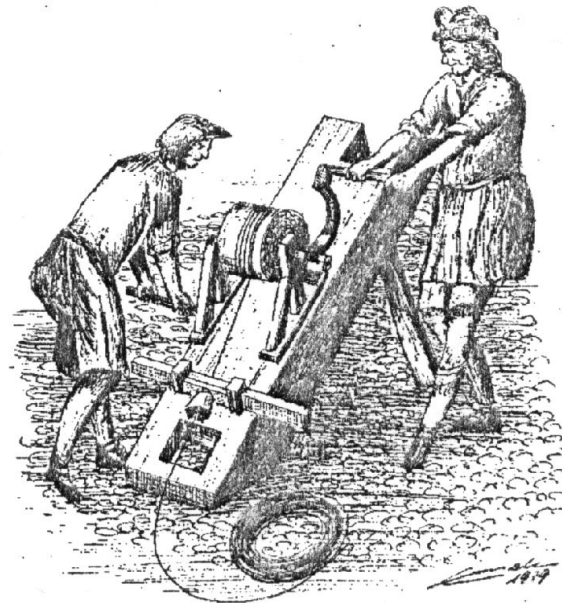


# *Trefilação*

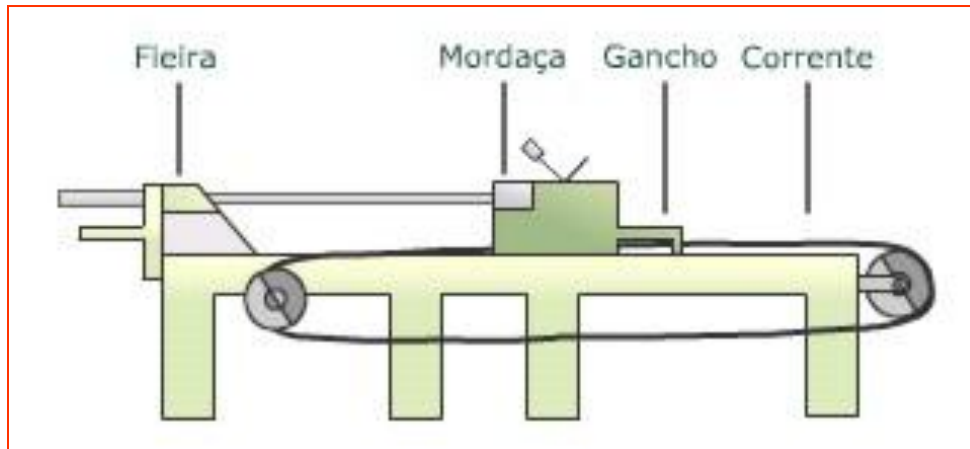


**Prof. Paulo Marcondes, PhD.**  
**DEMEC / UFPR**

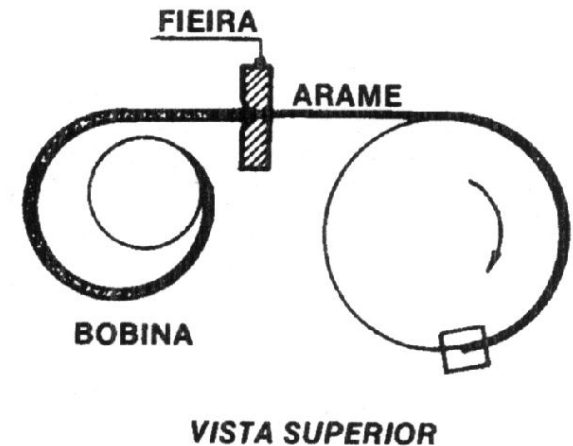
# Trefilação

## *Definição de trefilação*

- Processo de conformação plástica indireta para a fabricação de produtos pela passagem do material através de uma ferramenta que provoca a diminuição do seu diâmetro.



Bancada de trefilação



Esquema de uma máquina de trefilar com um bloco rotativo.

# Trefilação - processo



# O Processo de trefilação



# Trefilação



## ➤ Características do processo:

- Forças trativas + compressivas.
- Geralmente a simetria é circular.
- Processo realizado a frio.
- Tipos de produtos produzidos: barras, arames, tubos e condutores elétricos.

## ➤ Vantagens:

- Grandes reduções de seção.
- Precisão dimensional.
- Acabamento superficial.
- Controle de propriedades.

## ➤ Lubrificação na trefilação:

- Por imersão ou por aspersão.

- Lubrificantes.

Lubrificação seca: sabões sólidos em pó.

Lubrificação úmida: soluções ou emulsões de  
óleos em água.

Pastas e graxas.

## ➤ Equipamentos auxiliares:

- Afinadoras de ponta.

