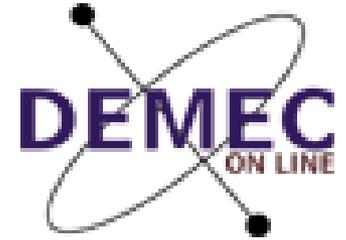




Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR

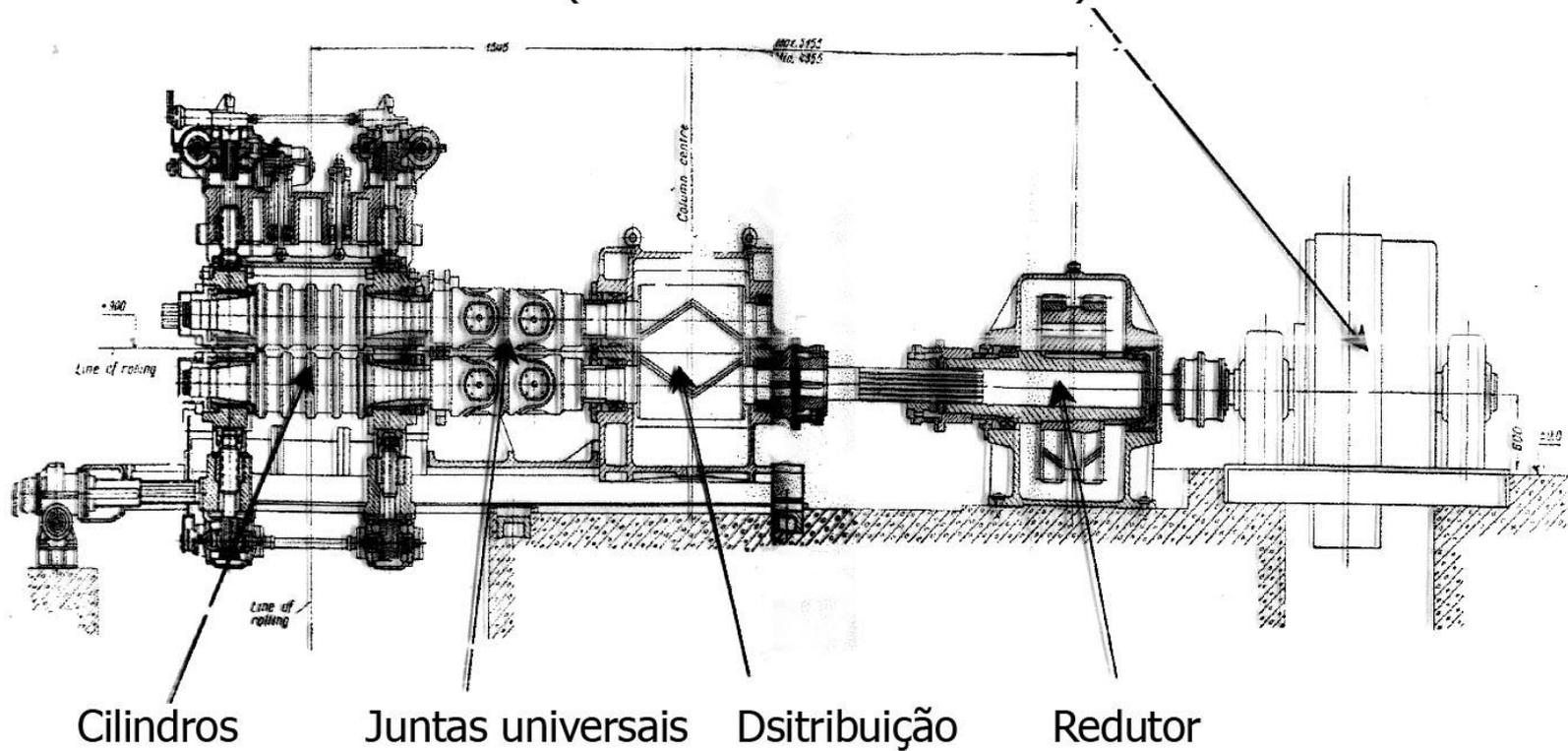


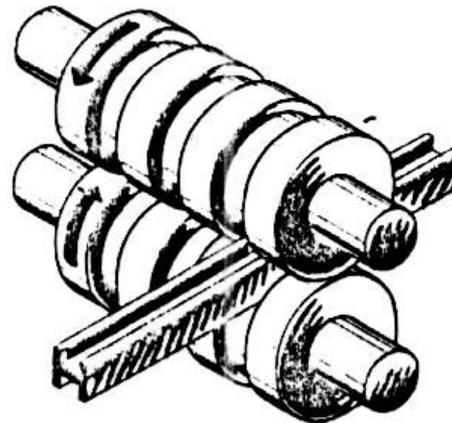
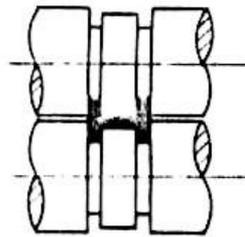
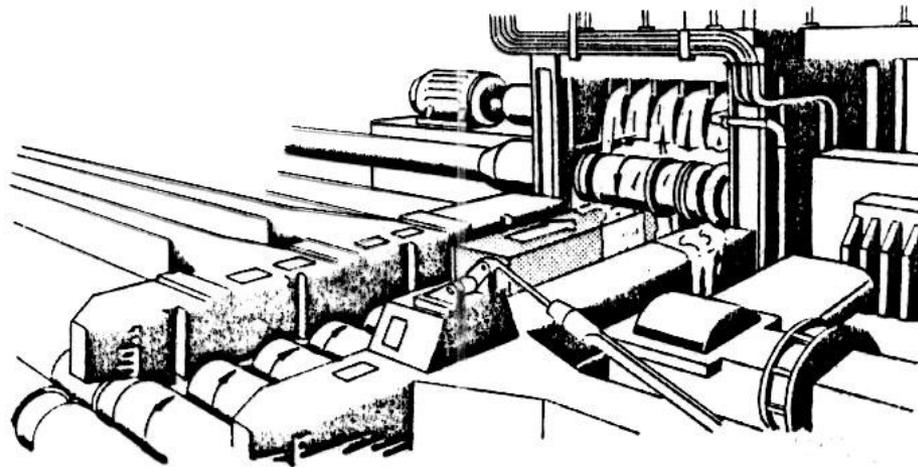
Laminação

Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR

Laminador de preparação

(motos elétrico de 1000kW)

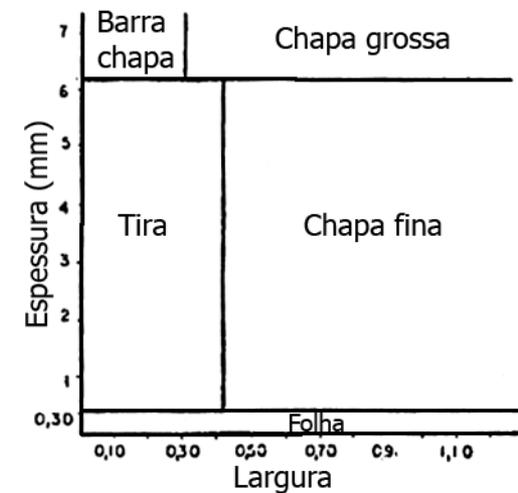
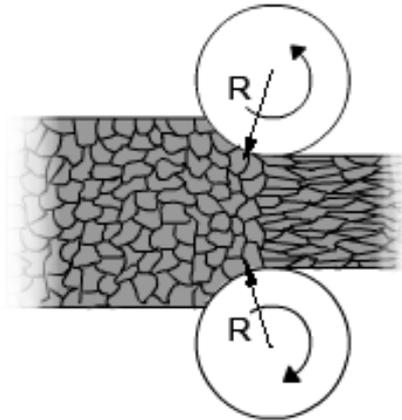




Cilindros para obtenção
de perfis laminados

Laminação

O objetivo é mudar a seção transversal (geralmente reduzir)



Tipos de produtos:

Planos

- Placas e chapas

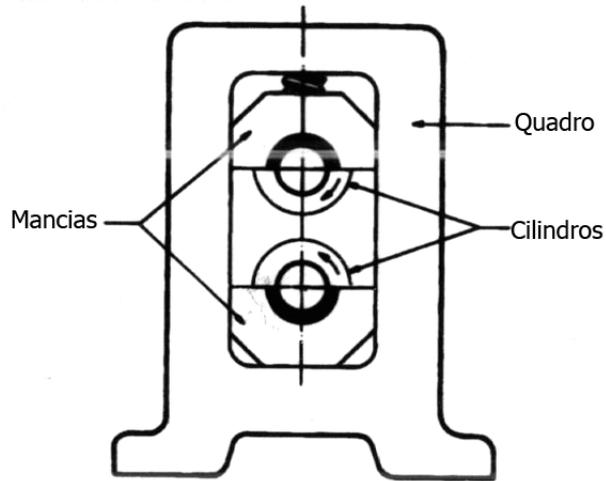
Não planos

- Barras, peris, trilhos, vergalhões, tubos, etc.

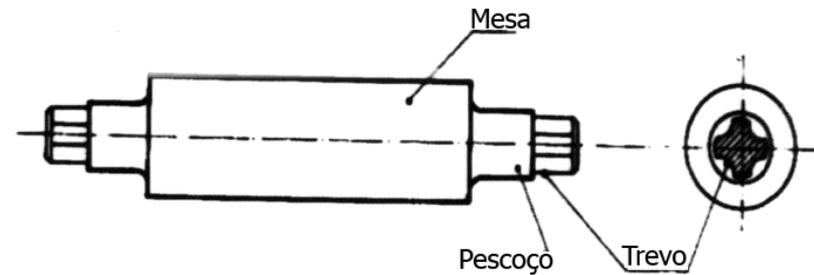
Material dos rolos.

- Para desbaste – aço carbono e aços-liga
- Para trabalhos intermediários – aços liga e ferro fundido;
- Para acabamento – ferro fundido de diversos tipos.

