



# **TECNOLOGIA DE ESTAMPAGEM**

Prof. Milton  
FATEC ITAQUERA, 2015

# Repuxo

Repuxo é a operação de conformação que, em um ou mais estágios, transforma uma chapa metálica plana em corpo côncavo.

# Repuxo

Sem que haja aparecimento de rugas e trincas.

# Repuxo

A chapa, empurrada pelo punção, é obrigada a passar através da matriz, enquanto o sujeitador mantém a superfície da chapa tensa para impedir a formação de rugas.

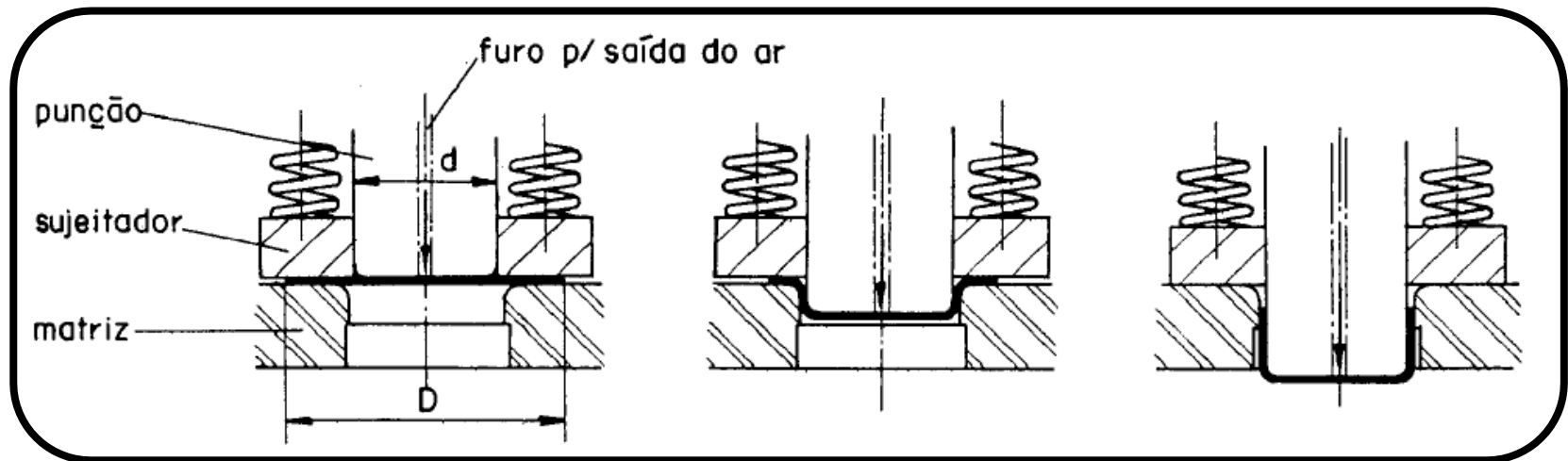
# Repuxo

A força responsável pela operação é denominada força de repuxo.

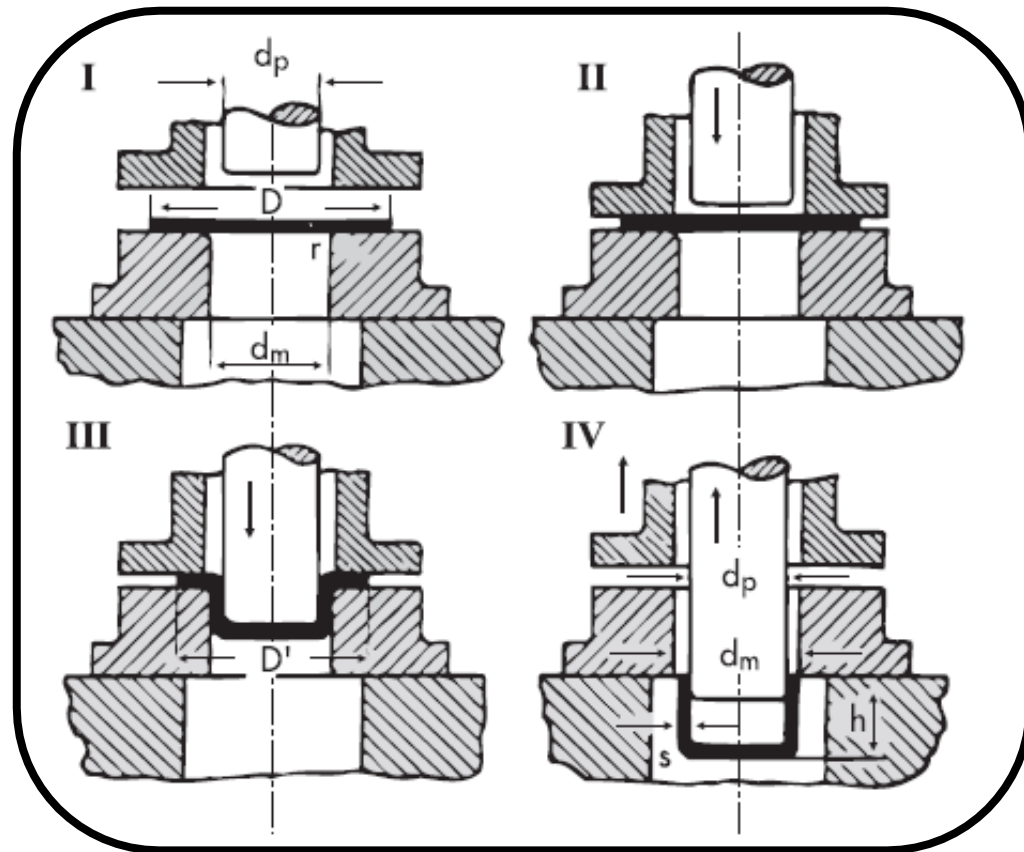
# Repuxo

O material da chapa flui para dentro da matriz, configurando gradativamente as paredes laterais da peça.

