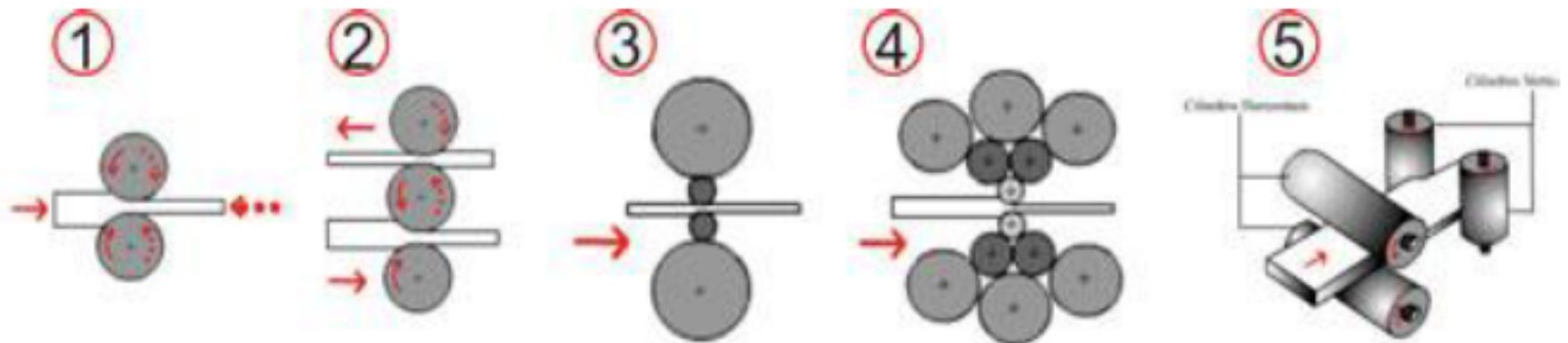
$$e = \frac{h_i - h}{h_i} = 1 - \frac{h}{h_i}$$

$$\varepsilon = \ln \frac{h_i}{h} = \ln \left(\frac{1}{1 - e} \right)$$

$$\left(\frac{h}{h_i} = 1 - e \rightarrow \ln \frac{h}{h_i} = \ln \frac{1}{1 - e} \right)$$



Tipos de laminadores



1 - Laminador DUO reversível, rolos com inversão de rotação

2 - Laminador TRIO – 3 cilindros

3 - Laminador QUADRUO – 4 cilindros

4 - Laminador SENDZIMIR – cilindros de trabalho finos suportados por vários outros cilindros mais grossos

5 - Laminador UNIVERSAL – 2 Rolos verticais e 2 rolos horizontais

6 - Outros

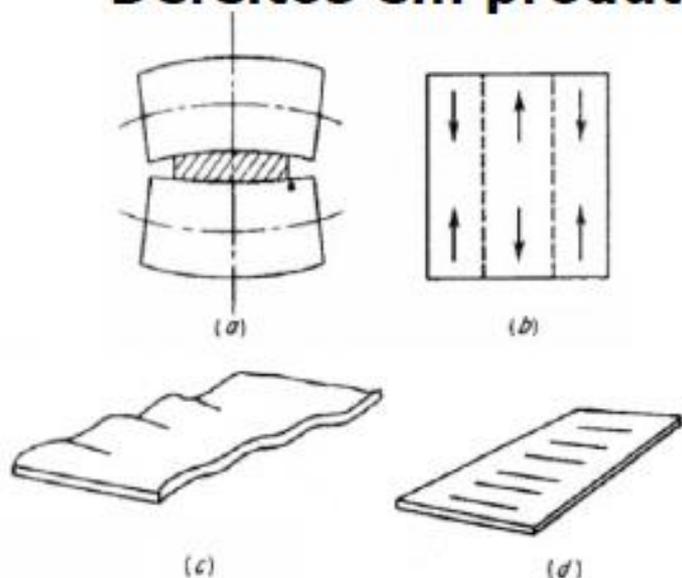


Defeitos em produtos laminados

- desvios de forma
- Irregularidades de superfície: trincas, fissuras, cascas, carepas
- internos: trincas, escamas
- chapa curva-se
- espessura uniforme sobre a largura e ao longo do comprimento
- planeza da chapa
- diferença no alongamento
- ondulações em chapas finas

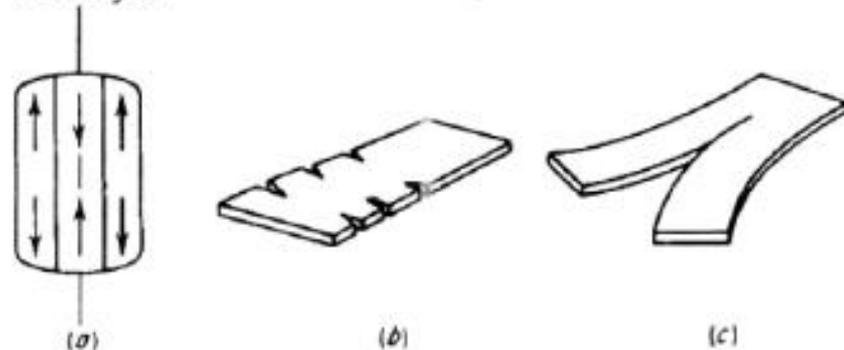


Defeitos em produtos laminados Laminação



Problemas devido a flexão dos cilindros de laminação

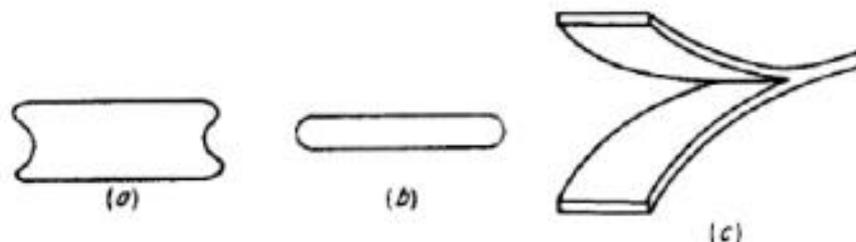
direção de laminação



Defeitos resultantes do espalhamento lateral

Se existe algum defeito metalúrgico ao longo da linha central do tarugo a fratura é do tipo boca de jacaré

- é acentuada se ocorre qualquer empenamento da chapa.



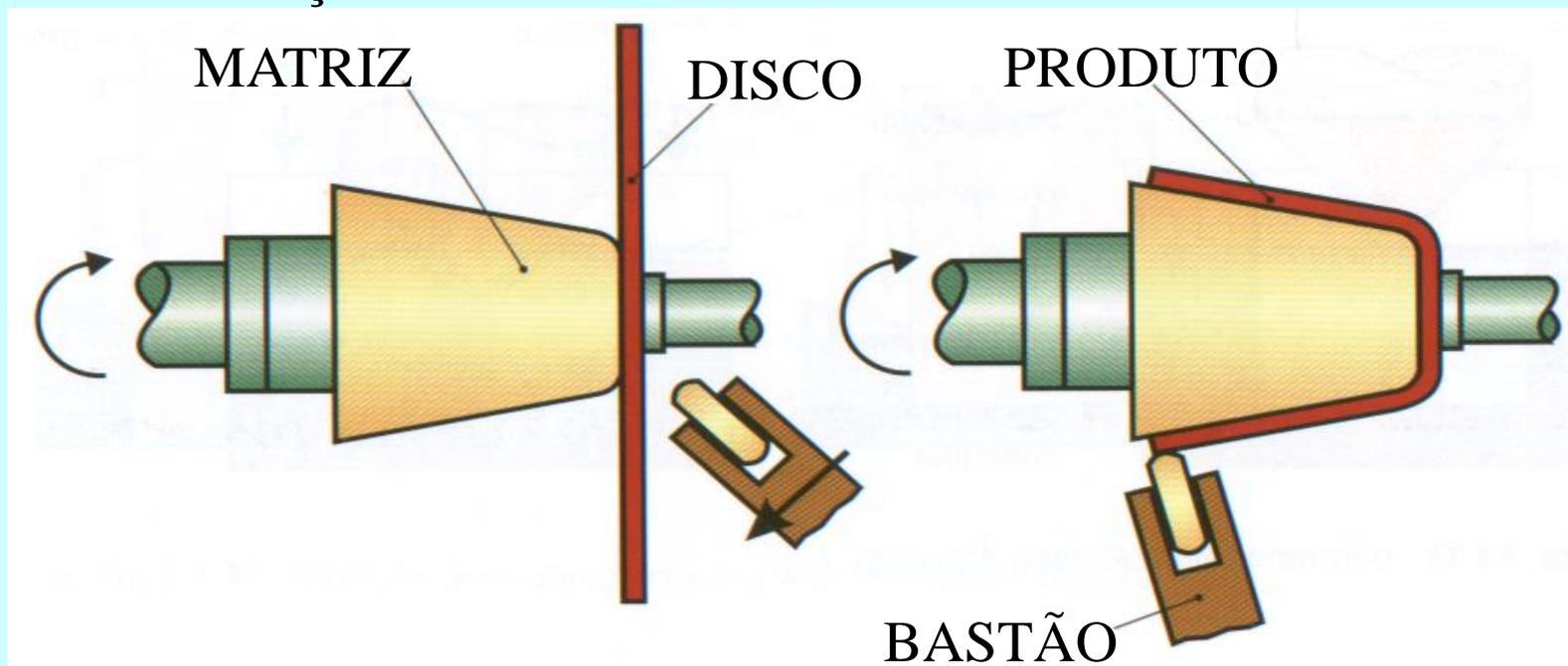
Edge distribution resulting from rolling with (a) light reduction, (b) heavy reduction and (c) allingatoring.



REPUXO

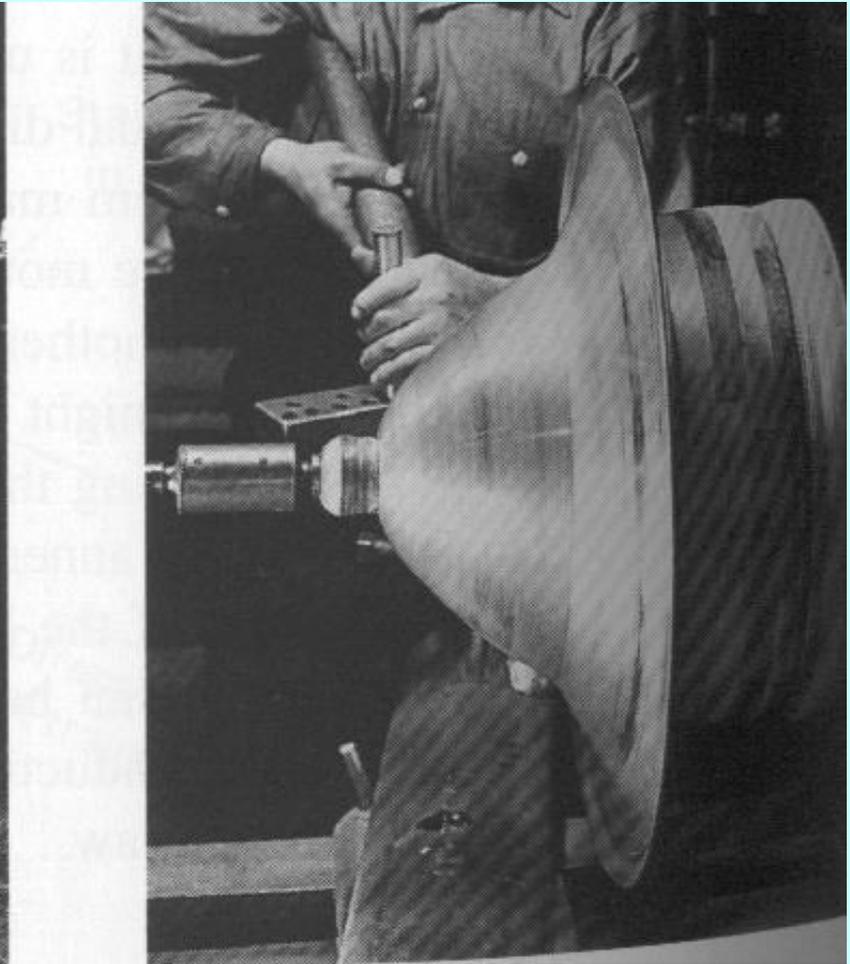
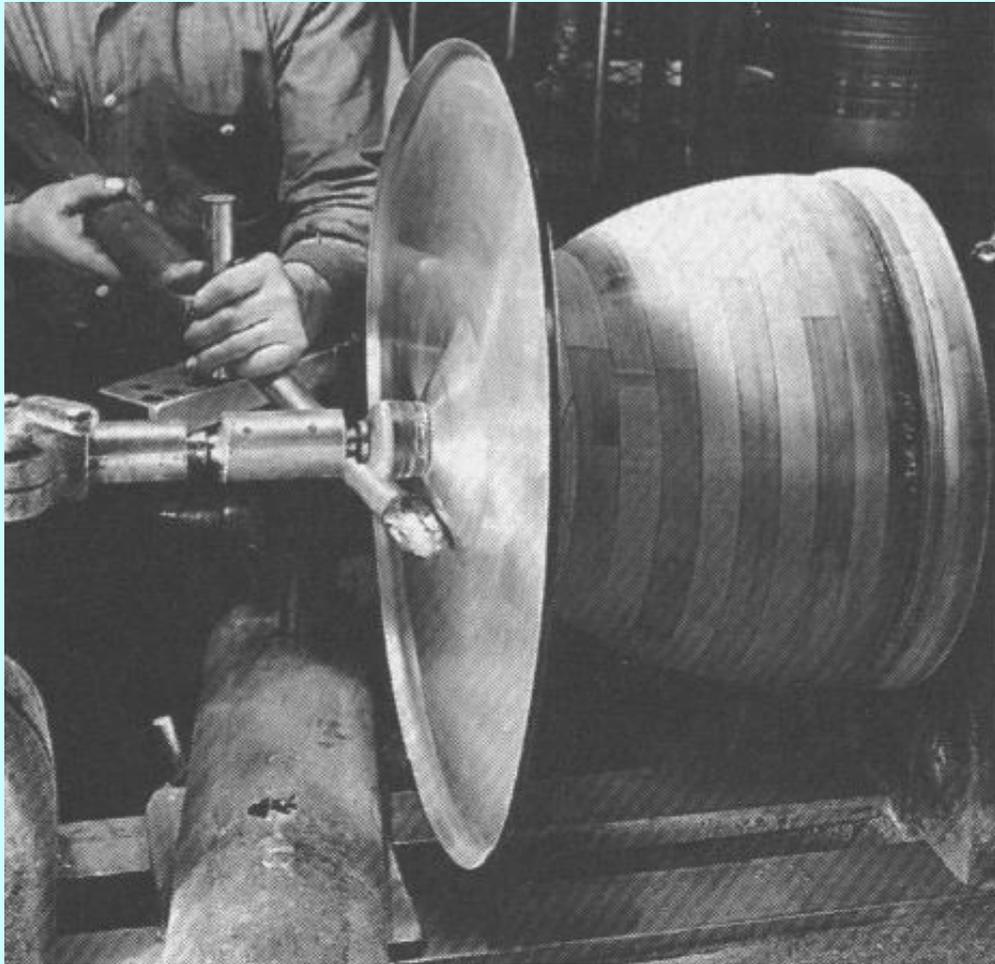
- Processo importante para obtenção de peças de grandes dimensões e lotes reduzidos.
- Equipamentos rotativos (tornos), ferramenta de conformação móvel (bastão) e ferramenta de conformação fixa (matriz única ou desmontável)

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE REPUXO DE CHAPAS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

