



SEM 0534 Processos de Fabricação Mecânica

Professor:
Renato Goulart Jasinevicius

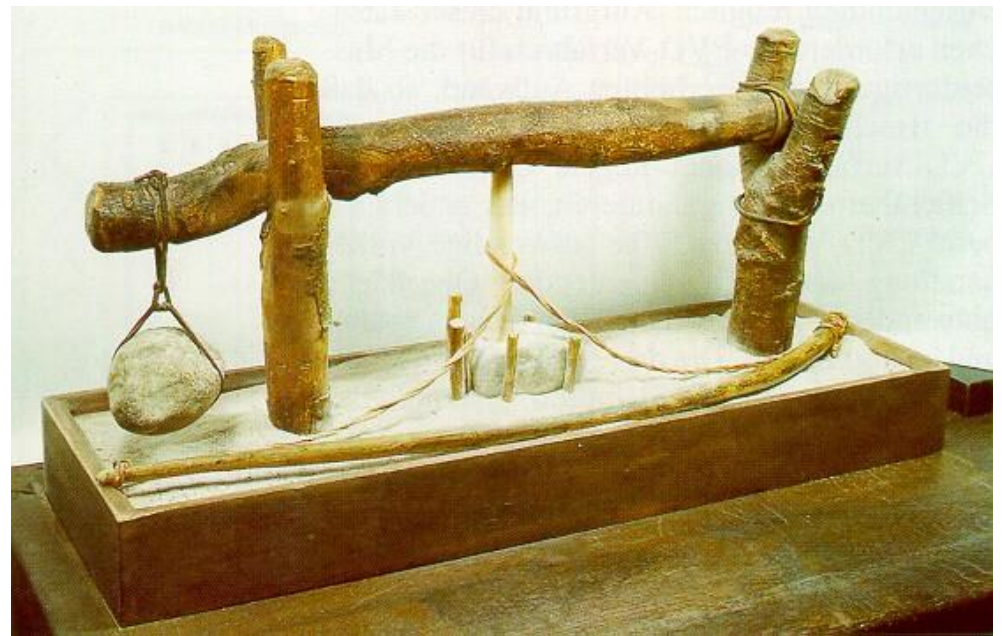
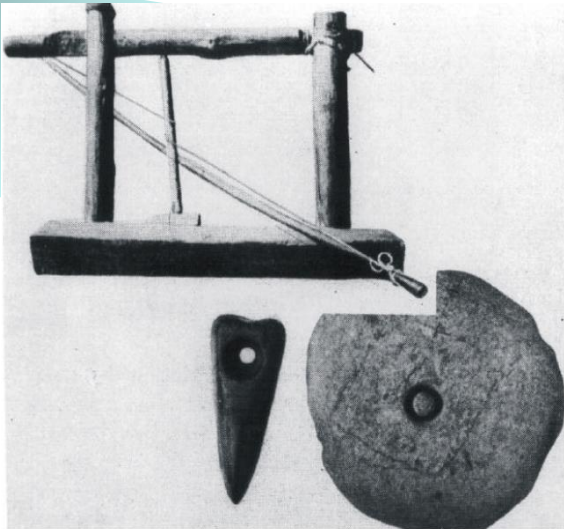


FURAÇÃO

Por que fazer Furos?

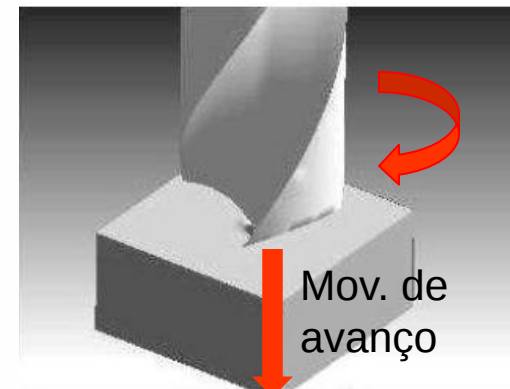
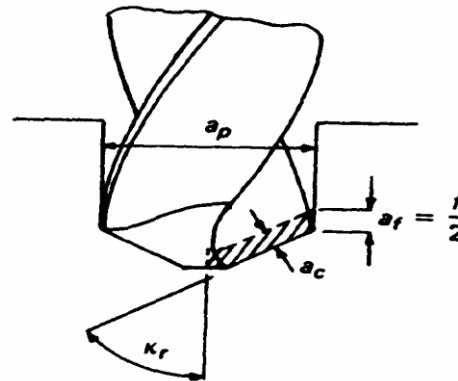
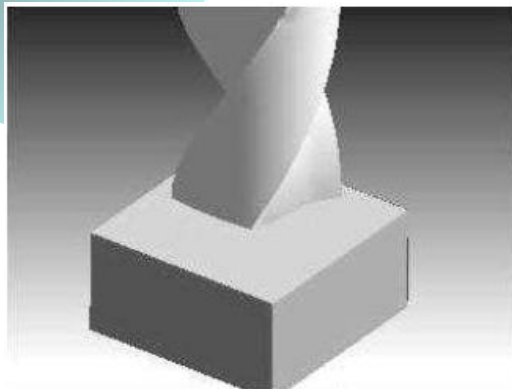
FURAÇÃO - Definição

Furadeira com ferramenta e peça furada, 4000 a.c.



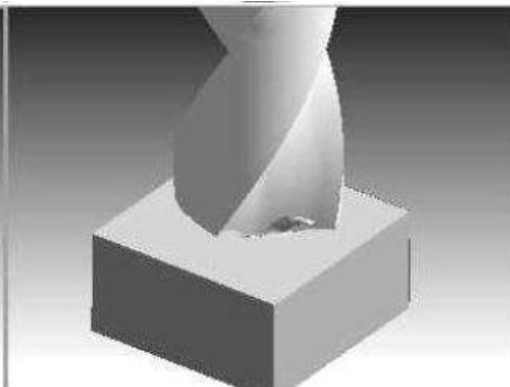
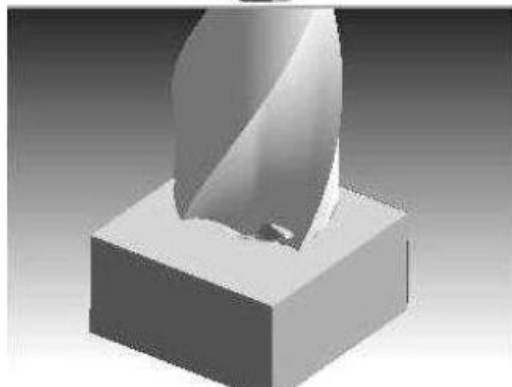
FURAÇÃO - Definição

Processo de usinagem onde movimento de corte principal é rotativo, e o movimento de avanço é na direção do eixo.



Mov. de
Corte

Mov. de
avanço



Simulação do processo de furação (www.deform.de)



Furação - Generalidades

- Processo de maior importância - 20 a 25% do total de aplicações dos processos de usinagem
- A broca helicoidal é a ferramenta mais fabricada e mais difundida para usinagem
- Utilização em furos curtos e/ou profundos
- Utilização na furação em cheio ou com pré-furo.

Rugosidade Média Ra dos Processos de Fabricação

Rugosidade média, Ra – micrometros, μm (micropolegadas, $\mu\text{in.}$)													
Processo	50 (2000)	25 (1000)	12.5 (500)	6.3 (250)	3.2 (125)	1.6 (63)	0.80 (32)	0.40 (16)	0.20 (8)	0.10 (4)	0.05 (2)	0.025 (1)	0.012 (0.5)
Corte maçarico													
Esmerilhamento rebarba													
Serra													
Plaina													
Furação													
Fresamento químico													
Eletro erosão													
Fresamento													
Brochamento													
Alargamento													
Feixe de elétrons													
Laser													
Ataque eletroquímico													
Mandrilamento, torno													
Acabamento em tambor													
Retífica eletrolítica													
Brunimento cilíndrio													
Retificação													
Honing													
Polimento eletrolítico													
Polimento													
Lapidação													
Superacabamento													
Fundição em areia													
Laminação a quente													
Forjamento													
Fund. em molde fechado													
Fund. por cera perdida													
Extrusão													
Lamina. a frio, trefilação													
Fund. Sob pressão													

As faixas apresentadas acima são típicas dos processos listados

Valores menores ou maiores podem ser obtidos sob condições especiais

CARTA DE PROCESSOS VERSUS ACABAMENTOS

Aplicação Média

Aplicação menos frequentes

Tolerâncias dos Processos de Fabricação

± Tolerâncias

0,013 mm
0,025 mm
0,050 mm
0,075 mm
0,125 mm
0,250 mm
1,250 mm

Torneamento, mandrilamento							
Diâmetro, < 25,4 mm							
25,4 < Diâmetro < 50,8 mm							
Diâmetro > 50,8 mm							
Furação							
Diâmetro, < 0,254 mm							
2,54 ≤ Diâmetro < 6,35 mm							
6,35 ≤ Diâmetro < 12,7 mm							
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm							
Diâmetro > 25,4 mm							
Alargamento							
Diâmetro, < 12,7 mm							
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm							
Diâmetro > 25,4 mm							
Fresamento							
Periférico							
Face							
Topo ou Frontal							
Chavetamento							
Aplainamento							
Brochamento							
Serrar							

Tolerâncias de furação
geralmente expressas como
intervalos (por exemplo :
+0.127/-0.0254).



Tolerâncias dos Processos de Fabricação

Processo	Tolerância ISO (valores médios) IT	Rugosidade Rt em μm	Qualidade de acabamento
Furo de Centro	12	80	Desbaste
Furação com escareado helicoidal	11	20	Acabamento
Rebaixamento ou escareamento cilíndrico com escareador chato	9	12	Acabamento
Alargamento	7	8	Acabamento fino
Mandrilhamento com ferramenta de mandrilhar ou barra de mandrilhar com múltiplas arestas	7	8	Acabamento fino
Mandrilhamento com arestas de corte de Metal Duro e área da seção do cavaco muito pequena	7	4	Acabamento fino

Furação - Genaralidades



A velocidade de corte vai de um valor máximo na periferia da broca até o valor zero no seu centro

$$r \rightarrow 0 ; V_c \rightarrow 0; r \rightarrow r_{\max}; V_c \rightarrow V_{c \max}$$

- **Dificuldade no transporte dos cavacos** para fora da região do corte
- **Distribuição de calor** não adequada na região do corte
- **Desgaste acentuado** nas quinas com canto vivo (A)
- **Atrito das guias** nas paredes do furo (B)



Furação - Generalidades

Operação de usinagem extensivamente usada na indústria aeroespacial

Em uma aplicação aeroespacial típica, os custos de com M.O. em montagem e submontagem são da ordem de 50% dos custos totais de manufatura das estruturas (airframes) mais comuns¹.

Um caça possui entre 250.000 a 400.000 furos

Um cargueiro ou bombardeiro entre 1.000.000 e 2.000.000 furos.

Dessa forma os custos com usinagem tornou-se um dos principais fatores de custos de produção em aplicações aeroespaciais¹.

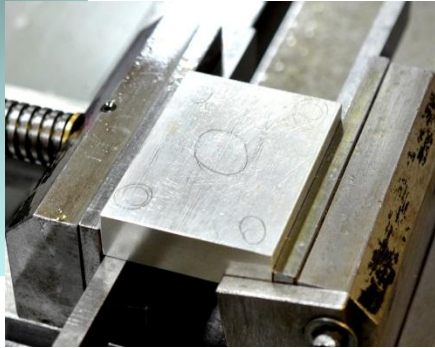
Um asa de uma aeronave comum pode ter até 500 furos².

1. Micillo, C., Huber, J., Innovative manufacturing for automated drilling operations, Proc. Autofact West, 2, 253, 1980.

2. Kline, G. M., Ultrasonic drilling of boron fiber composites, Modern plastics, 52, 88, June 1974

Sequência de operação de furação

Marcar a peça



Posicionar e fazer pré furo com broca de centro

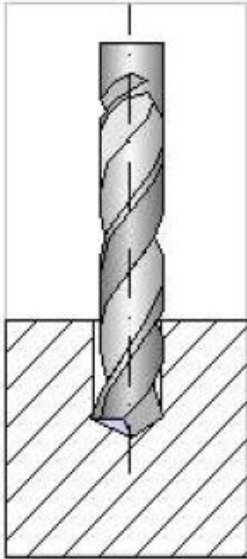
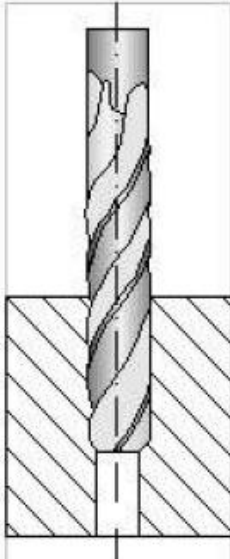
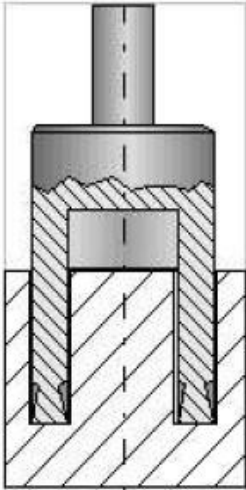


Fluido de corte



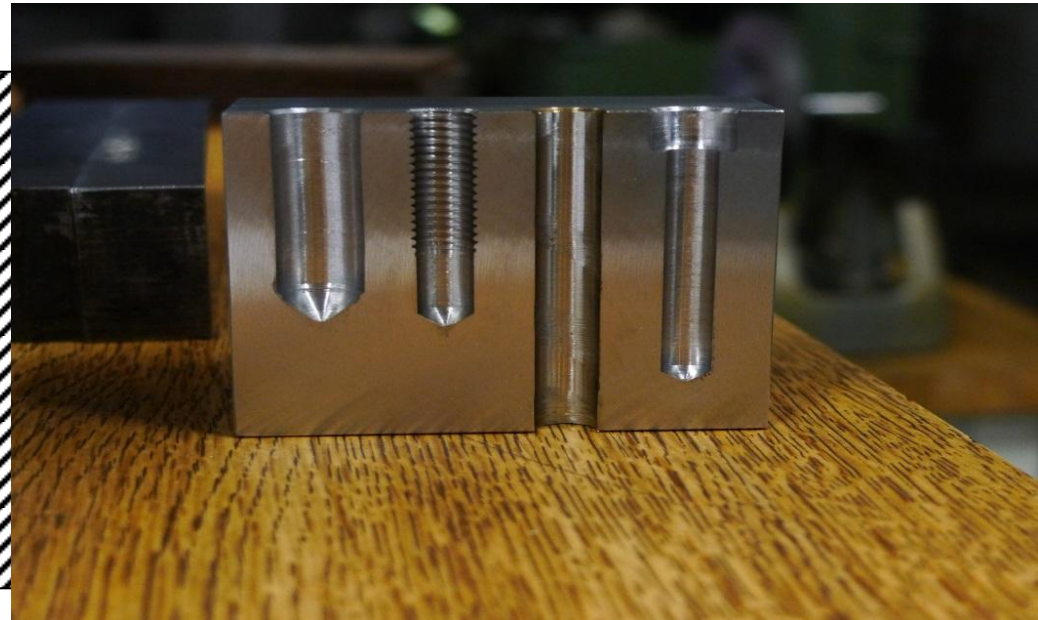
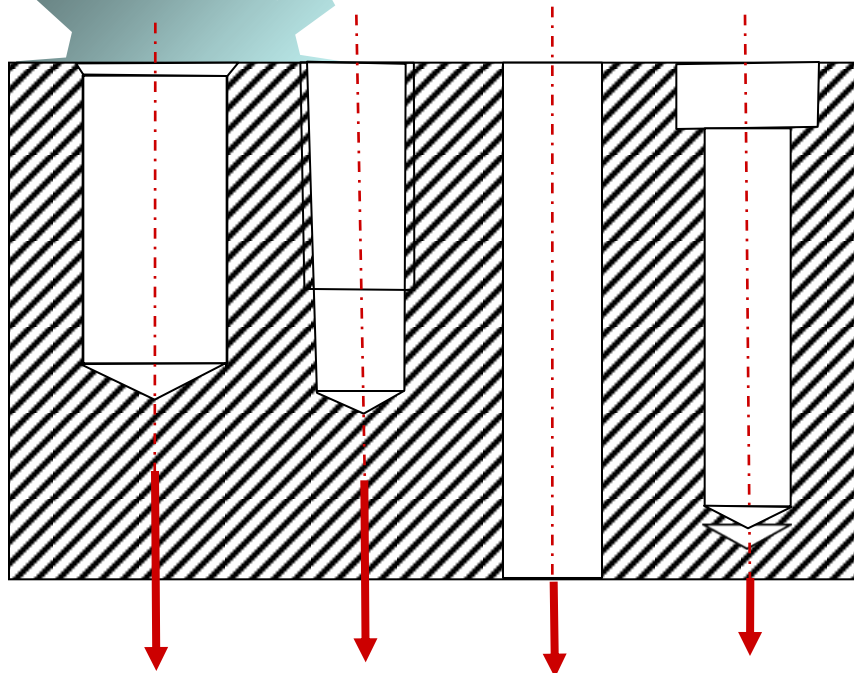
Furação - Generalidades

Tipos de Operações

Furação em cheio	Furação com pré-furo	Trepanação
		

Furação - Generalidades

Tipos de Operações

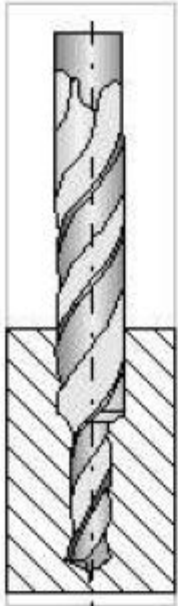
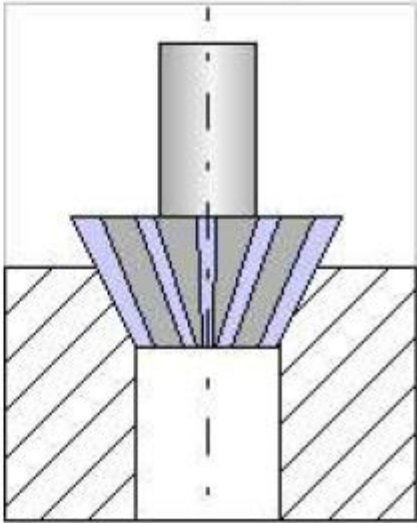


Furo em cheio Furo em cheio
com rosca Furo passante
alagado Furo em cheio
escareado e rebaixo

Seqüência de Fabricação

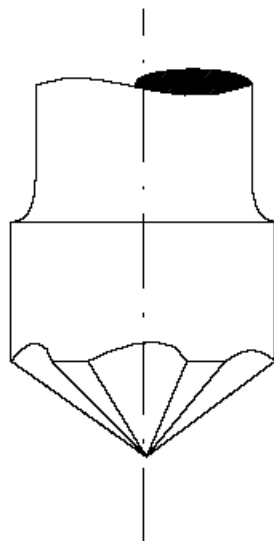
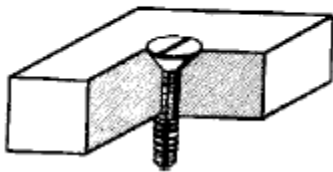
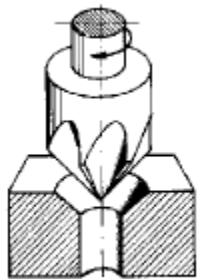
Furação - Generalidades

Tipos de operação

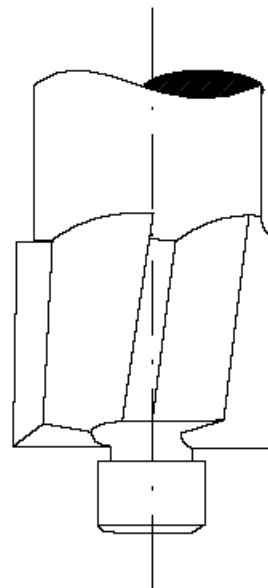
Furação de perfil em cheio	Rebaixo de perfil
	 Furo escareado

