

LABORATÓRIO DE MÁQUINAS FERRAMENTAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INTRODUÇÃO À METROLOGIA INDUSTRIAL

JOÃO LIRANI

1ª Fascículo  
(3a. edição)

SÃO CARLOS, 1985  
Publicação 036/85



LABORATÓRIO DE MÁQUINAS-FERRAMENTAS

## PREFÁCIO



Este é o primeiro de dois fascículos que se destinam a implementar as aulas de Tecnologia Mecânica "A". Com isto proporcionamos acesso dos alunos ao conteúdo necessário de tal curso que, em caso contrário, seria encontrado em inúmeras fontes com objetivos e níveis distintos.

Como estudo introdutório não pode ser profundo, mas procuramos dar os princípios teóricos e aparelhos básicos, os quais, com as respectivas práticas de laboratório, possam trazer uma boa formação ao engenheiro.

Queremos agradecer ao Prof. Sebastião L. Higliato que elaborou o cap. IV e colaborou na feitura dos caps. I e VI.

São Carlos, setembro 1975

o Autor.

## PREFÁCIO DA 3ª EDIÇÃO

Nesta 3ª edição procuramos atualizar a nomenclatura de tolerancias e ajustes no sentido de se uniformizar com a ABNT/TB-35 "nomenclatura de tolerâncias e ajustes". Procuramos também explicitar mais algumas definições relativas às características dos processos de medição.

O 2º fascículo "princípios de metrologia - roteiro de aulas práticas" já se encontra publicado por esta mesma seção.

são carlos , Agosto 1985

o Autor.

## INDICE

### CAP. I - Metrologia, Inspeção e Controle de Qualidade

1. Definições.....	1
1.1. Definição de Metrologia.....	1
1.2. Qualidade, Controle de Qualidade, Inspeção e Metrologia Industrial	1

### Cap. II - Padrões e Unidades de Medida

2.1. Histórico.....	3
2.2. Unidades de Comprimento.....	3
2.2.1. O sistema métrico.....	3
2.2.2. O Sistema Inglês ou Anglo-Saxão.....	4
2.2.3. Múltiplos e Sub-múltiplos.....	4
2.2.3.1. Múltiplos e Submúltiplos - Sistema métrico.....	4
2.2.3.2. Múltiplos e Sub-múltiplos - Sistema Inglês.....	4
2.3. Unidades e Ângulos.....	4
2.4. Outras Unidades.....	5
2.5. Medição. Erros.....	5

### Cap. III - Blocos Padrões

3.1. Generalidades.....	7
3.2. Blocos Padrões.....	7
3.3. Uso de Blocos Padrões.....	10

### Cap. IV - Instrumentos Comuns de Medidas

4.1. Escalas e Réguas.....	13
4.2. Trenas.....	15
4.3. Paquímetros.....	15
4.4. Micrômetros.....	23

### Cáp. V - Tolerâncias, Ajustes e Calibres

5.1. Generalidades.....	33
5.2. Sistema de Tolerância e Ajuste.....	33
5.2.1. Definições Básicas.....	33
5.2.2. Tolerâncias.....	34
5.2.3. Ajustes - Sistema de Ajustes.....	37
5.2.4. Aplicações.....	44
5.3. Comparadores ou Calibradores de Tolerância (Calibres).....	49
5.3.1. Tipos de comparadores.....	49

### Cap. VI - Comparadores com Amplificação

6.1. Generalidades.....	55
6.2. Comparadores de Amplificação Mecânica.....	55
6.2.1. Comparadores de Amplificação por Engrenagens.....	57
6.2.2. Comparadores de Amplificação por Alavança.....	58
6.2.3. Comparador com Amplificação por Lamina Tensionada.....	59
6.3. Comparadores de Amplificação Óptica.....	60
6.4. Comparadores de Amplificação Pneumática.....	61
6.5. Comparadores com Amplificação Eletrônica.....	65

Cap. VII - Instrumentos Opticos

7.1. Generalidades .....	68
7.2. Sistemas Opticos de Ampliação .....	68
7.3. Lupa .....	69
7.4. Projetor de Perfis .....	69
7.5. Microscópios de Oficina .....	72
7.6. Máquinas de Medir .....	74

"On ne connait bien un phénomène que lors qu'il est possible de l'exprimer en nombres"

(Não se conhece bem um fenômeno enquanto não seja possível exprimi-lo em números) (Lord Kelvin)

## 1 - Definições

### 1.1 - Definição de Metrologia

Metrologia é a ciência das medidas; em sua generalidade trata do estudo, a aplicação e desenvolvimento de todos os meios próprios para a medida de todas as grandezas mensuráveis que a inteligência humana consegue criar. Ela entra em todos os domínios da ciência.

No presente trabalho, porém trataremos da aplicação da Metrologia na indústria de construção mecânica, onde é usada especialmente na verificação de formas e dimensões de peças, de conjunto de peças e de máquinas.

### 1.2 - Qualidade, Controle de Qualidade, Inspeção e Metrologia Industrial:

Um automóvel, como qualquer outro conjunto mecânico, é composto de órgãos parciais tais como: motor, cambio, diferencial, carroçaria, etc. Cada um desses órgãos são compostos de elementos indivisíveis que convencionamos chamar de peças. O bom funcionamento deste automóvel e de suas partes pode ser descrito com conceito de "qualidade boa". Mas é necessário percebermos que existem dois tipos de qualidade: a qualidade de projeto e a qualidade de fabricação. O projeto de uma máquina (ou peça) é bom se ela funciona bem quando usada para os fins que foi projetada nas condições de trabalho previstas no projeto.

A qualidade de fabricação é boa se a máquina (ou peça fabricada) satisfaz todas as especificações do projeto da mesma.

Logo o objetivo principal de uma indústria é a produção de máquinas (ou peças) com qualidade de projeto e fabricação boas. Um projeto, uma vez atingida uma qualidade boa, requer relativamente poucas modificações e controle ao longo do tempo, enquanto que a fabricação exige sempre um controle ininterrupto.

Este controle é uma das bases fundamentais na organização racional da fabricação de peças; sua aplicação é para o industrial uma condição primordial, necessária para a boa aceitação do produto e uma garantia contra as reclamações dos usuários. Para o cliente é uma proteção contra defeitos e erros possíveis. A aceitação de um produto, sua constância, e a boa reputação de uma indústria, não pode adquirir-se senão por um rigoroso controle de cada fase da fabricação do mesmo, chamado Controle de Qualidade.

Para que um produto industrial, por exemplo uma máquina, possa ser controlada corretamente, é necessário especificar bem o produto, assim como suas condições de fabricação e controle. Isto é feito na Indústria, respectivamente, pelos Departamentos de: Projeto, de Processos de Fabricação e de Controle de Qualidade ou seus equivalentes, os quais veremos posteriormente com maiores detalhes.

Por enquanto, basta saber que o primeiro projeta e desenha as peças com as es



pecificações necessárias. O Departamento de Processos, de posse destes desenhos, indicará como a peça será fabricada e o último controlará a qualidade de Fabricação.

O que deve ser controlado em uma Peça? Como vimos as características da peça estão definidas por um desenho que indica geralmente:

- a) a natureza do material que constitui a peça, seu estado físico e suas características mecânicas.
- b) a forma geométrica da peça.
- c) as dimensões desta forma.
- d) a qualidade do acabamento superficial, em particular para as superfícies usinadas.

O item a) é relativo a funcionalidade da peça e diz respeito ao controle de defeitos de matéria prima, e que podem ser detectados através dos ensaios mecânicos, físicos e químicos, quando se recebe a mesma.

Os itens b, c e d referem-se a controle de defeitos de fabricação das peças, e são detectados por procedimentos de verificações sistemáticos. Estes são chamados de Inspeções. Existem vários tipos e formas de fazer inspeções. A inspeção sistemática é feita constantemente pelo inspetor de qualidade ou operador da máquina, a inspeção periódica ou por rotina é feita ciclicamente. Temos a inspeção global onde todas as peças de um lote são examinadas e ainda a inspeção por amostragem, onde só a amostra retirada é que sofre a inspeção e a qualidade do lote é inferida estatisticamente. Como e qual tipo de inspeção usar é uma pergunta a ser respondida pela parte de Estatística e Engenharia de Produção e não no presente estudo.

Os projetos e desenhos de peças preveem uma forma e dimensões ideais desejadas, mas que são difíceis de serem mantidas pelas seguintes razões principais:

- a) Defeitos de precisão provocadas pela própria máquina ferramenta, quer pela instalação deficiente, quer pelo desgaste ou vícios de construção.
- b) Deformações elásticas dos órgãos da máquina ou da peça por ocasião da operação.
- c) Fixação defeituosa da peça no dispositivo de fixação.
- d) Desgaste das ferramentas (em máquinas automáticas).
- e) Efeitos da dilatação térmica provocada pela energia calorífica liberada durante os processos.
- f) Vibrações auto-excitadas ocorridas durante a operação.
- g) Heterogeneidade e variações de propriedades do material da peça.

Valem as mesmas observações para a dificuldade na obtenção de superfícies "lisas". A conjunção destes e de outros fatores faz com que as superfícies obtidas tenham uma certa rugosidade.

Genericamente, então, o objetivo da inspeção numa indústria de construção mecânica, seria manter o material, forma, dimensões e rugosidade superficial das peças, dentro de limites aceitáveis previstos nos projetos e desenhos da mesma. Além das inspeções que garantem que a qualidade de fabricação seja controlada, podemos ter ainda testes do produto já acabado que irão dizer respeito à qualidade de projeto.

Na realidade o serviço de Depto. de Controle de Qualidade pode ser tão extenso e complicado quão amplas e genéricas são as duas definições de qualidade que demos. E para desempenhar estas funções adequadamente temos que contar com um setor de Metrologia bem equipado e com pessoal técnico de bom nível. Aliás o conhecimento de metrologia é importante praticamente para qualquer atividade do engenheiro dentro da indústria. Este é

## Cap. II - PADRÕES E UNIDADES DE MEDIDA

### 2.1 - Histórico

A necessidade de se adotar padrões e unidades de medida provém da própria necessidade de medir. Definida uma unidade de medida, que é uma idéia subjetiva, o padrão é a sua representação real que deve existir para ser tomado como referência. Na indústria e no comércio é preciso adotar-se unidades para regularizar a fabricação e as transações comerciais. Assim, a adoção de padrões é uma atitude bem antiga. Existe no museu do Louvre uma estátua da época caldeana (cerca 2500 A.C.) denominada "O arquiteto e a régua" onde se vê sobre os joelhos do "arquiteto", uma régua graduada. Em épocas também remotas já existiram outras unidades de medida como por exemplo para volume, área, tempo, etc, porém no caso de Metrologia Industrial interessa-nos particularmente as medidas de comprimentos e ângulos.

No início os padrões eram tomados geralmente de uma maneira empírica como por exemplo o "rod", medida inglesa definida como sendo "o comprimento total dos pés esquerdos alinhados dos 16 primeiros homens a deixarem a igreja no domingo de manhã". Estes tipos de padrões não tinham certas qualidades fundamentais como exatidão, universalidade e invariabilidade, levando então a confusões.

A história dos padrões tem uma característica de evolução. Na antiguidade tinhamos o côvado, o cúbito, a jarda antiga que foram se tornando obsoletos cedendo lugar a unidades de medida mais modernas e científicas. O grande salto foi dado em 1799, na França, quando foi instituído o sistema métrico, e continuamos a evoluir hoje e sempre que a tecnologia assim o exigir.

### 2.2 - Unidades de Comprimento

#### 2.2.1 - O Sistema Métrico

Em 22 de julho de 1799 foi instituído o metro como sendo a "40.000.000ª parte do meridiano terrestre passando pelo Observatório de Paris". Com esta medida foi feita uma barra de platina que foi considerada o padrão do metro e chamada "Metro dos Arquivos". Precisava-se então reproduzir esta unidade e difundir as reproduções. Usou-se um comparador de alavancas para comparar as réplicas com o padrão dentro de um erro de 0,01 mm que foi considerado "desprezível" na época. Posteriormente constatou-se que a medida do meridiano não oferecia a precisão necessária e o metro passou a ser "a distância entre as faces do Metro dos Arquivos, à 0° C".

Em 1875 foi assinada a Convenção do Metro por 20 países inclusive a Inglaterra e os Estados Unidos, onde se tentou a universalização do metro. Como resultado confeccionou-se trinta régua que seriam calibradas e o exemplar de nº 6, chamado M, mostrou-se ser o melhor. Em 1889 a Primeira Conferência Geral de Pesos e Medidas adotou o metro como "a distância entre os dois traços principais gravados na régua M", definição válida até hoje.

Modernamente com o desenvolvimento da física foi possível, em 1960, na XI Conferência Geral de Pesos e Medidas adotar a definição, recomendada pelo Comitê Internacional: "O metro é definido por meio da radiação correspondente à transição entre os níveis  $2p_{10} - 5d_5$  do átomo de criptônio 86 e igual, por convenção a 1.650.763,73 vezes o comprimento de onda desta radiação no vácuo". Esta definição ficou mais científica mas a unidade padrão é a mesma de 1889.



### 2.2.2 - O Sistema Inglês ou Anglo-Saxão.

As unidades antigas perduraram na Inglaterra até Elisabeth I que introduziu em 1855 o sistema baseado na jarda ("yard") e o padrão foi uma régua de bronze, da qual uma das cópias foi colocada à disposição dos Estados Unidos. Posteriormente este país adotou (1922). 1 jarda = 0,914398416 m, o que discordava ligeiramente da jarda inglesa. Em 1926 industriais de ambos países adotaram a chamada "jarda industrial". Em 1959 os Estados Unidos, Grã-Bretanha, Canadá, Austrália e União Sul Africana assumiram a jarda igual a 0,914400 m e é conhecida como "nova jarda industrial" e é usada tanto para fins científicos como industriais até hoje. Legalmente porém a jarda americana difere ligeiramente da jarda inglesa.

### 2.2.3 - Múltiplos e Sub-múltiplos.

Uma vez adotada uma unidade de medida, é necessário definir-se seus múltiplos e submúltiplos para tornar mais prática a sua comparação com grandezas maiores ou menores respectivamente que a padrão.

#### 2.2.3.1 - Múltiplos e Submúltiplos - Sistema Métrico.

Denominação	Símbolo		
kilometro	km	$10^3$	m
metro	m	1	m
decimetro	dm	$10^{-1}$	m
centimetro	cm	$10^{-2}$	m
milímetro	mm	$10^{-3}$	m
micrometro (micron)	$\mu$ m	$10^{-6}$	m
nanometro	nm	$10^{-9}$	m
Angstrom	Å	$10^{-10}$	m
picometro	pm	$10^{-12}$	m

#### 2.2.3.2 - Múltiplos e sub-múltiplos - Sistema Inglês.

Denominação	Símbolo	
milha	mile	5280/3 yd.
jarda	<b>yd</b>	1
pés	ft(')	1/3 yd.
polegada	inch(")	1/36 yd

O sistema ingles frequentemente usa sub-múltiplos da polegada na forma fracionária ( $\frac{1''}{2}$ ,  $\frac{3''}{32}$ , etc.), mas a notação decimal é mais fácil de ser operada (1,532").

As conversões polegada x milímetro constam da norma ABNT - NB - 91.

### 2.3 - Unidades de Ângulos.

O sistema sexagesimal é o mais usado e divide a circunferência em 360 partes iguais:

1 grau	( ° )	1/360 da circunferência
--------	-------	-------------------------

1 minuto	( ' )	1/360 do grau
1 segundo	( " )	1/60 do minuto.

O sistema baseado na subdivisão decimal da circunferência é de mais fácil manejo não sendo, porém, de uso corrente atualmente.

1 grado	( g )	1/400 da circunferência
1 novo minuto	( <sup>c</sup> )	1/100 do grado
1 novo segundo	( <sup>cc</sup> )	1/100 do novo minuto.

#### 2.4 - Outras unidades.

Como dissemos anteriormente a Metrologia se ocupa também de outras medidas além das lineares e angulares. Portanto utiliza-se outras unidades de medida tais como de temperatura, volume, massa, força, velocidade, pressão, etc.

Nestes casos, em se tratando de Metrologia Industrial normal, teríamos apenas que dizer que se usam as unidades de medida convencionais e de preferência constituindo um sistema coerente (C.G.S, M.K.S, etc.).

#### 2.5 - Medição. Erros.

Medir uma grandeza física significa compará-la com a unidade de medida, e a medida da grandeza é a relação quantitativa entre as duas coisas. Quando medimos o comprimento de uma mesa usamos uma escala graduada na unidade de medida (metro por exemplo) e se dissermos que a medida do comprimento é 0,82 m, significa que aquele comprimento "cabe 0,82 vezes" na unidade de medida.

Existem dois tipos de medição:

##### a) Medição direta -

Quando comparamos a grandeza diretamente com a unidade de medida e suas divisões como no exemplo acima.

##### b) Medição indireta ou comparativa -

Se tomarmos dois cilindros com diâmetros: 25,02 mm e 24,95 mm e ao tentarmos introduzi-los num determinado furo o primeiro não entrar e o segundo entrar, diremos que o diâmetro do furo é menor que 25,02 mm e maior que 24,95. Isto é uma medição indireta, isto é, comparamos a grandeza não com a unidade de medida, mas com corpos de dimensão conhecida. Numa medição indireta não se determina a medida real da grandeza.

Medição Diferencial ou Relativa - Vem a ser uma medição direta especial, onde não nos interessa a medida real da grandeza mas sim aquela tomada a partir de um certo ponto tomado como referência. É o caso de se medir o paralelismo das faces de um paralelepípedo: não estaremos interessados na medida da altura do mesmo, mas quanto uma face se desvia da posição paralela em relação à outra face.

Quando efetuamos medidas diretas sempre nos defrontamos com erros, sendo útil recordarmos algumas definições:

Erro - diferença entre o valor real e o valor medido.

Erros sistemáticos - fixada uma maneira de medir uma grandeza, os erros sistemáticos aparecerão em todas as medidas. Podem ser: erro de calibração, do operador (vício), erro da maneira de medir e erro provindo do aparelho de medida.

Erros acidentais ou aleatórios - Podem ser: erro de julgamento do operador, erro

Os erros aleatórios podem ser avaliados de acordo com o desvio padrão calculado a partir de um universo de medidas.

RESOLUÇÃO - É a menor entrada que pode ser aplicada a um instrumento que resulte numa saída visível na leitura. Num voltímetro, por exemplo, é o menor valor de tensão a ser aplicado que resulte num deslocamento visível do ponteiro.

ACURACIDADE OU EXATIDÃO - É o quanto a graduação do instrumento se aproxima do padrão real. Um instrumento acurado ou exato deve possibilitar medições com mínima quantidade de erros sistemáticos e aleatórios.

PRECISÃO - Quando tomamos uma série de medidas de uma mesma grandeza por um mesmo processo, teremos associado a esta série um desvio padrão. Um instrumento é dito mais preciso que outro quando proporciona menor desvio padrão, ou seja, basta haver repetibilidade nos resultados para que o instrumento seja preciso. Um instrumento pode fornecer resultados com erros sistemáticos e simultaneamente ser preciso. Por exemplo: um paquímetro, em 10 medidas, forneceu o resultado 10,4 mm mas o valor real é 11,4 mm. Este instrumento possui precisão  $< 0,1$  mas a exatidão é de 1 mm.

Pode-se concluir que um instrumento pode ser preciso e não ser acurado mas um instrumento acurado, ou exato, sempre deverá ser preciso.

É bom notar ainda que o sucesso de uma medida depende então de vários fatores:

- condições ambientais (temperatura e pressão constante por exemplo).
- habilidade do operador.
- qualidade do aparelho de medida.
- sistema de medida (exemplo: medir o peso específico pelo sistema de medir peso e volume).

LEITURA - É a menor divisão do instrumento.

SENSIBILIDADE - É a capacidade do equipamento de medida de acusar uma variação dinâmica da grandeza medida. No caso de um voltímetro é a capacidade de indicar prontamente uma variação de voltagem no circuito onde está conectado.

