

2299410

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica
Trabalho de Formatura

Grav 80
Zell

Adequação de Brochas para o Setor Produtivo

Autores

Jorge Shigeru Higashinaka - nº USP 6156967

Mitsuharu Arimizu - nº USP 7152859

Orientador

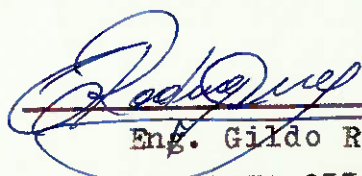
Eng. Gildo Rodrigues

da Ferramentas Belzer do Brasil Ltda

São Paulo, 10 de dezembro de 1981

Prezado Prof. Júlio Militzer

Acompanhando o trabalho de formatura dos senhores Jorge Shigeru Higashinaka e Mitsuharu Arimizu, e, em / vista dos resultados obtidos, classifico o trabalho como sa tisfatório.


Eng. Gildo Rodrigues
CREA 35589

S U M Á R I O

Este trabalho foi desenvolvido baseado em dados fornecidos pela indústria Ferramentas Belzer do Brasil Ltda que utiliza grandes variedades de brochas no seu setor de usinagem. Embora, possa parecer que se trate de um assunto específico dentro desta indústria, acreditamos que a mesma sequência de raciocínio é aplicável na maioria dos processos de brochamento.

Trataremos de brochas para usinagem de chaves fixas e combinadas que são alguns dos produtos de linha da indústria. E, neste contexto, há dois segmentos distintos em nosso trabalho.

A primeira parte consiste na determinação de dimensões de brochas (últimos gumes calibradores) de tal forma que as peças brochadas se adapte às padronizações das normas, tendo em conta as alterações dimensionais provocadas pelo processo de tratamento térmico que é posterior ao brochamento. É um assunto relacionado com o setor produtivo, e cuja solução é totalmente baseado nos conceitos da estatística.

A segunda parte trata da análise geométrica da brocha, ou seja, de recomendações quanto ao passo dos gumes cortantes, seus ângulos, incremento dos dentes e comprimento. São dados retirados das várias bibliografias existentes e que possibilita uma análise da durabilidade e eficiência das brochas utilizadas pela indústria.

I N D I C E

PARTE I

Cálculo da dimensão dos gumes calibradores das brochas ..	1
1.1 Coleta de dados	2
1.2 Análise do problema	2
1.3 Método de cálculo das medidas das brochas em função da porcentagem de peças dentro e fora das especifica- ções da norma	7
1.4 Anexos: norma DIN 475, gráfico de coleta de dados, gráficos I, II e III	11
1.5 Estudo das chaves do grupo I	16
1.6 Estudo das chaves do grupo III	21
1.7 Estudo das chaves do grupo IV	28

PARTE II

Projeto de uma brocha - processo de cálculo	34
2.1 Considerações teóricas	
1. Terminologia dos elementos de uma brocha	34
2. Materiais empregados na construção de brochas	35
3. Projeto e cálculo das brochas: diâmetro, altura dos dentes, nº máximo de dentes em corte simul- tâneo, passo, perfil, ângulos	35
2.2 Sequência para o projeto de uma brocha	40
2.3 Exemplo de dimensionamento geométrico de uma brocha .	43

2.4 Anexos: desenho da peça e brocha de 22 mm, desenho da brocha projetada	50
COMENTÁRIOS	53
BIBLIOGRAFIA	54

P A R T E I

CÁLCULO DA DIMENSÃO DOS GUMES CALIBRADORES DAS BROCHAS

Como dissemos, a indústria fabrica grandes quantidades de chave fixa, chave estrela e chave combinada. Dentre estas há duas linhas distintas: a MAYLE cujo material de construção é de aço SAE 1045 e a ITMA de aço cromo-vanádio, SAE 6130. Todas são forjadas e brochadas, passando pelo tratamento térmico onde são temperadas e revenidas. Posteriormente, elas são selecionadas dimensionalmente através de calibradores convenientes, pois a norma ISO 691 ou / DIN 475 estabelece dimensões máximas e mínimas para a boca das chaves, conforme folha anexa. O operador ao testar a / chave no calibrador e perceber que ela está "apertada", no mesmo instante ele esmerilha até deixá-la nas dimensões da norma. Esta operação chama-se calibragem.

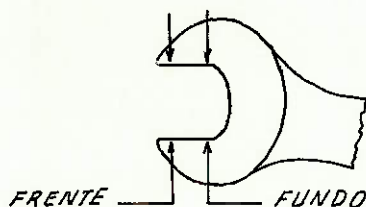
Por outro lado, se a peça está "folgada", ou seja, com abertura maior que o estabelecido pela norma, há necessidade de fechá-la utilizando uma pequena prensa de desempenho. Neste caso, a operação é mais complicada e onerosa, motivo pelo qual deve ser evitada.

Neste contexto, esta parte de nosso trabalho, / consiste em averiguar a dimensão ideal de brocha (últimos gumes calibradores) que possibilite menor número de operações de calibragem após o tratamento térmico e um estudo da possibilidade de novas afiações das brochas.

1.1 COLETA DE DADOS

Primeiramente, desenvolveu-se um gráfico que / possibilitou a coleta de dados de cada lote que era proces-sado no setor produtivo, conforme folha anexa. Foram medi-das a dimensão da brocha (três últimos gumes calibradores), 50 peças após brochamento e outras 50 após tratamento térmico. Nas primeiras amostras, observa-se claramente a contra-ção da boca da chave em relação à brocha após usinagem e a dilatação após tratamento térmico.

Além disso, no grafico, observa-se uma distri-buição normal cuja abscissa fornece uma ordem de grandeza / de 10^{-2} mm. O ponto 00 é de referência, e pode ser tomado como o do limite inferior da norma. Foram realizadas medições no "fundo" e "frente" da chave conforme o esquema:



1.2 ANÁLISE DO PROBLEMA

A) Tomando como referência a medida ($x_o - D$) onde:

x_o - média da dimensão da boca da chave após tratamento térmico

D - dimensão da brocha (gumes calibradores)

Temos pela propriedade da média e variância de uma distribuição normal:

MÉDIA:

Sendo D uma constante, como veremos no estudo geométrico da brocha, vem $\mu(D) = D$, e então

$$\mu(x_0 - D) = \mu(x_0) - \mu(D)$$

$$\mu(x_0 - D) = \mu(x_0) - D$$

VARIÂNCIA:

$$\sigma^2(x_0 - D) = \sigma^2(x_0) + \sigma^2(D)$$

$$D = \text{constante ou } \sigma^2(D) = 0$$

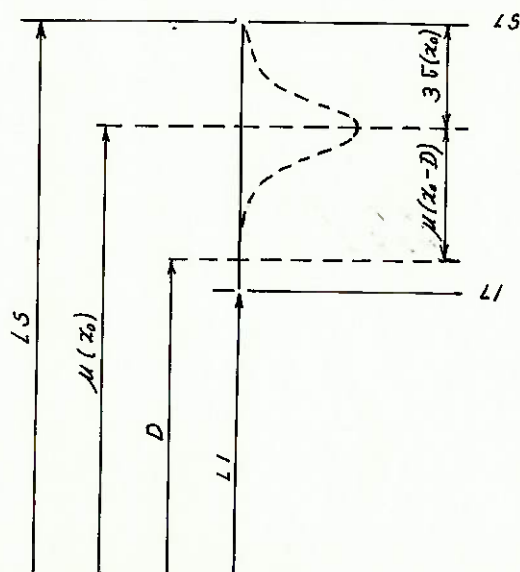
$$\sigma^2(x_0 - D) = \sigma^2(x_0)$$

Portanto

$$x_0 - D \stackrel{d}{=} N(\mu(x_0) - D ; \sigma^2(x_0))$$

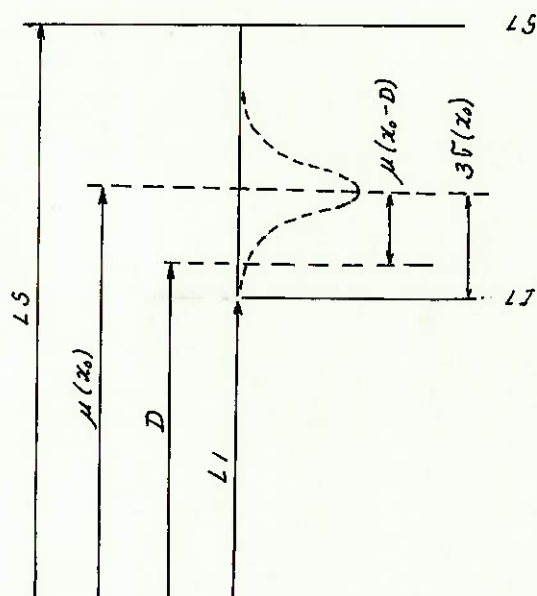
Tendo esta distribuição normal através da coleta de dados no setor produtivo e os limites superiores (LS) e inferiores (LI) das dimensões das chaves pela norma ISO, podemos determinar facilmente o diâmetro ideal da brocha como mostra o esquema:

a) dimensão máxima da brocha:



$$\text{Portanto } D = LS - (\mu(x_0 - D) + 3\tilde{v}(x_0))$$

b) dimensão mínima:



$$\text{Portanto } D = LI + 3\tilde{v}(x_0) - \mu(x_0 - D)$$

B) Análise da possibilidade de uma correlação / linear do problema.

Pelo gráfico I, em anexo, tomando-se uma faixa de chaves compreendidas entre 6,0 mm e 18,0 mm, temos os seguintes pares (x,y):

x - medida externa da brocha

y - diferença entre a média da boca da chave de determinado lote após tratamento térmico e a medida externa da brocha, ou seja $y = \bar{x}_0 - D$

Por uma tabela auxiliar de coleta de dados:

$$\sum x = 271,96$$

$$\sum x^2 = 3621$$

$$\bar{x} = 11,824$$

$$\sum y = 51,54$$

$$\sum y^2 = 229,01$$

$$\bar{y} = 2,2409$$

$$\sum xy = 638,8$$

$$n = 23$$

Portanto

$$s_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 405,26$$

$$s_{xy} = \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n} = 29,41$$

$$s_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 113,52$$

Coeficiente de correlação linear de Pearson:

$$r = \frac{s_{xy}}{\sqrt{s_{xx} s_{yy}}} = 0,14$$

Regressão linear:

$$y = a + bx$$

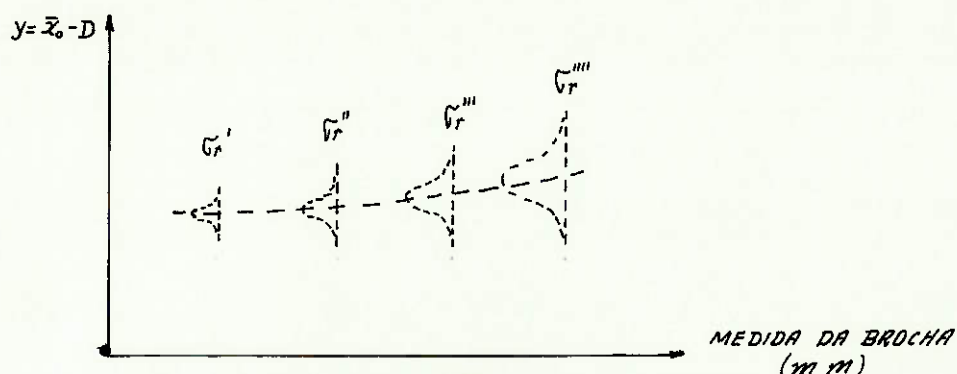
$$b = \frac{s_{xy}}{s_{xx}} = 0,073$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 1,4$$

Portanto $y = 1,4 + 0,073x$

Observação: Esta aproximação linear não parece apreciável, visto que o coeficiente de correlação está muito próximo de zero ($r = 0,14$) indicando imprecisão; e observa-se pelo gráfico que na faixa compreendida entre 6,0 e 8,0 mm, onde se exige menores tolerâncias dimensionais, a reta não se adapta muito bem.

O problema real assemelha-se ao gráfico abaixo:



Por outro lado, observamos que:

- a) $y = f(x)$ varia muito pouco com x (vide correlação feita)
- b) $\tilde{v}_r$, também, mantém-se praticamente constante com x (vide gráfico II de $\tilde{v}_r$)

Em vista destes fatos, o procedimento mais conveniente seria analisar a variação do processo através de grupos de chaves que abrangessem determinada faixa de dimensão, e para cada grupo assumiríamos que a média e variância permanecessem constantes.