# Repuxo

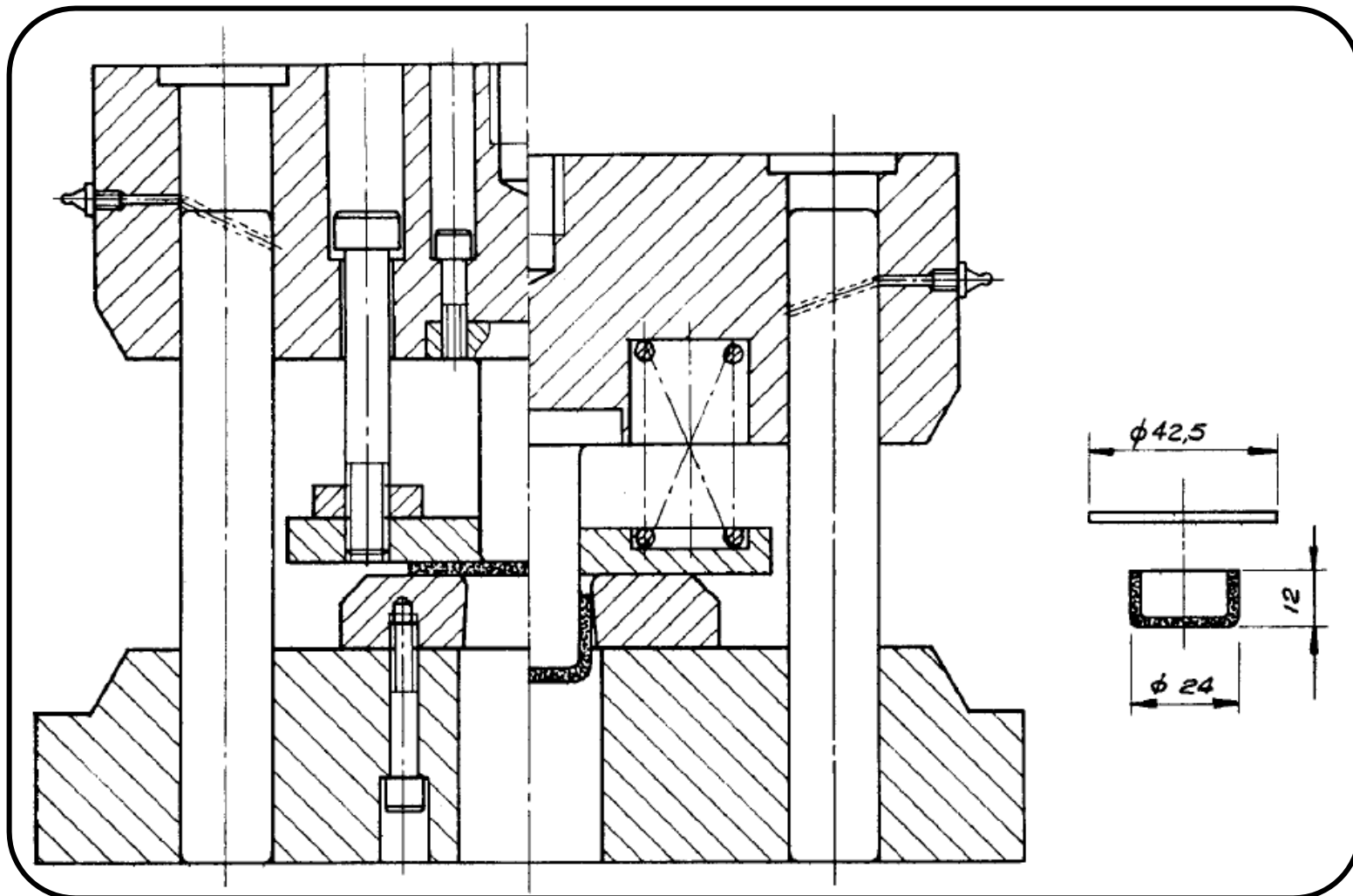


# Рерухо

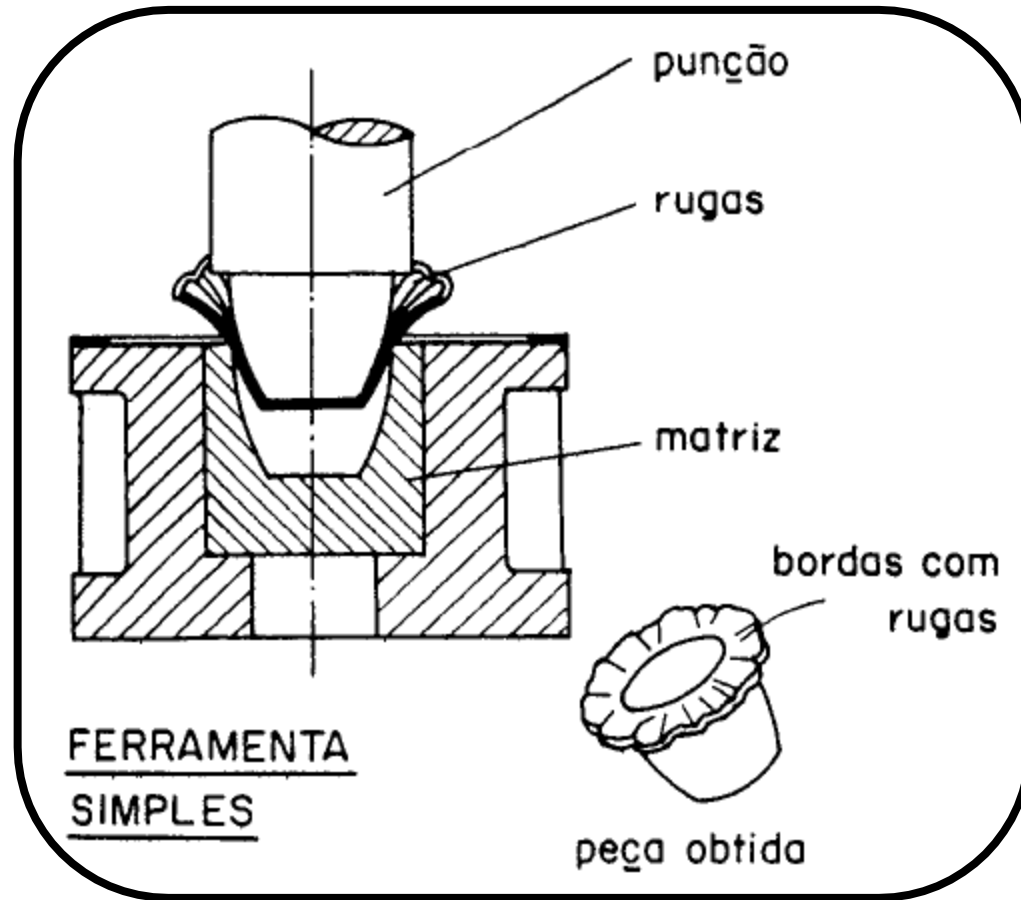




# Рерухо

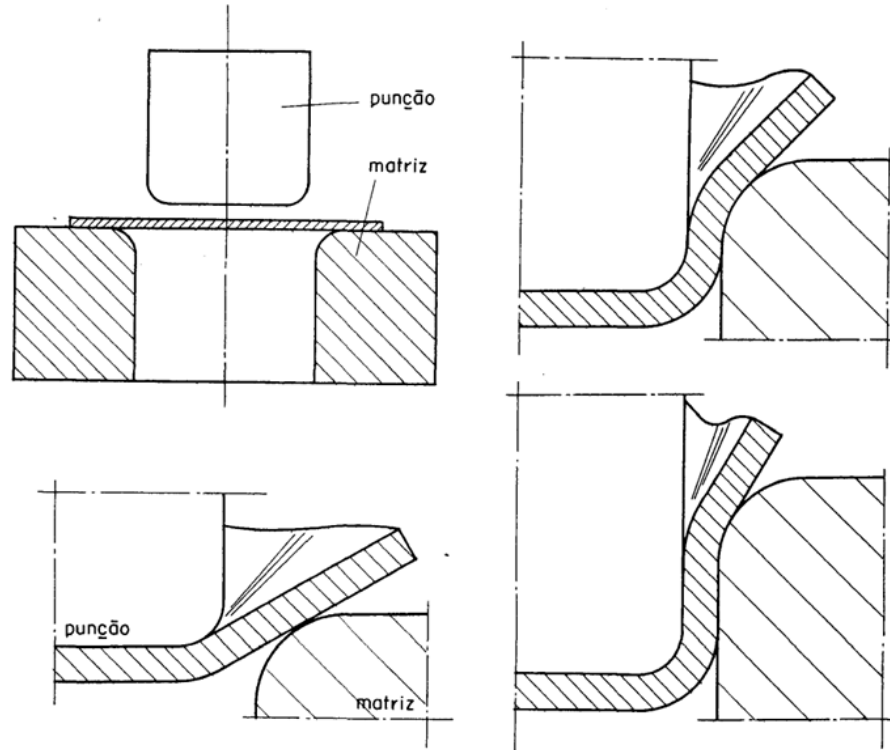