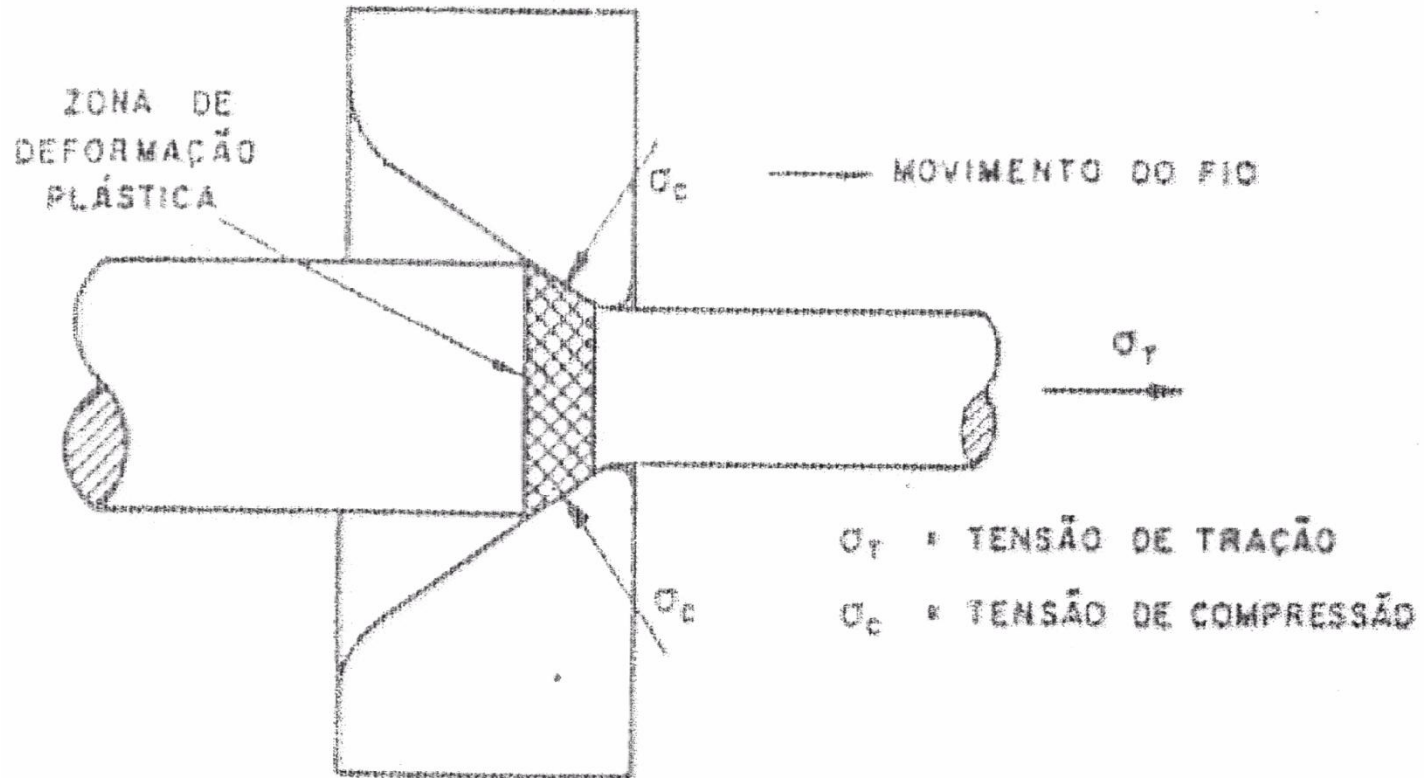
- Soldadoras topo a topo.

- Decapagem.

- Fornos para recozimento (contínuo ou estático).

- Linhas de revestimento superficial.

# Trefilação



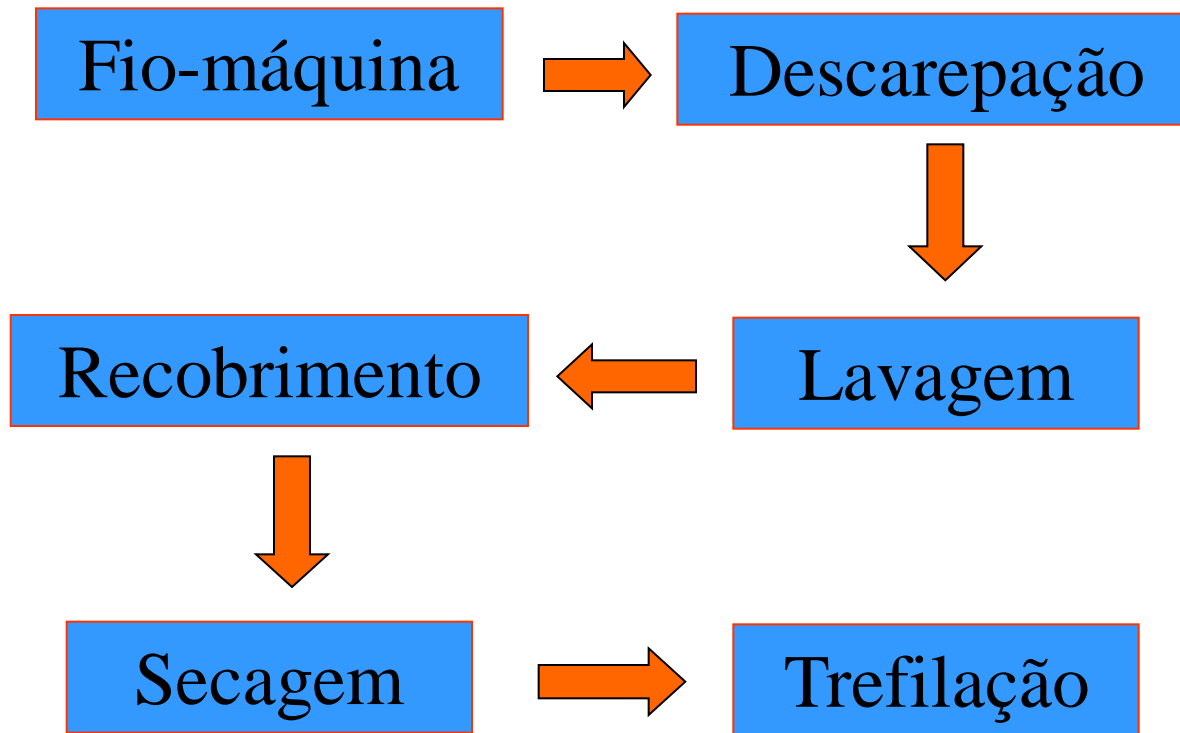
# Trefilação - produtos



Barras	$\emptyset > 25\text{mm}$	
Arames	Comuns	Grossos - $25 > \emptyset > 5\text{mm}$
		Médios - $5 > \emptyset > 1,6\text{m}$
		Finos - $1,6 > \emptyset > 0,7\text{mm}$
	Especiais	$0,02\text{mm} > \emptyset$
Tubos	Trefilados de diferentes formas	



