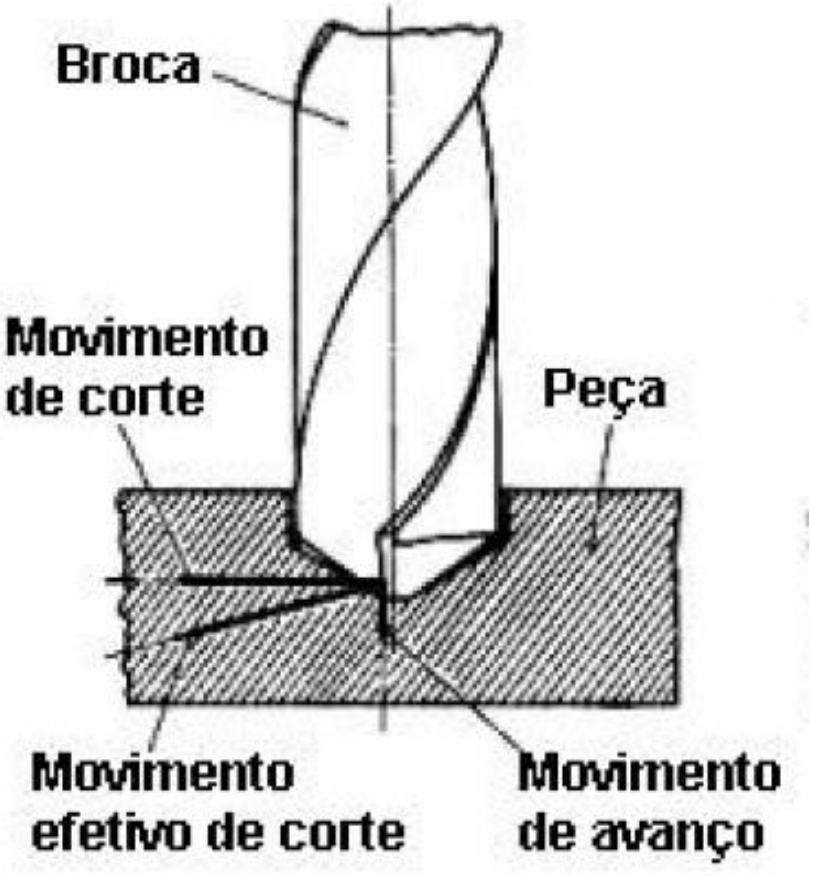
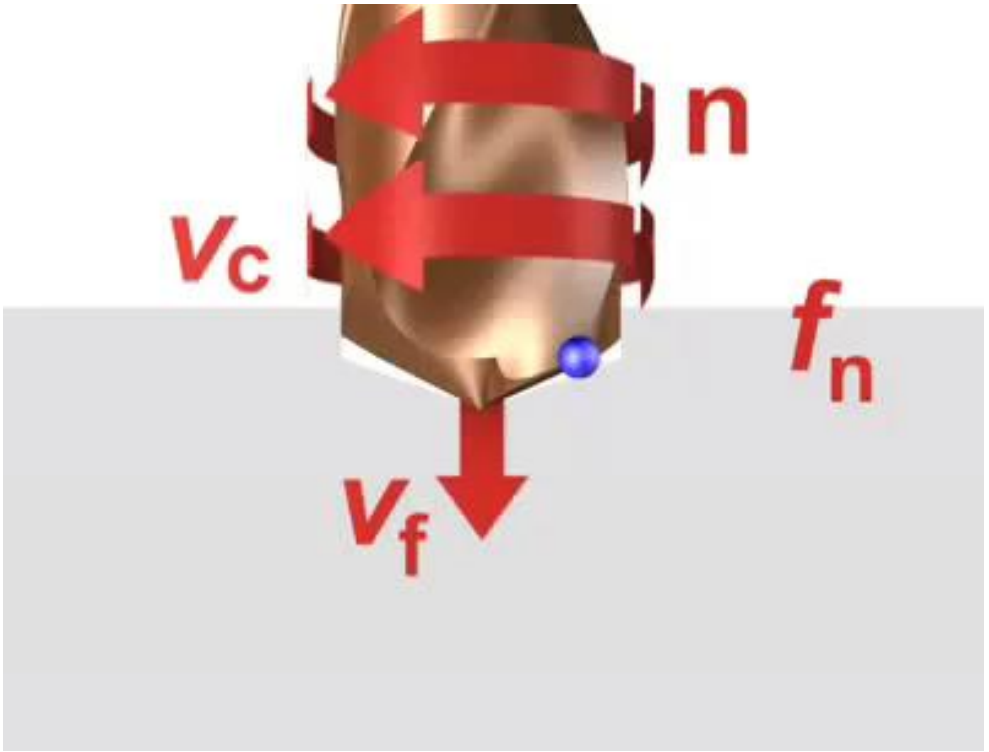
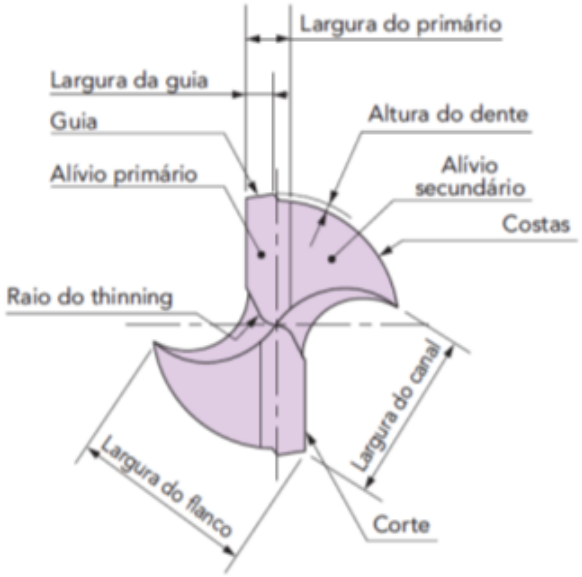
FURAÇÃO – Parâmetros