# Repuxo

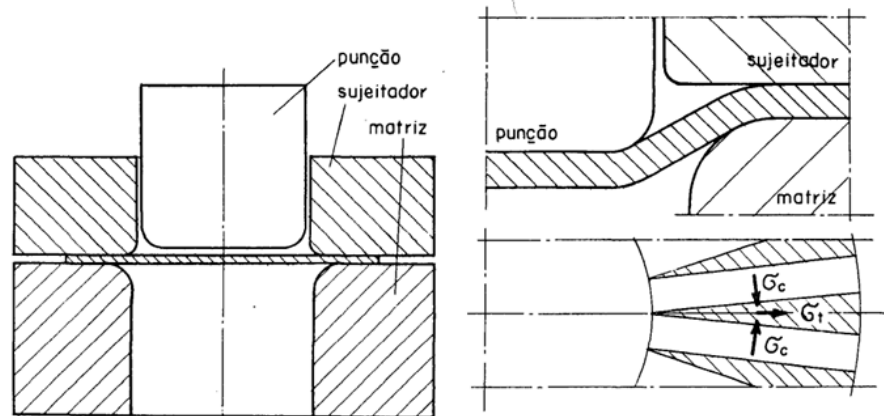


# Repuxo

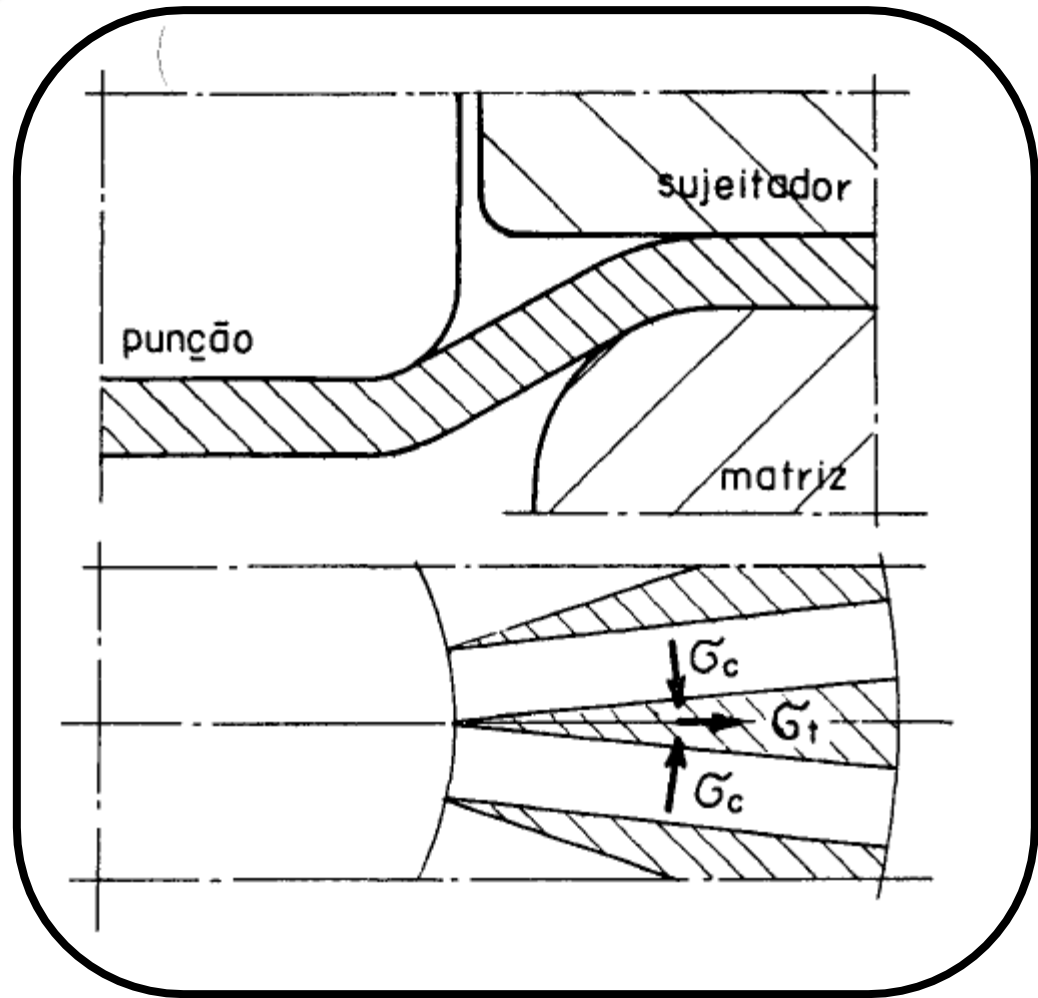
## REPUXO COM PRENSAS DE SIMPLES