# Trefilação - etapas

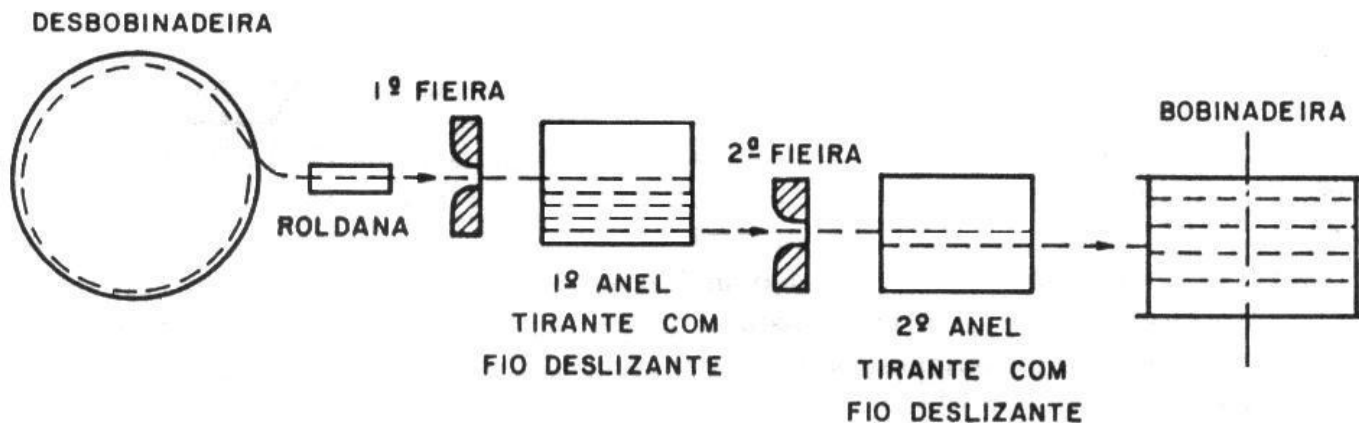


# Trefilação - decapagem



# Trefilação - processo

- Com deslizamento.



# Trefilação – processo



# ***Trefilação de fios***



# Trefilação - ferramenta

⌘ Dispositivo Básico : a Fieira

⌘ A fieira é o dispositivo básico da trefilação e compõe todos os equipamentos trefiladores

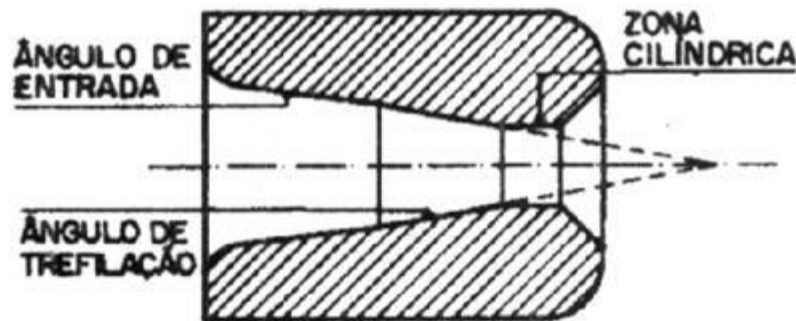
⌘ Geometria da fieira: é dividida em quatro zonas:

(1) de entrada

(2) de redução ( $\alpha$  = ângulo de abordagem)

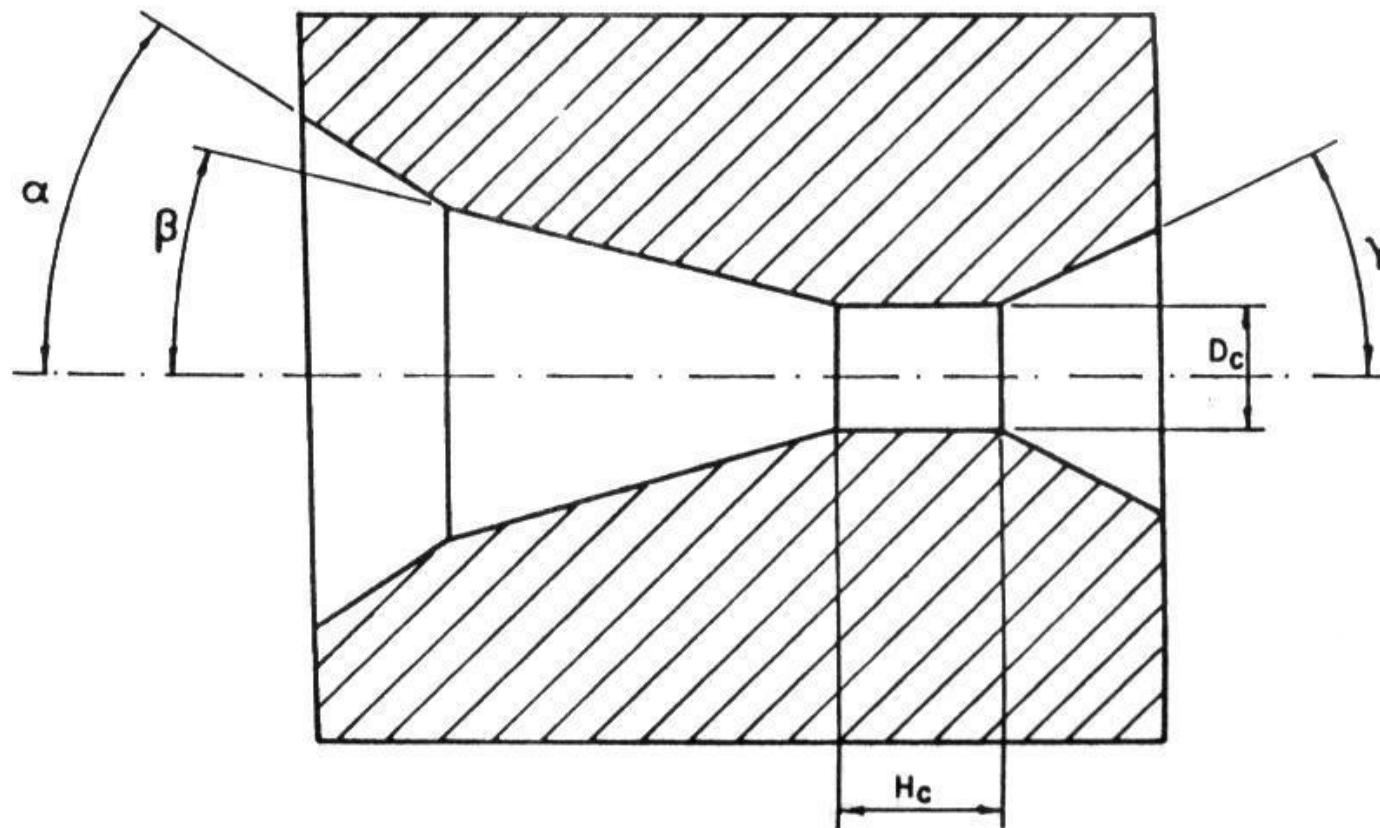
(3) (guia) de calibração - zona cilíndrica (acabamento é crítico)