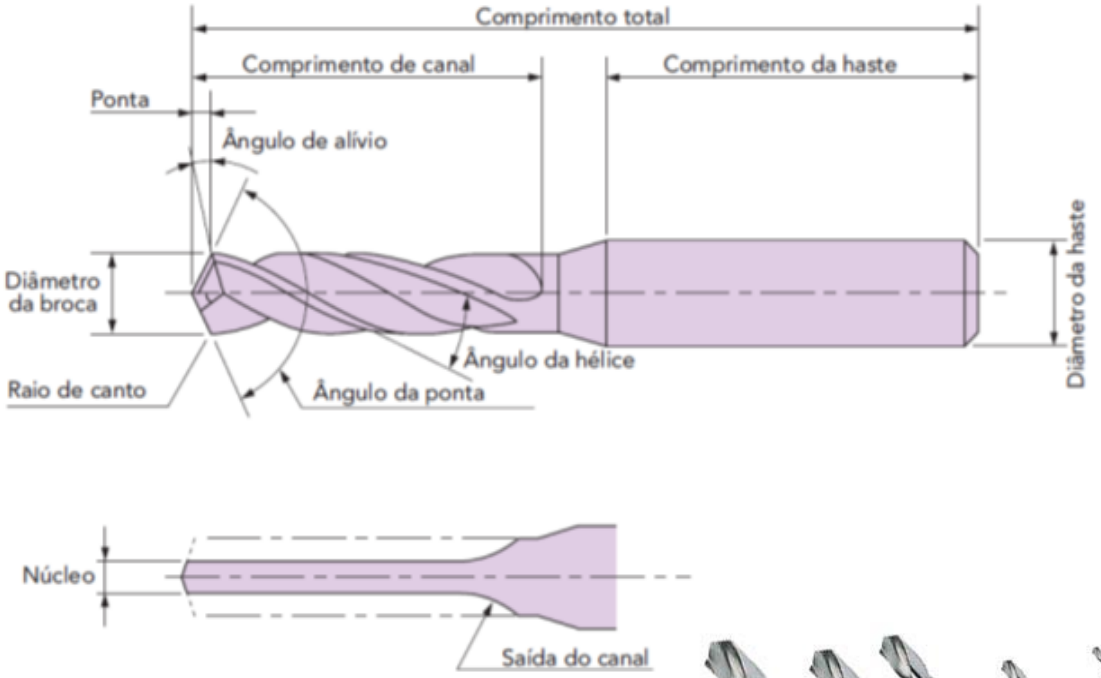
Velocidades





FURAÇÃO – Parâmetros

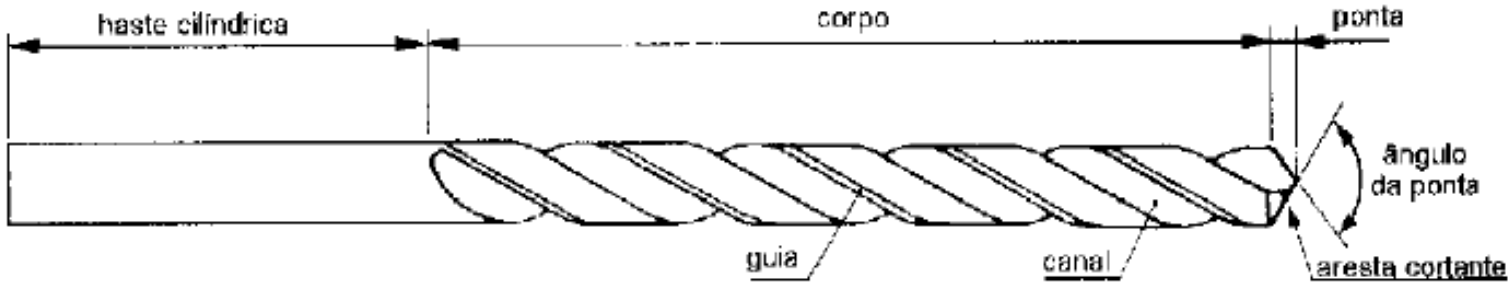


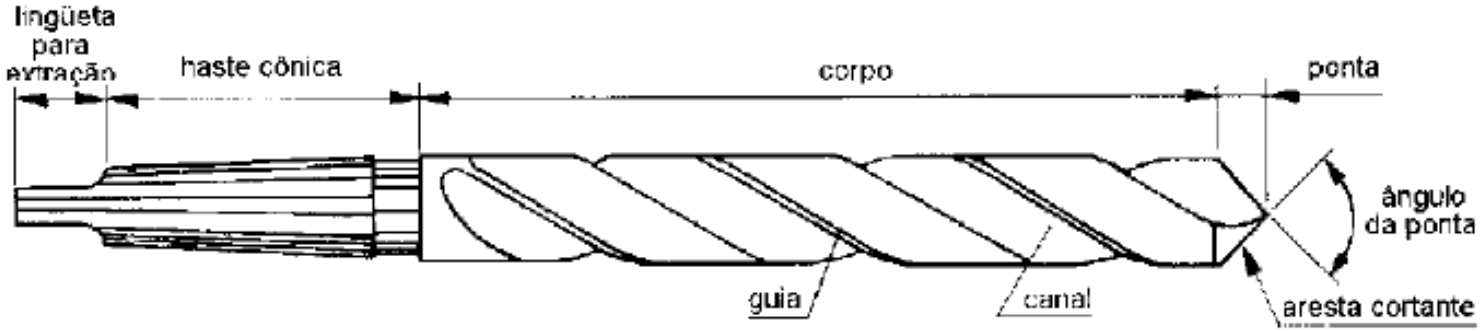


Terminologia das brocas

FURAÇÃO – Terminologia

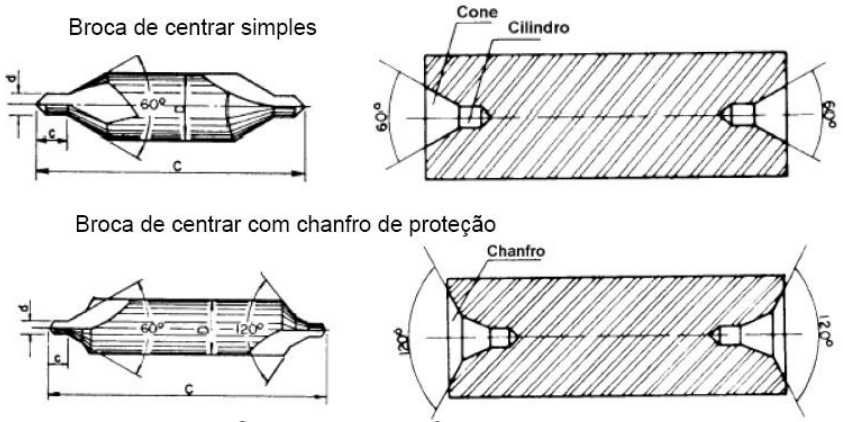
Terminologia das brocas





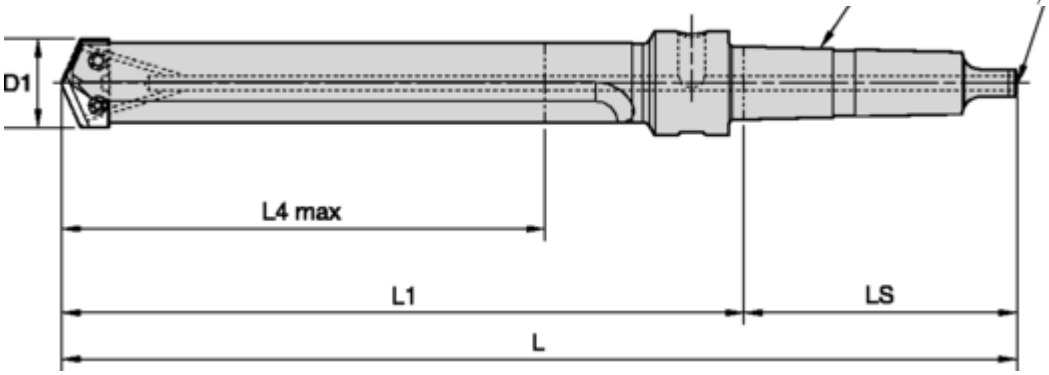
FURAÇÃO – Brocas

Tipos de brocas



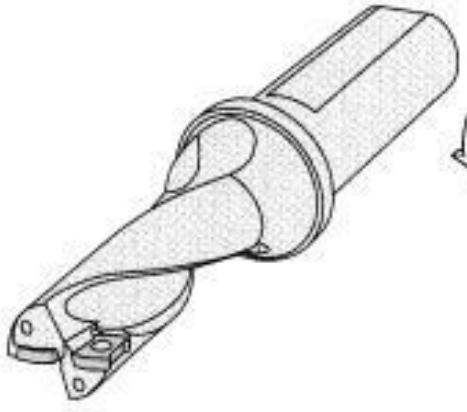
Centro

Canhão

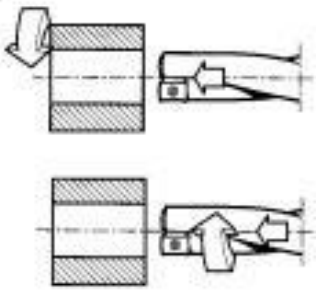


Espada

Espada



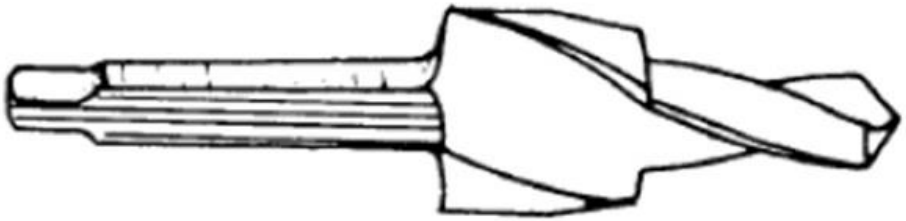
T-max

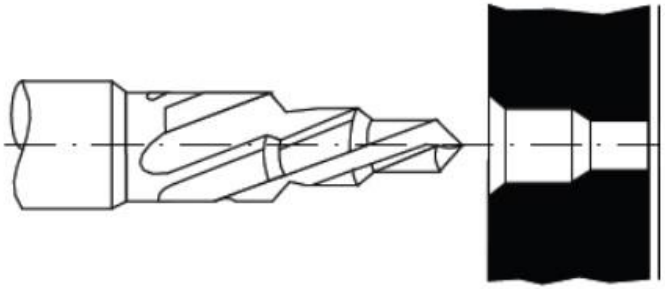


FURAÇÃO – Brocas

Serra-Copo

Brocas escalonadas

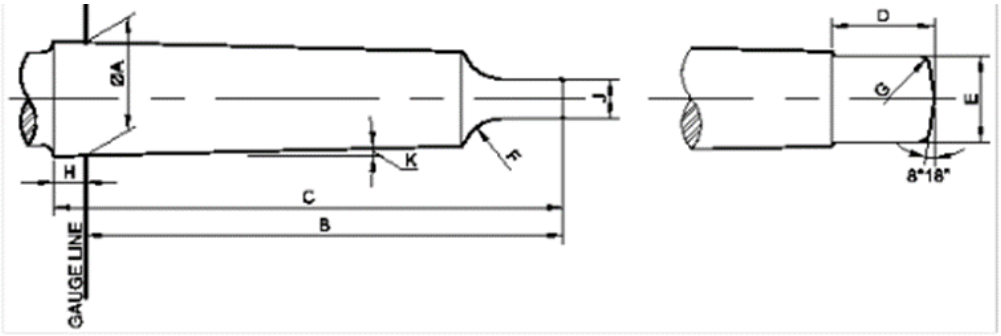




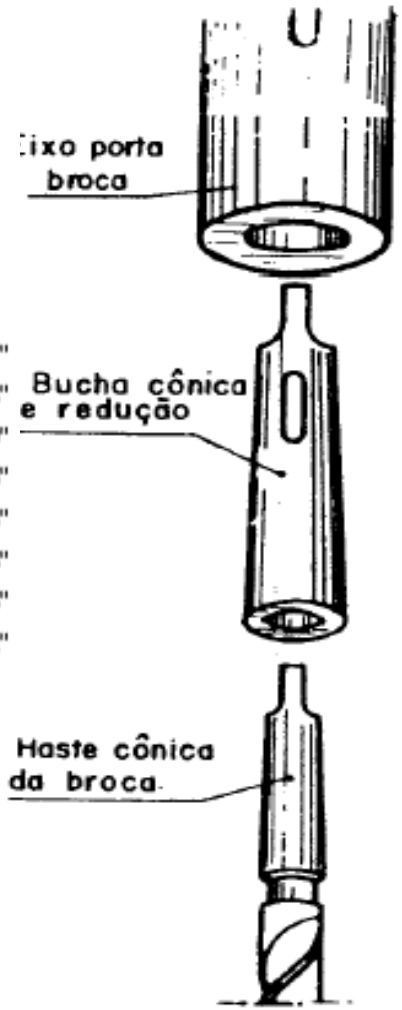
FURAÇÃO – Fixação

Fixação de brocas

Haste cônica = Cone Morse



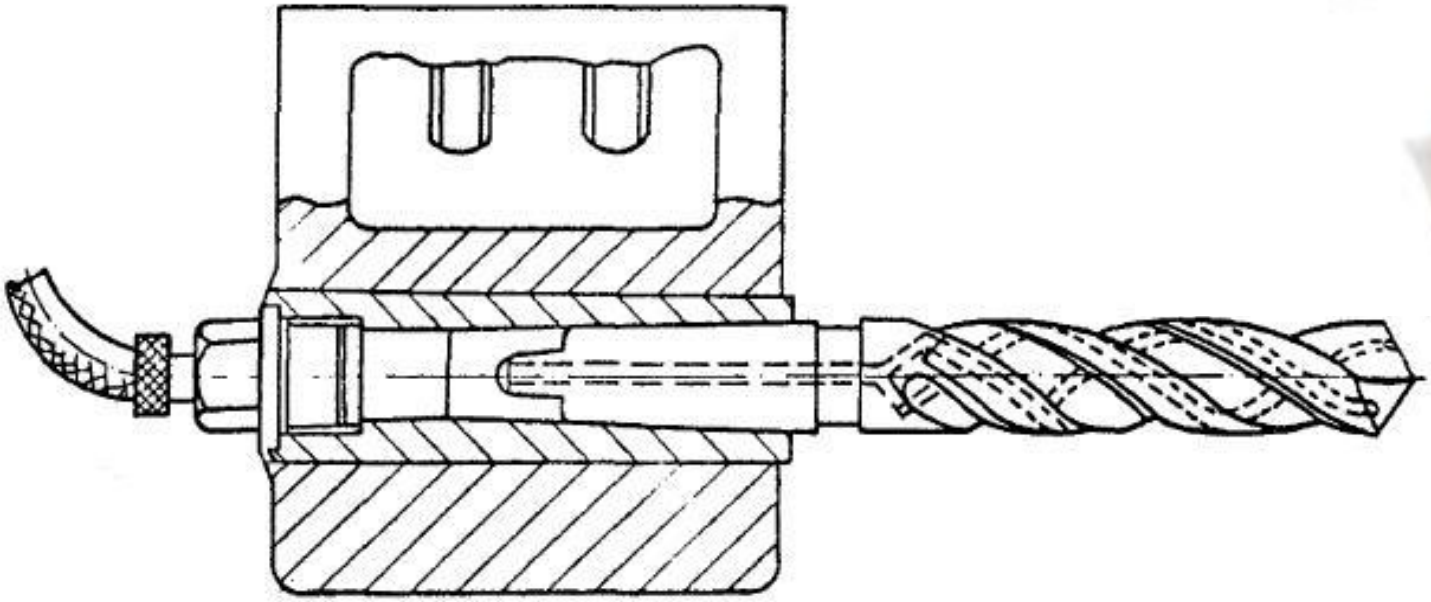
Cone Morse	Taper	A	B (max)	C (max)	D (max)	E(max)	F	G	H	J	K
0	19.212:1	9.045	56.5	59.5	10.5	6.0	4	1	3	3.9	1°29'27"
1	20.047:1	12.065	62	65.5	13.5	8.7	5	1.2	3.5	5.2	1°25'43"
2	20.020:1	17.780	75	80	16.0	13.5	6	1.6	5	6.3	1°25'50"
3	19.922:1	23.825	94	99	20.0	18.5	7	2	5	7.9	1°26'16"
4	19.254:1	31.267	117.5	124	24.0	24.5	8	2.5	6.5	11.9	1°29'15"
5	19.002:1	44.399	149.5	156	29.0	35.7	10	3	6.5	15.9	1°30'26"
6	19.180:1	63.348	210	218	40.0	51.0	13	4	8	19	1°29'36"
7	19.231:1	83.058	285.75	294.1	34.9	-	-	19.05	-	19	1°29'22"