Desta forma, classificamos seis grupos conforme mostra o gráfico III. A escolha teve como critério o campo de variação das chaves fixado pela norma ISO (International Organization for Standardization).

O grupo I é aquele no qual a dimensão da boca das chaves se encontra entre 6mm a 3/8 polegadas. O grupo II, de 10 mm a 7/16 polegadas, e analogamente para outros grupos. Portanto, a hipótese seria resumida graficamente como segue:



1.3 MÉTODO DE CÁLCULO DAS MEDIDAS DAS BROCHAS EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE PEÇAS DENTRO E FORA DAS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA.

Através do gráfico I de correlações, observamos que a grandeza $\bar{x}_0 - D$ tem medidas diferentes para cada lote que é processado, mesmo considerando este fato para uma mesma medida de chave. A simbologia dessa grandeza é

$\bar{x}_0$ - média de 50 peças de cada lote processado

D - medida da brocha

Desta forma, faço a hipótese de que essa grandeza tem uma distribuição normal, cuja média é a do processo: (veja a direita do gráfico I de correlação, uma distribuição normal)

Em outras palavras, pela propriedade das médias

$$E(\bar{x}_0 - D) = E(\bar{x}_0) - E(D)$$

D = constante

$$E(\bar{x}_0) = (x_0)$$

Portanto

$$E(\bar{x}_0 - D) = (x_0) - D = (x_0 - D)$$

$$E(\bar{x}_o - D) = \mu(x) - D = \mu(x_o - D)$$

Essa média do processo $\mu(x_o - D)$ é a que procuramos, restando então a determinação da variância do processo $\tilde{\sigma}^2(x_o)$.

Para uma população com média μ e variância $\tilde{\sigma}^2$, a literatura mostra que para uma amostra de n elementos:

- a) a média dessas amostras tem uma distribuição normal com média μ da população (fato que foi aplicado).
- b) a variância da média dessas amostras segue uma nova distribuição centrada em $\frac{\tilde{\sigma}^2}{n}$.

Esta segunda aceção não é verídico para o nosso caso, porque cada lote tem média e variância própria, de forma que se aumentarmos o número n de elementos estaremos mais próximo da média do lote e não do processo.

Em vista disso, procuramos calcular a variância do processo $\tilde{\sigma}^2(x)$ considerando que cada lote tivesse o mesmo número de peças, por exemplo 100.

Num intervalo de aproximadamente $4\tilde{\sigma}$ centrado em $E(\bar{x}_o) \approx \mu(x_o)$ calculo, com o auxílio da tabela de distribuição normal, a porcentagem de peças fora deste intervalo para cada lote. $\tilde{\sigma}$, neste caso, é a média dos desvios padrões das amostras coletadas.

Obtenho afinal a porcentagem total de peças fora deste intervalo, considerando todos os lotes. Retorno outra vez à tabela e calculo o desvio padrão do processo. Estes cálculos são feitos tanto para $E(\bar{x}_o) + 2\tilde{\sigma}$ como para $E(\bar{x}_o) - 2\tilde{\sigma}$.

Todo o roteiro descrito pode ser melhor observado na folha anexa, para o exemplo de cálculo dos grupos I, III e IV.

Para cada grupo temos dois gráficos referentes a medições na "frente" e no "fundo" da chave. A linha pontilhada indica a média do processo $\mu(x_o - D) = E(\bar{x}_o - D)$. Os pontos acima referem-se a $\bar{x}_o + 3S(x_o)$ para cada lote e os pontos inferiores a $\bar{x}_o - 3S(x_o)$ correspondentes. Há uma folha auxiliar para cálculo do desvio padrão do processo conforme o esquema de raciocínio anteriormente descrito. Há, também, outra folha que resume todo o nosso objetivo: ela nos fornece a porcentagem de peças "apertadas" e de peças "folgadas" em função da dimensão da brocha.

Schlüsselweiten für Schraubenschlüssel

DIN
475
Teil 2

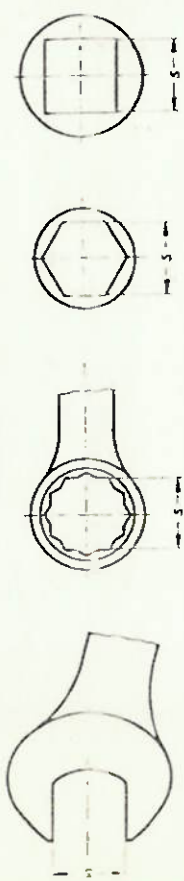
Openings of spanners and sockets

Ouvertures de clés et d'embouts de serrage

Zusammenhang mit der von der International Organization for Standardization (ISO) herausgegebenen Internationalen Norm ISO 691 — 1975 siehe Erläuterungen.

Diese Norm gilt für alle nicht verstellbaren Schraubenschlüssel, deren Schlüsselöffnung den Schraubenkopf oder die Mutter vom außen faßt.

Maße in mm



Bezeichnung einer Schlüsselweite von Nennmaß $s = 17$ mm (SW 17), s_{max} nach Reihe 1:
SW 17 DIN 475 — Reihe 1

Schlüsselweite s			Schlüsselweite s		
Nennmaß	min.	max.	Nennmaß	min.	max.
2	2,02	2,08	22	22,06	22,30
2,5	2,52	2,58	23 1)	23,06	23,30
3	3,02	3,08	24	24,06	24,30
3,5	3,52	3,58	25 1)	25,06	25,30
4	4,02	4,08	26 1)	26,06	26,30
4,5	4,52	4,58	27	27,06	27,30
5	5,02	5,08	28 1)	28,06	28,30
5,5	5,52	5,58	30	30,06	30,30
6	6,02	6,08	32	32,06	32,30
6,5	6,52	6,58	36	36,06	36,30
7	7,02	7,08	41	41,06	41,30
8	8,02	8,08	46	46,06	46,30
9	9,02	9,08	50	50,06	50,30
10	10,02	10,08	55	55,06	55,30
11	11,02	11,08	60	60,06	60,30
12	12,02	12,08	65	65,06	65,30
13	13,02	13,08	70	70,06	70,30
14	14,02	14,08	75	75,06	75,30
15	15,02	15,08	80	80,06	80,30
16 1)	16,02	16,08	85	85,06	85,30
17	17,02	17,08	90	90,06	90,30
18 1)	18,02	18,08	95	95,06	95,30
19	19,02	19,08	100	100,06	100,30
20 1)	20,02	20,08	105	105,06	105,30
21 1)	21,02	21,08	110	110,06	110,30

Fortsetzung der Tabelle Seite 2

Die Toleranzen der durch * gekennzeichneten Schlüsselweiten entsprechen der Internationalen Norm ISO 691 — 1975, siehe auch Erläuterungen

1) und 1.3 siehe Seite 2

Fortsetzung Seite 2
Erläuterungen Seite 2

Normenausschuß Werkzeuge und Spannzeuge (FWS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Schlüsselweite s			Schlüsselweite s		
Nennmaß	min.	max.	Nennmaß	min.	max.
115	116,20	116,00	270	270,30	271,50
120	120,20	121,00	280	280,30	281,50
130	130,20	131,00	290	290,30	291,50
135	135,20	136,00	300	300,40	301,80
145	145,20	146,00	310	310,40	311,80
150	150,25	151,25	320	320,40	321,80
155	155,25	156,25	330	330,40	331,80
165	165,25	166,25	340	340,40	341,80
170	170,25	171,25	350	350,40	351,80
175	175,25	176,25	365	365,40	366,80
180	180,25	181,25	380	380,40	381,80
185	185,25	186,25	395	395,40	396,80
190	190,25	191,25	410	410,50	412,10
200	200,25	201,25	425	425,50	427,10
210	210,25	211,25	440	440,50	442,10
220	220,30	221,50	455	455,50	457,10
230	230,30	231,50	470	470,50	472,10
245	245,30	246,50	480	480,50	482,10
255	255,30	256,50	495	495,50	497,10
265	265,30	266,50	510	510,50	512,10
			525	525,50	527,10

1) Die Schlüsselweiten 16, 18, 20, 21, 23, 25, 26 und 28 entsprechen nicht den in Deutschland genormten Schlüsselweiten für Schrauben, Armaturen und Fittings. Schraubenschlüssel mit diesen Schlüsselweiten werden aber z. B. in Montagebetrieben und in den Reparaturwerkstätten des Kraftfahrwesens benutzt. Sie werden auch in großen Mengen exportiert.

2) Reihe 2 darf nur für geschlossene geschmiedete Schraubenschlüssel angewendet werden, die nicht zerspannend nachgearbeitet sind.

Weitere Normen

DIN 475 Teil 1 Schlüsselweiten für Schrauben, Armaturen, Fittings
DIN 475 Teil 3 Schlüsselweiten; Paarungen für Schraubenschlüssel
DIN 898 Schraubwerkzeuge; Übersicht, Begriffe, Benennungen

Erläuterungen

Diese Norm stimmt bezüglich der Toleranzen der mit * gekennzeichneten Schlüsselweiten in allen Einzelheiten überein mit der von der International Organization for Standardization (ISO) her ausgegebenen internationalen Norm
ISO 691 — 1975

Spanner gaps and sockets — Metric series — Tolerances for general use

Ouvertures de clés et d'embouts de serrage — Série métrique — Tolerances d'usage courant

zu beziehen vom DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

O E A V E S :

Fixa

Comb.

Playe

Itme

Frente

Fundo

Medida da Boca:

Medida da Brocha: Início

Quant. do Lote:

Fim

Medida do calibre (L.P.):

% apertadas:

Data:

F.O.

A.F.

B.F.

F.X.

A.F.

B.F.

B

R

256	196	144	100	64	36	16	00	04	08	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56
1/6	-1/4	-1/2	-10	-08	-06	-04	-02	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24	26
3136	2500	2104	1736	1400	1088	800	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C	D	E	C

