



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**

***Conformação dos Materiais Metálicos***

# Processamento para obtenção de microestruturas (propriedades) EGF8

18

- ✓ Métodos de obtenção EGF9
  - Conformação no estado líquido (fundição)
  - Conformação mecânica
  - Metalurgia do pó
  - Combinações de métodos
- ✓ Tratamentos térmicos
- ✓ Tratamentos termoquímicos
- ✓ Tratamentos termomecânicos

## Slide 2

---

**EGF8** Eu colocaria outro tipo, pois não necessariamente um determinado processo causará uma micro-estrutura e conseqüentemente uma propriedade; isto depende do material.

Eu diria: "Processamento e seus efeitos na relação estrutura-propriedade"

Elizabeth Grillo Fernandes; 06/04/2014

**EGF9** obtenção do que?

Não seria mais adequado usar "Processos de fabricação"?

Elizabeth Grillo Fernandes; 06/04/2014

# **CONFORMAÇÃO NO ESTADO LÍQUIDO**

# Fundição

- Material é aquecido acima de sua temperatura de fusão e vazado em um molde
- Estrutura resultante, em geral, pode apresentar grandes heterogeneidades de composição química
- Estrutura resultante pode ser de grãos grandes
- Em virtude das heterogeneidades químicas, as propriedades mecânicas podem ser prejudicadas
- Pode ser de peças em moldes, contínua ou semi-contínua

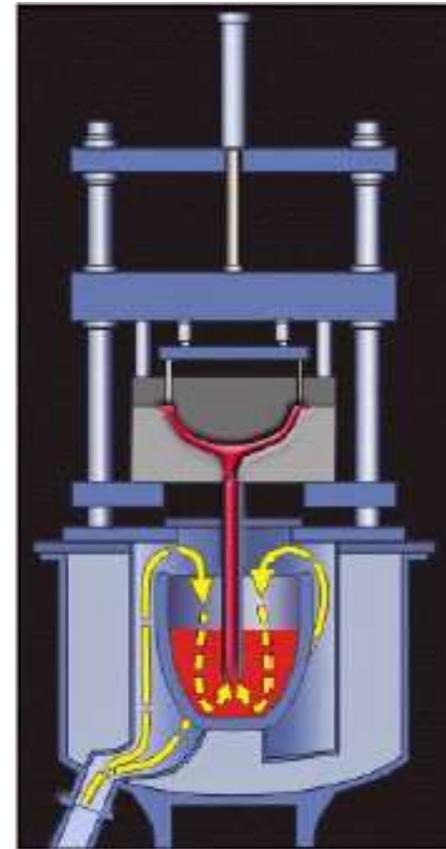
# Fundição de peças

- Moldes de areia
  - Um modelo da peça é envolvido em areia e esta é compactada
  - O metal fundido é vazado nesse molde
  - Processo artesanal
  - Detalhes ocios são obtidos por meio de machos
  - Torneiras, conexões de cobre e bronze



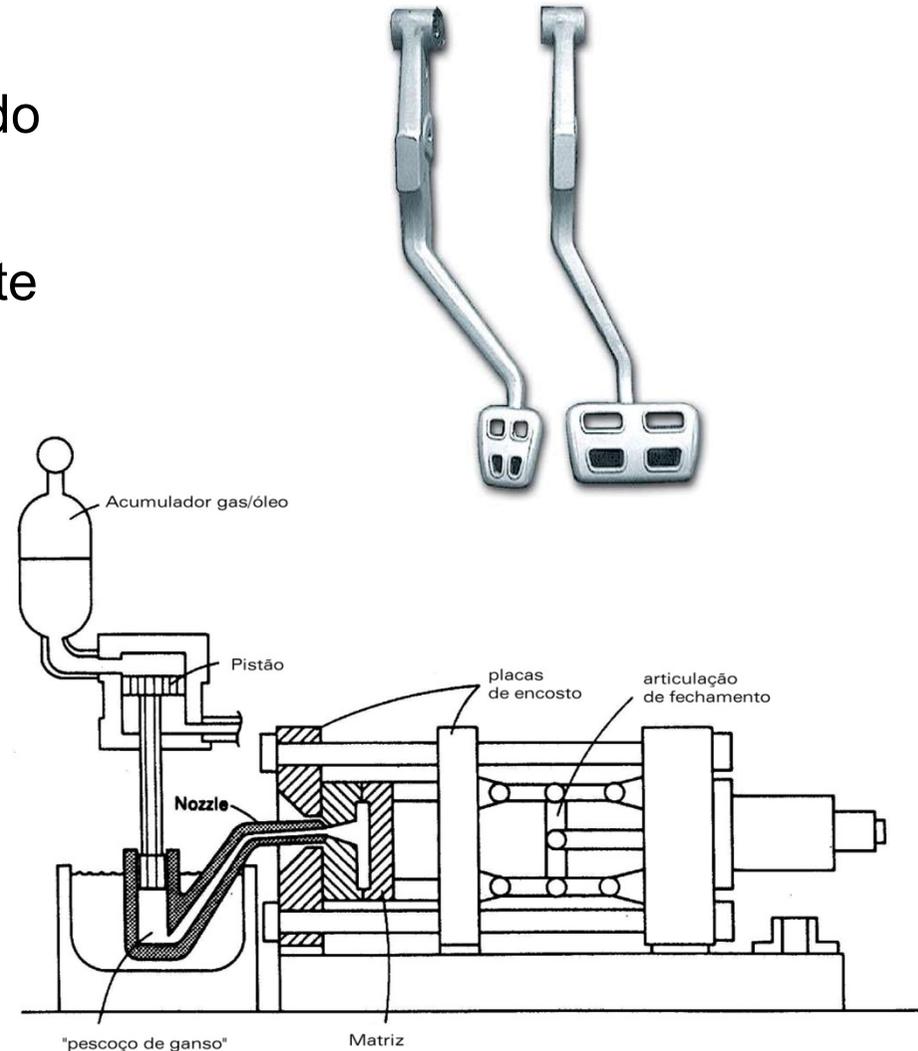
# Fundição de peças

- Fundição sob pressão
  - O metal fundido é injetado dentro do molde sob baixa ou alta pressão, dependendo das necessidades
  - Moldes metálicos refrigerados



# Fundição de peças

- Fundição sob pressão
  - O material injetado sob alta pressão preenche a cavidade do molde
  - Injeção sob alta pressão permite peças de paredes finas, com geometria complexa e com dimensões próximas às finais.