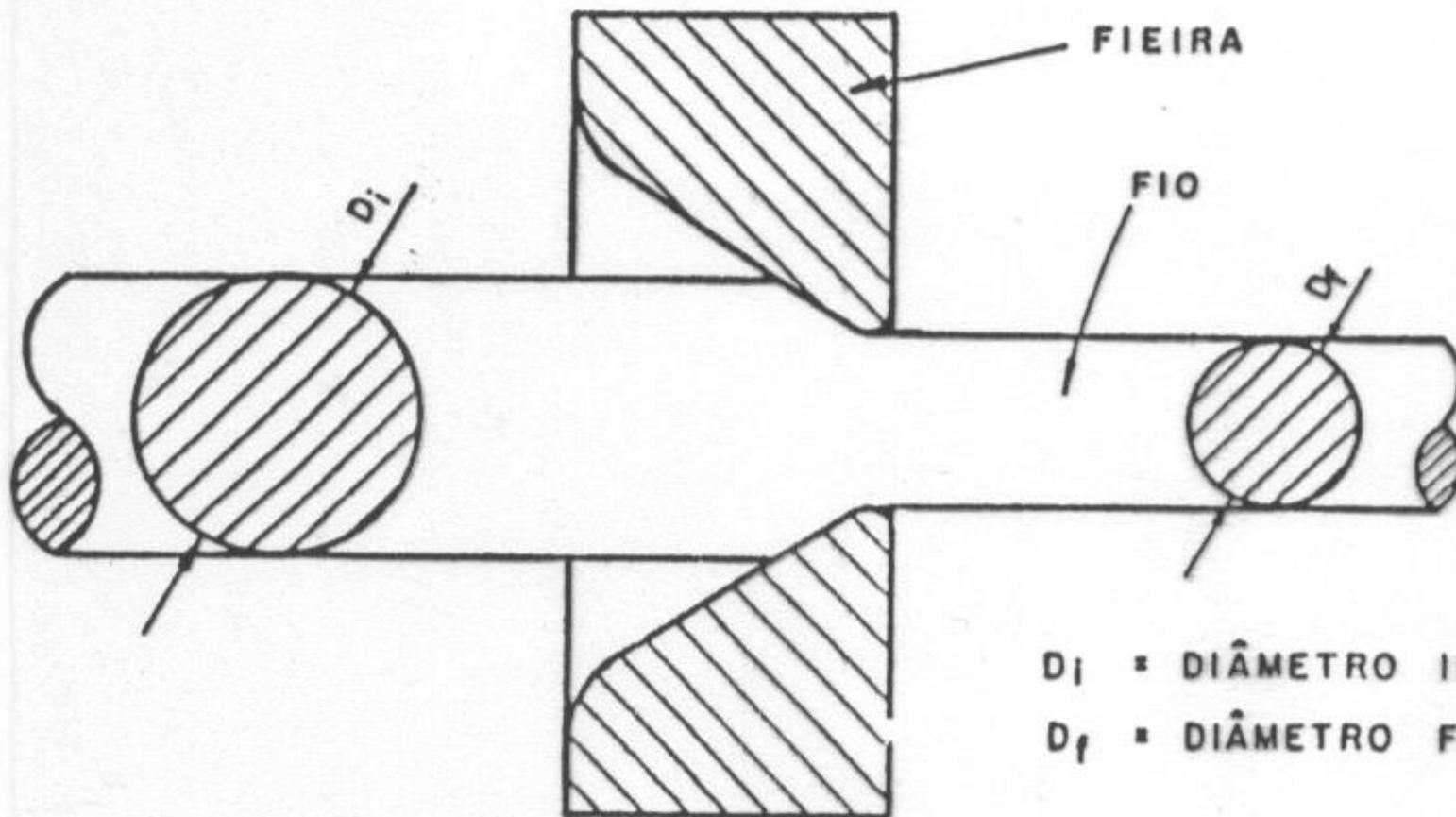


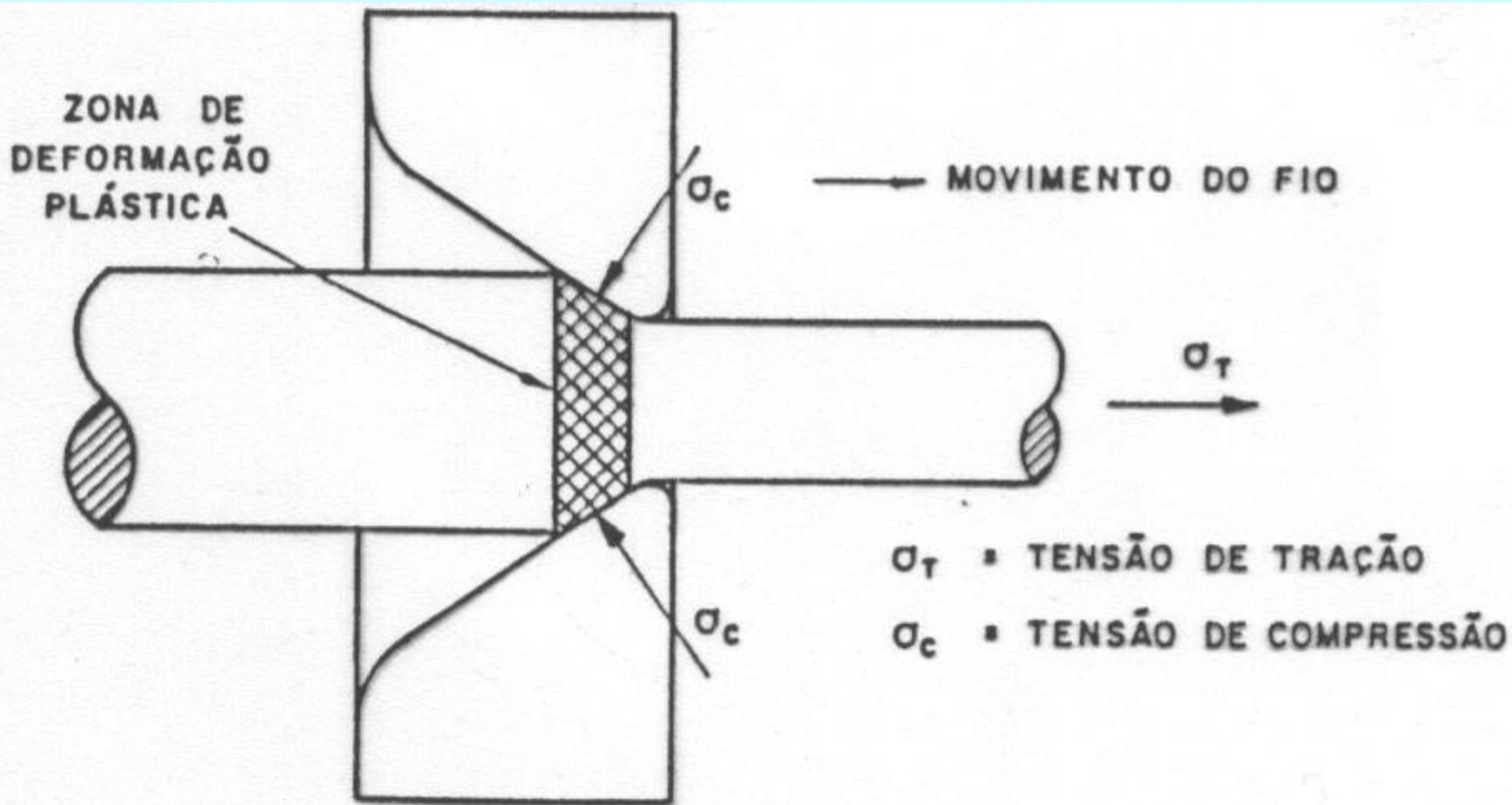


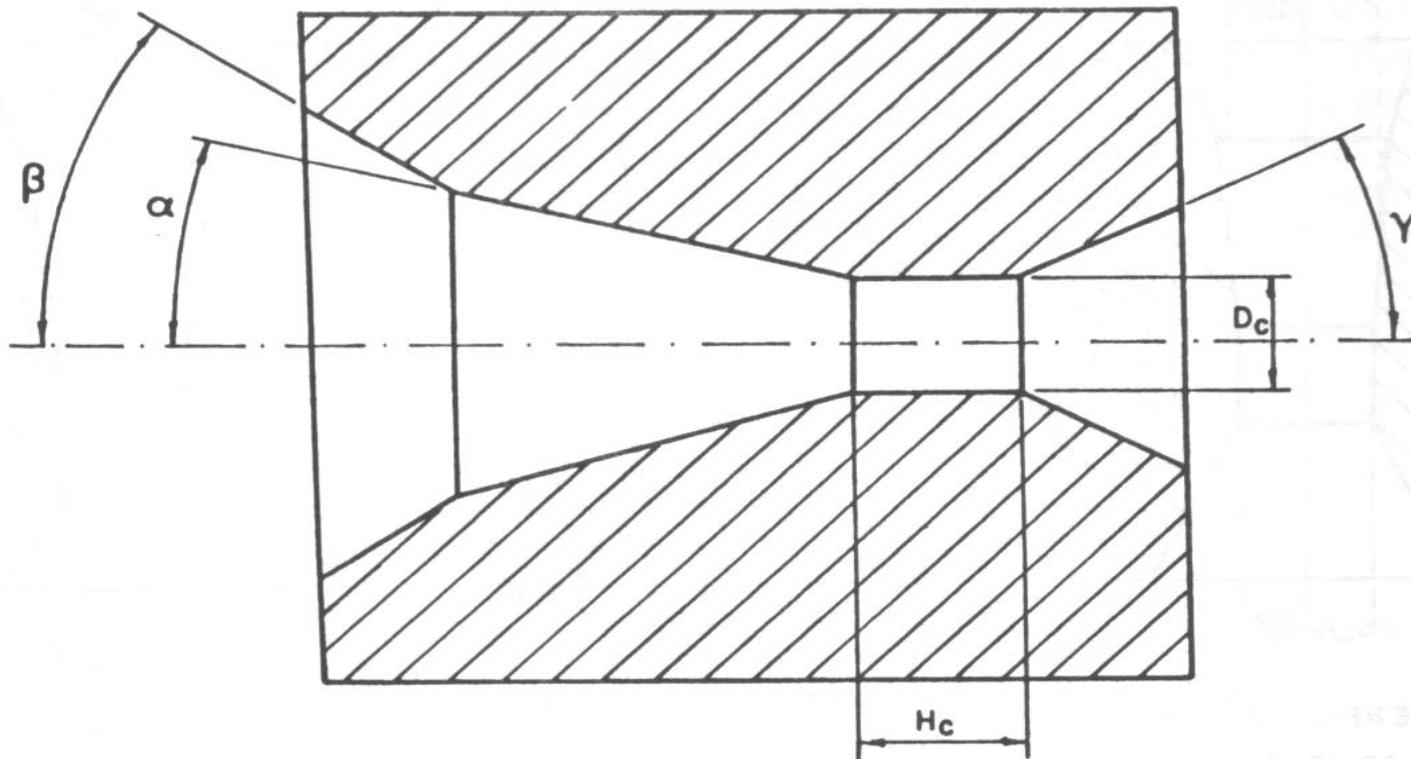
TREFILAÇÃO

- Processo em que se obtêm produtos com seções de *geometrias diversas* pela **tração** desses produtos por uma *matriz* que *define o perfil* do trefilado
- Comumente realizado a frio → *Encruamento*
- Pequenas reduções de seção por passe
- Excelente qualidade superficial e dimensional
- Propriedades mecânicas controladas

Recozimento intermediário necessário quando a queda de ductilidade associada ao aumento da resistência provoca a *queda de conformabilidade*







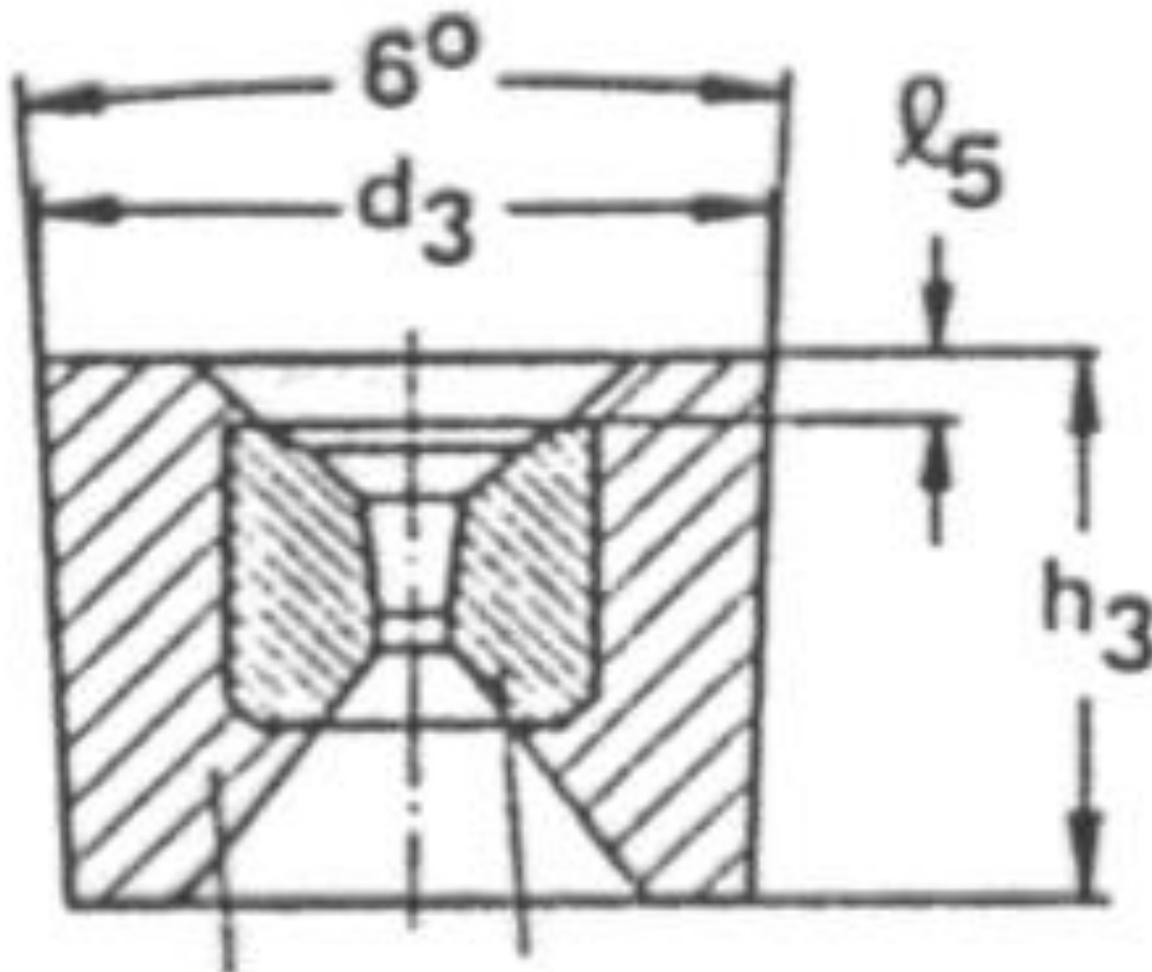
α - SEMI-ÂNGULO DO CONE DE TRABALHO
(OU SEMI-ÂNGULO DA FIEIRA)