Haste paralela = mandril

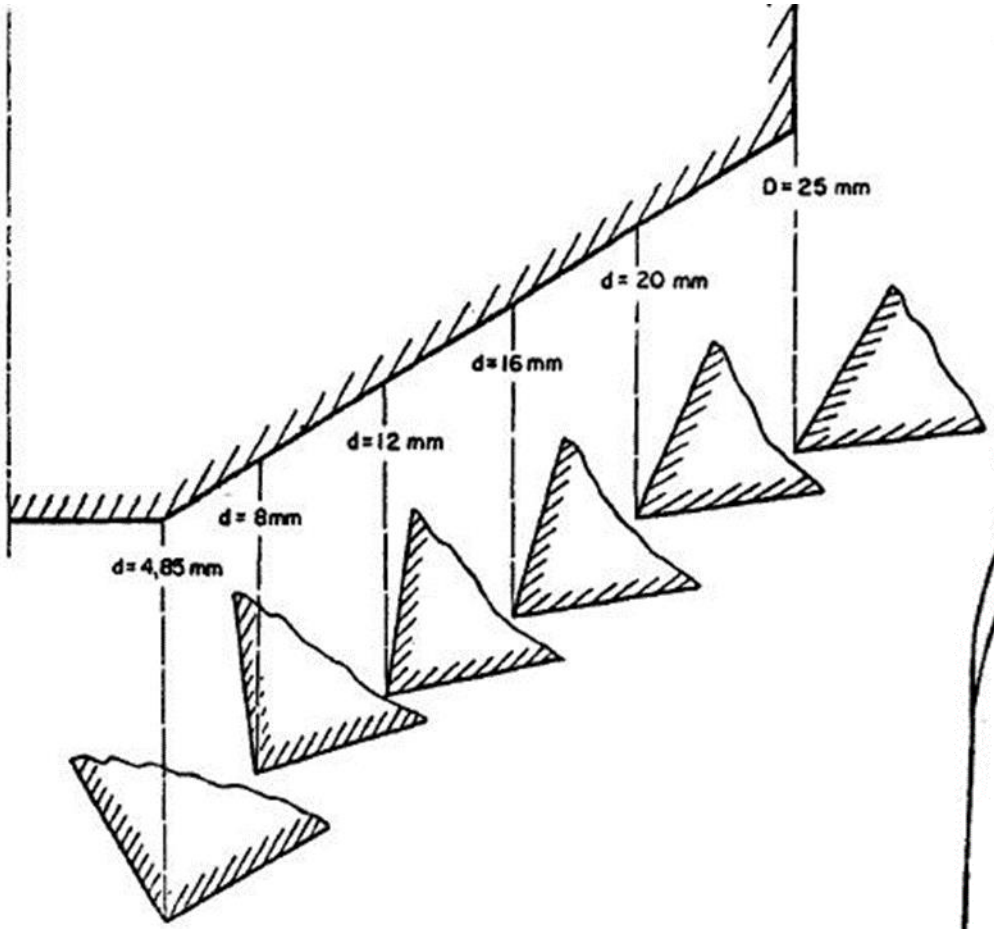
FURAÇÃO – Tipos

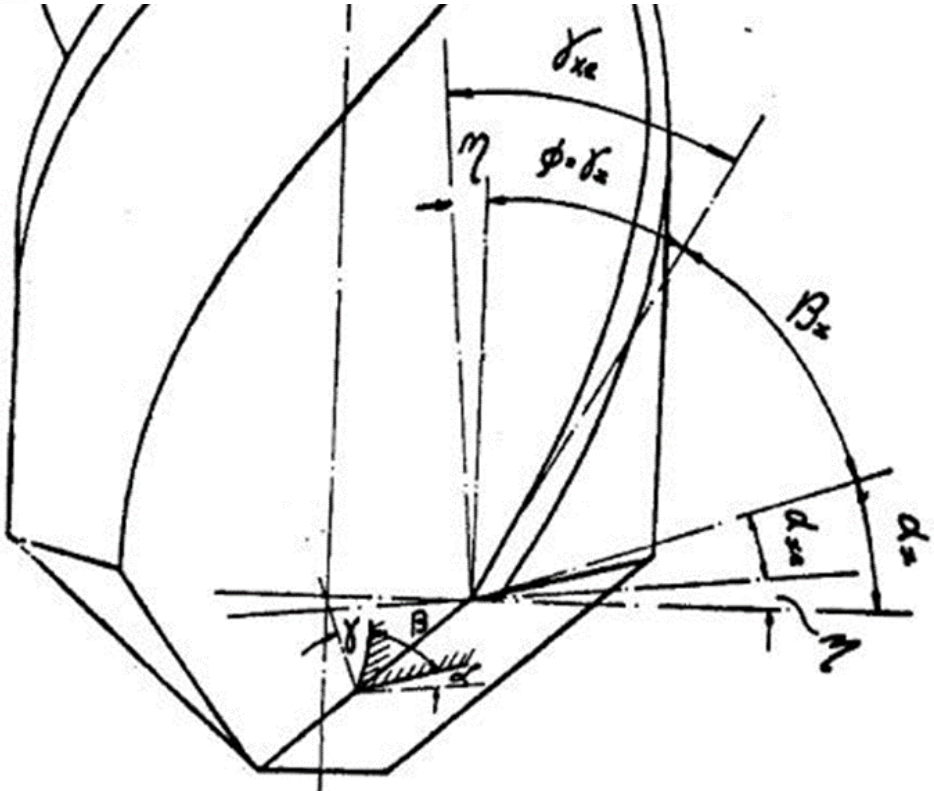
Canal interno de
lubri-refrigeração



FURAÇÃO – Ângulos

Ângulos de aresta em brocas

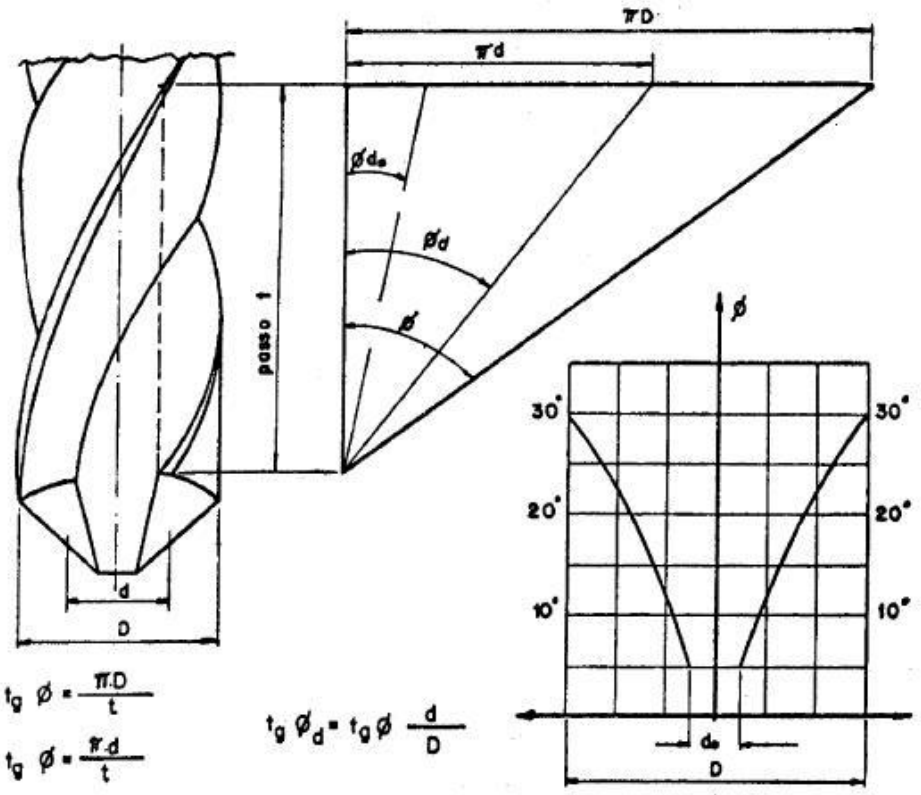




FURAÇÃO – Hélice

Ângulos de hélice em brocas

d/D	Ângulo de ponta σ = 118° — Ângulo de hélice φ		
	13°	30°	40°
1,000	10,536	30,609	41,925
0,727	4,512	20,549	30,898
0,571	0,051	13,195	22,338
0,470	- 3,760	7,280	15,319
0,400	- 7,342	2,110	9,204
0,348	-10, 45	- 2,740	3,551
0,308	-14,757	- 7,579	- 1,981
0,276	-18,957	-12,665	- 7,688
0,250	-23,741	-18,255	-13,863
0,228	-29,340	-24,636	-20,827
0,210	-36,041	-32,141	-28,953
0,195	-44,187	-41,154	-38,658



$tg\ \phi = \frac{\pi D}{t}$

$tg\ \phi = \frac{\pi d}{t}$

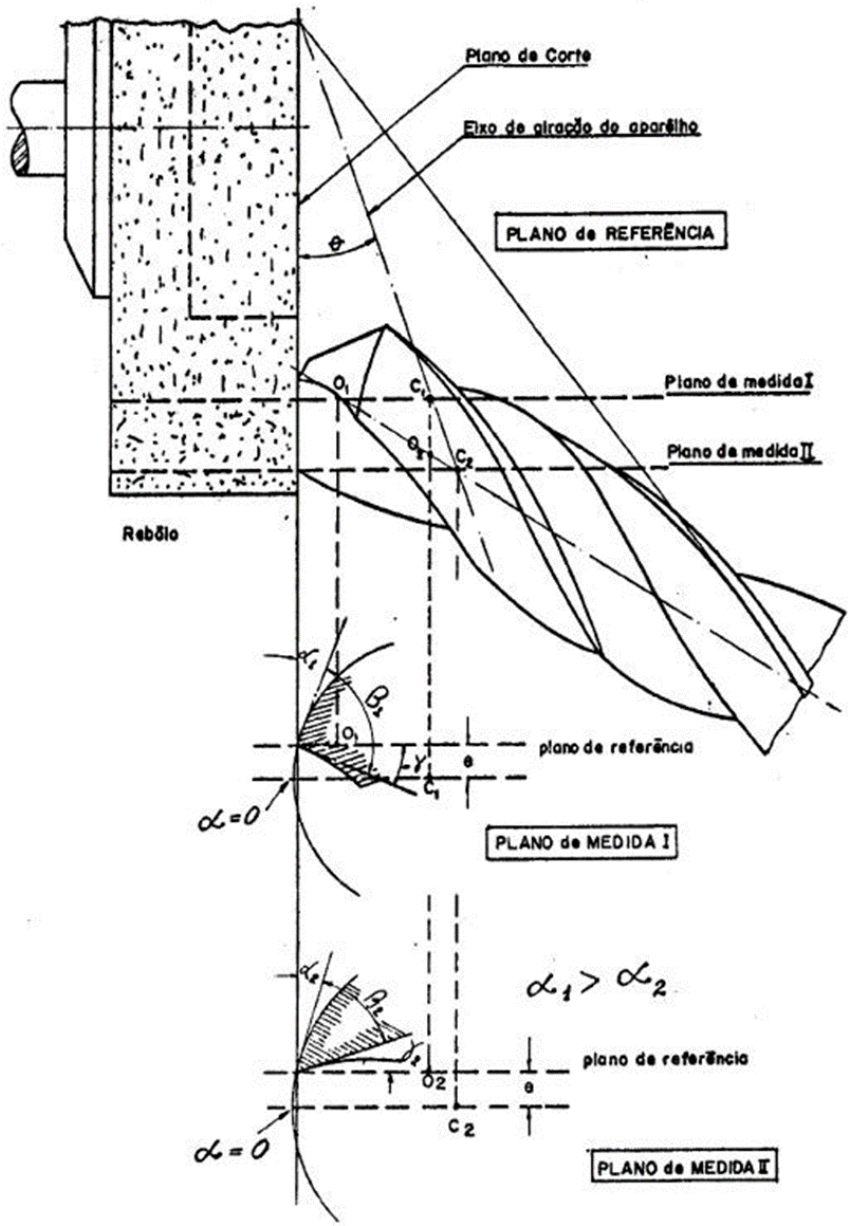
$tg\ \phi_d = tg\ \phi\ \frac{d}{D}$

para $d = d_0 = 0{,}16D$

$tg\ \phi_0 = tg\ \phi \cdot 0{,}16$; para $\phi = 30°$ $\phi_0 = 5{,}5°$

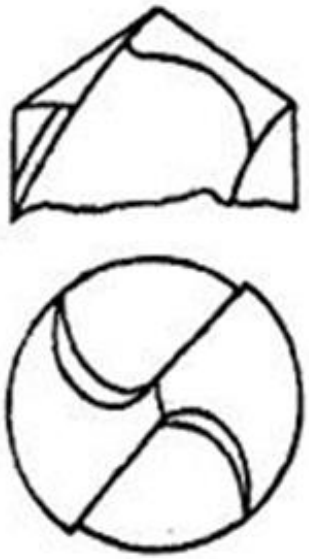
FURAÇÃO – Brocas

Afiação de brocas



FURAÇÃO – Afiação

Afiação de brocas



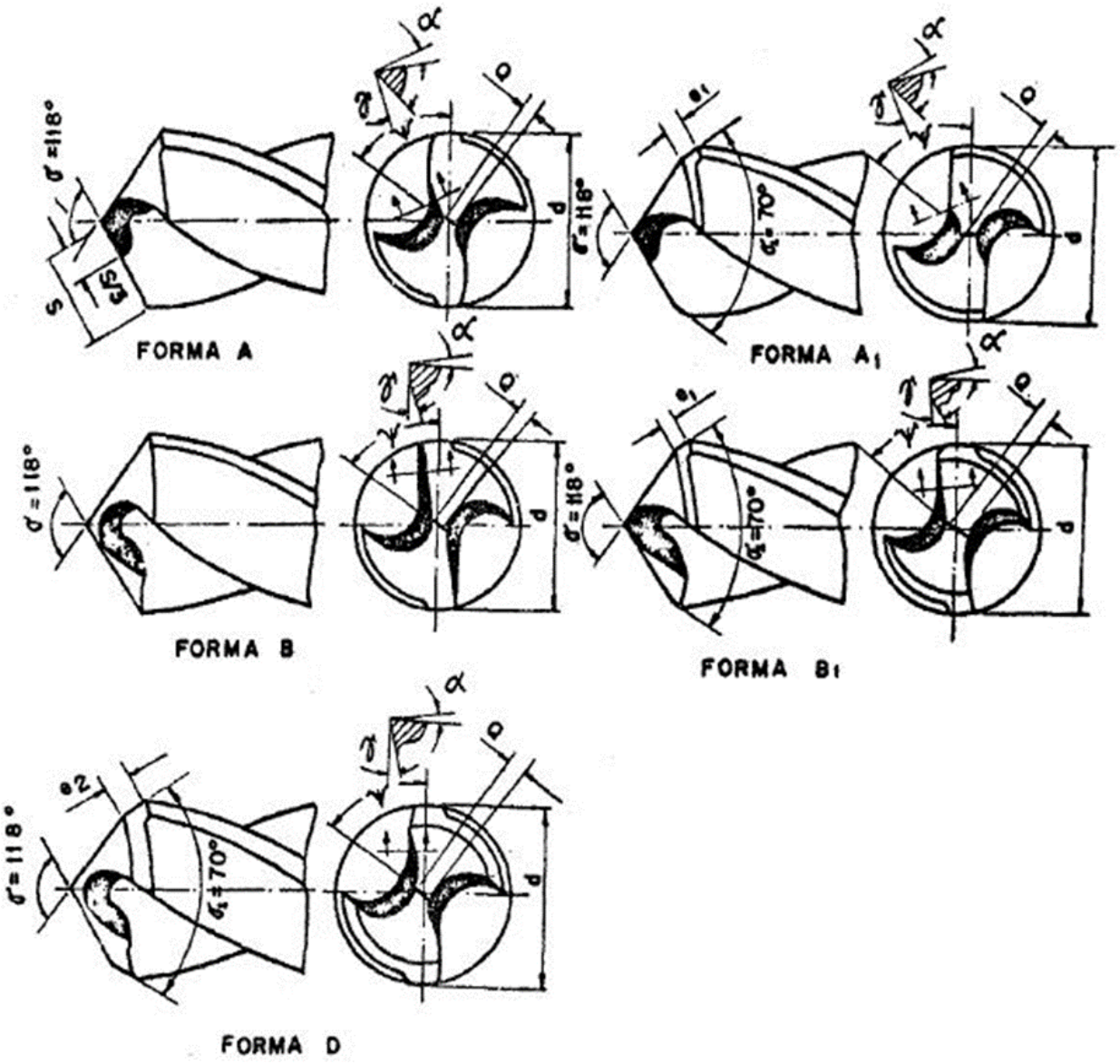
A aresta transversal de corte ficou reduzida e o ângulo de saída (na interseção das arestas transversal e principal de corte) tornou-se mais favorável para a formação do cavaco.