Esquema de uma máquina de injeção de alta pressão do tipo câmara quente

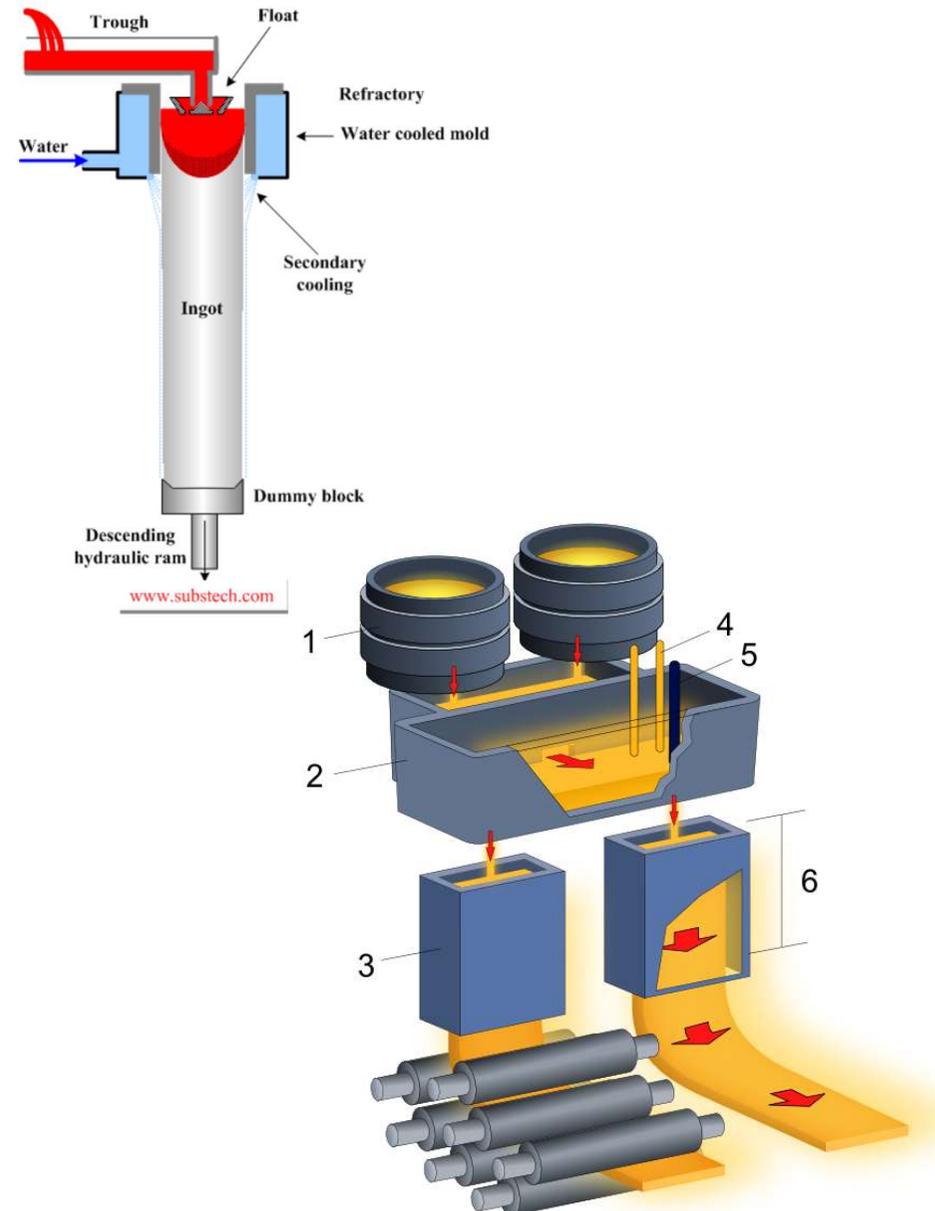
# Fundição de peças

- Fundição a cera perdida
  - Um modelo de cera da peça é recoberto com o material do qual é feito o molde
  - A cera é derretida e extraída
  - Vaza-se o metal
  - Alta produtividade, podendo ser feitas várias peças em um único molde



# Fundição contínua e semi-contínua

- O molde é vazado, e tem suas paredes resfriadas
- O material começa a solidificar dentro do molde, e é puxado por um sistema posicionado logo abaixo
- O resfriamento é auxiliado por um sistema secundário após a saída da região do molde
- Processo contínuo: alimentação contínua de metal fundido
- Processo semi-contínuo: processo para a cada lingote produzido