β - SEMI-ÂNGULO DE ENTRADA

γ - SEMI-ÂNGULO DE SAÍDA

H_c - ALTURA DO CILINDRO DE CALIBRAÇÃO

D_c - DIÂMETRO DO CILINDRO DE CALIBRAÇÃO



A fieira apresenta superfície externa cônica para melhor fixação e centralização

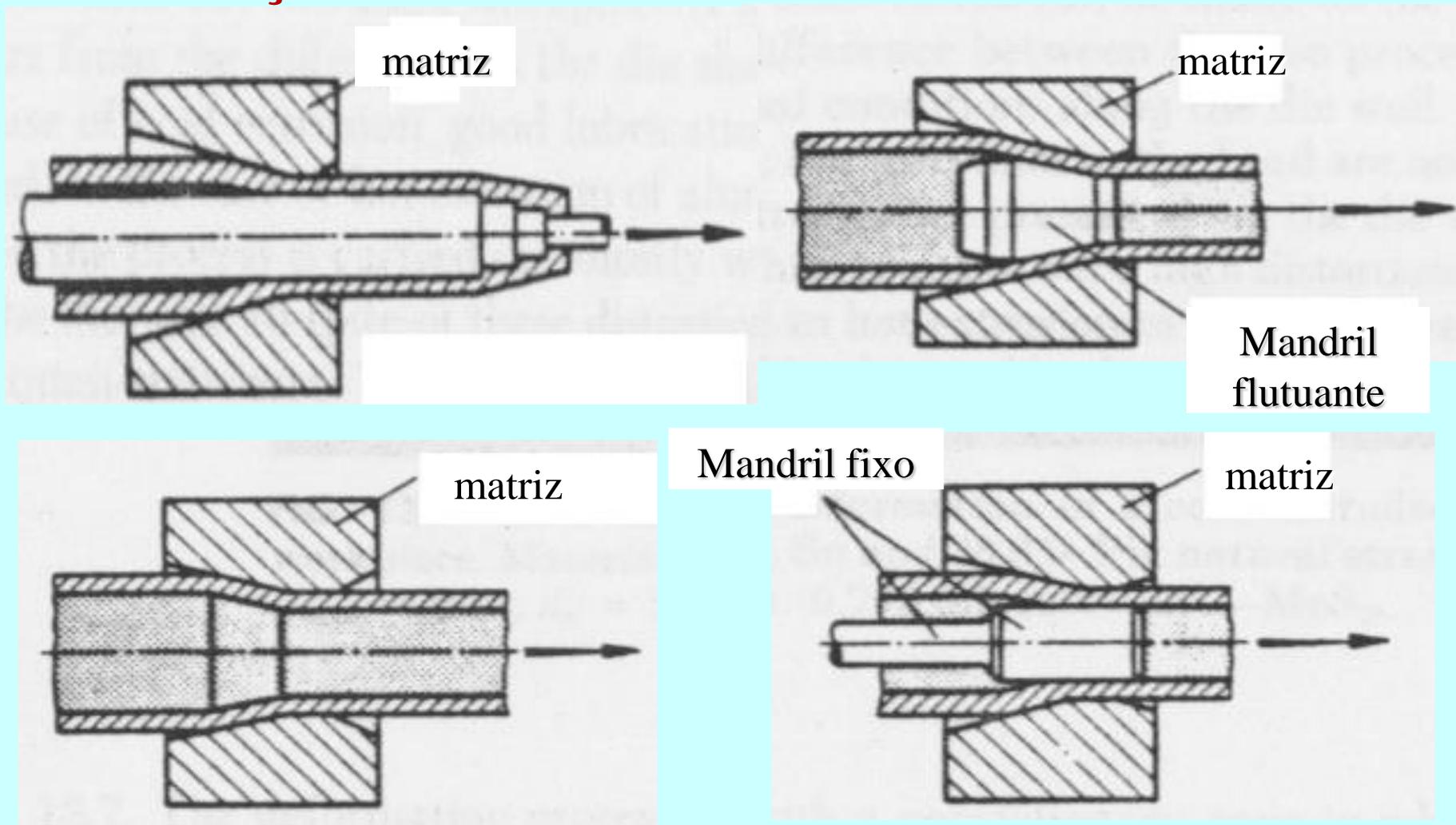


MATRIZ (FIEIRA) DE TREFILAÇÃO





TREFILAÇÃO DE PERFIS TUBULARES E VAZADOS





TREFILAÇÃO

MATÉRIA PRIMA

Barras e tubos extrudados (*não-ferrosos*) ou laminados (*ferrosos e não-ferrosos*), decapados e limpos, com qualidade superficial controlada e recozidos

PRODUTOS

Arames, fios finos, barras, perfis diversos e tubos

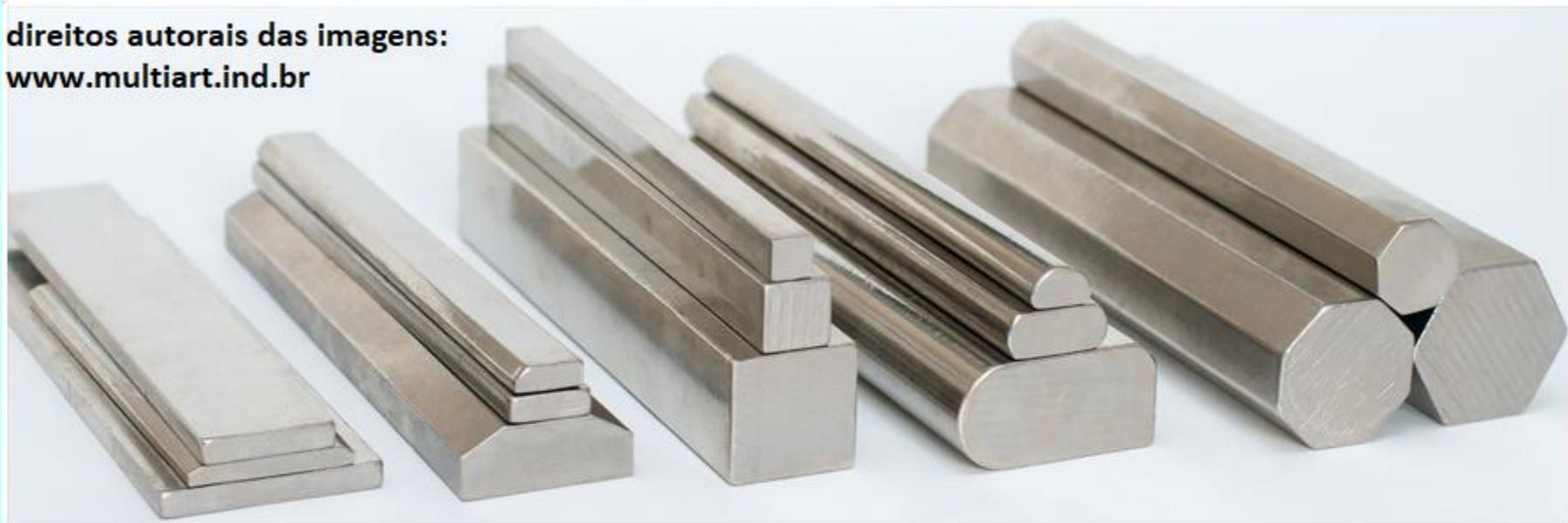
MECÂNICA DA TREFILAÇÃO

- Esforços predominantes de compressão indireta
- Atrito entre a matriz e material a trefilar
- Lubrificantes/refrigerantes
- Velocidade de trefilação: 10 m/s para fios de aço,
20 m/s para fios de cobre



Exemplos de perfis obtidos por trefilação

direitos autorais das imagens:
www.multiart.ind.br



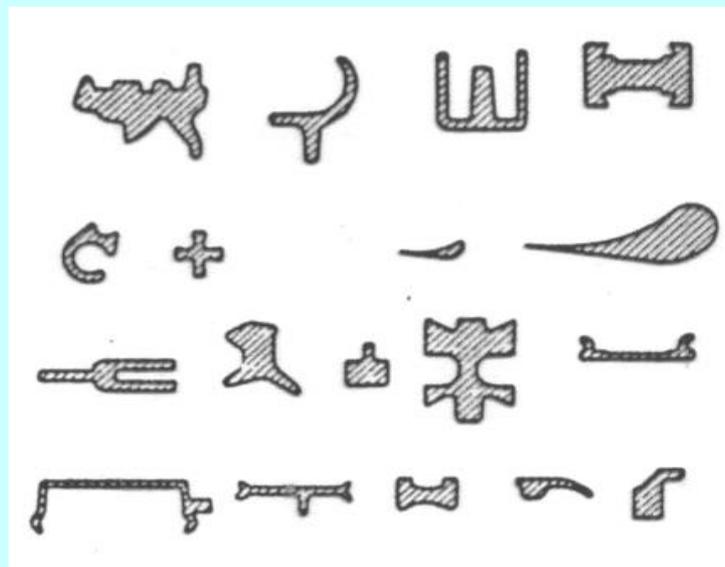
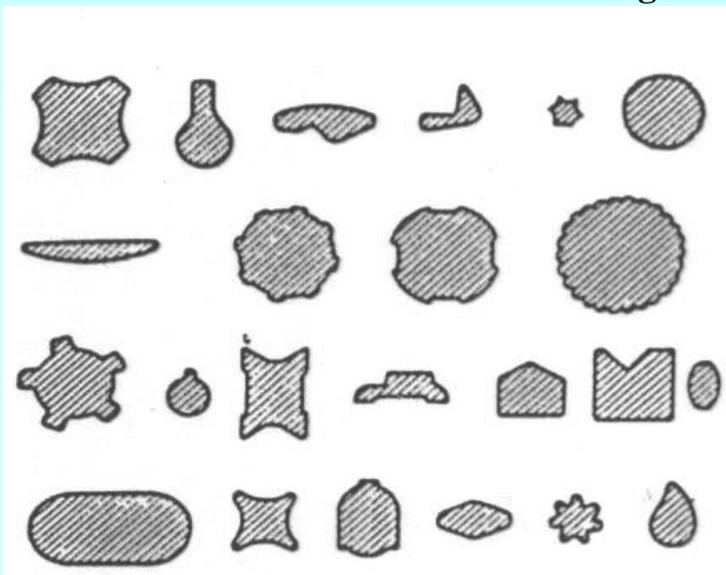
direitos autorais das imagens:
www.sidertubos.com.br



Exemplos de perfis obtidos por trefilação



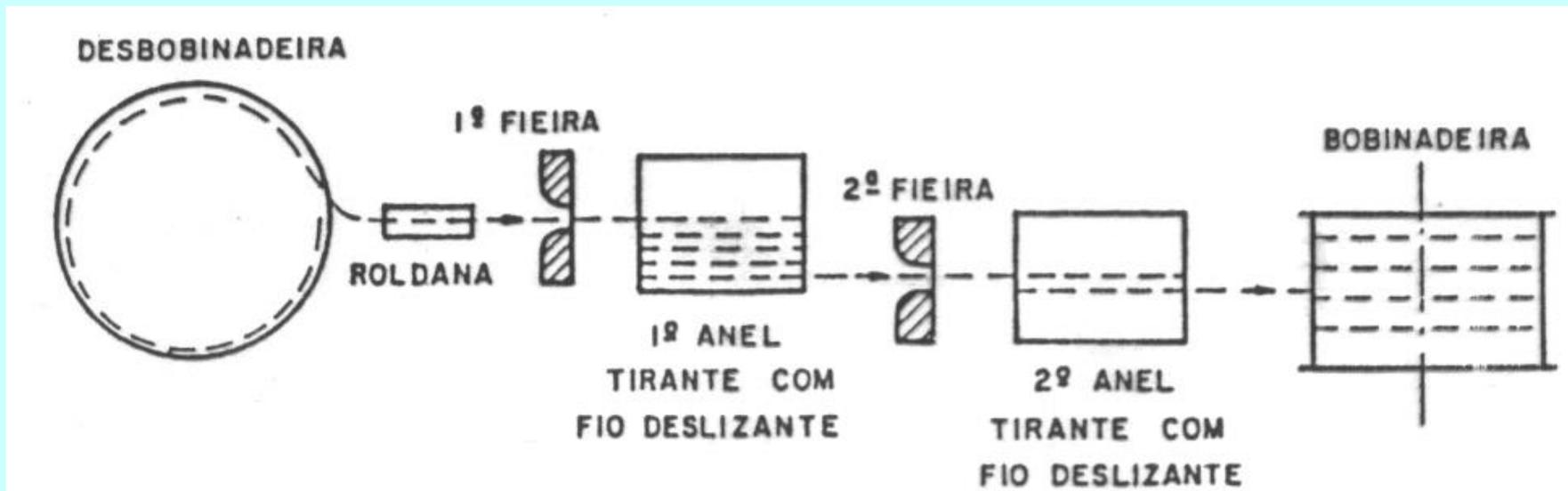
Direitos autorais das imagens: www.aluminovo.com.br





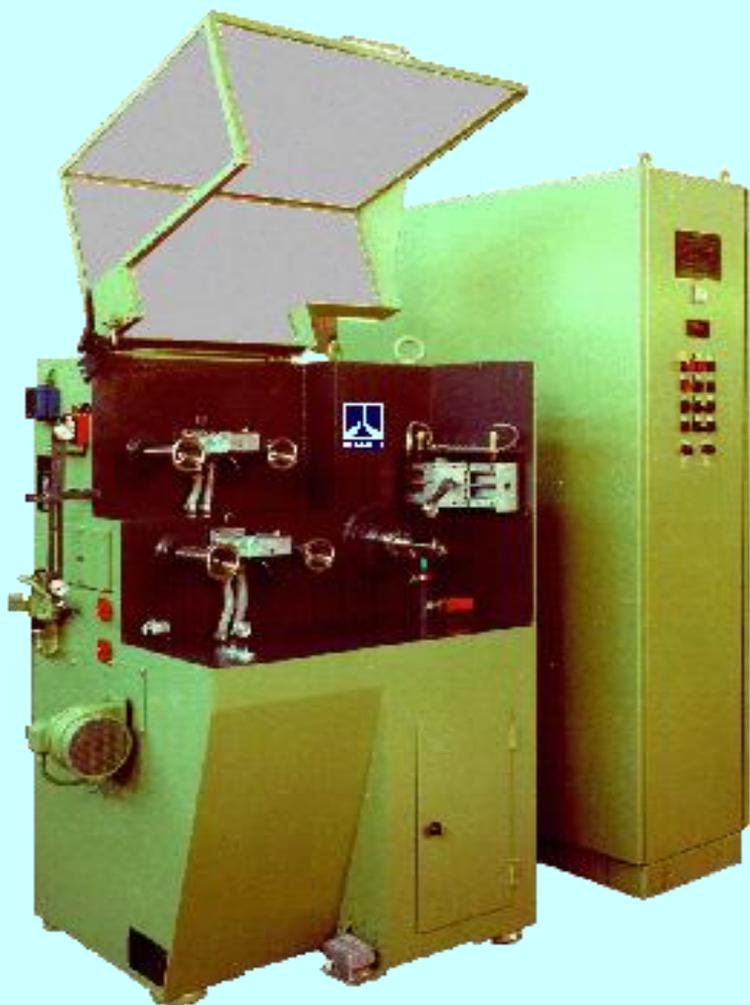
TREFILAÇÃO

MÁQUINAS DE TREFILAR





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO





EXTRUSÃO

- Processo no qual modifica-se a *geometria/dimensões* de um corpo metálico pela sua passagem por *uma matriz* que lhe confere sua forma e dimensões finais
- Produtos com comprimento limitado ao volume do tarugo de partida

EXTRUSÃO A QUENTE

- grandes reduções de seção numa só etapa
- maioria dos processos para obter produtos contínuos semi-acabados (barras) e acabados (perfis e tubos)