Furação - Generalidades

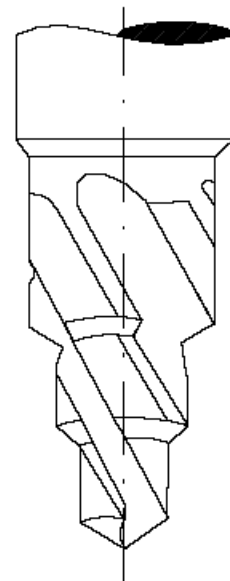
Rebaixamento - Ferramentas



Rebaixador com ponta
ou escareador



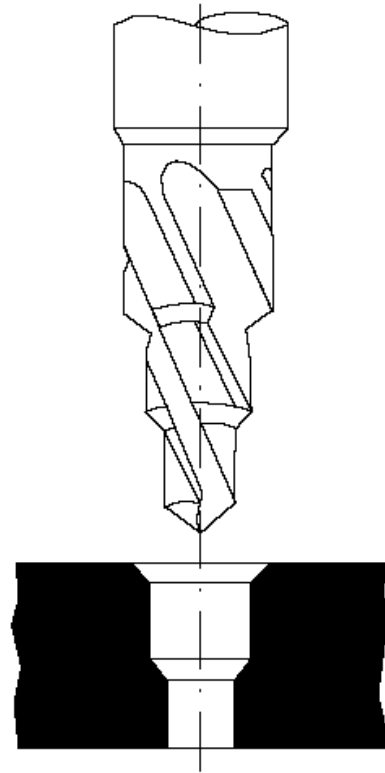
Rebaixador com guia



Rebaixador escalonado

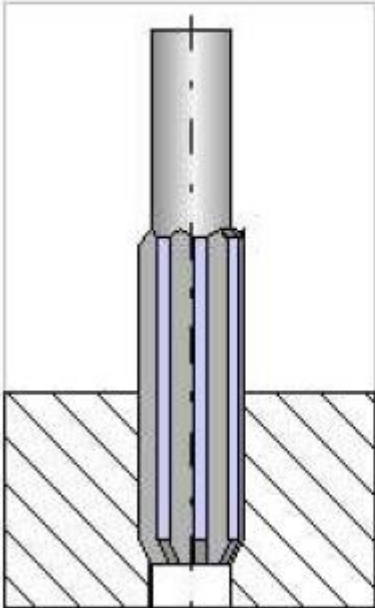
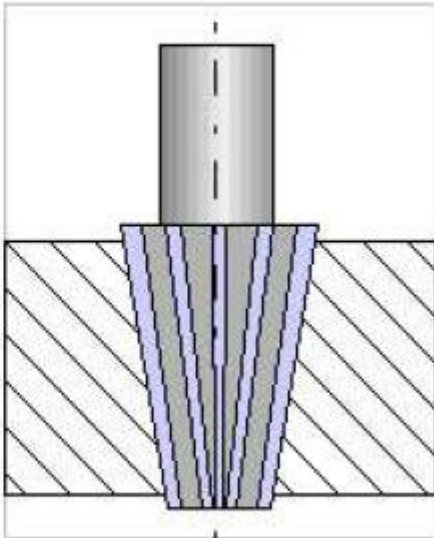
Furação - Generalidades

Variações no processo de furação - Rebaixamento



Furação - Generalidades

Tipos de Furação

Alargamento cilíndrico	Alargamento de perfil
 A cross-sectional diagram showing a drill bit with a double-flute design. The bit is positioned vertically, and its cutting edges are shown removing material to create a hole with a uniform cylindrical diameter. The workpiece is represented by a hatched rectangular block.	 A cross-sectional diagram showing a drill bit with a double-flute design. The bit is positioned vertically, and its cutting edges are shown removing material to create a hole with a non-cylindrical, profiled shape. The workpiece is represented by a hatched rectangular block.

Furação – Partes da Broca

Tipos de Brocas

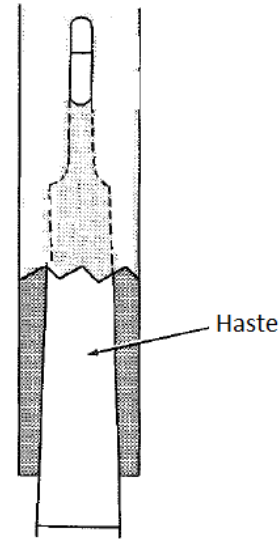
Broca canal reto com haste cilíndrica



Broca helicoidal com haste cilíndrica



Broca helicoidais com cone Morse



Furação - Geometria

Ângulo de ponta σ

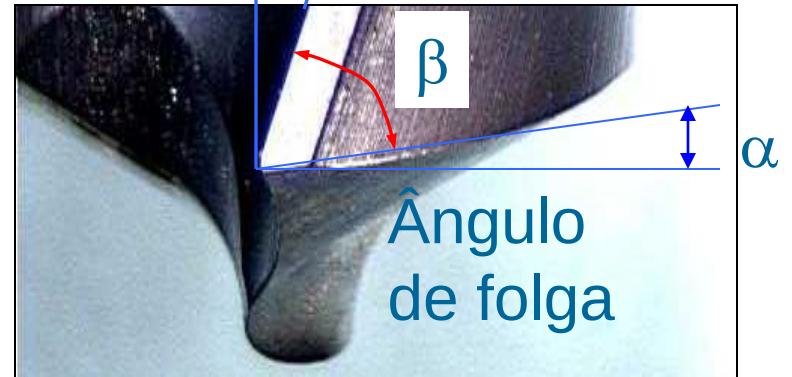
$$\chi = \frac{\sigma}{2}$$

Ângulo de hélice
(Ângulo de saída γ)

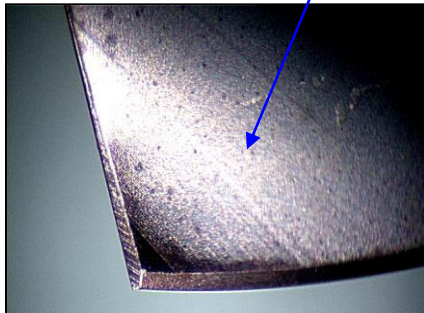
Canal



Superfície lateral
de folga



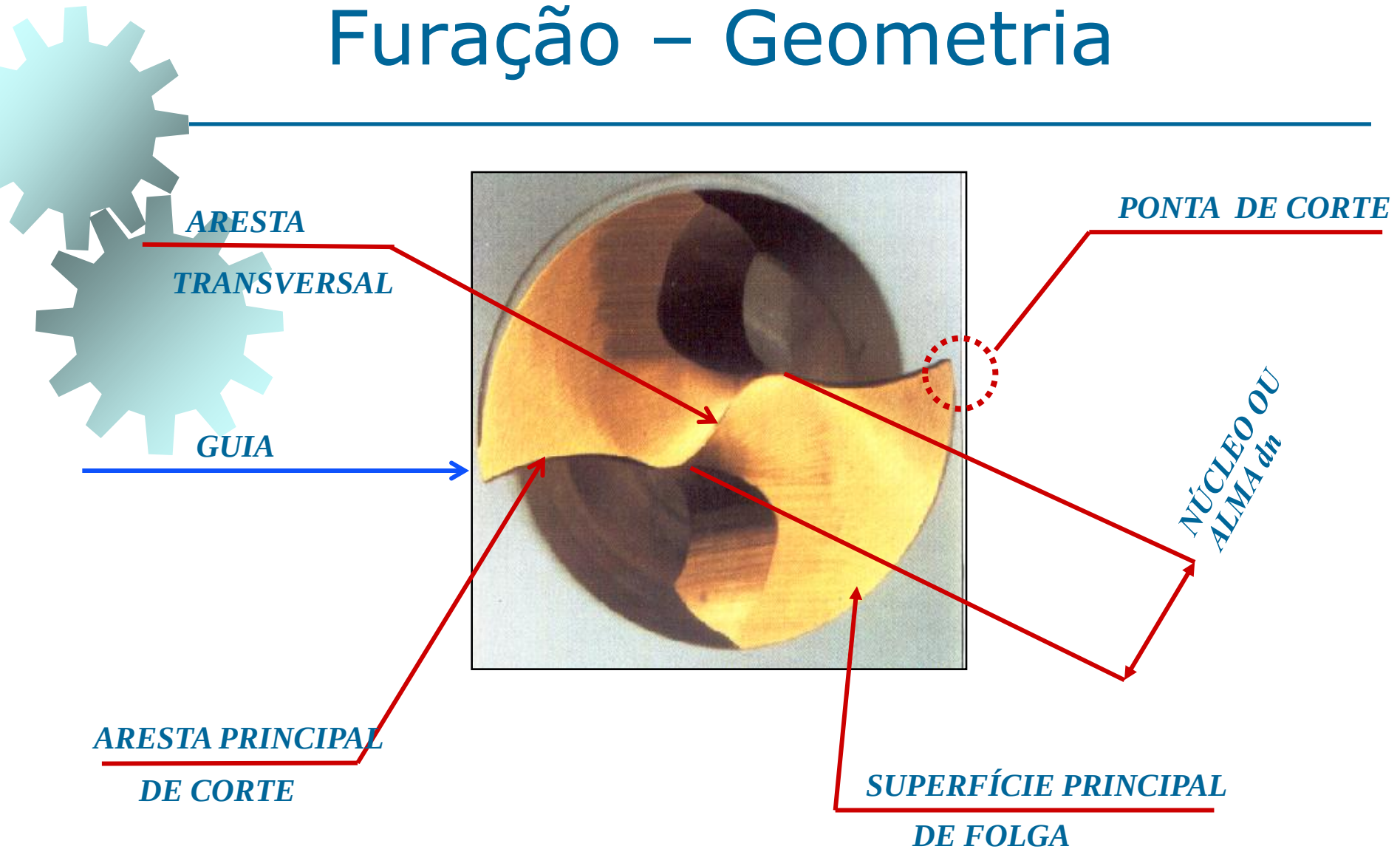
Superfície de saída



Largura da guia



Furação – Geometria



Função da Aresta Transversal

O comprimento da aresta transversal depende do diâmetro da alma (núcleo da broca):

$d_n = (0,12-0,20) \cdot D$ para brocas acima de 10 mm

$d_n = (0,20-0,30) \cdot D$ para brocas até 10 mm de diâmetro

Seção Normal através
da Aresta Transversal
da Broca



Material
deformado

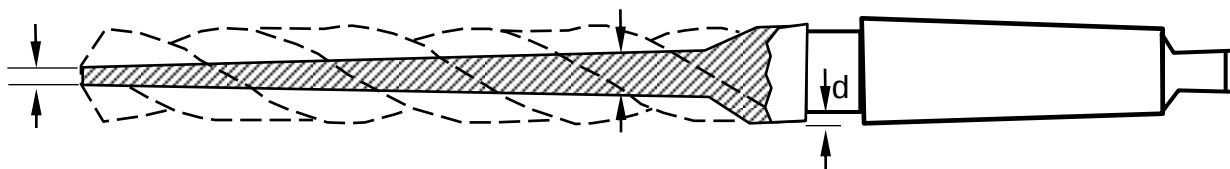
Aresta Transversal

Função : extrudar material na direção da aresta principal

Na aresta transversal existe grande deformação e escoamento



A alma de brocas é a medida entre as duas hélices. A alma com superfície chanfrada (inclinada) da ponta até a haste torna a broca mais estável. Na ponta da broca a espessura da alma equivale ao comprimento da aresta transversal



Valores de espessura da alma de brocas helicoidais tipo N (exceto as da Norma 1414)

ϕ Broca em mm	10	16	25	40
Espessura da alma em mm	1,8	2,5	3,5	5,2

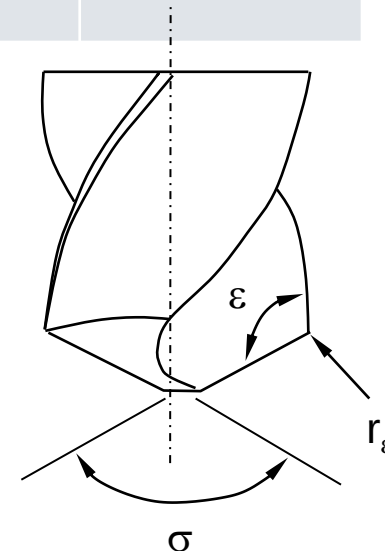
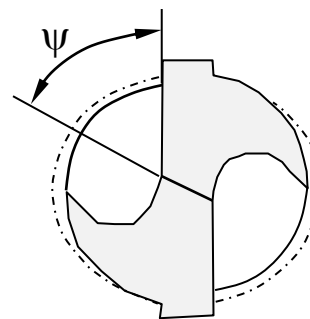
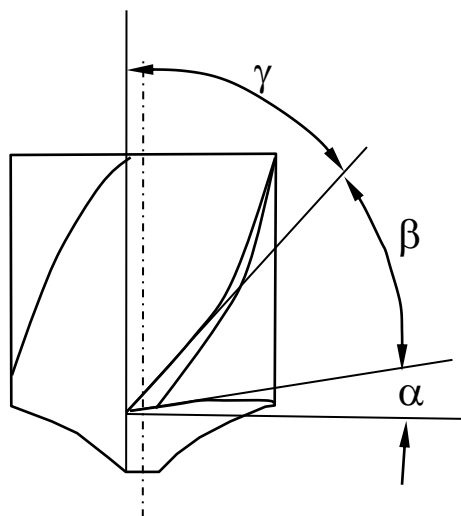
Valores da alívio d no diâmetro final da helicóide de brocas helicoidais. (DIN 1414)

ϕ Broca em mm	10	16	25	40
Alívio d em mm	0,8	1,5	1,7	2,5

Valores do ângulo de cunha (Fig.) é o ângulo entre a resta principal e a aresta transversal. Ele varia de 49 a 55°. A ordem de magnitude dos ângulos com uma função do diâmetro da broca é mostrado na tabela 9.7

Tabela Valores essenciais dos principais ângulos de brocas helicoidais com $\sigma = 118^\circ$

ϕ Broca em mm	Ângulo de Folga ($\alpha_x \pm 1^\circ$)	Ângulo de saída ($\gamma_x \pm 3^\circ$)	Ângulo da aresta transversal (ψ)	Ângulo de Ponta ($\sigma \pm 3^\circ$)
2,51 – 6,3	12	22	52	118°
6,31 - 10	10	25	52	
> 10	8	30	55	



Furação – Tipos de Brocas

Tipo N

Materiais convencionais

Ex.: Aço e Ferro Fundido

$\sigma = 118^\circ$ $\phi = 20^\circ - 30^\circ$

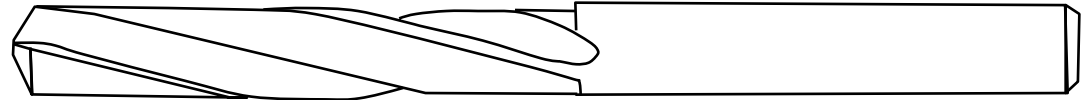


Tipo H

Materiais não convencionais e com cavacos curtos

Ex.: Plástico e Latão

$\sigma = 118^\circ$ $\phi = 10^\circ - 20^\circ$



Tipo W

Materiais muito dúcteis

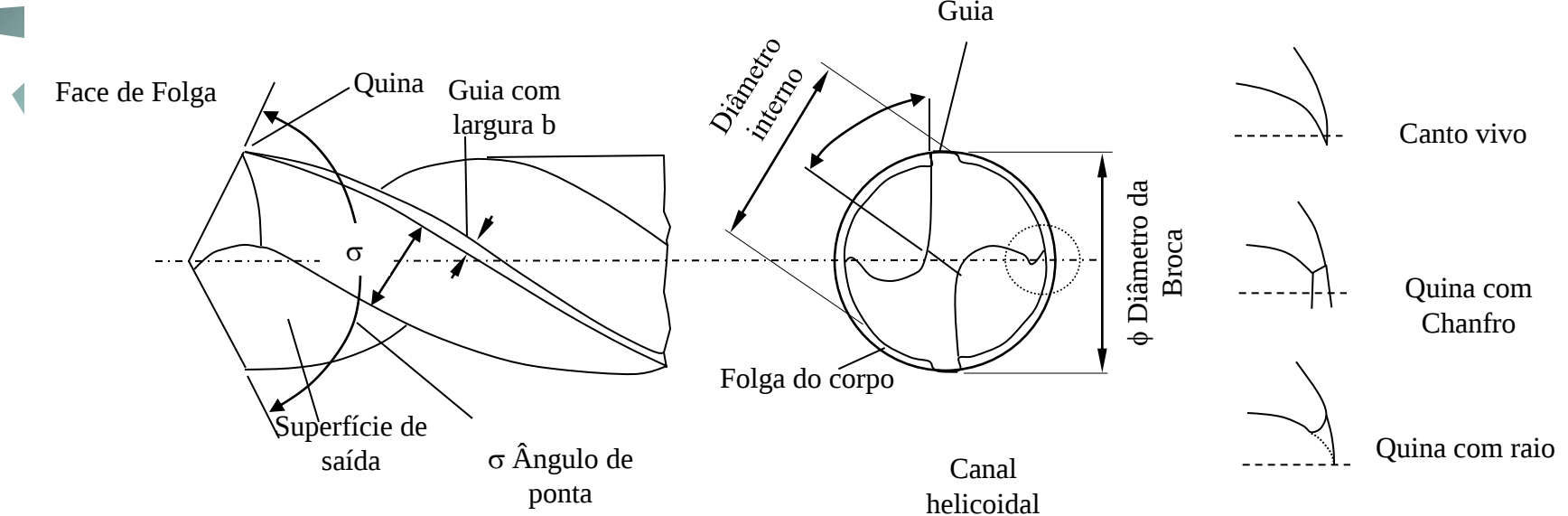
Ex.: Alumínio, Cu e bronze

$\sigma = 140^\circ$ $\phi = 30^\circ - 40^\circ$

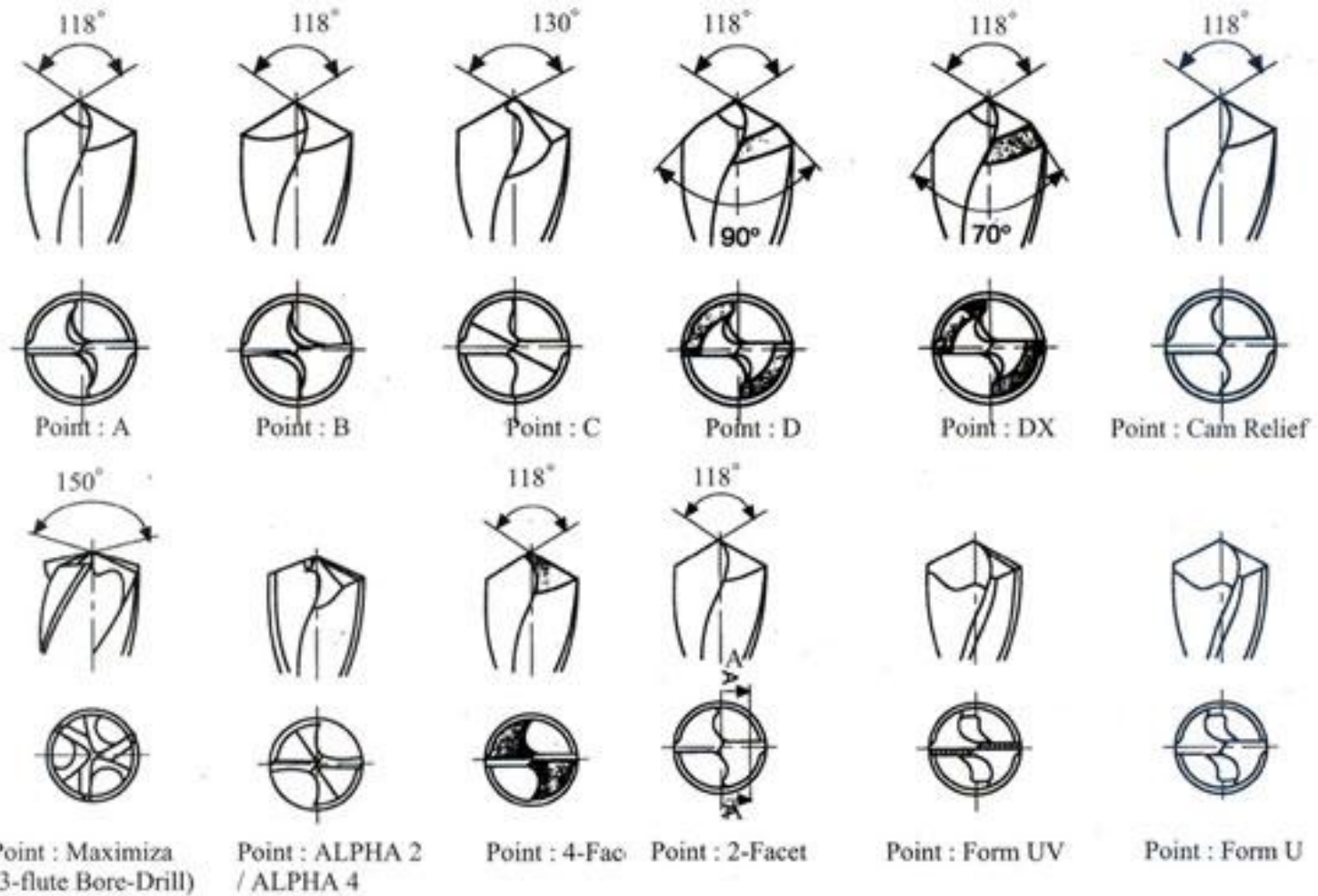


Furação - Geometria

Geometria de brocas helicoidais

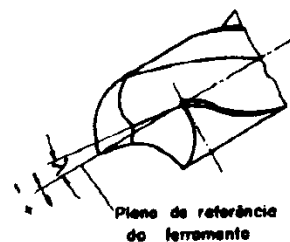


Furação – Geometria

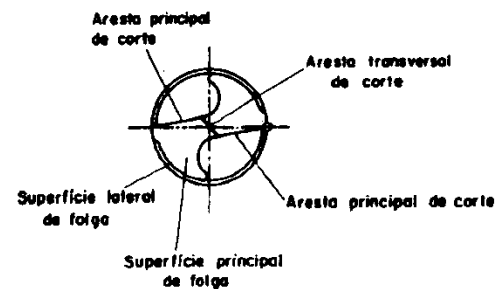


Furação – Terminologia – ângulos da broca

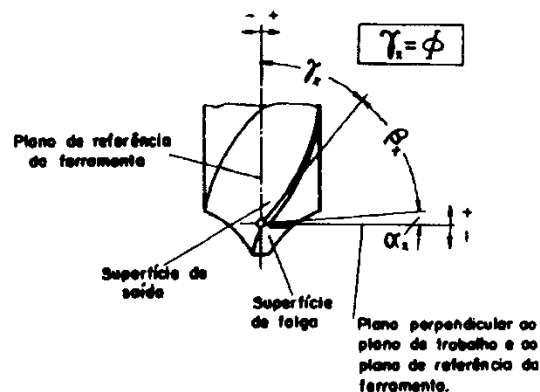
VISTA W
(Plano de corte da ferramenta)