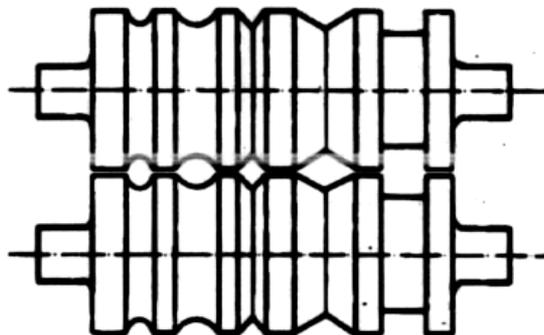
Laminação



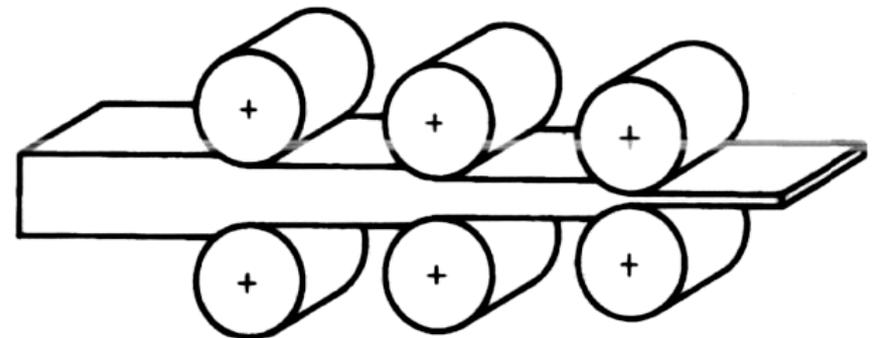
Típico laminador duo com cilindro regulável durante a operação



Partes de um cilindro de laminação



Cilindros de um laminador fixo durante a operação com abertura variável ao longo de seu comprimento

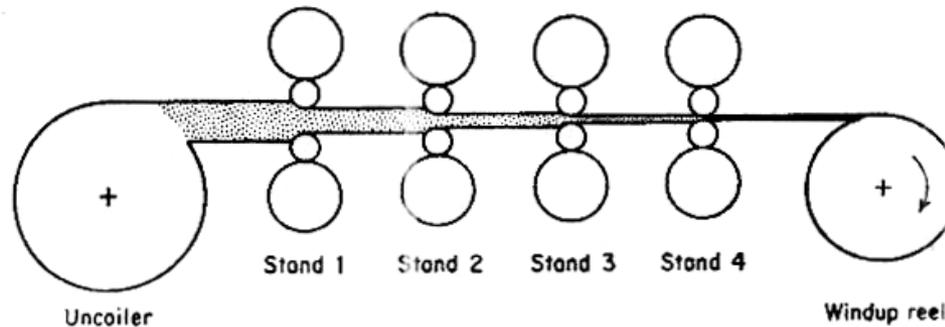


Trem de laminação

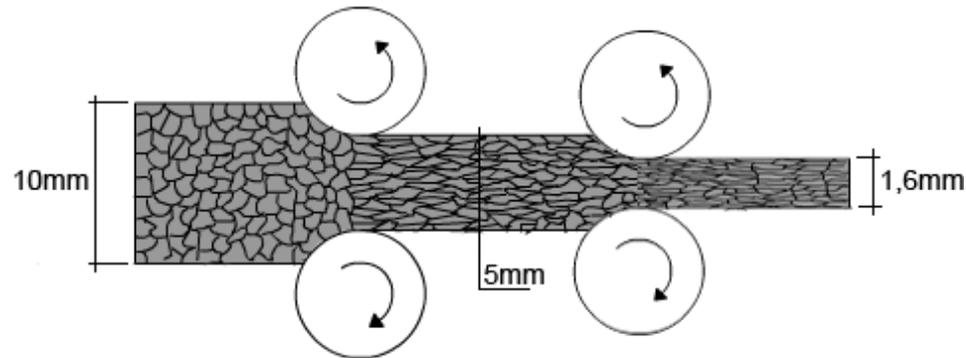
Cadeira de Laminação

Trem de laminação

- Conjunto de cadeiras



- Laminação a quente e a frio
- Laminadores primários ou de desbaste
- Laminadores secundários os de acabamento
- Classificação das cadeiras quanto ao número e disposição dos cilindros



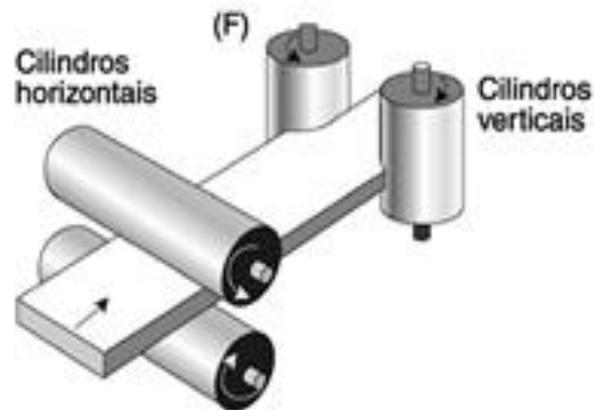
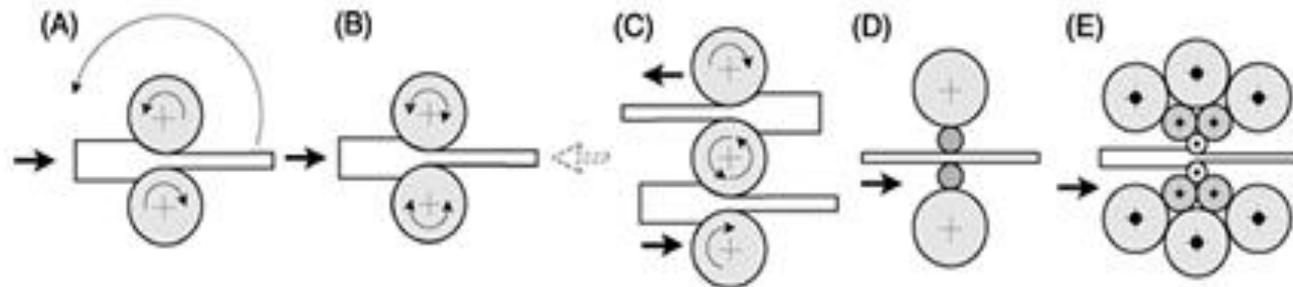
Determine o percentual total de redução do processo

$$\% = \frac{t_o - t_f}{t_o} \times 100 = \frac{10 - 5}{10} \times 100 = 50\%$$

$$\% = \frac{5 - 1,6}{5} \times 100 = 68\%$$

Correto

$$\% = \frac{t_o - t_f}{t_o} \times 100 = \frac{10 - 1,6}{10} \times 100 = 84\%$$



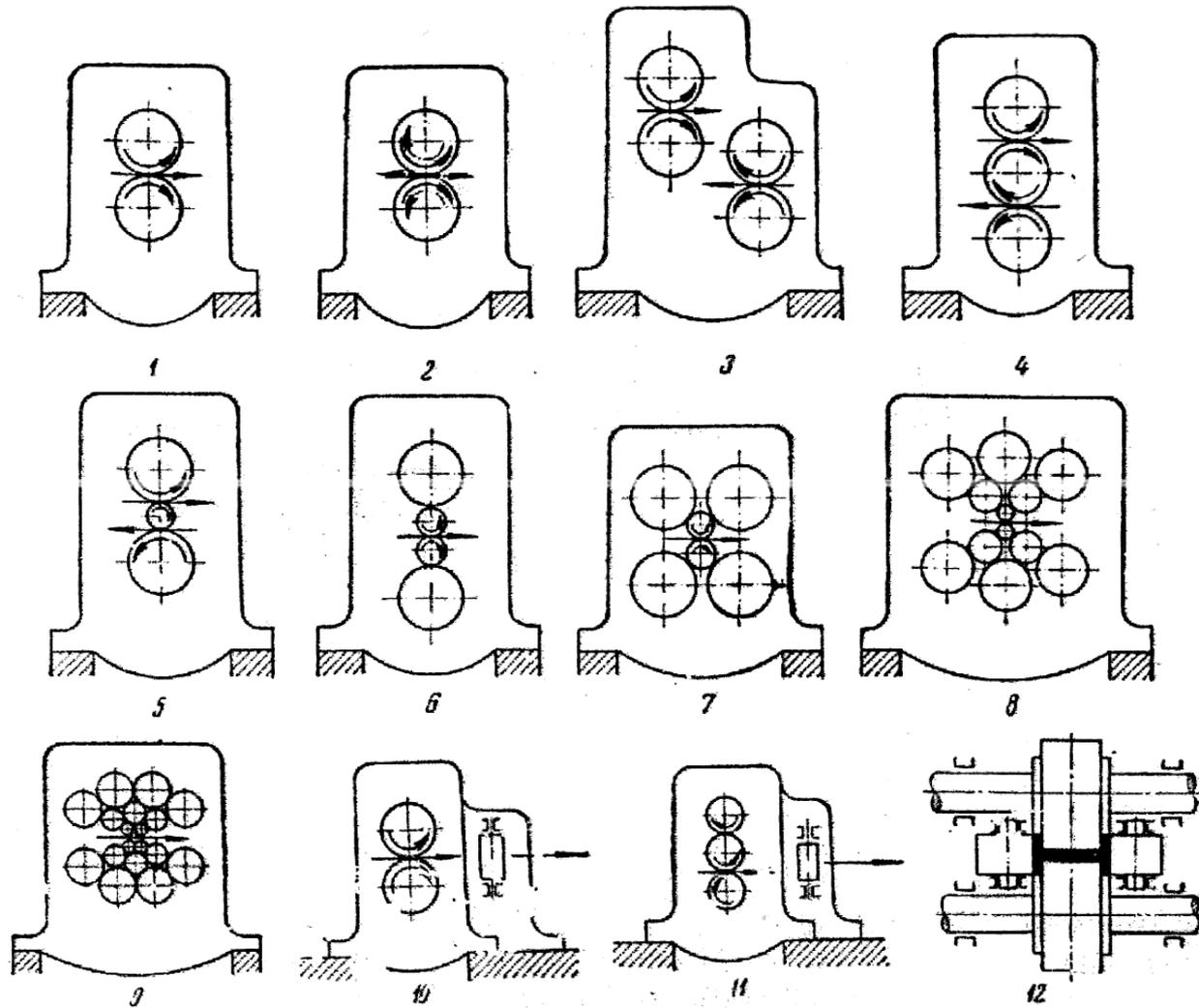
- (A) - Laminador duo não reversível;
- (B) - Laminador duo reversível;
- (C) - Laminador trio;
- (D) - Laminador quádruo;
- (E) - Laminador Sendzimir;
- (F) - Laminador universal