(4) de saída



# *Geometrias de fieiras*





$\alpha$  - SEMI-ÂNGULO DO CONE DE TRABALHO  
( OU SEMI-ÂNGULO DA FIEIRA )

$\beta$  - SEMI-ÂNGULO DE ENTRADA

$\gamma$  - SEMI-ÂNGULO DE SAÍDA

$H_c$  - ALTURA DO CILINDRO DE CALIBRAÇÃO

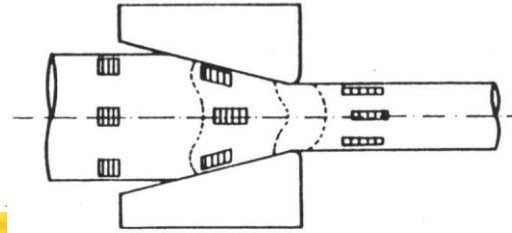
$D_c$  - DIÂMETRO DO CILINDRO DE CALIBRAÇÃO



# Endireitamento de barras



## ✓ Trabalho redundante:



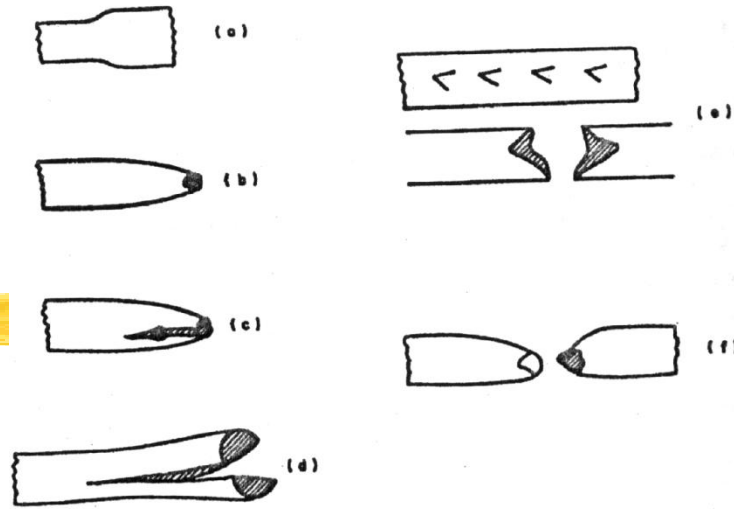
- O material sofre um processo de deformação interna (distorção) que em nada contribui para as mudanças dimensionais.
- Essa distorção contribui para o endurecimento do material.
- O efeito é maior nas camadas superficiais que no centro (heterogeneidade).
- A intensidade é (em grande parte) função do ângulo da fieira ( $2\alpha$ ).
- Na prática usam-se  $\alpha$  pequenos e grandes reduções minimizando o efeito da distorção.
- Para corrigir a carga ou tensão de trefilação, usa-se um fator multiplicativo  $\emptyset$  (Rowe).

# *Defeitos em trefilados*



- ✓ Defeitos na matéria-prima → fissuras, lascas, vazios e inclusões.
- ✓ Trincas internas em ponta de flecha no centro.

# Tipos de defeitos



- (a) - Diâmetro escalonado (causa: partículas duras que ficam retidas na fieira e que depois se desprendem).
- (b) - Fratura irregular com estrangulamento (causas: esforço excessivo devido a lubrificação deficiente, excesso de espiras no anel tirante rugoso, anel tirante com diâmetro incorreto ou devido a redução excessiva).
- (c) - Fratura com risco lateral ao redor da marca de inclusão (causa: partícula dura inclusa no fio inicial proveniente da laminação ou extrusão).
- (d) - Fratura com trinca aberta em duas partes (causas: trincas provenientes da laminação).
- (e) - Marcas na forma de V ou fratura em ângulo (causas: redução grande e parte cilíndrica pequena com inclinação do fio na saída, ruptura de parte da fieira com inclusão de partícula no contato fio-fieira, inclusão de partículas duras estranhas).
- (f) - Rupturas taça-cone (causas: redução pequena e ângulo de fieira muito grande com acentuada deformação na parte central).