50 M A

50

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

E

50

C

D

15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3

□
□



Medida da Boca

(0) Brochada Com T. Vermelho

1

	$G=2D$	$H=G^2$	$I=200E$	$M=I-H$	$Q=YM$
X					
O					

GRÁFICO II - DESVIO PADRÃO $\bar{G}_r$

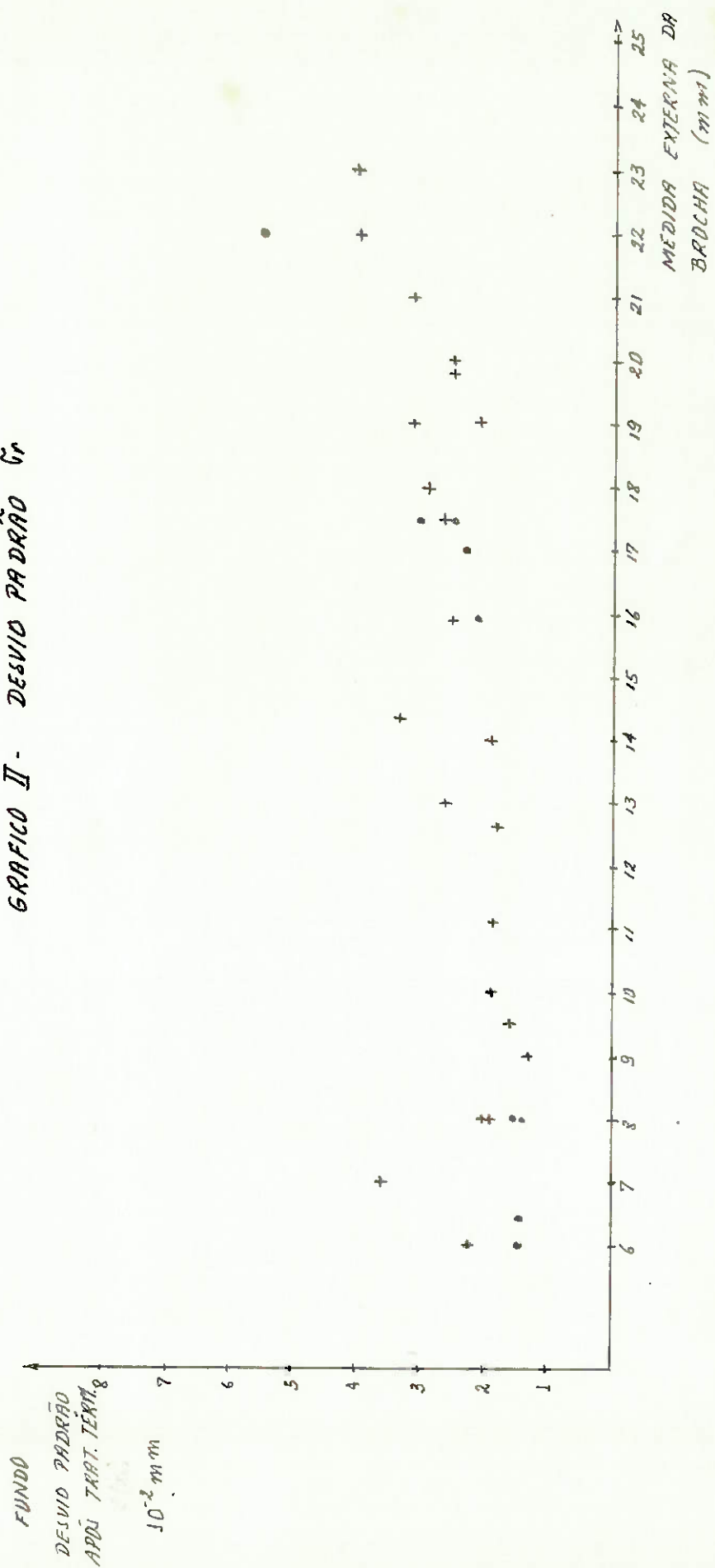
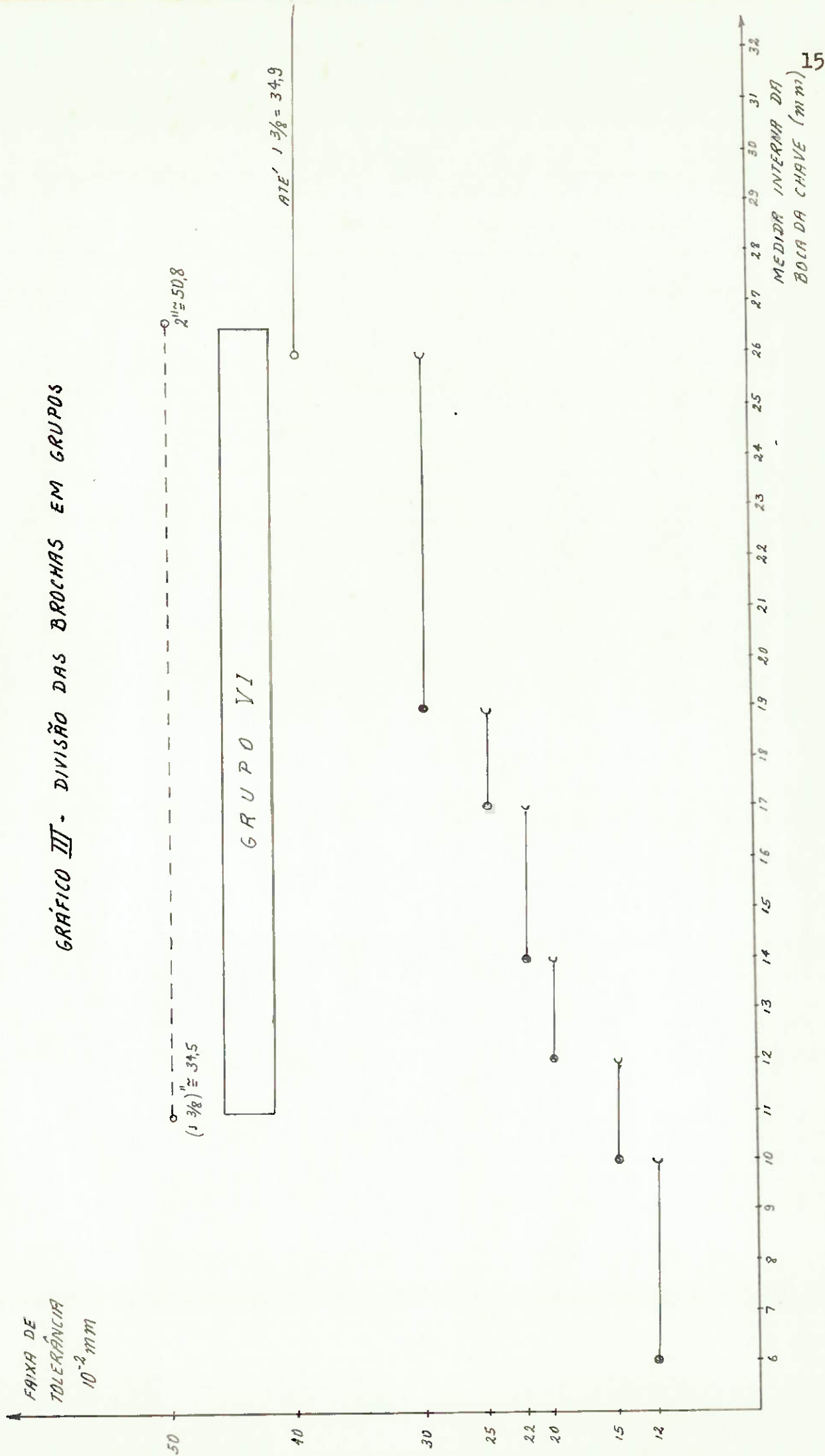


GRÁFICO III - DIVISÃO DAS BROCHAS EM GRUPOS



GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	GRUPO IV	GRUPO V
---------	----------	-----------	----------	---------

ESTUDO DAS CHAVES DO GRUPO I

DIMENSÃO NOMINAL:

6	MILÍMETROS	$\frac{1}{4}$ POLEGADA
7	MILÍMETROS	$\frac{5}{16}$ POLEGADA
8	MILÍMETROS	$\frac{3}{8}$ POLEGADA
9	MILÍMETROS	

FUNDO

($x_0 - D$)

10^{-2} MM

$$\sigma = 2,56 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\bar{\sigma} = 2,03 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

16,17

9,95

9,90

9,53

9,19

7,72

8,29

6,23

5,31

5,08

5,44

5,86

2,15

-0,32

-1,50

-2,23

-2,91

-3,89

-3,44

-4,76

-5,93

-8,99

-3,55

-2,85

-5,37

3/8"

3/8"

3/8"

9,0

8,0

8,0

8,0

5/16"

7,0

1/4"

6,0

6,0

-8

-7

-6

-5

-4

-3

-2

-1

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

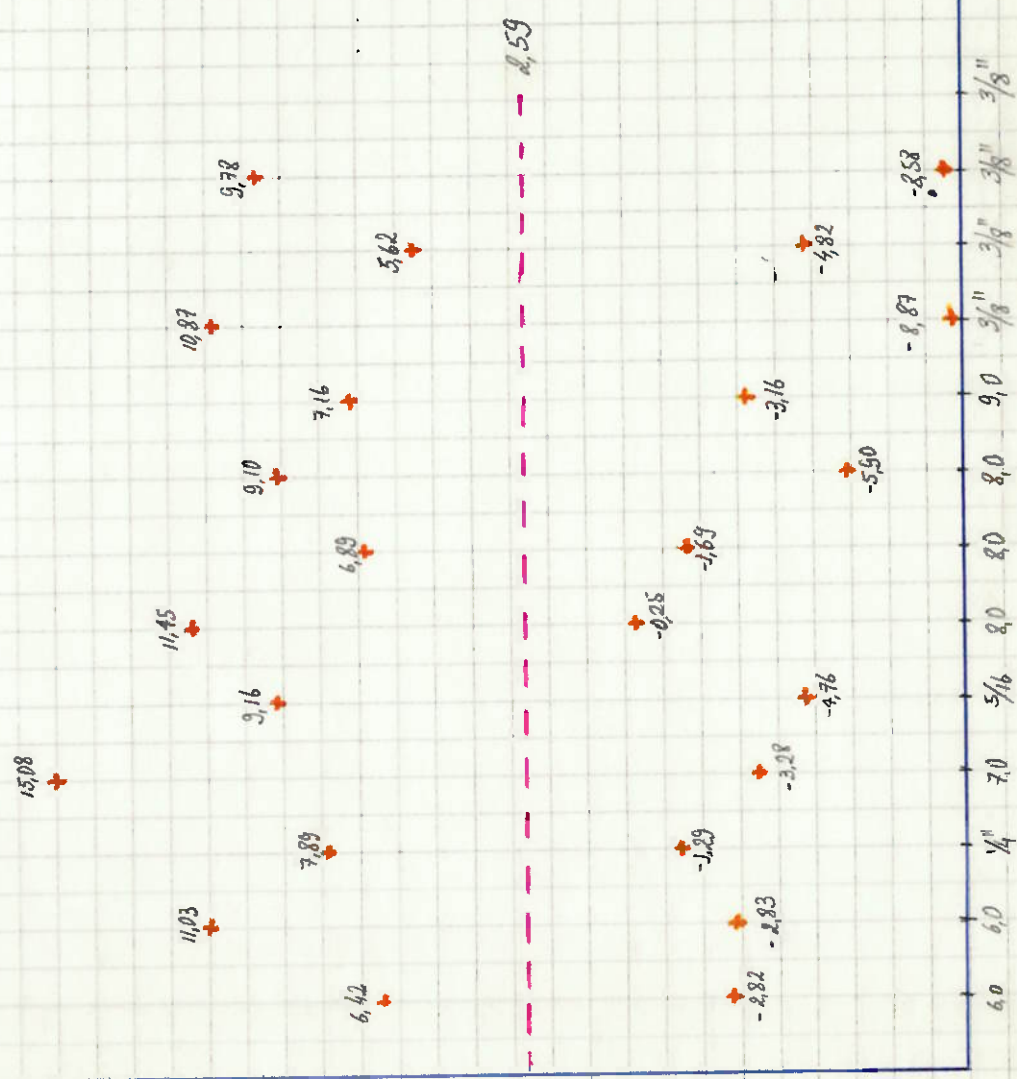
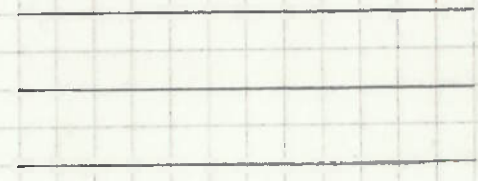
248</

FRENTE 20

(10⁻² mm) 19

($\bar{x}_0 - D$) 18

$\bar{v} = 2,86 \times 10^{-2} \text{ mm}$
 $\bar{v} = 2,20 \times 10^{-2}$



DIMENSÃO DA BROCHA ~~DIAMETRO~~
D - (mm)