Precisão

Repetibilidade

Acuracidade

Resolução

## Cap. III - BLOCOS PADRÕES

### 3.1 - Generalidades

Um fator essencial para a execução de medidas industriais de precisão é a exatidão dos padrões industriais. É necessário que numa determinada indústria existam padrões fiéis àqueles aceitos internacionalmente, caso contrário ela correria o risco de produzir uma peça com dimensão 25,002 mm pensando ter obtido a dimensão 25.000 mm.

Em fins do século XIX os engenheiros mecânicos já faziam montagens de precisão mas todas pelo método de ajustagem. Um sistema eixo-bucha era ajustado aos pares não havendo portanto intercambiabilidade, fato inaceitável em nossos dias. Para que a intercambiabilidade (cuja definição veremos no cap. V) exista é necessário que a mesma peça feita em lugares diferentes, tenha as dimensões diferindo dentro de limites aceitáveis e isto também só é possível se os fabricantes tiverem padrões nos quais possam confiar.

Êstes padrões, elos de ligação entre o padrão universal e a indústria, são os blocos padrões (em alguns casos réguas padrões) para dimensões lineares e os padrões de ângulos. Neste capítulo veremos só os blocos padrões, deixando os padrões de ângulos para o cap. VIII.

### 3.2 - Blocos Padrões

A I guerra mundial exigiu que se fabricassem grande quantidade de blocos padrões para assistir a produção de armamentos. Isto propiciou um grande desenvolvimento na técnica da fabricação de blocos padrões da qual nos utilizamos ainda hoje.

Atualmente o material usado na fabricação de blocos padrões é o aço liga temperado, e ainda o carboneto de tungstênio (metal duro) ou de cromo em casos específicos. A fabricação é bastante esmerada passando por uma retificação inicial, alívio de tensões, retificação de acabamento, lapidação e controle dimensional com aparelhos especiais que funcionam por meios interferométricos. Os blocos padrões são fornecidos em jogos que permitem múltiplas combinações. O de 112 peças por exemplo permite dimensões de 3 a 100 mm com incrementos de 0,001 mm.

Este jogo inclui (fig. 3.1):

- 1 bloco de 1,0005 mm
- 9 blocos de 1,001 a 1,009 com intervalos de 0,001 mm
- 49 blocos de 1,01 a 1,49 com intervalos de 0,01 mm
- 49 blocos de 0,5 a 24,5 com intervalos de 0,5 mm
- 4 blocos de 25 a 100 com intervalos de 25 mm

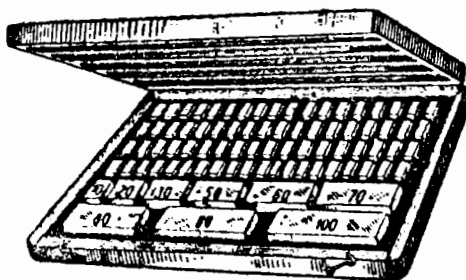


Fig.3.1- Caixa de blocos padrões

TABELA - III.2

BLOCOS PADRÃO MÉTRICOS NORMA DIN 861										
Erro máximo permissível (em microns)										
Dimensão do Bloco	Classe 3		Classe 2		Classe 1		Classe 0		Classe 1/2 0	
	fm	fb	fm	fb	fm	fb	fm	fb	fm	fb
0-5	1,0	0,5	0,5	0,25	0,20	0,15	0,10	0,1	0,05	0,05
10	1,2	0,5	0,6	0,25	0,25	0,15	0,12	0,1	0,06	0,05
20	1,4	0,5	0,7	0,25	0,30	0,15	0,14	0,1	0,07	0,05
30	1,6	0,5	0,8	0,25	0,35	0,15	0,16	0,1	0,08	0,05
40	1,8	0,5	0,9	0,25	0,40	0,15	0,18	0,1	0,09	0,05
50	2,0	0,5	1,0	0,25	0,45	0,15	0,20	0,1	0,10	0,05
60	2,2	0,5	1,1	0,25	0,50	0,15	0,22	0,1	0,11	0,05
70	2,4	0,6	1,2	0,3	0,55	0,15	0,24	0,1	0,12	0,05
80	2,6	0,6	1,3	0,3	0,60	0,2	0,26	0,1	0,13	0,05
90	2,8	0,6	1,4	0,3	0,65	0,2	0,28	0,1	0,14	0,05
100	3,0	0,6	1,5	0,3	0,70	0,2	0,30	0,1	0,15	0,05

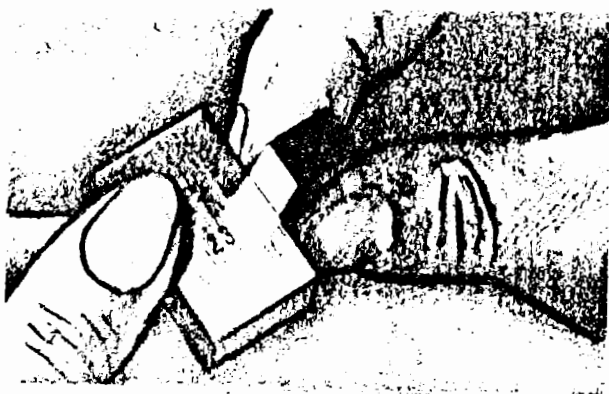
fm = Cota                      fb = Planicidade

BLOCOS PADRÃO EM POLEGADAS NORMA BSS 888												
Erro Máximo permissível em .000 001"												
Dimensão do Bloco	C L A S S E S											
	Oficina			Inspeção			Calibração			Referência		
	L	PI	P	L	PI	P	L	PI	P	L	PI	P
até 1"	+10	10	+10	+7	5	5	±5	3	3	±2	3	3
	-5			-3								
até 2"	+20	10	10	+10	5	5	±10	3	4	±4	3	4
	-10			-5								
até 3"	+30	10	15	+15	7	7	±15	4	7	±6	4	7
	-15			-8								
até 4"	+40	10	15	+20	7	7	±20	4	7	±8	4	7
	-20			-10								

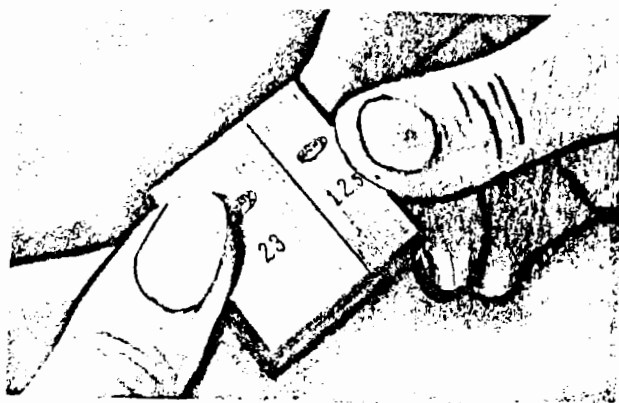
L = Cota                      PI = Planicidade das faces de medição  
P = Paralelismo entre as faces de medição

### 3.3 - Uso de Blocos Padrões

Na maioria das vezes usamos os blocos padrões em conjunto para atingirmos a medida desejada. Isto é possível, porque devido à precisão com que são fabricados, eles tem a propriedade da "grudar" sob o efeito da pressão atmosférica ao se eliminar o ar existente entre as duas faces.



União dos blocos padrão, primeira posição depois da limpeza



União dos blocos padrão, segunda posição com ligeira pressão

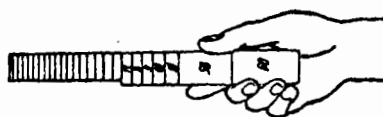


Fig.3.2- União de blocos padroões

Este uso traz também desgaste e portanto se nota que o uso de blocos padrões deve ser feito com bastante cuidado como:

- uso em ambientes controlados (especialmente as classes mais precisas)
- evitar desgastes, oxidação e **riscos**
- evitar rebarbas, quedas e batidas.
- manter os blocos limpos durante o uso e protegidos com vaselina quando estocados

Além de todos estes cuidados é necessária uma inspeção periódica do jogo inteiro e eventual passagem do mesmo para uma classe inferior, quando se observar desgaste, colocando-se outro em seu lugar. É importante observar que cada jogo ao ser adquirido, vem acompanhado de uma tabela de calibração que mostra os desvios do cota nominal de cada bloco do **jogo** a  $20^{\circ}$  C, sendo a precisão na determinação da cota da ordem 0,00025 mm.

Os usos típicos de bloco padrões e seus acessórios são vistos nas figuras a seguir.

São usados para:

- a) medidas diretas - se quisermos medir um rasgo num eixo, por exemplo, trataremos de obter o conjunto de blocos que "entre" no mesmo sob a ação do próprio peso.
- b) como referência para calibrar outros instrumentos.
- c) juntamente com seus acessórios (v. figs. seguintes) para controlar alturas, diâmetros, para se fazer traçagens (v. cap. XII) etc.
- d) outros usos em geral sempre que se precisar "realizar" (gerar) uma dimensão com confiança em sua medida.

Como observação final poderíamos dizer que o custo dos blocos padrões faz com que seu uso em operações de Oficina seja criterioso, analisando-se sempre a possibilidade de utilizar um gabarito ou calibrador em seu lugar.

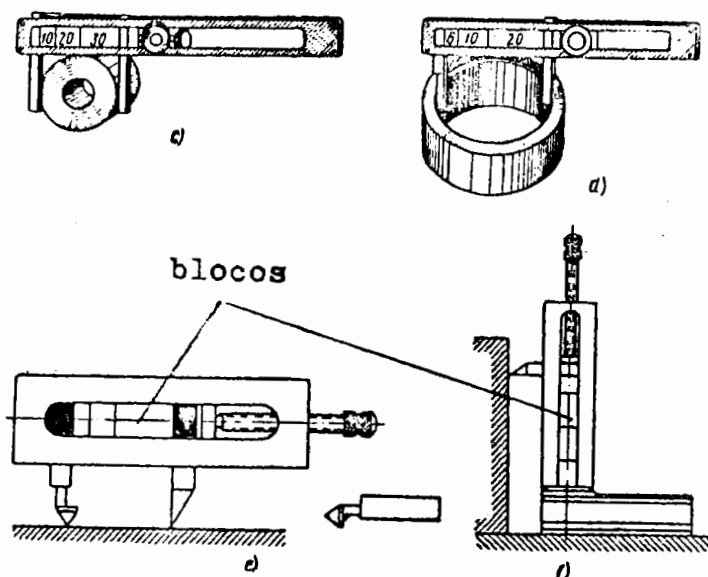
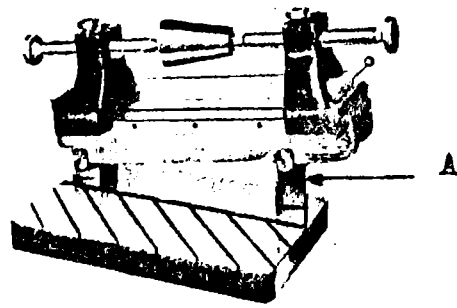
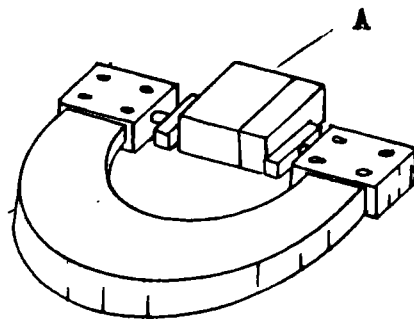


Fig.3.3- Uso de Blocos padrões com acessórios



a) mesa seno



b) regulegem de calibradores

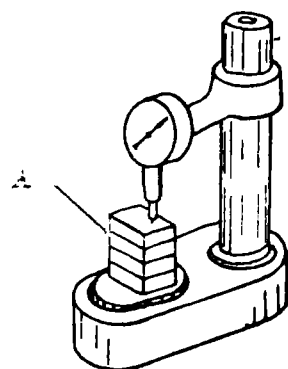
c) regulagem de comparadores para  
medidas diretas

Fig.3.4- Usos de blocos padrões . Letras A indicam montagem de blocos



## Cap. IV - INSTRUMENTOS COMUNS DE MEDIDAS

Muitos instrumentos e dispositivos existem com a finalidade de medir. Alguns são simples e baratos, outros são mais complicados e caros. Cada um tem sua aplicação de finida.

Ilustraremos neste capítulo os instrumentos de medição direta mais comuns.

### 4.1 - Escalas e Réguas

A escala ou régua graduada é um instrumento, geralmente feito de chapa de aço, que pode apresentar graduações tanto no sistema métrico (decímetro, centímetro e milímetro) como no sistema inglês (polegada e subdivisões), (Fig. 4.1)

Aqui cabe fazer uma diferenciação entre escala e régua, já que uma e outra não são a mesma coisa. Uma régua é um instrumento de aço ou ferro fundido utilizado para riscagem, traçagem em geral, para controle de superfícies, ou medida e transporte de dimensões lineares. Nos tres primeiros casos, pode não ser graduado. Porém quando utilizada para medir será sempre graduada nas medidas reais indicadas. A escala pode ser similar na aparência a uma régua, já que as vezes tem o mesmo formato, porém sua superfície apresenta graduações que podem ser maiores ou menores que as medidas reais indicadas. As réguas são geralmente utilizadas nas oficinas mecânicas ou indústrias para medir peças. As escalas possuindo graduações maiores ou menores que as reais são geralmente usadas nas salas de desenho ou secções técnicas (Fig. 4.2)

As réguas utilizadas nas oficinas, apresentam graduações que permitem ler claramente até 0,5 mm ou então até 1/32 da polegada.

Encontra-se réguas de aço nos seguintes comprimentos: 100 mm, 150 mm, 300 mm, 500 mm e 1500 mm, ou 4", 6", 9", 12", 18", 24" até 60".

Outros tipos de réguas para fins especiais podem ser vistos nas Fig. 4.3, 4.4 e 4.5. A escala especial de contração ou "metro de fundidor" é uma escala com gravações maiores que as reais possibilitando prever, na construção de modelos de fundição, a contração sofrida pelo material fundido que se solidifica.

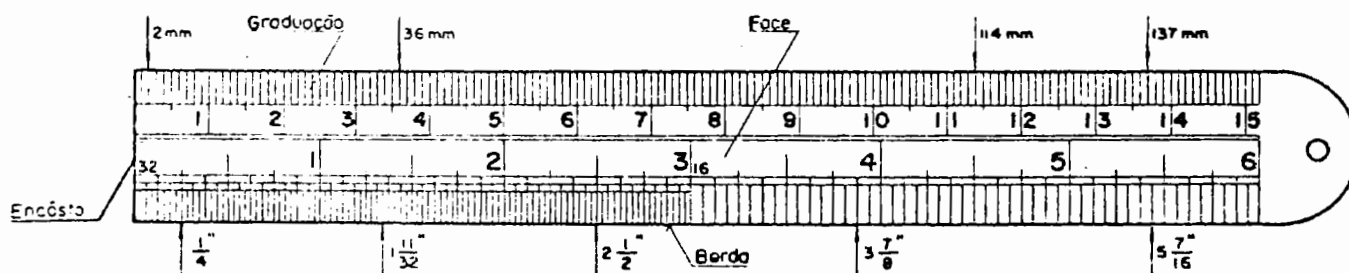


Fig. 4.1 - Régua gravada em milímetros e polegadas.



Fig. 4.2 - Escalas utilizadas em secções de desenho.

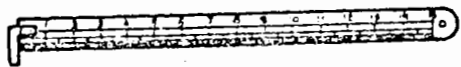


Fig. 4.3 - Régua de encôsto interno



Fig. 4.4 - Régua de profundidade

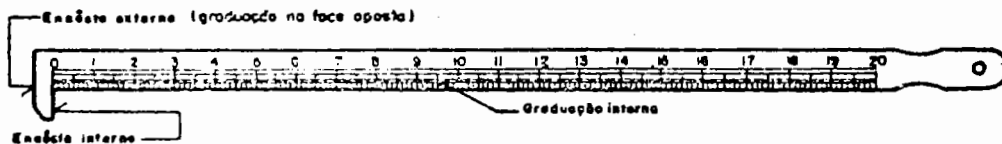
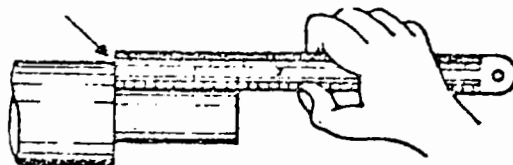
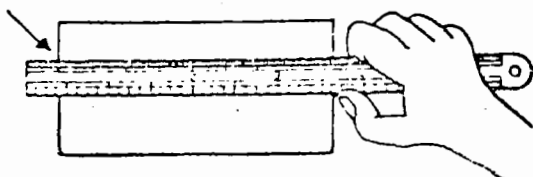


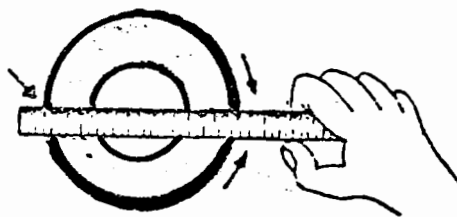
Fig. 4.5 - Régua de dois encostos (usada pelo ferreiro)



a - Medição de comprimento com face de referência.



b - Medição de comprimento sem encôsto de referência.



c - Medição de diâmetro.

Fig. 4.6 - Utilização de régua comuns.

As Fig. 4.6, a, b e c mostram algumas utilizações das régua comuns.

Mede-se neste caso, a partir do encôsto da régua. Este deve ser bem ajustado na face do ressalto da peça. Esta face deve estar bem limpa.

No caso das figs. 4.6 - a e b, coincide-se o traço de 1 cm com o extremo da dimensão a medir. Da leitura, subtrai-se depois 1 cm. No indicado pela fig. 4.6 b, deve-se ter o cuidado para não inclinar a régua. No indicado pela fig. 4.6 c, gira-se a régua nos sentidos indicados pelas flechas, até encontrar a maior medida.

Quando se faz a medição em polegada, deve-se coincidir o traço de 1".

As Fig. 4.7, a, b, c mostram a utilização das régua especiais.

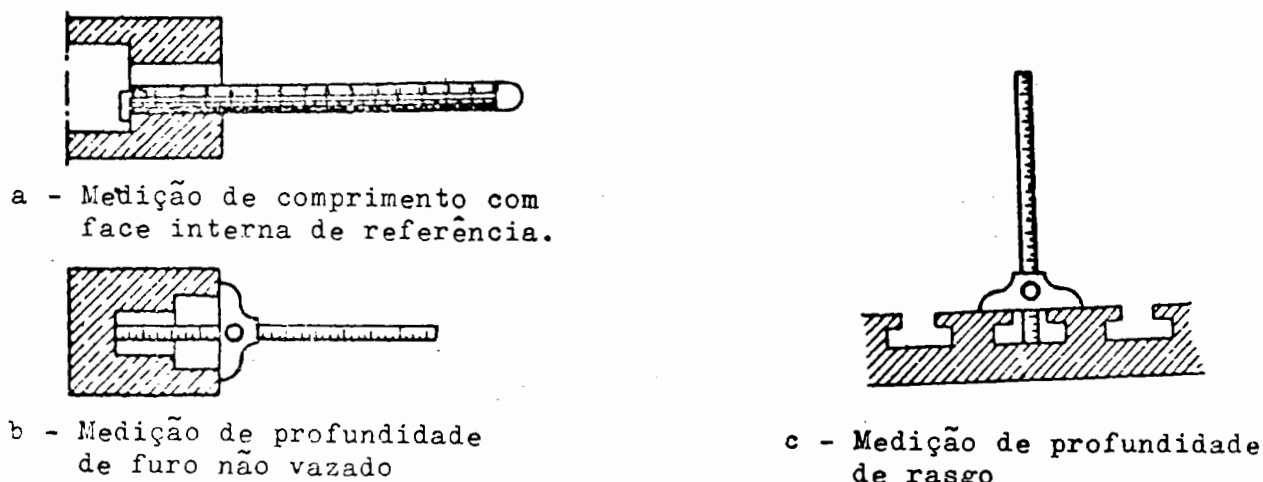


Fig. 4.7 - Utilização de régua especiais.

Uma escala (ou régua) para ser considerada de boa qualidade deve apresentar as seguintes características:

- a) ser de aço inoxidável e indeformável.
- b) ter graduação uniforme.
- c) apresentar traços finos, profundos e salientados em preto.