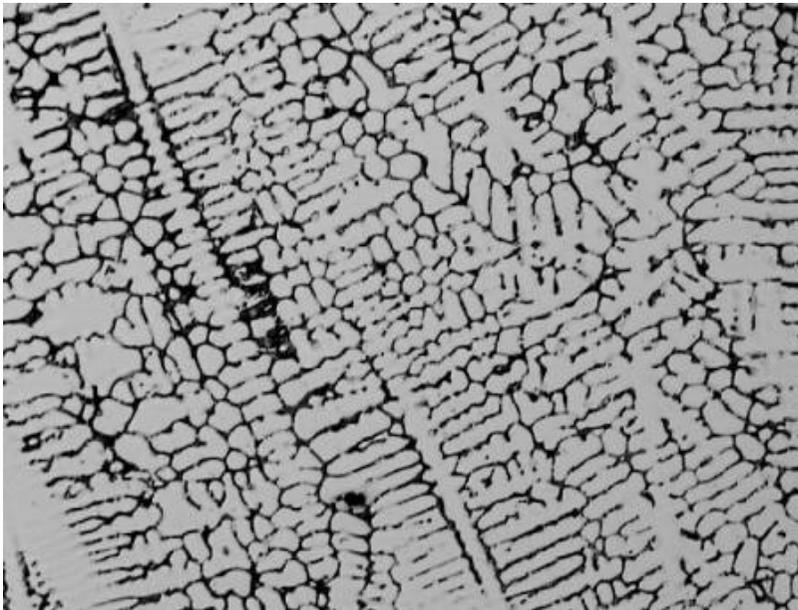
# Fundição centrífuga

- Peças com simetria radial
- Tubos, cilindros
- O metal fundido é vazado em um molde giratório
- A rotação faz com o líquido migre para as paredes do molde



# Fundição

- Estruturas brutas de fundição



<http://www.sm2000.coppe.ufrj.br/mirror/sarra/artigos/artigo10110/index.html>



**Tubo de cobre fundido continuamente**

# **CONFORMAÇÃO MECÂNICA NO ESTADO SÓLIDO**

# Laminação

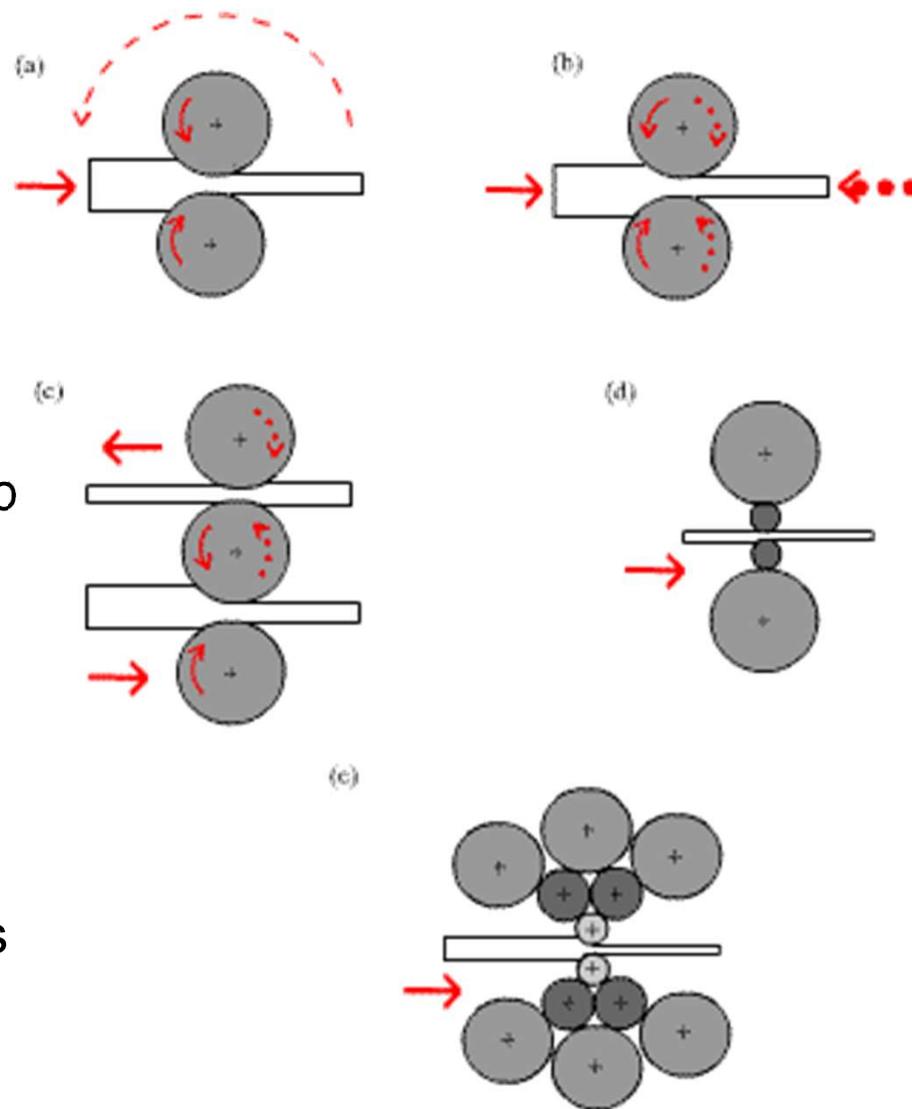
- Passagem de um material entre dois cilindros
- Pode produzir materiais planos ou perfis
- Realizada em alta ou baixa temperatura
- Grandes reduções em poucos passes são normalmente feitas a quente
- Grandes reduções a frio requerem múltiplos passes