Quebra cavaco nas superfícies de folga

Quebra cavaco nas superfícies de saída

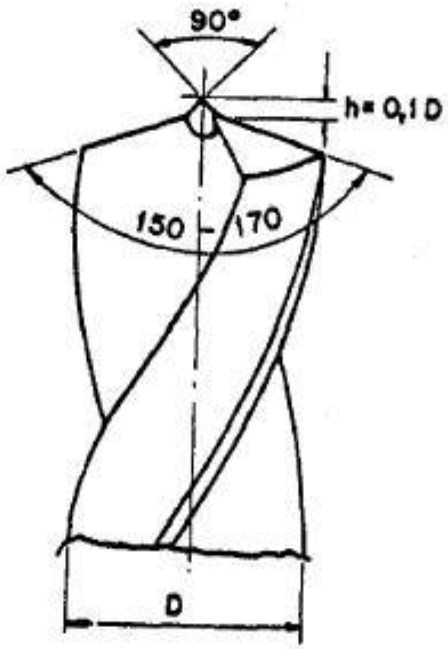
FURAÇÃO – Afiação

Pontas Normalizadas

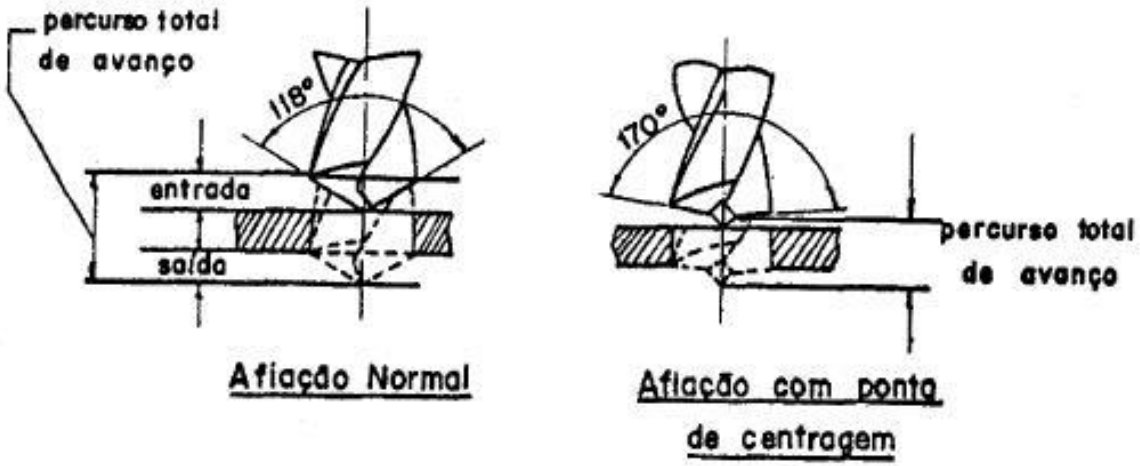


FURAÇÃO – Afiação

Afiação de brocas

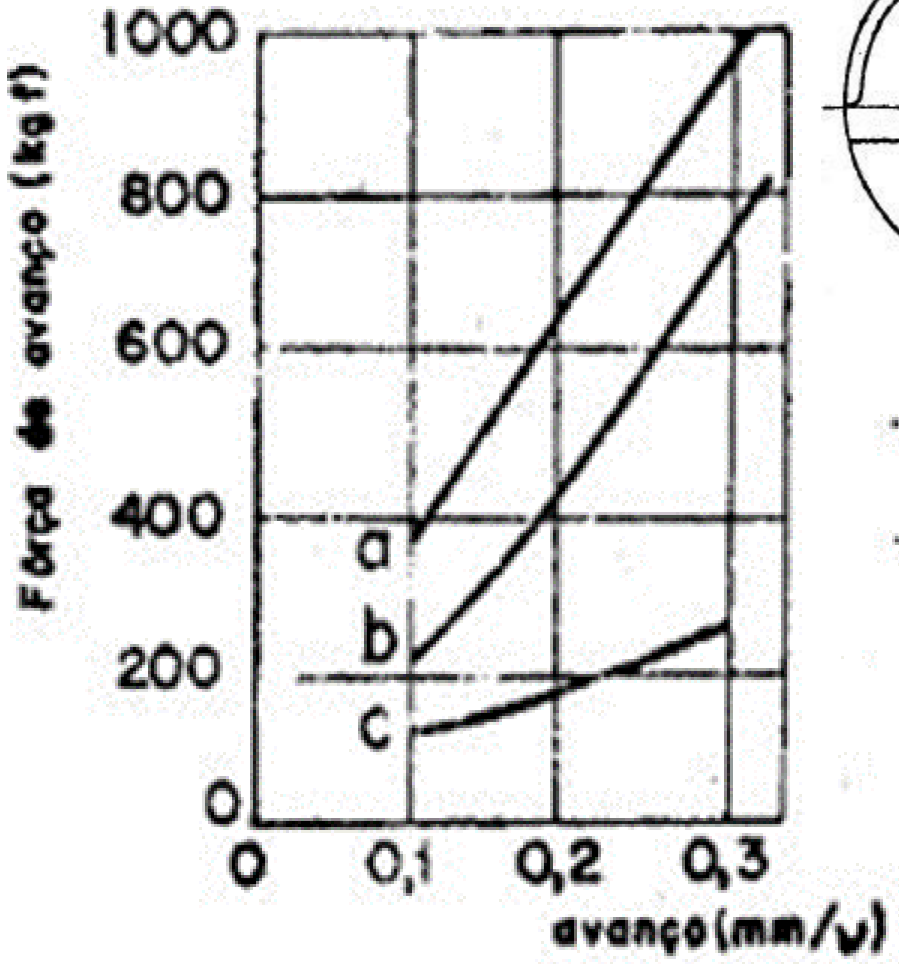


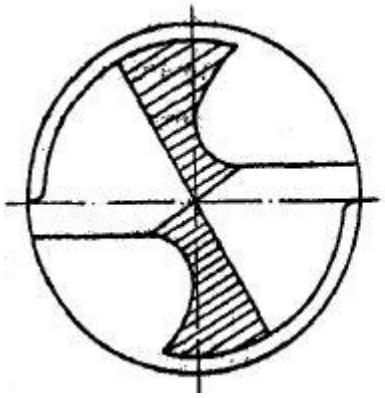
Furação de chapas finas e compósitos

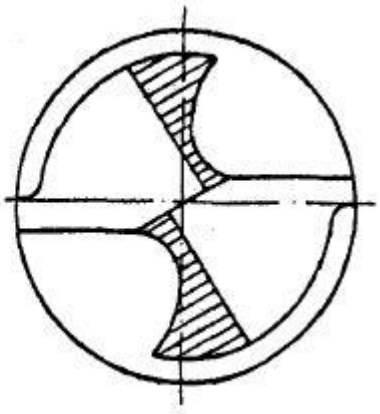


FURAÇÃO – Afiação

Afiação cruzada



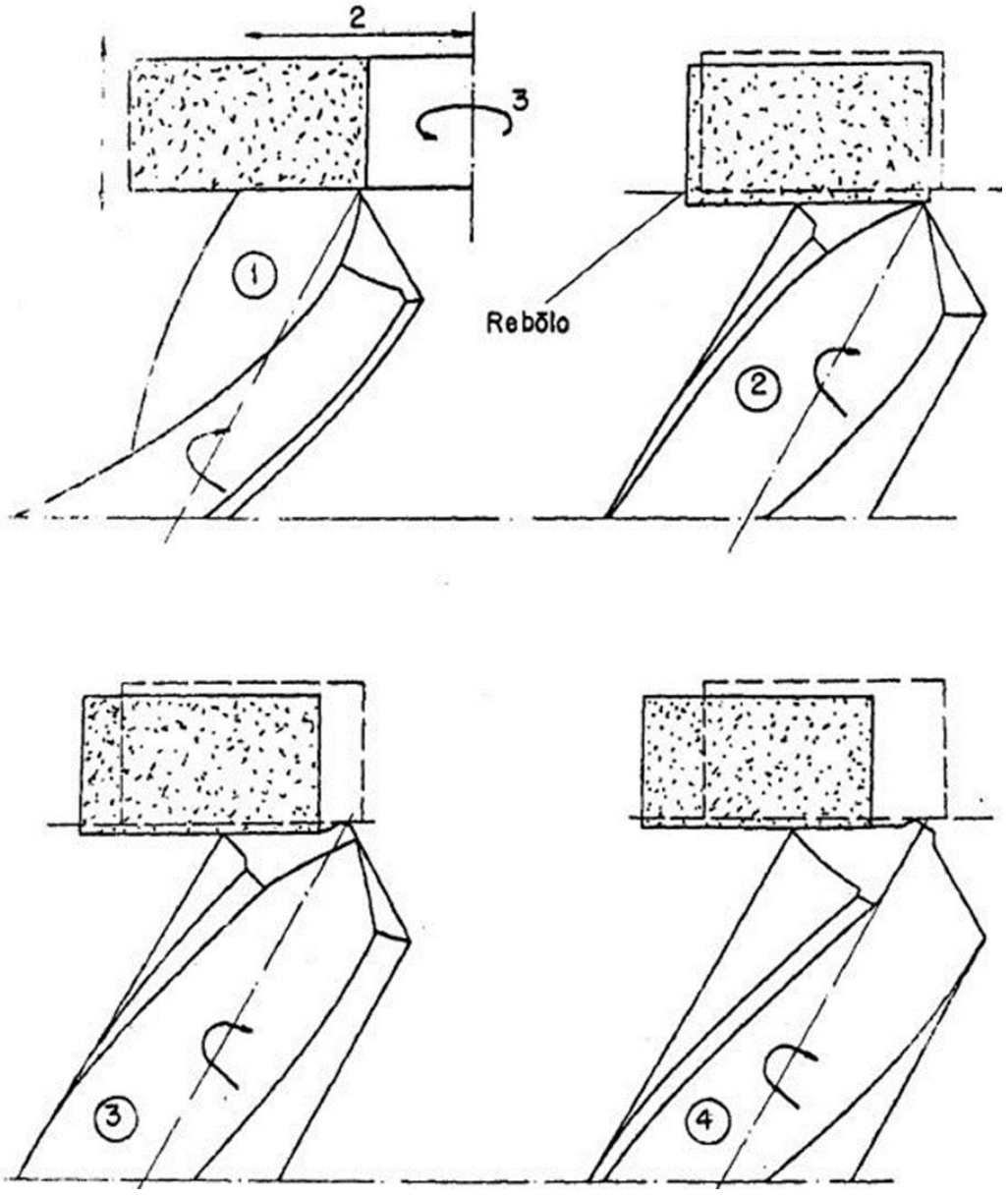




(a) afiação normal,
(b) afiação cônica com chanfro de aresta transversal de corte e
(c) afiação cruzada

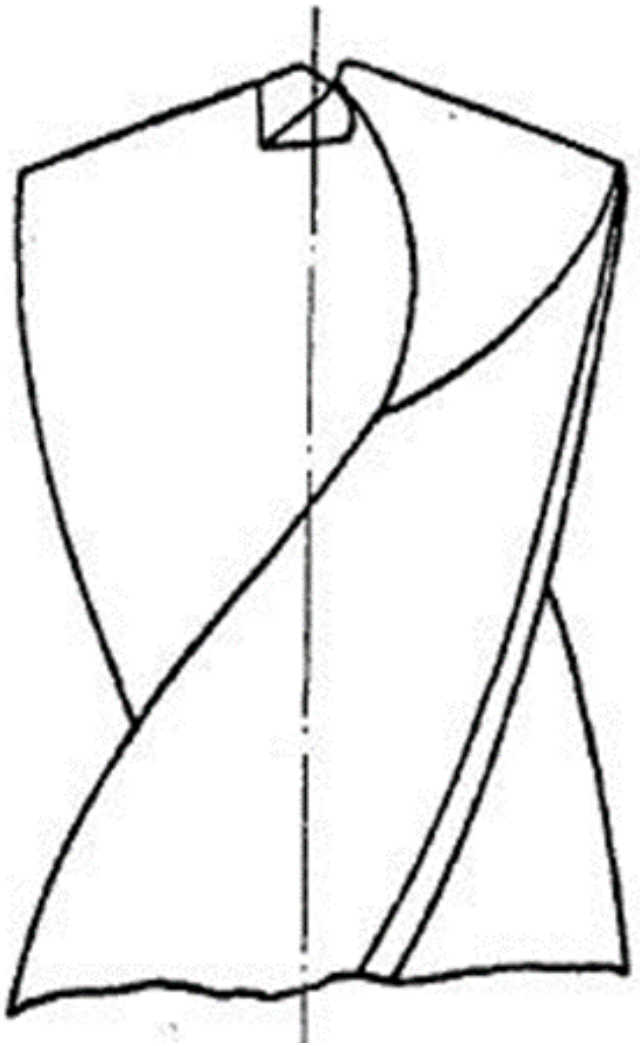
FURAÇÃO – Afiação

Esquema de
“afiação Oliver”



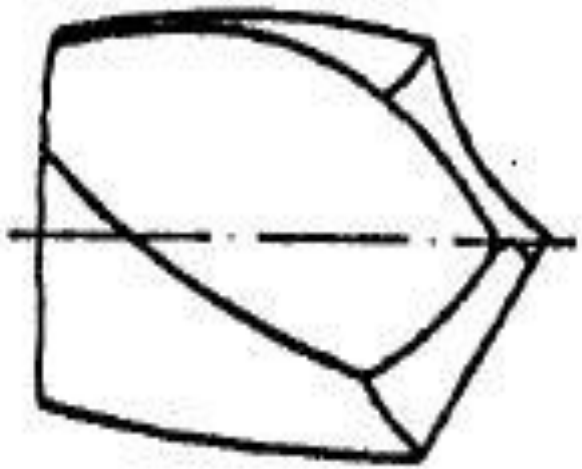
FURAÇÃO – Afiação

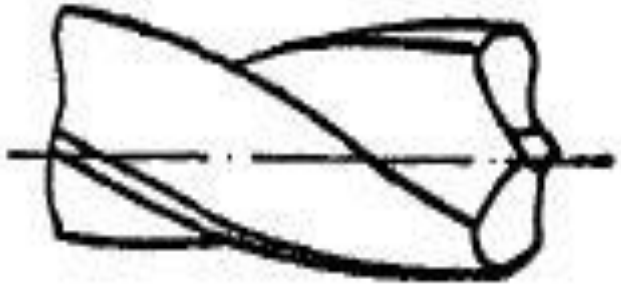
“afiação Sirhov”.