#### 4.2 - Trenas -

São fitas graduadas feitas de aço ou de lona, e podem ser encontradas em comprimentos que vão de 1 m até 50 m. As graduações podem ser no sistema métrico e no sistema inglês, e sua acuracidade depende da finalidade da mesma. Para trenas pequenas podemos ter graduações em milímetros e para trenas grandes graduações em centímetros ou maiores.

#### 4.3 - Paquímetros -

A régua e os diversos instrumentos de medição relacionados com ela se empregam nas oficinas para medições não muito acuradas, isto é, aquelas medidas em que pequenas variações não prejudicam a peça. Para estas dimensões se permite correntemente variações na medida exigida de  $\pm 1/16''$  ou  $\pm 0,25\text{mm}$ . Entretanto na indústria mecânica necessitou-se de peças com medidas muito mais acuradas.

A solução desse problema foi dada pelo agrimensor francês Pierre Vernier (1580-1637), que inventou um método de subdividir em partes menores uma determinada divisão. Este princípio é chamado de Vernier ou Nonio sendo este último nome dado em memória do cosmógrafo português Pedro Juan Nunes (1492-1577), que inventou um dispositivo para medir frações de ângulos.

A Fig. 4.8 mostra a esquematização ampliada da parte de um Paquímetro onde se vê a escala principal graduada em milímetros (B) e uma outra escala chamada Nonio ou Vernier que desliza sobre a anterior. A graduação do nonio é feita tomando-se um comprimento igual a 9 divisões da escala principal e dividindo-se em 10 partes iguais. Se a escala principal foi dividida em milímetros, então cada divisão do nonio corresponderá a  $9/10$  mm ou 0,9 mm.

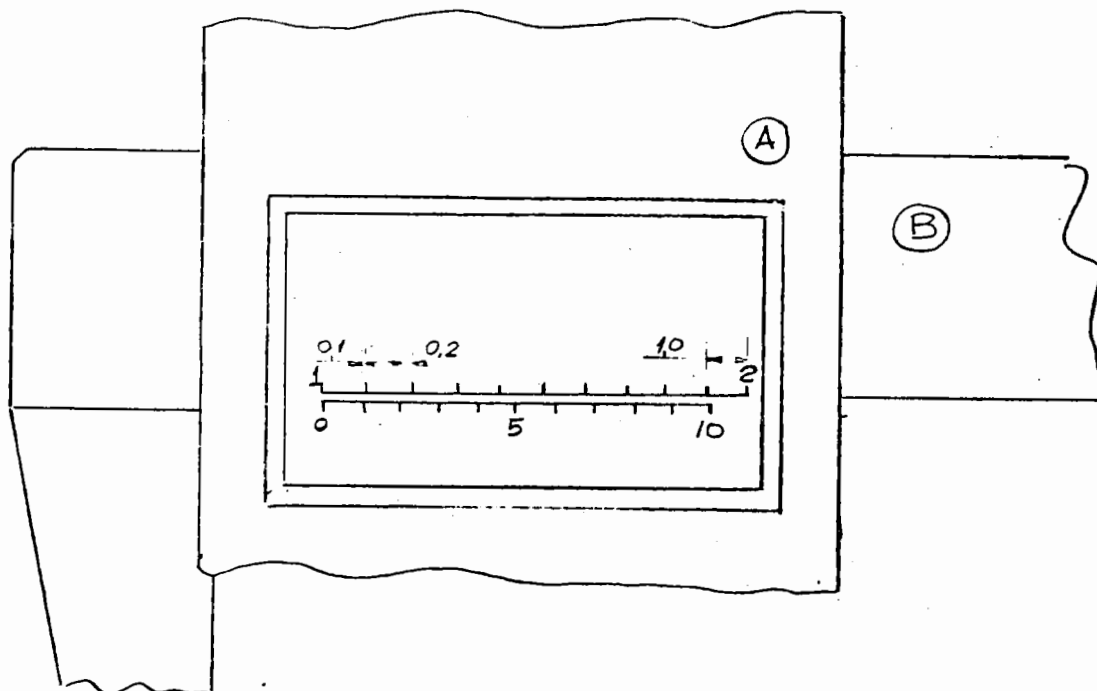


Fig. 4.8 - Esquematização de um Paquímetro onde se vê o Cursor ou Nonio A e a escala principal B. O comprimento entre 1 e 2 corresponde a 1cm ampliado.

Quando o zero do nonio coincidir com o número um da escala B (Fig. 4.8) a diferença de comprimento entre as duas primeiras divisões é de 0,1 mm, a diferença de comprimento entre as duas segundas divisões é de 0,2 mm, analogamente a diferença de comprimento entre as terceiras divisões é 0,3 mm, assim sucessivamente a diferença de comprimento vai aumentando a medida que aumenta o número de divisões de maneira que a diferença de comprimento entre as décimas divisões é de 1,0 mm. Logo se o "zero" do nonio se distanciar X décimos da posição 1 da escala, os X<sup>o</sup> -ésimos traços vão se coincidir porque X décimos era a distancia que os separava. Com esse artifício nós conseguimos dividir o milímetro em décimos de milímetro e podemos ler medidas com essa acuracidade sem muito esforço visual, o que não era possível com uma escala comum.

As Figs. 4.9 e 4.10 mostram a escala principal e o nonio de um paquímetro e podemos ler respectivamente 59,4 mm e 1,3 mm.

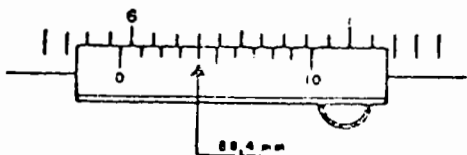


Fig. 4.9 - Indica 59,4 mm  
(Graduações ampliadas).

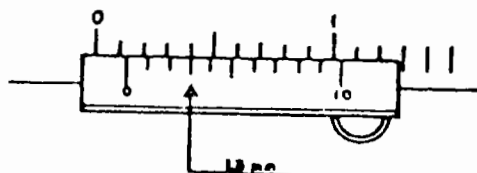


Fig. 4.10 - Indica 1,3 mm  
(Graduações ampliadas).

De uma maneira geral se a escala principal apresentar divisões de comprimento  $l$  e sobre ela corre um nonio que corresponde a  $n - 1$  divisões da escala, porém divididas em  $n$  divisões iguais de comprimento  $l'$  teremos:

$$n l' = (n - 1) l$$

$$n l' = n l - l$$

$$l = n(l - l')$$

$$(l - l') = \frac{l}{n} = \text{acuracidade do instrumento.}$$

Desse modo se  $l = 1$  mm e  $n = 10$  a acuracidade do paquímetro é de 0,1 mm, como no caso acima.

Podemos encontrar paquímetros com as seguintes acuracidades:

$$\pm \frac{l}{n} = 0,1 ; 0,05 ; 0,04 ; 0,02 \text{ mm}$$

Para um paquímetro de acuracidade igual a 0,02, tomaríamos  $n = 50$ . Como  $l = 1$  mm, aplicando a fórmula acima.

$$50 l' = (50 - 1) l$$

$$50 l' = 49$$

isso quer dizer que tomamos 49 mm da escala principal e dividimos no nonio em 50 partes iguais

$$l' = \frac{49}{50}$$

$$l - l' = 1 - \frac{49}{50} = \frac{50 - 49}{50}$$

$$l - l' = \frac{l}{50} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ mm que é a acuracidade do instrumento.}$$

A Fig. 4.11 exemplifica uma escala principal e um nonio para medidas com acuracidade de 0,02 mm.

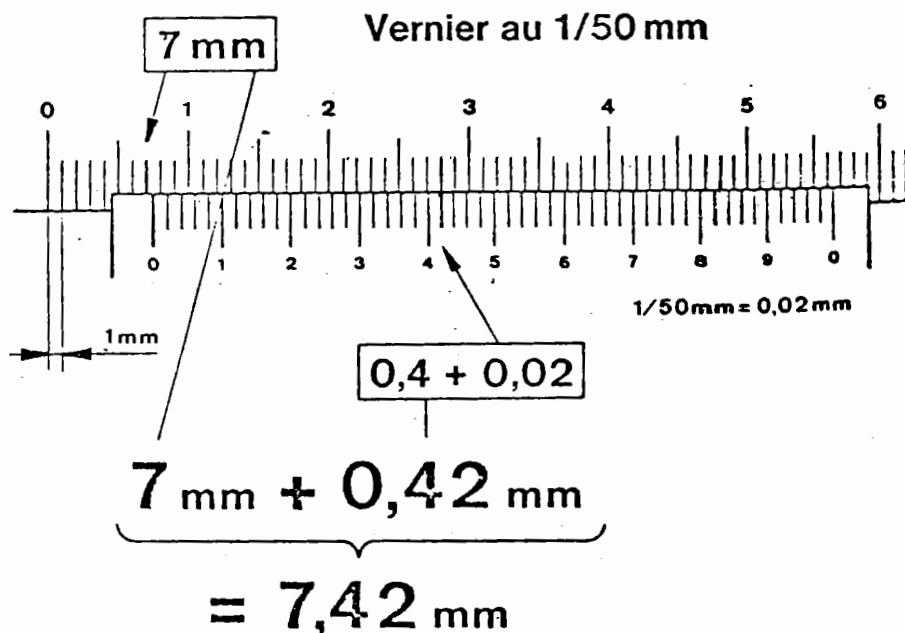


Fig. 4.11 - Nonio para medida com acuracidade de 0,02 mm.  
A medida indicada é 7,42 mm.

Visto o funcionamento do Nonio podemos definir agora o que seja um Paquímetro. Paquímetro - é um instrumento de medidas lineares que utiliza o nonio, sendo bastante usado na construção de máquinas. Com um paquímetro pode se medir comprimentos com uma acuracidade de até 0,02 mm.

A Fig. 4.12 apresenta o esquema de um paquímetro de acuracidade 0,1 mm com a nomenclatura de suas partes.

A Fig. 4.13 mostra detalhes do paquímetro:

- |  |   |
|--|---|
| 1) Bico móvel do cursor                  |   |
| 2) Nonio ou Vernier em milímetro         |   |
| 3) Fixação do Vernier                    |   |
| 4) Botão de acionamento                  |   |
| 5) Fixação do guia                       |   |
| 6) Apalpador de profundidade             |   |
| 7) Nonio ou Vernier em polegada          |   |
| 8) Régua                                 | 15) Escala principal                      |
| 9) Eixo do regulador de folga do cursor  | 16) Vernier ou Nonio inferior (milímetro) |
| 10) Cabeça do eixo                       | 17) Botão de acionamento                  |
| 11) Guia                                 | 18) Cursor                                |
| 12) Regulagem da pressão da régua        | 19) Apalpador de profundidade             |
| 13) Parafuso de fixação do Nonio         | 20) Régua                                 |
| 14) Vernier ou nonio superior (polegada) | 21) Fixação da guia.                      |

Se observarmos a figura vemos que a haste apresenta duas escalas gravadas uma na parte inferior em milímetros e outra na parte superior em polegadas. Esse tipo de instrumento pode medir no sistema métrico, como já vimos anteriormente, ou no sistema inglês. O sistema inglês é muito útil quando se trata de desenhos de peças ou equipamentos de origem estrangeiras embora em nosso país o sistema adotado seja o sistema métrico.

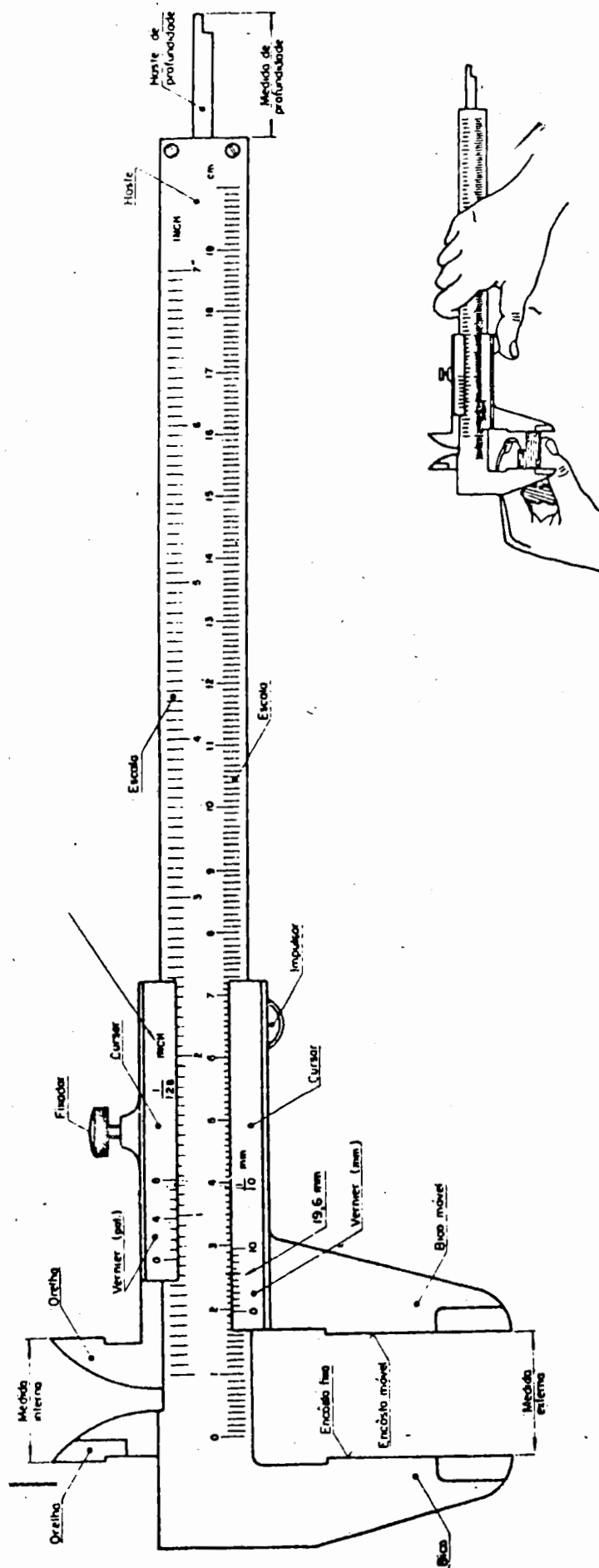


Fig. 4.12 - Paquímetro com vernier de 1/10 mm  
(Desenho em tamanho natural)

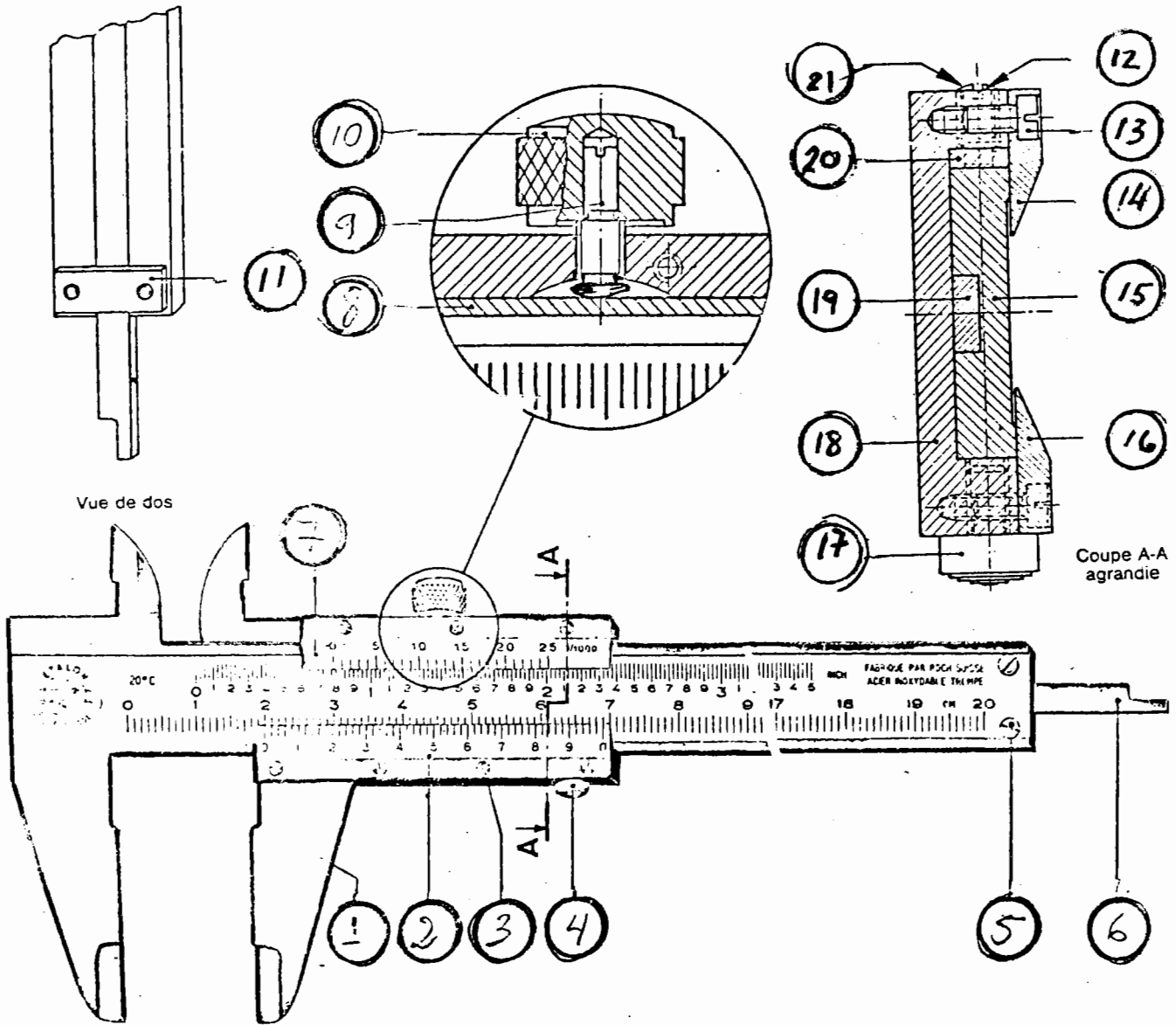


Fig.4.13 - Mostra detalhes do Paquímetro



O nonio no sistema inglês pode funcionar com a escala em frações de polegadas ou sistema decimal.

Como já foi dito anteriormente a régua nos possibilita leitura de no máximo  $1/16''$ . Estudaremos a seguir o sistema de nonio que nos permite ler até  $1/128''$ .

Neste caso o nonio tem uma graduação móvel em  $1/128''$ . A escala principal do paquímetro vem graduada em  $1/16''$ . Se tomarmos o comprimento correspondente a  $7/16''$  no nonio e o dividirmos em 8 partes iguais, teremos aplicado a fórmula seguinte:

$$n l' = (n - 1) l$$

onde  $n = 8$

$l'$  = desconhecido

$l = 1/16''$  de polegada

teremos que: 
$$l - l' = \frac{l}{n} = \frac{1/16}{8} = \frac{1}{128}''$$

isto é, quando se faz coincidir o início da escala do nonio com a escala principal a diferença entre as duas primeiras graduações  $l - l' = 1/128''$ . A diferença entre as duas segundas graduações é de  $2/128'' = 1/64''$ , assim sucessivamente a diferença entre a 8ª divisão da escala e a última divisão do nonio será de  $8/128''$ . A Fig. 4.13 esclarece essa explicação.



Fig. 4.14 - Vernier de  $1/128''$   
(Desenho ampliado)



Fig. 4.15 - Leitura  $1 \frac{29}{128}''$   
(Desenho ampliado)

Na fig. 4.15 a leitura é  $1 \frac{29}{128}''$ , porque o zero do Vernier está entre  $1 \frac{3}{16}''$  e  $1 \frac{4}{16}''$  e a coincidência se dá no 5º traço. Então:

$$1 \frac{3''}{16} + \frac{5''}{128} = 1 \frac{24''}{128} + \frac{5''}{128} = 1 \frac{29''}{128}$$

A Fig. 4.16 mostra como é o procedimento para leitura em polegadas decimais.