## FORMAÇÃO DE RUPTURAS CENTRAIS

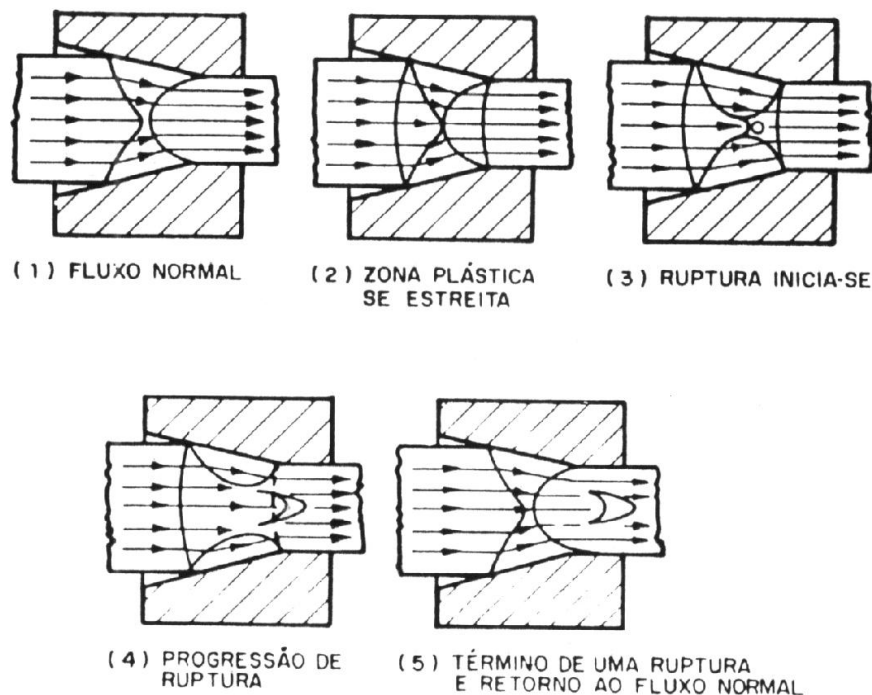
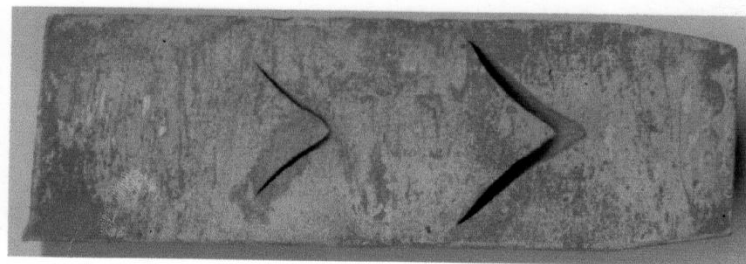


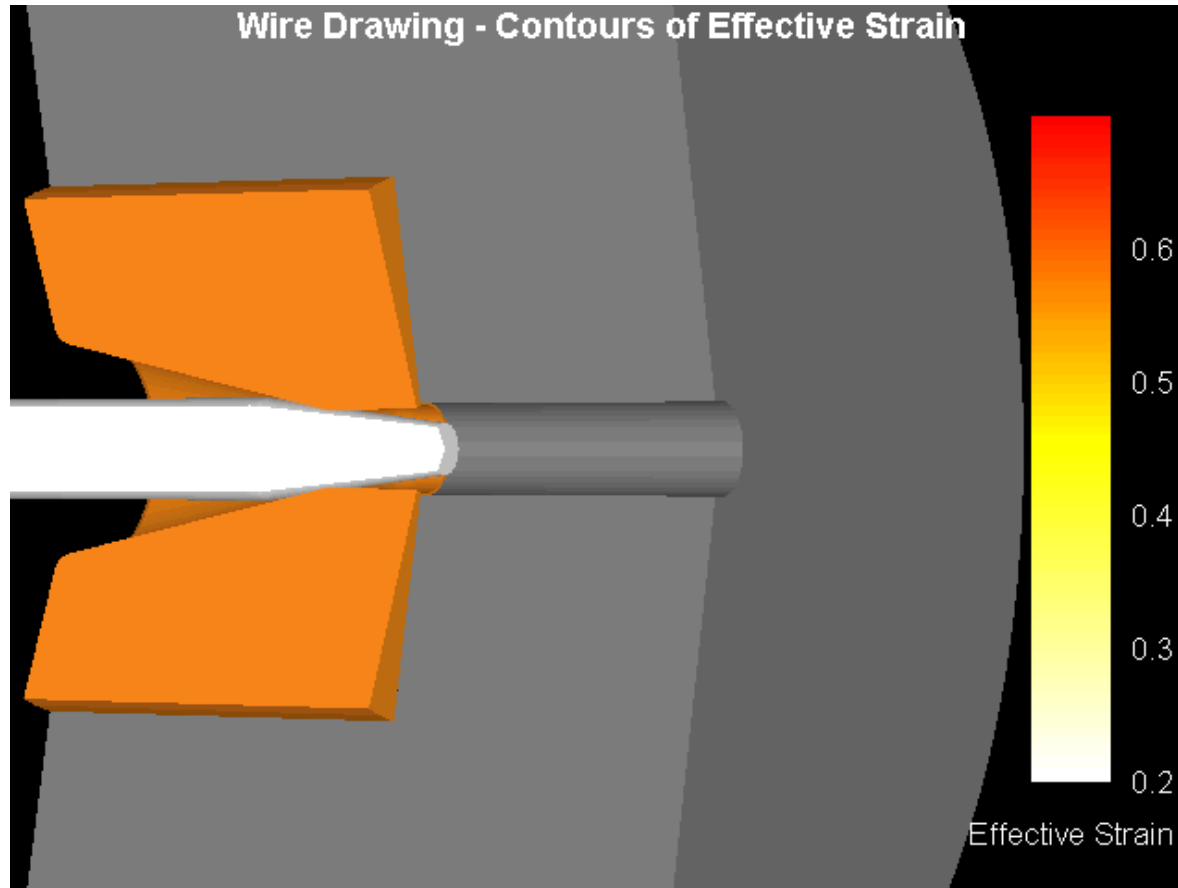
Fig. 6.12 Idealização do processo de geração das rupturas centrais (segundo Avitzur).