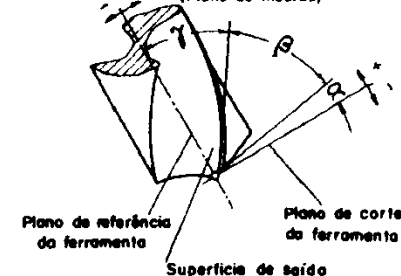
VISTA Y



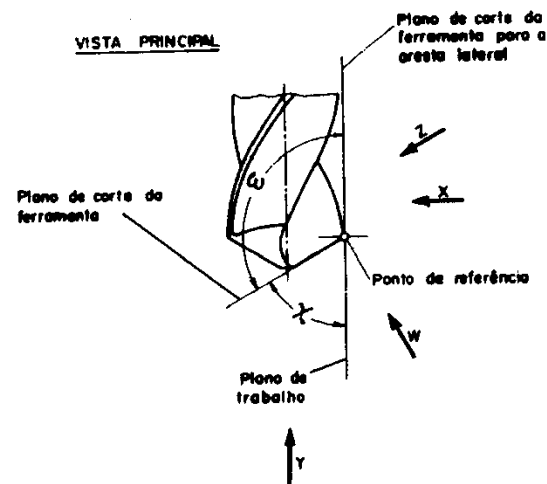
VISTA X
(Plano de trabalho)



VISTA Z
(Plano de medida)



VISTA PRINCIPAL

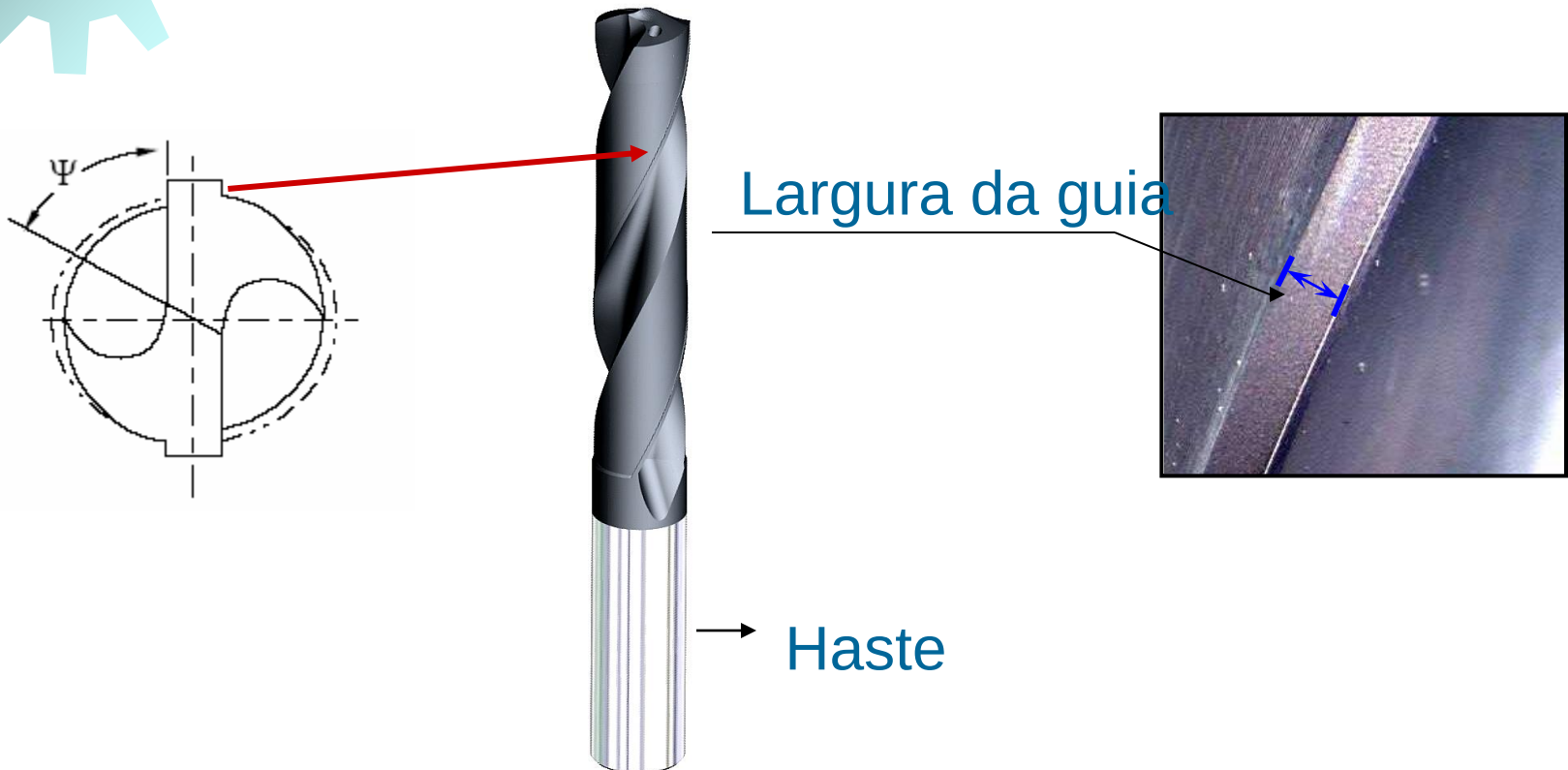


Plano da vista principal = Plano de referência da ferramenta

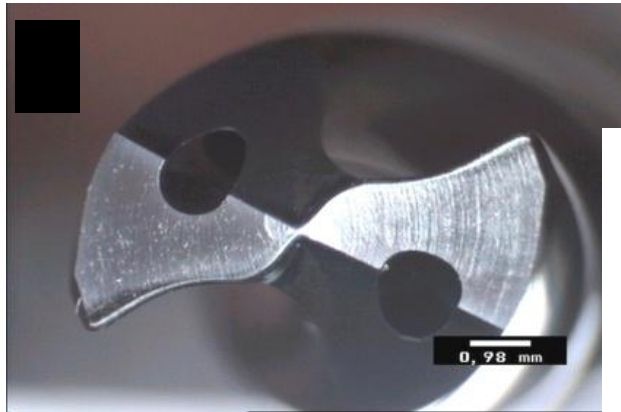
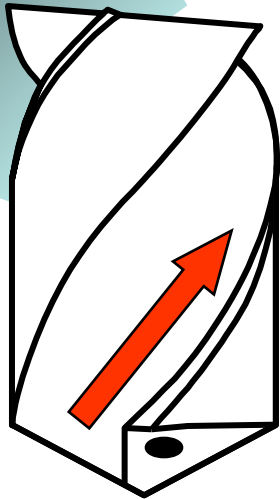
Furação – Terminologia

Geometria de brocas helicoidais

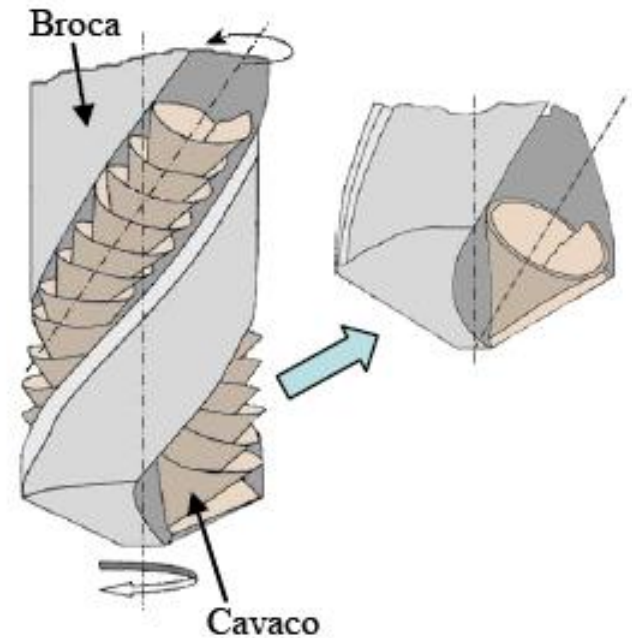
- Guia reduz atrito com as paredes e direciona a broca
- Haste: fixação na máquina



Escoamento do cavaco em função do tipo de canal



Escoamento dos cavacos :
pela refrigeração
e/ou pela hélice

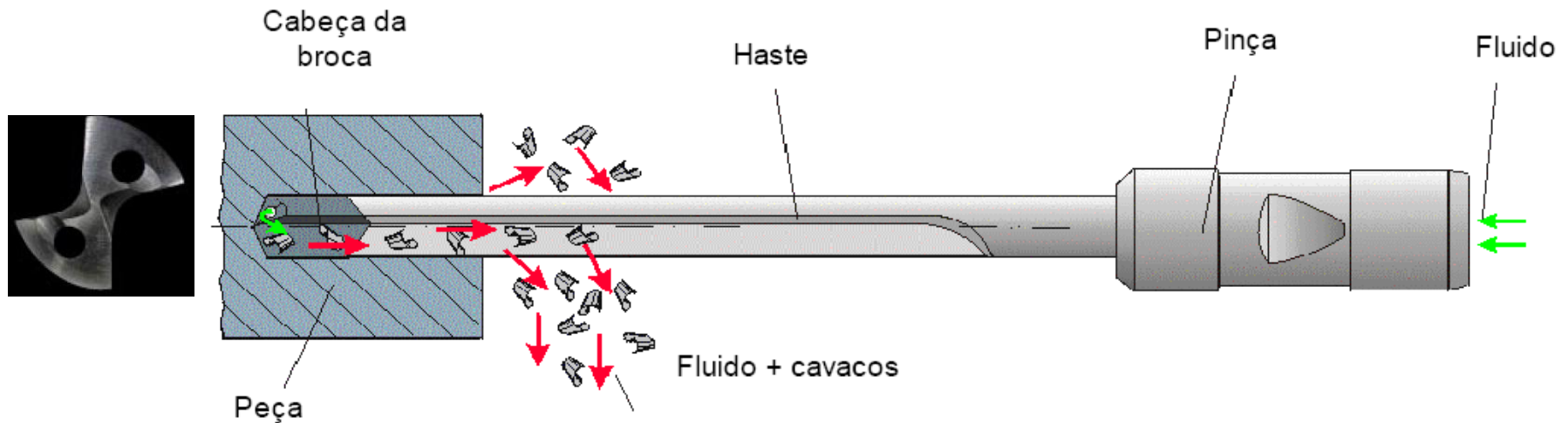
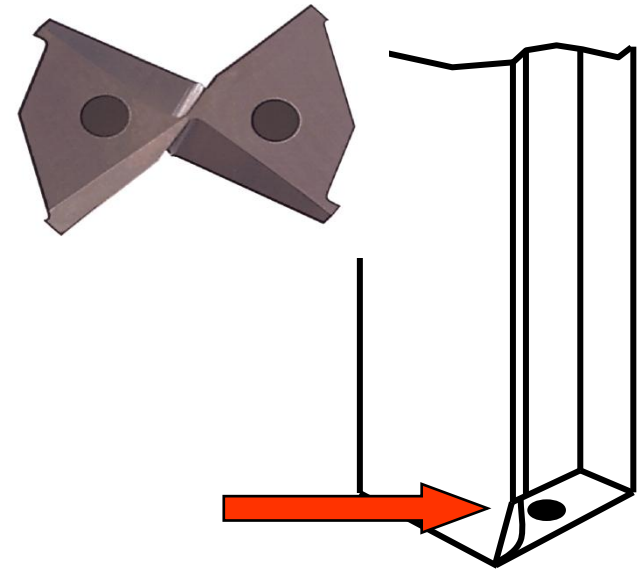


Escoamento do cavaco em função do tipo de canal



Exemplo: broca com canal reto
e retirada de cavaco

Canal interno: alimentação do fluido
lubri-refrigerante



Geometria de brocas helicoidais

α = ângulo de folga

β = ângulo de cunha

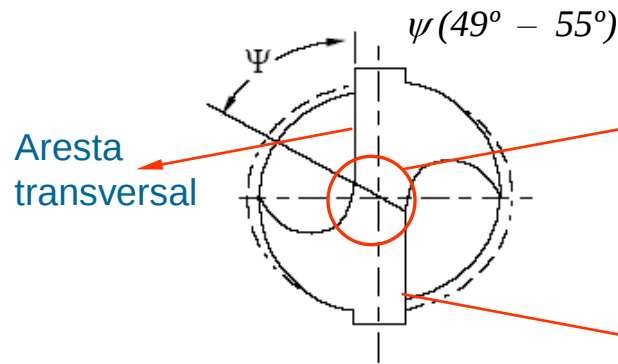
γ = ângulo de saída

r_ϵ = raio de quina

ϵ = ângulo de quina

σ = ângulo de ponta

Ψ = Ângulo da aresta transversal

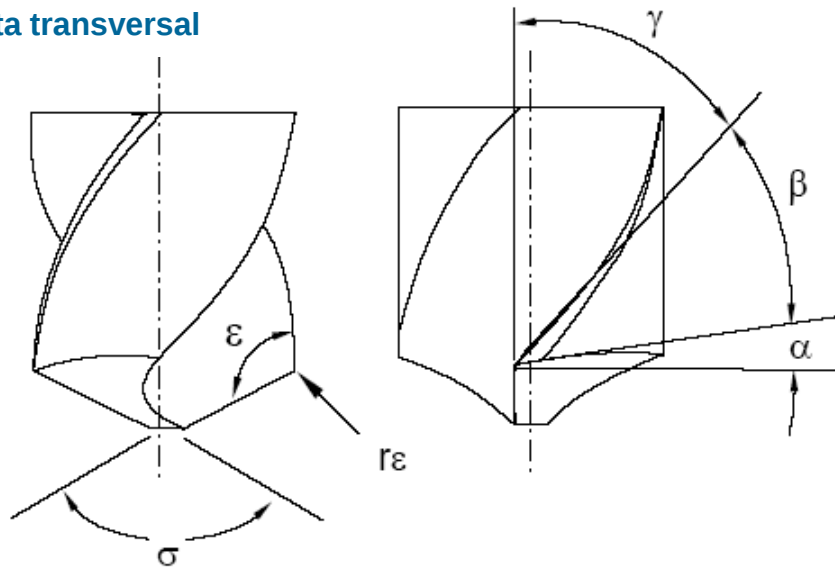


A aresta transversal é parte integrante do aresta principal, e tem como função extrudar material na direção da aresta principal

A aresta principal é a aresta cortante e direciona no sentido de corte

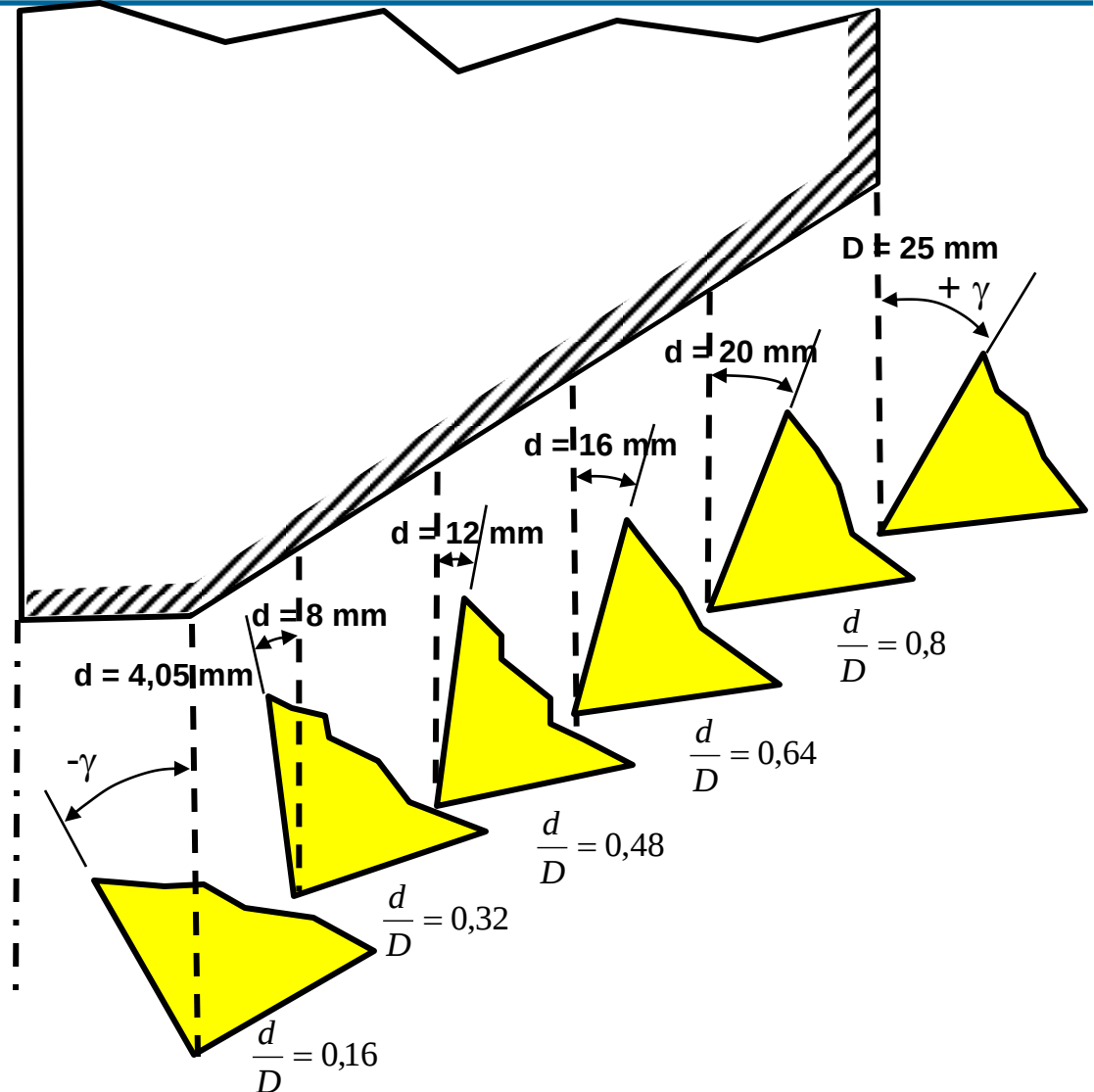
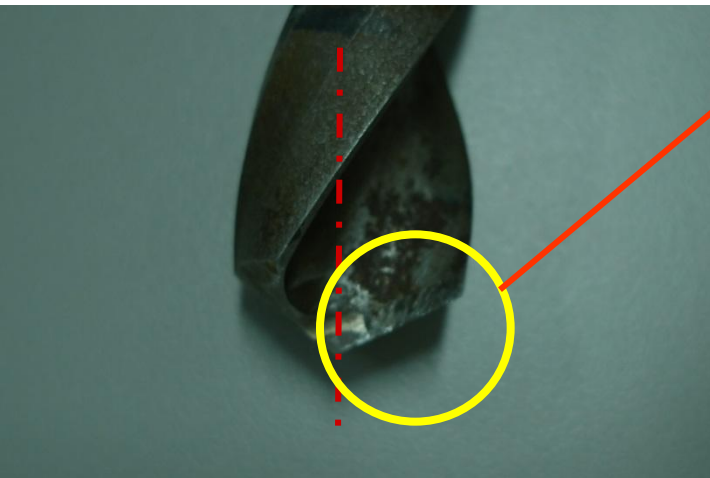
A forma e o ângulo de hélice da broca definem o ângulo de saída γ , que não é constante ao longo da aresta principal

γ tem valor máximo na quina da broca e diminui no sentido do centro da broca, tornando-se negativo na passagem para aresta transversal.