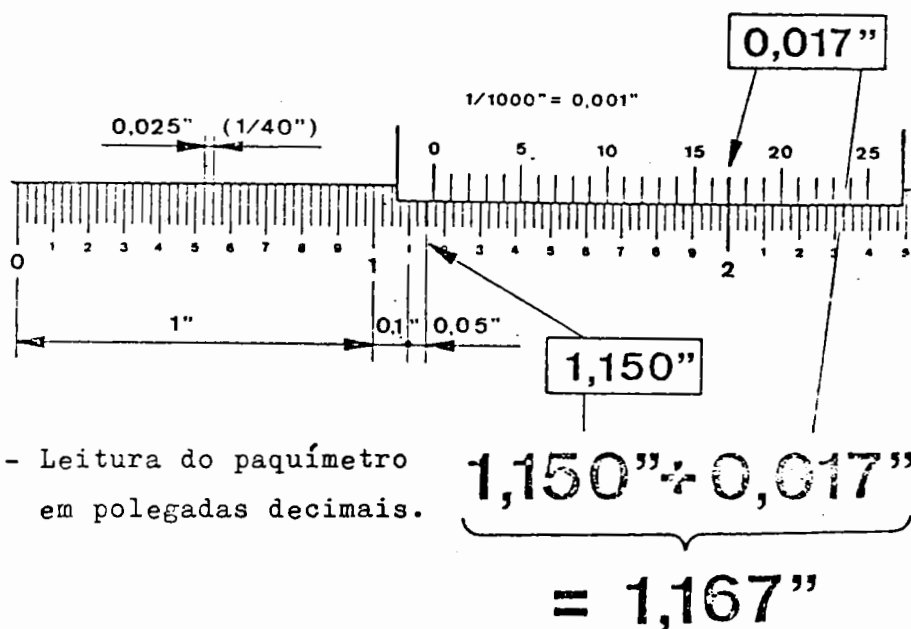


Fig. 4.16 - Leitura do paquímetro em polegadas decimais.

Os paquímetros podem apresentar comprimento máximo de 150 mm (6"), 300 mm (12") ou maiores em casos especiais.

O paquímetro em sua apresentação normal serve para medidas gerais externas, internas (utilizando as orelhas) e de profundidade (utilizando a haste). Para finalizar é bom lembrar que podemos aplicar o princípio do nonio a vários outros instrumentos especiais como por exemplo aquele da Fig. 4.7, o que se vê na Fig. 4.17.

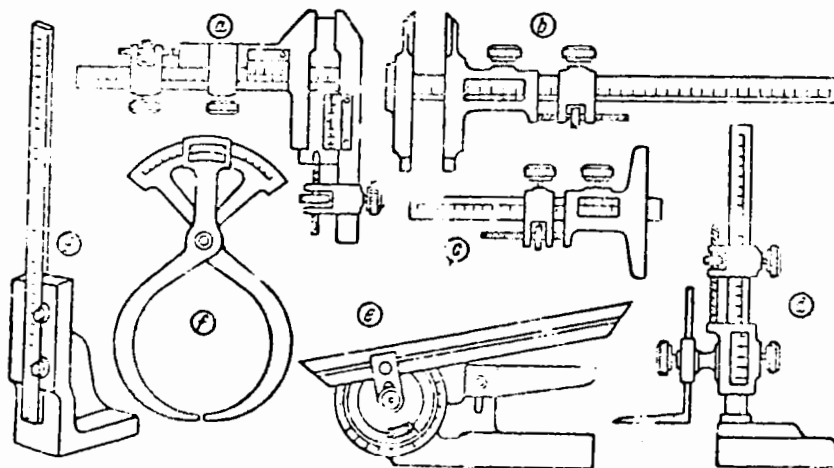


Fig.4.17- Instrumentos de medida con nonio.

(a) dentímetro para medir el espesor de los dientes; (b) calibre para medir centros y espesores; (c) calibre de profundidad; (d) gramil para medir y trazar; (e) goniómetro; (f) compás de espesor con nonio; (g) altímetro para trazador.

#### 4.4. - MICROMETROS

Os micrometros são instrumentos de medida que permitem medir, por leitura direta as dimensões reais de uma peça com uma acuracidade de 1 a  $10\ \mu\text{m}$ . Dai a razão do nome "micrometro", que advem da sua capacidade de medir dimensões com acuracidade de microns.

A invenção do micrometro surgiu da necessidade, que tiveram os astrónomos do século XVII, de um instrumento de medição que pudesse ser utilizado acoplados com telescópios. O seu princípio de funcionamento é o do sistema parafuso e porca, razão do seu lento desenvolvimento, pois a usinagem de roscas com precisão só foi possível com o advento das máquinas operatrizes, o que aconteceu no final do século XVIII. Antes as roscas eram feitas manualmente com o auxílio de limas.

Assim, em uma porca fixa, quando um parafuso gira de uma volta o seu avanço longitudinal será igual ao passo da rosca.

Por exemplo se a rosca tem passo igual a 1 mm ao girarmos a porca de 1/2 volta a ponta do parafuso se deslocará longitudinalmente de 0,5 mm. Se girarmos a porca de 1/4 a ponta do parafuso se deslocará de 0,25 mm. Se girarmos a porca de 1/8 de volta a ponta do parafuso se deslocará de 0,125 mm. O raciocínio pode prosseguir até se dar o caso de girarmos a porca de 1/100 de volta a ponta do parafuso se deslocará de 0,01 mm, ou seja 1 centésimo de milímetro. Com esse artifício Jean Louis Palmer conseguiu um dispositivo que pode acusar deslocamentos até de 0,01 mm; acuracidade essa não conseguida com os paquímetros. Em homenagem ao seu autor o dispositivo chamou-se "Palmer".

O micrometro moderno aproveita esse principio para medir peças com a acuracidade de de 0,01 mm.

A Fig 4.18 mostra o micrometro com a nomenclatura de todas suas partes. O parafuso micrométrico é de passo 0,5 mm.

O micrômetro e seus componentes:

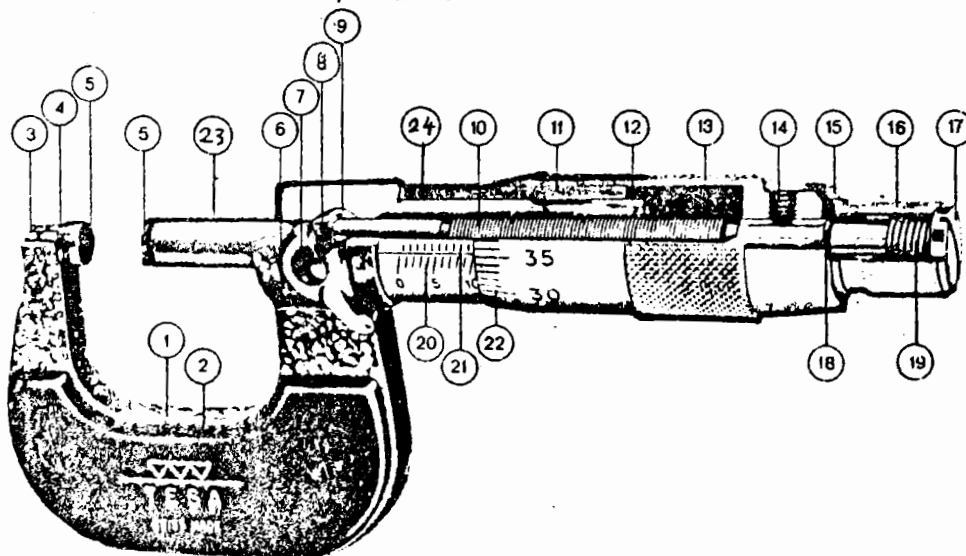


Fig.4.18- Partes de um micrometro

Um micrometro moderno compõe-se de mais de 20 peças distintas, cujas características e funções serão descritas a seguir.

Micrômetro em corte (fig)

- |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Arco                             | 13. Tambor de medição               |
| 2. Plaqueta de isolamento           | 14. Parafuso de fixação e regulagem |
| 3. Pino de fecho                    | 15. Tampa                           |
| 4. Ponta fixa (bigorna)             | 16. Capa da fricção                 |
| 5. Placa de metal duro              | 17. Parafuso da fricção             |
| 6. Alavanca da trava                | 18. Anel elástico                   |
| 7. Parafuso da trava                | 19. Mola da fricção                 |
| 8. Mola de lamina                   | 20. Divisão em mm                   |
| 9. Bucha da trava                   | 21. Divisão 0,5 mm                  |
| 10. Parafuso micrométrico           | 22. Divisão 0,01 mm                 |
| 11. Cilindro com escala milimétrica | 23. Haste                           |
| 12. Porca de regulagem              | 24. Bainha                          |

No caso da Fig.4.19 o passo do parafuso é de 0,5 mm, de modo que a cada volta o parafuso avança 0,5 mm. Na superfície externa da porca (bainha) vão gravadas divisões

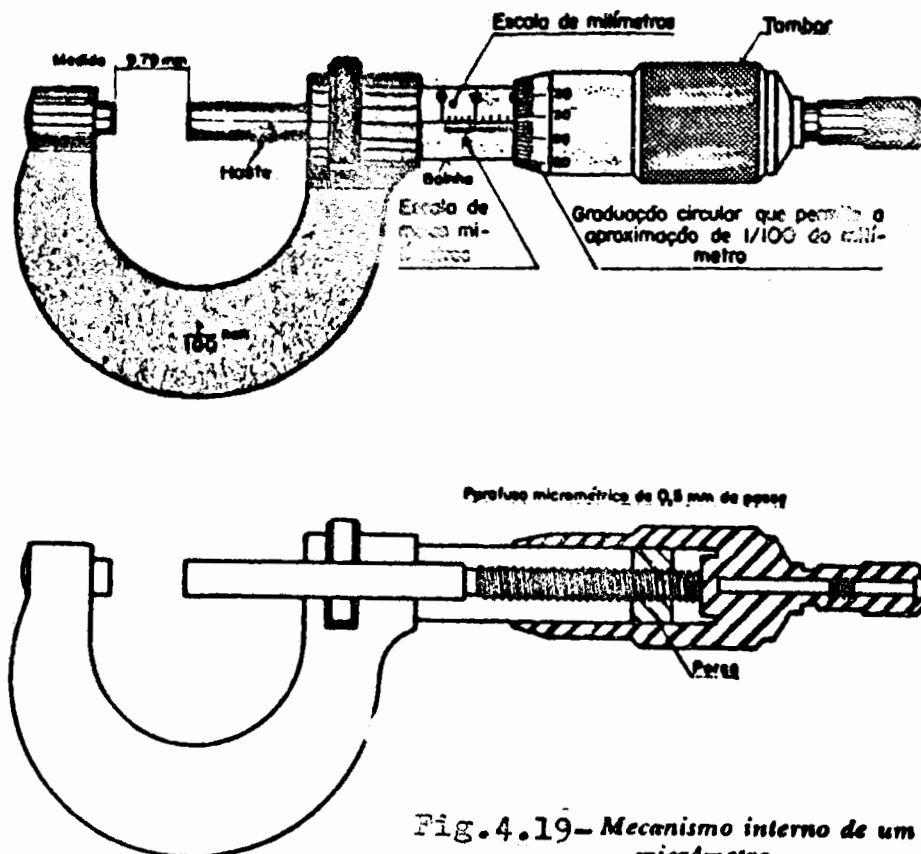


Fig.4.19- Mecanismo interno de um micrômetro.

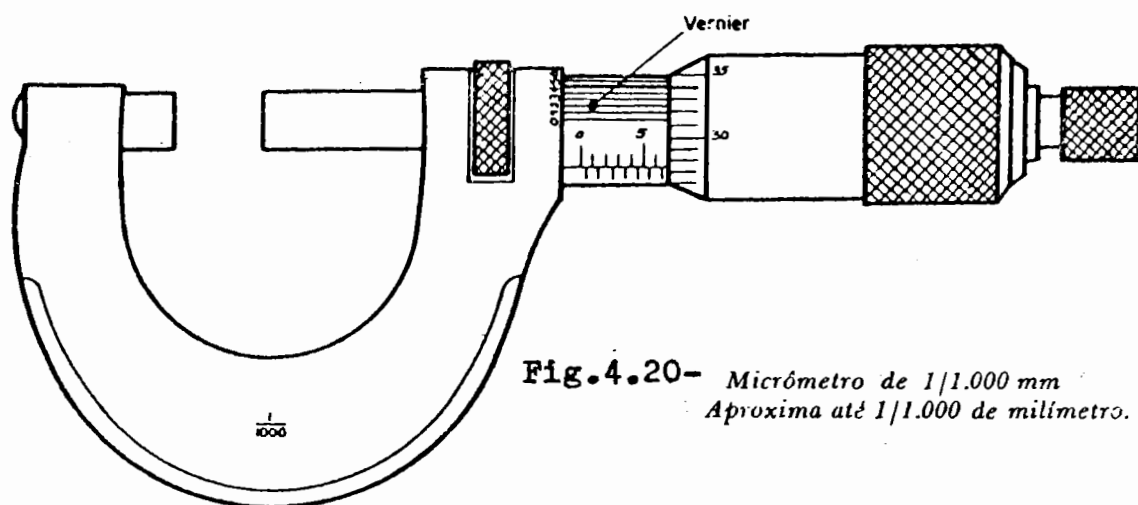


Fig. 4.20- Micrômetro de  $1/1.000$  mm  
Aproxima até  $1/1.000$  de milímetro.

longitudinais de 0,5 mm no sentido do avanço do parafuso.

O tambor é dividido circunferencialmente em 50 partes iguais. Se girarmos o tambor, e conseqüentemente o parafuso micrométrico de  $1/50$  de volta a extremidade do parafuso, ou seja, o apalpador avançava de  $0,5/50 = 0,01$  mm.

No caso do passo do parafuso ser de 1 mm as divisões do tambor seriam em número de 100, o que resultaria na mesma acuracidade do instrumento acima ou seja 0,01 mm.

Para micrometros com rosca de passo 0,5 mm é preciso tomar-se cuidado especial ao ler a graduação em 0,5 mm na bainha. Por exemplo pode-se ler 10,35 mm quando o correto seria 10,85 mm.

Combinando-se um "Palmer" com um "Nonio" pode-se construir um micrometro com acuracidade de 0,001 mm ou seja  $1 \mu m$ .

O micrômetro apresenta um nonio gravado na bainha que contém 10 divisões num comprimento total que corresponde a 9 divisões da graduação do tambor. Então cada divisão do nonio é  $1/10$  menor que cada divisão do tambor. Pelo princípio já explicada se a menor divisão do tambor corresponde a 0,01 mm, a aproximação obtida será de  $1/10 \cdot 0,01$  mm = 0,001 mm.

Na fig 4.20 temos: na bainha 6,50 mm, o traço da graduação do tambor, antes da reta longitudinal da bainha é o 27<sup>o</sup> (portanto 0,27 mm) a coincidência no Vernier é no 5<sup>o</sup> traço (0,005 mm) portanto:

Leitura:  $(6,50 + 0,27 + 0,005)$  mm = 6,775 mm.

Do mesmo modo o micrometro foi adaptado às medidas inglesas, para obter polegadas decimais, uma vez que em medidas de precisão não se recomenda o uso de frações de polegada. Na superfície da bainha no sentido longitudinal são gravados divisões de 0,025" e no tambor a circunferencia é dividida em 25 partes iguais dando assim um instrumento com acuracidade de 0,001".

A Fig. 4.21 mostra um micrometro para medida em polegadas.

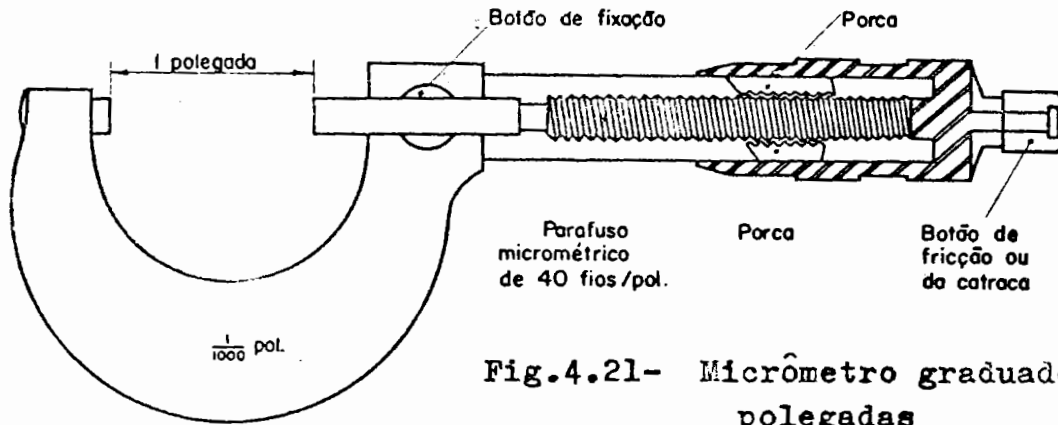


Fig.4.21- Micrômetro graduado em polegadas

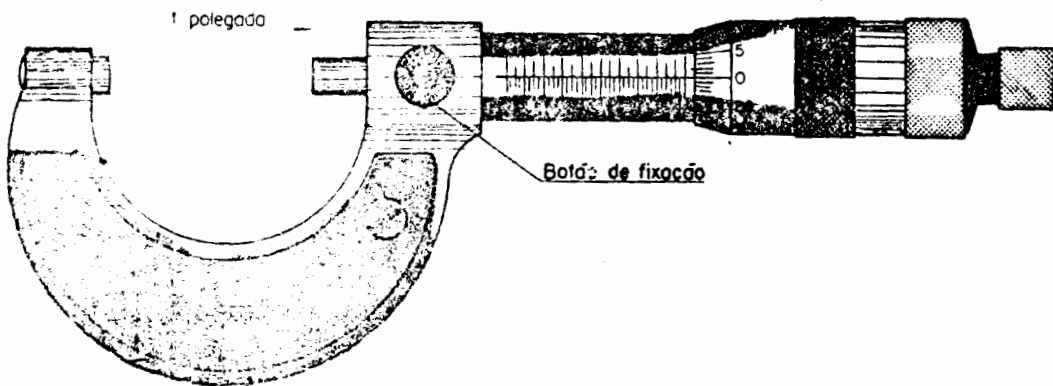


Fig 4.21- O parafuso micrométrico tem 40 fios por polegada, portanto uma volta do tambor equivale a um deslocamento de  $1/40$  polegada. Na bainha temos uma graduação na qual o comprimento de 1 polegada está dividido em 40 partes iguais (10 grupos de 4 divisões cada) Então a cada divisão medimos  $1/40$  polegada ou seja  $0,025''$ .

Portanto uma divisão do tambor corresponde ao deslocamento de  $0,025'' \div 25 = 0,001''$ .

A Fig.4.23 mostra como se faz leituras em  $0,0001''$  (com nonio).