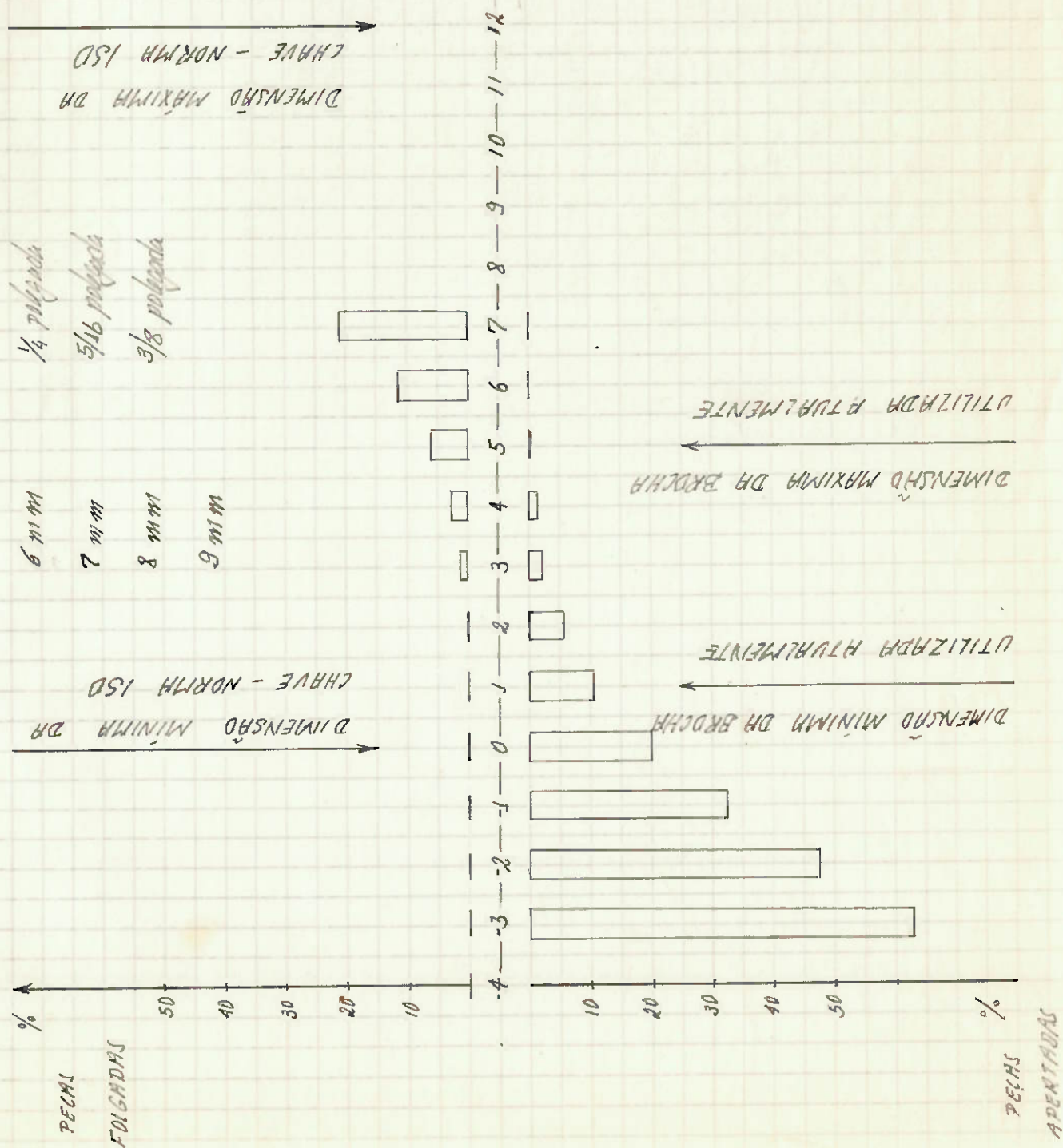
CHAVES DO GRUPO: I

CHAVE	FRENTE				FUNDO			
	$\mu = 2,59$ $\bar{v} = 2,20$ $LS = \mu + 2\bar{v} = 7$	$\mu = 2,59$ $\bar{v} = 2,20$ $LI = \mu - 2\bar{v} = -2$	$\mu = 2,15$ $\bar{v} = 2,03$ $LS = \mu + 2\bar{v} = 6,0$	$\mu = 2,15$ $\bar{v} = 2,03$ $LI = \mu - 2\bar{v} = 2,0$	$\mu = 2,15$ $\bar{v} = 2,03$ $LS = \mu + 2\bar{v} = 6,0$	$\mu = 2,15$ $\bar{v} = 2,03$ $LI = \mu - 2\bar{v} = 2,0$	$\mu = 2,15$ $\bar{v} = 2,03$ $LS = \mu + 2\bar{v} = 6,0$	$\mu = 2,15$ $\bar{v} = 2,03$ $LI = \mu - 2\bar{v} = 2,0$
	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS
6	—	—	2,47	0,68	—	—	2,41	0,8
6	1,25	10,56	2,77	0,28	1,24	10,75	2,31	1,04
1/4	2,42	0,78	—	—	1,81	3,51	—	—
7	0,36	35,94	2,58	0,49	0,17	43,64	2,06	1,97
5/16	2,07	1,92	1,81	3,51	—	—	2,84	0,23
8	0,72	23,58	—	—	0,95	17,11	—	—
8	—	—	—	—	—	—	2,03	2,12
8	2,16	1,54	1,44	7,49	1,87	3,07	2,07	1,92
9	—	—	2,33	0,99	—	—	2,34	0,96
3/8	1,82	3,44	0,91	18,14	1,51	6,55	1,37	8,53
3/8	—	—	1,38	8,38	—	—	1,12	13,14
3/8	2,09	1,83	0,85	19,77	1,95	2,56	0,69	24,51
% TOTAL	$\frac{79,59}{1200} = 6,6\%$		$\frac{59,73}{1200} = 5,0\%$		$\frac{87,19}{1200} = 7,3\%$		$\frac{55,22}{1200} = 4,6\%$	
Z	1,50		1,65		1,46		1,68	
$\bar{v}_s = \frac{LS - \mu}{Z}$	2,94				2,64			
$\bar{v}_I = \frac{LI - \mu}{Z}$			2,78				2,47	
$\bar{v} = \frac{\bar{v}_s + \bar{v}_I}{2}$	$\frac{2,94 + 2,78}{2} = 2,86 \times 10^{-2} \text{ mm}$				$\frac{2,64 + 2,47}{2} = 2,56 \times 10^{-2} \text{ mm}$			

TABELA DA DIMENSÃO DA BROLHA EM FUNÇÃO DA % DE PEÇAS APERTADAS E FOLGADAS

DIMENSÃO DA BROLHA	FRENTE				FUNDO			
	APERTADAS		FOLGADAS		APERTADAS		FOLGADAS	
	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS
6,10-6,45-7,10-8,04-8,10-9,10-9,63			0,84	20,1				
6,09-6,44-7,09-8,03-8,09-9,09-9,62			1,19	11,7				
6,08-6,43-7,08-8,02-8,08-9,08-9,61	2,73	0,32	1,54	6,18	2,79	0,26	1,89	2,94
6,07-6,42-7,07-8,01-8,07-9,07-9,60	2,30	1,07	1,89	2,94	2,40	0,82	2,29	1,10
6,06-6,41-7,06-8,00-8,06-9,06-9,59	1,95	2,56	2,24	1,25	2,01	2,22	2,68	0,37
6,05-6,40-7,05-7,99-8,05-9,05-9,58	1,60	5,48	2,59	0,48	1,62	5,26	3,07	0
6,04-6,39-7,04-7,98-8,04-9,04-9,57	1,26	10,38	2,94	0,16	1,23	10,93	—	0
6,03-6,38-7,03-7,97-8,03-9,03-9,56	0,91	18,14	—	0	0,83	20,33	—	0
6,02-6,37-7,02-7,96-8,02-9,02-9,55	0,56	28,77	—	0	0,45	32,64	—	0
6,01-6,36-7,01-7,95-8,01-9,01-9,54	0,21	41,68	—	0	0,06	47,61	—	0
6,00-6,35-7,00-7,94-8,00-9,00-9,53	-0,14	55,57	—	0	-0,33	62,93	—	0
5,99-6,34-6,99-7,93-7,99-8,99-9,52	-0,49	68,79	—	0	-0,72	76,42	—	0

CHAVES DO GRUPO I:



ESTUDO DAS CHAVES DO GRUPO III

DIMENSÃO NOMINAL:

14 MILÍMETROS

9/16 POLEGADA

15 MILÍMETROS

5/8 POLEGADA

16 MILÍMETROS

11/16 POLEGADA

17 MILÍMETROS

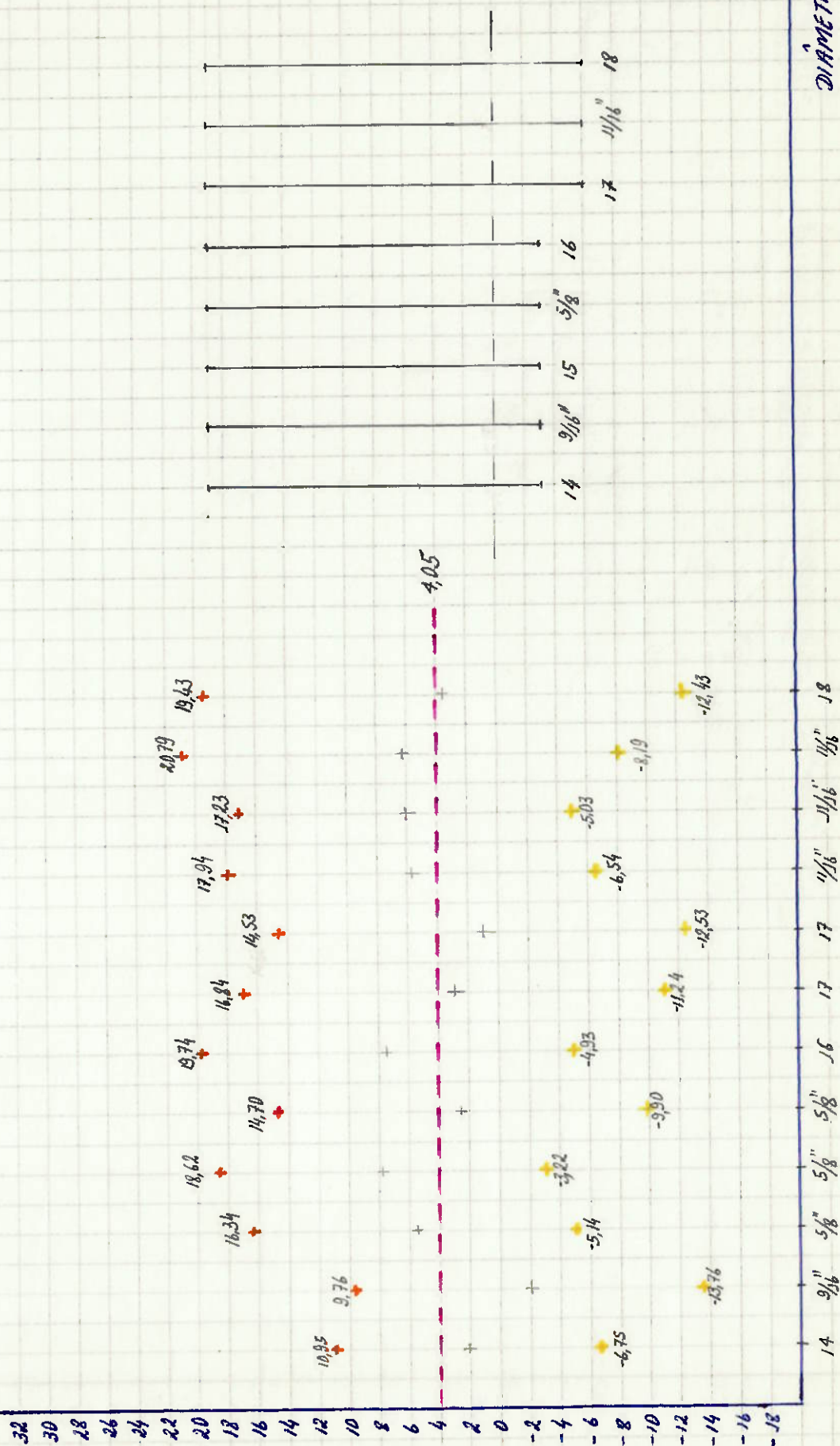
18 MILÍMETROS

LINE 38

 $(x_0 - D)$ 10^{-2} mm

$$v = 5,04 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

$$L = 4.12 \times 10^{-2} \text{ m}$$



DIÂMETRO DA 2ª BORDA (mm-c)

FUNDO

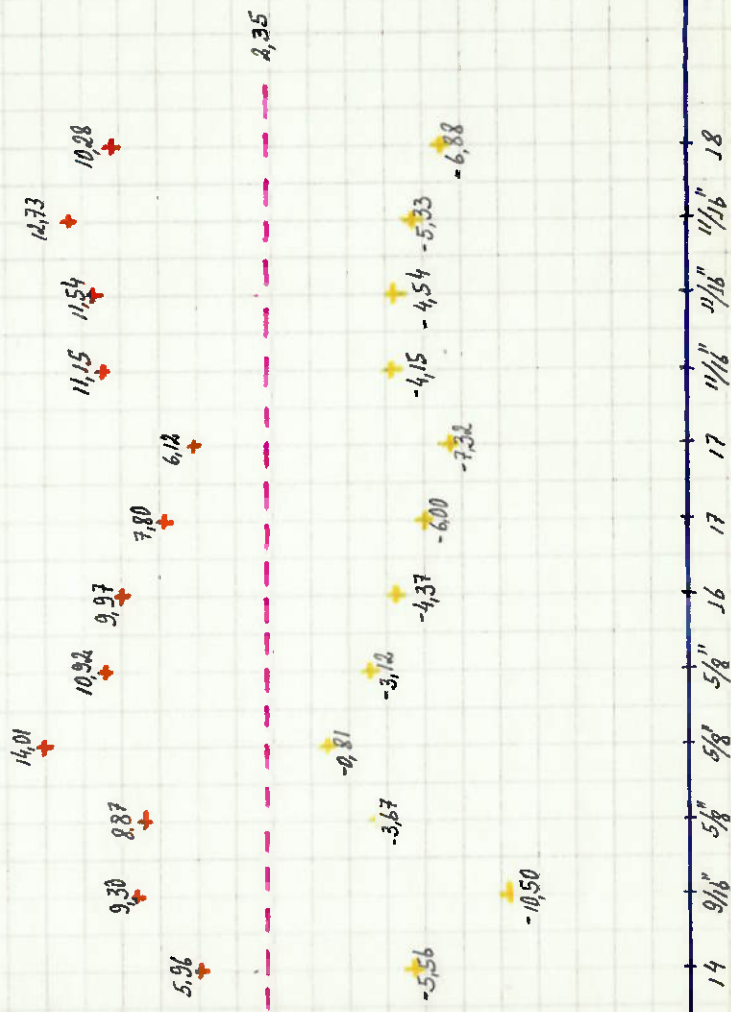
($x_0 - D$)