# Laminação

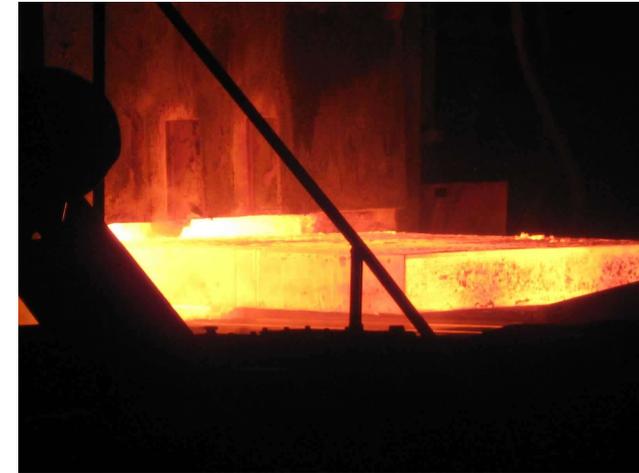
41

- Produtos planos
  - Tipos de laminador diferentes para cada requisito
  - Mudança de largura do material é muito menor do que a mudança de comprimento
  - Tiras, chapas
- Produtos longos
  - Perfis, vergalhões, barras



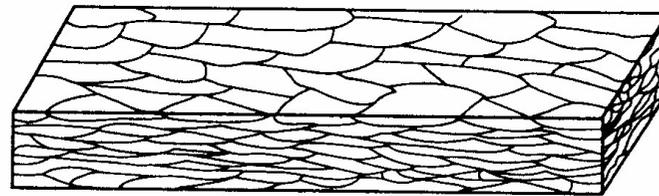
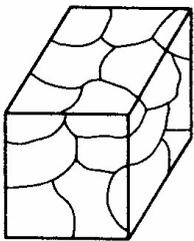
# Laminação a quente

- Grandes reduções de espessura em poucos passes
- Baixa tolerância de espessura (0,1 mm)
- Aços:  $\sim 1200^{\circ}\text{C}$
- Estrutura do metal muito heterogênea entre pontas dos rolos (produtos planos)
  - Resfriamento na parte de fora do rolo é diferente da parte de dentro
- Os grãos do material final não são alongados

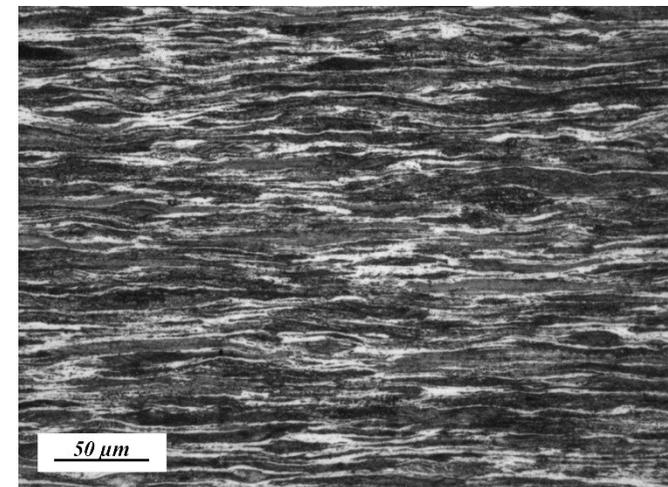


# Laminação a frio

- Melhor controle de espessura
- A redução de espessura aplicada ao material pode ser controlada para obtenção de propriedades mecânicas
- Os grãos do material ficam alongados
- As propriedades mecânicas podem ficar anisotrópicas

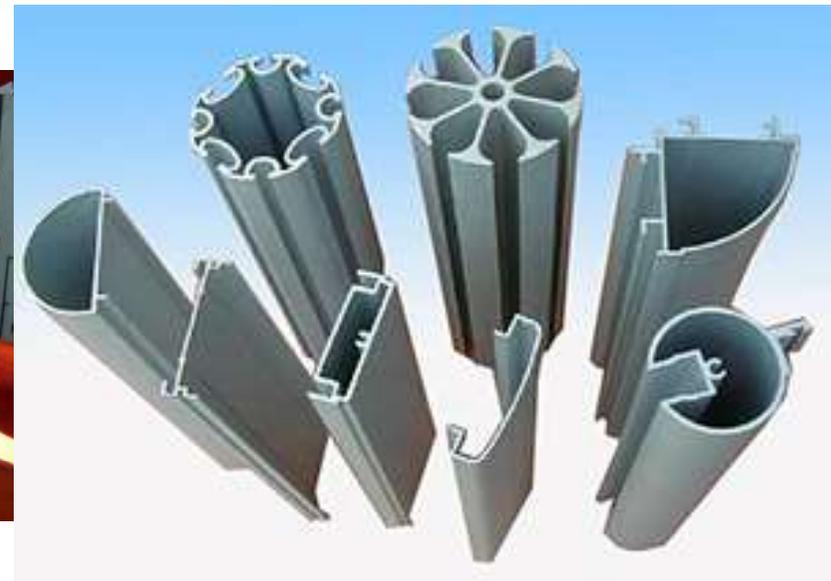
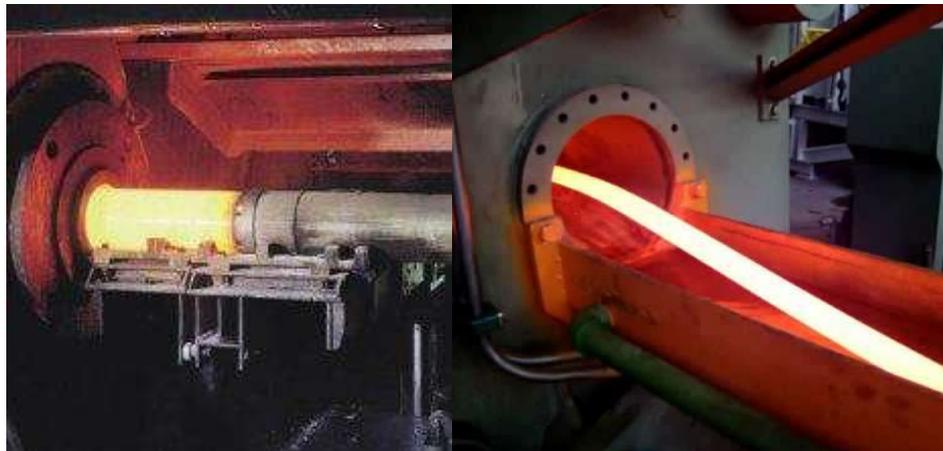