EXTRUSÃO A FRIO

- pequenas reduções de seção em vários estágios
- obtenção de peças de precisão



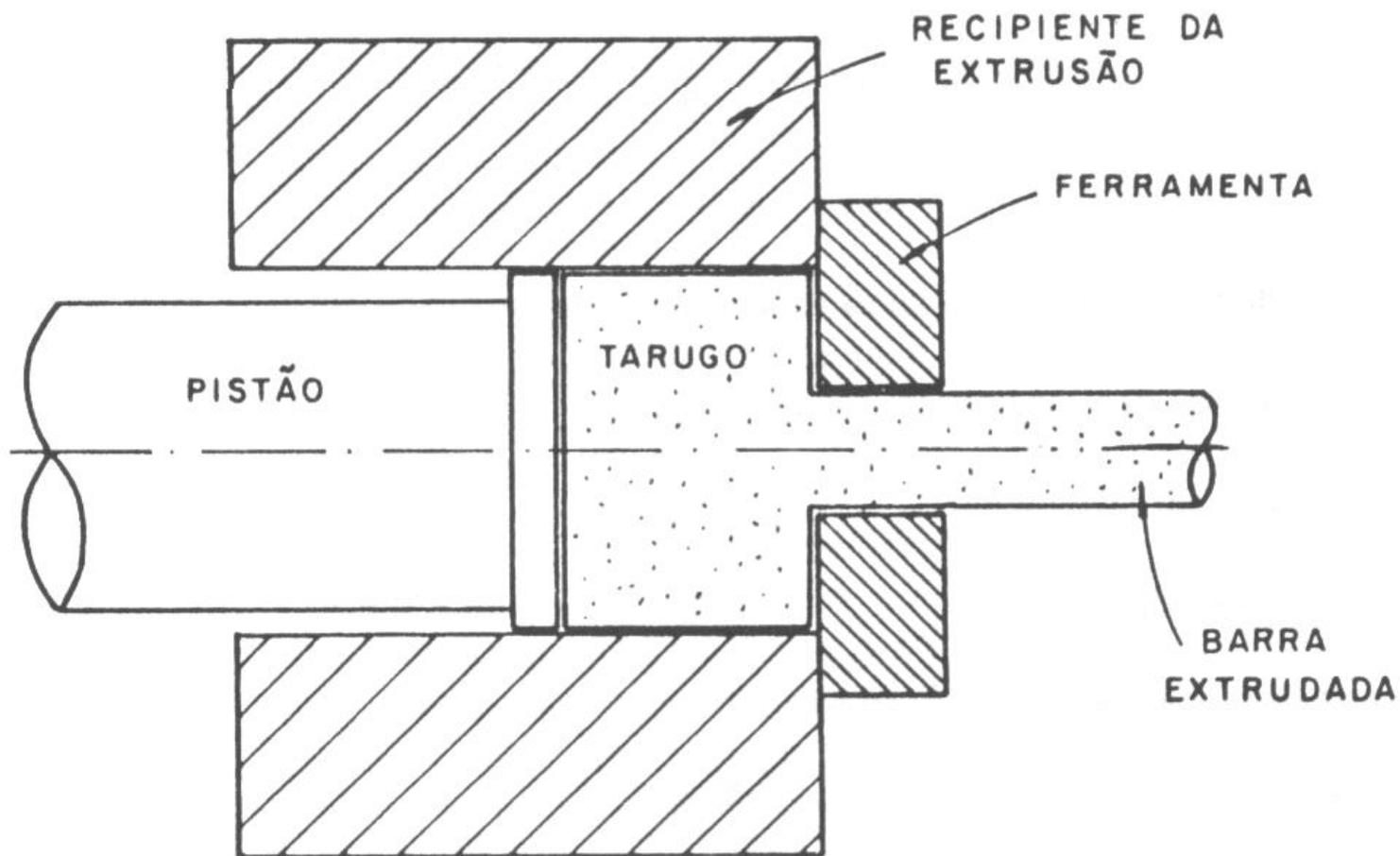
EXTRUSÃO

Variações do processo:

- 1) **Direto:**
 - movimento do material extrudado no mesmo sentido de avanço do embolo
 - com casca, para reduzir o atrito e eliminar superfície contaminada
- 2) **Inverso:**
 - movimento do material extrudado no sentido contrário ao de avanço do embolo
 - vantajoso, pois não há atrito do tarugo com o recipiente
 - limitado, pois o embolo oco (para barras) ou esbelto (para tubos) não permite a obtenção de produtos com seções reduzidas
- 3) **Hidrostático:**
 - transmissão de pressão ao tarugo por meio de um fluido hidráulico
 - possibilidade de grandes reduções de seção a frio devido à redução do atrito