O nonio, gravado na bainha tem 10 divisões num comprimento total que corresponde a 9 divisões da graduação do tambor. Portanto a aproximação obtida é de:

$$\frac{1}{10} \cdot 0,001 \text{ pol} = 0,0001 \text{ pol}$$

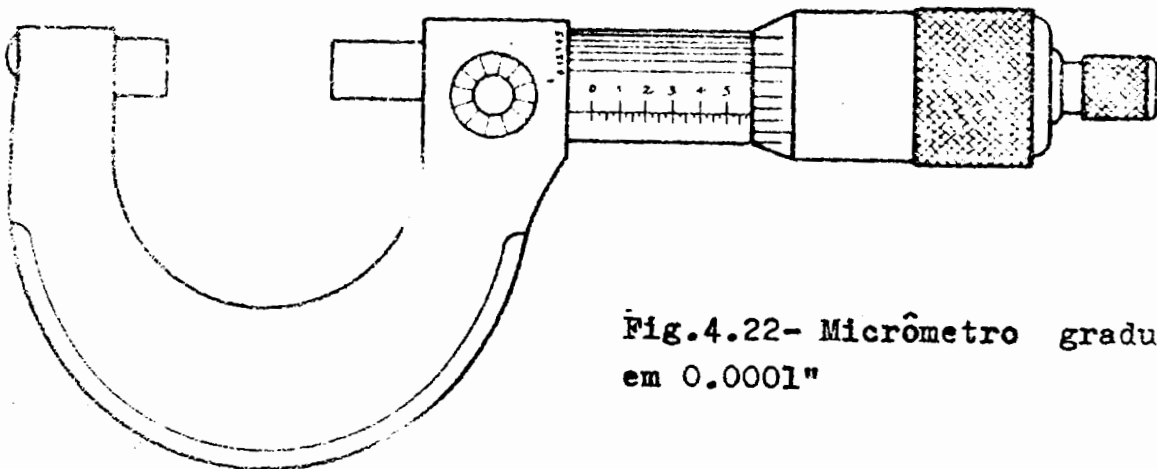


Fig.4.22- Micrômetro graduado em  $0.0001''$

Na figura acima temos:

Na graduação da bainha (traço 5)

0,5"

Na graduação da bainha (3.0,025")

0,075"

Na graduação do tambor (entre traços 19 e 20)

0,019"

No nonio (coincidência no traço 5)

0,0005"

Leitura

0,5945"

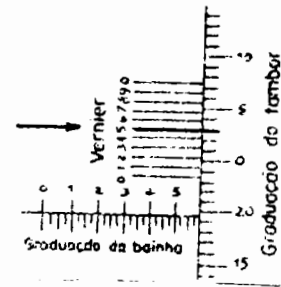
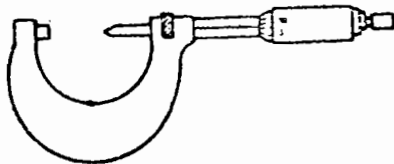


Fig.4.23

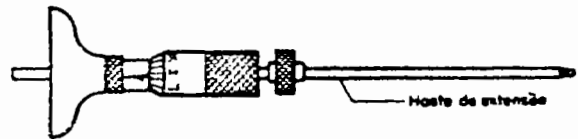
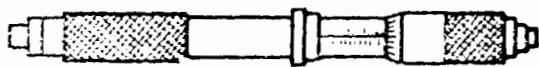
De uma maneira geral encontramos no mercado micrometros que medem de 0 a 25 mm de 25 a 50, de 50 a 75 e de 75 a 100 mm. Os demais são especiais.

A Fig.4.24 mostra alguns exemplos de micrometros especiais.

A Fig.4.25 mostra algumas aplicações do micrometro.

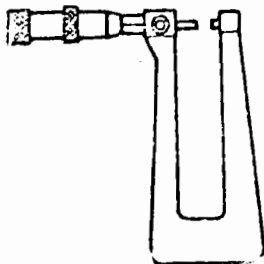


— Micrômetro para rósca. As pontas da haste e do encôsto são substituíveis, conforme o tipo da rósca.

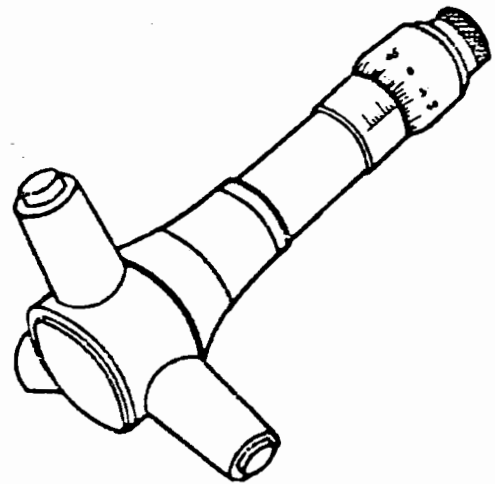


— Micrômetro de profundidade. Conforme a profundidade a medir, fazem-se os acréscimos necessários na haste por meio de outras varetas de comprimentos calibrados, fornecidas com o micrômetro (hastes de extensão).

— Micrômetro de medidas internas, tubulares, de dois contatos. É fornecido com hastes, para aumento da capacidade de medição.

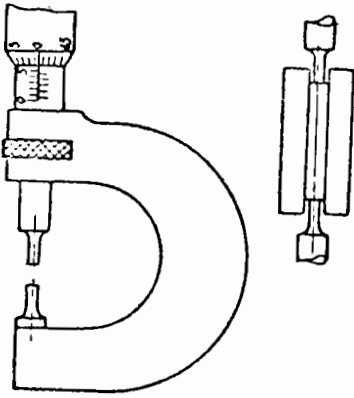


— Micrômetro de arco profundo. Serve para medições de espessura de bordas ou partes salientes das peças.

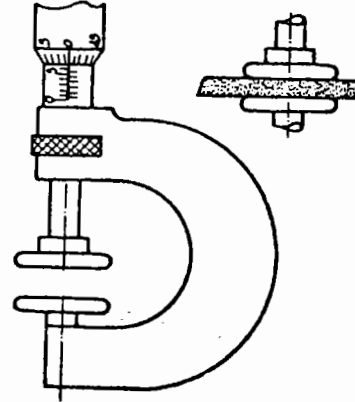


— Micrômetro de medidas internas de três contatos. É conhecido pela denominação de "Imicro". Facilita a colocação exata no centro e no alinhamento do furo. Possibilita a medição do diâmetro de furos em diversas profundidades. É de grande precisão.

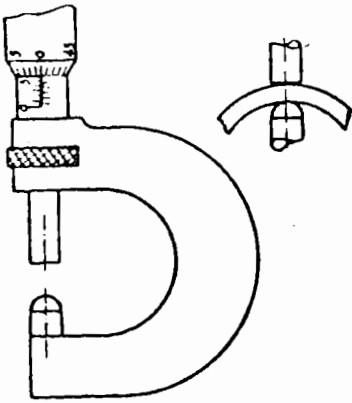
Fig.4.24- Micrometros especiais



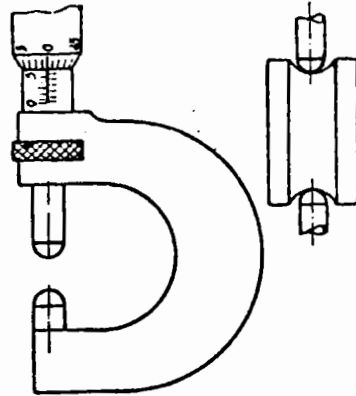
Medição de fundos em ranhuras e canais.



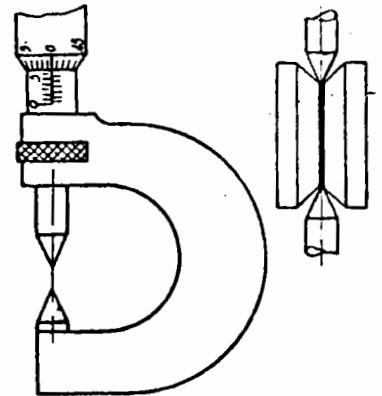
Medição de materiais moles, tais como lâminas de borracha, papelão, papel, etc



Medição de fundos em entalhes angulares, e espessuras de material curvo.



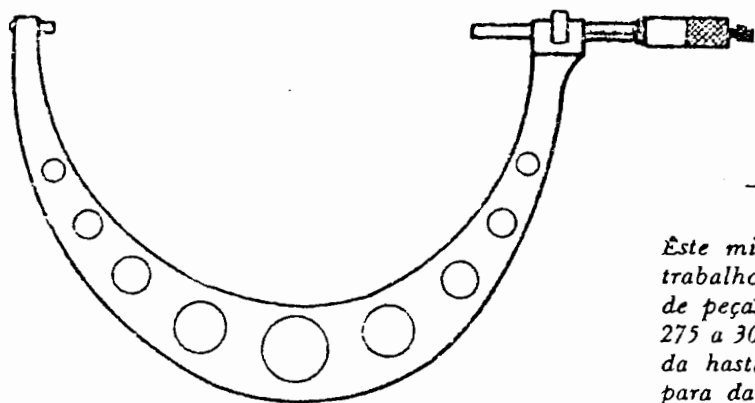
Medição de fundos com superfície radial.



Medição de espessuras de Tubos, Segmentos, etc.

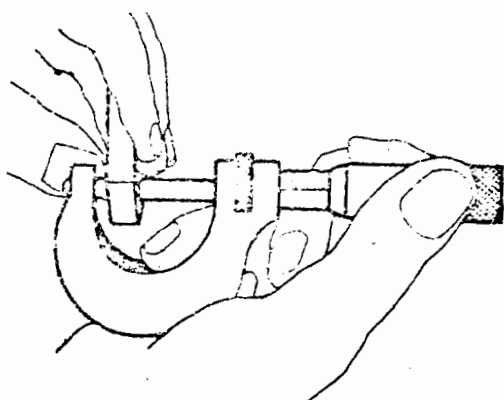
Fig.4.25- Aplicações de micrometros especiais



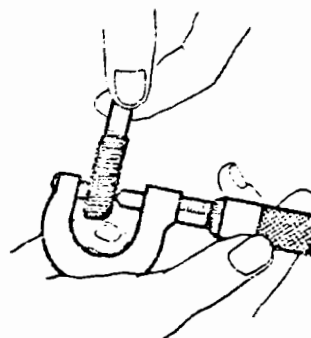


- Micrômetros para grandes medições.

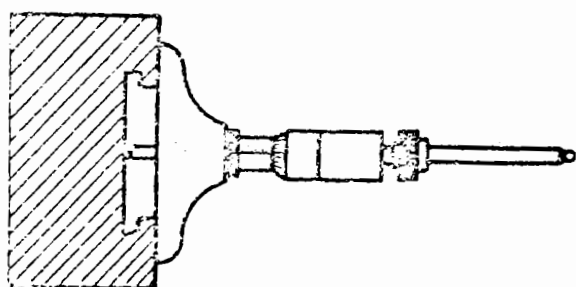
Este micrômetro é usado para medições em trabalhos de usinagem pesada, para a medição de peças de grandes diâmetros, por exemplo, 275 a 300 mm - 400 a 500 mm, etc. As pontas da haste e do encosto podem ser mudadas, para dar as medidas próximas dos diâmetros a verificar.



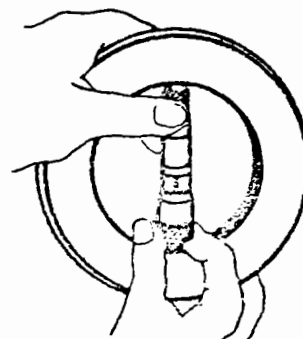
- Medição da espessura de um bloco.



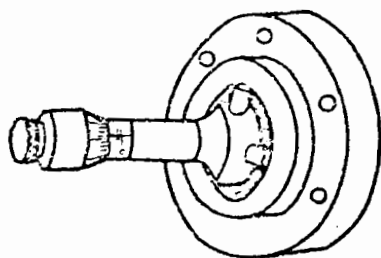
- Medição do diâmetro de uma rôca.



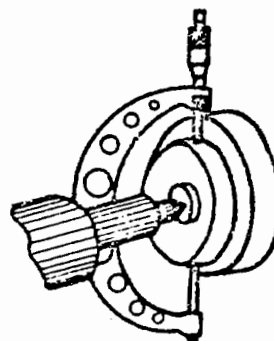
- Medição da profundidade de uma ranhura com o micrômetro de profundidade.



- Medição de um diâmetro com o micrômetro tubular.



- Uso do "Imicro" (três contatos) na medição de um diâmetro interno.



- Uso do micrômetro de grande capacidade para medir os diâmetros de uma peça montada num torno.

Fig.4.26- Micrômetros especiais

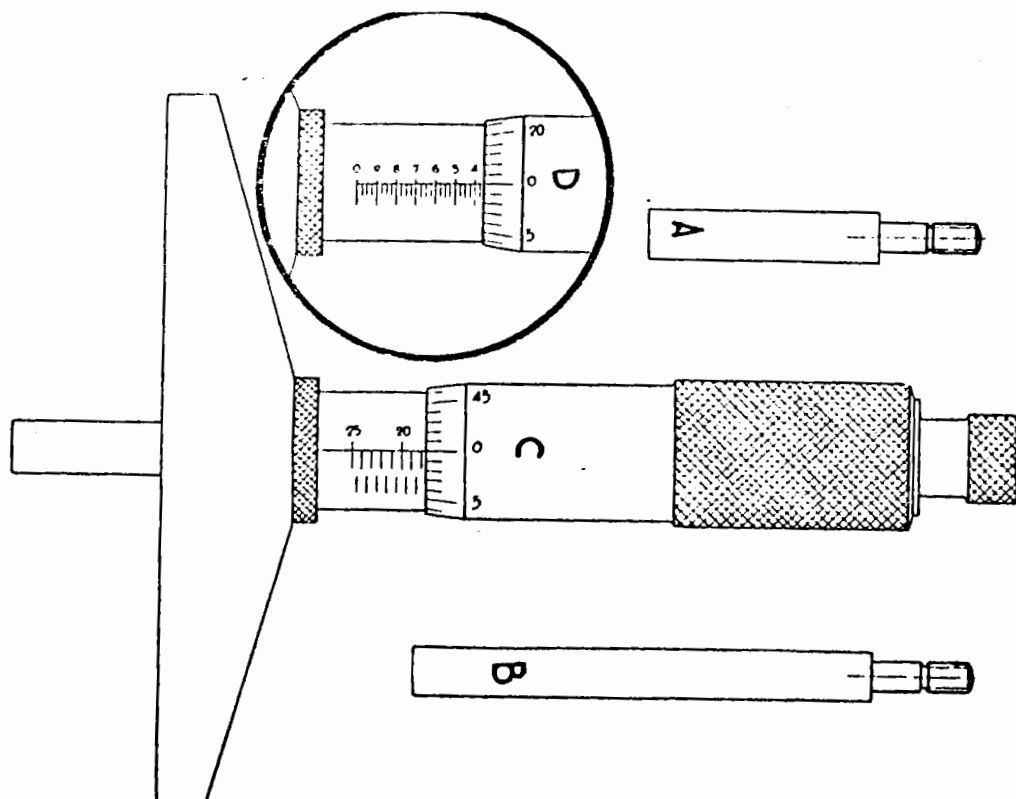
### Característica de um Bom Micrometro

- a) Possuir graduação uniforme.
- b) Apresentar traços bem finos (o suficiente), profundos e salientes em preto na graduação da bainha.
- c) Apresentar a reta longitudinal da bainha bem definida.
- d) Possuir as faces do encosto e da haste rigorosamente planas e paralelas e feitas de metal duro de alta resistencia a desgastes.
- e) Ter a medida bem calibrada de modo que quando estiverem juntas as faces da haste e do encosto, a borda do tambor esteja sobre o traço zero da graduação da bainha e o traço zero da graduação circular do tambor deve coincidir com a reta longitudinal da bainha. O mesmo deve ocorrer quando, se tivermos um micrometro, por exemplo de capacidade 25 mm e colocarmos entre as faces uma medida padrão de 25mm
- f) Possuir um dispositivo de fricção em bom funcionamento de modo a assegurar uma pressão de medição suave e constante.

Além de todos estes cuidados quando tivermos um micrometro de alta precisão de vemos encontrar ainda:

- Arco de aço especial e tratado termicamente a fim de se eliminar tensões e munido de placas isolantes para se evitar a dilatação pelo calor das mãos.
- Parafuso micrométrico de aço temperado a uma dureza de 63 Rc.
- Rosca retificada em máquinas especiais com uma precisão aproximada de 0,001 mm no passo.

Nas páginas seguintes seguem apresentações de detalhes de alguns micrometros especiais.



**Fig.4.27- Micrometro para medir profundidades**

As leituras de medição efetuam-se pelo mesmo processo dos micrômetros normais, porém deve-se levar em conta que a numeração das escalas do tambor e da bainha estão marcadas invertidas, começando a divisão linear com o zero na parte superior.

Exemplo: Na figura acima temos, leitura métrica - 17,5 mm  
 leitura em pol. - 0,350 pol.

A - Haste removível para medir de 25 a 50 mm ou 1" a 2"

B - Haste removível para medir de 50 a 75 mm ou 2" a 3"

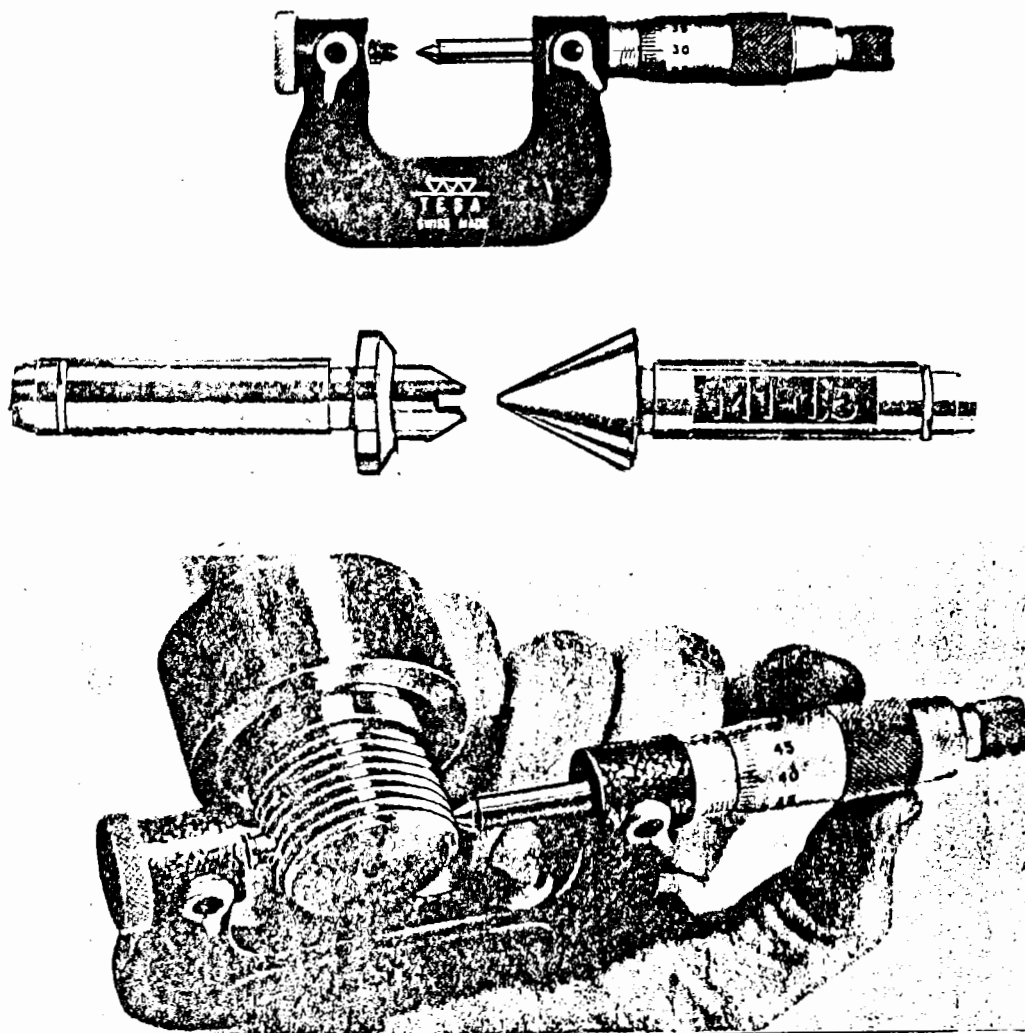


Fig.4.28- Micrômetro para rêsças externas

Este micrômetro em conjunto com os apalpadores intercambiáveis permite a medição direta do diâmetro primitivo de rêsças externas (rêsças métricas, Whitworth ou Americanas).

Para uso dos micrômetros acima são necessários apalpadores intercambiáveis que devem ser escolhidos de acôrdo com o ângulo do filete e o passo da rêsça a ser controlada.