10^{-2} mm

32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14
-16
-18

$$\sigma = 2,92 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\bar{\sigma} = 2,51 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$$



DIAMETRO DA BOLA
(D - mm)

CHAVES DO GRUPO: III

	FRENTE				FUNDO			
	$\mu = 4,05$ $\bar{\sigma} = 4,12$ $LS = \mu + 2\bar{\sigma} = 12,0$	$\mu = 4,05$ $\bar{\sigma} = 4,12$ $LI = \mu - 2\bar{\sigma} = -4,0$			$\mu = 2,35$ $\bar{\sigma} = 2,51$ $LS = \mu + 2\bar{\sigma} = 10,0$	$\mu = 2,35$ $\bar{\sigma} = 2,51$ $LI = \mu - 2\bar{\sigma} = -5,0$		
CHAVE	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	TABELA: % PEÇAS
14	—	—	2,07	1,92	—	0	2,81	0,25
9/16	—	—	0,57	30,5	—	0	1,60	5,48
5/8	1,79	3,67	2,68	0,37	—	0	—	0
5/8	1,18	11,9	—	0	1,90	2,87	—	0
5/8	2,34	0,96	1,56	5,94	2,78	0,27	—	0
16	1,12	13,14	2,77	0,28	—	0	—	0
17	1,97	2,44	1,45	7,35	—	0	2,79	0,26
17	2,44	0,73	1,11	13,35	—	0	2,49	0,64
11/16	1,54	6,18	2,38	0,87	2,72	0,33	—	0
11/16	1,59	5,59	2,72	0,33	2,58	0,49	—	0
11/16	1,18	11,9	2,13	1,66	2,43	0,75	2,93	0,17
18	1,40	8,08	1,41	7,93	2,95	0,16	2,65	0,4
% TOTAL	5,38		5,88		0,406		0,600	
Z	1,61		1,57		2,64		2,51	
$\bar{\sigma}_s = \frac{LS - \mu}{Z}$	4,94				2,90			
$\bar{\sigma}_T = \frac{LI - \mu}{Z}$			5,13				2,93	
$\bar{\sigma} = \frac{\bar{\sigma}_s + \bar{\sigma}_T}{2}$		5,04				2,92		

TABELA DA DIMENSÃO DA BROCHA EM FUNÇÃO DA % DE PEÇAS APERTADAS E FOLGADAS

DIMENSÃO DA BROCHA	FRENTE				FUNDO			
	APERITADAS		FOLGADAS		APERITADAS		FOLGADAS	
	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{\sigma}}$	% PEÇAS
14,14 - 14,43 - 15,14 - 16,01 - 16,14	2,59	0,5	1,78	3,8	3,89	0	3,65	0
14,13 - 14,42 - 15,13 - 16,00 - 16,13	2,39	0,8	1,97	2,4	3,54	0	3,99	0
14,12 - 14,41 - 15,12 - 15,99 - 16,12	2,19	1,4	2,17	1,5	3,20	0	.	0
14,11 - 14,40 - 15,11 - 15,98 - 16,11	1,99	2,3	2,37	0,9	2,86	0,2	.	0
14,10 - 14,39 - 15,10 - 15,97 - 16,10	1,80	3,6	2,57	0,5	2,52	0,6	.	0
14,09 - 14,38 - 15,09 - 15,96 - 16,09	1,60	5,5	2,77	0,3	2,17	1,5	.	0
14,08 - 14,37 - 15,08 - 15,95 - 16,08	1,40	8,1	2,97	0,2	1,83	3,4	.	0
14,07 - 14,36 - 15,07 - 15,94 - 16,07	1,20	11,5	3,16	0,1	1,49	6,8	.	0
14,06 - 14,35 - 15,06 - 15,93 - 16,06	1,00	15,9	—	0	1,15	12,5	.	0
14,05 - 14,34 - 15,05 - 15,92 - 16,05	0,80	21,2	—	0	0,80	21,2	.	0
14,04 - 14,33 - 15,04 - 15,91 - 16,04	0,61	27,1	—	0	0,46	32,3	.	0
14,03 - 14,32 - 15,03 - 15,90 - 16,03	0,41	34,1	—	0	0,12	45,2	.	0
14,02 - 14,31 - 15,02 - 15,89 - 16,02	0,21	41,7	—	0			.	0
14,01 - 14,30 - 15,01 - 15,88 - 16,01	0,01	49,6	—	0			.	0

CHAVES DO GRUPO: III

[illegible]

TABELA DA DIMENSÃO DA BROCHA EM FUNÇÃO DA % DE PEÇAS APERTADAS E FOLGADAS

DIMENSÃO DA BROLCHA	FRENTE				FUNDO			
	APERIADAS		FOLGADAS		APERIADAS		FOLGADAS	
	$Z \cdot \frac{Z_i - M}{G}$	% PEÇAS	$Z \cdot \frac{Z_i - M}{G}$	% PEÇAS	$Z \cdot \frac{Z_i - M}{G}$	% PEÇAS	$Z \cdot \frac{Z_i - M}{G}$	% PEÇAS
17.17 - 17.63 - 18.17	3.18	0.1	1.78	3.8	4.91	0	3.65	0
17.16 - 17.62 - 18.16	2.99	0.1	1.97	2.4	4.57	0		0
17.15 - 17.61 - 18.15	2.79	0.3	2.17	1.5	4.23	0		0
17.14 - 17.60 - 18.14	2.59	0.5	2.37	0.9	3.89	0		0
17.13 - 17.59 - 18.13	2.39	0.8	2.57	0.5	3.54	0		0
17.12 - 17.58 - 18.12	2.19	1.4	2.77	0.3	3.20	0.1		0
17.11 - 17.57 - 18.11	1.99	2.3	2.97	0.2	2.86	0.2		0
17.10 - 17.56 - 18.10	1.80	3.6	3.16	0.1	2.52	0.6		0
17.09 - 17.55 - 18.09	1.60	5.5		0	2.17	1.5		0
17.08 - 17.54 - 18.08	1.40	8.1		0	1.83	3.4		0
17.07 - 17.53 - 18.07	1.20	11.5		0	1.49	6.8		0
17.06 - 17.52 - 18.06	1.00	15.9		0	1.15	12.5		0
17.05 - 17.51 - 18.05	0.80	21.2		0	0.80	21.2		0
17.04 - 17.50 - 18.04	0.61	27.1		0	0.46	32.3		0
17.03 - 17.49 - 18.03	0.40	34.5		0	0.12	45.2		0

CHAVES DO GRUPO III

DIMENSÃO MÍNIMA DA
CHAVE - NORMA ISO

14 mm 9/16 polgada
15 mm 5/8 polgada
16 mm 5/8 polgada

DIMENSÃO MÁXIMA DA
CHAVE - NORMA ISO

%

PEÇAS

FOLGADAS

50

40

30

20

10

-3

10

20

30

40

50

%

PEÇAS

APERTADAS

DIMENSÃO MÍNIMA DA BOLA
UTILIZADO ATUALMENTE

DIMENSÃO MÁXIMA DA BOLA
UTILIZADO ATUALMENTE



CHAVES DO GRUPO III

17 mm

18 mm

1 1/16 polegada

57
PEÇAS
FOLGADAS

%

10 20 30 40 50

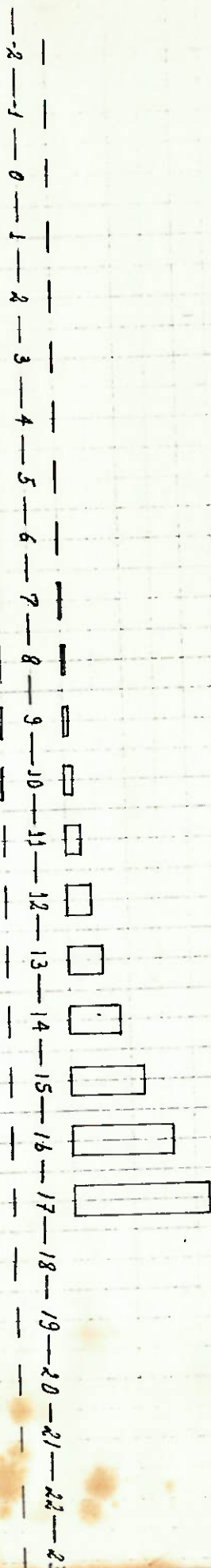
DIMENSÃO MÁXIMA DA
CHAVE - NORMA ISO

%

10 20 30 40 50

DIMENSÃO MÍNIMA DA BROCHA
UTILIZADO ATUALMENTE

DIMENSÃO MÁXIMA DA BROCHA
UTILIZADO ATUALMENTE



ESTUDO DAS CHAVES DO
GRUPO IV

DIMENSÃO NOMINAL:

19 MILÍMETROS

$\frac{3}{4}$ POLEGADAS

20 MILÍMETROS

$\frac{25}{32}$ POLEGADA

21 MILÍMETROS

$\frac{13}{16}$ POLEGADA

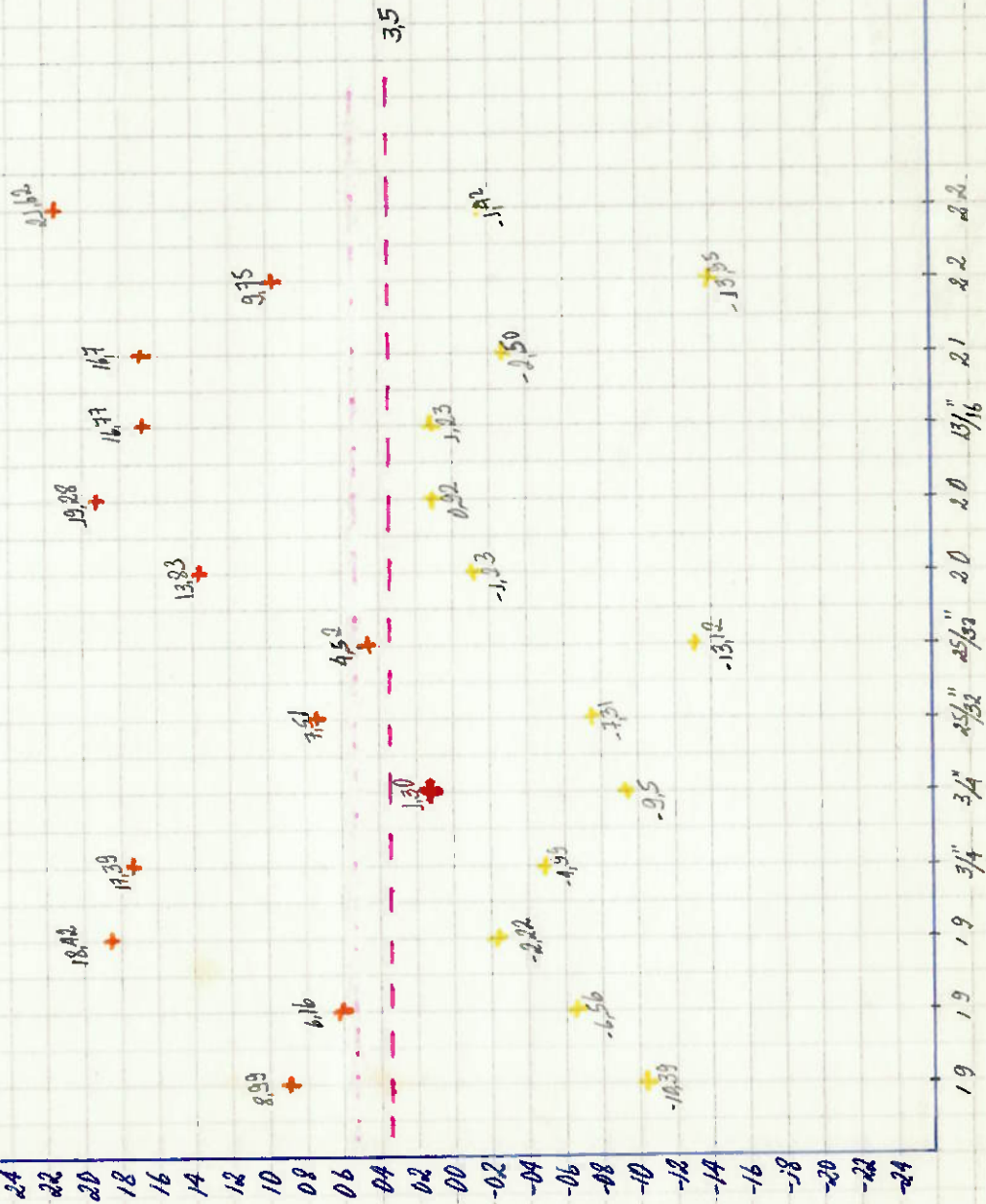
22 MILÍMETROS

FUNDO

X₀ - D

(10⁻² mm) + 30

CHAVES DO GRUPO IV - MAYLE E ITINA

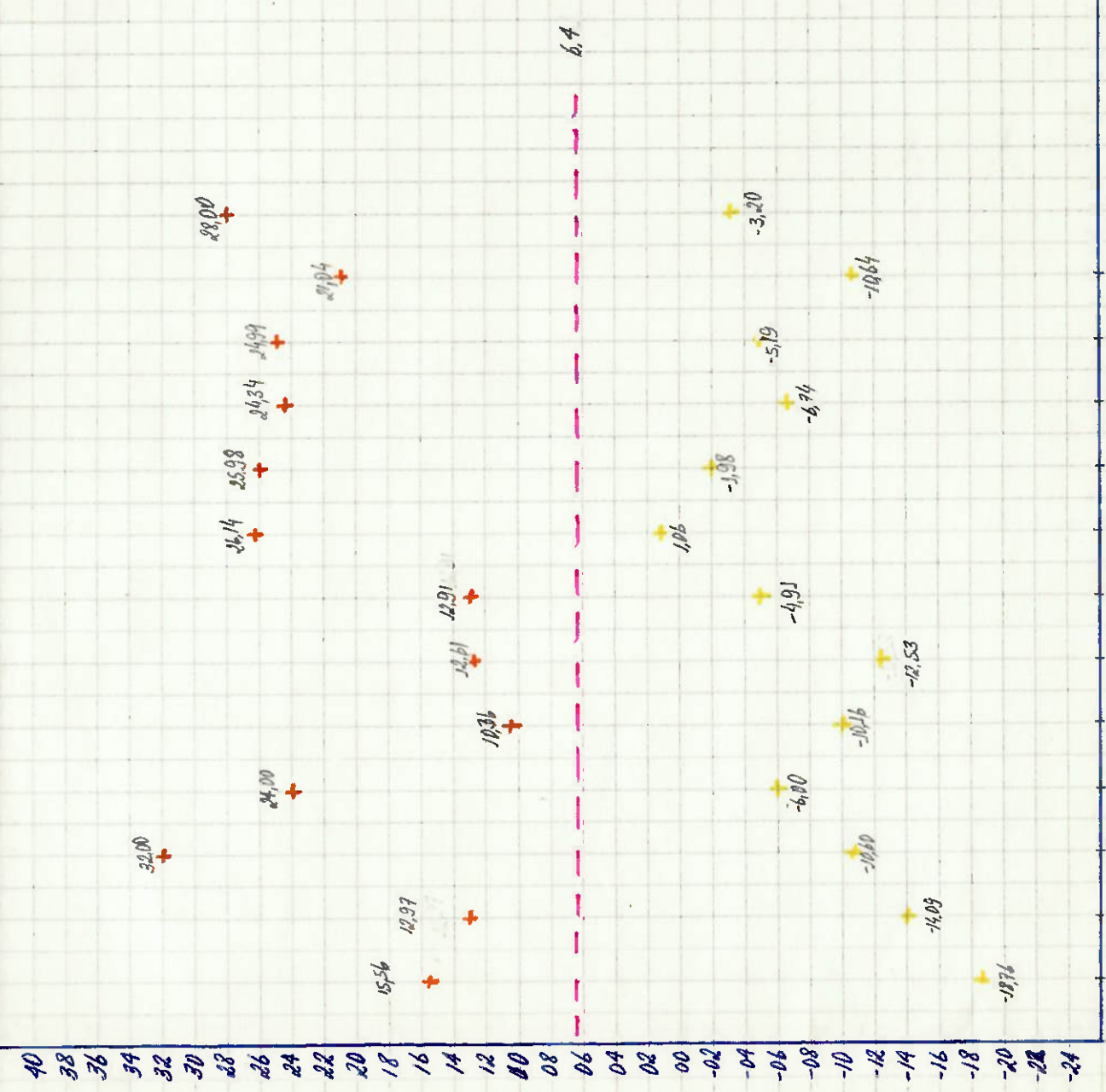


FRENTE

X₀-D

(10⁻² mm)

CHAVES DO GRUPO IV - MAHLE
17MA



DIMENSÃO DA BROCHA
D - mm

CHAVES DO GRUPO: IV

	FRENTE				FUNDO			
	$\mu = 6.4$ $\bar{v} = 5.08$ $LS = \mu + 2\bar{v} = 16.0$		$\mu =$ $\bar{v} =$ $LI = \mu - 2\bar{v} = -4.0$		$\mu = 3.5$ $\bar{v} = 3.16$ $LS = \mu + 2\bar{v} = 13.0$		$\mu =$ $\bar{v} =$ $LI = \mu - 2\bar{v} = -3.00$	
CHAVE	$Z_i = \frac{x_i - \mu_i}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu_i}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu_i}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu_i}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS
19	3.08	0	0.42	33.7	3.31	0	0.71	23.9
19	3.67	0	0.76	22.4	4.81	0	1.32	9.3
19	0.75	23.0	2.07	1.9	0.55	29.1	3.23	0
3/4"	1.40	8.1	2.60	0.5	1.02	15.4	2.47	0.7
3/4"	4.71	0	1.14	12.7	7.83	0	-0.61	72.9
25/32"	3.82	0	0.95	17.1	4.01	0	1.26	10.4
25/32"	4.04	0	2.69	0.4	7.94	0	-0.44	67.0
20	0.57	28.4	4.21	0	1.47	7.1	3.71	0
20	4.04	0	3.43	0	-0.03	51.2	4.28	0
13/16"	1.39	8.2	2.47	0.7	0.39	34.8	4.63	0
21	1.21	11.3	2.76	0.3	0.91	18.1	3.16	0
22	2.05	2.0	1.74	4.1	3.06	0	0.23	40.9
22	0.69	24.5	3.15	0	-0.03	51.2	3.41	0
% TOTAL	8.12		7.22		15.91		17.0	
Z	1.40		1.46		1.00		0.95	
$\bar{v}_s = \frac{LS - \mu}{Z}$	6.86		7.12		6.50		6.84	
$\bar{v}_f = \frac{LI - \mu}{Z}$								
$\bar{v} = \frac{\bar{v}_s + \bar{v}_f}{2}$		7.00				6.65		

TABELA DA DIMENSÃO DA BROLHA EM FUNÇÃO DA % DE PEÇAS APERTADAS E FOLGADAS

DIMENSÃO DA BROLHA	FRENTE				FUNDO			
	APERTADAS		FOLGADAS		APERTADAS		FOLGADAS	
	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS	$Z = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}}$	% PEÇAS
- 0.05	0.20		4.08	0	-0.23	59.1	4.73	
- 0.04	0.34		3.94	0	-0.08	53.2	4.58	
- 0.03	0.49		3.80	0	0.08	46.8		
- 0.02	0.63		3.66	0	0.23	40.9		
- 0.01	0.77		3.51	0	0.37	35.6		
0.00	0.91		3.37	0	0.53	29.8		
0.01	1.06		3.23	0	0.68	24.8		
0.02	1.20		3.09	0.1	0.83	20.3		
0.03	1.34		2.94	0.2	0.98	16.4		
0.04	1.49		2.80	0.3	1.13	12.9		
0.05	1.63		2.66	0.4	1.28	10.0		
0.06	1.77		2.51	0.6	1.43	7.6	3.08	
0.07	1.91		2.37	0.9	1.58	5.7	2.93	

CHAVES DO GRUPO: IV

	FRENTE				FIINDO			
	$\mu =$ $\bar{v} =$ $LS = \mu + 2\bar{v} =$	$\mu =$ $\bar{v} =$ $LI = \mu - 2\bar{v} =$			$\mu =$ $\bar{v} =$ $LS = \mu + 2\bar{v} =$	$\mu =$ $\bar{v} =$ $LI = \mu - 2\bar{v} =$		
CHAVE	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELAS: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS	$Z_i = \frac{x_i - \mu}{\bar{v}_i}$	TABELA: % PEÇAS
% TOTAL								
Σ								
$\bar{v}_S = \frac{LS - \mu}{\Sigma}$								
$\bar{v}_I = \frac{LI - \mu}{\Sigma}$								
$\bar{v} = \frac{\bar{v}_S + \bar{v}_I}{2}$								

TABELA DA DIMENSÃO DA BROCHA EM FUNÇÃO DA % DE PEÇAS APERTADAS E FOLGADAS

[illegible]

CHAVES DO GRUPO IV

MAXIMA DIMENSÃO DA CHAVE

NORMA ISO

%
PEÇAS
FOLGADAS

NORMA ISO

MINIMA DIMENSÃO DA CHAVE

%
PEÇAS
APERTADAS

19 mm
3/4 polegada
20 mm
25/32 polegada
21 mm
13/16 polegada
22 mm



MINIMA DIMENSÃO DA BROCHA
EM USO ATUALMENTE
(MEDIDA EM mm)
(MEDIDA EM POLEGADA)

MAXIMA DIMENSÃO DA BROCHA
EM USO ATUALMENTE
(MEDIDA EM mm)
(MEDIDA EM POLEGADA)

P A R T E I I

PROJETO DE UMA BROCHA - PROCESSO DE CÁLCULO

Para os propósitos do trabalho, no processo a ser desenvolvido, consider-se-á, apenas, o brocheamento de superfícies internas.

Nesta parte do trabalho, será dado ênfase, somente, ao cálculo dos dentes da ferramenta, haja visto, na primeira parte, o objetivo, primordial, é a obtenção do tamanho ideal das brochas para a confecção de chaves fixas.

2.1 CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

2.1.1 TERMINOLOGIA DOS ELEMENTOS DE UMA BROCHA

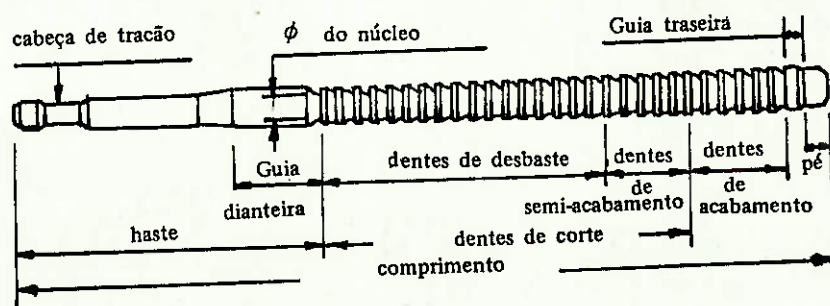


Fig. 1

2.1.2 MATERIAIS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO DE BROCHAS

Para trabalhos leves e em pequena quantidade po de-se empregar aço ao carbono para ferramenta ou aço carbono com vanádio. Para serviços pesados ou grandes produções, os aços rápidos 18-4-1 e 18-4-2 (W, Cr, V) e os aços ao molibdênio.

Também são usados os carburetos sinterizados (de W, Co, Ta, Ti, Mo, etc) no corte de materiais abrasivos, resinas fenólicas, borracha dura, etc.

2.1.3 PROJETO E CÁLCULO DAS BROCHAS

2.1.3.1 DIÂMETRO DA SECÇÃO DO NÚCLEO

Nas brochas internas é medido no fundo da cavidade de cavacos do 1º dente. Serve para o esforço máximo / que a brocha pode suportar.

2.1.3.2 ALTURA DOS DENTES

A altura dos dentes depende do passo, pois deve ser tal que permita a existência de uma cavidade de cava-

cos com capacidade suficiente.