Laminação Duo



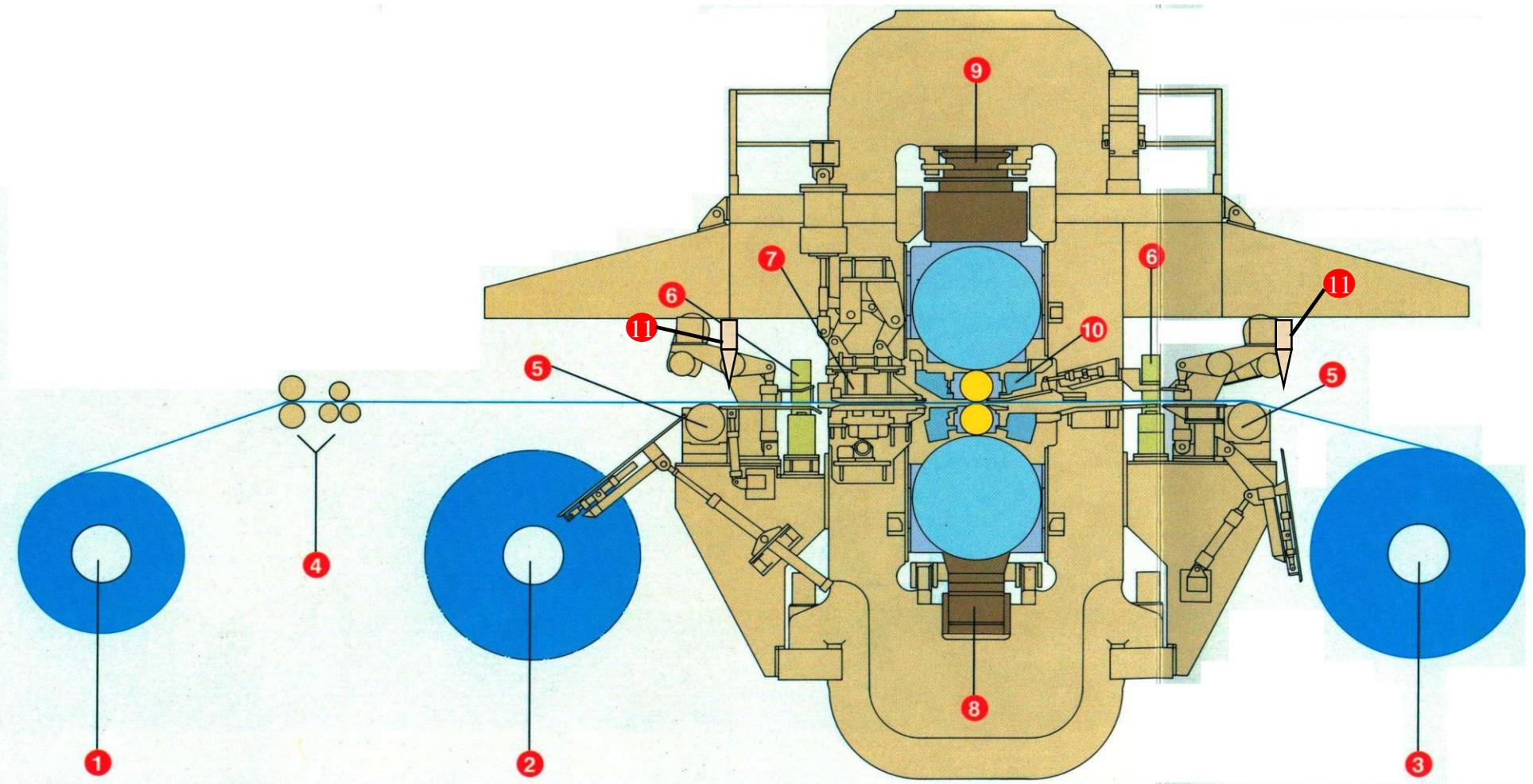
Laminação Trio



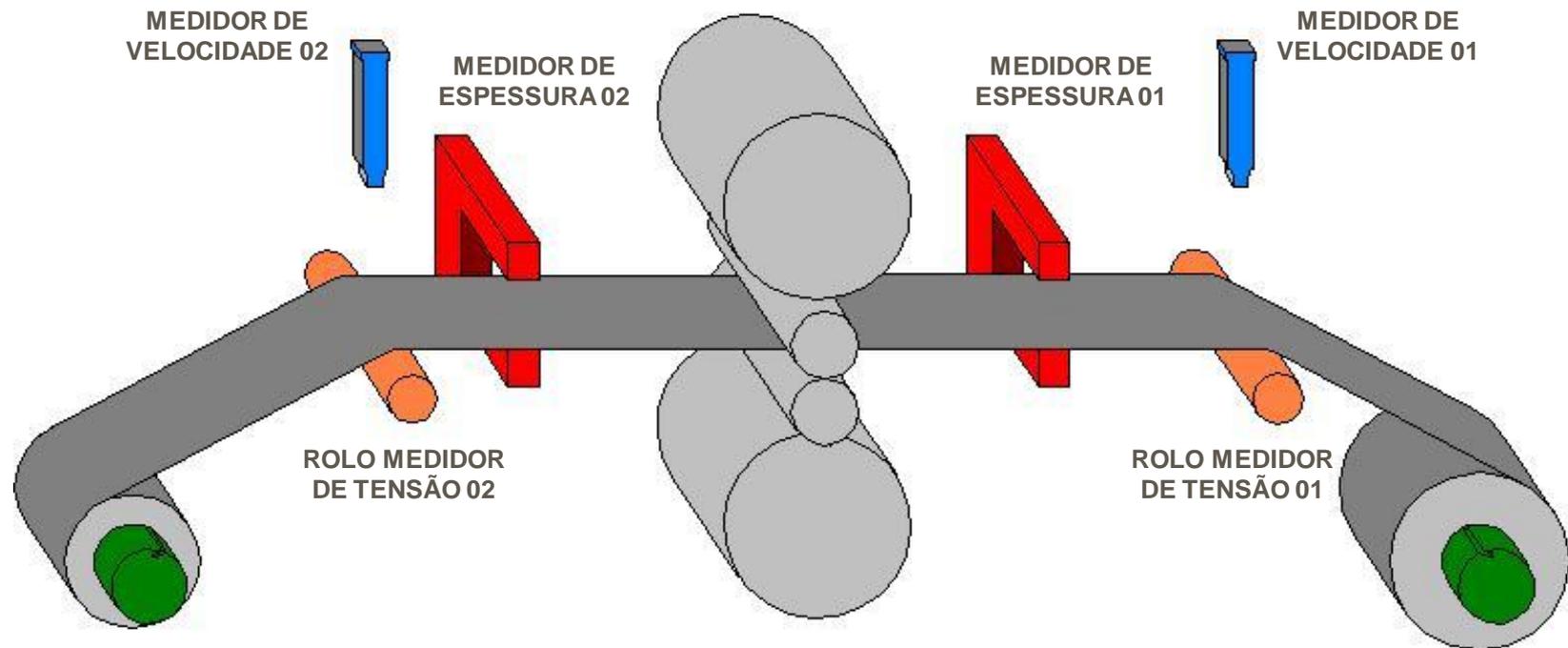




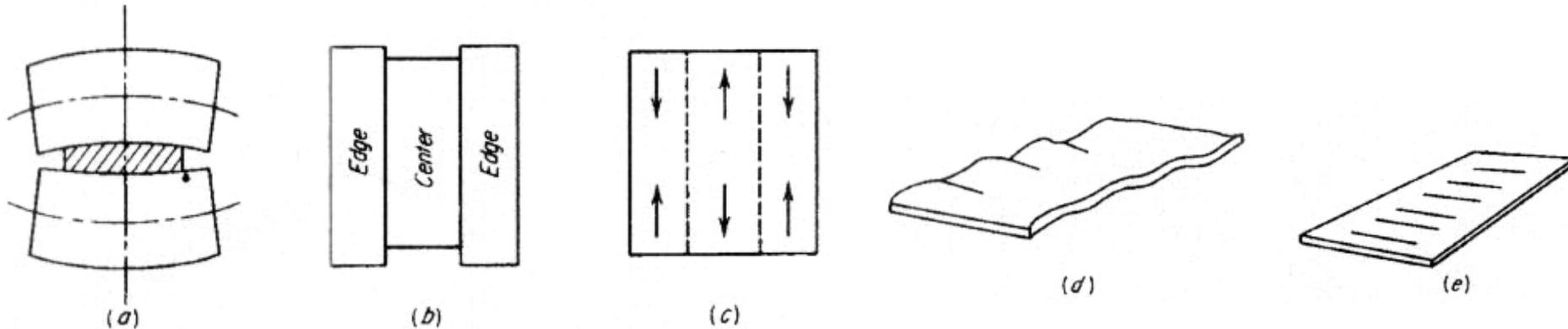
- | | | | | | |
|---|------------------------|---|---------------------------|----|-----------------------|
| 1 | DESENROLADEIRA | 5 | ROLO MEDIDOR APLAINAMENTO | 9 | PARAFUSO HIDRAULICO |
| 2 | ENROLADEIRA#1 | 6 | MEDIDOR DE ESPESSURA | 10 | REFRIGERAÇÃO SELETIVA |
| 3 | ENROLADEIRA#2 | 7 | PRENSA | 11 | MEDIDOR DE VELOCIDADE |
| 4 | ROLO PUXADOR/NIVELADOR | 8 | AJUSTE DE PASS-LINE | | |



CONTROLE DE ESPESSURA - AGC



Se as laterais estiverem livres para se mover a porção do centro da chapa é tracionada e as laterais são comprimidas na direção de laminação. O resultado será uma lateral ondulada ou flambada.