Ponta de flecha, marcas de sargento (*chevrons*) no centro.

Isto deve-se a deformação não homogênea (aparecimento de tensões secundárias trativas no centro das peças) que surge devido o material do centro ser forçado a se deformar, porém em menor escala que o material da superfície que sofre a ação direta da fieira.



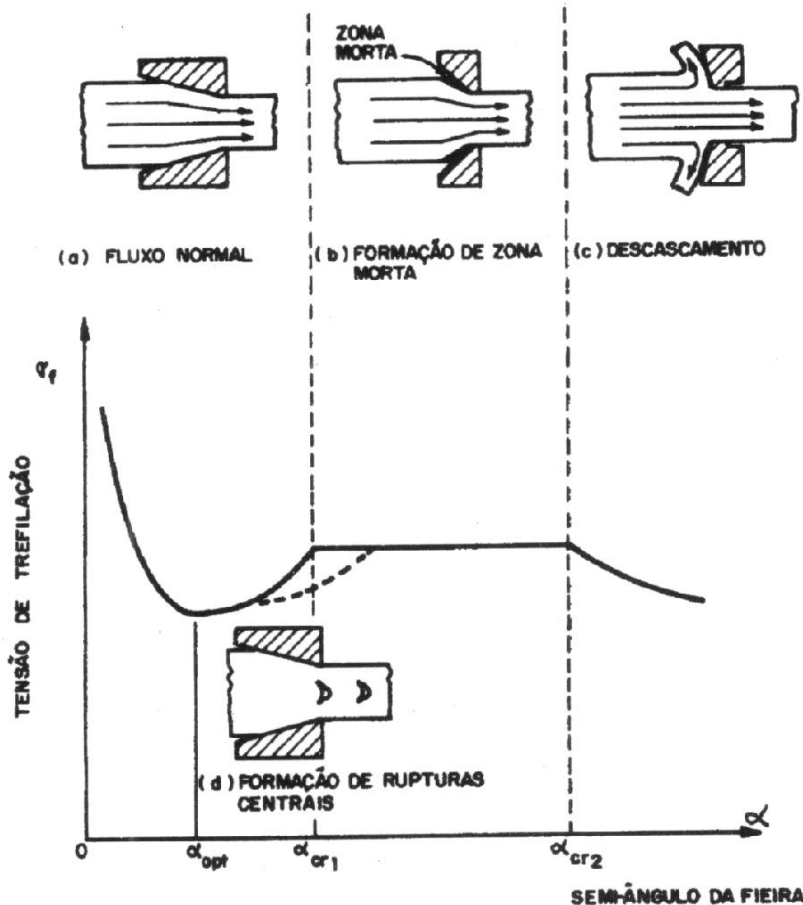
# Trincas ponta de flexa (Chevrons)



# Diagramas de Avitzur



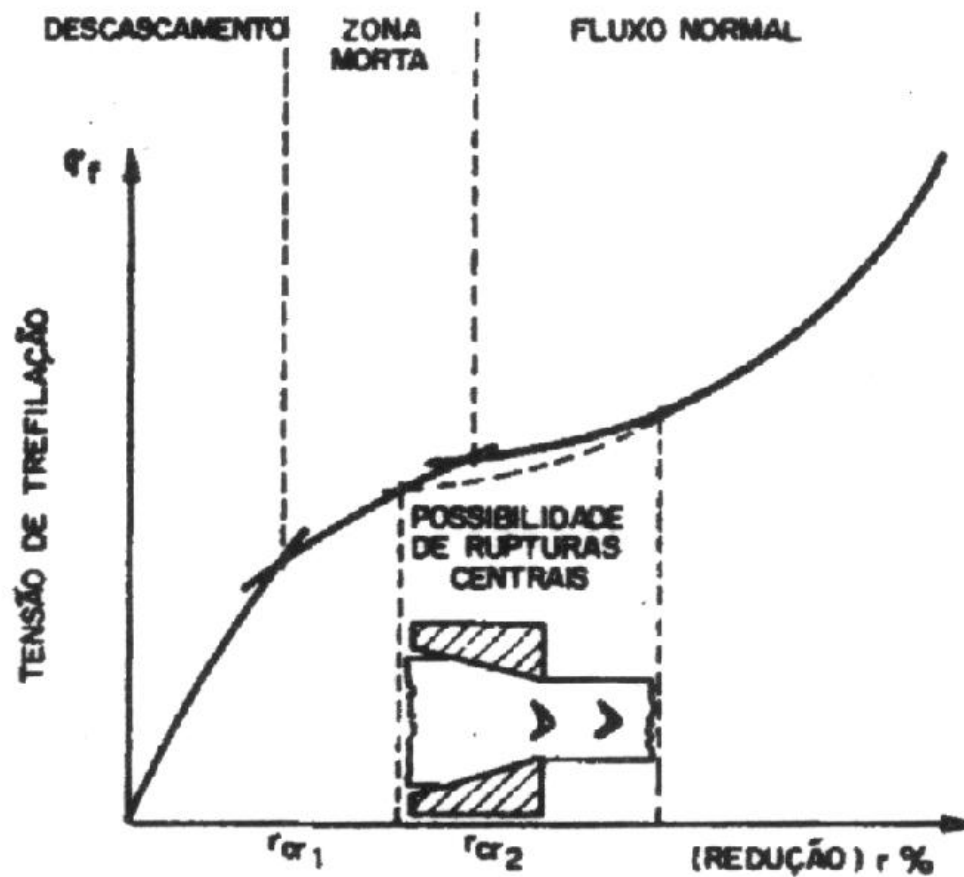
✓ Correlaciona condições de processamento (semi-ângulo da fieira e percentual de redução) com o aparecimento de rupturas centrais.