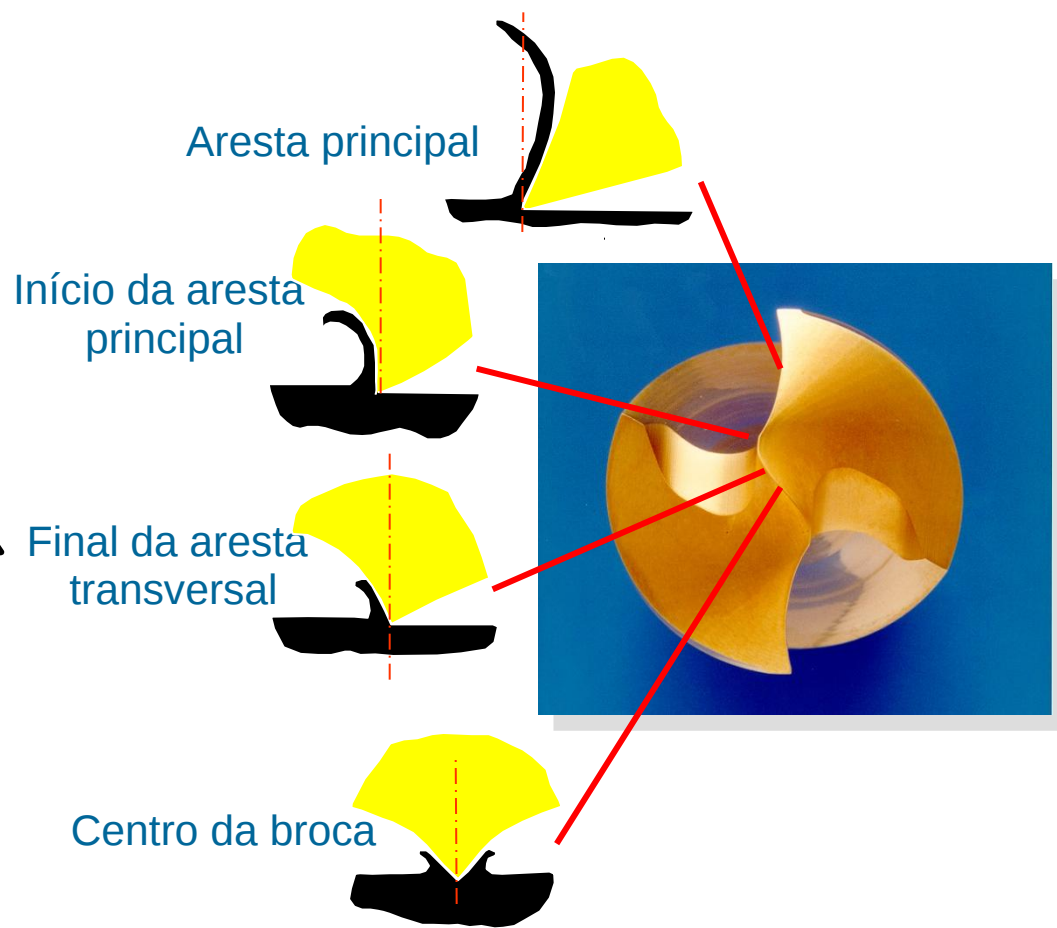
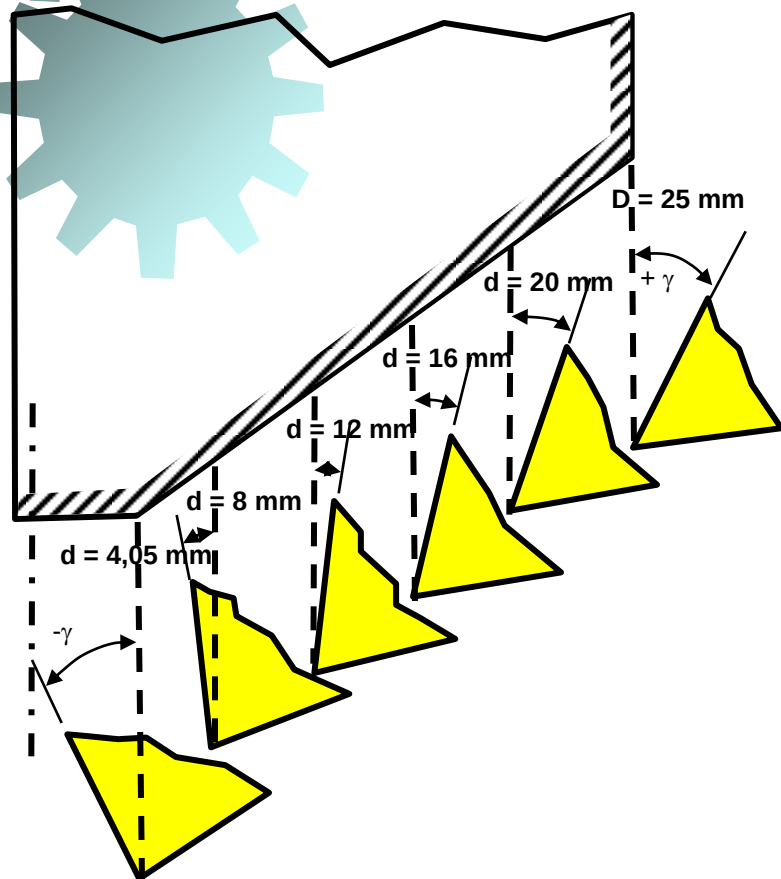


VARIAÇÃO ÂNGULO SAÍDA

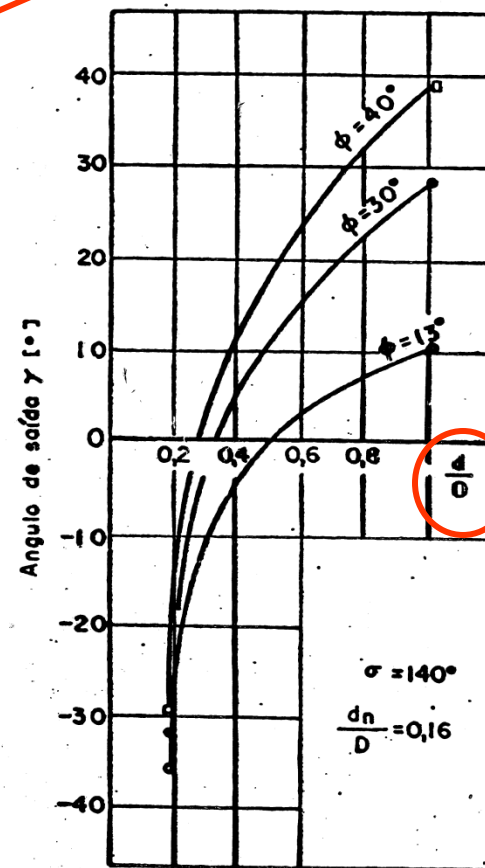
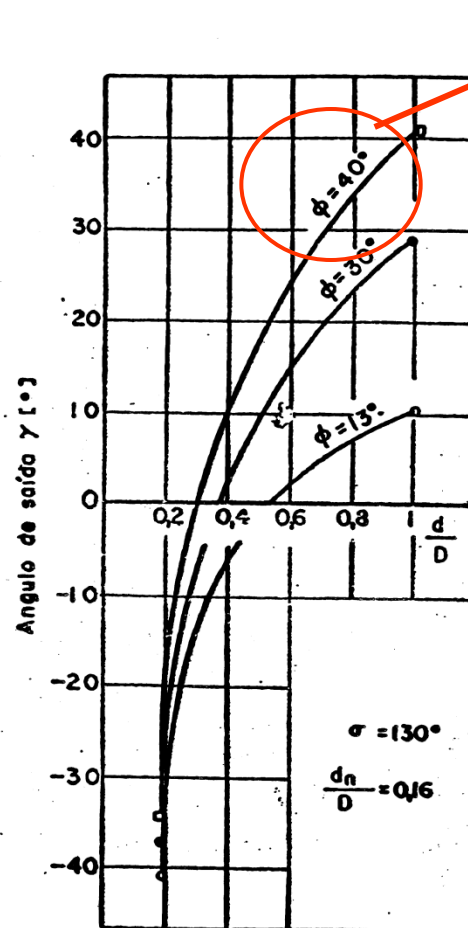
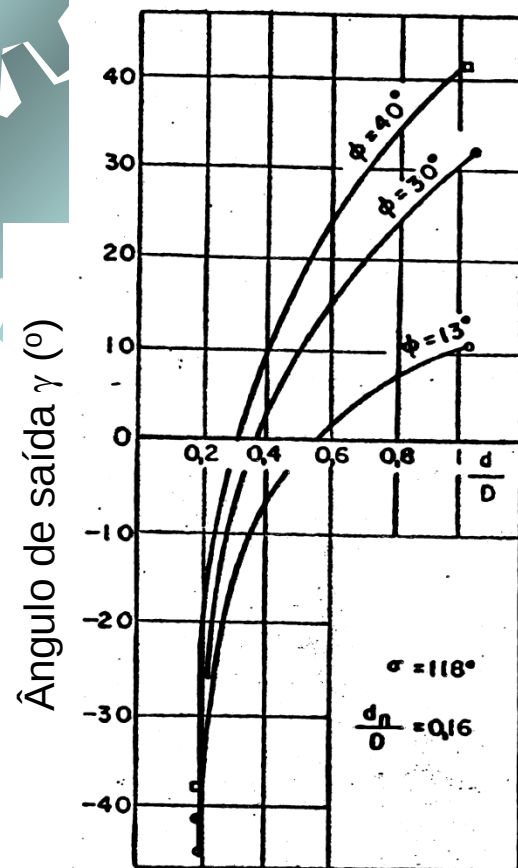
γ (e conseqüentemente ângulo de ponta σ) são variados de acordo com as características do material a ser usinado



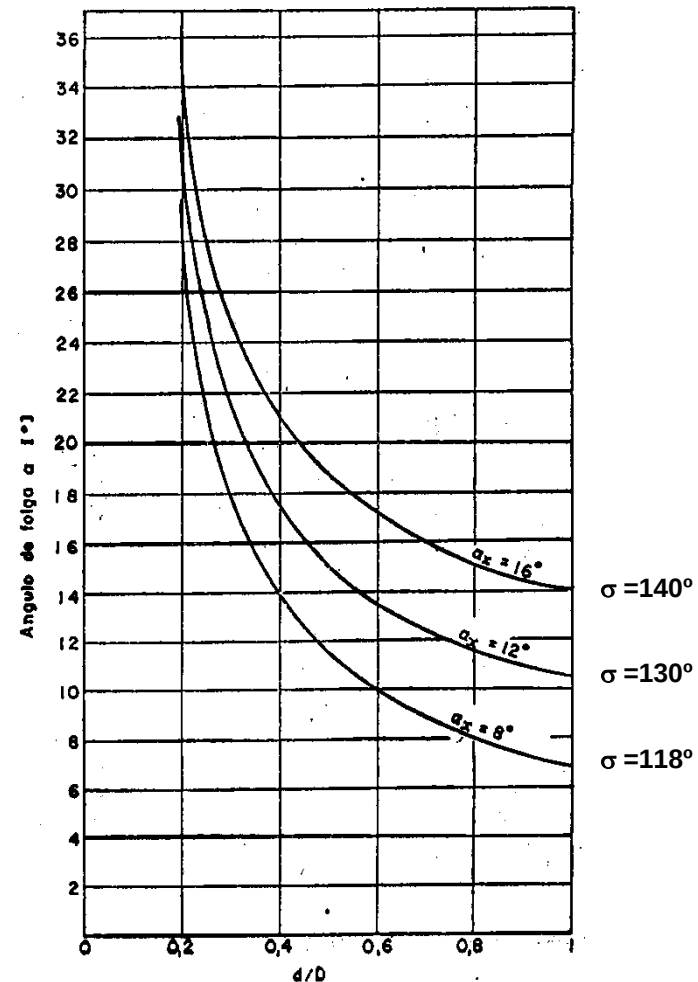
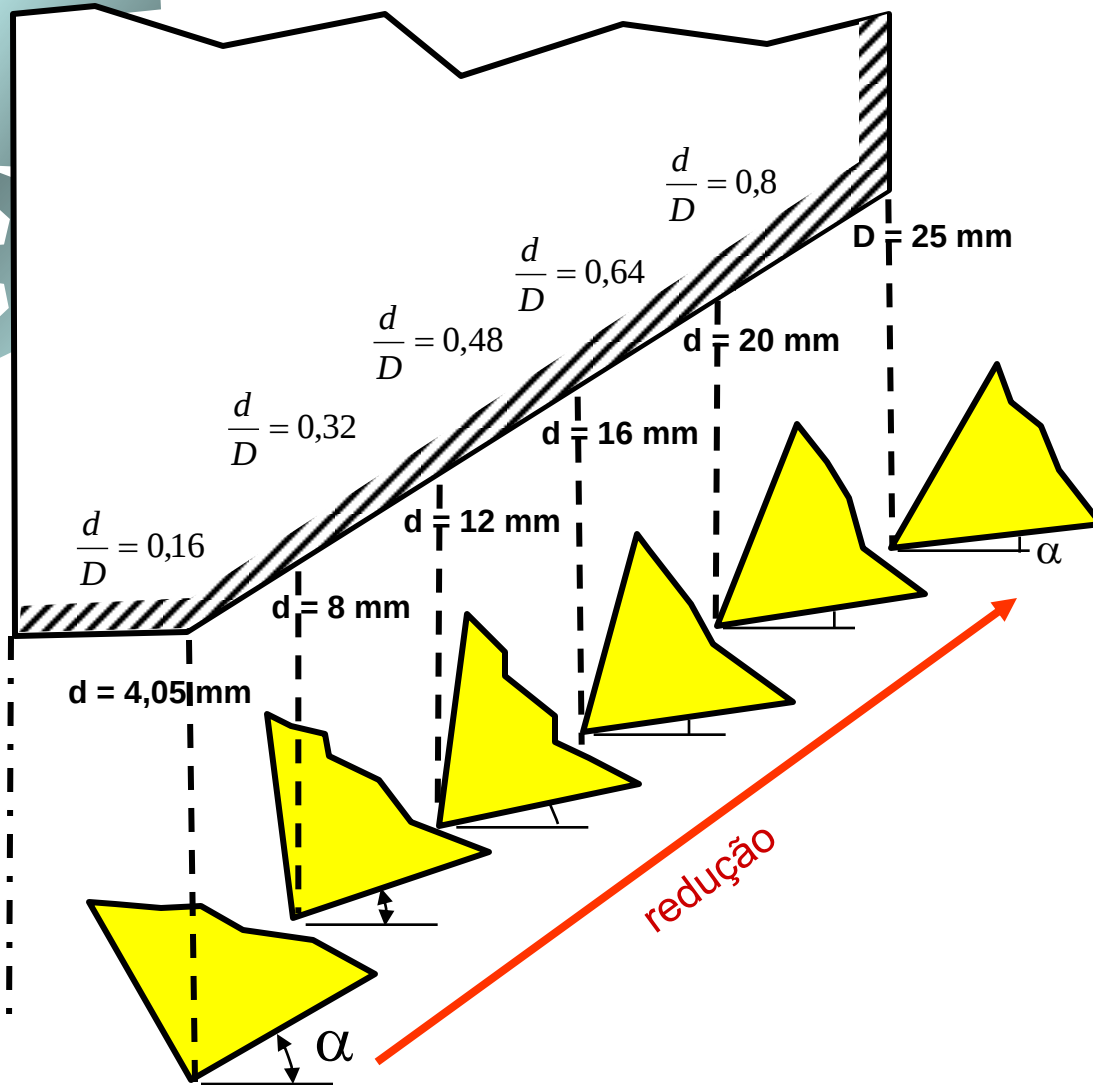
Variação do ângulo de saída e a formação do cavaco



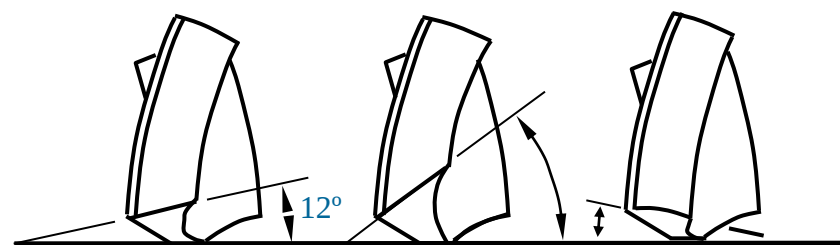
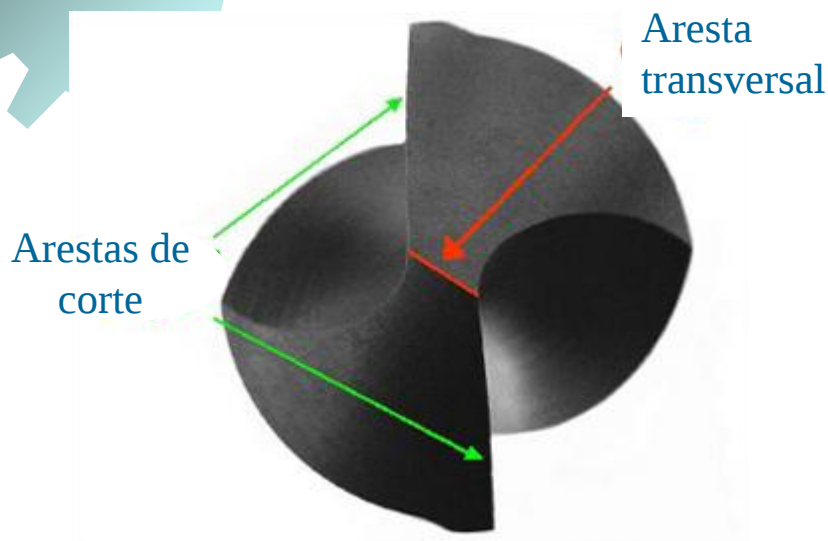
VARIAÇÃO ÂNGULO SAÍDA



Variação ângulo de folga



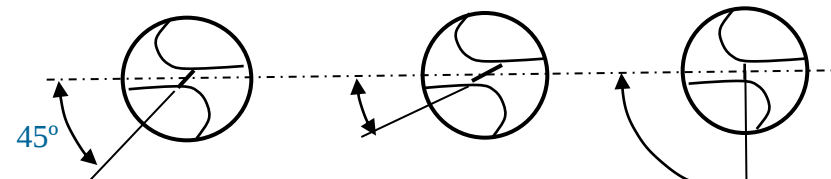
Variação ângulo de folga



Ângulo de folga
correto

Ângulo de folga
muito grande

Ângulo de folga
negativo



Ângulo da aresta
transversal
correto

Ângulo da aresta
transversal
muito grande

Ângulo da aresta
transversal
negativo



Furação – Material da Ferramenta

Materiais para brocas

Requisitos para materiais de brocas

- Tenacidade
- Resistência a compressão
- Resistência a abrasão
- Resistência térmica
- Resistência ao choque e a fadiga



Furação – Material da Ferramenta

Materiais para brocas

Aço ferramenta

- Muito pouco empregado em aplicações industriais
- Brocas para *hobby*
- Brocas de baixo custo para aplicações simples
- Brocas para materiais de fácil usinagem, tais como alumínio, plásticos e madeira.