Quando o passo é grande, adota-se uma altura do dente pequena, porque a cavidade de cavacos fica, implicitamente, aumentada e vice-versa.

Em condições normais, a altura do dente pode / ser determinada pela relação:

$$h = 0,3 \text{ a } 0,5 \ t \quad (t = \text{passo do dente})$$

O valor de h poderá ser fixado com mais precisão, variando, conforme o material a ser usinado. Assim:

$$h = 0,5 \ t \quad \text{para o alumínio}$$

$$h = 0,45 \ t \quad \text{para ferro fundido cinzento, bronze e latão}$$

$$h = 0,40 \ t \quad \text{para aço doce e ferro fundido duro}$$

$$h = 0,36 \ t \quad \text{para aço duro}$$

2.1.3.3 NÚMERO MÁXIMO DE DENTES EM CORTE SIMULTÂNEO

O número de dentes que deve atuar sobre uma peça cujo comprimento é C deve ser:

$$n = C/t, \text{ onde } t = \text{passo dos dentes.}$$

O número de dentes não deve ser inferior a 3 / nem superior a 6, sendo conveniente que C não seja múltiplo de t.

2.1.3.4 PASSO DOS DENTES

Nas brochas para furos lisos ou acanalados, o / passo é dado pela fórmula:

$$t = 1,7 \text{ a } 1,8\sqrt{C}$$

Na obtenção de superfícies mais lisas é costume tomar passos desiguais.

A ferramenta de brochar tem várias classes de dentes:

a) o 1º dente pertence à parte guia e tem para diâmetro externo o diâmetro do furo preliminar.

b) os dentes seguintes são os dentes cortantes ou de desbaste, em maior quantidade, conforme a peça. Cada dente seguinte tem o diâmetro maior que o precedente, desde 0,2 até 0,5 mm, o que corresponde à profundidade de corte

$$p_{\text{corte}} = 0,1 \text{ até } 0,25 \text{ mm.}$$

c) têm-se, por fim, os dentes de acabamento, que apresentam todos as mesmas dimensões. O número destes dentes varia de 4 a 6.

Na operação de brocheamento, para diversos materiais, poderemos empregar a tabela abaixo, para a profundidade de corte, em mm:

Tabela de profundidades de corte

Material	Brocheamento				
	Interno			Externo	
	desbaste	acab.	brunimento	desbaste	acab.
Aço duro	0,03-0,05	0,01	0,01-0,002	0,02-0,05	0,01
Aço doce	0,03-0,08	0,01	0,01-0,002	0,03-0,08	0,01
Ferro maleável	0,06-0,10	0,01	0,02-0,002	0,05-0,10	0,01
Ferro fundido	0,10-0,25	0,01	0,03-0,002	0,07-0,15	0,01
Latão	0,10-0,30	0,01	0,02-0,002	0,05-0,20	0,01
Bronze	0,10-0,30	0,01	0,02-0,002	0,10-0,30	0,01
Zinco	0,10-0,25	0,02	-	0,08-0,20	0,02
Alumínio	0,10-0,20	0,02	-	0,08-0,20	0,02
Magnésio	-	-	-	0,20-0,40	0,02

Tabela 1

O comprimento da superfície a usinar constitui fator que obriga a adoção de menores profundidades de corte para permitir que todo o material a ser removido por dente possa ser acomodado na cavidade de cavacos.

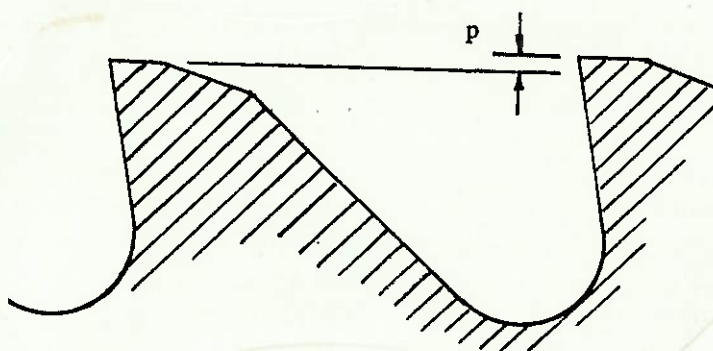


Fig. 2

O volume do oco entredental depende

- do passo t ;
- da altura do dente h .

A forma deve ajudar a formação do cavaco, de maneira econômica; para isso dá-se ao fundo do oco a forma circular.



Fig. 3

Para assegurar a formação do cavaco em espiral, o comprimento do arco deve chegar a 150° .

O raio deve ser determinado por

$$r = 0,4 \text{ a } 0,6 h$$

empregando valores inferiores para os materiais de cavaco segmentário e superiores para os que formam cavacos contínuos.

Pode-se, também, tomar o valor de r , em função do passo:

$$r = 0,15 \text{ a } 0,20 t$$

2.1.3.5 PERFIL DOS DENTES

Para o projeto de uma brocha, deverão ser considerados as seguintes dimensões conforme figura abaixo:

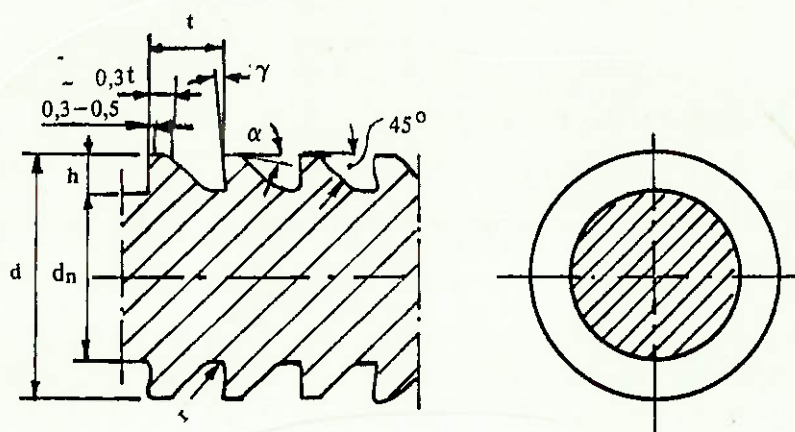


Fig. 4

2.1.3.6 ÂNGULOS

Os ângulos de incidência (α) e de saída (γ), são recomendados conforme o material a ser empregado.

Ângulos de incidência e de saída dos dentes de uma brocha para diferentes materiais *

Material	brochamento			
	interno		externo	
	saída	incidência	saída	incidência
Aço duro = 70 kg/mm ²	10-12°	0,5-2°	8-12	1/2-2°
Aço meio duro e doce 70 kg/mm ²	14-18	1-2	15-20	1-3
Ferro maleável	7	1-3	7	1-3
Ferro fundido duro	5-6	2-4	6	1-3
Ferro fundido macio	10	2-5	8	1-5
Latão duro	5	1/4-1/2	8	1/2-2
Latão macio	10	1/4-1/2	-5,-5	1/2-2
Bronze fundido	8	1/4-1/2	0,8	1/2-2
Alumínio duro c/Si	12	1-3	15	1-3
Alumínio macio c/Cu	15	1-3	18	1-3
Alumínio fundido sob pressão	20	2-5	20	2-5
Zinco fundido sob pressão	12	1-5	12	1-5
Magnésio fundido sob pressão	20	1-3	20	1-3

Tabela 2

2.2 SEQUÊNCIA PARA O PROJETO DE UMA BROCHA

Para o projeto de uma brocha, é conveniente seguir o roteiro:

2.2.1 Escolher o material da brocha em função da profundidade e velocidade de corte recomendáveis à operação, considerando também a vida útil da ferramenta que se deseja.

2.2.2 Escolher a profundidade de corte e a altura dos dentes.

2.2.3 Determinar o escalonamento dos dentes se for o caso.

2.2.4 Calcular o passo dos dentes pela fórmula

$$t = 1,7 \text{ a } 1,8\sqrt{C}$$

2.2.5 Calcular a altura dos dentes pela fórmula

$$h = 0,3 \text{ a } 0,5 \text{ } t$$

2.2.6 Calcular o rio

2.2.6 Calcular o raio de curvatura da cavidade de cavacos pela fórmula:

$$r = 0,4 \text{ a } 0,6 h$$

2.2.7 Calcular a largura da plataforma dos dentes

$$a = 0,2 \text{ a } 0,3 t$$

2.2.8 Escolher os ângulos de incidência e de saída

2.2.9 Calcular a largura da plataforma reta, em função do número de afiações previstas durante a vida útil da ferramenta.

2.2.10 Calcular a secção longitudinal dos cavacos de cada dente e o provável diâmetro da espiral de cavacos.

2.2.11 Verificar se o passo adotado é compatível com a capacidade necessária da cavidade de cavacos pela fórmula

$$t \geq 3\sqrt{Cpx}, \text{ sendo } x \text{ o fator volumétrico de cavacos}$$

com os valores indicados na tabela abaixo:

Material	Brocheamento			
	interno		externo	
	desbaste	acab.	desbaste	acab.
Materiais frágeis com cavacos segmentários	3 a 4	6	3 a 5	6
Materiais tenazes com cavacos contínuos	4 a 7	8	5 a 8	10

Tabela 3

2.2.12 Verifica-se o passo tendo em vista a resistência da brocha pela fórmula

$$t \geq \frac{p b C r_e}{S_n \tau_{\text{máx}}} \quad (\text{mm})$$

p = profundidade de corte, mm

b = largura de corte, mm

C = comprimento total da superfície de corte, mm

S_n = Secção do núcleo da brocha, mm^2 .

$V_{\max}$ = Taxa de trabalho permitida para o material da brocha, em Kg/mm².

r_e = Resistência específica de corte, Kg/mm².

Os valores de r_e estão dados na tabela abaixo, para diferentes materiais:

Resistência específica de corte para o brocheamento de vários materiais:

Material a brochar	r_e kg/mm ²
Aço de resistência 90 a 115 kg/mm ²	500
Aço de resistência 70 a 90 kg/mm ²	400
Aço de resistência 50 a 70 kg/mm ²	315
Aços de resistência até 50 kg/mm ²	250
Aço extra doce	200
Ferro fundido	120-160
Ferro maleável	150
Bronze duro	125
Bronze macio	100
Latão	80
Alumínio duro	63

Tabela 4

2.2.13 Verificação do passo pelo esforço total da brocheadora, pela fórmula:

$$t \geq \frac{p \cdot b \cdot C \cdot r_e}{F}$$

sendo F = força total de brocheamento.

Deve-se adotar $F = 0,70 F_{\max}$, onde $F_{\max}$ = capacidade da brocheadura (esforço total disponível).

2.2.14 Calcular o número máximo de dentes a remover em corte simultâneo.

2.2.15 Calcular o número total de dentes de corte e de acabamento em função da quantidade total de material a remover

2.2.16 Calcular o comprimento total e o curso da brocha em função do comprimento da superfície a usinar e das exigências do mandril, do dispositivo de sujeição e da brocheado-

ra.

2.2.17 Fixar os demais elementos necessários ao desenho da brocha.

2.3 EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO GEOMÉTRICO DE UMA BROCHA

Nesta parte do trabalho, iremos redimensionar / uma determinada brocha segundo os critérios fornecidos pela literatura existente, e que foram resumidas nos itens anteriores. Desta forma, teremos condições de analisar as brochas utilizadas no setor produtivo sobre o aspecto construtivo e geométrico.

Escolheremos para análise a brocha para usinagem da chave fixa de 22 mm. O desenho da peça, bem como da ferramenta encontram-se em anexo.

2.3.1 PEÇA A USINAR

Material : aço 6130 / forjado - $\bar{V}_r = 90 \text{ Kp/mm}^2$
 aço 1040 / forjado - $\bar{V}_r = 60 \text{ Kp/mm}^2$

Dimensões: "furo" inicial: $20,00 \pm 0,5 \text{ mm} = f_i$ (esta tolerância foi adotada)

"furo" final: $22,12 \pm 0,02 \text{ mm} = f_f$

superfície a usinar: $8,2 \text{ mm} = C$

perímetro de usinagem: $b = 2 \times 24 + 22,12 = 70,12 \text{ mm}$

2.3.2 FERRAMENTA

2.3.2.1 MATERIAL DA BROCHA

Aço rápido: 18-4-1

2.3.2.2 ESCOLHA DA PROFUNDIDADE DE CORTE: p

Da tabela 1, para aço duro, têm-se p : 0,03 a 0,05 mm. Adotando o valor médio têm-se

$$p = 0,04 \text{ mm}$$

2.3.2.3 CÁLCULO DO PASSO: t

a) Cálculo em 1ª aproximação

$$t = 1,75 C = 1,75 \cdot 8,2 \Rightarrow t = 5,0 \text{ mm}$$

b) Cálculo do passo mínimo

$$t \geq 3\sqrt{Cpx}$$

O valor de x é obtido da tabela II, para materiais com cavacos contínuos, brocheamento interno, desbaste. Pela tabela, x : 4 a 7.