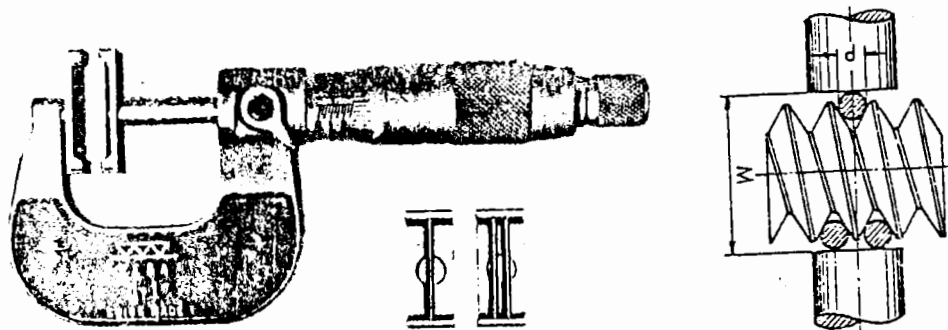


Fig.4.29- Micrometro com arames calibrados para medir roscas

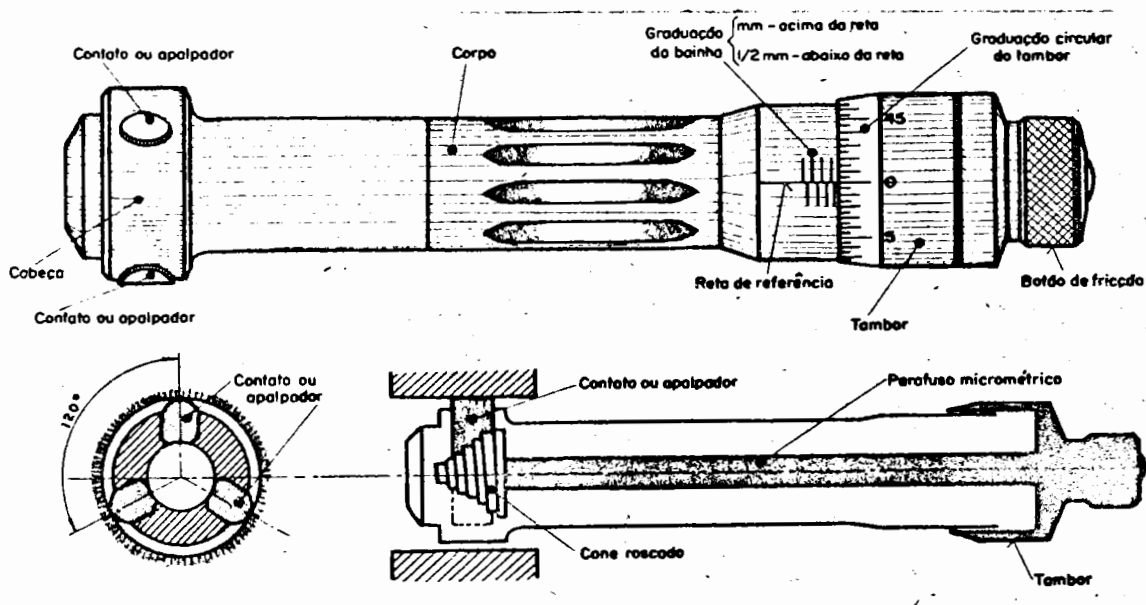


Fig.4.30

#### MICRÔMETRO DE TRES CONTATOS, PARA FUROS ("IMICRO")

O Imicro é um microômetro destinado exclusivamente à medida e ao controle dos diâmetros internos dos furos. Este instrumento, de frequente uso nas oficinas mecânicas de produção, apresenta características especiais de grande robustez, sendo fabricado em aço inoxidável pela firma suíça "TESA", que o criou. **No instrumento, mede-se o diâmetro da circunferência ideal que passa pelos tres pontos de contato.**

## V - TOLERÂNCIAS, AJUSTES E CALIBRES

### 5.1 - Generalidades

O desenvolvimento da sociedade moderna trouxe a necessidade da fabricação em série, ou seja produções elevadas, objetivando um custo menor. Acontece, que para se adaptar a esta nova situação, foi preciso que as fábricas abandonassem o sistema de "ajustagem de duas peças pares".

Em fins do século XVIII Eli Whitney ("o pai da produção em série") recebeu uma encomenda de 10.000 mosquetões exigindo o contrato que as peças fossem intercambiáveis, nascendo então os rudimentos de um sistema de tolerâncias. Em 1890 generalizou-se o uso de calibres de tolerância, cada indústria, porém, tinha seu próprio sistema. Na I Guerra Mundial verificou-se a necessidade de um sistema internacional de tolerância e criou-se a ISA (International Standardization Association) atualmente chamada ISO. Este sistema padronizou as tolerancias de fabricação e o ajuste de peças, conceitos que daremos a seguir.

### 5.2- Sistema de Tolerância e Ajuste

O sistema que será estudado de modo sucinto é o previsto pelas normas DIN e ABNT NB-86.

#### 5.2.1- Definições Básicas

Intercambiabilidade - é a possibilidade, quando se monta um conjunto mecânico, de se tomar do acaso de um lote de peças semelhantes, prontas e aprovadas, uma qualquer que montada no referido conjunto, sem nenhuma ajustagem ou usinagem secundária, garanta o seu perfeito funcionamento.

Medida Nominal  $D_n$  - medida que serve para indicação do tamanho nominal da peça e à qual se referem os afastamentos. Exemplo: eixo  $\emptyset$  25 mm.

Medida Real  $D_r$  é a medida da peça determinada por medição direta. Por exemplo: medida real do eixo anterior 25,015 mm.

Medida de Ajuste - É a medida nominal acrescida de uma sigla normalizada e destinada a dar um acoplamento pré-determinado.

Exemplo: 25 f<sub>7</sub> , 25 H<sub>8</sub> e  $25 \begin{matrix} +0,15 \\ -0,10 \end{matrix}$

Medidas limites - são as medidas máximas e mínimas entre as quais devem situar-se a medida real das peças. Exemplo: do exemplo anterior 25,15 e 24,90 mm.

Medida Máxima  $D_{max}$  é a de maior valor entre as medidas limites.

Medida Mínima  $D_{min}$  é a de menor valor entre as medidas limites.

Afastamento superior  $A_s$  - é a existente entre a medida máxima e a nominal  $D_n$ .  
 $A_s = D_{max} - D_n$  , A pode ser maior, menor ou igual a zero, dependendo das condições.

Afastamento inferior  $A_i$  - é a diferença entre a medida mínima e a nominal  
 $A_i = D_{min} - D_n$  , valendo a mesma observação anterior.

Afastamento Real  $A_r$  - é a diferença entre as medidas  $D_r$  e  $D_n$ .  
 $A_r = D_r - D_n$  , também neste caso podemos ter valores negativos, positivos ou nulos.

Linha Zero - Numa representação gráfica como a da fig. 5.1 , é a linha que representa a medida nominal

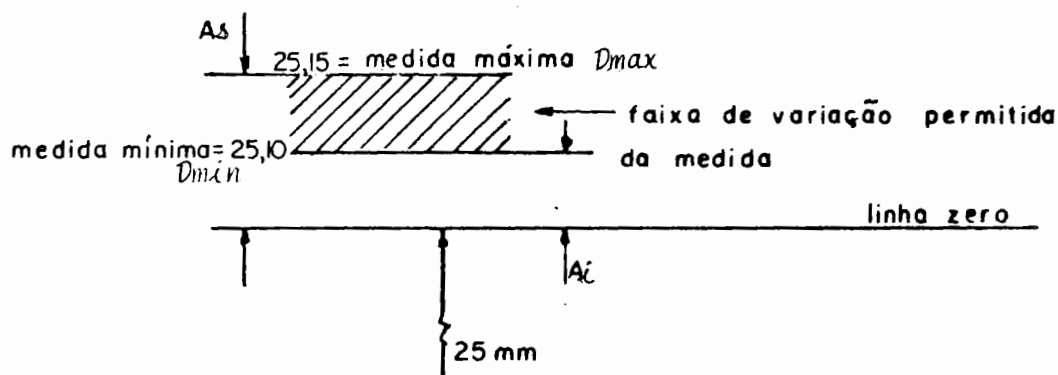


Fig. 5.1 - Representação gráfica da medida de uma peça com medida de ajuste  $25 \begin{matrix} +0,15 \\ +0,10 \end{matrix}$

### 5.2.2 - Tolerâncias

Quando se fabrica um lote de peças existem uma série de fatores que fazem com que todas as peças não tenham exatamente a mesmas dimensões. Entre eles podemos citar: desgaste das ferramentas, imprecisão da máquina ferramenta, variações do material das peças, variações de atitude do operador, diferenças provenientes da má fixação da peça, etc. Isto torna quase impraticável fabricar-se um lote de eixos, por exemplo, com  $\varnothing 25$  mm (ou seja 25,000 mm). É mais econômico "tolerar" uma variação previamente estudada e normalizada.

Tolerância de medida T - é a diferença entre a medida máxima e a mínima permitidas.

$$T = D_{max} - D_{mín} \quad , \quad T > 0$$

Tolerância fundamental - A unidade internacional de tolerâncias é dada por:

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D$$

onde D , em milímetros, é a média geométrica entre os limites da faixa de medidas nominais padronizadas (ver tab. V.2). A adoção destas faixas é importantíssima pois faz com que a tolerância acompanhe o tamanho das peças pois sabemos que, por exemplo, é mais difícil de fabricar e de medir peças grandes. A partir desta é definida 16 classes de tolerâncias chamadas tolerâncias fundamentais,

IT	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
UNIDADE DE TOLERÂNCIA	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000

Tabela V.1- Tolerancias fundamentais

que também são chamadas qualidade e são abreviadas como IT ( Iso Tolerances). Estão relacionadas com a unidade i de acordo com uma progressão que se vê parcialmente na tab. V.1. A tab. V.2 dá o tamanho de cada qualidade em função da zona de medida nominal da peça. Como se pode notar uma dimensão fabricada com tolerância IT 9 tem maior variação permissível em sua medida que uma feita com IT 7, para uma mesma medida nominal . Isto sugere que as várias qualidades tem empregos típicos conforme se vê na fig. 5.2.

**TABELA 2**  
Tolerâncias fundamentais das qualidades IT 01 a IT 16  
**TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS (μm)**

Grupo de dimensões mm	QUALIDADE (IT)																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
até 1	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	—	—	—	—	—
> 1 ≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
> 3 ≤ 6	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
> 6 ≤ 10	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
> 10 ≤ 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
> 18 ≤ 30	0,6	1,0	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
> 30 ≤ 50	0,6	1,0	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
> 50 ≤ 70	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
> 70 ≤ 120	1,0	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
120 ≤ 160	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
160 ≤ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
> 250 ≤ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
> 315 ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
> 400 ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	160	260	400	630	970	1600	2600	4000

A Norma ABNT NB-86 prevê as qualidades 0 e 01

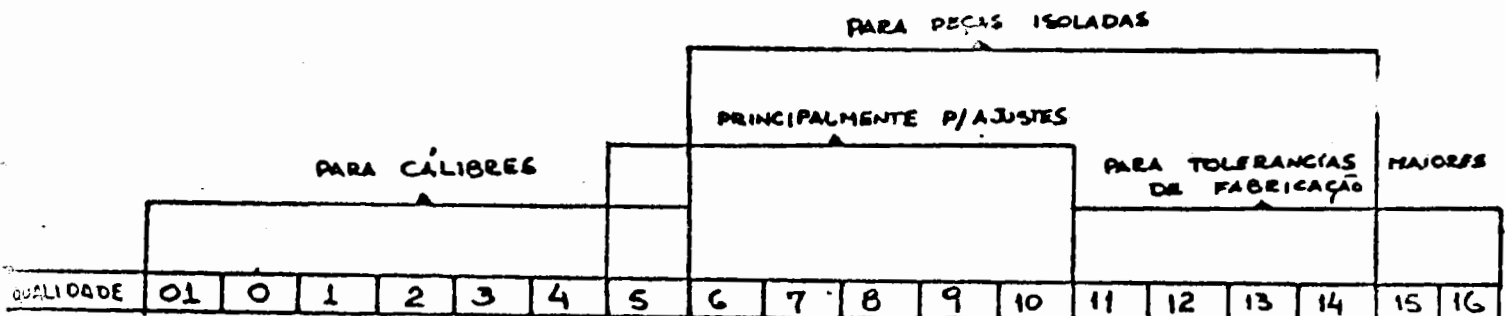


Fig.5.2- Campo de uso das qualidades

Campos de Tolerância -

Na representação gráfica é a zona limitada pelas linhas das medidas máximas e mínima. Indica a tolerância em posição com relação à linha zero, e vemos que ela é exa-

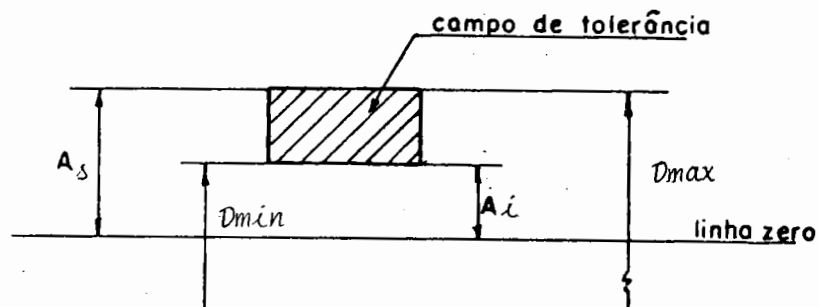


Fig.5.3- Campos de tolerância

tamente o que chamamos de "faixa de variação da medida" na fig. 5.1.

Para que o sistema de tolerâncias fique completo é preciso agora padronizar as posições dos campos de tolerâncias com relação à linha zero. Neste ponto é bom lembrar que antes de ser adotado o sistema de tolerâncias, já se fabricavam e ajustavam peças há muito tempo, assim estas padronizações feitas em moldes científicos, teve sua base na experiência prática de longos anos.

As posições das zonas toleradas com relação à linha zero são designadas por letras minúsculas para medidas interiores e maiúsculas para medidas exteriores e baseadas nos afastamentos máximos e mínimos respectivamente.

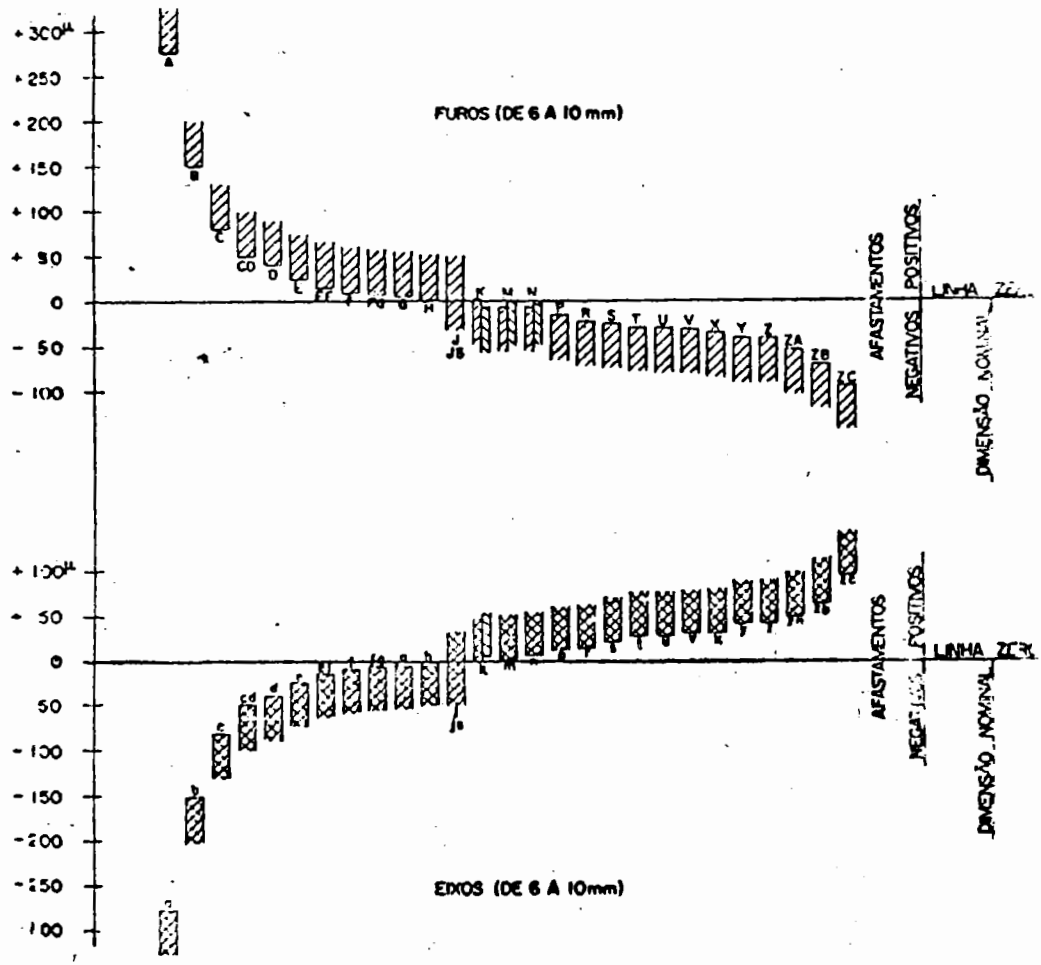


Fig.5.4- Posição dos campos de tolerância



O tamanho de cada campo pode ser qualquer das 16 qualidades definidas, então a indicação 25 h6 (ver definição de medida de ajuste) define univocamente as medidas máxima e mínima dessa peça pois a letra h define o afastamento em relação à medida nominal e 6 define o tamanho da zona tolerada. Estamos agora em condições de entender as tabelas do tipo da V.3 que são as de uso mais frequente (pgs. 38 e 41 )

### 5.2.3. - Ajustes - Sistema de Ajustes

As siglas h8, Z6, etc, podem ser usadas simplesmente para limitar as dimensões de uma peça isolada, porém na maioria das vezes é usada limitando a dimensão de uma peça visando que esta ao se montar com a peça par tenha características de ajuste pré-determinadas de jogo ou interferência.

Jogo real  $F_r$  - diferença entre as medidas reais das peças exterior e interior desde que a primeira seja maior que a segunda.

Jogo máximo  $F_{max}$  - é a diferença entre a medida máxima da peça externa e a mínima da peça interna, valendo a definição se  $F_{max} \gg 0$ , caso contrário teremos interferências.

Jogo mínimo  $F_{min}$  - diferença entre a medida mínima da peça externa e máxima da peça interna, valendo a mesma observação anterior.