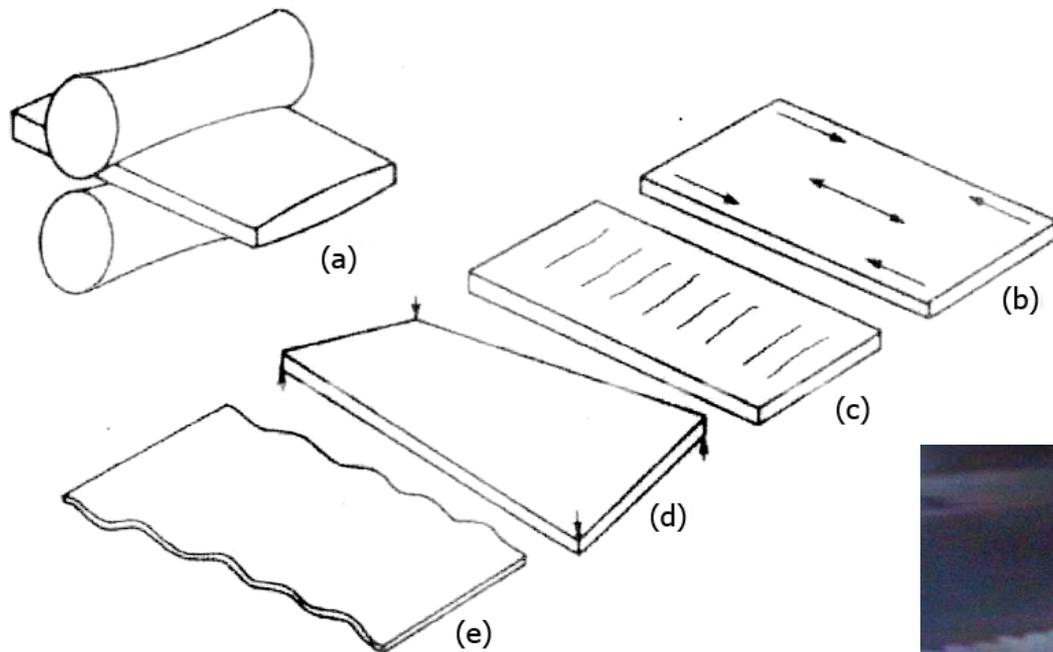
A solução:

- Cilindro mais largo no centro do que nas beiradas;
- Cilindro apresentando um abaulamento e
- Macaco hidráulico
- Corrigir a deformação elástica dos cilindros.

Obs. Se o cilindro tem uma deflexão convexa excessiva o centro da chapa será mais alongado do que nas laterais.

A distribuição de tensões é oposta e a chapa é dita ter centro livre e laterais presas.

Deflexão Côncava dos Cilindros



Possíveis defeitos em laminação com insuficiente "camber"

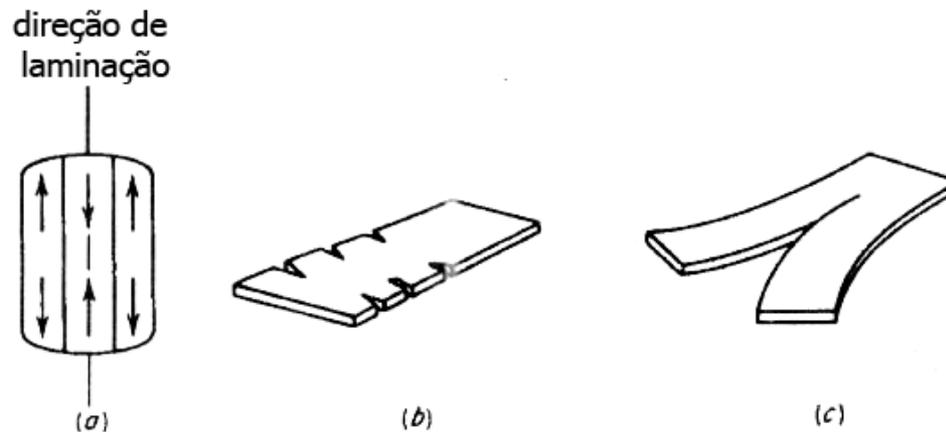
Com a diminuição da espessura as beiradas sofrem um alargamento lateral

- Arredondamento no seu final e começo de laminação

As faixas laterais se alongam menos do que o centro e ficam submetidas a tensões secundárias trativas.

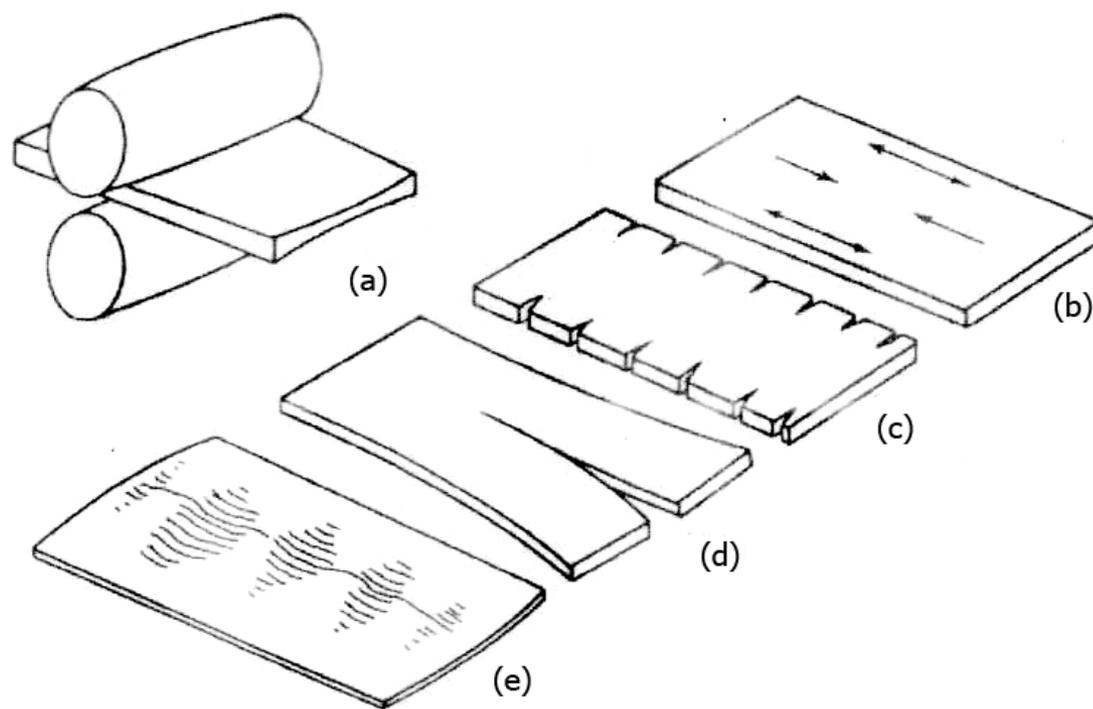
Em casos severos pode ocorrer:

- Fendilhamento (trincamento das bordas) e
- Fissuras rabo de peixe.



Defeitos resultantes do alargamento lateral

Deflexão Convexa dos Cilindros

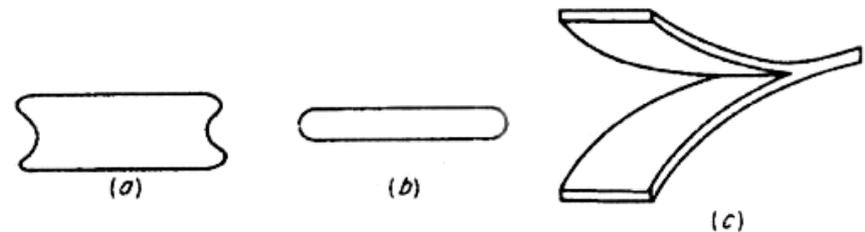


Possíveis defeitos em laminação com laminadores “over-cambeder”

Laminação

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) allingoring.

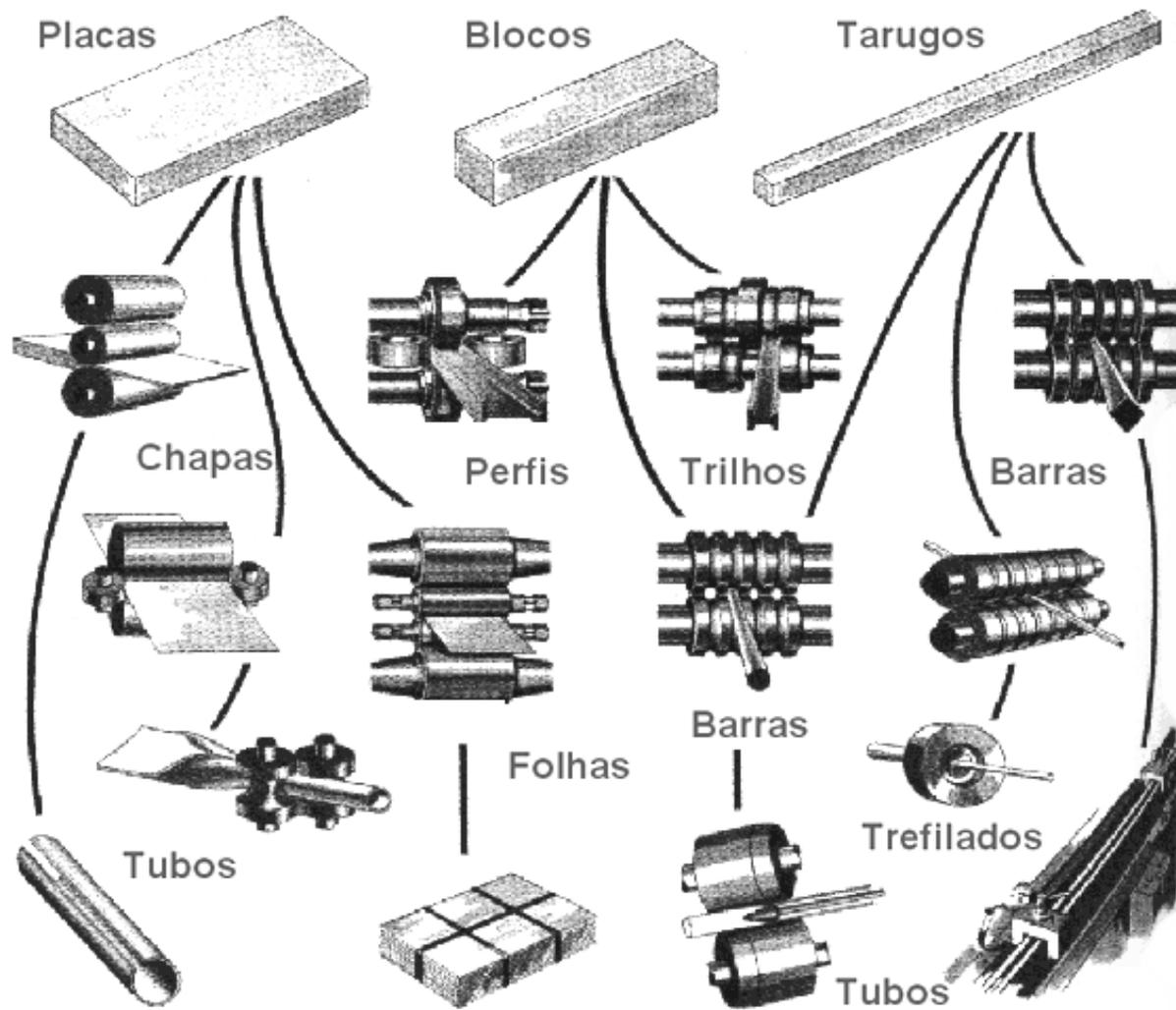
Com redução severas presentes:

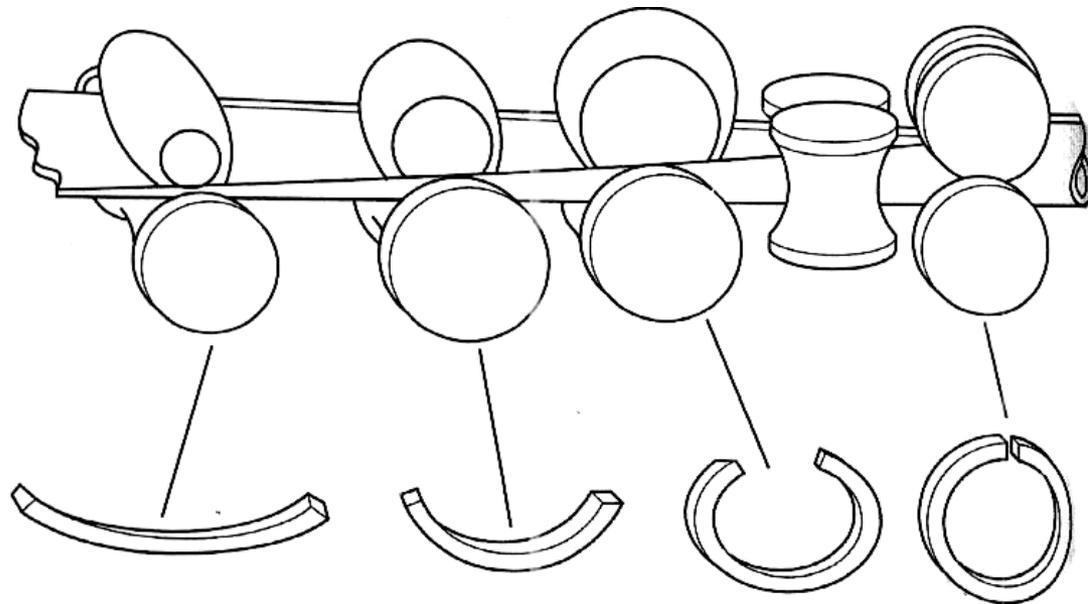
- bordas embarriladas

As tensões de tração secundárias criadas pelo embarrilamento são a causa real do aparecimento das trincas de beira ou borda.

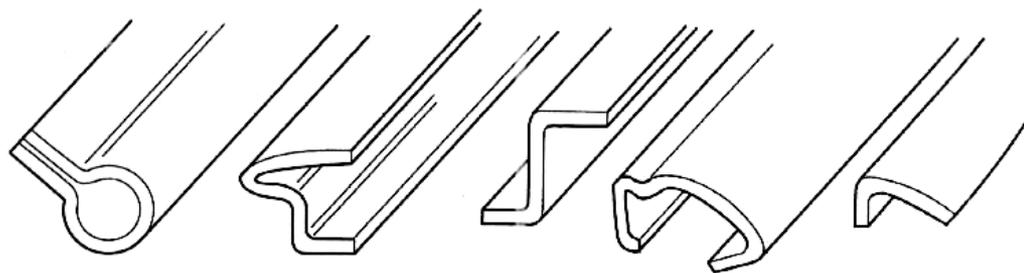
As trincas de bordas são minimizados utilizando:

- cilindros verticais;
- usinar as bordas para a forma quadrada depois de cada passe;
- barras de restrição da borda da chapa e
- enlatamento das bordas em ambos os lados com um material que apresente tensão de escoamento similar a peça.





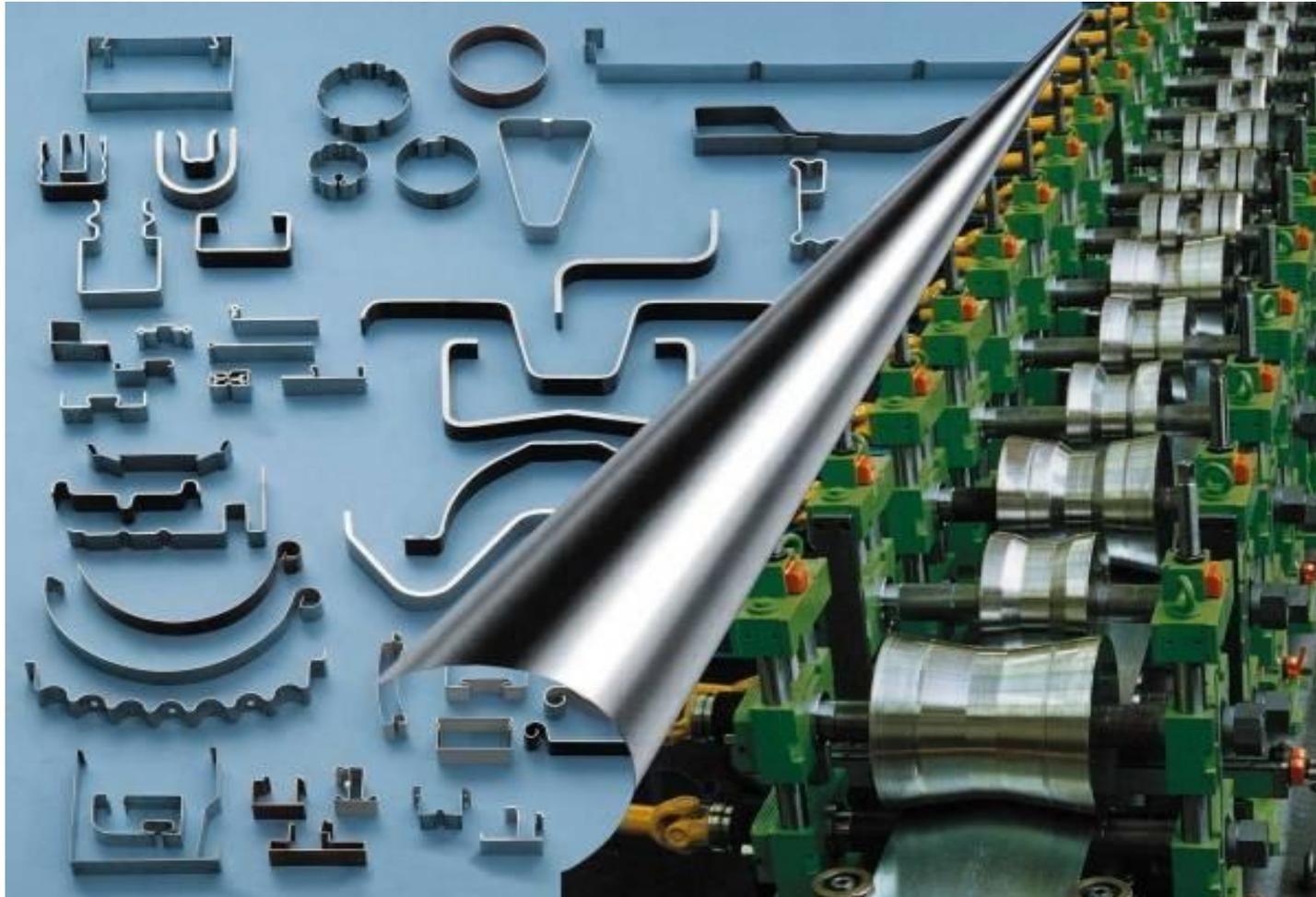
(a)



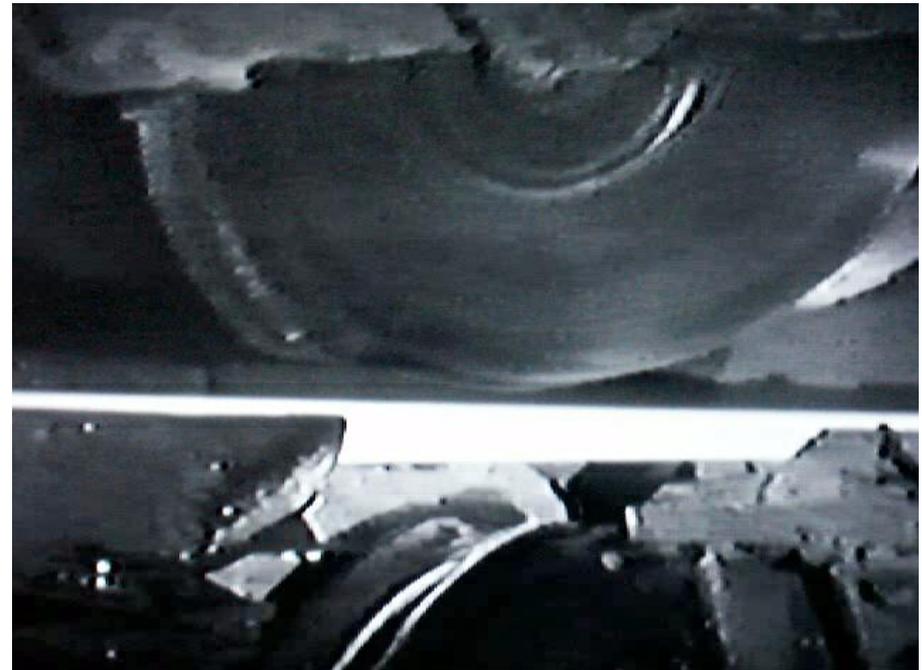
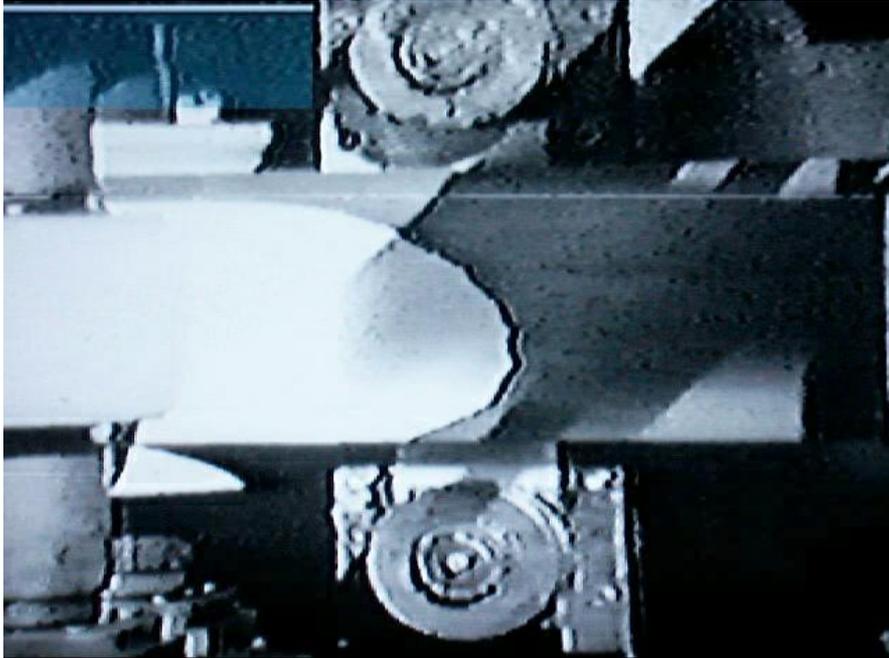
(b)