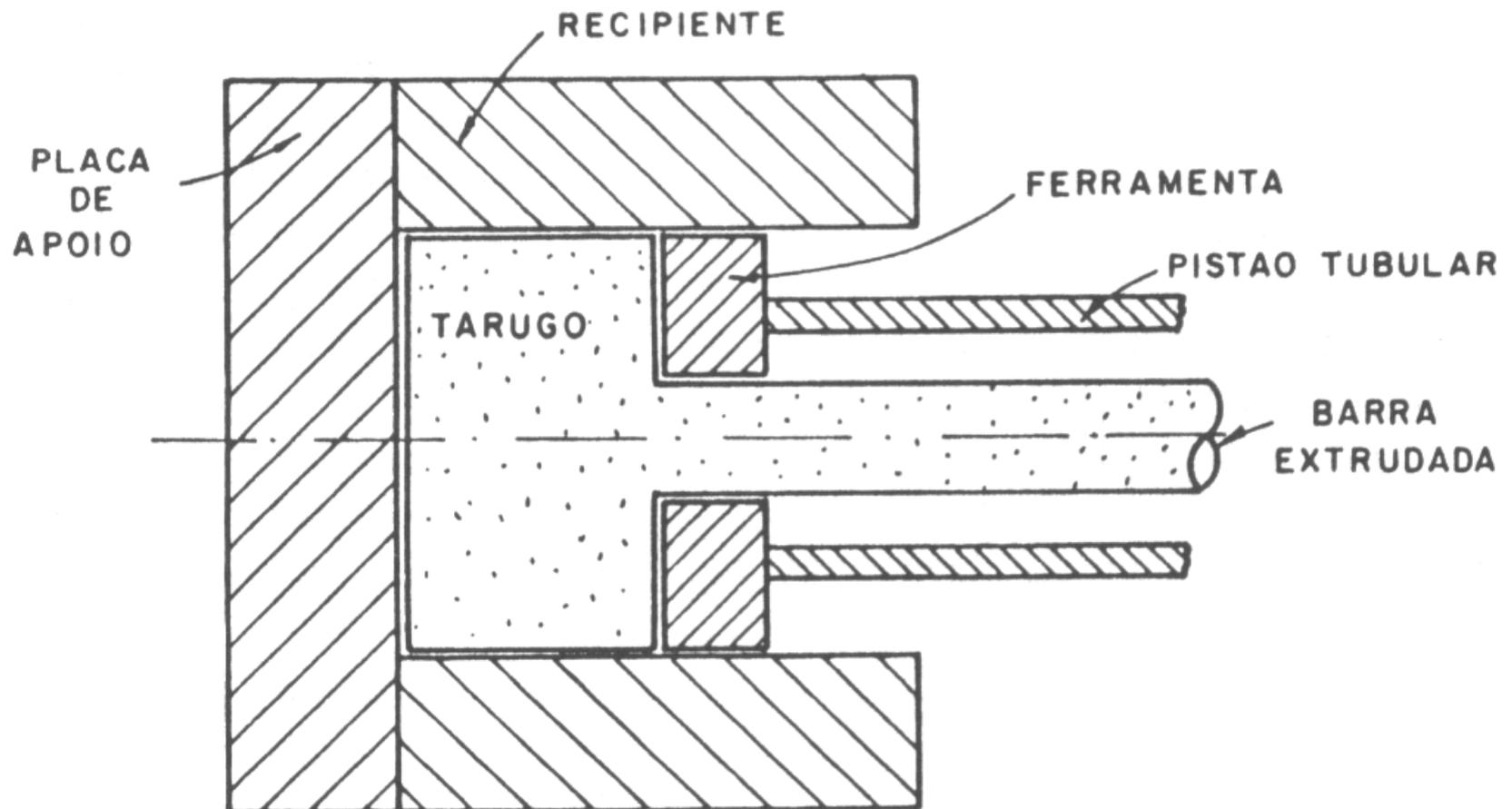


EXTRUSÃO DIRETA

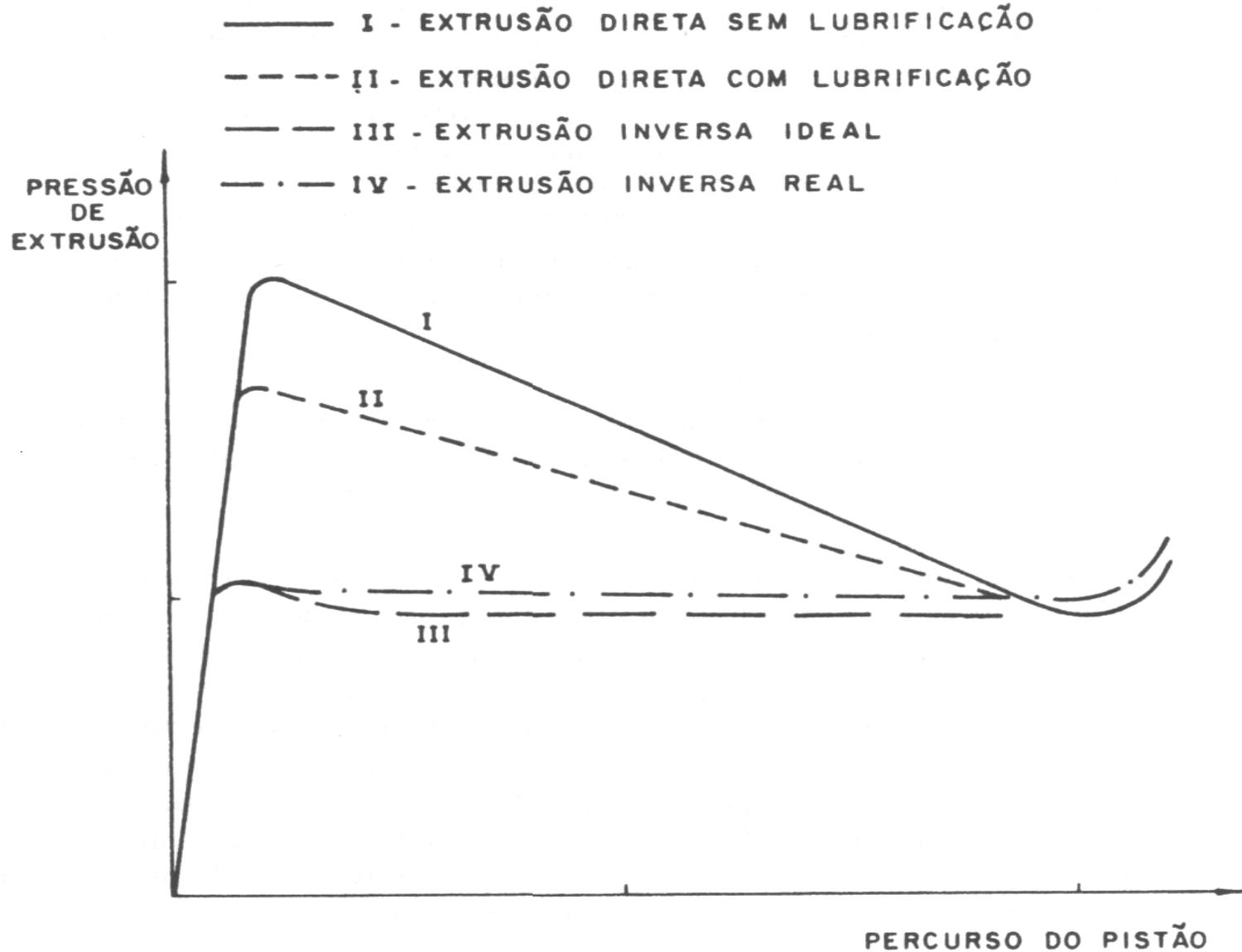




EXTRUSÃO INVERSA

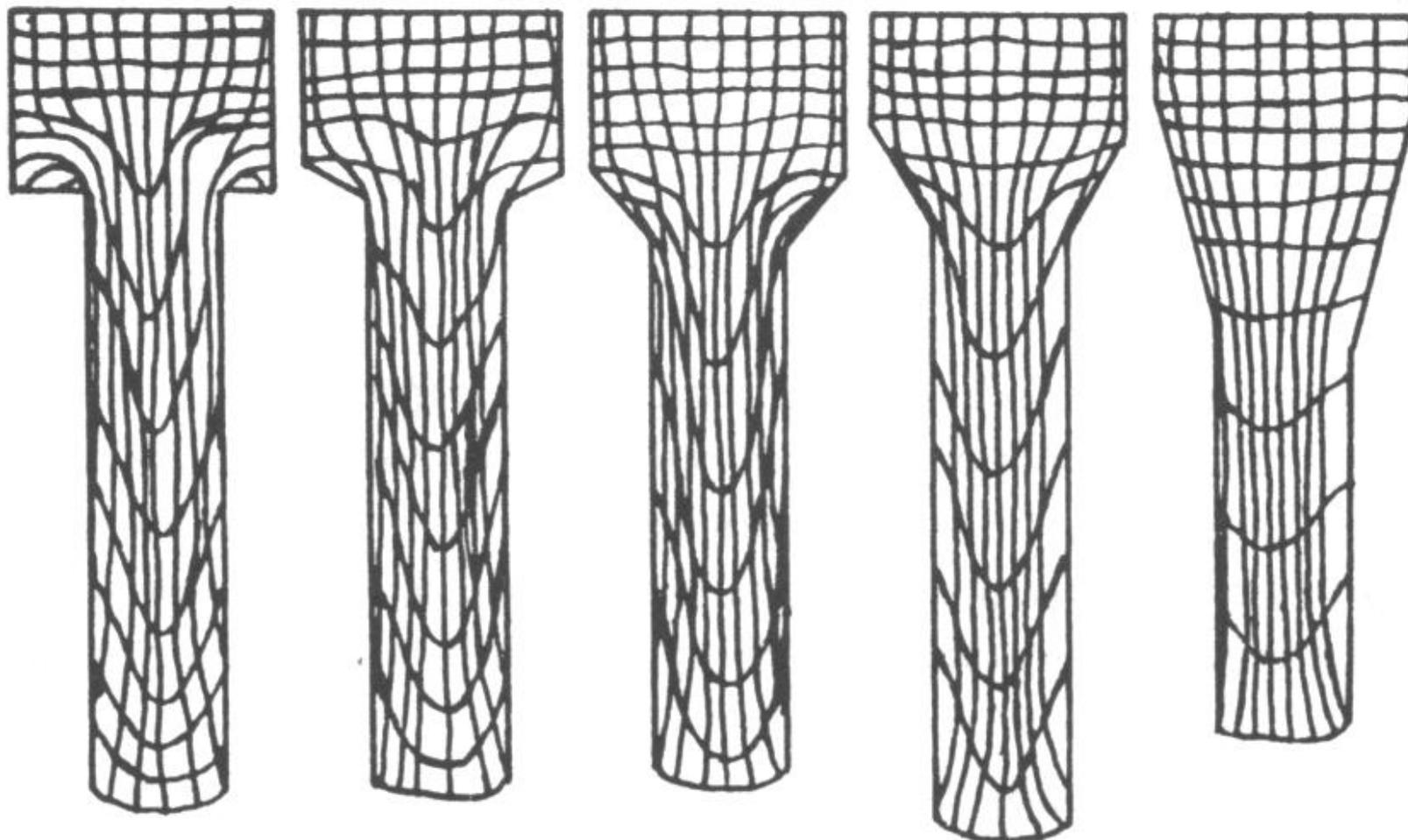


Curvas de Pressão de Extrusão

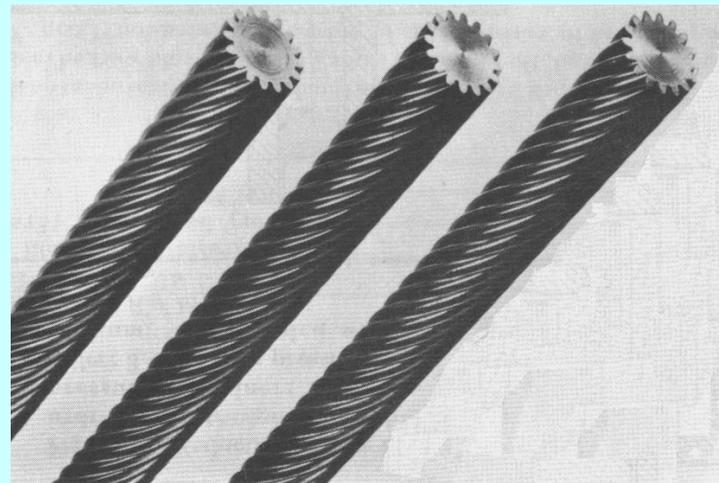
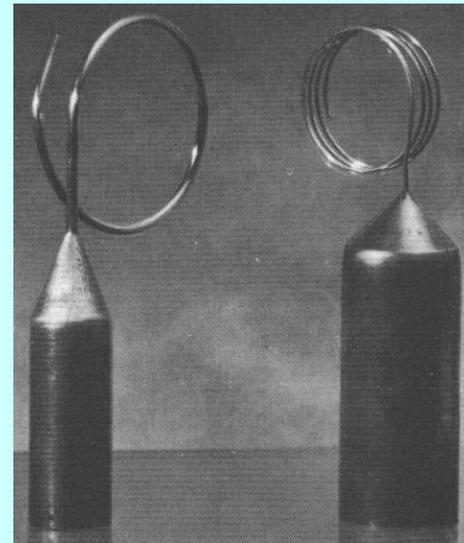
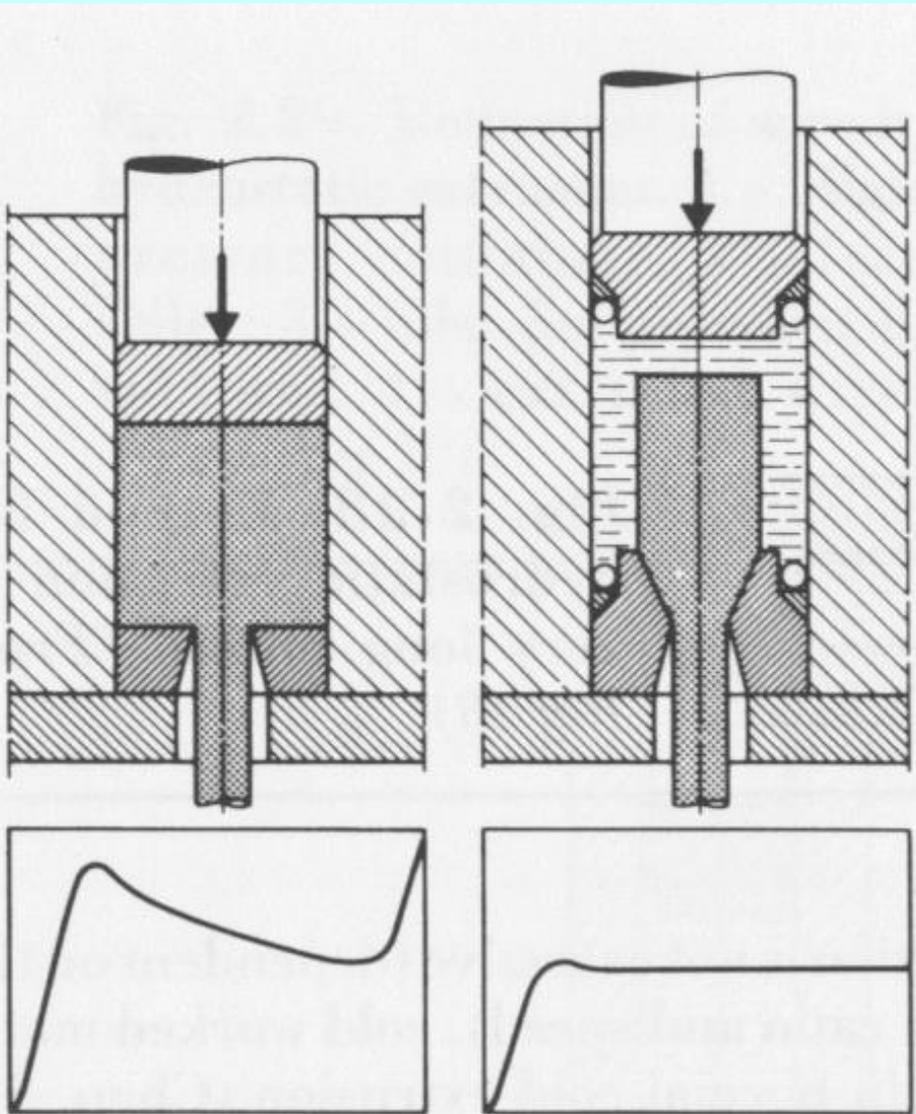




Modos de Escoamento na Extrusão



Extrusão Hidrostática

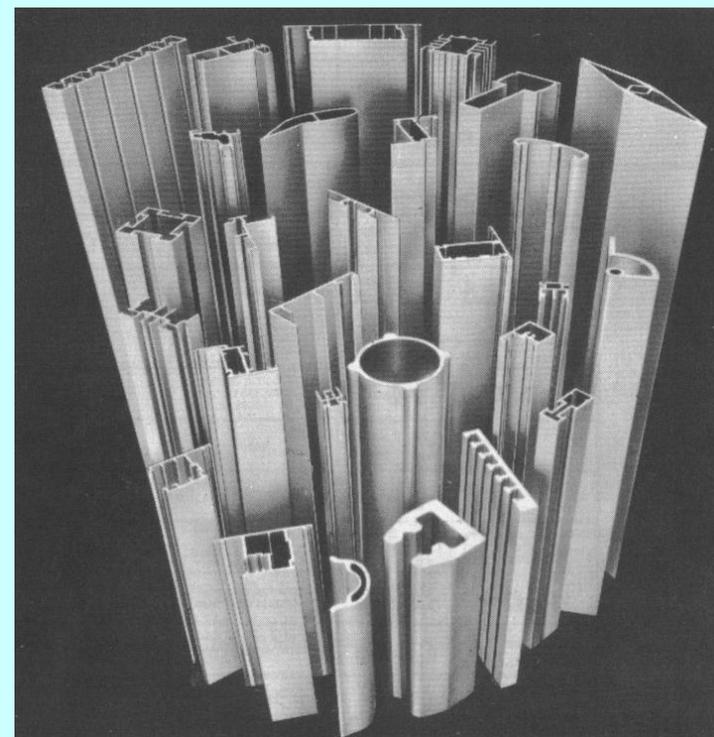
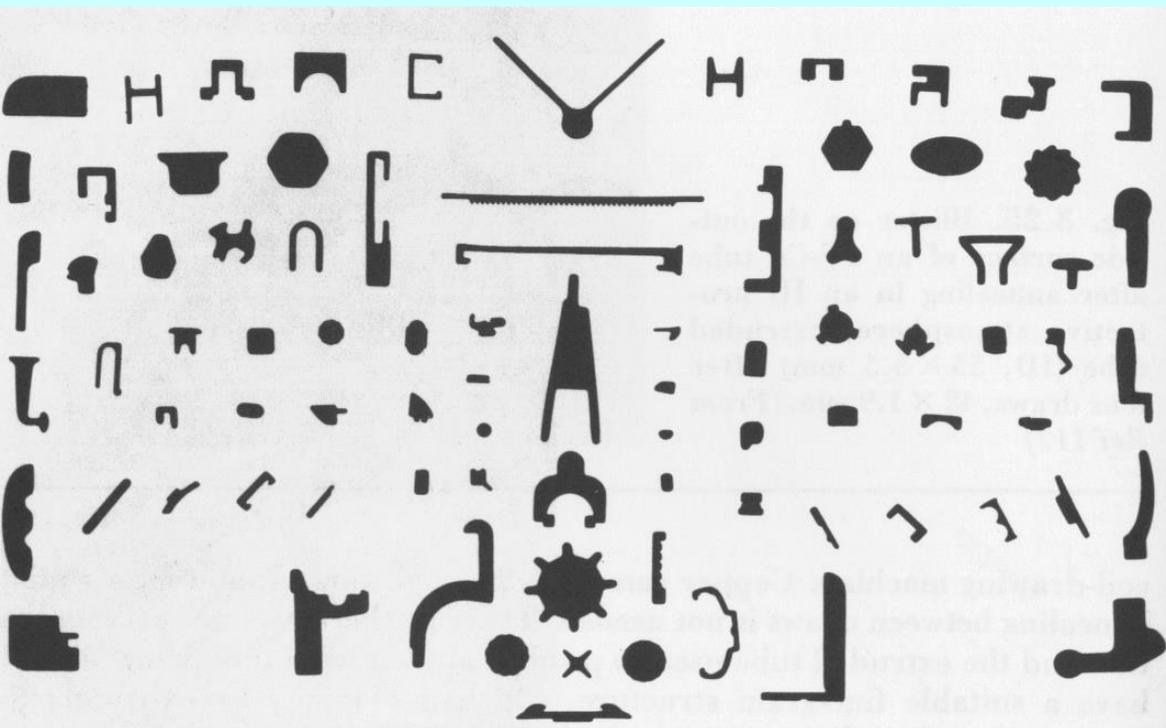




PERFIS DE PRODUTOS EXTRUDADOS A QUENTE

Perfis de cobre

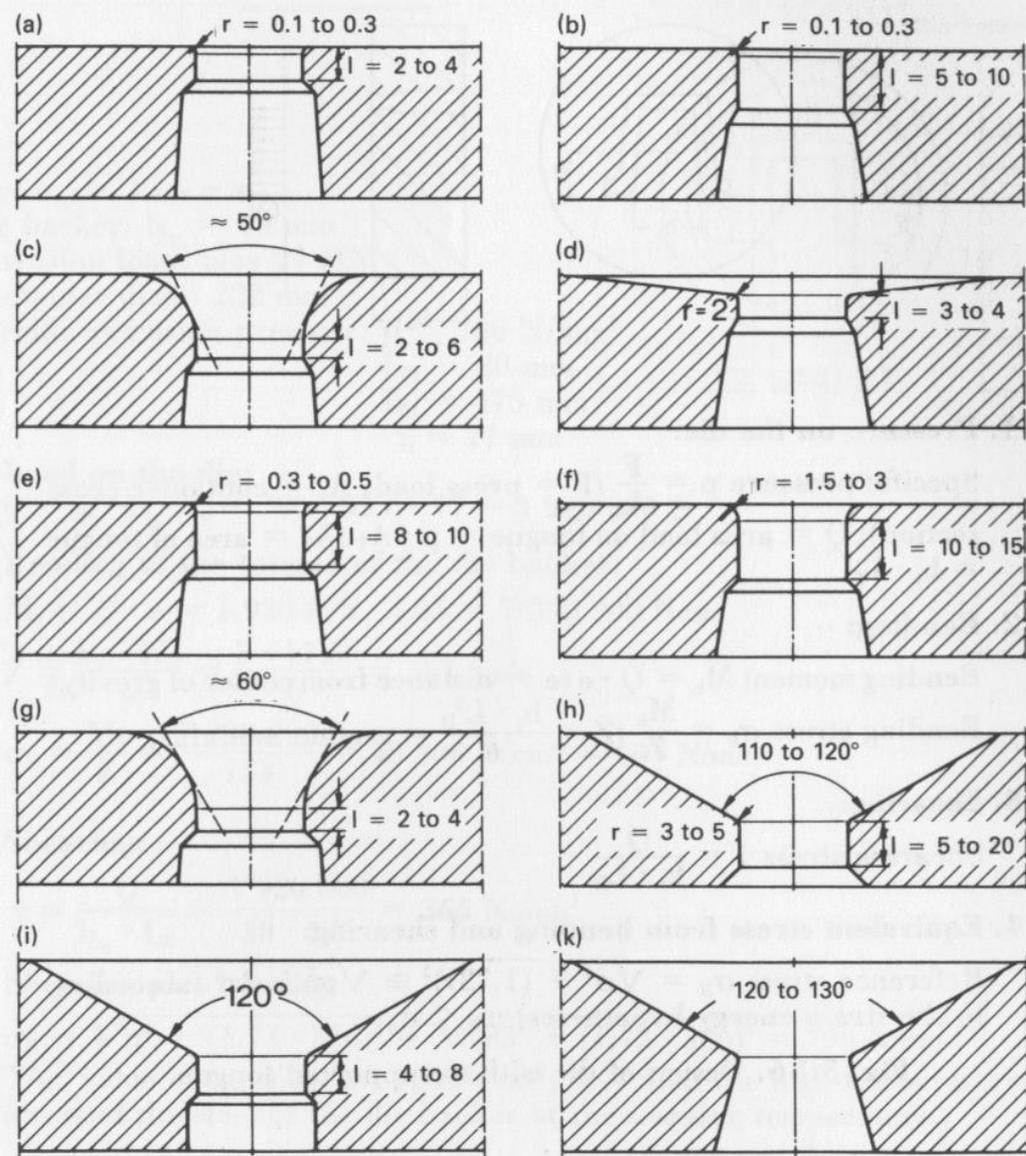
Perfis de alumínio





Geometrias de matrizes

- a) Al puro, AlMn, AlMgSi
- b) AlCuMg, AlMg, AlZnMg
- c) MgAl, MgZnZr
- d) PbCu, PbSb
- e) CuZnPb
- f) CuCd, CuSb
- g) ligas de Zn
- h) aços
- i) Ligas de Ti
- k) Ligas de Ni, Cr (altas T)





PROCESSO DE ESTAMPAGEM

- **Processos para conformação de superfícies**

Deformações localizadas → **Chapas e folhas**

Produtos: peças isoladas

- **Esforços:**

**Flexão, Compressão, Cisalhamento, Estiramento
de acordo com o processo e o produto**

ESTAMPAGEM PROFUNDA

- **Copos e caixas**
- **Estampos progressivos**
- **Outros processos por estampagem**



MECÂNICA DA ESTAMPAGEM PROFUNDA

ELEMENTOS CONSTRUTIVOS:

- Punção, matriz, sujeitador, extrator

SUJEITADOR:

- Evita o enrugamento da aba e do copo
- Pressões de sujeição entre 5 e 10 kgf/cm²

ESFORÇOS PREDOMINANTES NAS REGIÕES DO COPO

- De acordo com a região e a fase do processo, os esforços podem ser de compressão, tração ou flexão
- Nível dos esforços e afinamento da espessura dependem do atrito entre chapa e ferramentas