Exemplo.: dado o ajuste entre eixo e bucha definido por 25 H7 g6 temos:

furo	25 H 7	=	25	+0,000
				+0,021
eixo	25 g 6	=	25	-0,007
				-0,020
$F_{max}$ =	25,021 - 24,980	=	41	$\mu m$
$F_{min}$ =	25,000 - 24,993	=	7	$\mu m$

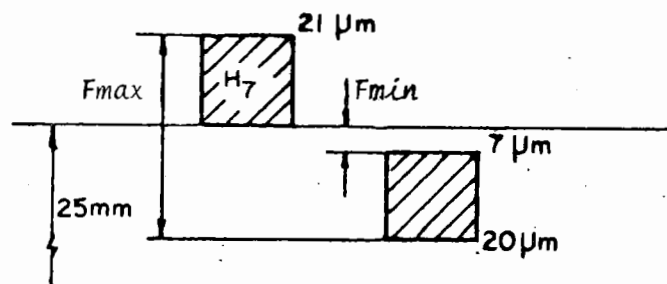


Fig.5.5- Representação gráfica do ajuste 25 H7 g6

MEDIDA INTERNA (Furo) CAMPO DE TOLERÂNCIA REPRESENTADO P/ HÍPERBOLA NOMINAL DE 60 µm	MEDIDA EXTERNA (Lixo) CAMPO DE TOLERÂNCIA REPRESENTADO P/ HÍPERBOLA NOMINAL DE 60 µm	<b>FURO BASE H6 H7 H8</b> DIMENSÕES NOMINAIS DI (µ = 0,001 mm)	<b>ASSENTO 15A</b> ASSENTOS P. FURO BASE CAMPOS DE TOLERÂNCIA - DIMENSÕES NOMINAIS	<b>DIN 7154</b> FOLHA 1
---	---	---	--	----------------------------

DI	OS CAMPOS DE TOLERÂNCIA DAS COLUNAS 1, 2, 3 REFEREM-SE À DIN 7157 (1)																																															
	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32	36	40	45	50	56	63	72	80	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32	36	40	45	50	56	63	72	80								
> 1,6	+7	+18	-	+20	+17	+14	+11	+7	-	-	+4	+6	0	-3	+9	+30	+35	+29	+25	-	+22	+19	+16	+13	+9	-	+6	0	-3	-7	-7	+14	+14	+14	+12	+8	-	-	+25	0	0	-7	-7	-14	-20	-60	-140	
ATI 3	+8	+23	-	+24	+20	+17	+13	+9	-	-	+4	+7	0	-4	+12	+50	+43	+36	+31	-	+27	+23	+20	+16	+12	-	+7	0	-4	-10	-10	+18	+17	+17	+15	+10	-	-	+37	0	0	-10	-10	-20	-30	-70	-170	
ATI 6	+8	+23	-	+24	+20	+17	+13	+9	-	-	+4	+7	0	-4	+12	+50	+43	+36	+31	-	+27	+23	+20	+16	+12	-	+7	0	-4	-10	-10	+18	+17	+17	+15	+10	-	-	+37	0	0	-10	-10	-20	-30	-70	-170	
ATI 10	+8	+23	-	+24	+20	+17	+13	+9	-	-	+4	+7	0	-4	+12	+50	+43	+36	+31	-	+27	+23	+20	+16	+12	-	+7	0	-4	-10	-10	+18	+17	+17	+15	+10	-	-	+37	0	0	-10	-10	-20	-30	-70	-170	
ATI 14	+11	+41	-	+35	+31	+26	+20	+15	+9	+12	+5	+8	0	-6	+18	+64	+50	+40	+44	-	+39	+34	+29	+23	+18	+12	+8	0	-6	-16	-16	+27	+30	+30	+24	+20	-	-	+55	0	0	-16	-16	-32	-50	-95	-190	
ATI 18	0	+33	-	+28	+23	+18	+12	+7	+1	+1	-3	-3	-8	-14	0	+83	+71	+58	+33	-	+28	+23	+18	+12	+7	+1	-3	-11	-17	-27	-34	0	+117	+135	+104	+87	+72	-	-	+28	-27	-43	-34	-43	-59	-93	-139	-193
ATI 24	+13	+41	-	+44	+37	+31	+24	+17	+11	+15	+5	+9	0	-7	+21	+86	+67	+54	+41	-	+48	+41	+35	+28	+21	+15	+9	0	-7	-20	-20	+33	+49	+39	+29	+21	+15	+9	0	-7	-20	-20	-40	-65	-110	-160		
ATI 30	0	-	+51	+35	+28	+22	+15	+8	+2	+2	-4	-4	-9	-16	0	+101	+77	+61	+34	+36	+28	+22	+15	+8	+2	-4	-13	-20	-33	-41	0	+125	+136	+118	+99	+73	+54	-	-	+35	-33	-52	-41	-53	-73	-117	-168	-212
ATI 40	+16	-	+59	+43	+34	+26	+17	+9	+2	+2	-5	-5	-11	-20	0	+122	+96	+76	+64	+59	+50	+42	+33	+25	+18	+11	0	-9	-25	-25	+39	+47	+41	+31	+25	+19	+11	0	-9	-25	-25	-50	-80	-120	-170	-220		
ATI 50	0	-	+64	+47	+36	+27	+17	+9	+2	+2	-5	-5	-11	-20	0	+122	+96	+76	+64	+59	+50	+42	+33	+25	+18	+11	0	-9	-25	-25	+39	+47	+41	+31	+25	+19	+11	0	-9	-25	-25	-50	-80	-120	-170	-220		
ATI 63	+19	-	+79	+66	+54	+45	+33	+24	+15	+21	+6	+12	0	-10	+30	+141	+106	+85	+72	+60	+51	+39	+30	+21	+12	0	-10	-30	-30	+46	+56	+48	+37	+30	+21	+12	0	-10	-30	-30	-60	-100	-140	-200	-260			
ATI 80	0	-	+86	+72	+58	+48	+35	+25	+15	+22	+7	+13	-13	-25	0	+142	+112	+94	+78	+62	+51	+38	+29	+21	+12	0	-10	-30	-30	+46	+56	+48	+37	+30	+21	+12	0	-10	-30	-30	-60	-100	-140	-200	-260			
ATI 100	+22	-	+97	+81	+66	+56	+42	+32	+22	+25	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 120	0	-	+104	+87	+71	+61	+46	+36	+26	+29	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 140	+25	-	+111	+93	+76	+65	+49	+38	+28	+31	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 160	0	-	+118	+99	+81	+70	+52	+40	+30	+33	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 180	0	-	+125	+105	+86	+74	+54	+42	+32	+35	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 200	+29	-	+132	+111	+91	+78	+56	+44	+34	+37	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 225	0	-	+140	+118	+97	+84	+61	+48	+38	+41	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 250	0	-	+148	+125	+103	+90	+65	+52	+42	+45	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 280	+32	-	+156	+132	+109	+96	+70	+56	+46	+49	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 315	0	-	+164	+139	+115	+102	+74	+59	+48	+51	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 355	+36	-	+172	+146	+121	+108	+78	+62	+50	+53	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 400	0	-	+180	+153	+127	+114	+82	+65	+52	+55	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 450	+40	-	+188	+160	+133	+120	+86	+68	+54	+57	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		
ATI 500	0	-	+196	+167	+139	+126	+90	+71	+56	+59	+6	+13	0	-12	+35	+144	+113	+93	+73	+63	+51	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	+54	+66	+58	+46	+39	+30	+21	+12	0	-12	-36	-36	-72	-120	-170	-230	-300		

(1) A COLUNA 1 TEM PREFERÊNCIA SOBRE A 2 E A 2 SOBRE A 3. -  
 (2) ATI: 160 mm = 36; ACIMA DE 160 mm = r6. -

MEDIDA INTERNA (FURO) MEDIDA EXTERNA (EIXO)
GRUPO DE TOLERÂNCIA REPRESENTADO P/ MEDIDA NOMINAL DE 60

FURO BASE H9-H10-H11-H12-H13
DIMENSÕES NOMINAIS EM µ (µ = 0,001mm)

ASSENTO ISA
ASSENTOS P. FURO BASE
CAMPOS DE TOLERÂNCIA - DIMENSÕES NOMINAIS -

DIN 7154
FOLHA 1

OS CAMPOS DE TOLERÂNCIA DAS COLUNAS 1, 2 E 3 REFEREM-SE A DIN 7157 (1)

Main table with columns for hole types (H9-H13), shaft types (g1-g4), and tolerance values. Includes a diagram at the top showing hole and shaft profiles.

(1) A COLUNA TEM PREFERÊNCIA SOBRE 2 E 4 E SOBRE A 3.







Interferência real  $I_r$  - é a diferença entre as medidas reais das peças exterior e interior desde que a primeira seja menor que a segunda.

Interferência máxima  $I_{max}$  diferença entre medida máxima da peça interior e mínima da exterior.

Interferência mínima  $I_{min}$  - diferença entre medida mínima da peça interior e máxima da peça exterior.

Exemplo: Ajuste entre chaveta e rasgo definido por 10 R 8 h 7.

$$\text{rasgo } 10 R 8 = 10 \begin{matrix} -0,041 \\ -0,019 \end{matrix}$$

$$\text{chaveta } 10 h 7 = 10 \begin{matrix} -0 \\ -15 \end{matrix}$$

$$I_{max} = 10,000 - 9,959 = 41 \mu\text{m}$$

$$I_{min} = 9,985 - 9,981 = 4 \mu\text{m}$$

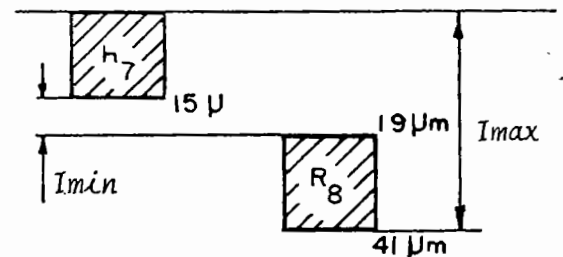
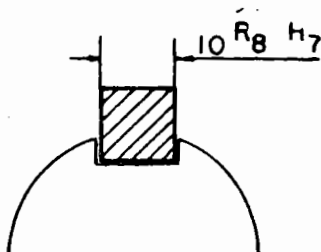


Fig.5.6- Ajuste R8 h7

Definimos agora ajuste com folga ou móvel, aquele onde existe jogo entre as peças incluindo-se o caso  $F_{min} = 0$ .

Ajuste com interferência (também chamado prensado) aquele onde existe interferência das peças.

Ajuste incerto ou indeterminado - aquele que devido à posição particular das zonas toleradas, podem ter folga ou interferência (ver fig. 5.7).

Ajuste de duas peças vem a ser então uma certa relação entre as medidas das mesmas a fim de dar ao conjunto uma característica desejada. Os tres tipos de ajustes da dos acima permitem satisfazer todas as aplicações possíveis em construção mecânica. Basta pensarmos que um ajuste fica definido se fixarmos os jogos (ou interferências) máxima e mínima, e com escolhas apropriadas das zonas toleradas podem ter muitos valores de jogos e interferências. Porém uma flexibilidade excessiva da escolha pode levar a confusões: dado o ajuste para a medida de 25 mm definido por  $F_{max} = 41 \mu m$  e  $F_{min} = 7 \mu m$ , podemos achar outras combinações de campos e qualidades além de H7 g6. Por isto achou-se melhor adotar sistemas de ajuste.

Sistema furo base - sistema onde para todos os ajustes se fixa a medida mínima da peça exterior igual à medida nominal. Ou seja a peça exterior sempre usa a zona tolerada H, variando-se apenas o IT.

Os eixos então variarão suas zonas toleradas e qualidades para dar todos os tipos de ajuste.

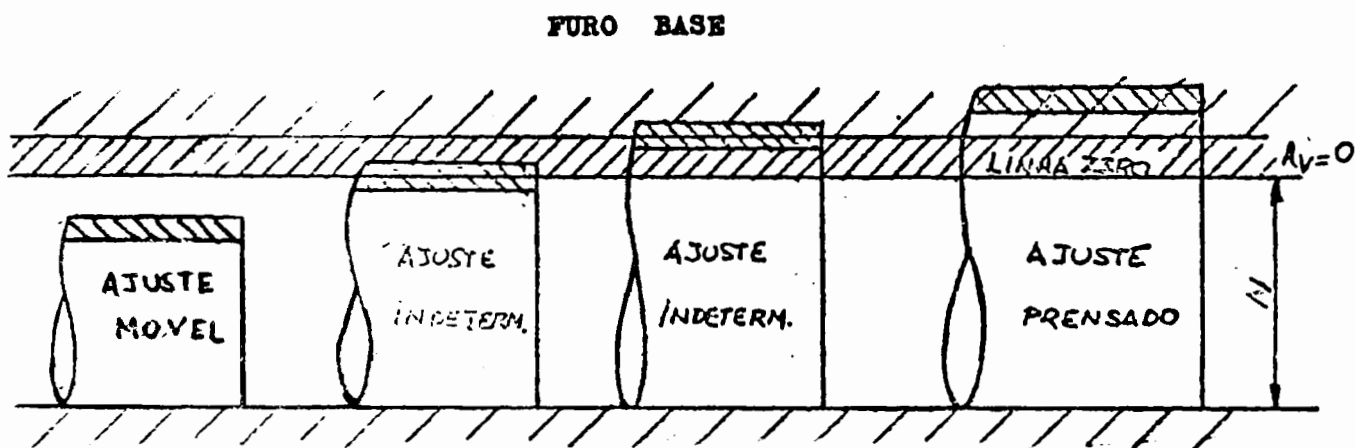


Fig.5.7- Ajustes no sistema Furo Base

Sistema eixo base - Idêntico ao anterior, fixando-se a medida máxima da peça interior igual à nominal, usando sempre, então, a letra  $h$ .

Para obter os vários ajustes neste caso podemos variar as qualidades (IT's) das duas peças e a zona tolerada da peça exterior. Os dois sistemas são formalmente semelhantes mas é usual preferir-se o furo base.

Isto porque é mais fácil obter-se as variações, devido à escolha de diversas zonas toleradas, em um eixo que em furo pois as usinagens internas são mais problemáticas. Existem mais discussões comparativas entre os dois sistemas, porém, não é o caso deste primeiro estudo.

Fixados estes sistemas, padronizou-se uma série de ajustes que permite orientar o usuário na escolha de seu caso particular.

### 5.2.4. - Aplicações

Damos a seguir a tabela V.4. Ela fornece muitos exemplos de aplicações típicas que cobre uma grande parte dos problemas que o usuário possa ter, pois podemos ter o nosso caso já constando na tabela ou algum caso semelhante de onde possamos tirar conclusões.

O importante no estudo de tolerâncias e ajustes é assimilar os conceitos fundamentais para serem usados quando defrontarmos casos inéditos. Felizmente estes casos não são muito frequentes e na maioria das vezes lançamos mão de tabelas do tipo de V.4 e além do mais, temos alguns casos especiais devidamente normalizados e conhecidos como é o caso de ajustes de rolamentos, eixos estriados, buchas de deslizamento, etc.

Tabela V.4

#### TOLERÂNCIAS ABERTAS - CONSTRUÇÃO GROSSEIRA

FORO BASE	EIXO BASE	TIPO DE AJUSTE	APLICAÇÕES
H11 a a12	h11 A12	peças móveis com grande tolerância e muito jogo	
H11 c11 H11 b11	h11 C11 h11 B11	peças móveis com grande de tolerância e jogo	rolamentos em máquinas agrícola varão de acionamento de freio de automóveis Eixos interruptores giratórios limitadores de curso.
H11 a11 H10 d10 H10 d9	h11/D9 D10 h10 D10 h9	peças móveis, ajustes muito livres, correspondentes a pequena precisão. Assento giratório folgado	-peças de freio ferroviário -orgãos de máquina com deslizamento sem lubrificação - Aros de embolos
H11 h11	h11 H11	Fácil montagem Grande tolerância com pequeno jogo	-Peças de máquinas agrícolas com eixos de pino de trava; parafusadas - Espaçadores de distância



TOLERANCIAS DE MEDIA PRECISÃO

Furo Base	Eixo Base	Tipo de ajuste	Aplicações
H8/e, H9/e8	E8-h9 E9/h8 F8/h9	Peças móveis com jogo, desde perceptíveis até amplo. Utilizados em condições pouco severas permitindo funcionamento sem lubrificação.	-Virabrequins -Bielas -Eixos apoiados em tres rolamentos. -Rolamentos em bombas centrífugas e de engrenagens.-Eixos de ventiladores - Cruzetas
H9d10	D10H9	Peças móveis com jogo muito amplo,	-Suportes para eixos grandes (árvores de transmissao) de acionamento em guias. -Suportes para transmissões -Polias loucas -Suportes em maquinas agrícolas,
H8/e7	E8/r7	Precisão média para peças móveis, que giram ou deslizam em mancal de deslizamento.	-Ajustes para maq.ferr. -Ajustes para "Palancas" -Ajustes para "Varillajes"
H8 f8	F8h8	Precisão bastante grande. Ajustes de rotação de órgãos que se efetuam em baixas condições de velocidade e pressão, porém não necessitam de usinagem cuidadosa.	-Assento de arvores de comando de válvulas -Eixos de bomba de óleo -ajuste dos porta-escovas nos motores elétricos
H8 h8 H8 h9	H8 h8	Peças que devem ser montadas sem esforço e deslizar em funcionamento. Casos em que é preciso boa precisão de rotação.	-Retentores em transm.. -Polias fixas e inteiriças -Manivelas, engrenagens acoplamentos que deslizam sobre seus eixos,

TABELA 2-7 - AJUSTE DE PRECISÃO

Furo Base	Eixo Base	Tipo de Ajuste	Aplicação
H7 d9	D9 h7	Peças móveis com grande jogo. Assento giratório folgado	-Furos rosqueados em suportes -eixos sobre suportes múltiplos em máquinas operatrizes
R7 f7	F7 h7	Peças móveis com jogo apreciável. Assento giratório. Provocam jogos de funcionamento pouco importantes	-Suporte de fusos em afiadoras -engrenagens corredeiras em caixas de câmbio -rolamentos de bielas -Acoplamentos com discos deslocáveis -Peças giratórias ou deslizantes em rolamento ou mancal, correspondentes a uma rotação de menos de 600 rpm e pressão do serviço menor que $40\text{kg/cm}^2$ -fusos com ressalto divisores
H7 g6 H6 f6 H6 g5	G7 h6 G6 h6 G6 h5	Ajuste de peças móveis sem jogo. Assento giratório justo. Ajuste de grande precisão para peças móveis entre si que exigem guias precisas e somente deslizamento preferencial a rotação.	-Peças deslizantes de máquinas ferramentas -Anéis exteriores de rolamentos e esferas -Ajustes para rolamentos de cilindros secadores -Acoplamentos de discos deslocáveis ou desacopláveis -Encaixe de centragem de tubulações e válvulas
H7 h6 H6 h5	H7/h6 H6/h5	Assento deslizante em peças lubrificadas, com deslizamento à mão	-Eixos de contra ponto -Fixação por chavetas -montagem de acessórios em torre de torno revolver -Mancais de furadeiras -Colunas guia de furadeiras radiais -Montagem de rolamentos de esferas e rolos Frezas em mandris, cabeçote broqueador

Furo Base	Eixo Base	Tipo de Ajuste	Aplicação:
H7 j6 H6 j5 H6 k5	J7 n6 J6 h5 K6 h5	Assento forçado leve Podem ser montados ou desmontados a mão ou com martelo de madeira Não são suficientes para transmitir esforço, sendo necessário fixação das peças empregadas, também para os casos em que há necessidade de grande precisão de giro, com carga leve com direção indeterminada	-Peças de máquinas operatri <u>z</u> es desmontadas com frequê <u>n</u> cia e com fixação contra o giro como mancais, capas - externas de rolamentos de esferas, buchas em engr <u>.de</u> cambio. -Ajustes em máquinas elé <u>tri</u> cas (rolamentos, polias, a <u>l</u> ojamentos de chapas do es <u>t</u> ator. -Rolamentos em virabrequins -Pinhoes em pontas do eixo -Discos, engrenagens, cubos etc. que devem deslocar-se facilmente por uma chaveta
H7 k6	h6 K7	Assento forçado médio montados ou desmontados com martelo. Não permite rotação ou deslocamento	-Engrenagens em fusos de torno -Anel interior de rolamentos de esferas -discos de excêntricos -Polias fixas e volantes em eixos -manivelas para pequenos esforços.
H8 m7 H7 m6 H6 m5	M8 h7 M7 h6 M6 h5	Assentos forçados c/ aperto Montagem e desmontagem com martelo sem estragar o ajuste	-Em máquinas ferramentas, engrenagens que se montam e desmontam com frequê <u>n</u> cia, mas que não devem jo <u>n</u> ta-se. -Polias de correias -Pinhoes e engrenagens, com assento prensado ou forçado com linguetas para n 200 rpm -Mancais ( $\emptyset$ externo) nos su <u>l</u> portes correspondentes

TABELA 2.8 - AJUSTE DE PRECISÃO

Furo Base	Eixo Base	Tipo de ajuste	aplicações
H7 n6	N7 h6	Montado e desmontado com grande esforço, com esforço - Assento forçado duro.	-Anéis externos em centros -Mancais de bronze no cubo -Anéis sobre eixos com interferência. -Pinhões em eixos motores. -Induzidos em dinamos.
H7 p6 H6 p5	P7 h6 P6 h5	Ajustes com grandes interferências, para peças onde deve-se garantir que não haja giro relativo entre uma peça e outra. Montagem e desmontagem somente com prensa a frio, ou com esquentamento de uma das peças óleo quente. Não podem ser desmontadas sem prejudicar a fixação.	-Cubos de induzidos em eixos de motores elétricos -Rotores sobre eixos até 50 mm de diâmetro. -Montagem de polias e engrenagens de grande diâmetro -Rolamentos para trens de laminação. -Mancais de bronze em cubos (c/ trabalho forçado). -Côroas de bronze em rodas de parafuso sem fim -Côroas de bronze para engrenagens. -Acoplamento em pontas de eixo sujeitas à severas condições de trabalho.
H7 s6 H8 u7 H8 x7	S7 h6 U8 h7 X8 h7	Ajustes com prensagem a quente com prensa, com desmontagem impossível sem prejudicar as superfícies. Possível transmitir esforços pelo ajuste.	-Ajustes para máquinas elétricas com furos acima de $\varnothing$ 335 mm. -Anéis coletores com furos acima de 50 mm.
H7 h9	H7 h9	Ajustes deslizantes para peças que se soltam com facilidade.	-Pinhões e engrenagens com n 200 rpm presos com chavetas de cunha -Acoplamentos e polias de freios montados sobre eixos trefilados a frio -Aplicação em trens de laminação.