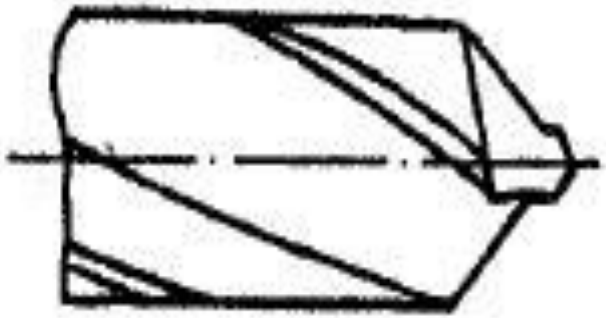


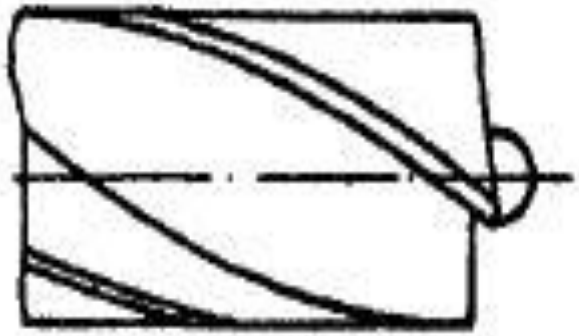
FURAÇÃO – Afiação

Afiação espiral



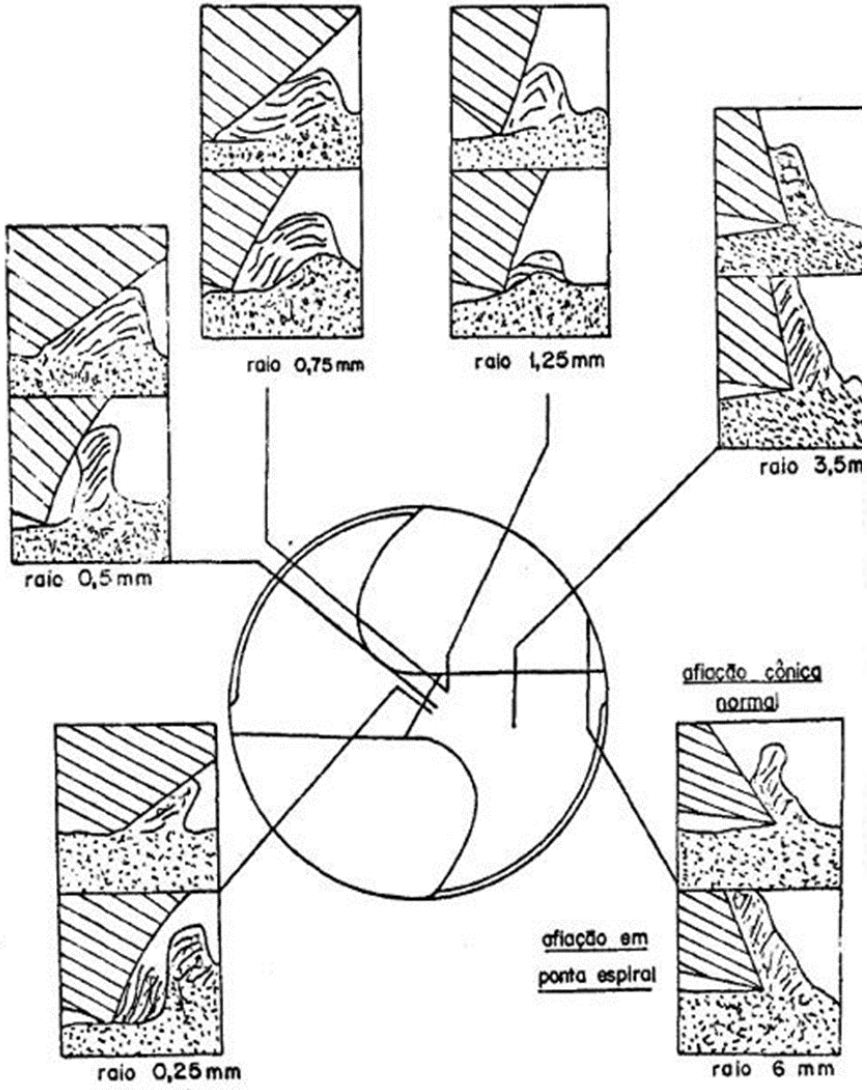


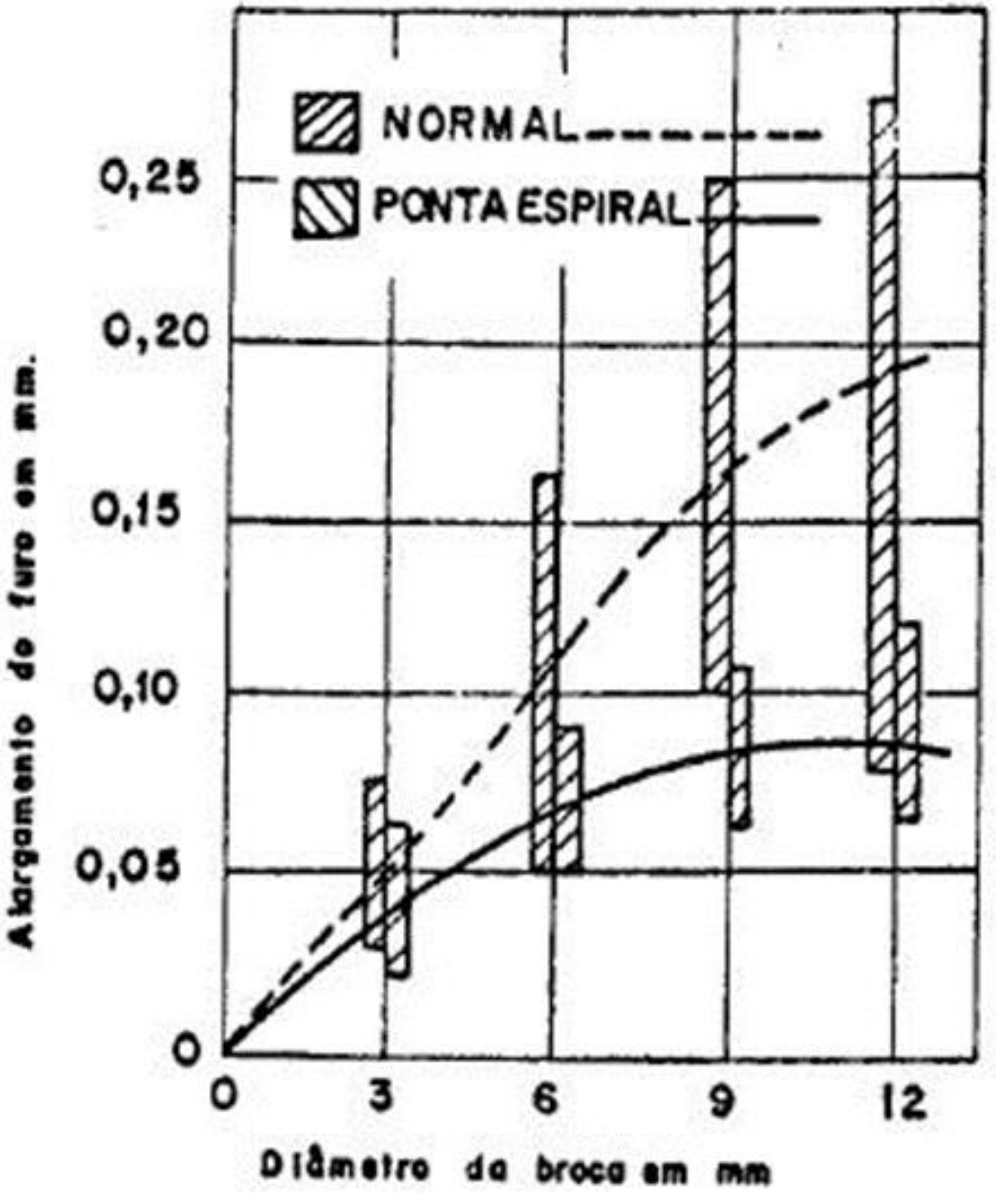




FURAÇÃO – Afiação

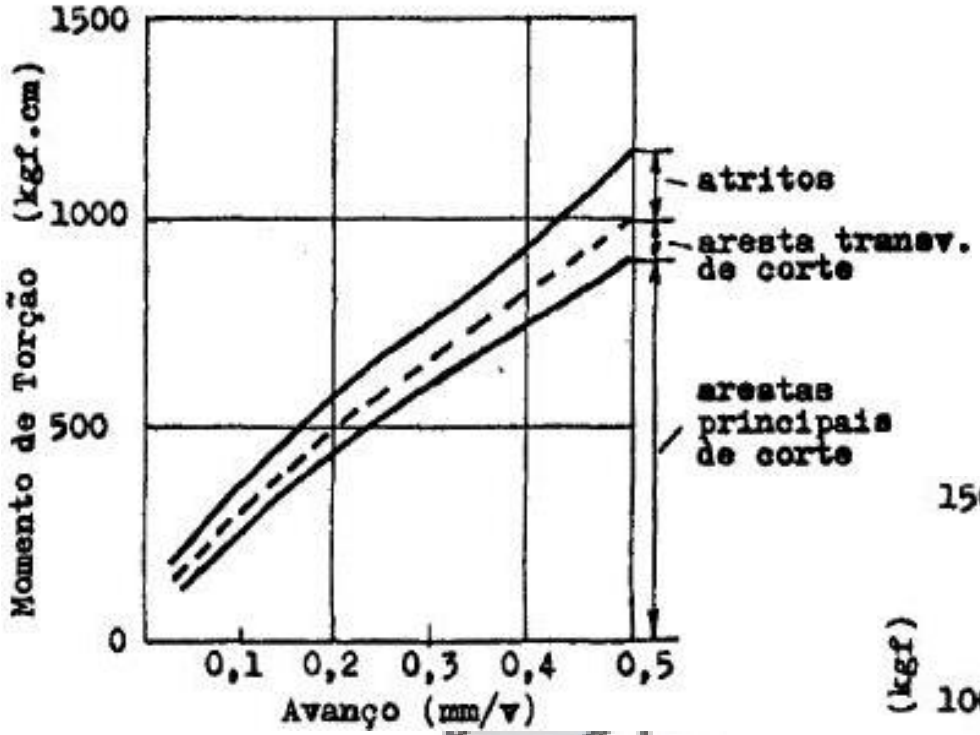
Afiação Espiral

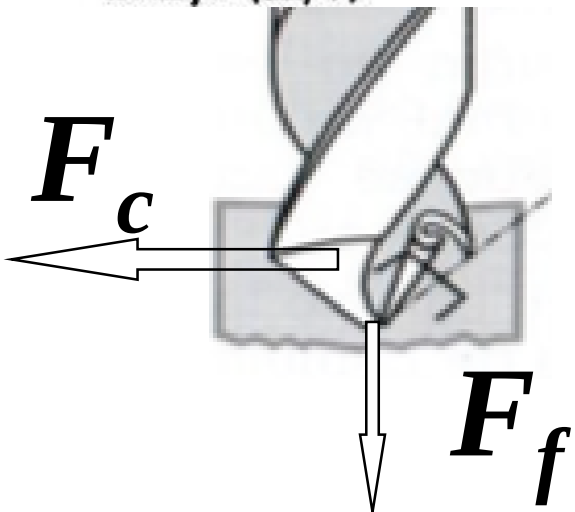


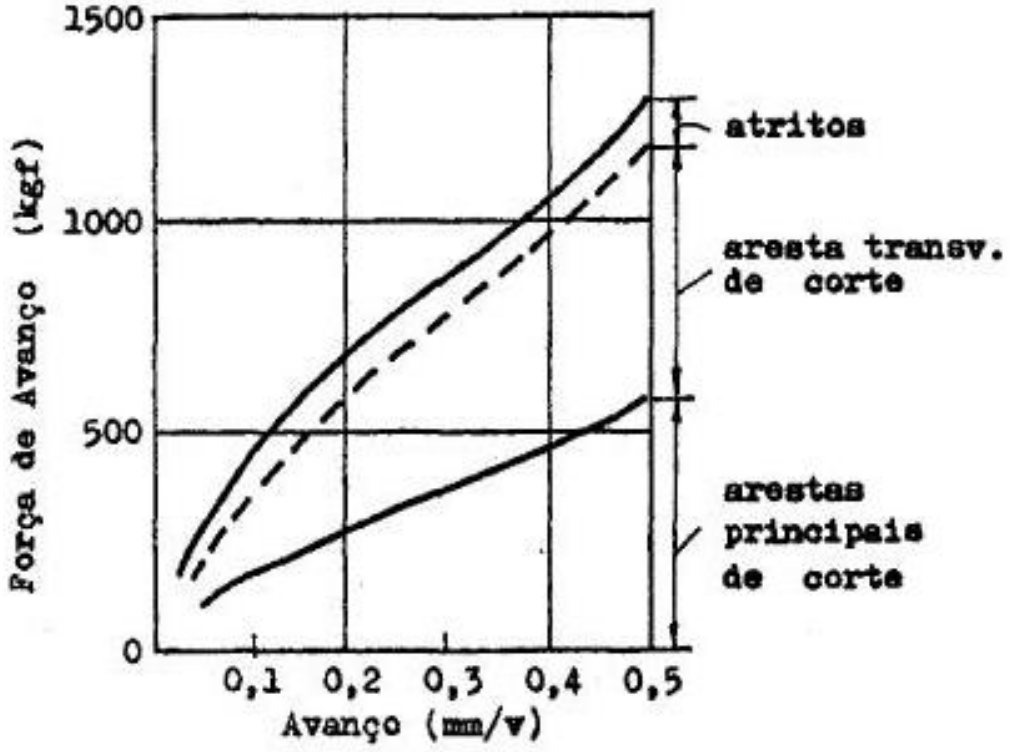


FURAÇÃO – Forças

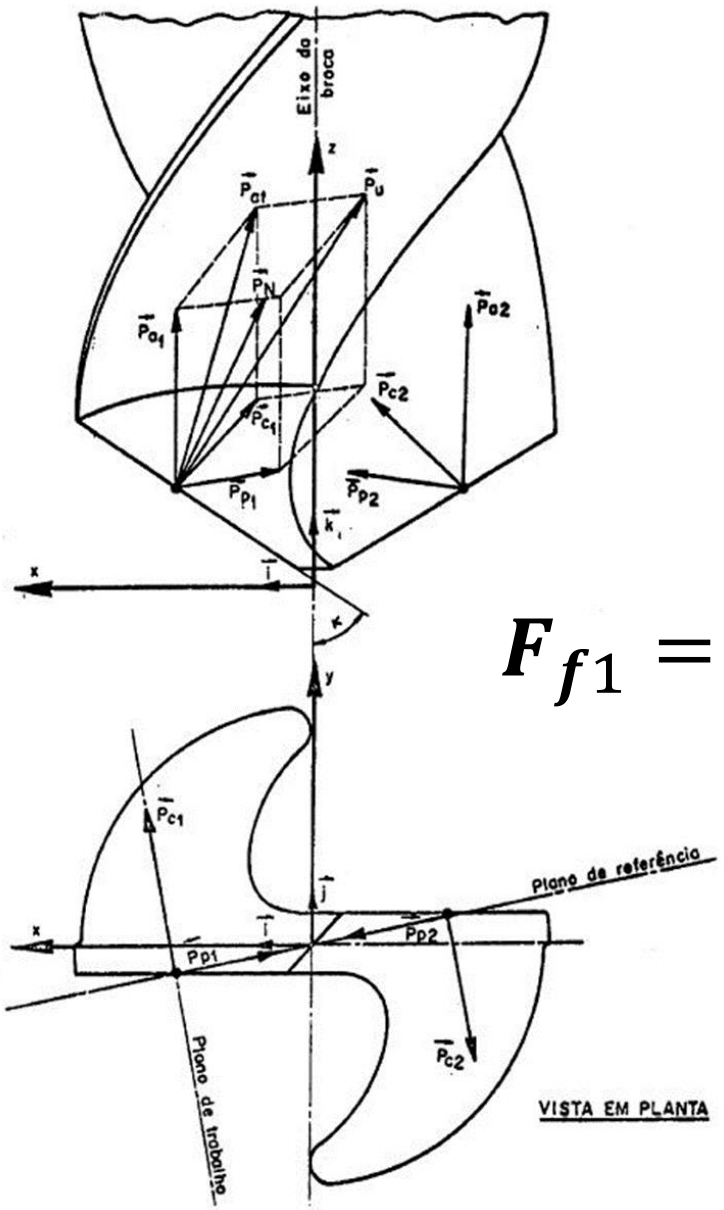
Forças na furação







FURAÇÃO – Cálculo Forças



Forças na furação

$$\boldsymbol{F_{c1} = F_{c2}}$$

$$\boldsymbol{F_f = F_{f1} + F_{f2}}$$

$$\boldsymbol{F_{f1} = F_{f2}} \qquad \text{assim} \qquad \boldsymbol{F_f = 2F_{f1}}$$