Metal monofásico antes e após deformação plástica

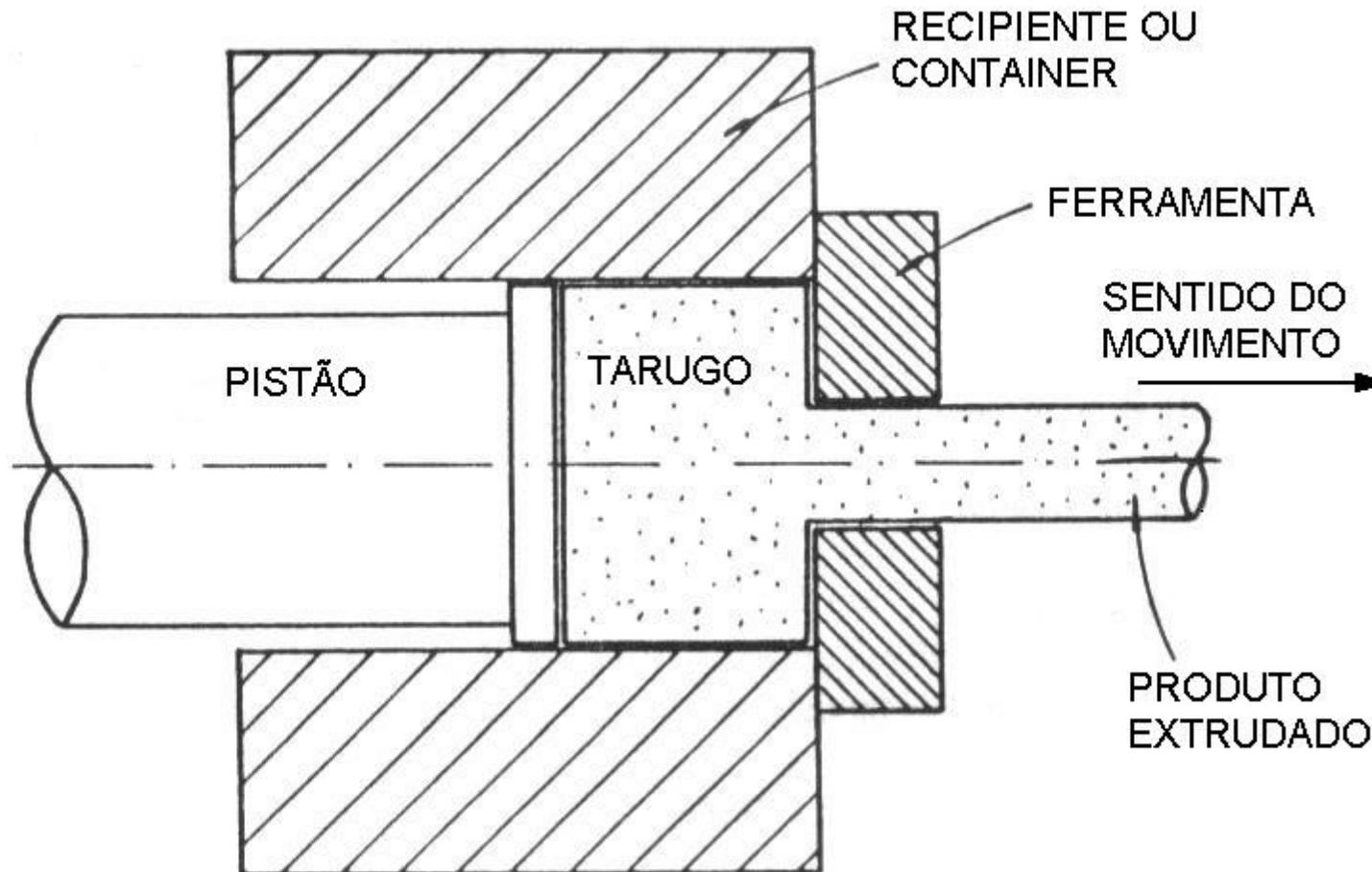


# Extrusão

- O material na forma de um tarugo é empurrado através de uma matriz, resultando em um perfil longo
- Geometrias complexas
  - Barras de diversas geometrias, trilhos de cortina, semi-acabados para processamento posterior

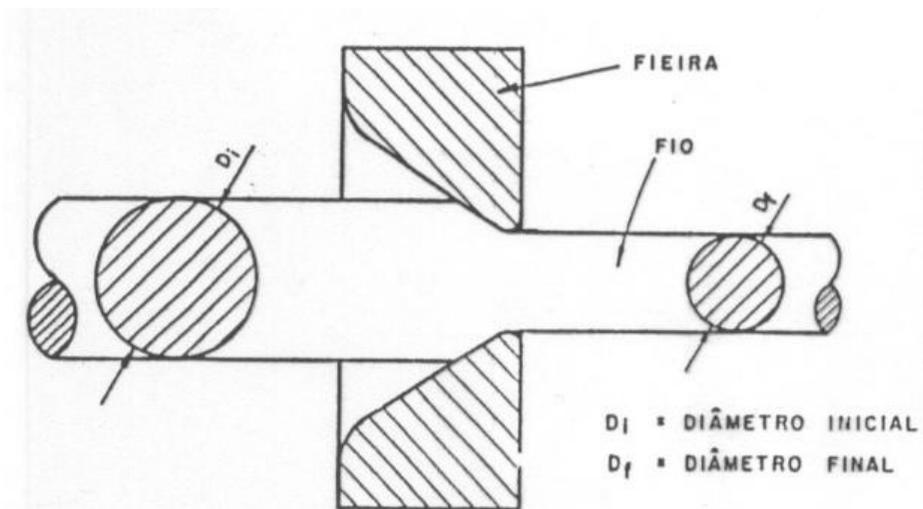


# Extrusão



# Trefilação

- Realizada há centenas (talvez milhares de anos)
- O material é puxado através de uma fieira, resultando em um arame, fio ou tubo
- Geometrias simples
- Altas velocidades de processo