Furação – Material da Ferramenta

Metal duro

- Homogeneidade, elevada dureza, resistência à compressão e ao desgaste à quente
- As velocidades de corte podem ser até 3 vezes maiores que as utilizadas com ferramentas de aço rápido: até 250 m/min para aço e FoFo e até 1000 m/min para ligas de Al.
- Aplicação de ferramentas de metal duro exige máquinas com características de velocidade, potência, refrigeração e rigidez adequadas
- Brocas podem ser maciças (maior aceitação) ou com insertos intercambiáveis – com ou sem revestimento



Furação – Material da Ferramenta

Outras Vantagens das Brocas de Metal duro

- Brocas de metal duro com revestimento são usadas para furos com profundidades de $10 \times D$ (máximo $30 \times D$)
- A furação pode ser feita sem pré-furo;
- Não possuem aresta transversal: menores forças de avanço;
- Grandes espaços para cavacos, grande remoção de cavacos;
- Furos com maior exatidão gerando valores de tolerâncias IT7, tornando desnecessário a operação de alargamento.

Furação – Material da Ferramenta



Broca MD uso geral



Broca MD Inox e Titânio



Broca MD de difícil
usinabilidade



Broca MD para FoFo



Broca MD que geral altas
Temperaturas



Broca MD com três cortes
para FoFo

Furação – Formas Construtivas

Materiais para brocas

Formas construtivas de brocas em função do material

- Broca com ponta de MD soldada



- Broca Integral de MD



- Broca com inserto de MD

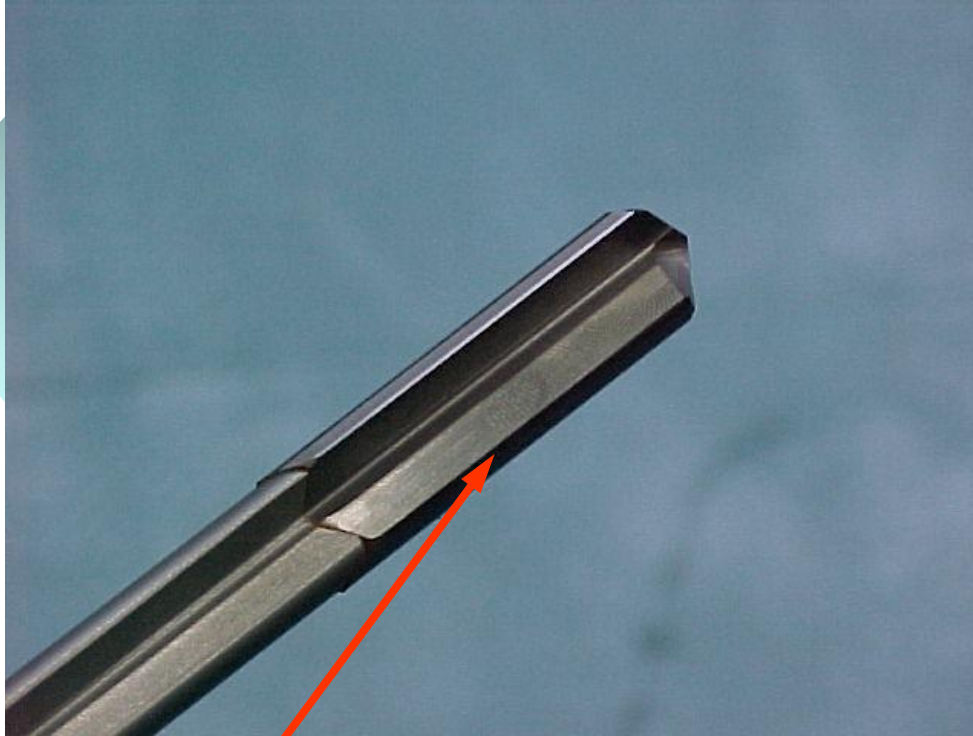


Furação – Formas Construtivas

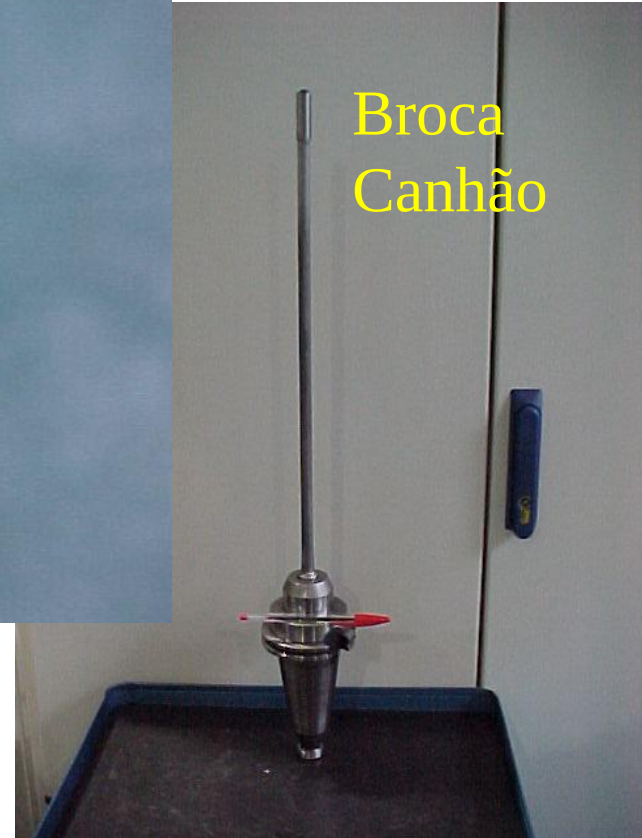
- Broca com ponta de MD soldada: para brocas com diâmetros maiores que 8mm, além das vantagens destacadas, elas ainda apresentam maior tenacidade em função da haste de aço rápido.



Furação – Formas Construtivas

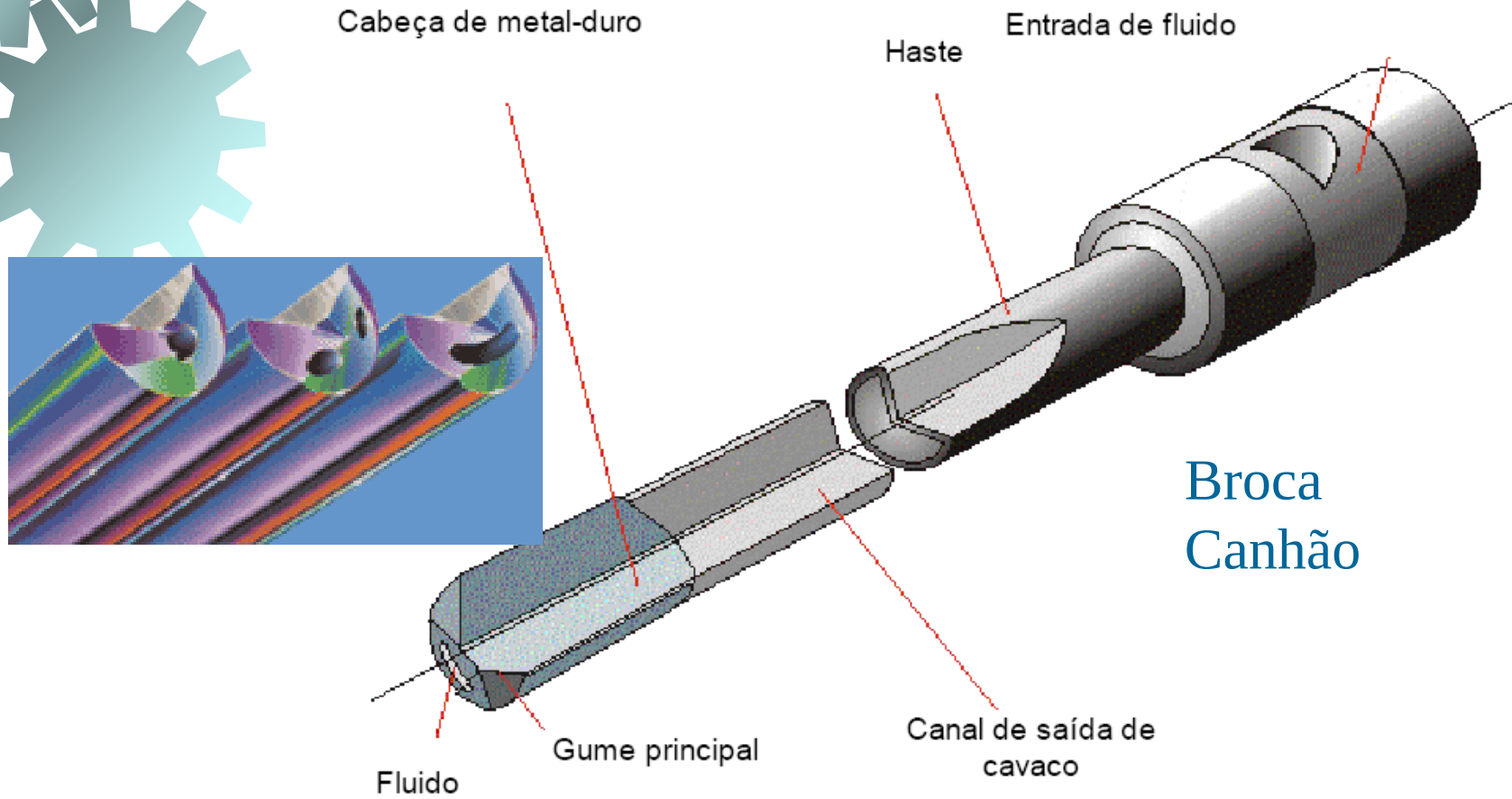


Broca com inserto DE METAL DURO
soldado na ponta



Pressões de 6 bar e volumes de fluido de 3 l/min

Furação – Formas Construtivas



Furação – Formas Construtivas

Broca com inserto de MD, ou PCD: usadas a partir de furos maiores que 16 mm.

- broca auto centrante devido a alma de Metal duro juntamente com dois insertos simetricamente posicionados.
- Alta tenacidade devido ao corpo de HSS – com centro em MD



Barra com porta
inserto

Furação – Formas Construtivas



Broca com inserto intercambiável

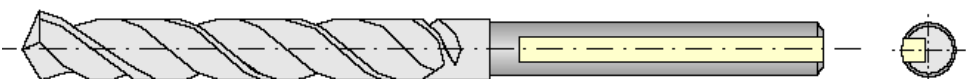
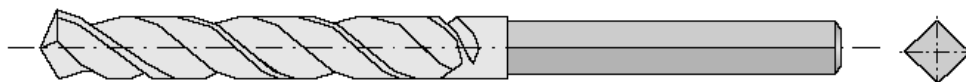
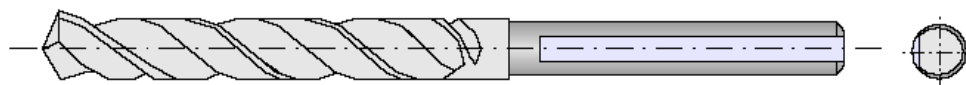


Furação – Formas Construtivas

Fixação de ferramentas na furação

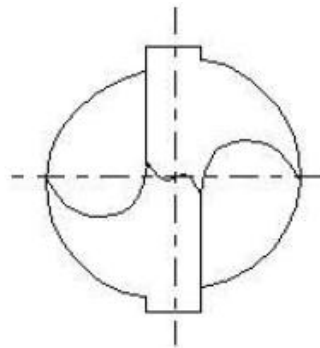
Brocas com variações nas haste retas, tais como:

- ferramentas com haste aplainada (chanfrada),
- em meia-cana,
- quadrada,
- roscas,
- entalhes
- Luvas e buchas

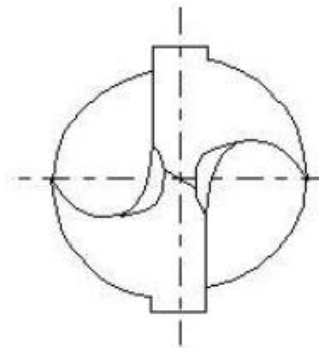


Construção de Broca- Afiação

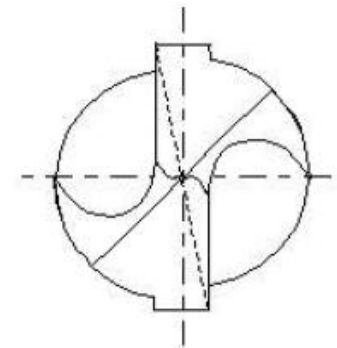
Existem aproximadamente 150 formas de afiações e uma série de perfis específicos



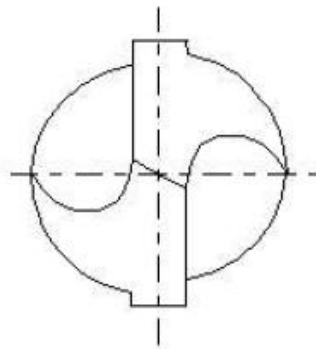
Afiação padrão
- ponta esférica -



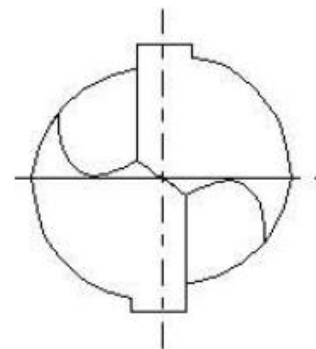
Afiação gume
transversal



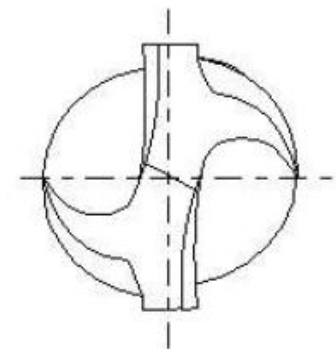
Afiação gume transversal
com correção do ângulo
de saída



Afiação padrão



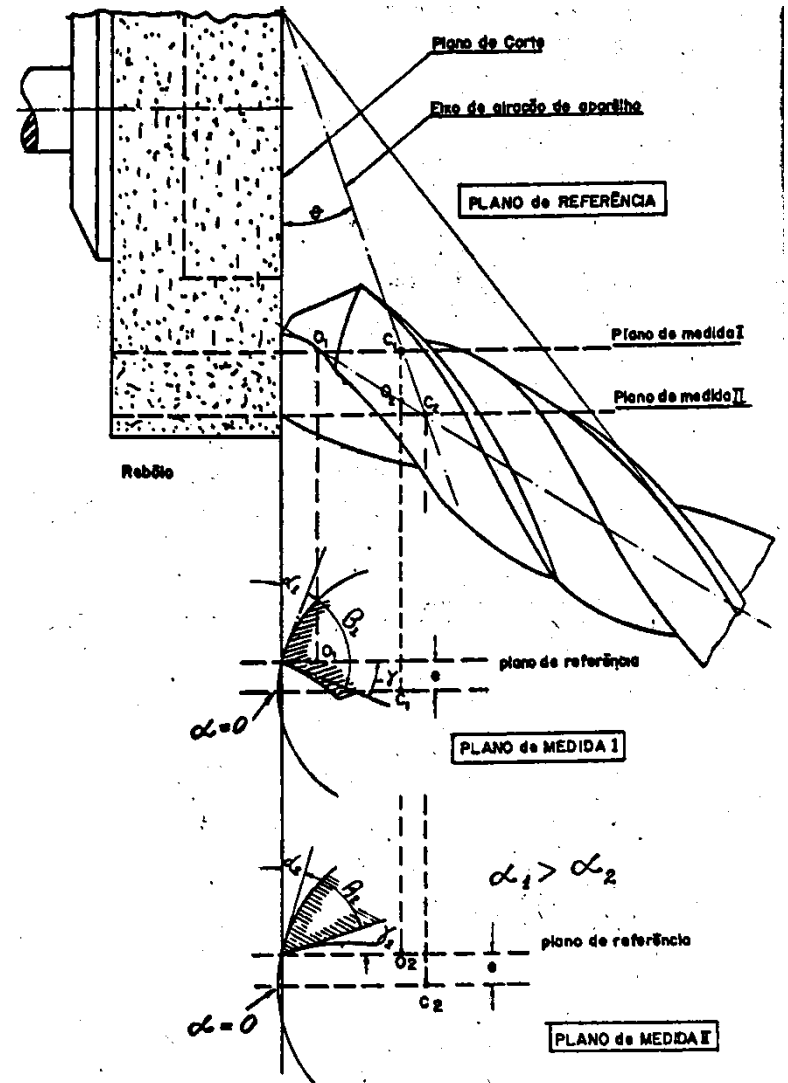
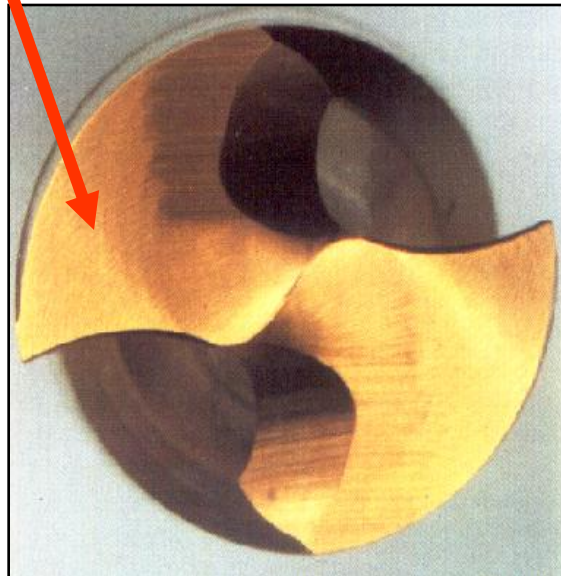
Afiação cruzada