EFEITO



## REPUXO COM PRENSAS DE DUPLO EFEITO

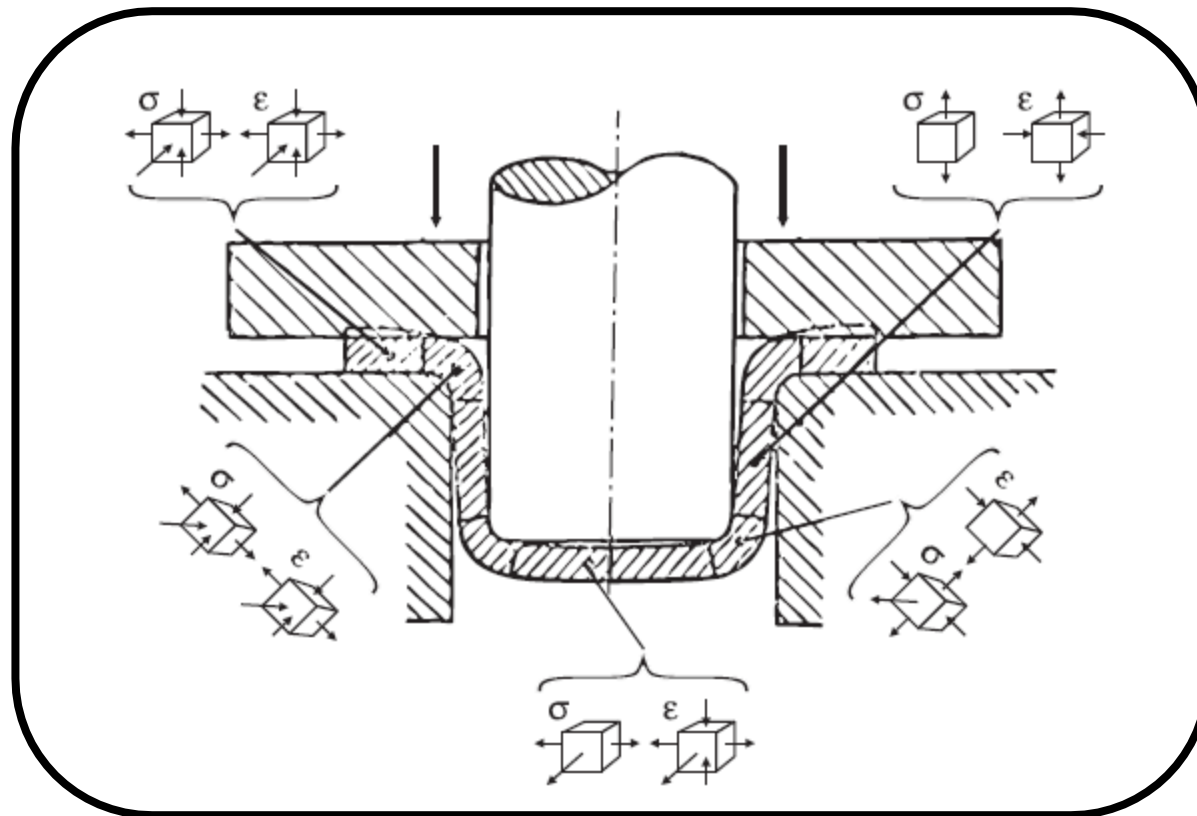


# Repuxo



# Repuxo

Tensões envolvidas no processo.