# Trefilação

- Para trefilação de tubos, pode-se usar um mandril internamente

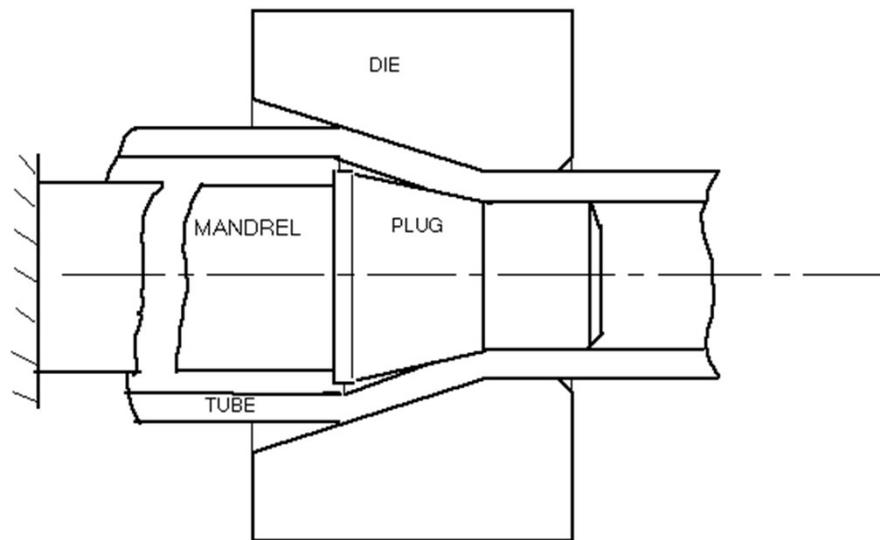
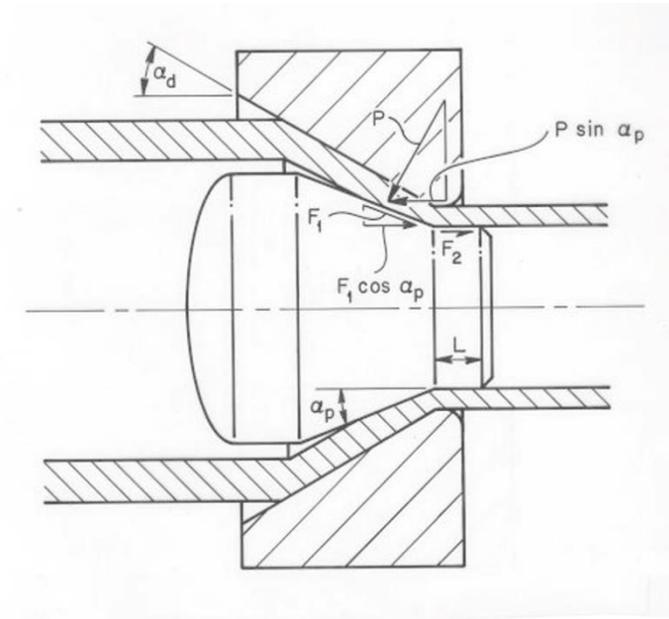


FIG. 8. TUBE DRAWING WITH A PLUG



# Trefilação

48



# Forjamento

- Realizado há milhares de anos para produção de artefatos metálicos
- Um bloco de metal é prensado dentro de uma matriz com uma cavidade contendo o formato final da peça
- Dimensões próximas às do produto acabado
- Geometrias complexas
  - Nervuras, peças assimétricas, detalhes