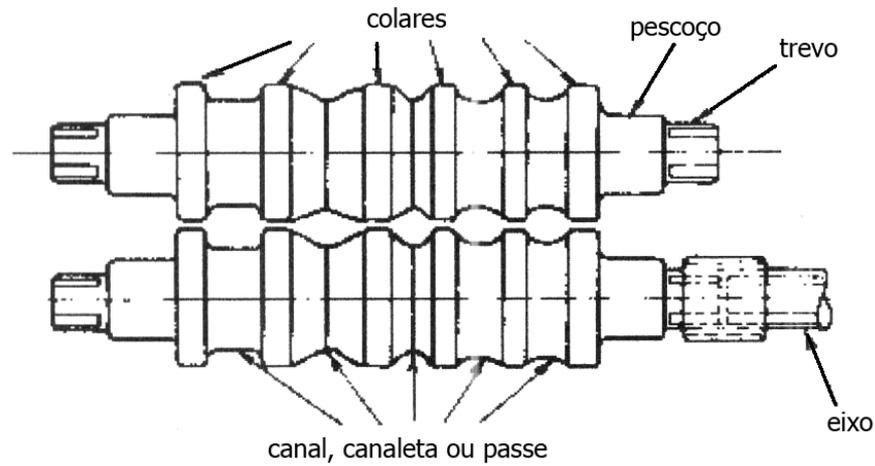
(a) Representação esquemática do processo de conformação em laminadores de dobra usados para converter chapas ou placas em tubos. (b) Algumas formas típicas produzidas por esse processo.

Laminador seqüencial de perfis

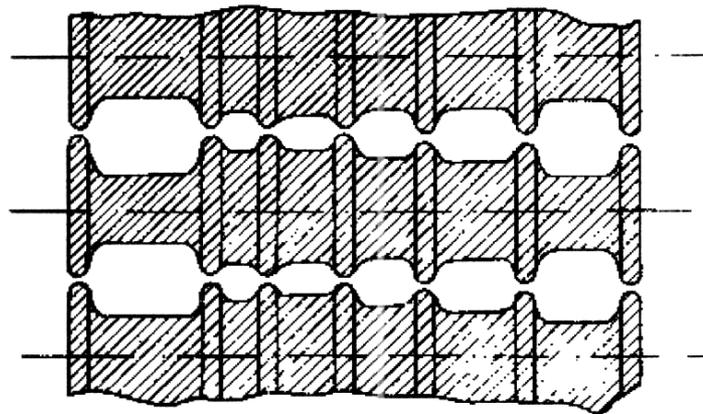


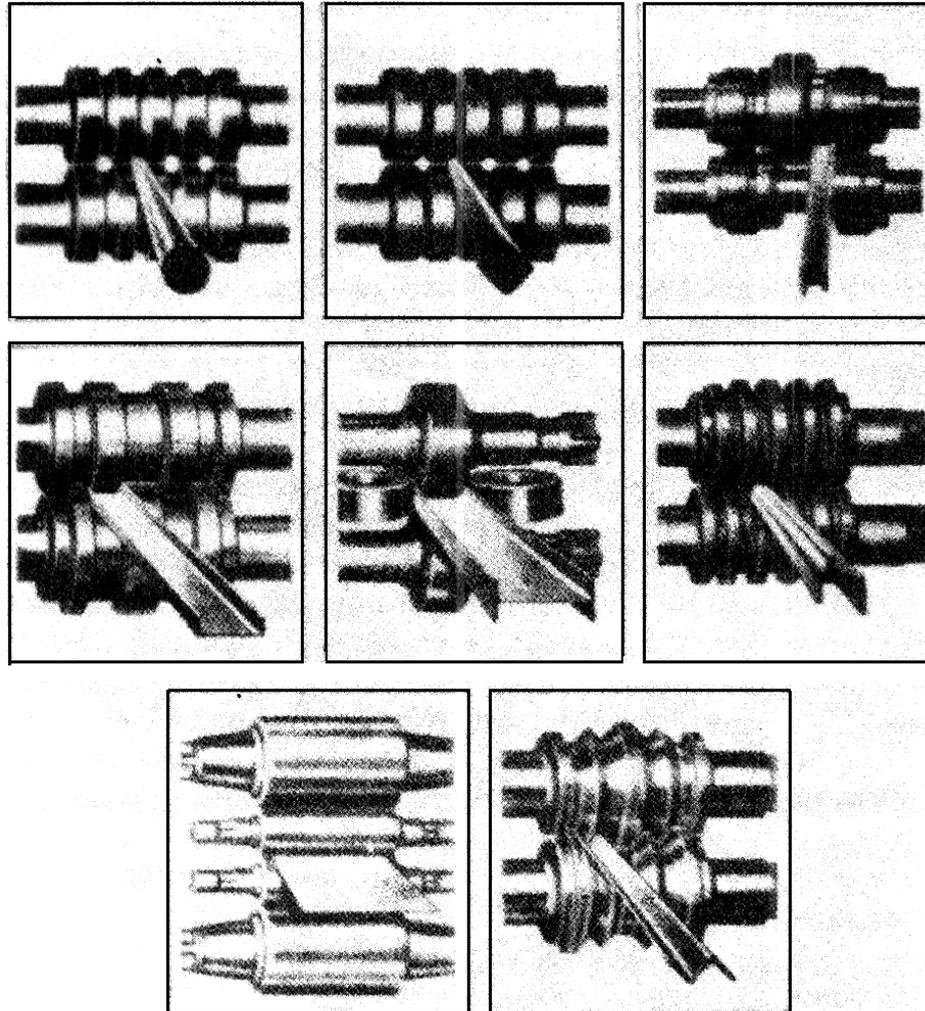
Tubos – ‘Roll Forming’



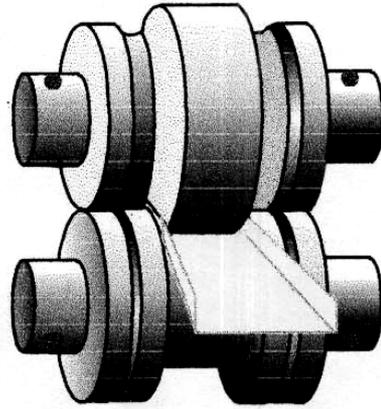
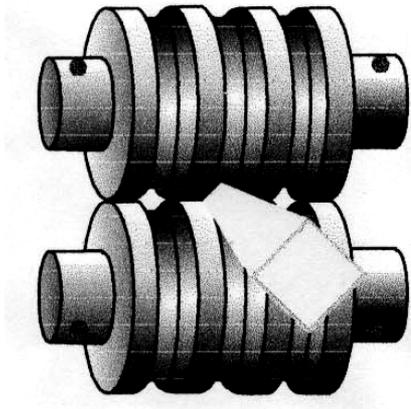