# Repuxo

Basicamente, existem quatro regiões com deformações distintas:

# Repuxo

A parte plana do fundo da peça cuja espessura final é praticamente a mesma do blanque, quase não apresentando deformação;

# Repuxo

O raio do fundo da peça onde ocorre significativa deformação na espessura;



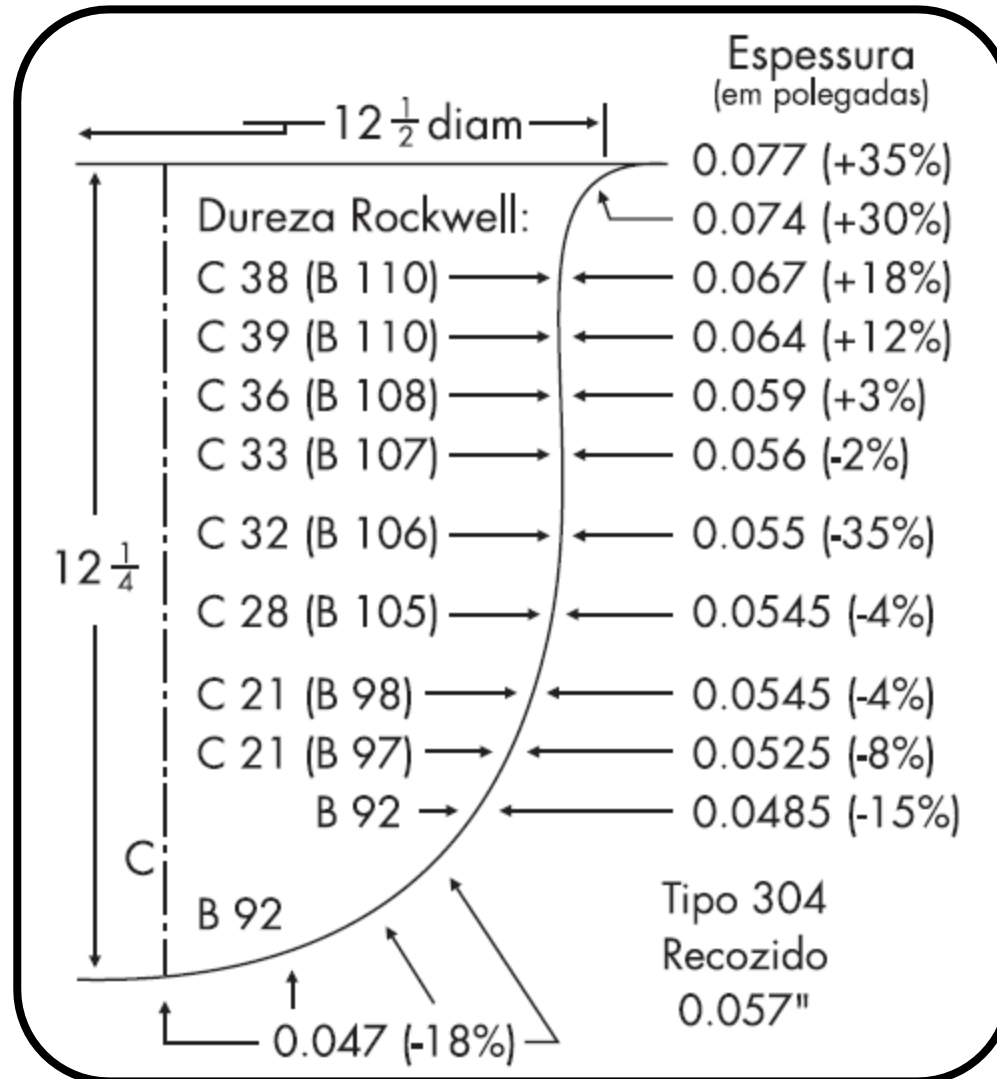
# Repuxo

O raio da matriz, onde se verifica um aumento de espessura pelas diferenças entre as tensões de tração, compressão e a componente tangencial;

# Repuxo

As paredes laterais onde ocorre um decréscimo gradual da espessura até o fundo da peça.

# Repuxo



# Repuxo

Capacidade de alongamento do material

A capacidade de alongamento é função da velocidade de endurecimento pelo trabalho mecânico a frio de cada material.

# Repuxo

Esta capacidade é medida pelo coeficiente de encruamento  $n$  (tangente à sua curva tensão deformação).

# Repuxo

Em materiais com elevado coeficiente de encruamento, a deformação localizada causa um incremento rápido da resistência mecânica e o material se torna capacitado a resistir cada vez mais à deformação.

# Repuxo

Em materiais de pequeno coeficiente de encruamento, a deformação localizada causa uma estrição (redução de seção) e uma perda da resistência mecânica.

# Repuxo

Comparativamente, os aços baixo carbono e o inox tipo 430 apresentam coeficientes  $n$  iguais a 0,22 enquanto que para o aço inox 304 este coeficiente atinge a  $n = 0,48$ .



# Repuxo

Comparativamente, os aços baixo carbono e o inox tipo 430 apresentam coeficientes  $n$  iguais a 0,22 enquanto que para o aço inox 304 este coeficiente atinge a  $n = 0,48$ .

# Repuxo

A capacidade de endurecimento de um aço é uma função que depende basicamente de sua composição química.

# Repuxo

Essa determinação é aproximada, e é baseada em aproximações das equivalências das superfícies.

# Repuxo

Essa determinação é aproximada, e é baseada em aproximações das equivalências das superfícies.

# Repuxo

Em chapas finas, com espessuras de no máximo 1mm

# Repuxo

Essa determinação para chapas acima de 1mm, deve utilizar a equivalência de volumes.

# Repuxo

O blaque que representará os melhores produtos e menor sucata, é alcançado por tentativas.

# Repuxo

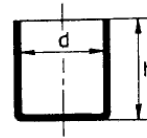
O acabamento do produto, geralmente é feito por refile.