# Forjamento

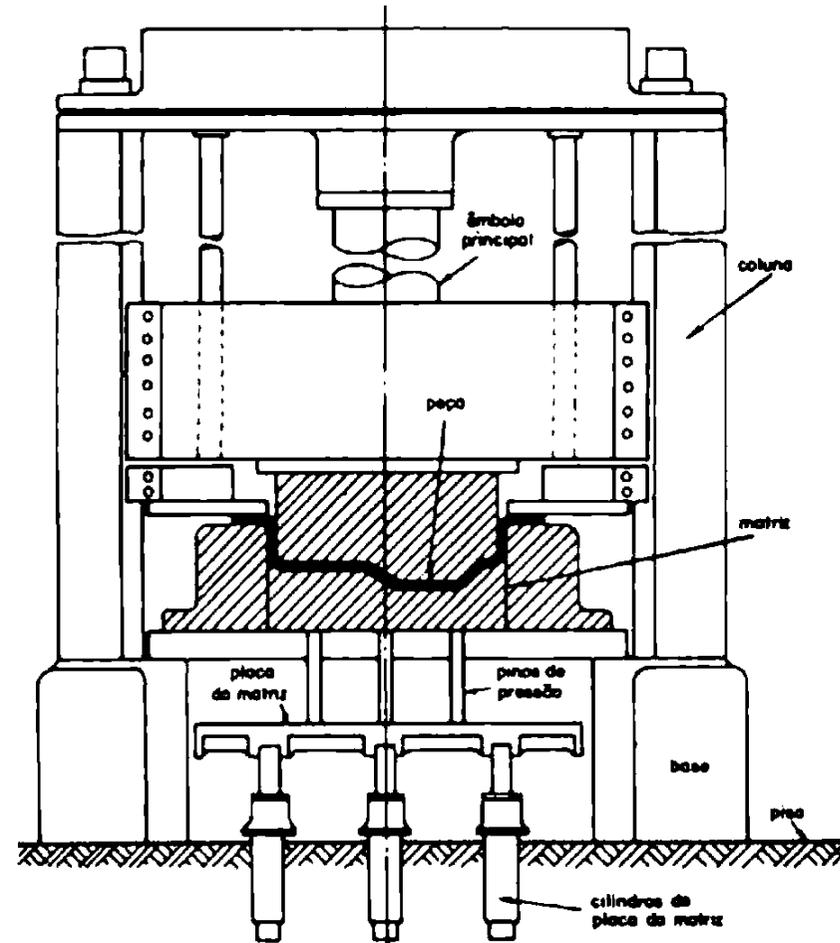
50

- Conformação pode ter estágios intermediários no caso de peças complexas
- Pré-formas ajudam a distribuir o metal de acordo com a distribuição de volume da peça e evitam deformações excessivas durante a conformação



# Estampagem

- Prensagem de um material fino entre duas matrizes de conformação, resultando em uma peça fina com detalhes em relevo
  - Latas de bebidas, painéis, ilhoses e botões, peças, carcaças de peças, etc.



# Estampagem

- Fabricação de uma peça pode exigir estágios intermediários
- Estágios podem ser definidos em função das propriedades da peça final, complexidade da peça, ou da operação



# **CONFORMAÇÃO NO ESTADO SÓLIDO A PARTIR DE PÓS**

# Metalurgia do pó

- Material de partida tem a forma de pó
- O pó é prensado com a forma da peça final (por exemplo, engrenagem)
- A peça é tratada em alta temperatura, e as partículas se “unem”
- Alta produtividade aliada a baixo desperdício de material

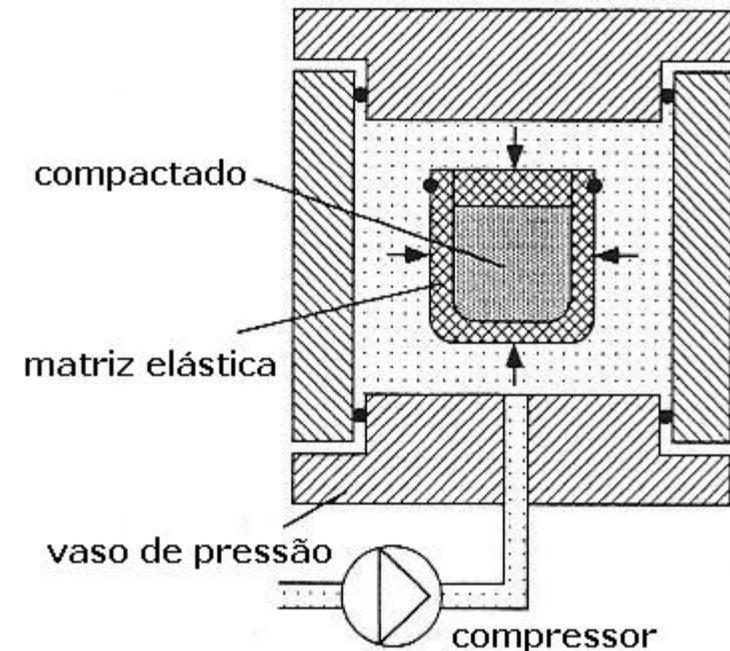
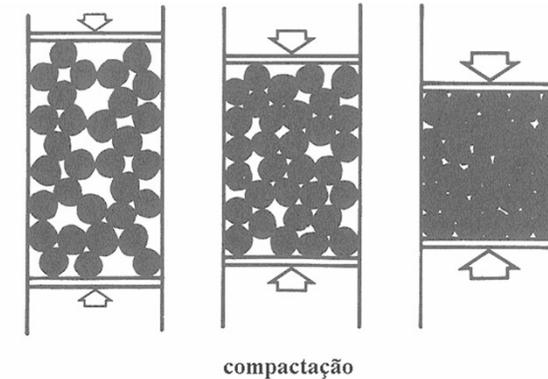


# Metalurgia do Pó

- Material inicial
  - Os pós metálicos podem ter diferentes morfologias e tamanhos médios de partículas (granulometrias)
  - Pós mais grossos são mais difíceis de ser compactados e deixam uma quantidade maior de espaços vazios
  - Pós menores deixam espaços vazios menores
  - Combinações de faixas de granulometria podem resultar em peças finais de melhor qualidade
  - Os pós podem ser combinados a aglomerantes para que sejam injetados nos moldes