Afiação gume
transversal com
quinas faceadas

Construção de Broca- Afição

A afiação é feita
somente na superfície
de folga

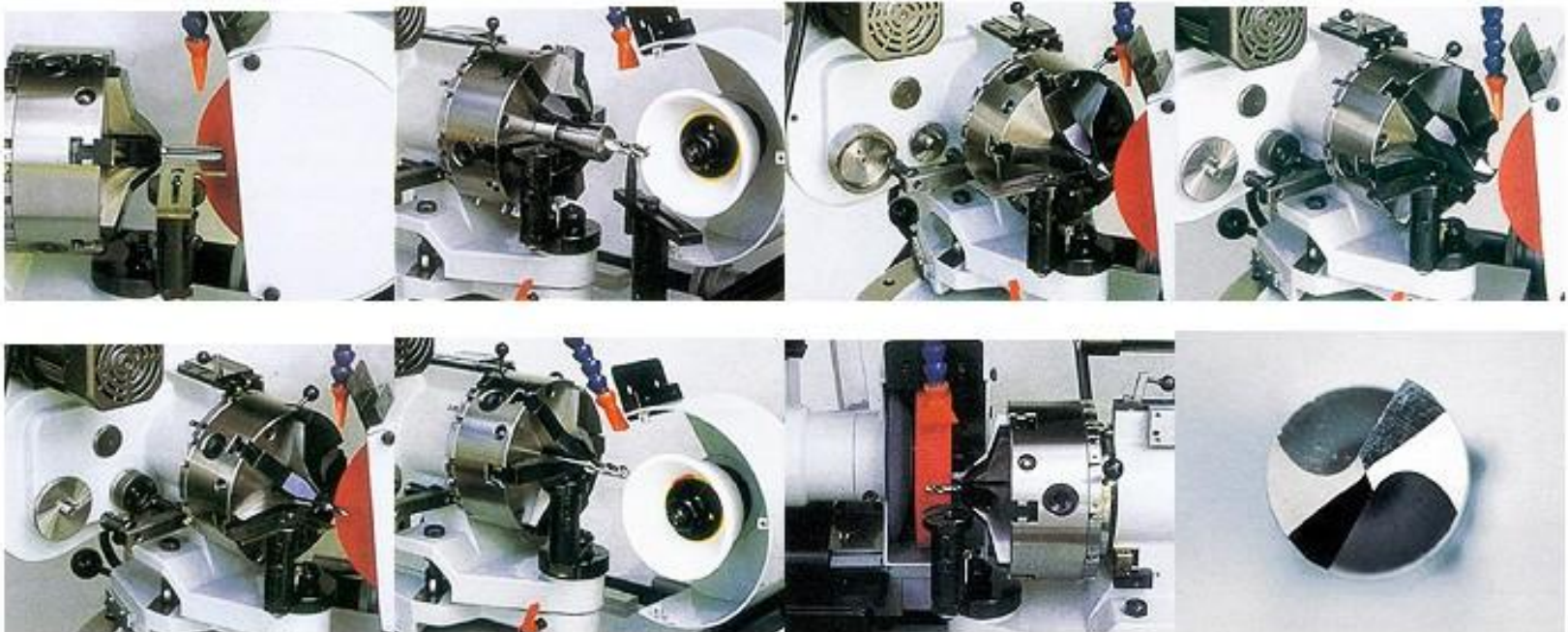


AFIAÇÃO DA BROCA

Afiadora Universal de BROCA



AFIAÇÃO DA BROCA



AFIAÇÃO DA BROCA



Afiadora 5 eixos CNC



切削錐

雙平面鑽尖

銑刀端齒

銅板鑽

球頭銑刀

錐面鑽尖

階梯鑽



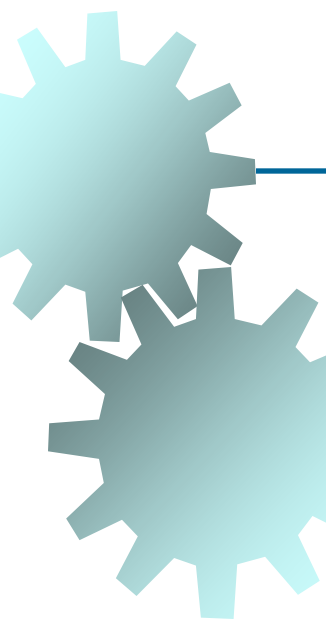
Furação

Critério de fim de vida em furação

Definição: perda do controle sobre os cavacos ou iminência de uma quebra rápida

Fatores considerados

- **Textura superficial**
- **Exatidão dimensional e geométrica**
- **Estado da ferramenta**
- **Formação do cavaco**
- **Vida restante da ferramenta**

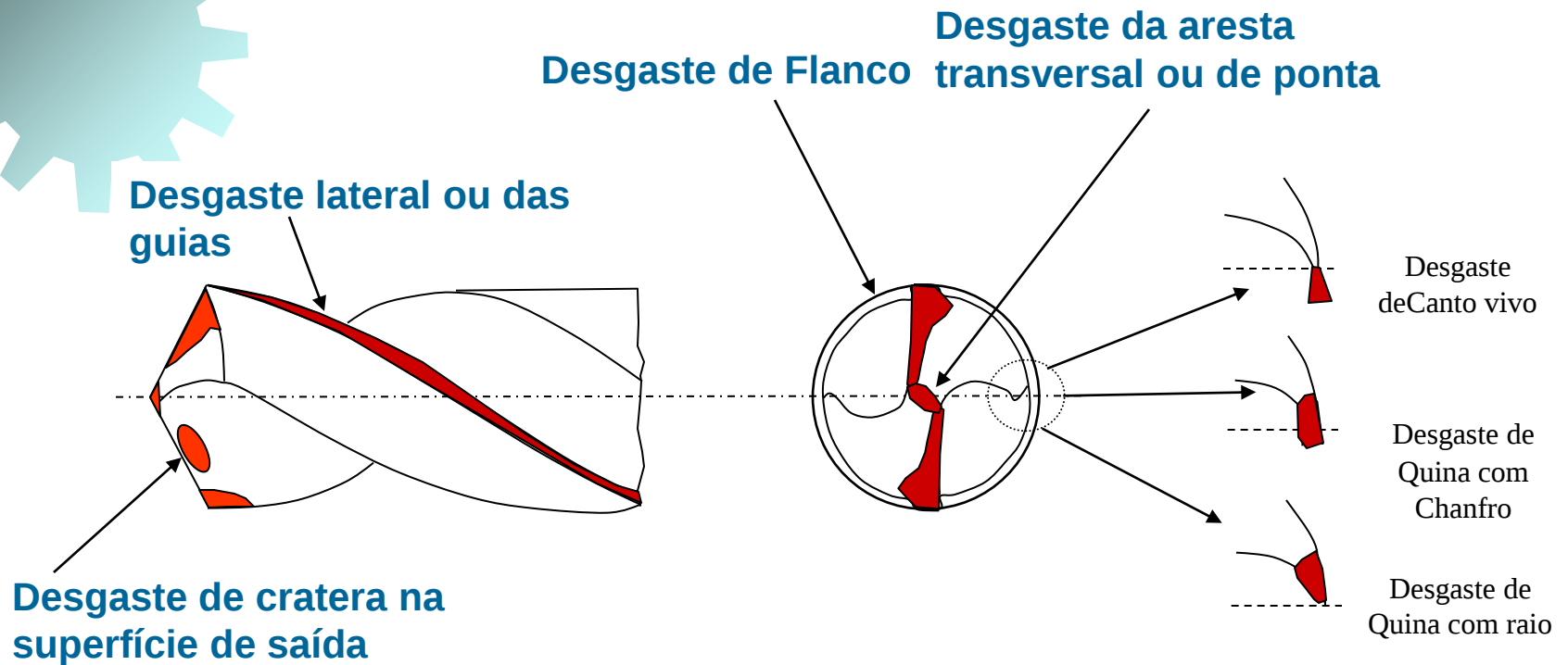


Desgaste e avarias de Brocas

Tipos de Desgaste e Avarias em Broca Helicoidais

- **Desgaste de flanco (V_B)** - baixa qualidade, imprecisão e aumento do atrito
- **Desgaste nas guias** - não gera aumento no momento
- **Desgaste da aresta transversal** - arredondamento e possível lascamento das zonas de transição
- **Desgaste de cratera** - remoção de material por abrasão e difusão
- **Aresta postiça** - adesão do material da peça encruado na ferramenta
- **Fratura** - fim catastrófico

Desgaste e avarias de Brocas





Critérios de fim de vida em Brocas

Critérios de fim de vida utilizados na prática

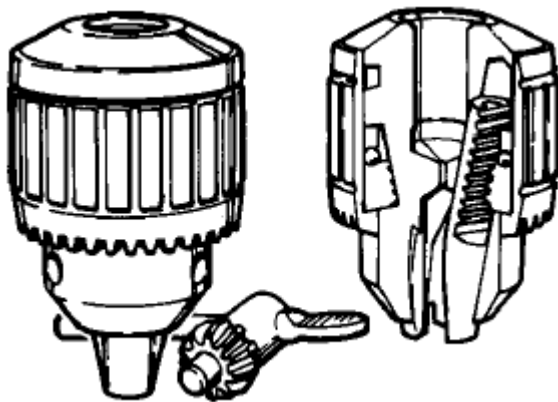
- Tempo de máquina
- Tempo efetivo de corte
- Volume de metal removido
- Número de peças usinadas
- Velocidade de corte equivalente
- Comprimento usinado equivalente
- Velocidade de corte relativa

Furação – Fixação de Broca

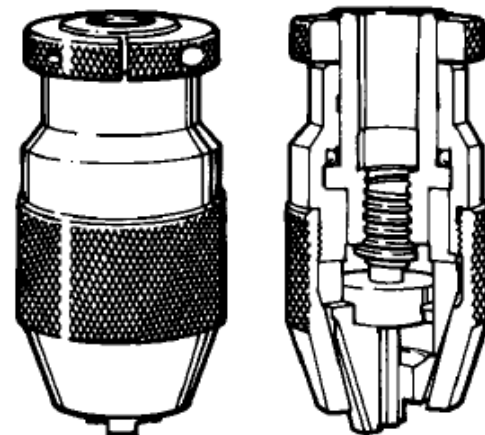
Fixação de ferramentas na furação de brocas com haste cilíndricas

Mandril:

- Os de três castanhas são os mais utilizados
- Aperto manual ou com chave



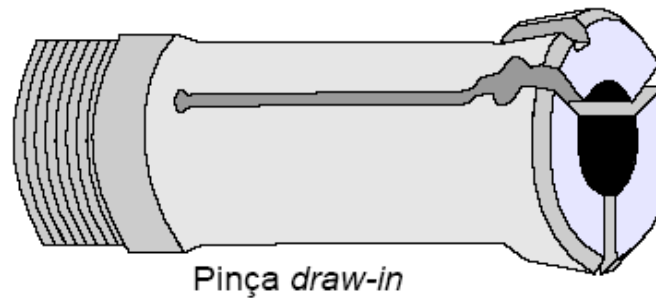
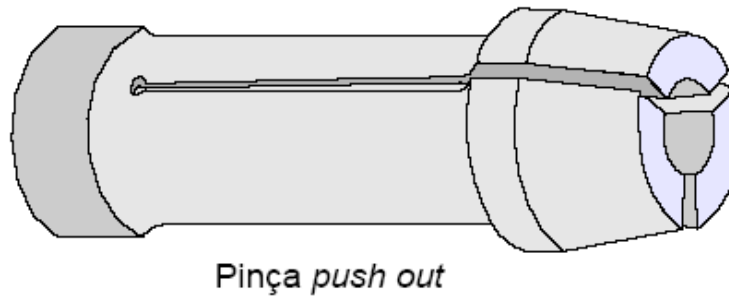
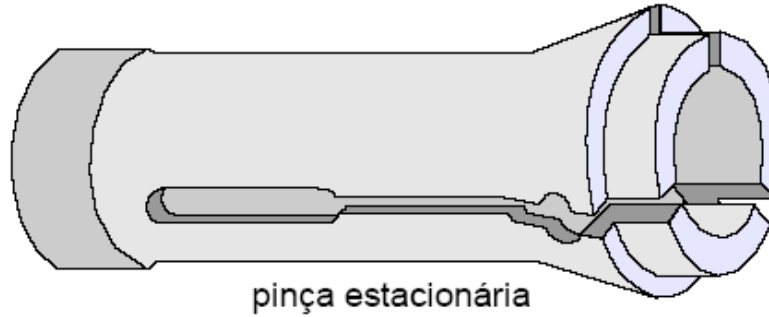
3 Castanhas



Aperto Manual

Furação – Fixação de Broca

Pinças





Furação

Fatores que influenciam a qualidade e precisão do furo:

- Processo
- Material da Peça
- Ferramenta
- Máquina
- Parâmetros
- Rigidez do sistema de fixação

Furação

Precisão média de furos produzidos com brocas helicoidais

Diâmetro do furo		3 - 6		6 - 19		19 - 38	
condição	Erro [mm]	tamanho	posição	tamanho	posição	tamanho	posição
Sem furo de centro e sem bucha		0,08	0,18	0,15	0,20	0,20	0,23
Com furo de centro e sem bucha		0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,13
Com bucha		0,05	0,05	0,08	0,05	0,10	0,08

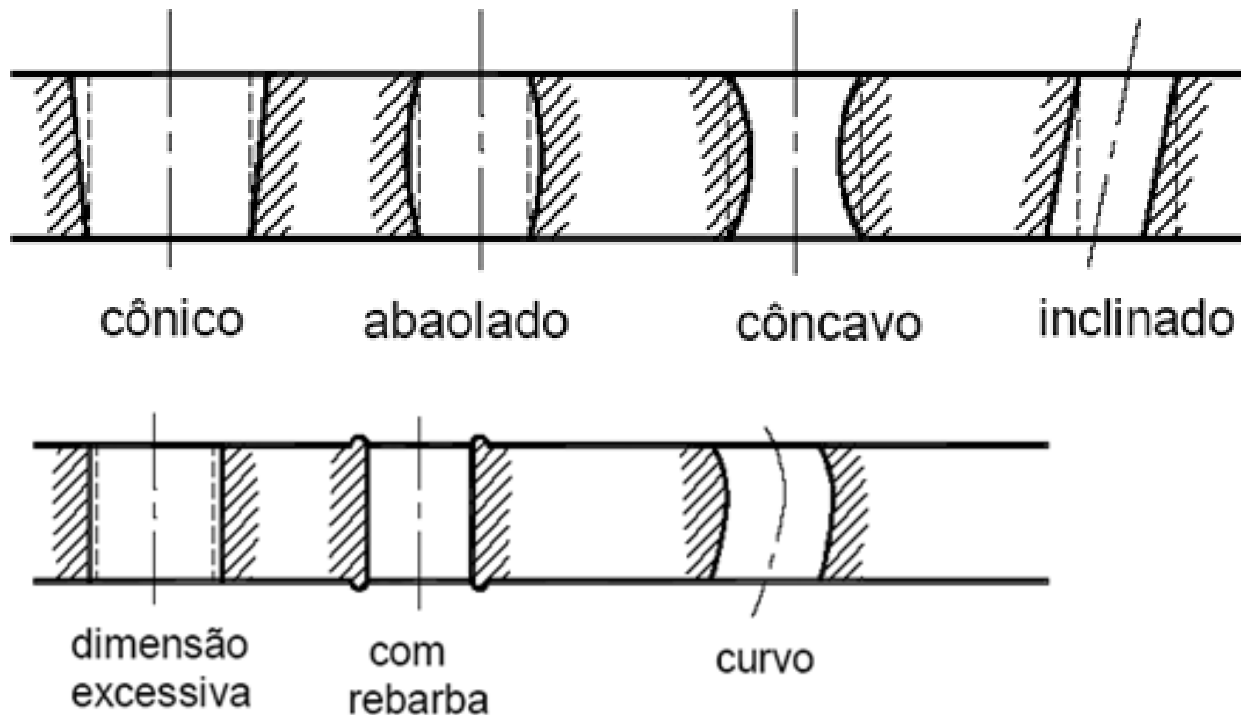


<https://www.youtube.com/watch?v=Vh9XfaouOf4>

Furação

Erros comuns na geometria do furo

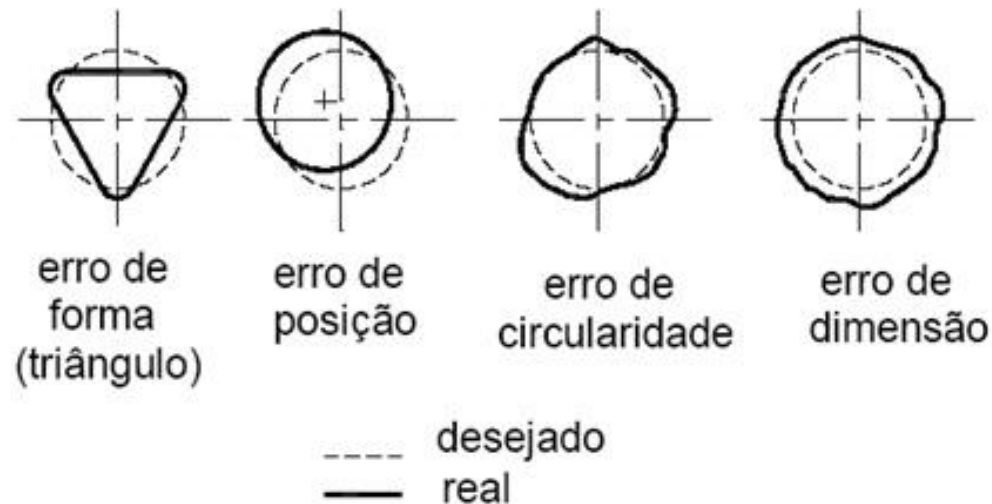
- Erros de forma: diâmetro não uniforme
- Rebarba: rebarba na entrada ou saída do furo



Furação

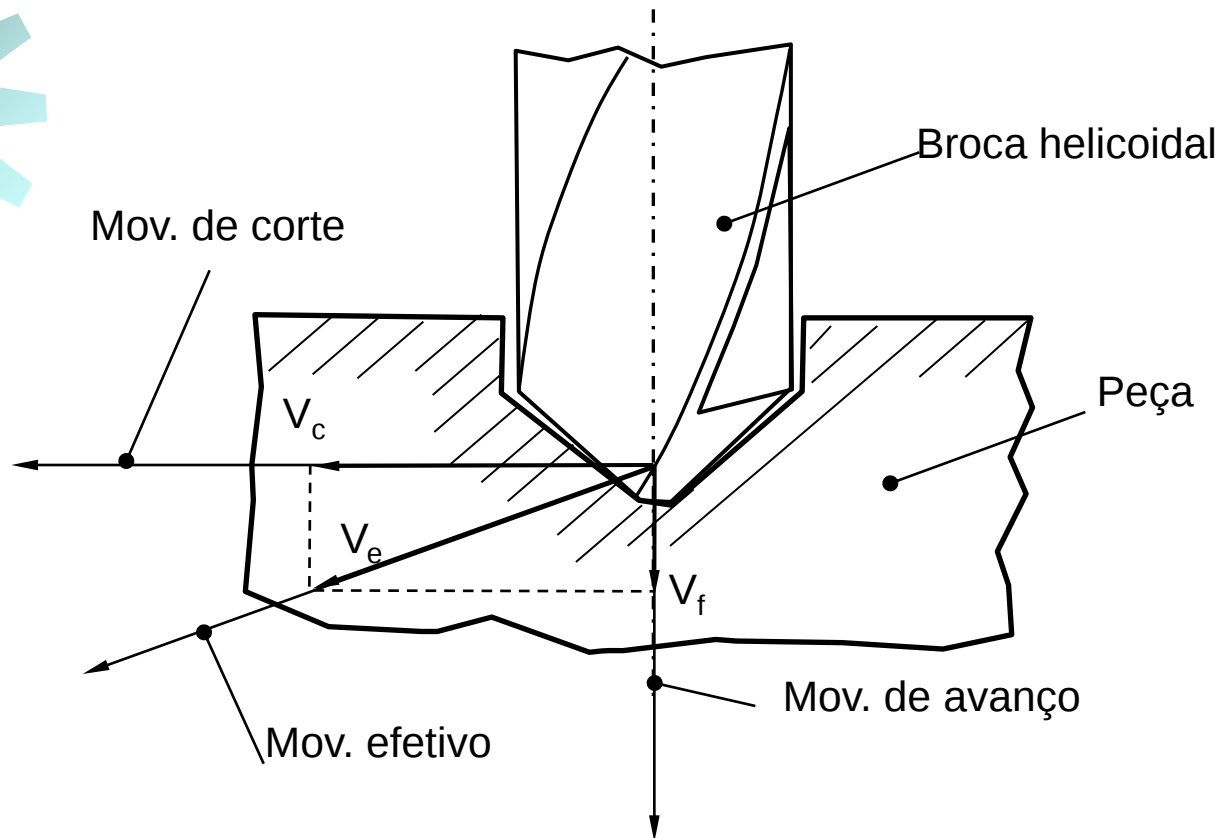
Erros comuns na geometria do furo

- Erros de posicionamento: deslocamento do centro do furo
- Erros de circularidade: seção circular distorcida
- Erros de dimensão: diâmetro resultante diferente da broca