# Repuxo

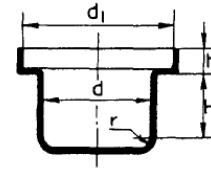
Para repuxos cilíndricos, de chapas finas, pela equivalência de superfície, teremos:

# Repuxo

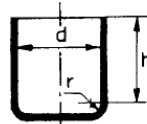


(cantos vivos)

$$D = \sqrt{d^2 + 4 dh}$$

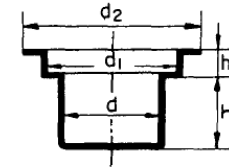


$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d(H + 0,57r) + 4 d_1 h}$$

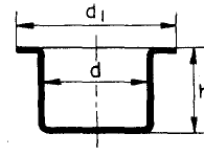


(cantos arredondados)

$$D = \sqrt{d^2 + 4 d (h + 0,57 r)}$$

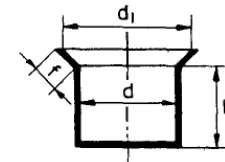


$$D = \sqrt{d_2^2 + 4 (dH + d_1 h)}$$

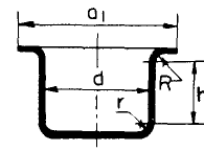


(cantos vivos)

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 dh}$$

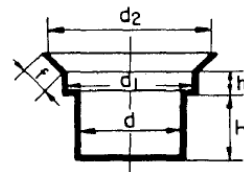


$$D = \sqrt{d^2 + 4 dh + 2 f (d + d_1)}$$

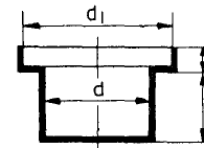


(cantos arredondados)

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 d [h + 0,57 (R + r)]}$$

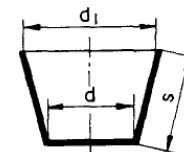


$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 (dH + d_1 h) + 2 f (d_1 + d_2)}$$



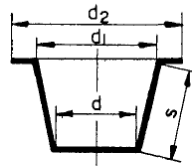
(cantos arredondados)

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 (dH + d_1 h)}$$

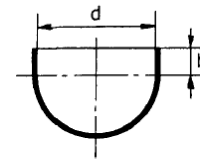


$$D = \sqrt{d^2 + 2 s (d + d_1)}$$

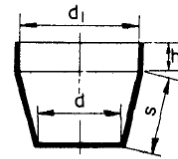
# Repuxo



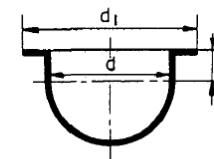
$$D = \sqrt{d^2 + 2s(d+d_1) + d_2^2 - d_1^2}$$



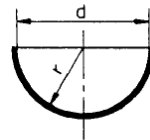
$$D = 1,414 \sqrt{d^2 + 2dh}$$



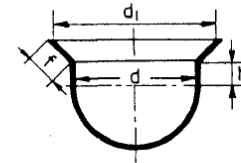
$$D = \sqrt{d^2 + 2[s(d+d_1) + 2d_1h]}$$



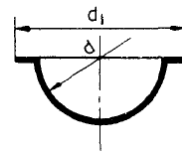
$$D = \sqrt{d^2 + d_1^2 + 4dh}$$



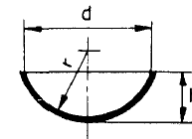
$$D = \sqrt{8r^2} = 2,828r = 1,414d$$



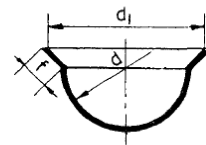
$$D = 1,414 \sqrt{d^2 + 2dh + f(d+d_1)}$$



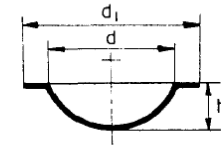
$$D = \sqrt{d^2 + d_1^2}$$



$$D = \sqrt{8rh} = \sqrt{d^2 + 4h^2}$$

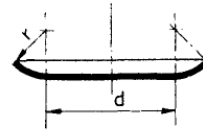


$$D = 1,414 \sqrt{d^2 + f(d+d_1)}$$

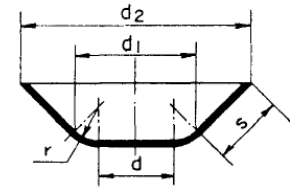


$$D = \sqrt{d_1^2 + 4h^2}$$

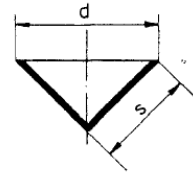
# Repuxo



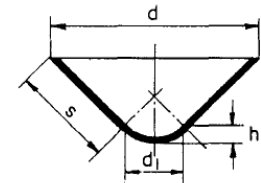
$$D = \sqrt{\pi r(d + 0,74r) + d^2}$$



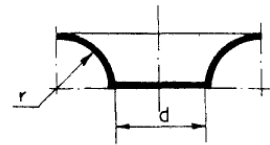
$$D = \sqrt{\pi r(d + 0,74r) + d^2 + 2s(d_1 + d_2)}$$



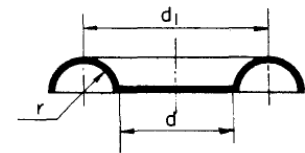
$$D = \sqrt{2ds}$$



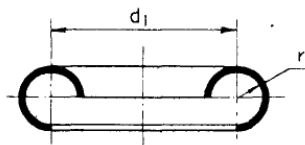
$$D = \sqrt{d_1^2 + 4h^2 + 2s(d_1 + d)}$$



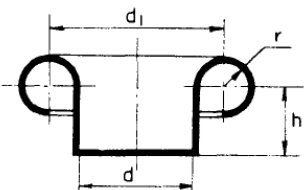
$$D = \sqrt{d^2 + 2\pi r(d + 0,7r)}$$



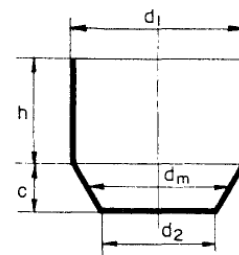
$$D = \sqrt{d^2 + 4\pi r d_1}$$



$$D = \sqrt{6\pi r d_1}$$



$$D = \sqrt{6\pi r d_1 + 4dh + d^2}$$

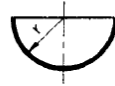


$$D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1 h + 5,64 c d_m}$$

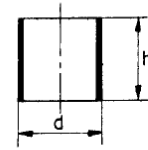
$$h = \frac{D^2 - (d_2^2 + 5,64 c d_m)}{4 d_1} \quad \text{em que:}$$