Adotando para x , o valor 7, temos

$$t \geq 3\sqrt{8,2 \times 0,04 \times 7} \Rightarrow t \geq 4,5 \text{ mm}$$

c) Cálculo do passo pelo esforço total da brochadeira

$$t \geq \frac{p \cdot b \cdot C \cdot r_e}{F}$$

$F = 0,70 F_{\max}$ = força total de brocheamento

$$F_{\max} = 10 \text{ tf}$$

$r_e = 400 \text{ Kp/mm}^2$ da tabela III, para aços de resistência entre 70 a 90 Kp/mm^2 .

$$t \geq \frac{0,04 \times 70,12 \times 8,2 \times 400}{7000} \Rightarrow t \geq 1,3 \text{ mm}$$

Dos valores calculados, adota-se o maior. Desta forma, o passo será

$$t = 5,0 \text{ mm}$$

2.3.2.3 CÁLCULO DA ALTURA DOS DENTES

$$h = 0,3 \text{ a } 0,5 \text{ t}$$

Segundo a tabela IV, para aço duro, é recomendado

$$h = 0,36 \text{ t} = 0,36 \times 5,0 \Rightarrow h = 1,8 \text{ mm}$$

2.3.2.4 CÁLCULO DO RÁDIO DE CURVATURA DA CAVIDADE DE CAVACOS

$$r = 0,4 \text{ a } 0,6 \text{ h}$$

$$\text{Adotando } r = 0,6 \text{ h} = 0,6 \times 1,8 \Rightarrow r = 1,1 \text{ mm}$$

2.3.2.5 CÁLCULO DA LARGURA DA PLATAFORMA DOS DENTES

$$a = 0,30 \text{ t} = 0,30 \times 5,0 \Rightarrow a = 1,50 \text{ mm}$$

2.3.2.6 ÂNGULOS

Pela tabela V:

Saída: 12° a $17^{\circ} \Rightarrow \gamma = 12^{\circ}$

Incidência: 1° a $3^{\circ} \Rightarrow \alpha = 3^{\circ}$

2.3.2.7 CÁLCULO DA PLATAFORMA RETA

Admitindo 3 afiações de 0,1 mm, a plataforma reta será de 0,3 mm.

2.3.2.8 CÁLCULO DO Nº DE DENTES DE DESBASTE

O cálculo é efetuado com a dimensão mínima de $f_i = 19,50$ mm

$$N = \frac{1}{2} \frac{f_f - f_i}{p} = \frac{1}{2} \frac{22,12 - 19,50}{0,04}$$

$$N = 33 \text{ dentes}$$

2.3.2.9 COMPRIMENTO TOTAL DE CORTE

a) Parte cônica

$$L_1 = N t = 33 \times 5 \Rightarrow L_1 = 165 \text{ mm}$$

b) Parte de calibragem (4 dentes de acabamento)

$$L_2 = 4 t = 4 \times 5 \Rightarrow L_2 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Portanto } L = L_1 + L_2 = 165 + 20 \Rightarrow L = 185 \text{ mm}$$

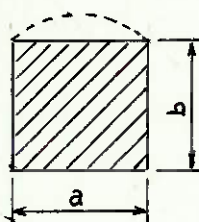
2.3.2.10 VERIFICAÇÃO DO PASSO C/ RELAÇÃO A RESISTÊNCIA DA BROCHA

$$t \geq \frac{p \cdot b \cdot C \cdot r_e}{S_n \cdot \tau_{\max}}$$

$\tau_{\max} = 55 \text{ Kp/mm}^2$ c/ fator de segurança 2 e aço rápido 18-4-1

S_n = secção do núcleo

Para efeito de segurança, esta secção será considerado conforme esquema abaixo:



$$a = f_i - 2h$$

$$a = 20 - 2h = 16,4 \text{ mm}$$

$b = a$ (na realidade $b > a$, pelas dimensões da chave)

$$S_n = 268,96 \text{ mm}^2$$

$$t = \frac{0,04 \times 70,12 \times 8,2 \times 400}{268,96 \times 55}$$

$$t = 0,62 \text{ mm} < 5,0 \text{ mm (OK)}$$

2.3.2.11 ANÁLISE DOS VALORES ENCONTRADOS

Com os resultados obtidos, a execução da brocha seria dificultada, haja visto, que as dimensões encontradas são reduzidas. A razão deste fato é proveniente da superfície a usinar da chave, C, que segundo o desenho é pequena.

Por outro lado, de acordo com a recomendação da da pelo item 2.1.3.3, a relação C/t deverá obedecer a $3 \leq C/t \leq 6$, que mostra o número de dentes atuando simultaneamente sobre a superfície a usinar.

Nos cálculos efetuados, obtivemos $C/t = 1,64$. Desta forma, se tentássemos introduzir 3 dentes em corte / contínuo (o mínimo) conforme recomendações, as dimensões seriam ainda menores.

Assim, por aspectos construtivos o item 2.1.3.3

será desprezado em nosso processo de cálculo.

2.3.2.12 CORREÇÃO DO PASSO

Em vista destes fatos, utilizaremos passo $t = 7$ mm para o cálculo final da brocha. Neste caso a relação C/t será 1,17, o que representa a atuação de 1,17 dentes na superfície a usinar. Como há sempre mais de um dente atuando não teremos problemas de choque brusco entre dente e superfície de usinagem.

Desta forma, adotando o passo $t = 7$ mm, e seguindo o roteiro de cálculo, teremos os seguintes resultados:

a) Altura dos dentes: $h = 0,36 t$

$$h = 2,50 \text{ mm}$$

b) Raio de curvatura da cavidade de cavacos: $r = 0,6 h$

$$r = 1,5 \text{ mm}$$

c) Plataforma reta dos dentes: $a = 0,30 t$

$$a = 2,1 \text{ mm}$$

d) Ângulos:

$$\gamma = 12^\circ$$

$$\alpha = 3^\circ$$

e) Plataforma reta dos dentes: $0,3 + 0,5 \text{ mm}$

f) Nº de dentes de desbaste: $N = \frac{1}{2} \frac{f_f - f_i}{p}$

$$N = 33 \text{ dentes}$$

g) comprimento total de corte:

$$\text{- parte cônica: } L_1 = N t \Rightarrow L_1 = 231 \text{ mm}$$

- parte de calibragem: (4 dentes)

$$L_2 = 4 t \Rightarrow L_2 = 28 \text{ mm}$$

Adotando 3 dentes reforçados para impacto, de /
passo $t = 10$ mm temos

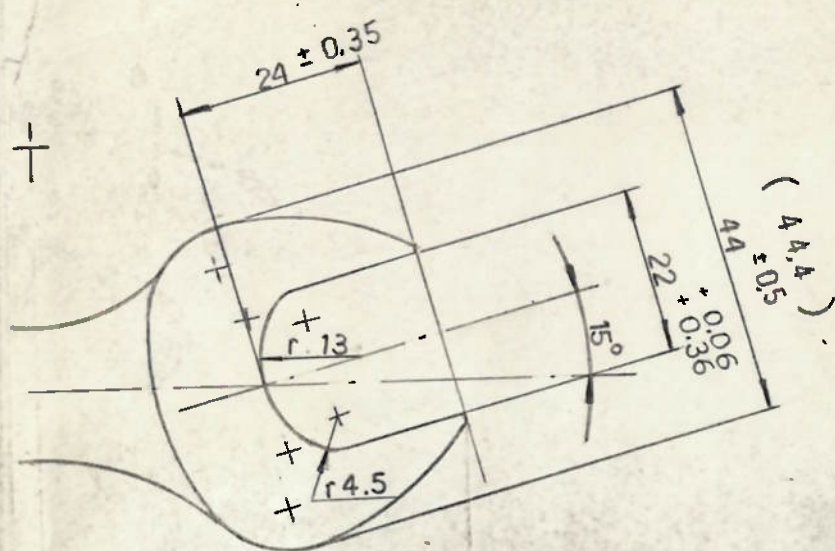
$$L_3 = 3 \times 10 = 30 \text{ mm}$$

Portanto

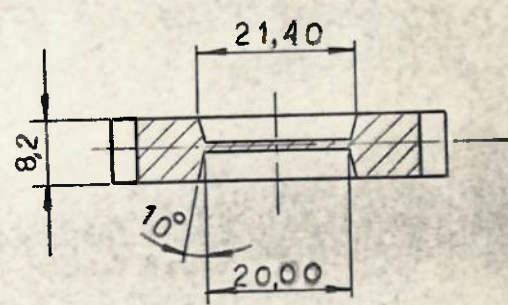
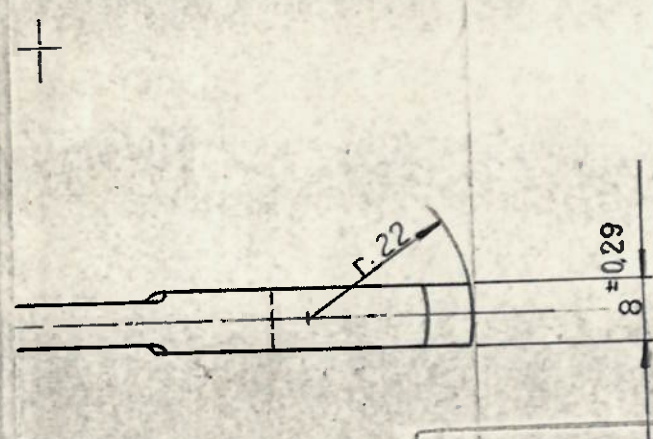
$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad \Rightarrow \quad L = 289 \text{ mm}$$

Para os dentes de impacto ficarão fixados as
mesmas características geométricas dos demais dentes (h, α, γ, r) aumentando, porém as dimensões da plataforma para efeito
to de reforço.

a. Em 34
 b. Em 34 para o corpo
 c. Em 6
 d. Acrescentado ao nº do corpo 10073



#3 MAR 1978



USINAGEM

CONTROLE DE QUALIDADE

Nº	DATA	MODIFICAÇÃO	APROV.
FERRAMENTAS E ZER S.A. - FÁBRICA DE ENGENHARIA			
ALVES 03-10-73			
CHAVE FIXA ITMA 20 x 22			
1:1		200029	
SAE 6132			

C O M E N T Á R I O S

Quanto a primeira parte do trabalho, pode-se ve rificar pelos cálculos efetuados nos grupos I, III e IV de chaves que as dimensões dos gumes calibradores das brochas utilizadas na produção estão muito próximos daqueles que se riam adotados conforme estes cálculos. Para o grupo IV, em particular, observamos que as dimensões das brochas de medi das em mm difere das de polegadas quanto a localização rela tiva no campo de especificação da norma, conforme folha ane xa nº 33. Deveria ter a mesma localização.

Pelos valores obtidos na segunda parte do traba lho, fica evidenciado que as brochas utilizados na produção poderiam apresentar menores dimensões. Isto acarretaria me- nor consumo de material, e, portanto, menores custos de con fecção da ferramenta.

Cabe ressaltar que os cálculos efetuados para a geometria da brocha foram com a adoção de parâmetros, cujos valores estão acima dos recomendáveis pela literatura exis tente.

B I B L I O G R A F I A

1. FONSECA, JAIRO SIMON DA Curso de Estatística
São Paulo, Atlas, 1977
2. FONSECA, JAIRO SIMON DA Estatística Aplicada
São Paulo, Atlas, 1976
3. COSTA NETO, PEDRO LUIZ Estatística
DE OLIVEIRA
São Paulo, Blucher, 1977
4. FREIRE, J. M. Tecnologia do Corte
RJ, Livros Técnicos e Cien-
tíficos Editora S/A, 1977
5. BLANPAIN, EDUARDO Teoria y Pratico de las
Herramientas de Corte
Barcelona, Editora Gustavo
Gill S/A, 1962
6. ROSSI, MÁRIO Máquinas Operatrizes Moder-
nas, Volume II
Barcelona, Editora Cientifi-
co - Médica, 1970.