$$\boldsymbol{F_{p1} = F_{p2}}$$

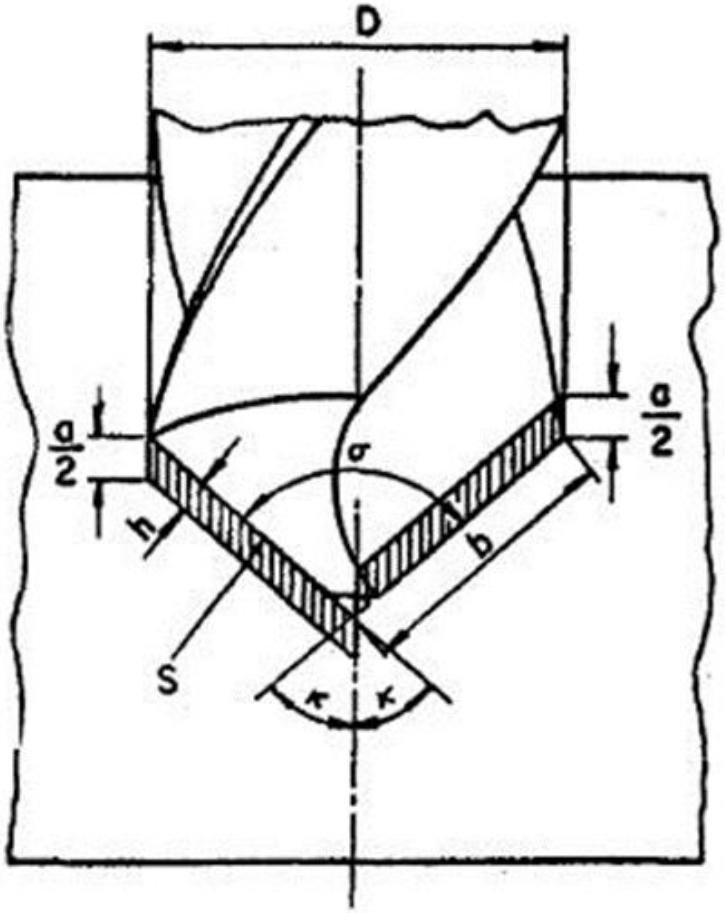
FURAÇÃO – Cálculo de forças

Forças na furação

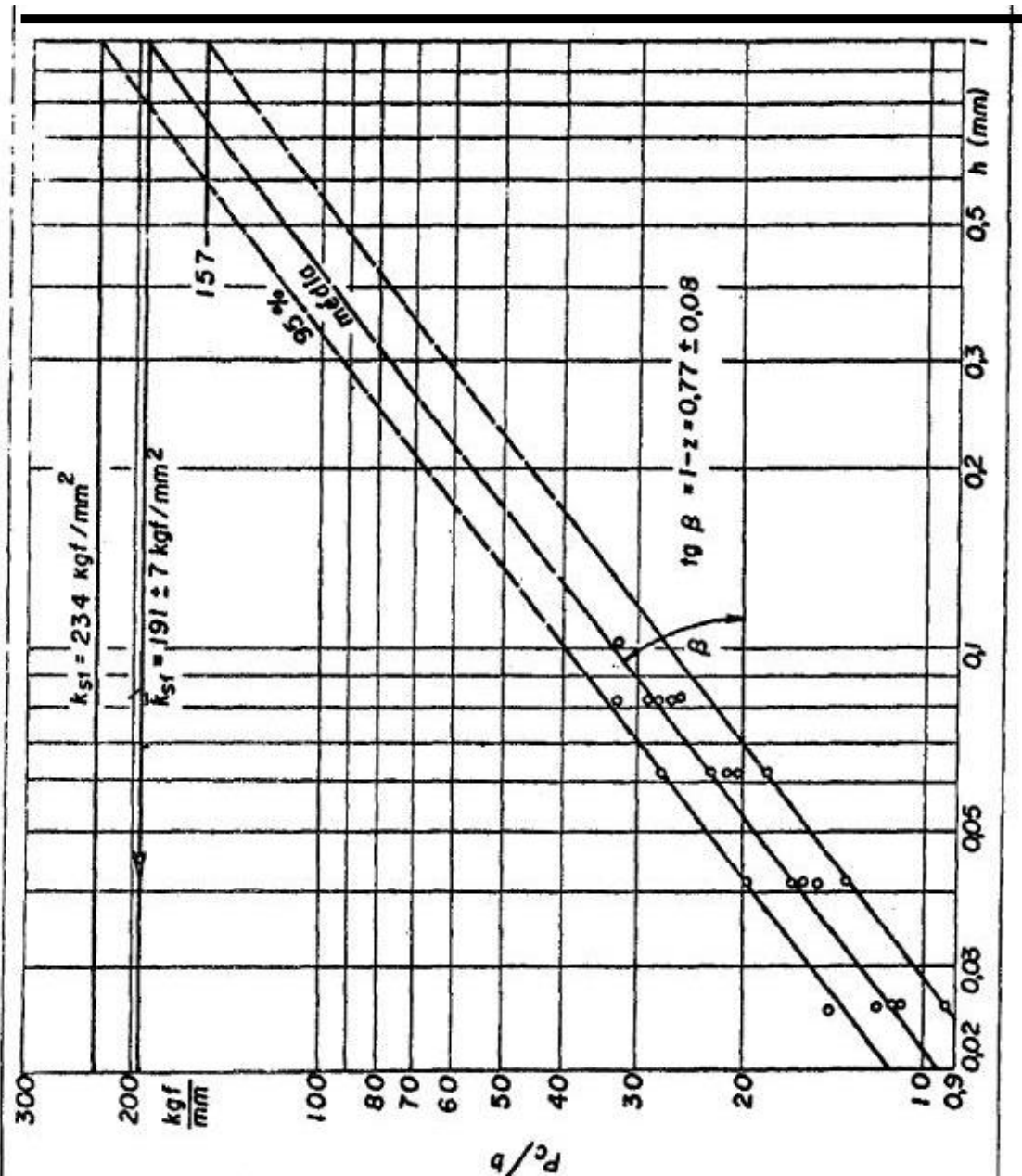
Furação em cheio

$$Fc = k_{s1} \bullet b \bullet h^{1-z}$$

$$b = \frac{D}{2.sen\chi} \; ; \qquad h = \frac{f}{2}.sen\chi$$



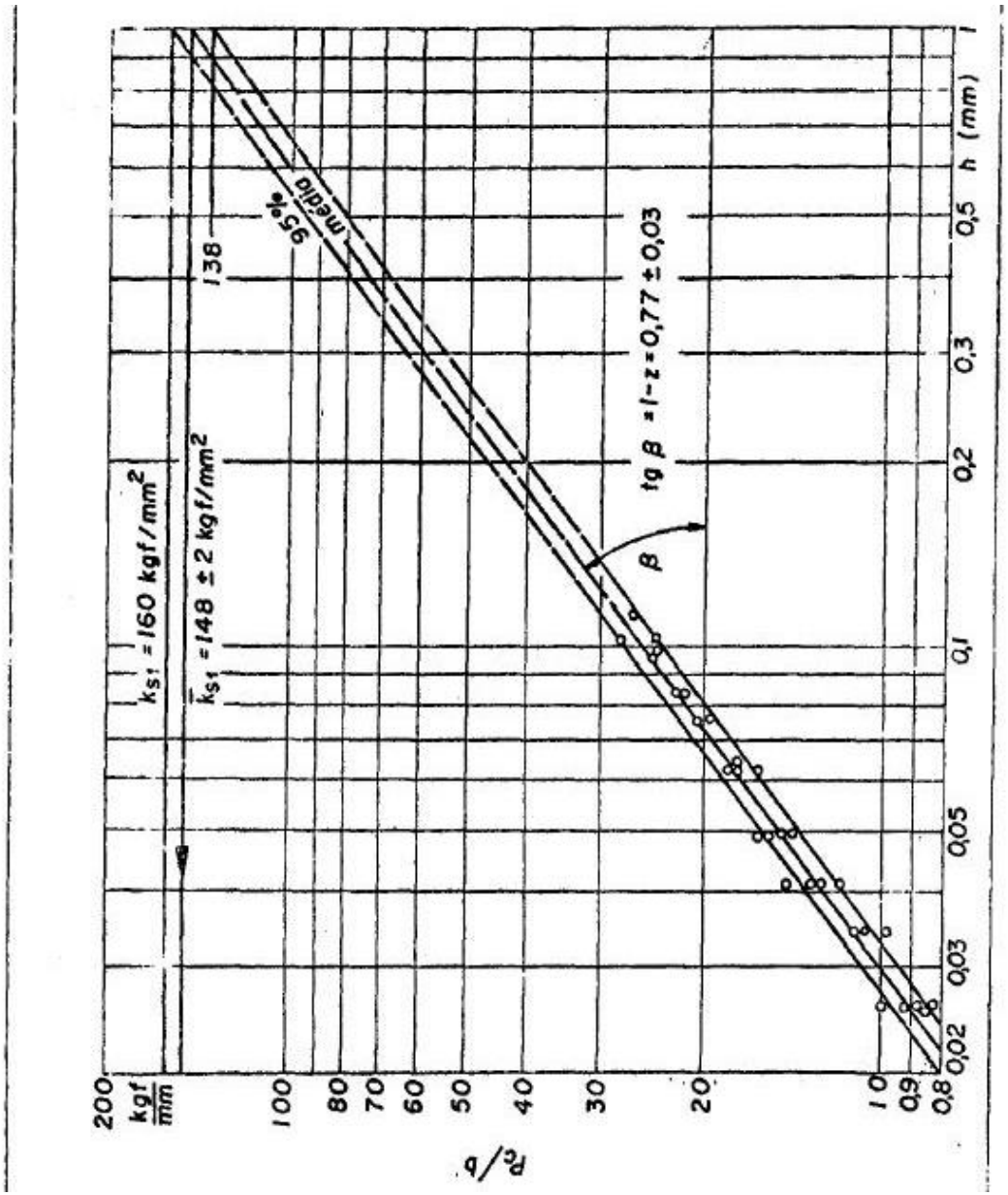
FURAÇÃO – Cálculo de forças



Forças na furação

Furação em cheio

FURAÇÃO – Cálculo de forças



Forças na furação

Furação em cheio

FURAÇÃO – Cálculo de forças

$$M_t = k_{s1} \cdot \frac{D^2}{4 . sen\chi} \cdot \left(\frac{f}{2} sen\chi\right)^{1-z}$$

sendo $\chi = \frac{\sigma}{2} = 59^o$

Forças na furação

Furação em cheio

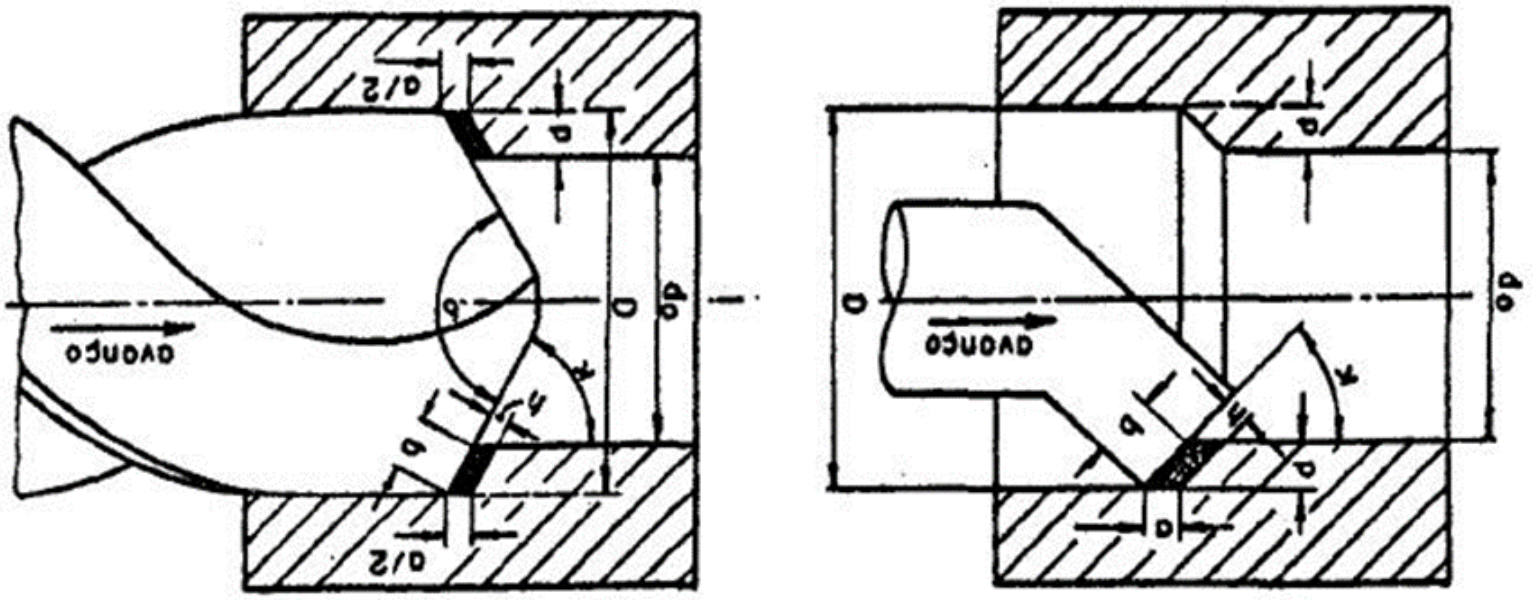
Barra nº	Aço ABNT/SAE ou Villares	σ_r kgf/mm²	Pressão unitária de corte kgf/mm² média $\bar{k}_{s1}$	Lim.sup.95% k_{s1}	(1-z)
10	1085	88,5	245 ± 5	270	0,86 ± 0,04
13	1020	38,5	191 ± 7	234	0,77 ± 0,08
31	1065	83,2	200 ± 7	243	0,84 ± 0,07
32	1055	78,3	148 ± 2	160	0,77 ± 0,03
37	1025	45,0	158 ± 3	177	0,75 ± 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