Para o controle de rupturas centrais e trincas internas:

$$\alpha_{\text{ótimo}} < \alpha < \alpha_{\text{cr1}}$$

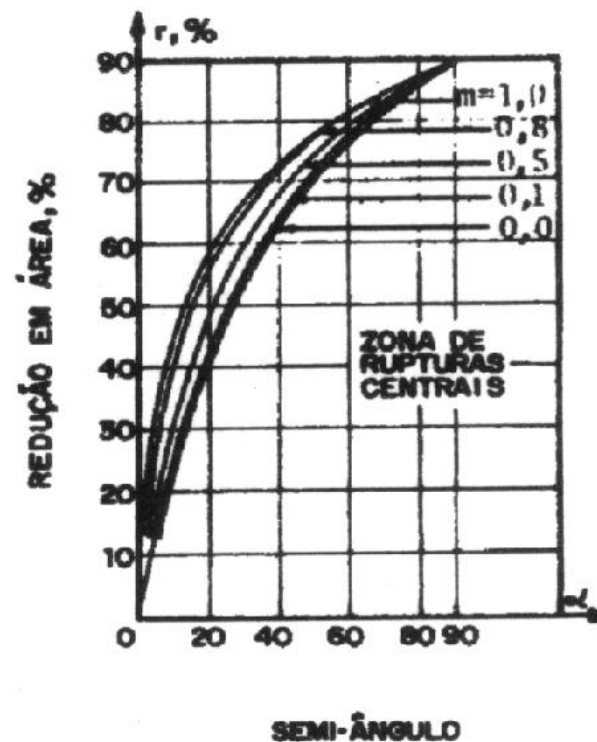
Fig. 6.9 Correlação da geometria de fluxo com o semi-ângulo da fieira (segundo Avitzur).



**Fig. 6.14** Correlação da geometria de fluxo com a redução (segundo Avitzur).



onde:  $m$  é a condição de aderência.



**Fig. 6.13** Diagrama para a determinação das condições favoráveis ao aparecimento de rupturas centrais (segundo Avitzur).

# Trefilação - esforços



⌘ Para cada passe de trefilação, a carga necessária pode ser estimada pela seguinte expressão:

$$P_t = \bar{\sigma}_e \cdot \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) \cdot (1 + \mu \cdot \cot \alpha \cdot \phi \cdot A_1)$$

onde:  $\bar{\sigma}_e$  = tensão de escoamento média em tração uniaxial

$A_0$  = área transversal inicial da peça (arame)

$A_1$  = área transversal do arame após a trefilação

$\mu$  = coeficiente de atrito médio na zona de redução da fieira.

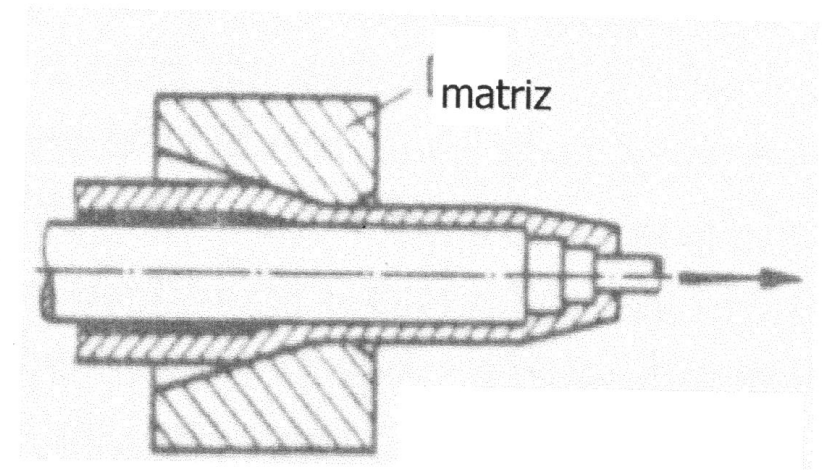
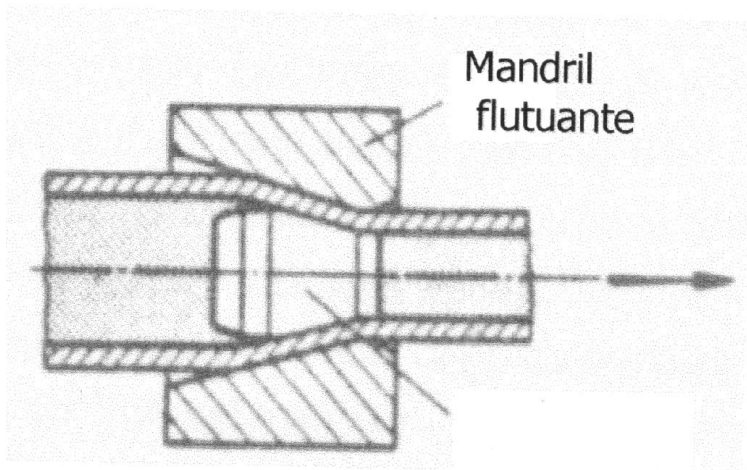
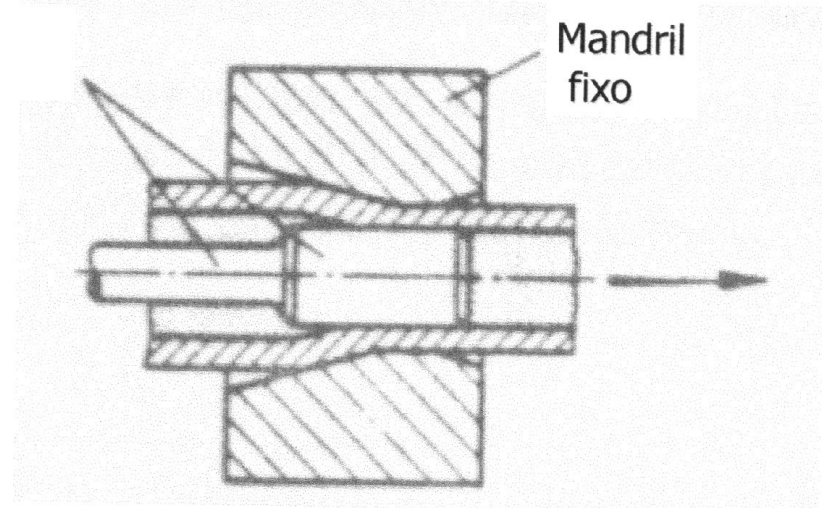
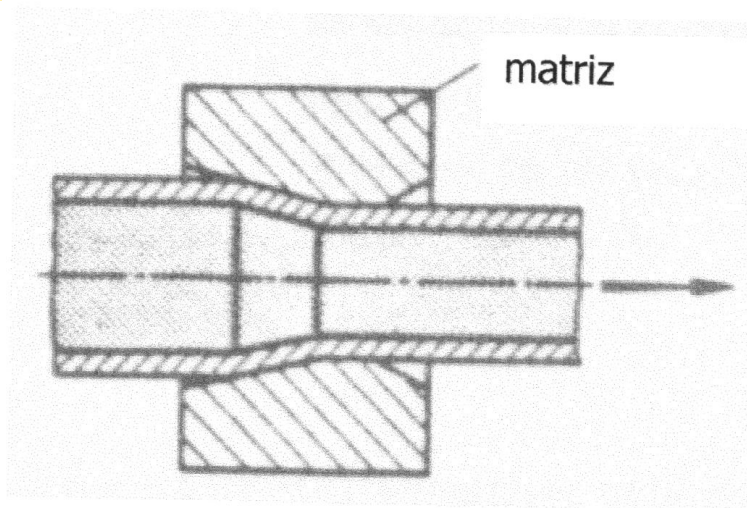
$\alpha$  = ângulo de abordagem (semi-ângulo da fieira)