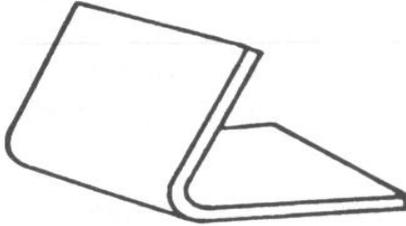
EQUIPAMENTOS DE ESTAMPAGEM

- Movimento alternativo: prensas
- Movimento contínuo: laminadores, calandras



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DOBRAMENTO



FLANGEAMENTO

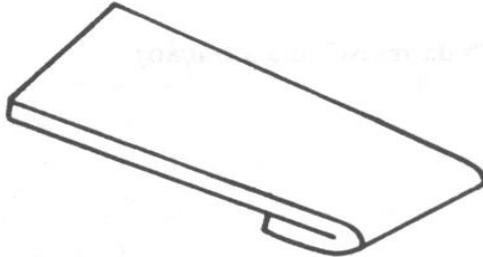


RETO

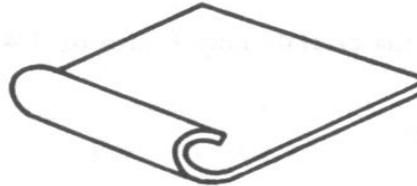


DE FURO

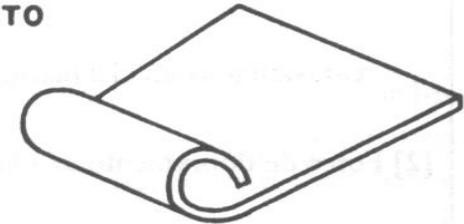
REBORDAMENTO



ENROLAMENTO

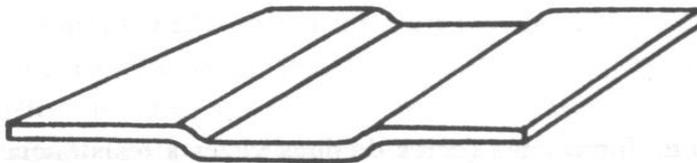


PARCIAL

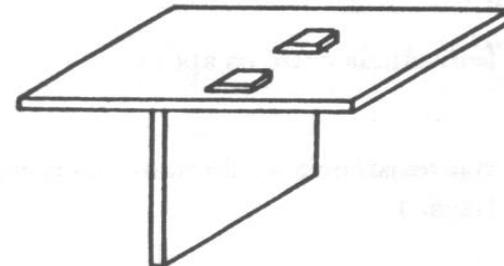


TOTAL

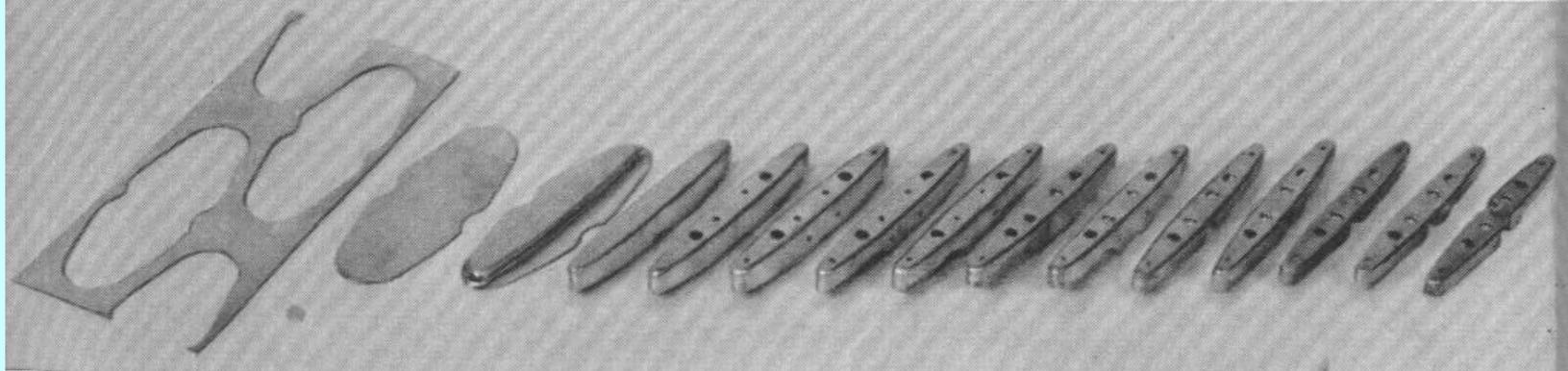
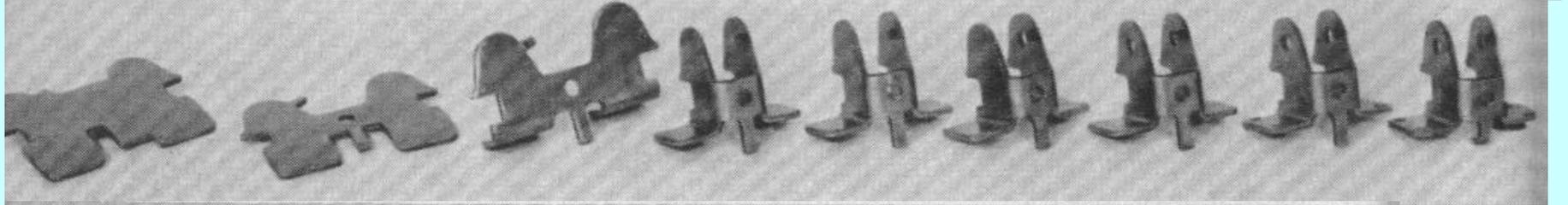
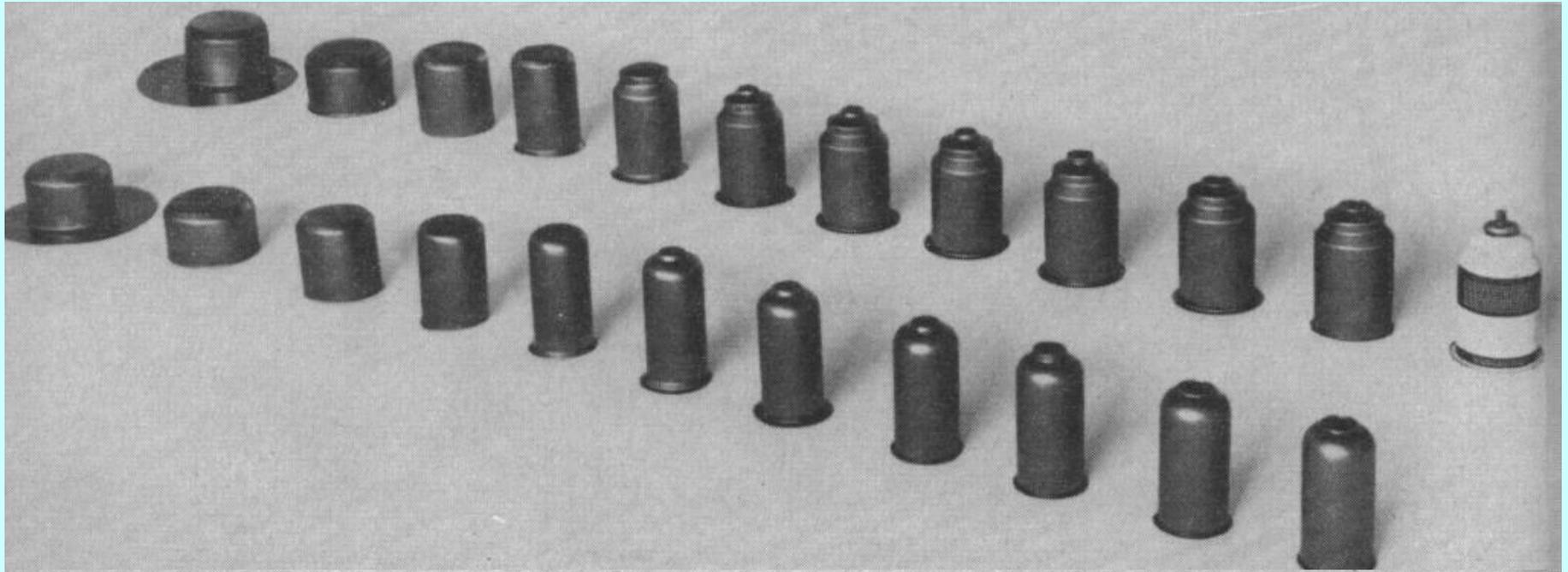
NERVURAMENTO