$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

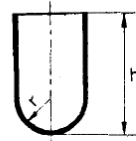
# Repuxo



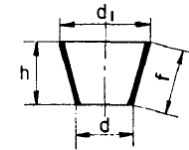
$$S = 2\pi r^2$$



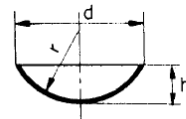
$$S = \pi \cdot d \cdot h$$



$$S = 2\pi r h$$

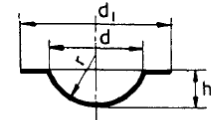


$$S = \pi f \left( \frac{d + d_1}{2} \right)$$

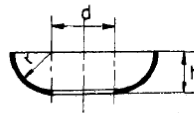


$$S = 2\pi r h$$

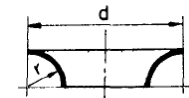
$$S = \pi \left( \frac{d^2}{4} + h^2 \right)$$



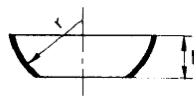
$$S = \pi \left( \frac{d_1^2}{4} + h^2 \right) \quad h = r - \sqrt{r^2 - \frac{d^2}{4}}$$



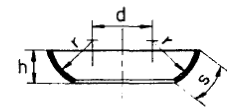
$$S = 2\pi r^2 + \frac{\pi^2 r d}{2}$$



$$S = \frac{\pi^2 r d}{2} - 2\pi r^2$$

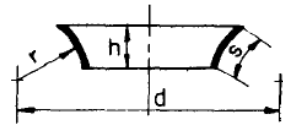


$$S = 2\pi r h$$

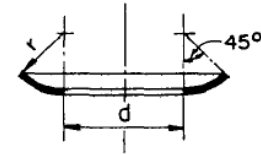


$$S = \pi (ds + 2rh)$$

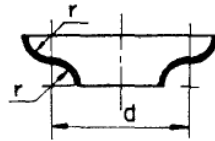
# Repuxo



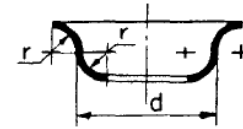
$$S = \pi (ds - 2rh)$$



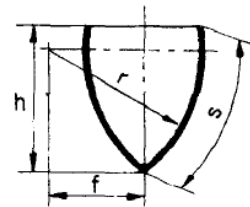
$$S = \frac{\pi^2 r}{4} \cdot (d + 0,74 r)$$



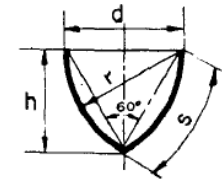
$$S = \pi^2 r d$$



$$S = \pi^2 r d$$



$$S = 2\pi (rh - fs)$$



$$S = 2\pi \left( rh - \frac{d}{2} s \right)$$

$$S = 2,15 d^2$$

$c = \text{corda}$

$d = c = r$

# Repuxo

A determinação analítica do desenvolvimento da peça repuxada não é sempre possível.

# Repuxo

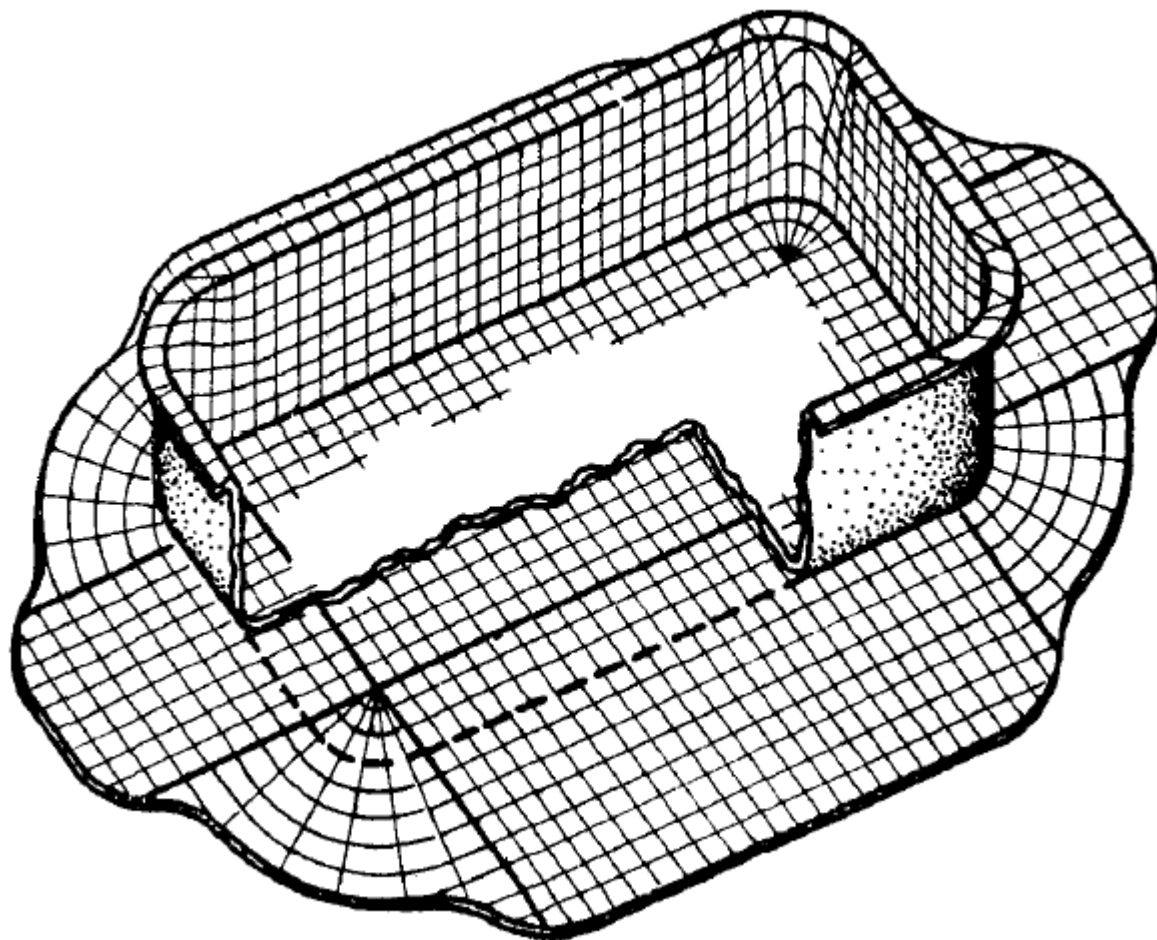
Quando isto acontece, recorre-se ao artifício da chapa quadriculada.