Cilindro de laminação

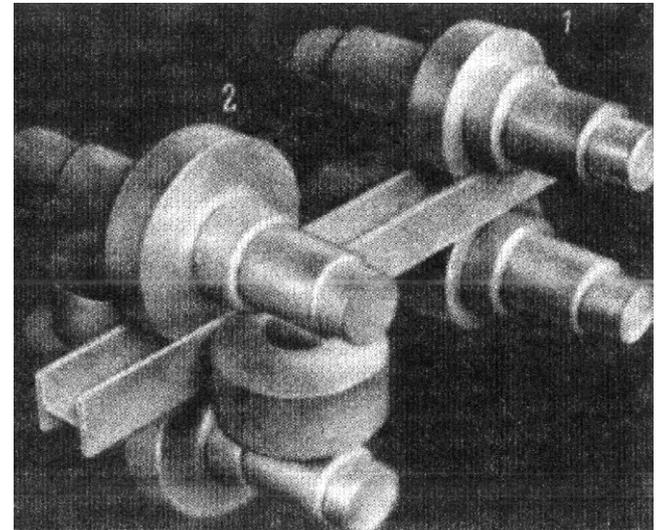


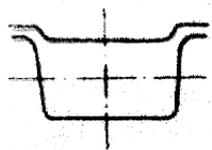


Laminação de barra de seção quadrada e perfil U

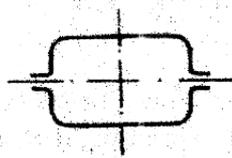


Laminação Perfil I

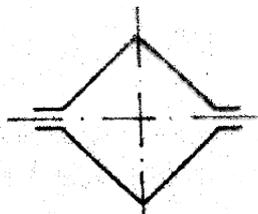




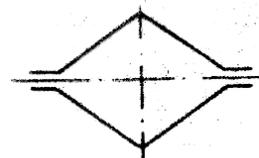
RETANGULAR
FECHADO



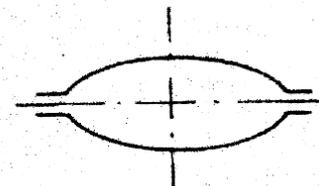
RETANGULAR
ABERTO



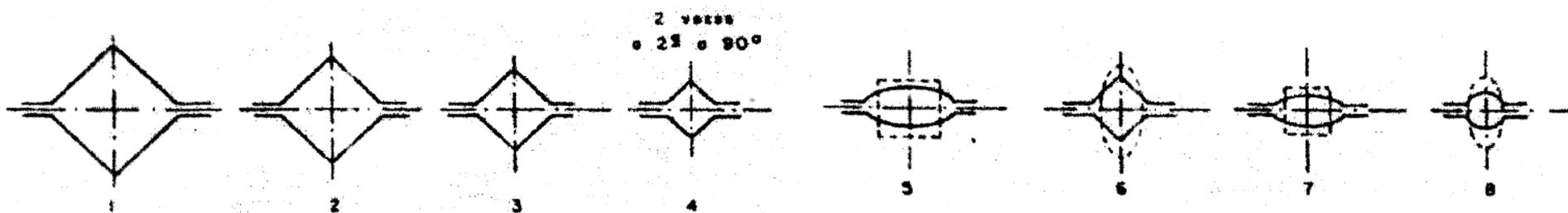
QUADRADO



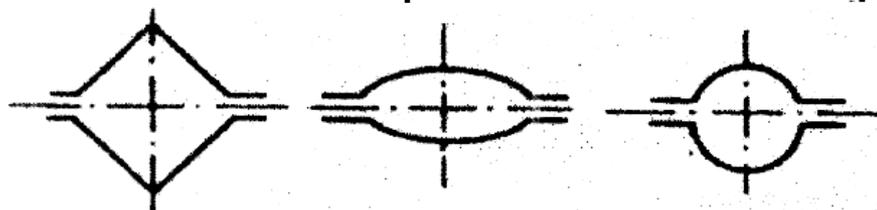
LOSANGULAR



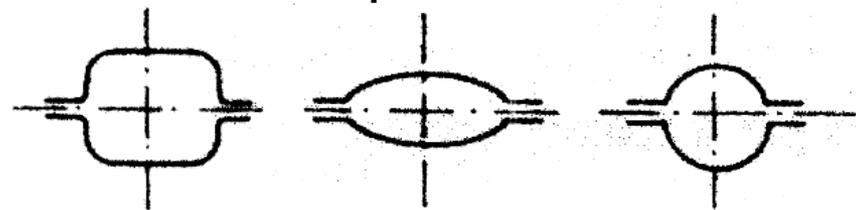
OVAL

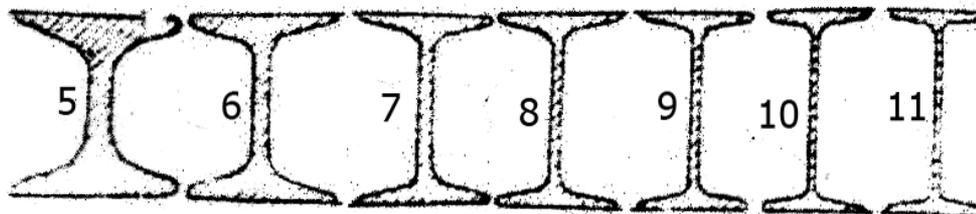
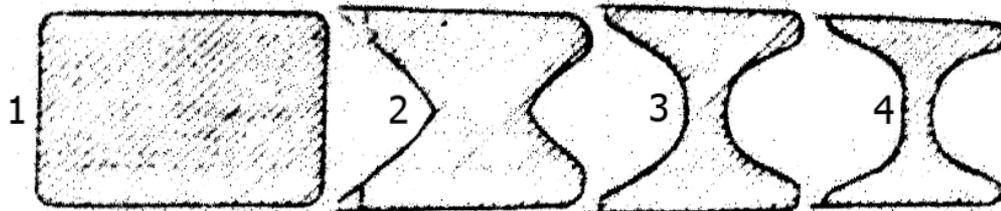
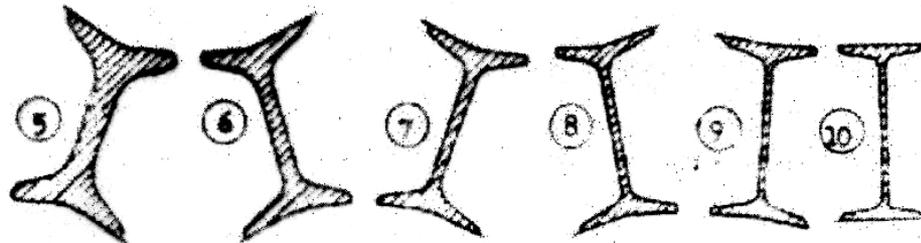
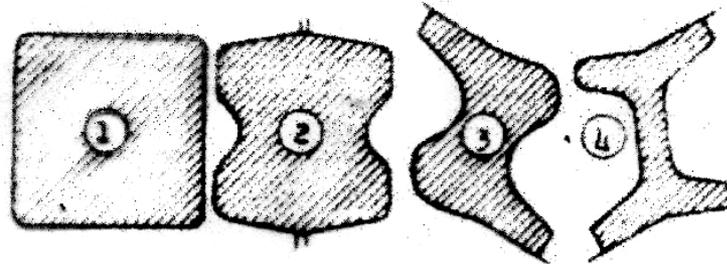


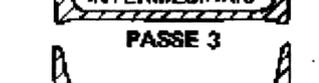
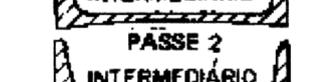
Sequência I



Sequência II







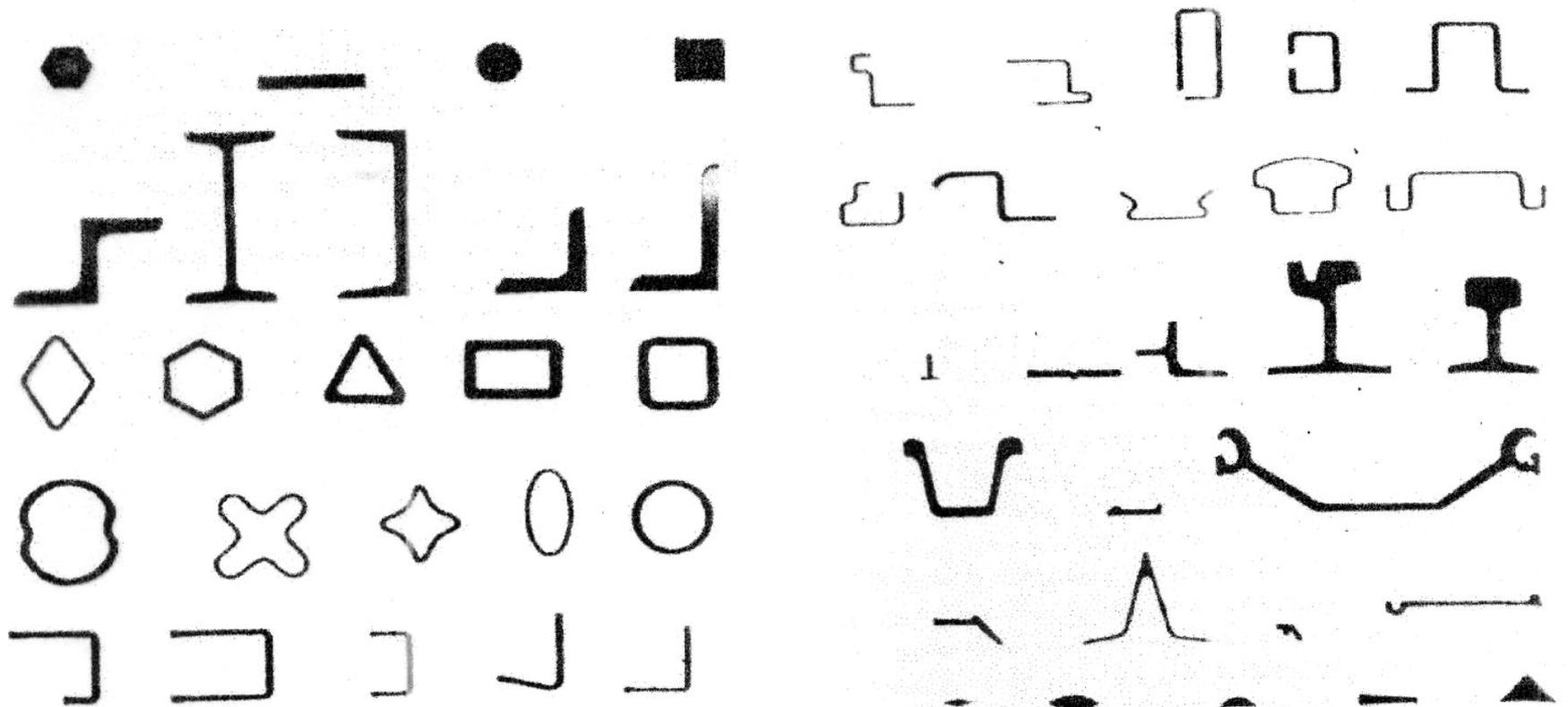
PASSES NA LAMINAÇÃO DE VIGA EM U

PASSES NA LAMINAÇÃO DE VIGA EM U

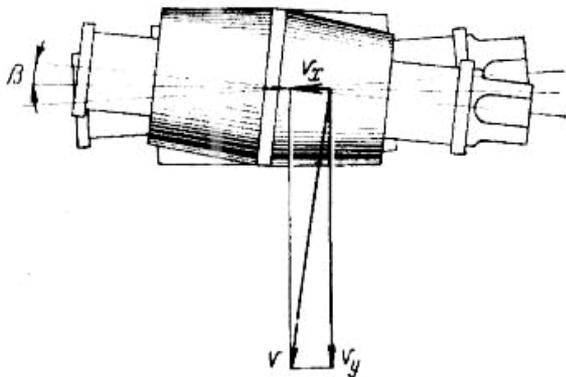
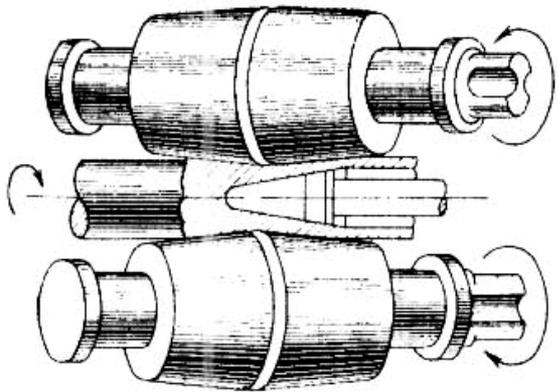