FURAÇÃO – Cálculo de forças

Forças na furação

Furação com pré-furação

$$M_t = k_{s1}.\frac{D^2 - {d_0}^2}{4.sen\chi}.\left(\frac{f}{2}.sen\chi\right)^{1-z}$$



FURAÇÃO – Cálculo de forças

Forças na furação

Furação com pré-furação

$$M_t = C_o . f^{1-z_0} . D^{2-x_0} . (D^{x_0} - {d_0}^{x_0})$$

Barra nº	aço ABNT/SAE ou Villares	σ_r kgf/mm²	$\bar{C}_o$ (médio)	Co Lim. 95%	$1-z_o$	x_o
10	1085	88,5	27,6	34,2	0,71	1,9
13	1020	38,5	24,1	27,2	0,77	1,6
31	1065	83,2.	18,9	20,1	0,70	2,1
32	1055	78,3	20,2	25,1	0,66	1,7
37	1025	45,0	22,0	24,8	0,74	1,9
8	52100	64,0	34,8	41,6	0,70	2,5
46	VM 20	64,9	21,7	24,6	0,70	1,9
47	VND	74,4	37,6	41,2	0,78	1,9
48	VS 60	96,0	47,5	84,5	0,69	0,5
49	VW 3	71,7	26,6	32,0	0,75	2,1
50	VMO	73,9	31,0	35,9	0,80	1,7
51	VCO	82,6	31,0	36,4	0,81	1,8

FURAÇÃO – Cálculo de forças

Seleção de velocidade de corte e avanço (HSS)

Para Brocas de	Velocidade de corte (m/min)	MATERIAL	Avanço / Rotação	Diâmetro da broca em mm								
				1	2	5	8	12	16	25	40	63
				Avanço e Rotação								
aço carbono	10...18	Aço carbono, até 50 kg*/mm²	mm/v	0,015	0,03	0,09	0,12	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25
			rpm	4000	2000	1000	630	400	315	160	100	63
	9 ...12	Aço carbono, acima de 50 kg*/mm²	mm/v	0,015	0,03	0,08	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
			rpm	3150	1600	800	500	315	250	125	80	50
	8...14	Ferro fundido ate 18 kg*/mm²	mm/v	0,025	0,06	0,12	0,18	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40
			rpm	3150	1600	800	500	315	250	125	80	50
	6... 9	Ferro fundido acima de 18 kg*/mm²	mm/v	0,012	0,03	0,06	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
			rpm	2000	1000	500	315	200	160	80	50	32
	Até 80	Latão para parafuso (duro)	mm/v	0,03	0,07	0,14	0,20	0,25	0,30	0,38	0,45	0,50
			rpm	10000	8000	4000	3150	2000	1600	800	500	315
	18...30	Latão dutil	mm/v	0,015	0,03	0,08	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
			rpm	6300	3150	1250	1000	630	500	250	150	100
	15...25	Cobre e bronze vermelho	mm/v	0,015	0,03	0,09	0,12	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25
			rpm	5000	2500	1000	800	500	400	200	125	80
	Até 80	Metais leves	mm/v	0,02	0,04	0,10	0,14	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28
			rpm	0,03	0,07	0,14	0,20	0,28	0,30	0,36	0,40	0,45
			rpm	10000	8000	4000	3150	2000	1600	800	500	315
Aço rápido	25...40	Aço carbono até 50 kg*/mm²	mm/v	0,015	0,03	0,11	0,16	0,22	0,26	0,30	0,40	0,45
			rpm	8000	4000	2000	1600	1000	800	400	250	125
Aço rápido	25...32	Aço carbono 50 ... 70 kg*/mm²	mm/v	0,015	0,03	0,10	0,14	0,18	0,22	0,30	0,40	0,45
			rpm	8000	4000	2000	1250	800	630	315	200	125

FURAÇÃO – Cálculo de forças

Seleção de velocidade de corte e avanço HSS

92a

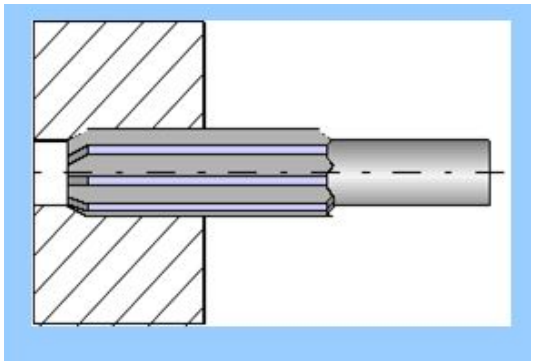
Para Brocas de	Velocidade de corte (m/min)	Material	Avanço / Rotação	Diâmetro da broca em mm								
				1	2	5	8	12	16	25	40	63
				Avanço e Rotação								
Aço rápido	20 28	Aço carbono, acima de 70 kg/mm²	mm/giro	0,01	0,025	0,07	0,12	0,16	0,20	0,25	0,32	0,35
			giro/min	6300	3150	1600	1000	630	500	250	160	100
	12 20	Aço liga, 70 ... 90 kg/cm²	mm/giro	0,008	0,02	0,06	0,10	0,14	0,18	0,22	0,28	0,30
			giro/min	4000	2000	1000	800	500	315	200	100	63
	8 14	Aço liga, 90 ... 110 kg/cm²	mm/giro	0,007	0,01	0,04	0,08	0,12	0,14	0,18	0,23	0,27
			giro/min	2500	1250	630	500	315	200	125	63	40
	20 35	Ferro fundido até 18 kg/mm²	mm/giro	0,025	0,06	0,16	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50	0,56
			giro/min	6300	4000	2000	1250	800	630	315	160	100
	15 25	Ferro fundido acima de 18 kg/mm²	mm/giro	0,012	0,04	0,09	0,14	0,20	0,25	0,30	0,36	0,40
			giro/min	5000	3200	1600	1000	630	500	250	125	80
	7 12	Aço inoxidável V 2 A (AISI 304	mm/giro	0,006	0,02	0,06	0,10	0,14	0,18	0,22	0,28	0,30
			giro/min	2500	1600	800	500	315	250	125	63	40
	Até 120	Latão para parafusos (duro)	mm/giro	0,03	0,07	0,16	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,71
			giro/min	12500	10000	6300	5000	3150	2500	1250	630	400
	Até 60	Latão dutil	mm/giro	0,02	0,04	0,10	0,14	0,18	0,22	0,30	0,40	0,45
			giro/min	8000	6300	2500	2000	1250	1000	500	315	200
	Até 70	Cobre e Bronze vermelho	mm/giro	0,02	0,04	0,12	0,16	0,22	0,25	0,30	0,40	0,45
			giro/min	8000	6300	2500	2000	1250	1000	500	315	200
	Até 120	Metais leves, dúteis	mm/giro	0,02	0,05	0,14	0,20	0,25	0,32	0,40	0,45	0,50
			giro/min	10000	8000	6300	5000	3150	2500	1250	630	400
	Até 160	Metais leves endurecidos	mm/giro	0,02	0,06	0,16	0,25	0,32	0,40	0,50	0,63	0,71
			giro/min	12500	10000	8000	6300	4000	3150	1600	800	500
	Até 200	Ligas de magnésio	mm/giro	0,025	0,07	0,20	0,30	0,40	0,50	0,63	0,71	0,80
			giro/min	12500	10000	8000	6300	5000	4000	2000	1000	630

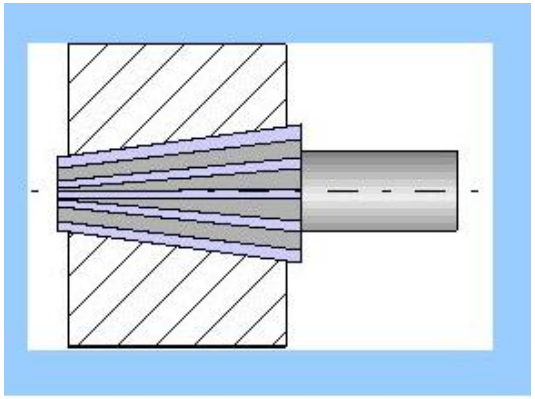
FURAÇÃO – Cálculo de forças

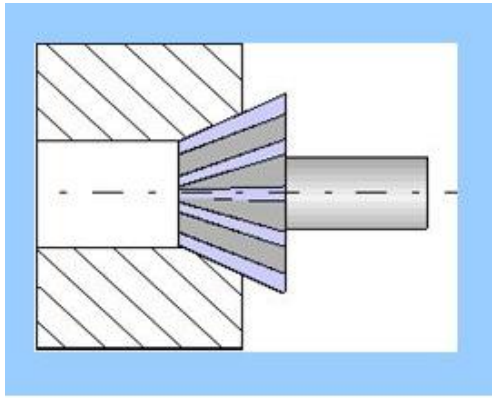
Seleção de velocidade de corte e avanço metal duro

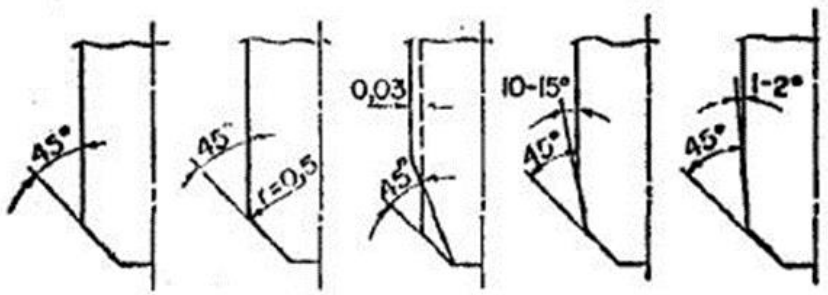
	Metal duro	Velocidade mínima de corte recomendada (m/min)	Velocidade econômica de corte (m/min)	Avanço (mm/v)		
				Diâmetro da broca (mm)		
				3-6	9-25	acima de 25
Aço até 75 kg*/mm^2 Aço fundido até 50 kg*/mm^2	K 10	25	40-60	0,02-0,08	0,08-0,15	0,1-0,2
Aço até 110 kg*/mm^2 Aço fundido acima de 70 kg*/mm^2	K 10- P 30	15	25-35	0,02-0,06	0,06-0,1	0,1-0,15
Aço acima de 110 kg*/mm^2 Aço até 140 kg*/mm^2	K 10	12	15-25	0,02-0,04	0,04-0,08	0,05-0,1
f°f° até HB 200	K 10	12	60-75	0,04-0,1	0,1 -0,2	0,15-0,35
f°f° com HB acima de 200	K 10	15	30-40	0,02-0,06	0,06-0,15	0,1 -0,2
Latão, bronze	K 10	-	80-100	0,04-0,08	0,08-0,15	0,1 -0,2
Ligas de zinco	K 10	-	80-120	0,04-0,1	0,08-0,15	0,1 -0,25
Metais leves	K 10	-	100-200	0,04-0,1	0,08-0,15	0,1 -0,25
Ligas de alumínio para pistões	K 10	-	60-80	0,04-0,08	0,08-0,1	0,1 -0,15
Materiais plásticos	K 10	-	80-100	0,04-0,08	0,08-0,15	0,08-0,2
Mármore	K 10	-	25-30			

ALARGAMENTO – Parâmetros

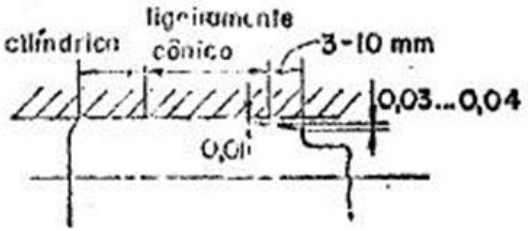




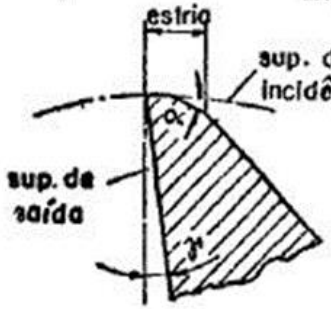




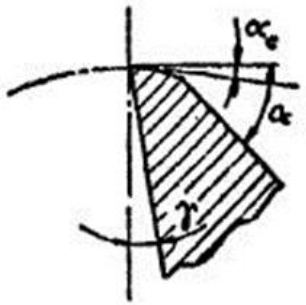
Diferentes ângulos de entrada.



Perfil longitudinal do dente de um alargador para máquina.