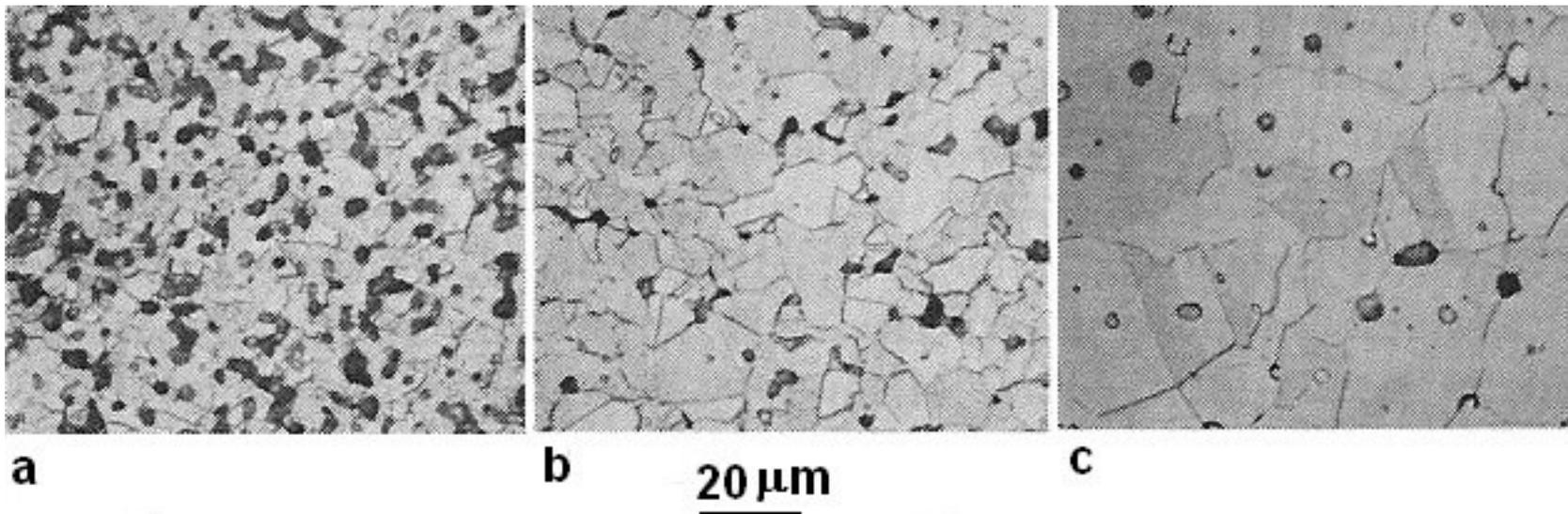
# Metalurgia do pó

- Prensagem da peça
  - Prensagem uniaxial – a pressão é aplicada apenas em uma direção
  - Prensagem isostática – a pressão é aplicada em todas as direções
    - O molde inteiro é colocado dentro de uma câmara com óleo hidráulico
    - Aumenta-se a pressão do óleo, que aplica a mesma pressão em todas as direções da peça



# Metalurgia do pó

- Tratamento em alta temperatura (sinterização)
  - As partículas unem-se sob ação da temperatura
  - Aumento da área de contato
  - Formação de pescoço entre as partículas
  - Diminuição dos poros



# Metalurgia do pó

- Em geral, as peças apresentam porosidades
- Existem aplicações em que a alta porosidade é um requisito (por exemplo, filtros)



# **SELEÇÃO DE ROTAS DE PROCESSAMENTO**

# Escolha das rotas de processamento

58

- Aspectos a considerar
  - Características da peça
  - Requisitos da peça
    - Propriedades mecânicas
    - Tolerâncias dimensionais
    - Estanqueidade
    - Outras propriedades
  - Características do material
  - Custo do processo e da peça final
  - Gasto energético
  - Capacidade das máquinas disponíveis
  - Aspectos ambientais

# Escolha das rotas de processamento <sup>59</sup>

- Requisitos do produto final
  - Tira de aço baixo carbono:
    - 1)
      - Espessura: 4,00 mm
      - Tolerância de espessura: +/- 0,1 mm
    - 2)
      - Espessura: 4,00 mm
      - Tolerância de espessura: +/- 0,05 mm
- O material 1 pode ser feito por laminação a quente, ao passo que o material 2 requer laminação a frio

# Escolha das rotas de processamento <sup>60</sup>

- Requisitos do produto -  
Propriedades mecânicas
  - Carcaça de filtro de óleo
    - Estampagem é feita em 3 golpes
    - Para garantir a resistência mecânica, a carcaça é “invertida” a cada golpe, aumentando a quantidade de deformação plástica



# Escolha das rotas de processamento

61

- Conexão em latão para água
  - Conexão precisa ser estanque (evitar vazamentos)
- Conexão fundida:
  - O latão para produção de peças fundidas costuma ter adições de chumbo
    - O chumbo aumenta a estanqueidade de peças de latão fundidas
    - O chumbo facilita os processos de usinagem

**O chumbo é tóxico (aspecto ambiental)**

Conexão forjada

- O latão para forjamento não tem chumbo, e a conformação mecânica elimina problemas de estanqueidade
- O custo é maior

# Escolha das rotas de processamento <sup>62</sup>

- Gasto energético
  - Consumo de energia elétrica dos equipamentos x disponibilidade de energia elétrica x custo da energia
  - Energia necessária para aquecimento de material
- Impacto ambiental
  - Consumo de água
  - Matriz energética
    - Geração de gases tóxicos
    - Efeito estufa
    - Fontes de energia renováveis ou não renováveis

# Escolha das rotas de processamento <sup>63</sup>

- Custo do processo
  - Complexidade do processo (processo mais longo x processo mais enxuto)
  - Perdas inerentes ao processo
  - Custo de ferramentas
  - Custo de matérias-primas
  - Investimento necessário em equipamentos
  - Preço que o cliente se dispõe a pagar

# Escolha das rotas de processamento

64

- Características da peça
  - Complexidade geométrica
    - Peças com muitas nervuras ou apêndices
  - Dimensões
    - Peças para indústria naval, com peso da ordem de várias toneladas, podem não ser possíveis de fabricar por processos de conformação mecânica por conta do tamanho
- Características do material
  - Propriedades mecânicas – alguns materiais podem ser muito duros para ser conformados mecanicamente