PASSES NA LAMINAÇÃO DE CANTONEIRA OU PERFIL EM L

Perfis laminados



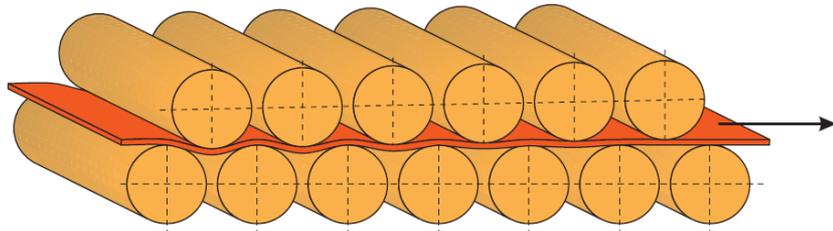
Manufatura de tubos



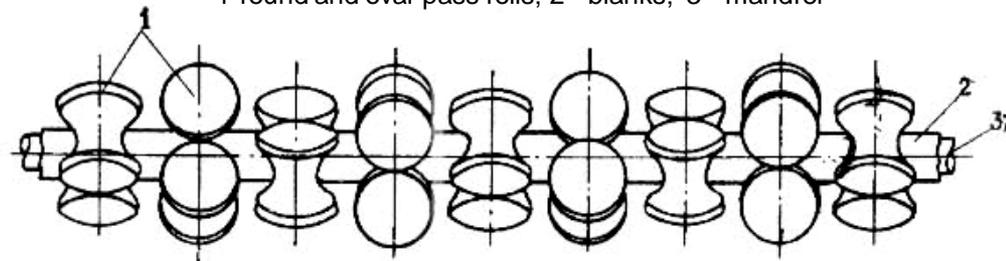
Pipe blank piercing, $\lambda=1.3$ to 5



Endireitadores



Pipe rolling in continuous mill
1-round and oval pass rolls; 2 -blanks; 3 - mandrel

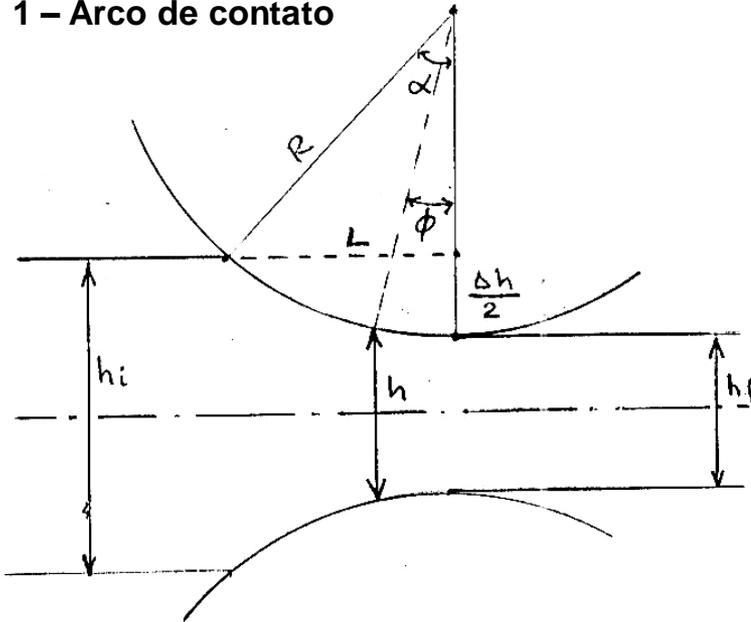


(8)

Straightening rolled stock in roller (a) and cross roll (b), straightteners

Relações geométricas na laminação de planos

1 – Arco de contato



Dado que $R \gg h_i$
Arco de contato $\sim L$

$$L = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2}\right)^2}$$

$$L = \sqrt{R\Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

ou $L = \sqrt{R\Delta h}$

2 – Ângulo de contato

$$\text{sen } \alpha = \frac{L}{R} = \frac{\sqrt{R\Delta h}}{R} = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

Se α pequeno = $\alpha = \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$

3 – Deformação convencional

Para um ponto genérico de altura h , admitindo deformação homogênea na espessura:

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

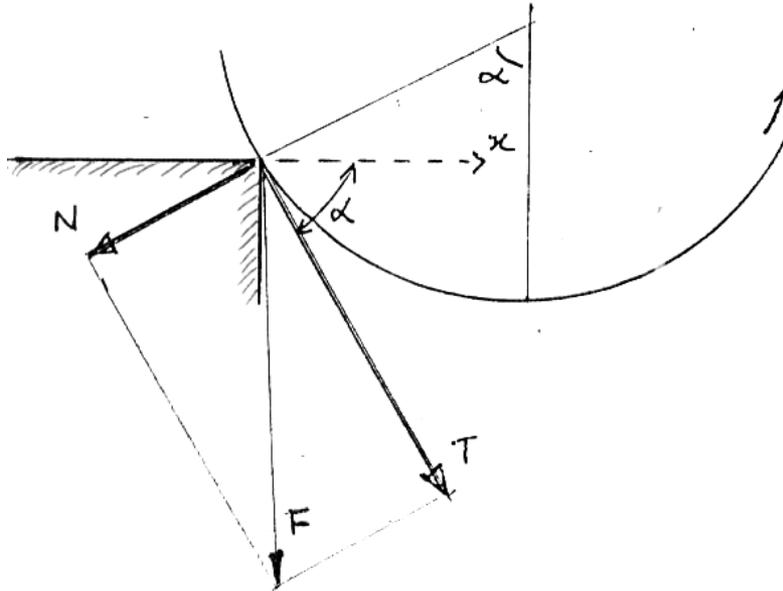
4 – Deformação logarítmica

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

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

Relações geométricas na laminação de planos

6 – Condições de mordida e arrastamento da chapa pelos cilindros de laminação



N = Força normal ao cilindro
T = Força de atrito (tangente)

Para que exista arraste:

$$F_x > 0$$

$$T \cos \alpha - N \sin \alpha > 0$$

Se atrito coulombiano: $T = \mu N$

$$N(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) > 0$$

$$\mu \cos \alpha - \sin \alpha > 0$$

$$\mu > \tan \alpha$$

Notas:

- α cresce com o passe, logo pode ser necessário para certos passes aumentar o atrito ou adicionar força seguindo a direção x

- a condição limite $\mu = \tan \alpha$, pode ser estimada para ângulos α pequenos:

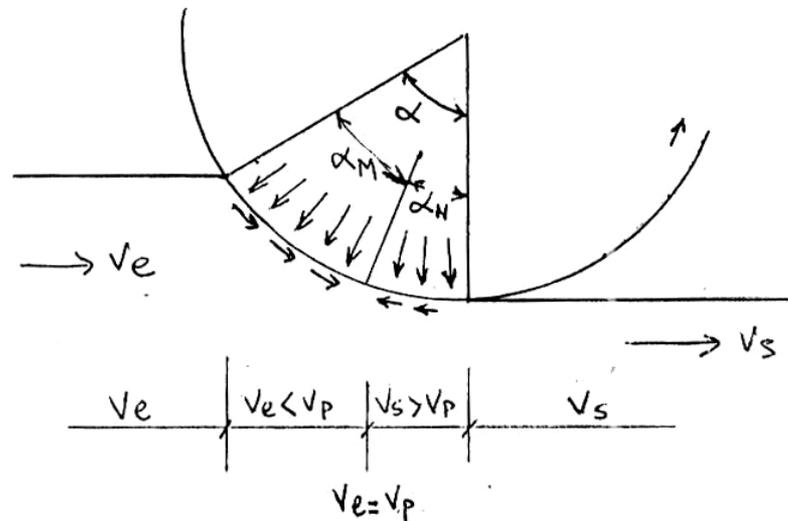
$$\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \Rightarrow \mu^2 \frac{\Delta h \max}{R} \text{ logo } \Delta h \max = \mu^2 R$$

- a condição limite $\mu = \tan \alpha$, é pessimista: (não considera deformação plástica no ponto de contato)

- Obviamente, uma vez que a chapa foi arrastada, as condições dentro do arco de contato levam a estabilidade assegurando o processo contínuo.

Relações geométricas na laminação de planos

7 – Ângulo Neutro (ou de deslocamento nulo)



Fatos:

(a) V saída $>$ V periférica

(b) V entrada $<$ V periférica

(c) Deve então existir um plano onde:

V chapa = V periférica

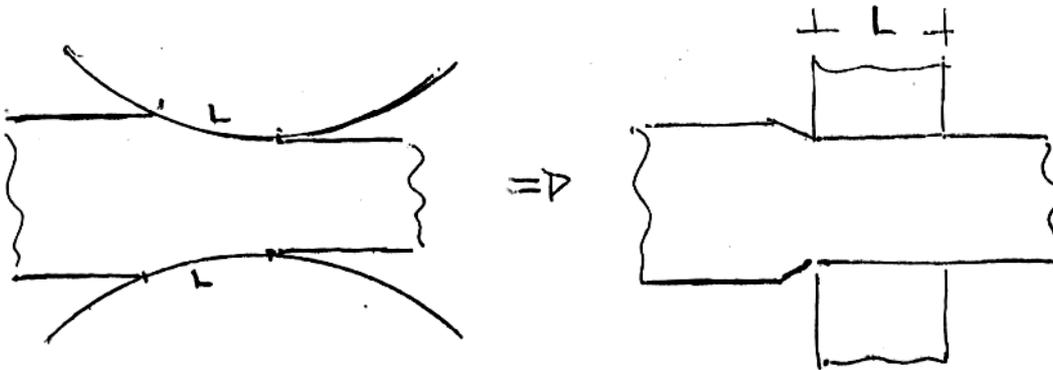
Este plano é chamado de plano “neutro”.

(d) As forças de atrito são convergentes para o plano neutro (semelhantemente ao fenômeno em forjamento).

(e) A região da área de contato de “arraste” da chapa (arco α_M).

09 – Carga (deformação homogênea)

Considera-se a laminação como compressão homogênea entre placas bem lubrificadas:



Área de contato $\rightarrow A = LW = \sqrt{R\Delta h} \cdot W$

Se não ocorre deformação lateral ($h_i \ll W$)

$$P = \bar{S}A = \bar{S}W\sqrt{R\Delta h} \longrightarrow \frac{P}{W} = \bar{S}\sqrt{R\Delta h}$$

Nota: Com $\frac{P}{W} = 1,2\bar{S}\sqrt{R\Delta h}$

Se obtém valores mais realistas e permite cálculos rápidos

$(\bar{S} = 1,15\bar{Y})$
Estado plano de deformação

Limite: inferior



Não considera o atrito

Orowan
20% para compensar o atrito