$\phi$  = fator de deformação redundante, dado por:

$$\phi = 0,87 + ((1 - r) / r) \cdot \sin \alpha \quad (\text{Rowe})$$

$r$  = redução percentual por passe, dada por :

$$r = (A_0 - A_1) / (A_0)$$



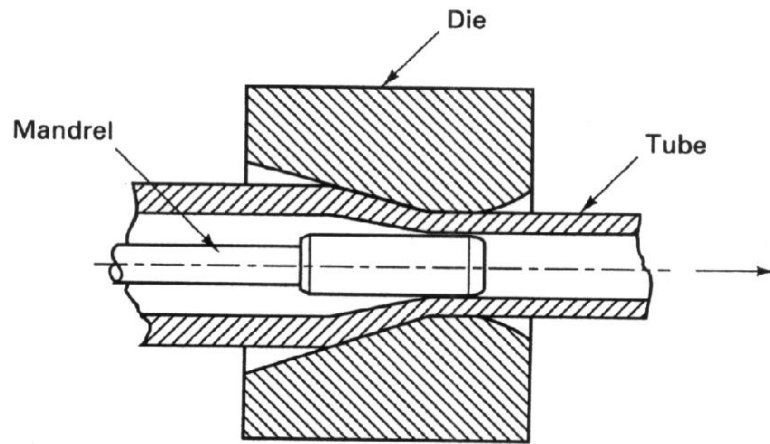


FIGURE 19-55 Cold-drawing smaller tubing from larger tubing. The die sets the outer dimension while the stationary mandrel sizes the inner diameter.

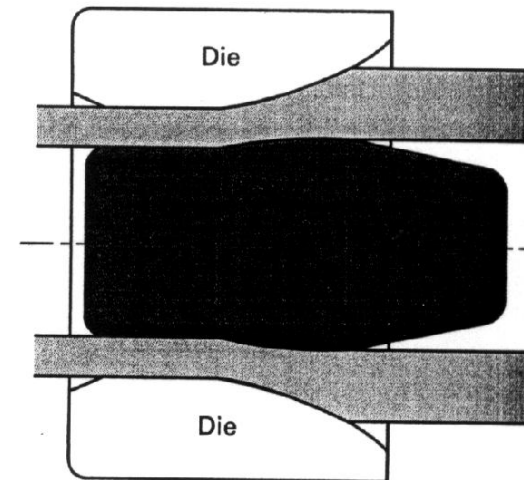


FIGURE 19-56 Tube drawing with a floating plug.

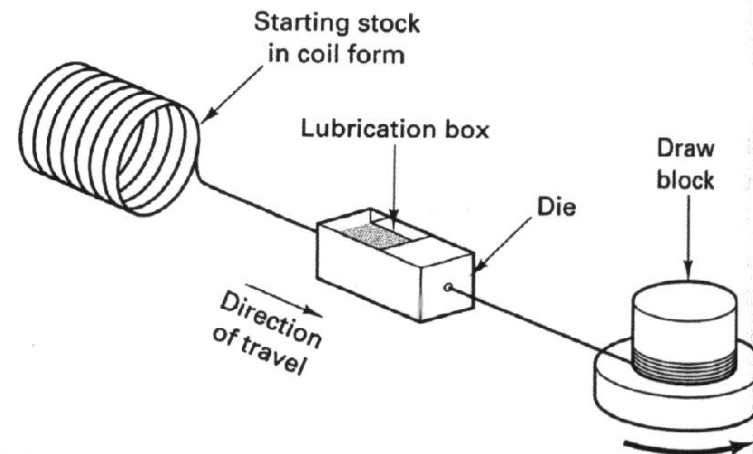


FIGURE 19-57 Schematic of wire drawing with a rotating draw block. The rotating motor on the draw block provides a continuous pull on the incoming wire.

# Tefilação de tubos



# Perfis trefilados.