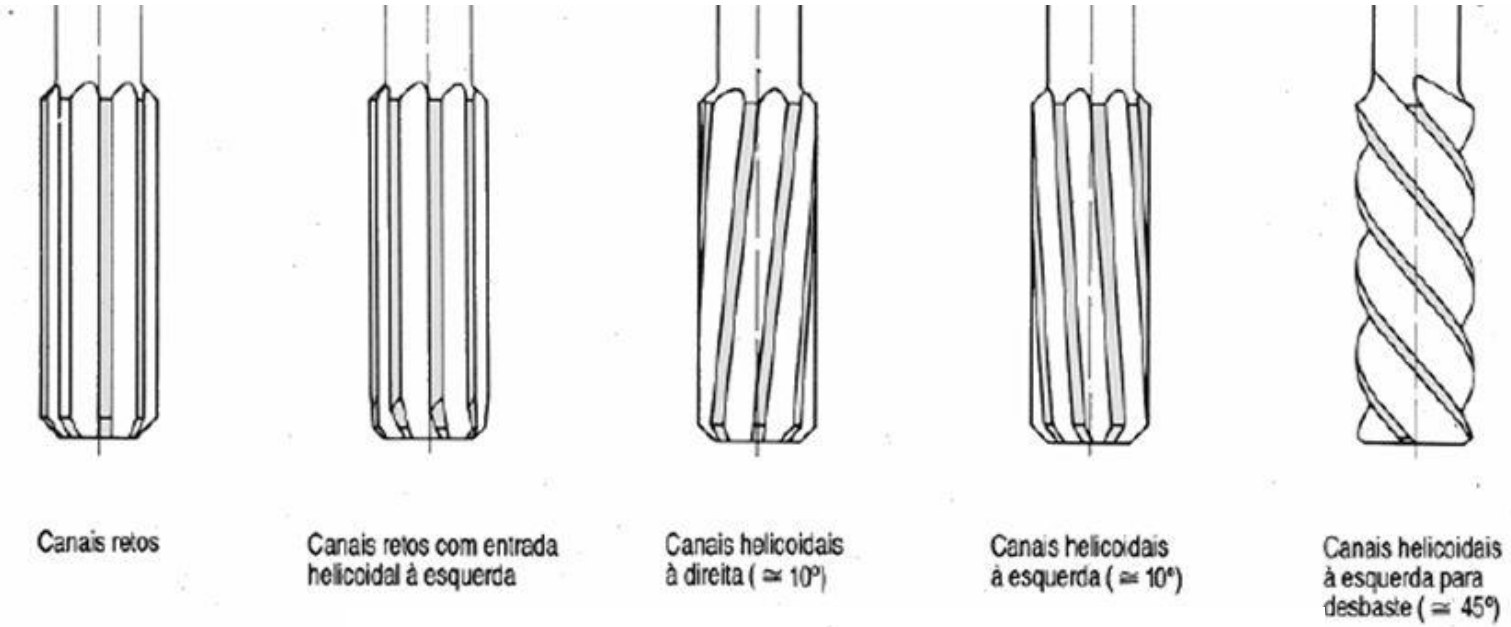
afiação circular

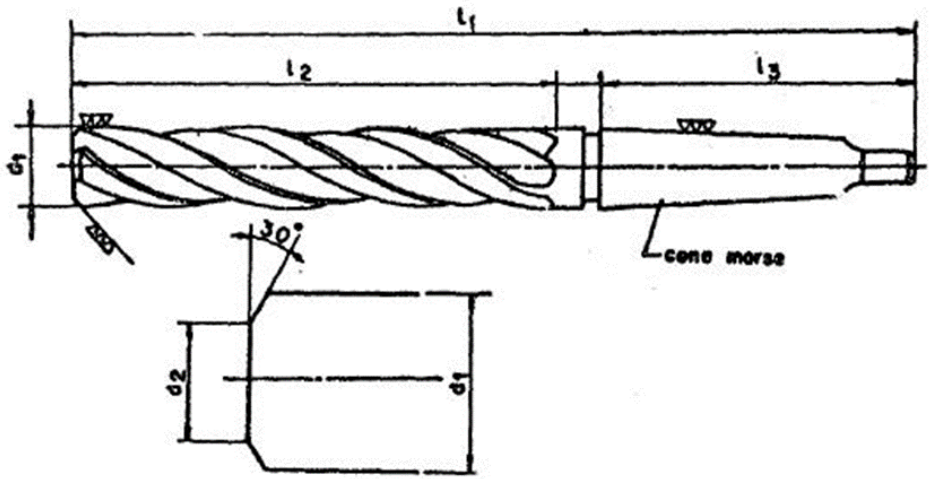


afiação cilíndrica

ALARGAMENTO – Parâmetros

Formas construtivas – inteiriço (Integral)





ALARGAMENTO – tipos

Manual expansivo

Máquina - Mapal

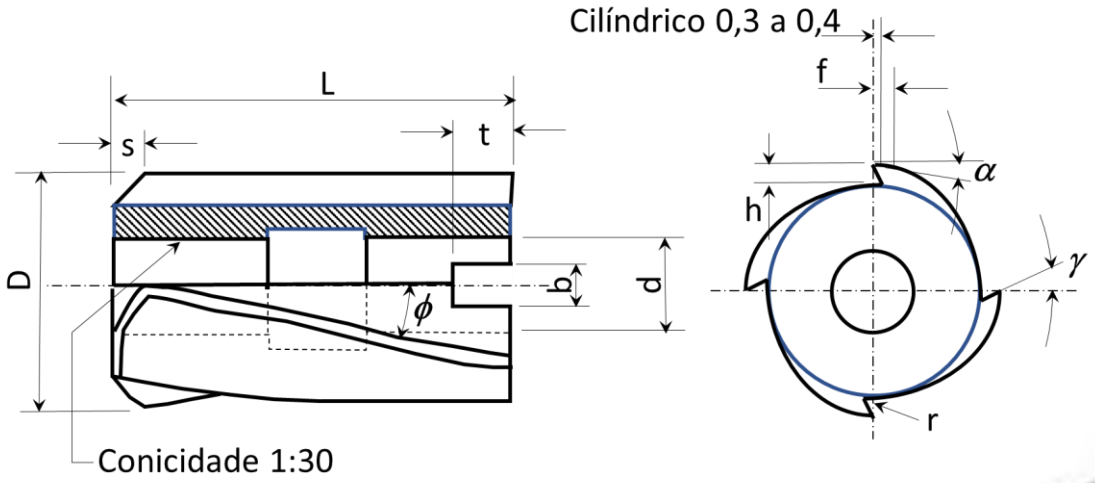
Manual furos cônicos

ALARGAMENTO – tipos

Escareadores

ALARGAMENTO – tipos

ALARGAMENTO – Parâmetros



Alargamento de desbaste

α = 5°

$\phi = \gamma$ = 6° para ferro fundido e bronze

$\phi = \gamma$ = 8° para aços com mais de 0,45%C

$\phi = \gamma$ = 12° a 15° para aços com menos de 0,45%C

$\phi = \gamma$ = 25° para ligas de Al

h = 0,12 a 0,13***D***

f = 1 a 3 mm

r = 1/3***h***

L = 1 a 1,5***D***

s = 0,1***D***

d, b e ***t*** = vide Tabela 2.1.

Figura 2.1 – Modelo e dimensões típicas de Alargadores de desbaste com fixação por furo cônico.

ALARGAMENTO – Parâmetros

Sobremetal para alargamento

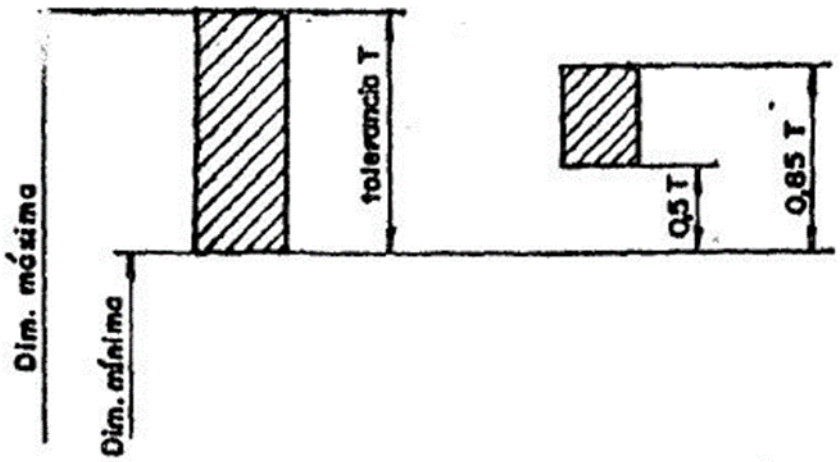
Diâmetro nominal do alargador (mm)	Diferença de diâmetros "x" (mm)
até 18	0,2
18 a 30	0,25 a 0,3
acima de 30	0,4

Desbaste

$\Delta D = 0,1 + 0,005D$ => Aço rápido

$\Delta D = 0,03$ a $0,005D$ => Metal duro

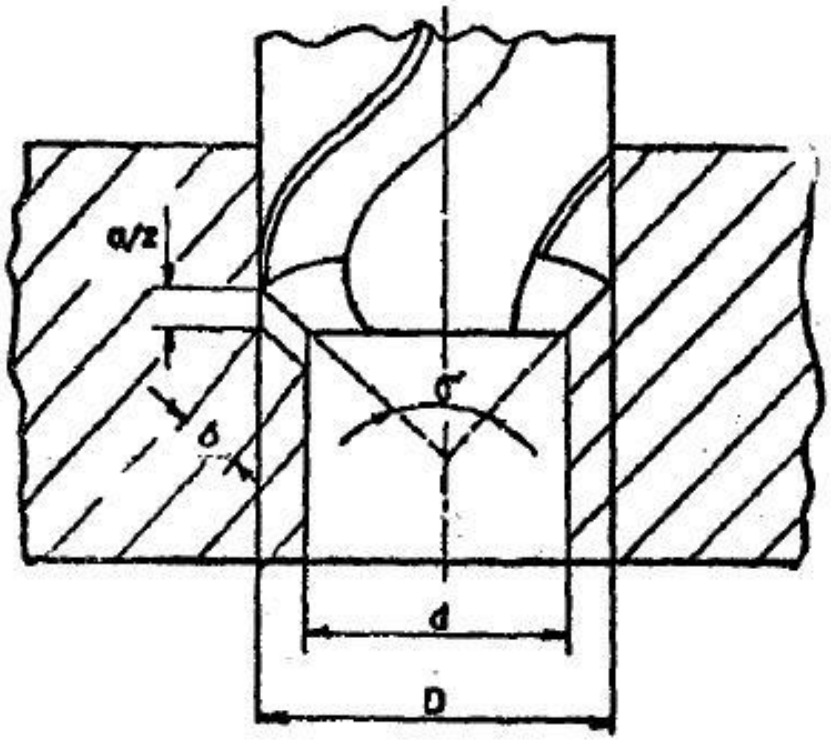
Acabamento



Tolerância de fabricação

ALARGAMENTO – Parâmetros

Força de corte



Espessura de corte:

$$h = \frac{a}{2} \cdot \operatorname{sen} \frac{\sigma}{2}$$

largura de corte:

$$b = \frac{D - d}{2 \operatorname{sen} \frac{\sigma}{2}}$$

Secção do cavaco:

$$S = b.h = \frac{D - d}{2} \cdot \frac{a}{2}$$

$$F_c = k_{s1}.b.h^{1-z}$$

$$M_t = F_c.\frac{(D-d)}{2.Z}$$

ALARGAMENTO – Parâmetros

Velocidade de corte

MATERIAL	Resistência σ_t ou dureza HB (kg/mm^2)	Velocidade de corte (m/min)			
		Alargador de desbaste		Alargador de acabamento	
		Aço rápido	Metal duro	Aço ráp.	Metal duro
Aço carbono.....	até 50	15.....20	20.....30	8....10	12...16
	50-70	14.....18	20.....30	6....8	10...14
	70-90	10.....15	20.....30	4....7	9 . 13
	90-120	10.....15	20.....30	5	8...12
Aço liga.....	100-120	10.....15	20.....30	3	5 . 8
Aço inoxidável..		12.....16	20.....30	3....5	9 .16
Aço fundido.....		15.....20	15.....25	...5	9...16
fo.fo. cinzento.	até 200HB	15.....20	20.....30	7 . .9	12. .1
	200HB	12.....15	15.....25	4....6	8...11
fo.fo.nodular...		12.....15	15.....25	4....6	8...11
fo.fo.maleável..		10.....15	15.....30	3....4	6...9
Ligas de alumíni		50.....80	30.....80	14....17	15 ..20
Latão.....		30.....40	35.....45	11....14	12...1
Bronze.....		40.....50	35.....45	9....11	10...12
Plásticos.....			70.....80		10...16

ALARGAMENTO – Parâmetros

Avanço

Avanços em mm/ giro para alargador de desbaste

Material	Ferramenta		Diâmetro do furo em mm					
			10...15	16...25	26...40	41...60	61..10	101..200
Aço Aço fundido Fofo maleável Bronze duro	Alarg.em espiral	Aço ferramenta	0,1..0,15	0,15.0,25	0,25.0,35	0,35.0,45	0,45..0,55	-
		Aço rápido	0,15.0,25	0,25.0,35	0,35.0,45	0,45.0,55	0,55..0,65	-
Fofo fundido Bronze Latão Alumínio	Alarg.em espiral	Aço ferramenta	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	-
		Aço rápido	0,25	0,3	0,4	0,5	0,7	-

Avanços para alargadores de acabamento (mm/giro)

Material	Ferramenta	Diâmetro do furo em milímetros							
		1.5	6.....10	11....15	16....25	26....40	42....60	62...100	102.200
Aço Aço fundido Ferro fundido maleável Bronze duro	Aço ferramenta e aço rápido	0,3	0,3.0,4	0,3..0,4	0,4..0,5	0,5..0,6	0,5,,0,6	0,6.0,75	0,75..1
Ferro fundido Bronze Latão Alumínio	Aço ferramenta e aço rápido	0,5	0,5..1	1..1,5	1...1,5	1,5..2	1,5..2	2....3	3....4

ALARGAMENTO – Parâmetros

Recomendações construtivas

MATERIAIS	Ângulo saída " γ "	Ângulo folga " α "	Ângulo da hélice " ϕ "	Sentido da hélice	Sentido de rotação
Metais leves	20°	5°	20°	esquerda	direita
Aço com $\sigma_r < 40 kg/mm^2$	10°	5°	8°	esquerda	direita
Aço com $\sigma_r = 50 \div 90 kg/mm^2$	8°	5°	6°	direita	direita
Aço com $\sigma_r > 90 kg/mm^2$	7°	5°	9°	direita	direita
fofo e bronze	5°	5°	0°	reta	direita

Diâmetro D	Número de dentes para usinar aço, fofo e bronze	Número de dentes para usinar o alumínio
até 12	4 ÷ 6	4
de 12 ÷ 20	6 ÷ 8	4 ÷ 6
de 20 ÷ 30	8 ÷ 10	6 ÷ 8
de 30 ÷ 40	10 ÷ 12	6 ÷ 8
de 40 ÷ 50	12 ÷ 14	8 ÷ 10
de 50 ÷ 60	14 ÷ 16	8 ÷ 10
de 60 ÷ 100	16 ÷ 20	10 ÷ 12