# Repuxo

Traça-se um reticulado de 5 mm ou mais, sobre umas chapas recortadas intuitivamente, se repuxa e então se analisa os resultados, e se faz as devidas correções.

# Рерухо



# Repuxo

Número de operações para a conformação de uma peça

Repuxo cilíndrico

# Repuxo

A profundidade do repuxo em relação ao diâmetro é de fundamental importância para a determinação do número de operações necessárias para a conformação de uma peça.

# Repuxo

Para se evitar alongamentos excessivos, rasgos e fortes encrudescimentos que levariam à rejeição do produto, é necessário repuxar o material gradativamente até à conformação final.

# Repuxo

## Coeficientes de repuxo

Material da chapa	1ª operação k	operações seguintes k'
aço para repuxo	0,6	0,8
aço para repuxo profundo	0,55 ÷ 0,60	0,75 ÷ 0,80
aço para carroçaria	0,52 ÷ 0,58	0,75 ÷ 0,80
aço inox	0,50 ÷ 0,55	0,80 ÷ 0,85
folha de flandres	0,50 ÷ 0,55	0,75 ÷ 0,80
cobre	0,55 ÷ 0,60	0,85
zinco	0,65 ÷ 0,70	0,85 ÷ 0,90
alumínio	0,53 ÷ 0,60	0,80
duralumínio	0,55 ÷ 0,60	0,90
latão	0,50 ÷ 0,55	0,75 ÷ 0,80
níquel — monel — inconel	0,60 ÷ 0,65	0,80

# Repuxo

Coeficientes de repuxo

Redução

$$\text{Redução \%} = \frac{100 (D - d)}{D}$$

## Capacidade de embutimento do material

A capacidade de embutimento de um material depende da sua relação de deformação plástica, que é uma medida da resistência à estrição do material.



## Capacidade de embutimento do material

A severidade do repuxo é a relação entre o diâmetro do blank e o diâmetro do punção.

$$\beta_0 = \frac{D}{d}$$

onde  $d$  é o diâmetro do punção e “ $D$ ” é o diâmetro do blank.

## Capacidade de embutimento do material

A severidade máxima de repuxo é a condição limite de repuxo para uma única operação. É determinada para os aços:

$$\beta_{o_{\max}} = 2,15 - 0,001 \cdot \frac{d}{e}$$

onde  $d$  é o diâmetro do punção e “ $e$ ” é a espessura da chapa.

# Forças que atuam na operação de repuxo

## Força de repuxo (**FR**)

$$F_R = \pi \cdot d \cdot e \cdot \sigma_B \cdot s$$

Onde: d: é o diâmetro do punção  
e: é a espessura do material  
s: é o fator de correção

## Forças que atuam na operação de repuxo

Fator de correção de severidade de repuxo(**s**)

$$s = 1,2 \times \frac{\beta_0 - 1}{\beta_{0_{\max}} - 1}$$

# Forças que atuam na operação de repuxo

## Raio da matriz

$$R_m = 0,8 \sqrt{(D-d) \times e}$$

## Folga de Repuxo

$$\delta = e + 0,07 \sqrt{10 \times e}$$

## Forças que atuam na operação de repuxo

Área de atuação do prensa chapa  
(cm<sup>2</sup>)

$$A_c = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_o^2)$$

Pressão do prensa chapa (Kgf/cm<sup>2</sup>)

$$p = 0,25 \left[ (\beta_o - 1)^2 + \frac{0,5d}{100e} \right] \sigma_B$$

# Forças que atuam na operação de repuxo

Força do prensa chapa

$$F_{pc} = p \cdot A_c$$

# Lubrificação

Os lubrificantes foram classificados em notas de zero a dez, com o valor zero correspondendo ao pior comportamento e dez ao melhor comportamento.



# Lubrificação

Redução r%	Lubrificante		Eliminação		Efetividade de aplicação
	Base	Tipo	com Veículo Aquoso	com Desengra- xante/ Solvente	
r% ≤ 10	Aquosa	Emulsão de óleo 5 - 20%	10	8	6
11 ≤ r% ≤ 20	Aquosa	Solução de sabão 5 - 20%	10	3	6
21 ≤ r% ≤ 40	Aquosa	Pasta diluída de sabão e graxa	6	5	8
		Emulsão de óleo p/ uso pesado, com Cl e S <sup>2</sup>	10	8	7
% > 40	Aquosa	Pasta pigmentada sabão/graxa	5	3	10
		Pasta cera/sabão/borax	8	3	8
r% ≤ 10	Oleosa	Óleo residual de processo	8	10	6
		Óleo mineral	8	10	6
11 ≤ r% ≤ 20	Oleosa	Óleo mineral c/ 10 - 30% de ácido graxo	8	10	8
		Idem com 2 - 20% de óleo clorado ou sulfuradoi	7	8	7
21 ≤ r% ≤ 40	Oleosa	Ácidos graxos	6	6	8
		Óleo mineral com 5 - 50% de:			
		- óleo clorado não emulsionável	5	8	6
		- óleo clorado emulsionável	8	8	6
Óleo fosfatado concentrado	6	6	7		
% > 40	Oleosa	Mistura de óleo mineral com pastas pigmentadas sabão/graxa	5	5	9

# Lubrificação

A redução da coluna à esquerda se refere à porcentagem de redução de diâmetro de peças cilíndricas.