ESTAQUEAMENTO

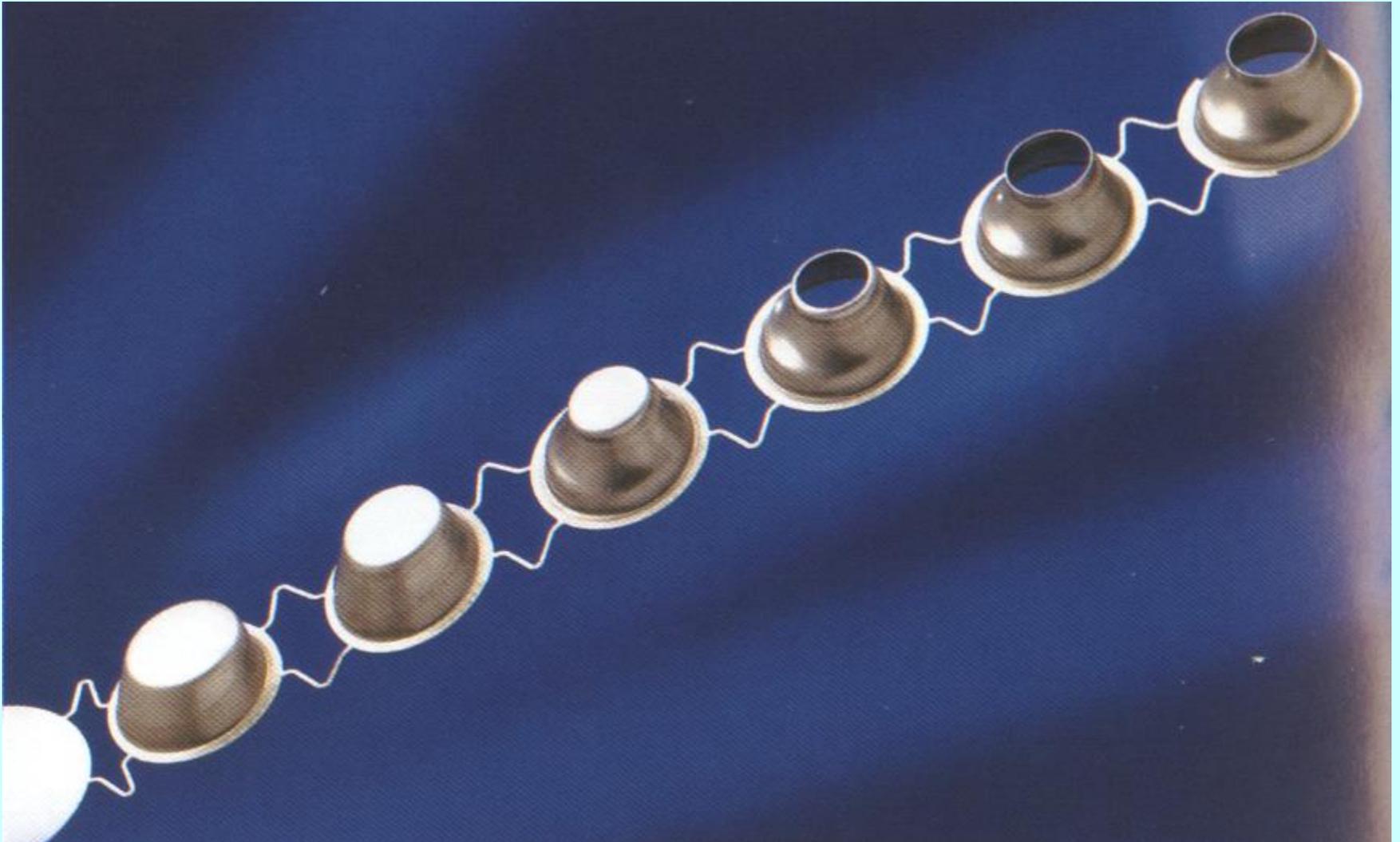


EXEMPLOS DE ESTAMPAGEM



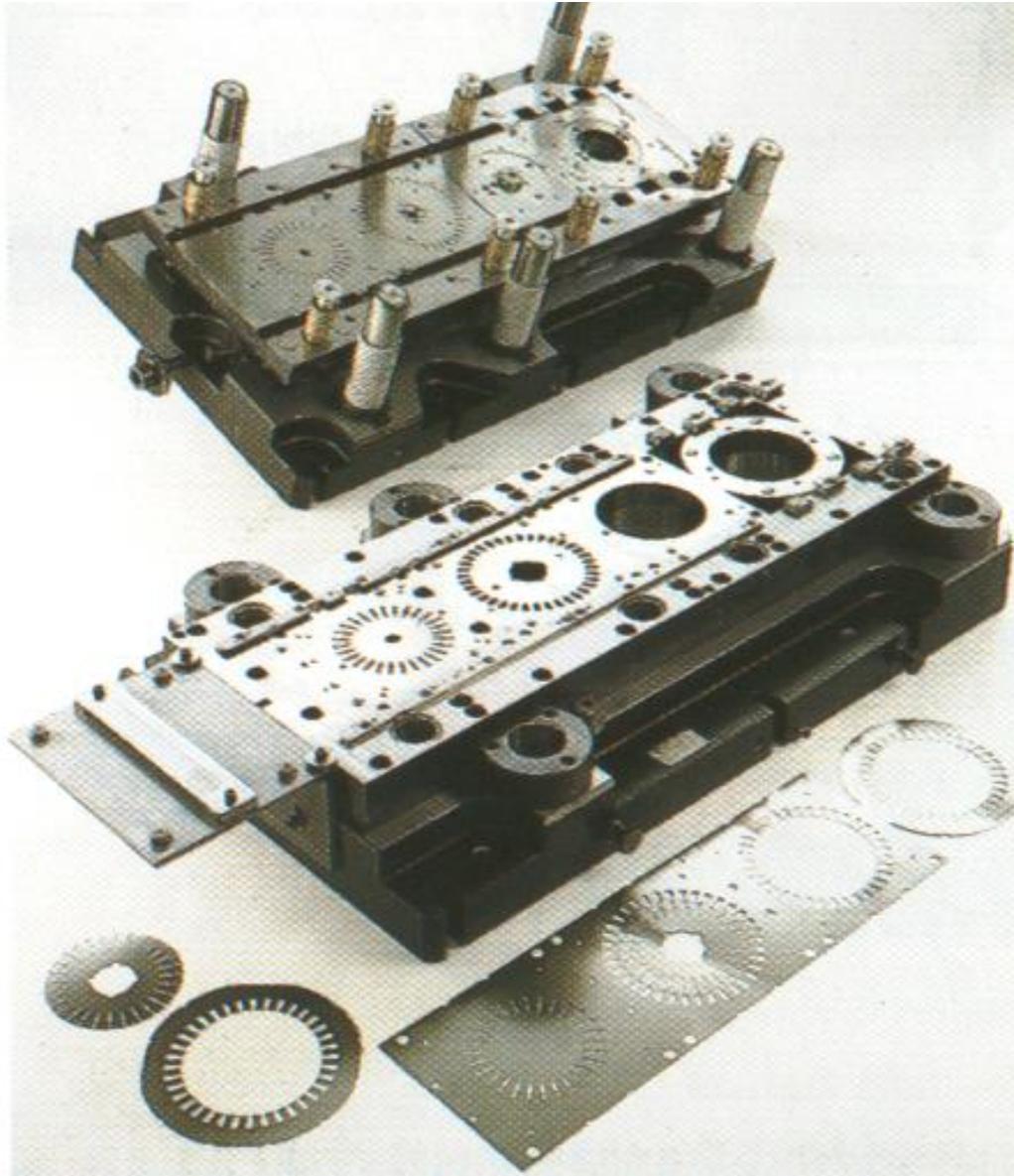


TIRA OBTIDA EM ESTAMPO PROGRESSIVO



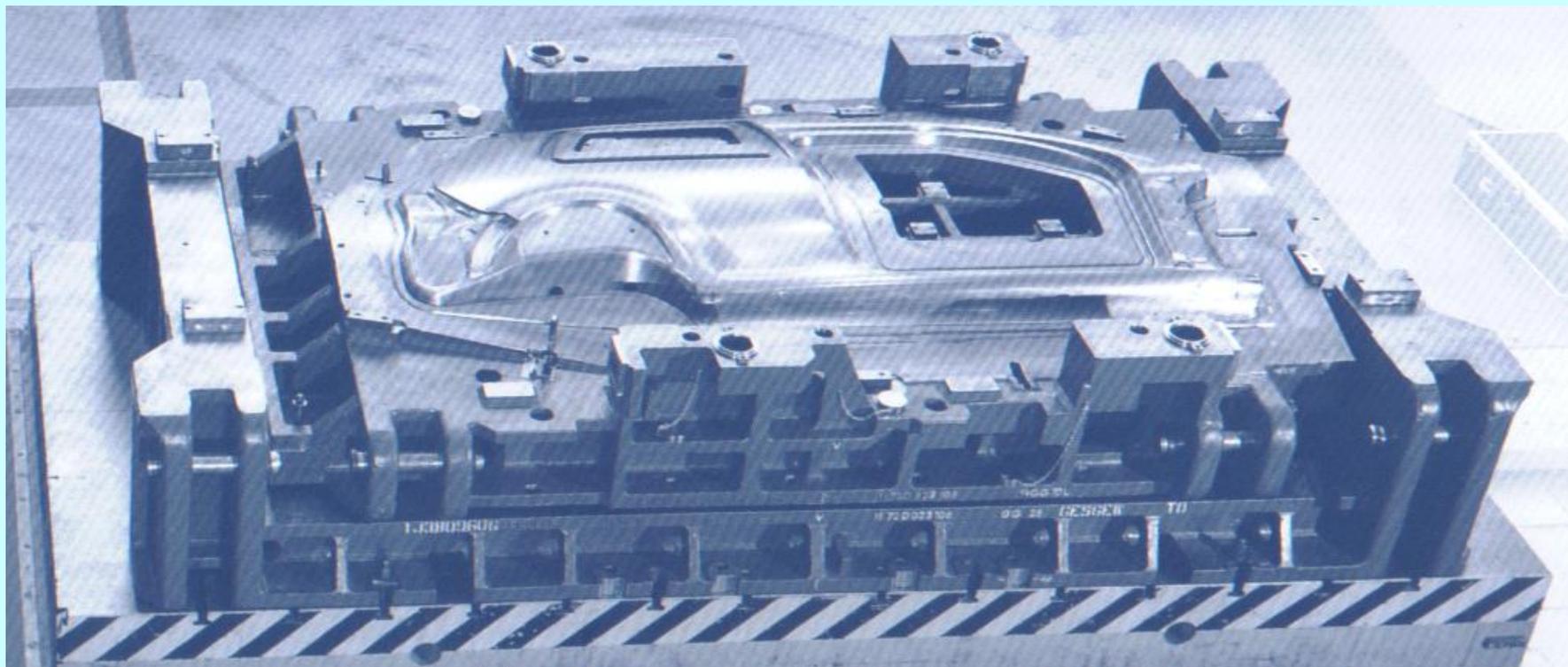


ESTAMPO
PROGRESSIVO





MATRIZ DE ESTAMPAGEM



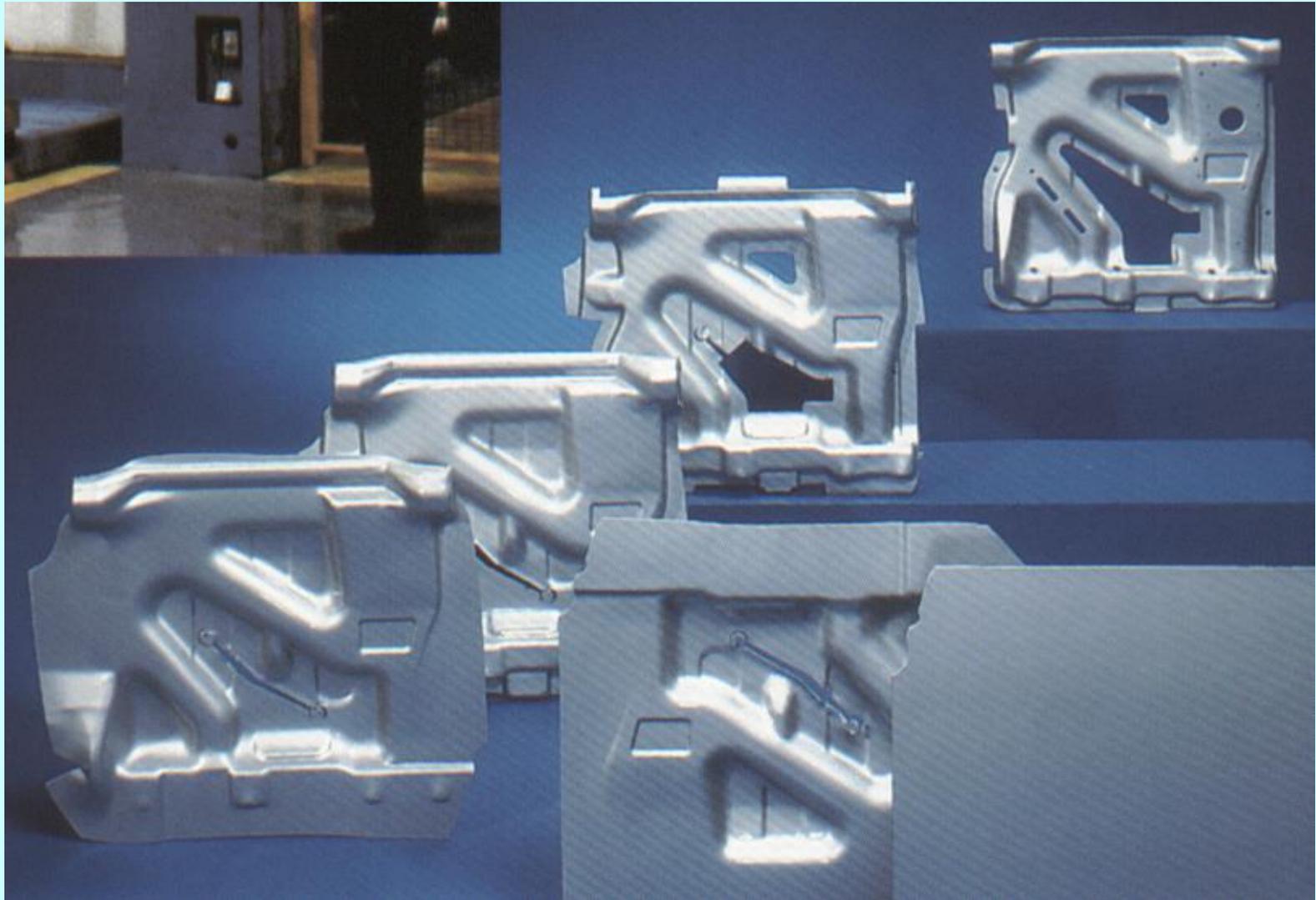


MATRIZ DE ESTAMPAGEM



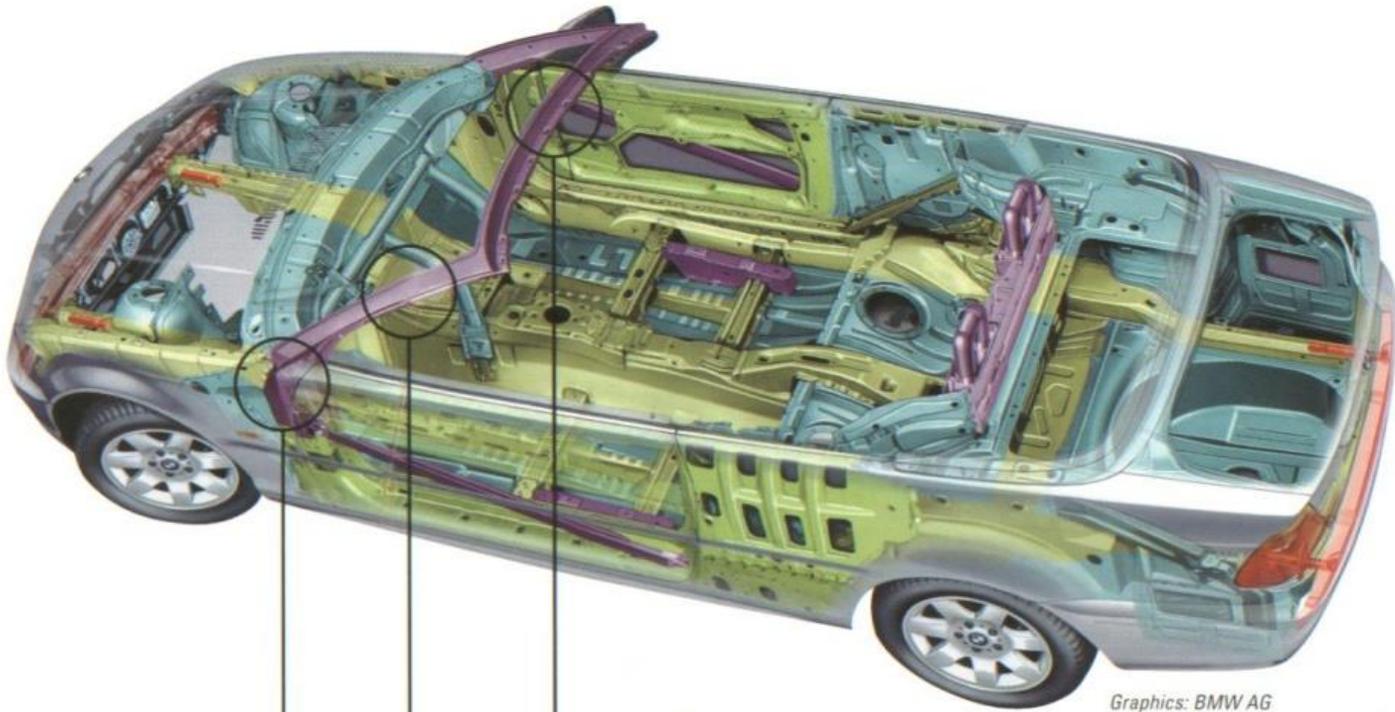


SEQÜÊNCIA DE CHAPAS ESTAMPADAS





ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



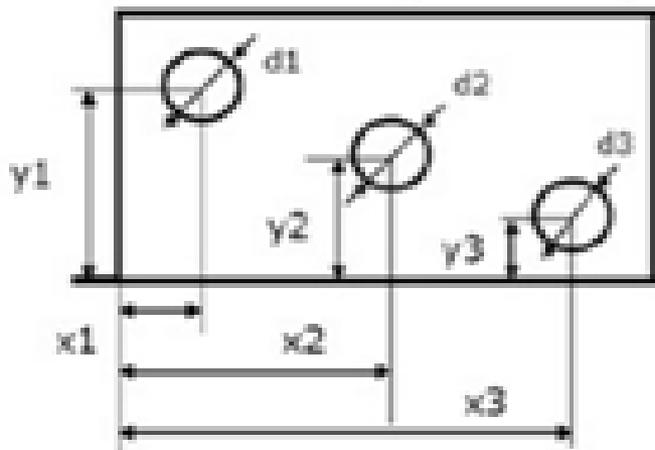
Graphics: BMW AG





Distribuição das forças na estampagem

Para evitar problemas diversos, como rebarbas excessivas, desgastes severos da ferramenta, vibrações e desbalanceamentos, é preciso distribuir as forças segundo um baricentro.



$$x_G = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

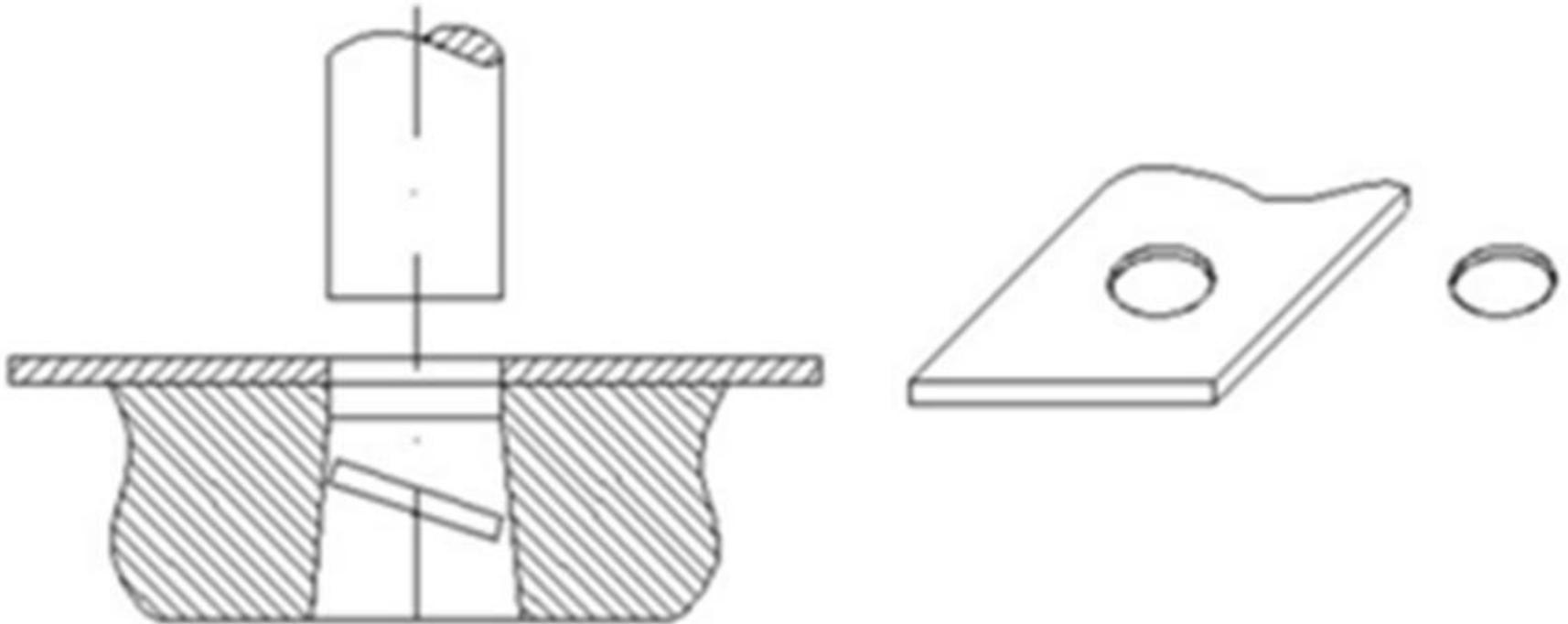
$$y_G = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3}{P_1 + P_2 + P_3}$$

P = força de estampagem



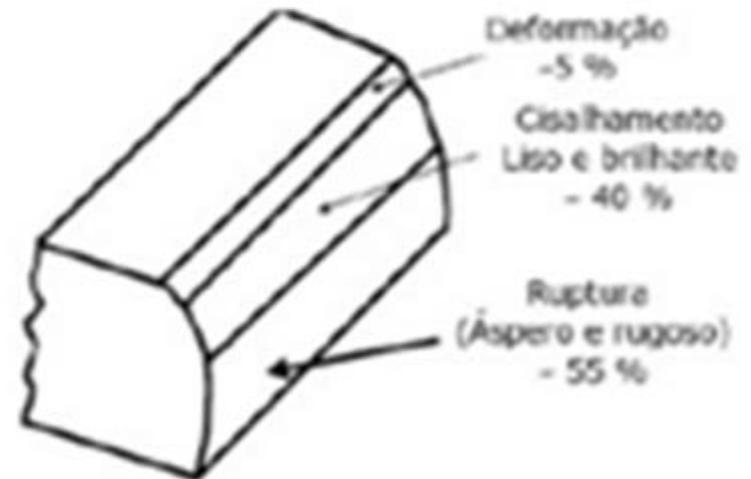
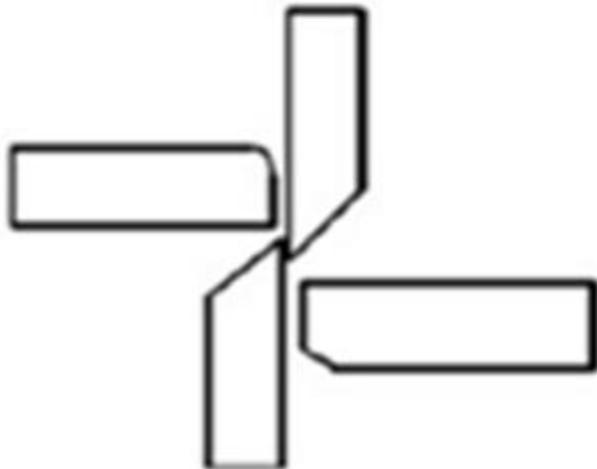
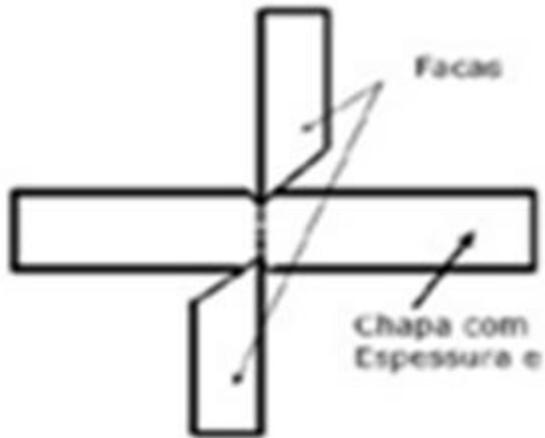
Operações de Corte

Puncionamento – É a obtenção de figuras geométricas por meio de punção e matriz através de impacto.