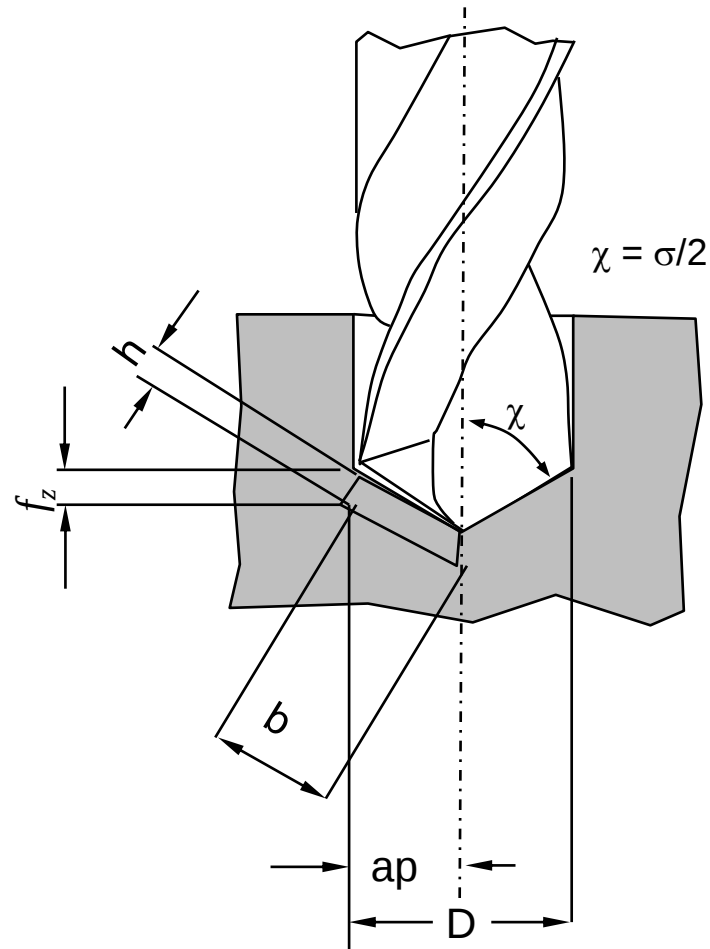


Cinemática do Processo

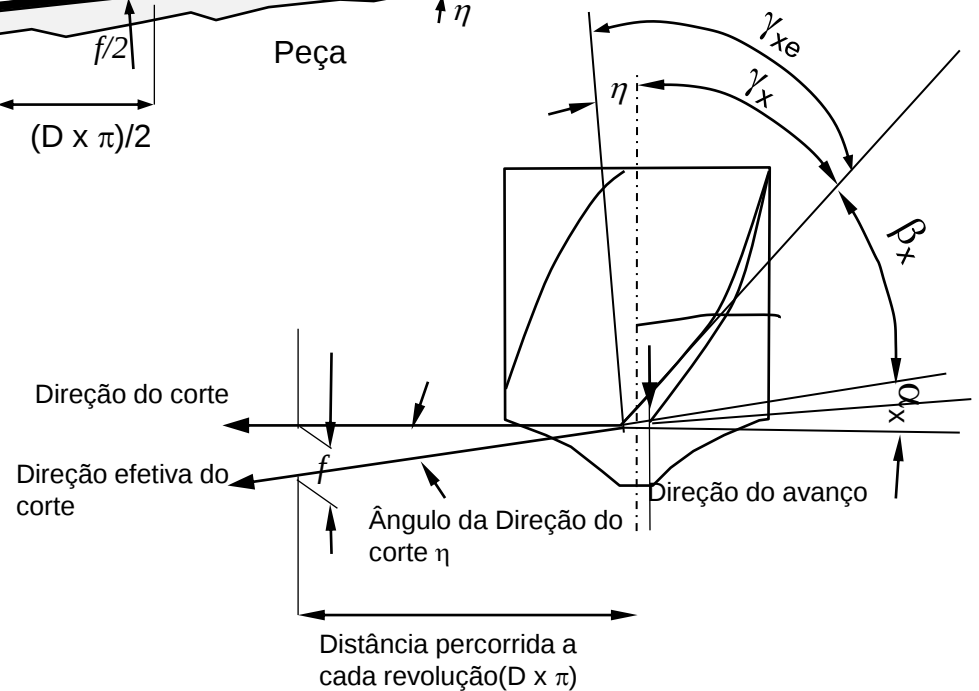
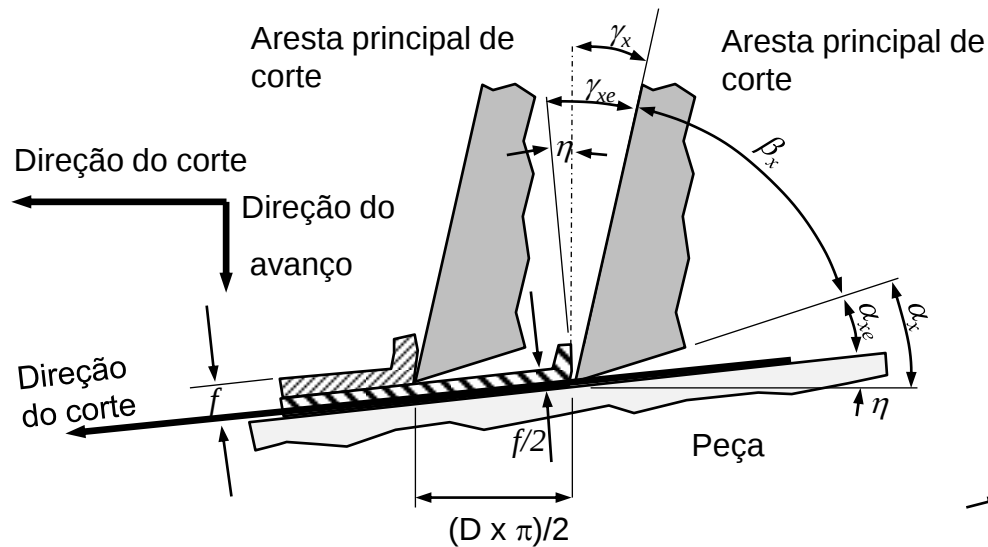
Cinemática do Processo



Cinemática do Processo



Cinemática do Processo



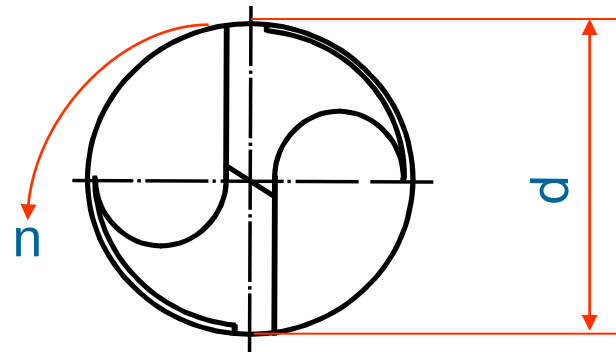
Cinemática do Processo

Velocidade de corte na furação é definida como a velocidade periférica da broca

Fórmulas:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$



Onde:

V_c = Velocidade de corte (m/min)

n = Rotações por minuto (rpm)

d = Diâmetro da broca (mm)

π = Constante (3,1416)

Cinemática do processo

“Velocidade de avanço na furação é definida como a velocidade de penetração da da broca”

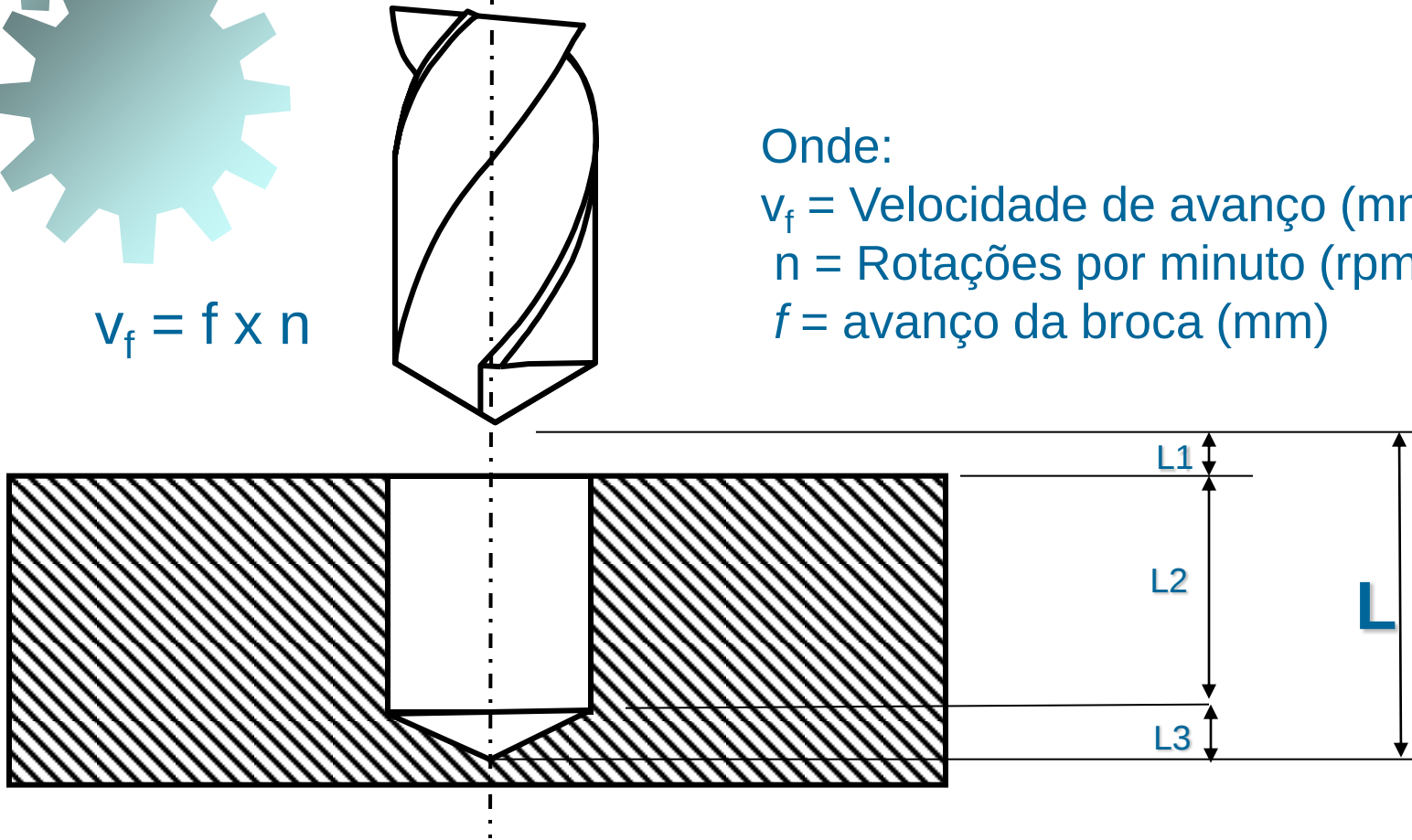

$$v_f = f \times n$$

Onde:

v_f = Velocidade de avanço (mm/min)

n = Rotações por minuto (rpm)

f = avanço da broca (mm)



TEMPO DE FURAÇÃO

$$L = L1 + L2 + L3 + L4$$

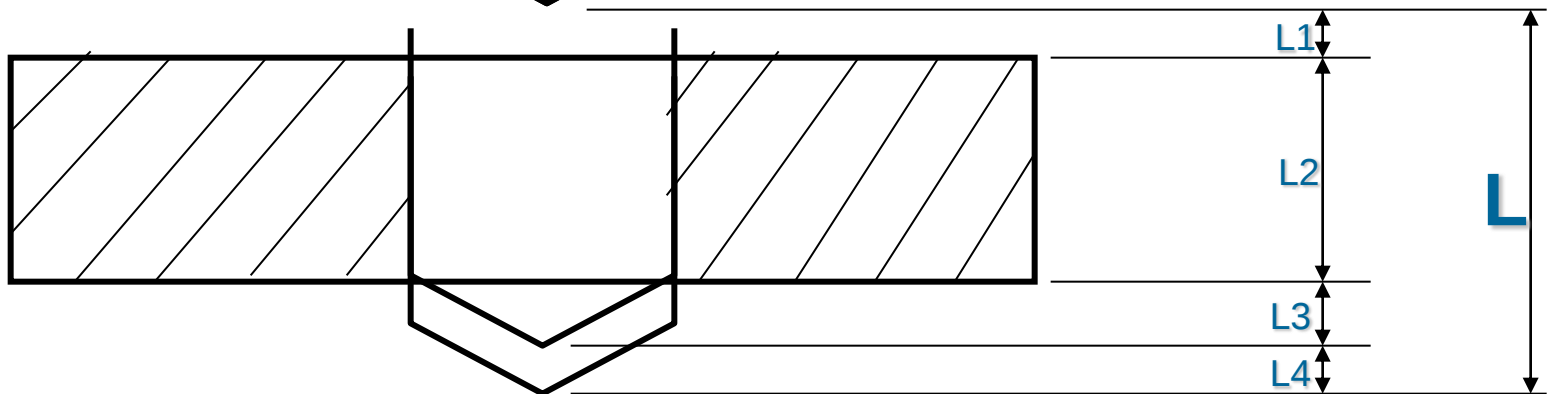
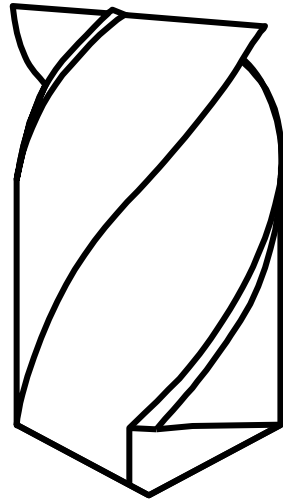
Onde:

L1 = Posicionamento

L2 = Espessura da peça

L3 = Ponta da Broca (aprox. 0,2 x Diâm.)

L4 = Espaço percorrido antes do retorno.





TEMPO DE FURAÇÃO

Tempo de furção é o tempo gasto para a confecção de um furo.

Como o movimento de avanço é retilíneo e uniforme, vale a relação:

$$t_c = \frac{L}{V_f} = \frac{L}{f \cdot n}$$

Onde:

L = Comprimento de operação (mm)

V_f = Velocidade de avanço (mm/min.)

V_f = avanço por rotação (mm/rot) x rotações por minuto (rpm) = $f \times n$

Exemplo

Diâmetro da broca = 15 mm, $V_f = 265$ mm/min e $\sigma = 118^\circ$

$$L_3 = R / \tan(\sigma/2) = 7,5 / \tan(118/2) = 4,5$$

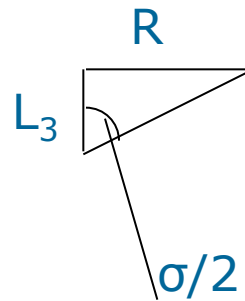
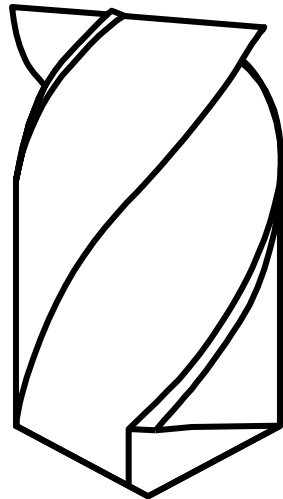

$$L_1 = 3 \text{ mm}$$

$$L_2 = 30 \text{ mm}$$

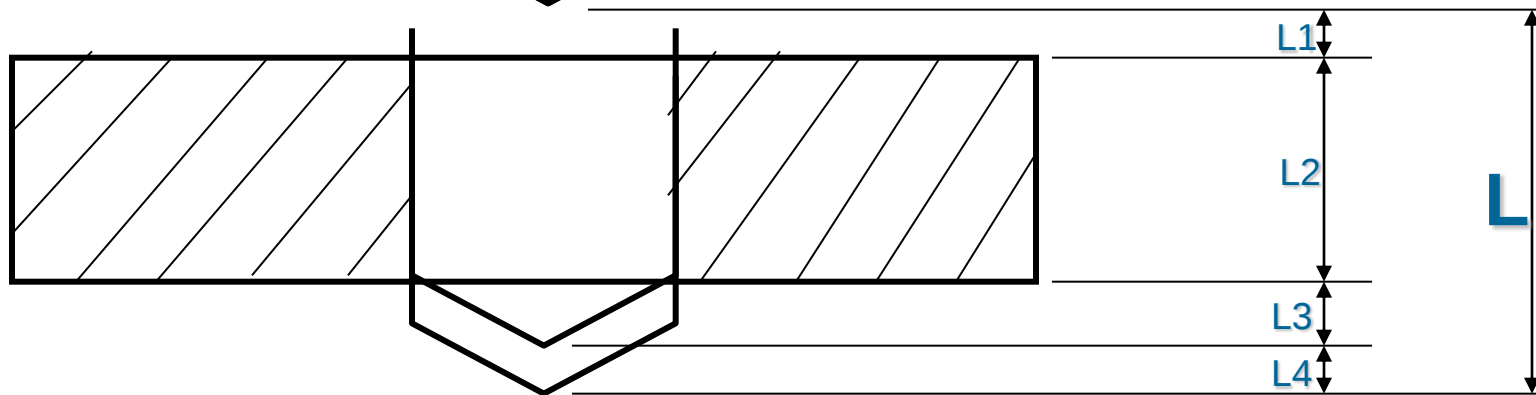
$$L_3 = 4,5 \text{ mm}$$

$$L_4 = 3 \text{ mm}$$

$$L = 40,5 \text{ mm}$$



$$T_c = \frac{L}{V_a} = \frac{40,5}{265} = 0,153 \text{ min}$$



Resistências ao corte na furação:

- ➔ Resistência devido ao corte do material nas duas arestas principais de corte (M_{ta} e F_{aa})
- ➔ Resistência devido ao corte e extrusão do material na aresta transversal de corte (M_{tb} e F_{ab})
- ➔ Atrito nas guias e atrito entre a superfície de saída da broca e o cavaco (M_{tc} e F_{ac})



Sistema de Forças

$$M = M_{ta} + M_{tb} + M_{tc}$$

MOMENTO TORÇÃO

$$F_a = F_{aa} + F_{ab} + F_{ac}$$

FORÇA DE AVANÇO

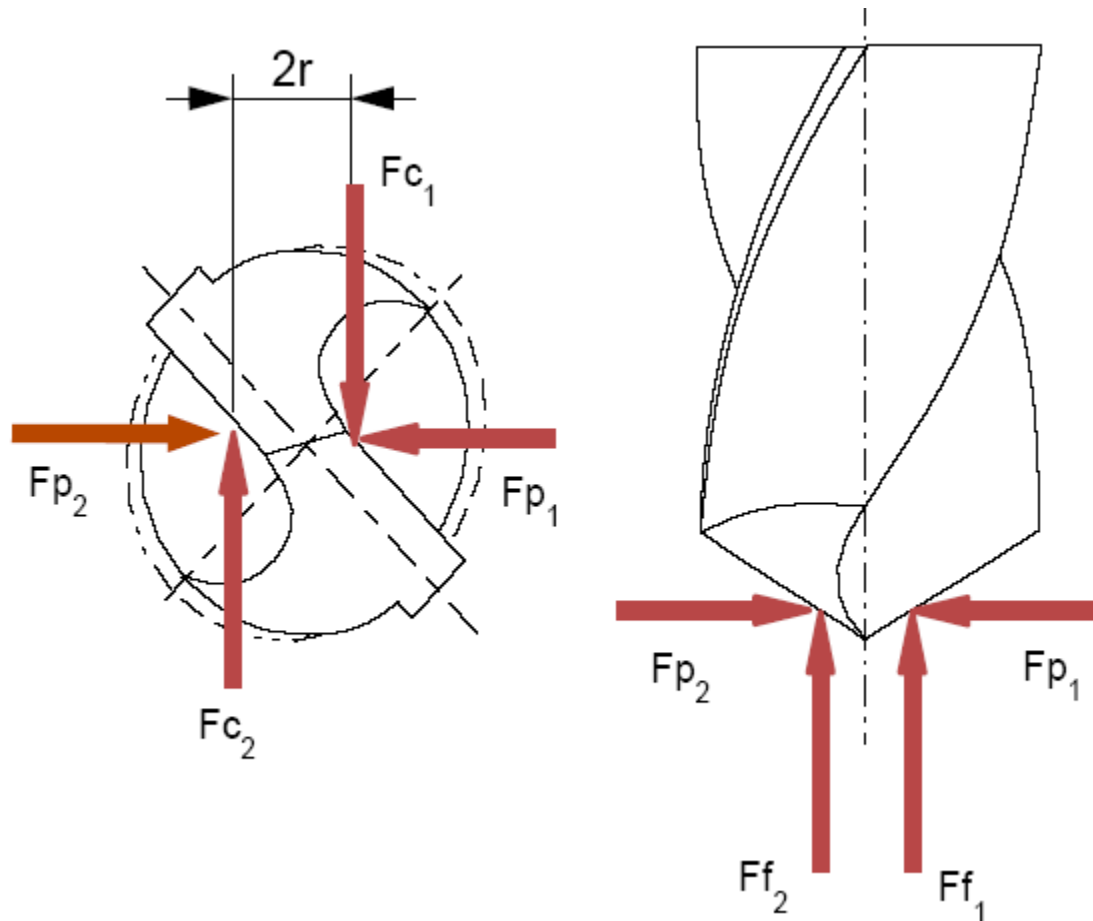


Sistema de Forças - Contribuição

	ARESTAS PRINCIPAIS	ARESTA TRANSVERSAL	ATRITO
MOMENTO M_t	77 – 90%	3 – 10%	3 – 13%
FORÇA DE AVANÇO F_a	39 – 59%	40 – 58%	2 – 5%

Furação

Sistema de Forças em Broca Helicoidais

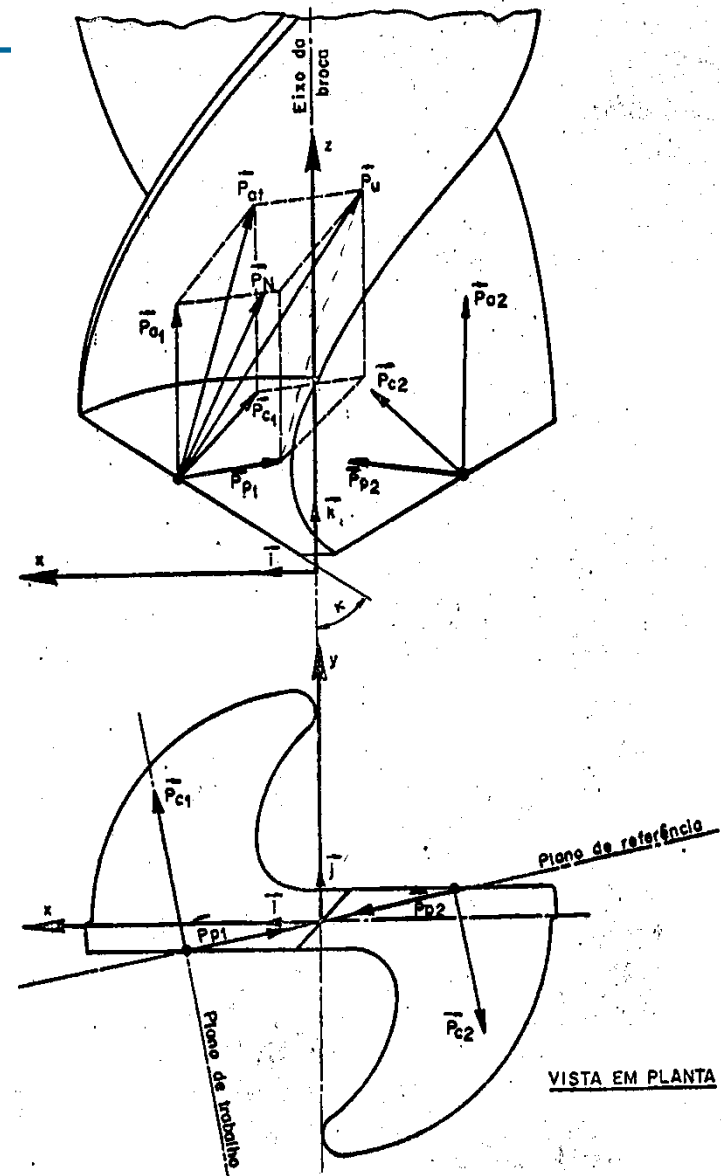


Furação

Sistema de Forças

F_c = Força de corte

F_a = Força de avanço



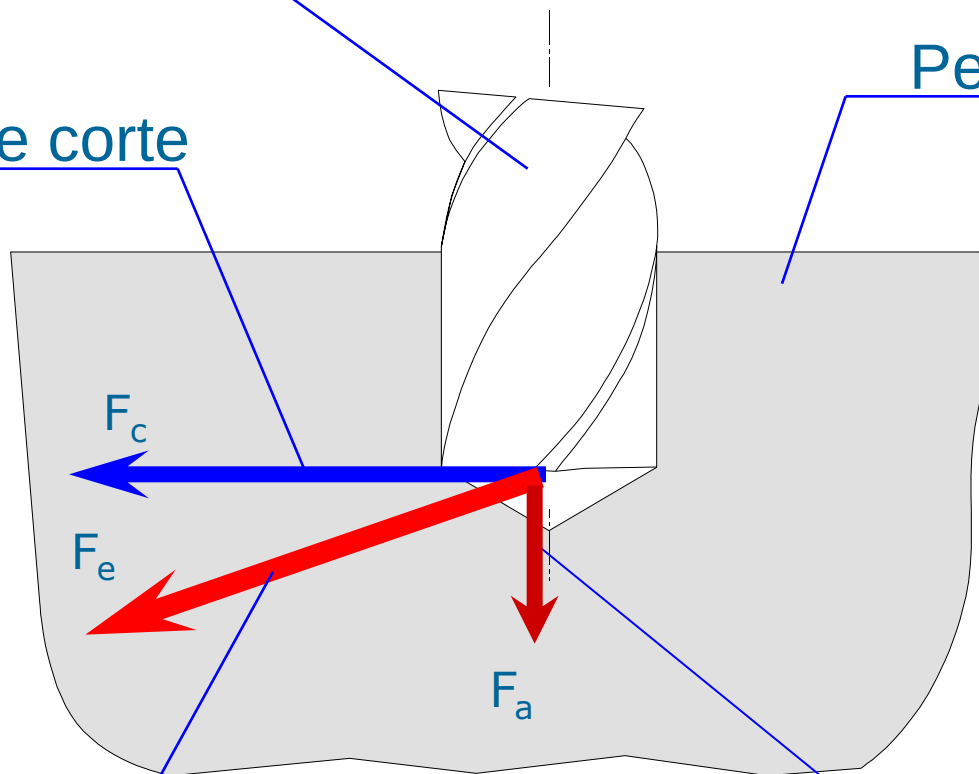
Sistema de Forças em Broca Helicoidais



Broca

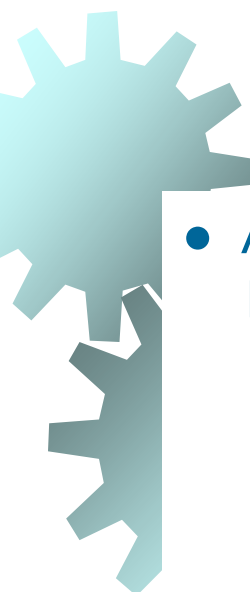
Peça

Direção de corte



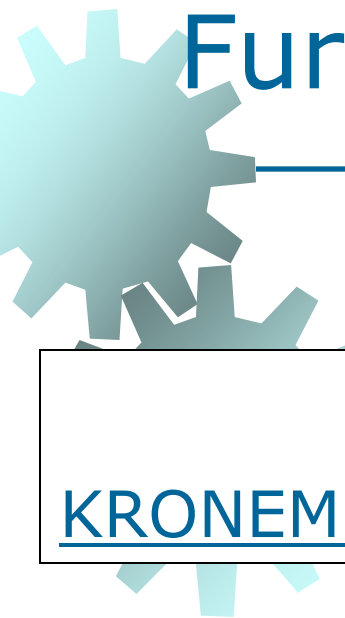
Direção efetiva

Avanço de trabalho



Sistema de Forças em Broca Helicoidais

- As forças também podem ser determinadas através de equações. Essas dependem basicamente do:
 - a) diâmetro da broca (a_p),
 - b) do avanço ($f = f_z \times Z$) e;
 - c) do material da peça (k_{s1}).
- Também contribuem as características do tipo de broca ou condições externas que exercem influência secundária sob a determinação destas constantes, como:
 - a) ângulo de ponta ($\chi = \sigma/2$),
 - b) ângulo de hélice (γ),
 - c) qualidade da afiação da ferramenta (desgaste) e,
 - d) fluido de corte empregado.



Furação – Momento de Torção

KRONENBERG:

$$M_t = C_1 \cdot D^x \cdot f^y$$

SHAW E OXFORD:

$$M_t = 0,087 \cdot HB \cdot f^{0,8} \cdot D^{1,8}$$

KIENZLE:

$$M_t = K_{s1} b h^{1-z} D/2$$



Furação

Sistema de Forças em Broca Helicoidais

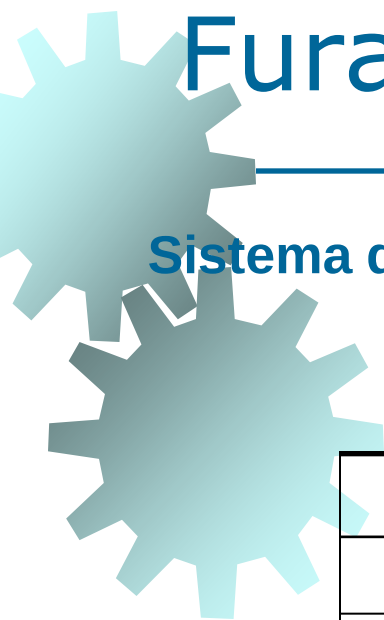
- Formula de Kronenberg para a determinação do Momento de Torsão na furação em cheio

$$M_t = C_1 \cdot D^{x1} \cdot f^{y1}$$

D = Diâmetro da Broca [mm]

f = avanço [mm/volta]

C1, x1 e y1 = constantes empíricas do material da peça.



Furação

Sistema de Forças em Broca Helicoidais

$$M_t = C_1 \cdot D^{x1} \cdot f^{y1}$$

Aço	<i>C1</i>	<i>x1</i>	<i>y1</i>
1085	30,2 ± 0,5	2,05	0,86
1020	15,1 ± 0,4	2,22	0,76
1065	24,3 ± 0,9	2,05	0,83
1055	21,9 ± 0,3	2,01	0,77
1025	37,9 ± 0,6	1,87	0,77
52100	46,8 ± 0,9	1,97	0,77
VM20	48,6 ± 1,2	1,77	0,72
VND	26,2 ± 0,8	2,13	0,78
VS60	10,9 ± 0,8	2,33	0,70



Furação

Formula de H. Daar para a determinação do da força de avanço na furação em cheio

$$F_f = C_2 \cdot D^{x2} \cdot f^{y2}$$

Aço	C2	x2	y2
1085	161 ± 8	1,02	0,79
1020	32,5 ± 0,4	1,32	0,65
1065	49,6 ± 0,8	1,07	0,54
1055	22,0 ± 0,5	1,32	0,54
1025	33,4 ± 0,8	1,21	0,60
52100	41,9 ± 0,8	1,41	0,66
VM20	27,3 ± 0,6	1,3	0,59
VND	55,1 ± 1,4	1,29	0,72
VS60	42,7 ± 1,0	1,35	0,70

Furação – Parâmetros Kienzle



Furação em cheio

Barra nº	Aço ABNT/SAE ou Villares	σ_r kgf mm ²	Pressão unitária de corte kgf/mm ²		(1-z)
			média $\bar{k}_{s1}$	Lim.sup.95% k_{s1}	
10	1085	88,5	245 ± 5	270	0,86 ± 0,04
13	1020	38,5	191 ± 7	234	0,77 ± 0,08
31	1065	83,2	200 ± 7	243	0,84 ± 0,07
32	1055	78,3	148 ± 2	160	0,77 ± 0,03
37	1025	45,0	158 ± 3	177	0,75 ± 0,04
8	52100	64,0	281 ± 6	313	0,77 ± 0,05
46	VM20	64,9	154 ± 6	186	0,72 ± 0,07
47	VND	74,4	240 ± 8	288	0,76 ± 0,08
48	VS60	96,0	154 ± 11	220	0,68 ± 0,17
49	VW 3	71,7	250 ± 8	300	0,81 ± 0,07
50	VMO	73,0	284 ± 7	326	0,87 ± 0,05
51	VCO	82,6	347 ± 8	391	0,92 ± 0,05



Exemplo

Broca de Aço Rápido de diâmetro igual a 15 mm

Condições de corte: $V_c = 25$ m/min e $f = 0,5$ mm/rev

Material da peça : Aço ABNT 1020

Profundidade do furo (passante) = 30 mm

Calcular M_t , P_c e F_a

Segundo Kronenberg: $M_t = C_1 \cdot D^x \cdot a^y$

Da tabela V: $C_1 = 15,1$; $x = 2,22$ e $y = 0,76$

$$M_t = 15,1 \cdot (15)^{2,22} \cdot (0,5)^{0,76} = 3640 \text{ Kgf} \cdot \text{m}$$

$$P_c = \frac{2M_t V_c}{60 \times 75 \times D} = \frac{2 \times 3640 \times 25}{60 \times 75 \times 15} = 2,7 \text{ CV}$$



Exemplo

Broca de Aço Rápido de diâmetro igual a 15 mm

Condições de corte: $V_c = 25 \text{ m/min}$ e $f = 0,5 \text{ mm/rev}$

Material da peça : Aço ABNT 1020

Profundidade do furo (passante) = 30 mm

Calcular M_t , P_c e F_a

Cálculo de F_a

Segundo H. Daar: $F_a = C_2 \cdot D^{x2} \cdot f^{y2}$

Da tabela VIII: $C_2 = 32,5$; $x = 1,32$ e $y = 0,65$

$$F_a = 32,5 \cdot (15)^{1,32} \cdot (0,5)^{0,65} = 739 \text{ Kgf}$$



Exemplo

SEGUNDO A
KENNAMETAL



Exemplo - Kenametal

Potência de Acionamento:

$$P_c = \frac{z * d^2 * \pi * n * k_{c1.1} * (f / z)^{(1-mc)}}{240.000.000} \quad (\text{kW})$$

Onde:

Z = número de cortes da broca (para brocas c/ insertos interc. Z = 1)

d = diâmetro da broca

n = rotação da broca ou peça

$k_{c1.1}$ = força específica de corte (tabela)

f = avanço por volta

1-mc = constante (tabela)



Exemplo

Torque ou Momento Torsor:

$$M_t = z * (d^2 / 8) * k_{c1.1} * (f / z)^{(1-mc)} \quad (\text{Nm})$$

Onde:

Z = número de cortes da broca (brocas c/ insertos interc. = 1)

d = diâmetro da broca

$k_{c1.1}$ = força específica de corte (tabela)

f = avanço por volta

$1-mc$ = constante (tabela)



Exemplo

Força de Avanço:

$$F_a = z * d / 2 * k_{f1.1} (f / z)^{(1 - mf)} \quad (N)$$

Onde:

Z = número de cortes da broca (para brocas c/ insertos interc. $Z = 1$)

d = diâmetro da broca

$k_{f1.1}$ = força específica de avanço (tabela)

f = avanço por volta

$1-mf$ = constante (tabela)

Exemplo

Material Grupo No.	Forças de Corte p/ Brocas c/ Insertos Intercamb.				Forças de Corte p/ Brocas Inteiriças de M. Duro			
	kc1.1	1-mc	kf 1.1	1-mf	kc1.1	1-mc	kf 1.1	1-mf
1.1	1,361	0.832	303	0.379	1,537	0.773	531	0.568
1.2	1,268	0.885	265	0.573	1,433	0.823	464	0.859
2.1	1,495	0.724	352	0.257	1,690	0.673	617	0.386
2.2	1,431	0.827	227	0.345	1,616	0.769	396	0.517
3	1,596	0.757	324	0.262	1,803	0.704	566	0.393
4	1,573	0.754	302	0.246	1,778	0.701	529	0.369
5	1,662	0.767	337	0.288	1,878	0.713	590	0.432
6	1,518	0.747	350	0.307	1,746	0.777	699	0.553
7	1,630	0.765	335	0.315	1,842	0.734	670	0.568
8	1,626	0.781	285	0.288	1,837	0.750	570	0.518
9	1,726	0.781	320	0.328	1,657	0.718	640	0.590
10	1,654	0.714	352	0.340	1,588	0.657	704	0.612
11	1,972	0.792	503	0.601	1,893	0.728	1,006	1.082
12	1,445	0.728	333	0.276	1,387	0.670	666	0.496
13	1,699	0.823	339	0.380	1,631	0.757	678	0.684
14.1	1,437	0.736	403	0.371	2,106	0.801	986	0.612
14.2	1,477	0.685	292	0.174	2,156	0.685	642	0.304
15	826	0.668	224	0.371	1,033	0.768	525	0.501
16	899	0.586	170	0.087	1,159	0.762	861	0.593
17	1,026	0.749	316	0.496	1,330	0.847	970	0.974
18	1,026	0.699	316	0.446	1,252	0.731	650	0.650
22	549	0.739	91	0.495	745	0.714	349	0.461
23	477	0.756	63	0.235	956	0.989	569	0.868
25	402	0.731	52	0.264	956	0.989	569	0.868
32	1,864	0.741	485	0.403	2,274	0.748	1,067	0.705
33	2,493	0.746	958	0.523	3,041	0.753	2,108	0.914
34	2,239	0.755	445	0.347	2,732	0.763	979	0.607
37	1,456	0.839	218	0.654	585	0.414	416	0.363



Conversão

Para converter:	em:	Dividir por:
kW	CV	0,7360
kW	hp	0,7463
Nm	kgfm	9,8066
Nm	libraspol.	0,1130
N	libras	4,4498



Exemplo - Comparação

Broca de Aço Rápido de diâmetro igual a 15 mm

Condições de corte: $V_c = 25 \text{ m/min}$ e $f = 0,5 \text{ mm/rot}$

Material da peça : Aço ABNT 1020

Profundidade do furo (passante) = 30 mm

Calcular M_t , P_c e F_a

Segundo Kennametal: $K_{c1.1} = 1361$; $1-m_c = 0,832$

$K_{f1.1} = 303$; $1-m_f = 0,379$

$M_t = 2465 \text{ Kgfm}$

$P_c = 1,82 \text{ CV}$

$F_a = 268,7 \text{ Kgf}$

Resultados Kronenberg/Daar

$M_t = 3640 \text{ Kgfm}$

$P_c = 2,7 \text{ CV}$

$F_a = 739 \text{ Kgf}$

Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira Manual ou Hobby



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira de Bancada



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira e Roscadeira de Bancada de duplo fuso



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

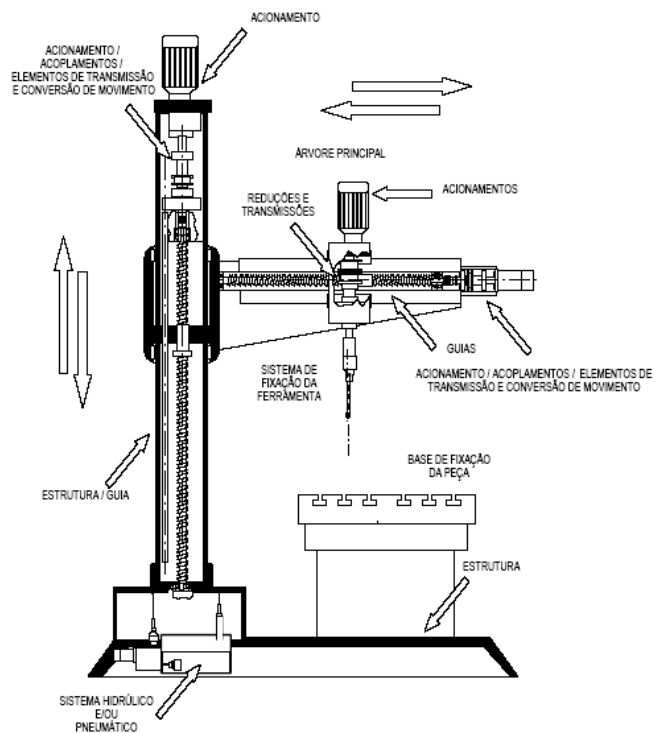
Furadeira de Coluna



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira Radial

Constituintes de uma furadeira



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeiras em Série (“gang drilling”)



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeiras em Série (“gang drilling”) com Cabeçote multifuso



Cabeçote multifuso