Operações de Corte





Força de corte

$$F_c = \tau_{rup} \cdot A_c$$

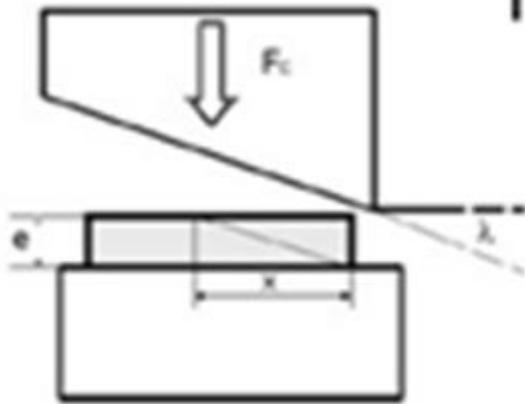
F_c = Força de corte

τ_{rup} = Tensão de ruptura por cisalhamento

A_c = a área de corte



Força de Corte Tesoura Guilhotina



$$\frac{e}{x} = \operatorname{tg} \lambda \quad (1)$$

$$A_c = \frac{e \cdot x}{2} \quad (2)$$

$$F_c = A_c \cdot \tau_{cis}$$

$$A_c = \left\{ \begin{array}{l} \frac{e^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \lambda} \quad (3) \end{array} \right.$$

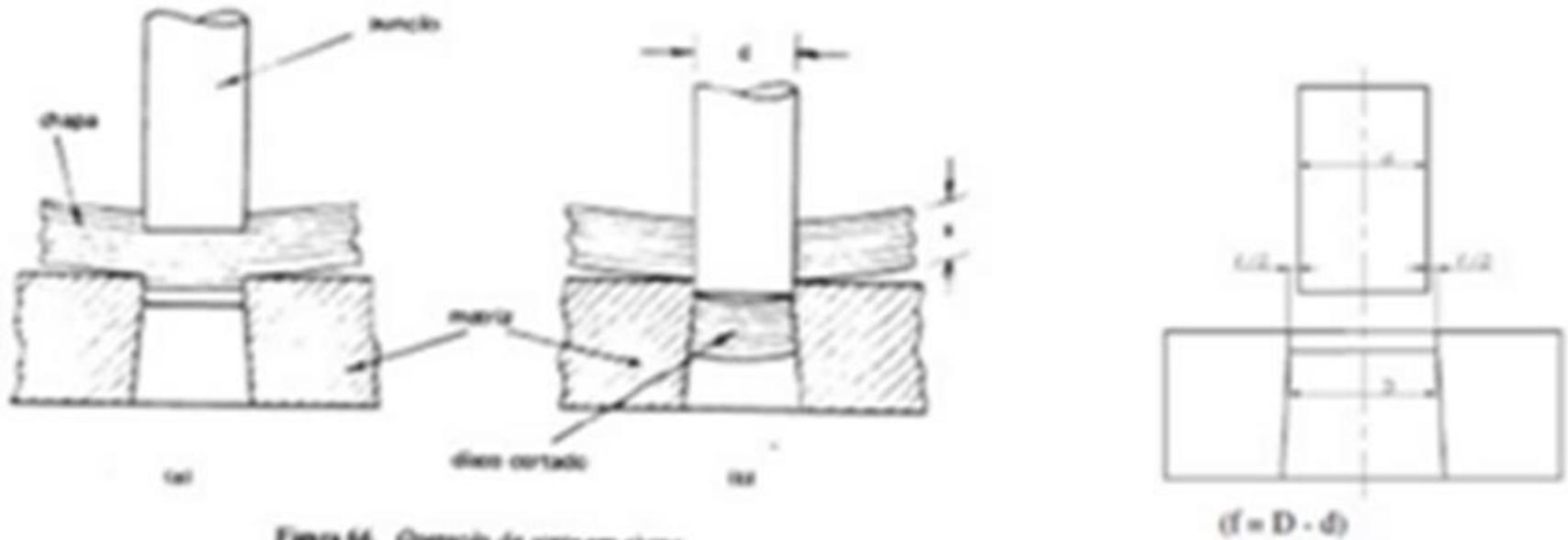
$$\left. \begin{array}{l} F_c = A_c \cdot \tau_{cis} \end{array} \right\} F_c = \frac{e^2 \cdot \tau_{cis}}{2 \cdot \operatorname{tg} \lambda} \quad (4)$$

e = espessura da chapa



Puncionamento

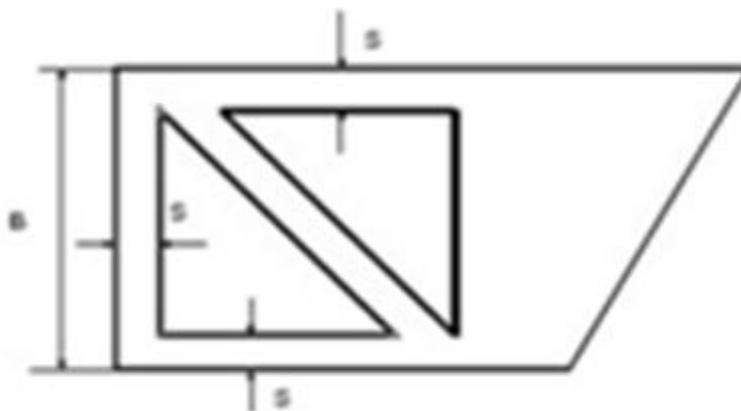
- Operação realizada com o estampo (punção-matriz)





Layout de corte

- No punção é necessário haver um espaçamento (s) entre as arestas de corte.



$S = 0,4e + 0,8 \text{ mm}$

$S = 2 - 2e$

$S = 1,5 (0,4e + 0,8 \text{ mm})$

$S = 1,5 (2 - 2e)$

$B \leq 70\text{mm} ; e \geq 0,5$

$B \leq 70\text{mm} ; e < 0,5$

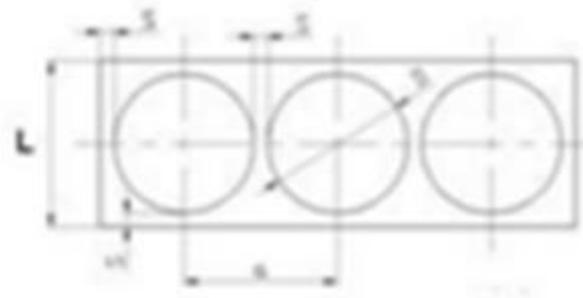
$B \geq 70\text{mm} ; e \geq 0,5$

$B \geq 70\text{mm} ; e < 0,5$

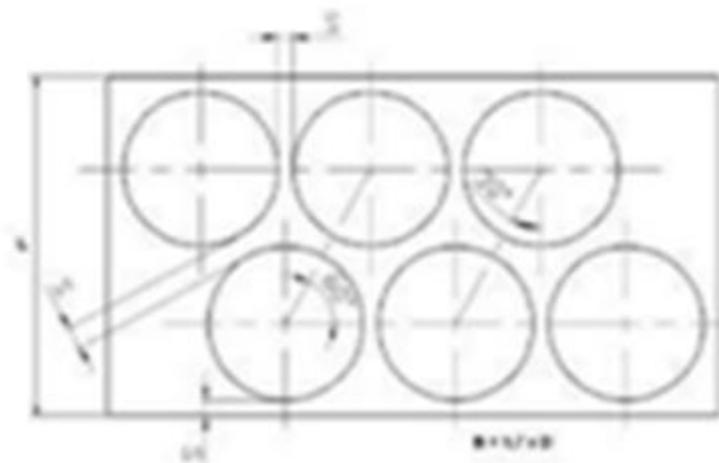


Exemplos de layout

- Estampos simples, com um punção



- Estampos com dois punções





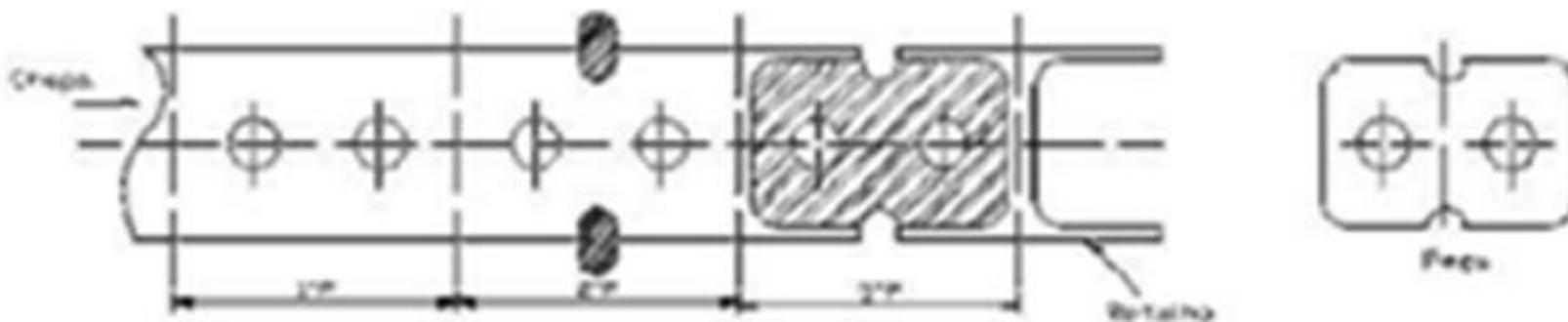
Layout de Chapas

- O estudo do layout visa obter o máximo aproveitamento (rendimento) da chapa.
- O layout depende de:
 - Limites das prensas (carga e dimensões);
 - Volume de produção;
 - Sentido da laminação (em alguns casos);
 - Características dos materiais (espaçamentos).
- $\eta = \frac{\text{área das peças}}{\text{área da tira}}$ = rendimento da tira.
- $\eta = \frac{\text{área das peças}}{\text{área da chapa}}$ = rendimento da chapa (ou bobina).



Estampos Progressivos

- No estampo progressivo anterior:
 - 1º passo – corte do retalho lateral e marcação do passo, corte do furo interno
 - 2º passo – corte do rasgo para completar a forma do furo interno.
 - 3º passo – passo morto.
 - 4º passo – separação das peças.
- Outro exemplo

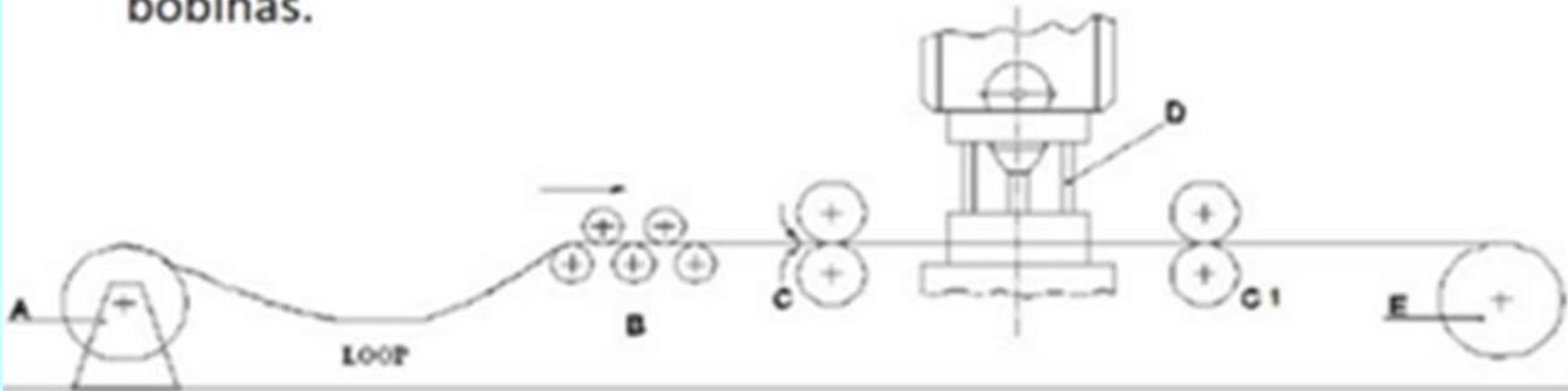


- 1º Passo – corte dos furos internos
- 2º Passo – execução do recorte externo
- 3º Passo – corte do contorno e separação do retalho



Grandes Produções

- Estampos com alimentadores automáticos e tiras na forma de bobinas.



Esquema de um processo utilizado em alta produção

A – bobina de material enrolado

B – endireitadora de chapa

C – alimentador automático (empurrando a fita)

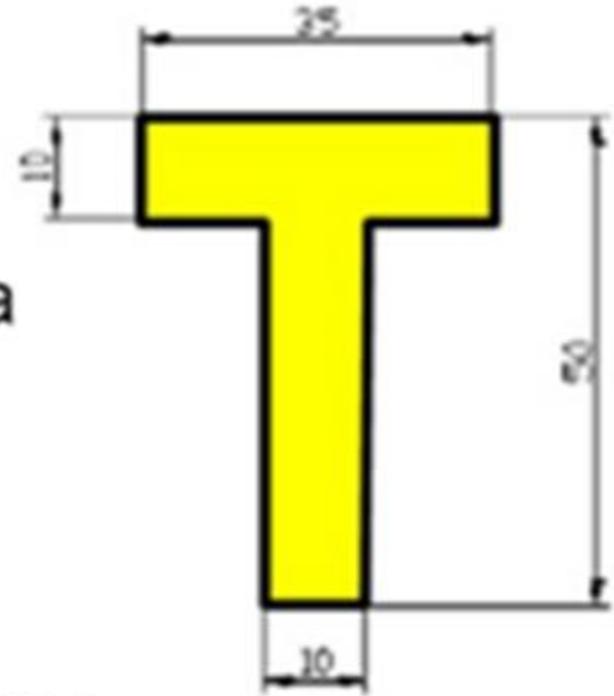
C1 = Alimentador automático após a ferramenta (puxando a fita)

D – estampo

E – bobina de retalho

Exercício

Dados o desenho da peça e demais informações abaixo, faça um layout de estampagem e calcule o rendimento da chapa.



(Layout otimizado)

- Dimensões da chapa: 2000 x 1000 mm.
- Largura máxima da tira: 120 mm (limitação máq.).
- Espaçamento requerido entre peças e nas bordas da tira $s = 2$ mm.

Fazer em grupo (mesmo grupo do Lab.)

Entrega: 10/11/20