### 5.3. - Comparadores ou Calibradores de Tolerância (Calibres)

Depois de se estudar as tolerâncias a serem adotadas numa peça, deve-se cuidar então, que elas sejam obedecidas. Para isto podemos usar instrumentos comuns ou universais de medida, tais como paquímetros e micrômetros. Porém, na realidade, não precisamos efetuar a medida direta da peça, que é mais demorada, podemos somente fazer uma medida indireta. A medição indireta nos dirá se a peça está ou não com uma dimensão situada entre os valores máximo e mínimo permitidos pela tolerância, o que é suficiente. Ainda terá a vantagem de maior rapidez.

Por outro lado é bom salientar que os comparadores são usados para peças produzidas em altas séries e com exigências de tolerância normais. Os calibradores são instrumentos razoavelmente caros e não versáteis, logo, inadequados para baixas séries de produção. Para peças de grande precisão aconselha-se o uso de instrumentos de medida direta, pois a indireta não proporciona suficiente precisão de medida.

#### 5.3.1. Tipos de comparadores

Existe uma infinidade de tipos de comparadores, cada um se adaptando a um particular emprego. Veremos agora os tipos principais:

##### - Comparador Tampão

É o tipo mais comum para inspecionar furos, ou diâmetros internos e é também chamado "passa-não passa". Isto porque possui dois cilindros: um para controlar a medida mínima  $K$  ou a máxima  $G$ . Se a dimensão  $D$  do furo está dentro da tolerância, então  $K \leq D \leq G$ , e ao tentar introduzi-los no furo o primeiro passa e o segundo não passa. Portanto todas as peças nas quais isto ocorra são consideradas boas.

Pode acontecer porém que  $D = G$  e o lado não passa vai tender a passar, rejeitando-se uma peça boa. Além disto, os próprios calibres devem possuir uma tolerância própria quando são fabricados e sofrem um desgaste (especialmente o lado "passa") com o uso e tudo isto não deve prejudicar a inspeção. Por isto os citados cilindros não são fabricados exatamente com as medidas limites.

Existe uma pequena diferença  $\alpha$  (V. fig 5.9) que faz com que a tolerância de inspeção seja menor que a tolerância exigida pela peça. Ou seja, para eliminarmos certas imprecisões deste método de inspeção, tornamos a tolerância de inspeção mais rígida.

Além do deslocamento  $\alpha$ , a medida do comparador deve ter uma tolerância adequada para a fabricação dele próprio e prever ainda um pequeno desgaste natural do uso.

Existem normas (DIN, ASA, APE, etc) que tratam detalhadamente deste assunto, que será estudado posteriormente.

Os comparadores como o da fig. 5.8 geralmente possuem o lado passa mais comprido para se ajustar com o furo. O corpo do comparador pode ser feito de material mais leve para não cansar o operador. Este tipo pode ser usado para diâmetros até 100 mm, para dimensões maiores, usa-se o comparador plano.

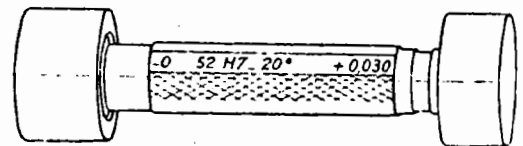


Fig.5.8-Calibrador Tampão

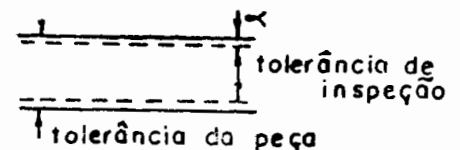


Fig.5.9

- Comparador Plano

É mostrado na fig. 5.10 sendo mais leve, pode ser usado para dimensões maiores que 100 mm. Além disso, permite avaliar melhor a conicidade e ovalização de um furo, pois o contato se dá apenas em duas regiões.

Por questões de facilidade e economia, o comparador plano pode ser construído conforme fig. 5.10.b O lado "passa" e não passa" estão do mesmo lado, existindo apenas um pequeno "degrau" entre eles.

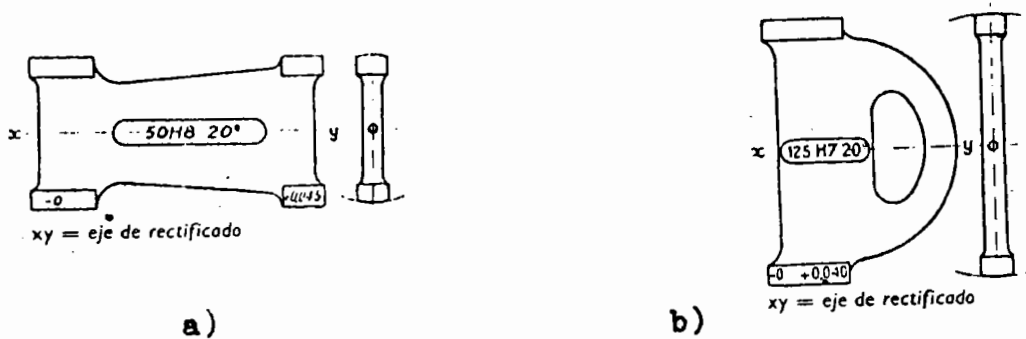


Fig.5.10- Comparadores planos

- Comparador de hastes

As hastes possuem extremos cilíndricos. A grande vantagem é a leveza, sendo aplicado para diâmetros maiores que 250 mm.

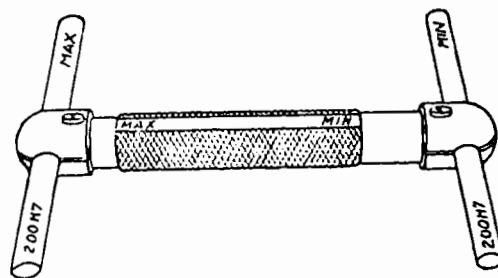


Fig.5.11- Comparadores de hastes

### - Comparador de Anel

Para o controle de eixos apresentamos a seguir uma série de tipos. O primeiro deles é o tipo anel como na fig. 5.12.

Usa-se um jogo de dois anéis: um passa e outro não passa. O fato de ter de ser introduzido pela extremidade faz com que o uso de comparadores anéis tenha restrições como por exemplo a impossibilidade de inspecionar uma peça presa entre pontas.

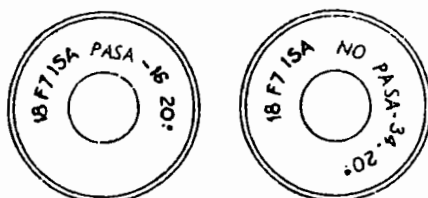


Fig.5.12- Calibrador de tipo anel

### - Comparador de boca ou ferradura

Uma alternativa natural vem a ser o calibrador ferradura como se vê na fig. 5.13. O tipo duplo pode ser usado para dimensões nominais até 100 mm. Para dimensões maiores usa-se o tipo simples valendo as mesmas observações da fig. 5.10.

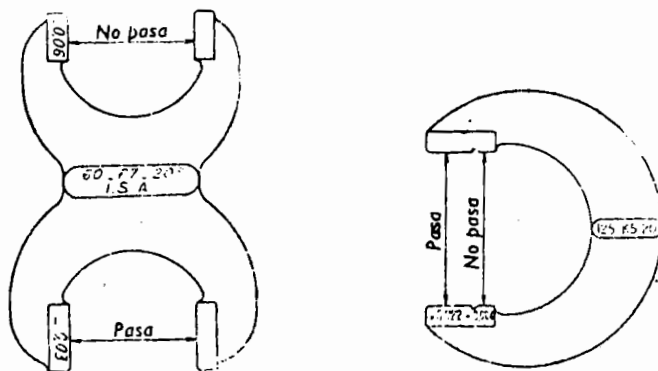


Fig.5.13- Calibrador de boca

O comparador de boca pode apresentar-se numa forma mais versátil que se vê na fig. 5.14. Para uma certa medida nominal (ou até uma faixa delas) pode ser regulado para controlar qualquer medida de ajuste. Basta para isto fazer-se as montagens de blocos padrões referentes às respectivas medidas G e K.

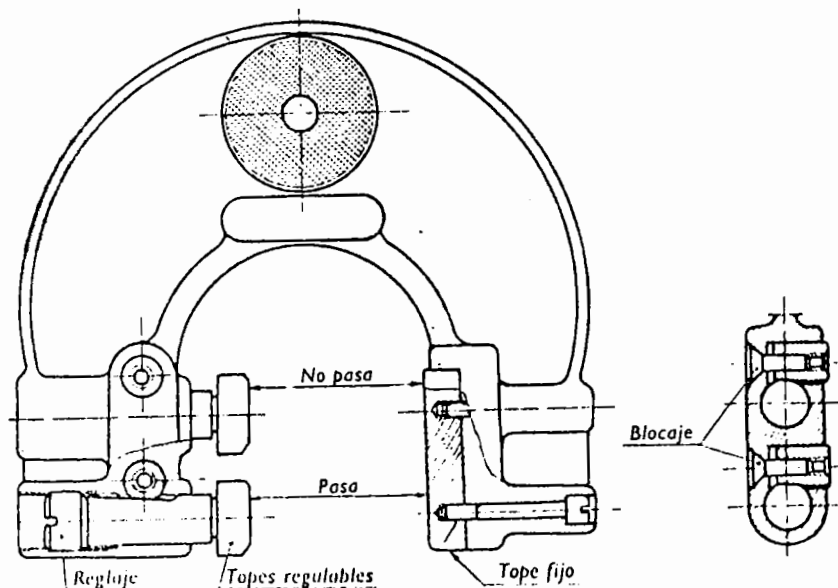


Fig.5.14- Comparador ajustável de boca

-Comparadores que possibilitam medição direta

Existem casos em que a medição indireta não satisfaz plenamente. São casos típicos a montagem seletiva (separação das peças em grupos de dimensão definida) ou quando quer se eliminar a influência da sensibilidade do operador na medida (a pressão de medição será constante e dada pelo aparelho). Porém em qualquer dos casos não perdemos a rapidez de medida.

A fig 5. 15 mostra os exemplos mais comuns para dimensões externas ("snap gage") e interna ("súbito")

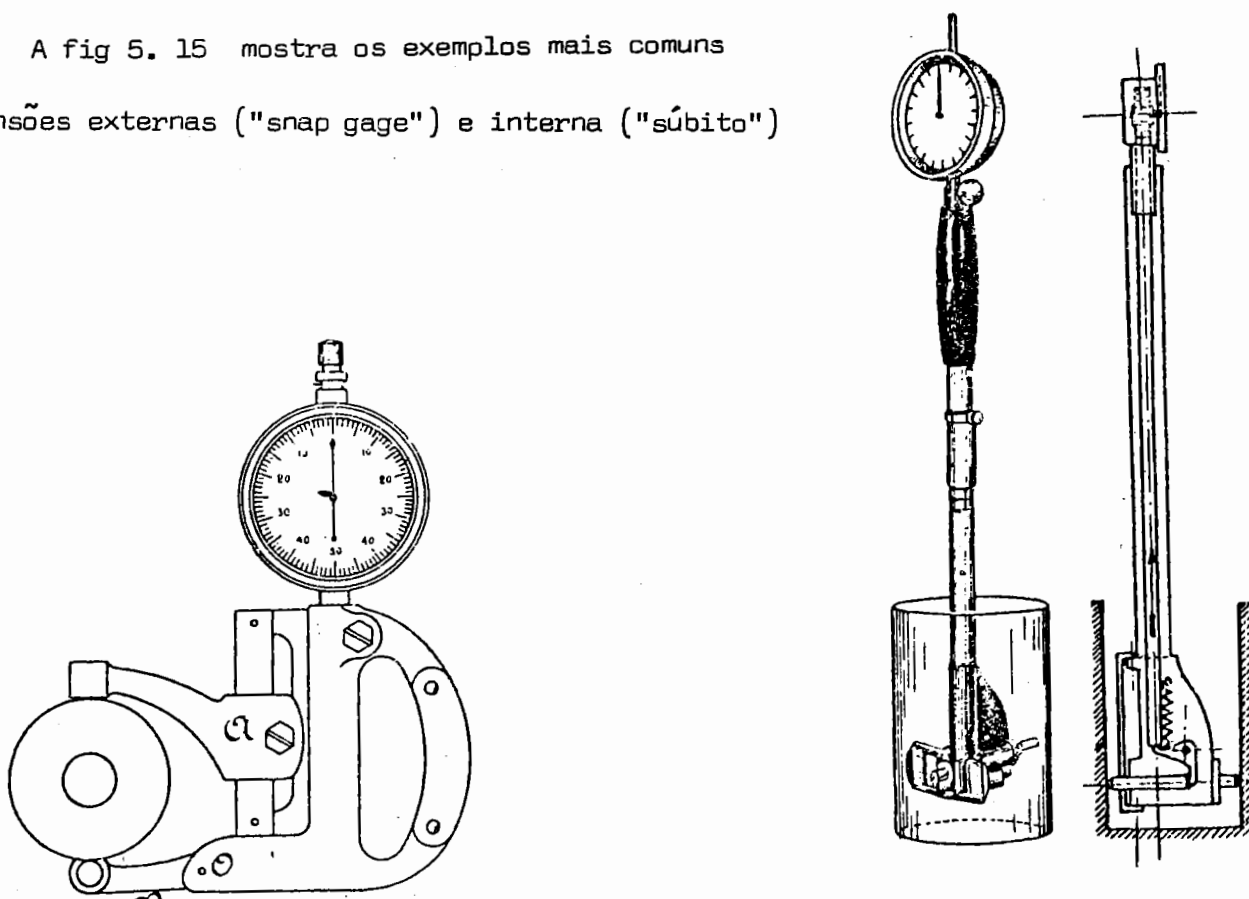
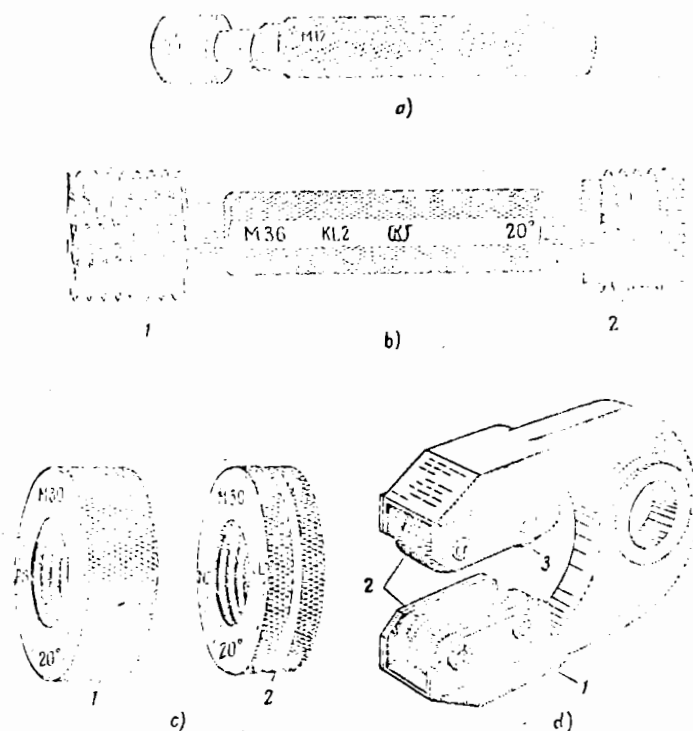


Fig.5.15- Comparadores "snap gage" e "súbito"



### Comparadores para verificação de roscas

A verificação de roscas é um assunto um tanto complexo que será visto separadamente no cap. IX. Isto porque esta verificação não trata somente de uma dimensão mas de várias dimensões (passo e diâmetros da rosca) e de uma "forma" (raios e ângulos). Naquela oportunidade veremos as considerações básicas das normas para construção dos comparadores de roscas.



**Fig.5.16** Calibres para roscas:

a - corpo; 1 - de tolerância; 2 - parte apasada; 3 - parte que possui o calibre  
 anillo; 1 - anillo apasado; 2 - anillo que passa; 3 - braço de tolerância  
 parte; 1 - corpo; 2 - rodillos apasados; 3 - calibre que passa

A fig 5.16 mostra os tipos básicos de comparadores de roscas externas e internas.

### Comparadores de espessura e comparadores de forma

Os comparadores de espessura se prestam a verificações de folgas especialmente em montagens de baixa série. São apresentados geralmente como um jogo de laminas com dimensões desde 0,03 mm. até 1 mm variando-se a espessura de 0,01 ou 0,05 mm conforme fig. 5.16 a) e b).

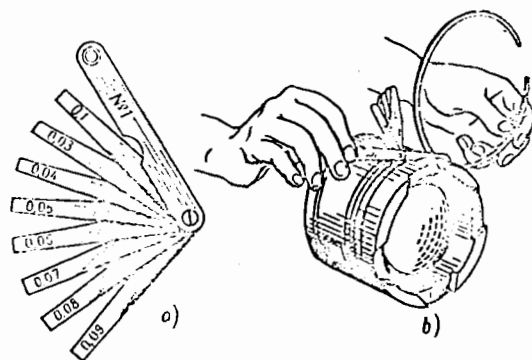


Fig.5.17- Comparador  
de espessura

Os comparadores de formas (gabaritos) são usados nos casos de produção e precisão baixas. São comuns os gabaritos para verificação de roscas, raios, ângulos ou qualquer perfil de revolução. Geralmente se apresentam sob a forma de chapas cujo perfil é exatamente aquele que desejamos, sendo a peça examinada por encaixe com o comparador.

### Contracalibradores

Como vimos anteriormente, os comparadores estão sujeitos a desgastes devido ao uso. Para evitar que se use, depois de um certo tempo, o comparador com dimensões inaceitáveis, periodicamente ele é verificado com um conjunto de contracalibradores.

Se o calibrador em questão é do tipo tampão os contracalibradores serão tipo a nel (e vice-versa). Para o lado "passa" teremos um jogo de 2 anéis um devendo admitir e outro não a passagem do mesmo. A diferença de dimensões dos dois anéis deve englobar a tolerância de fabricação do comparador e mais o seu desgaste admissível.

Para o lado "não passa", valem as mesmas considerações. Como se vê para a verificação de um calibrador tampão são necessários 4 calibradores anéis, envolvendo portanto um custo considerável que se admite quando se tenha elevada produção. Caso contrário, o calibrador pode ser verificado por instrumentos convencionais e medida direta. Outro caso onde se usa contra calibradores é quando o comparador tem formas especiais (para verificar dentes de engrenagem, estrias (splines), roscas, etc) sendo demorada ou difícil sua medida direta.

## Cap. VI - COMPARADORES COM AMPLIFICAÇÃO

### 6.1. - Generalidades

Estes instrumentos de medida são com efeito amplificadores de medidas, podendo alguns tipos pneumáticos e interferométricos alcançar amplicações até 100.000 vezes, possibilitando assim leituras diretas de até  $0,02 \mu\text{m}$ . São chamados de comparadores por que permitem efetuar medidas (diretas ou indiretas) de comprimentos por comparação, de - pois de calibrados. São também comuns as denominações "relógio comparador", "relógio in dicador" etc.

Podem apresentar as mais diversas formas e são muito utilizados nas fábricas e nas salas de metrologia dada a robustez e simplicidade de emprego na maior parte deles. Podem ser classificados segundo o sistema utilizado na amplificação em:

- Comparador de Amplificação Mecânica
- Comparadores de Amplificação Óptica
- Comparadores de Amplificação Pneumática
- Comparadores de Amplificação Elétrica

### 6.2. - Comparadores de Amplificação Mecânica

É o sistema de amplificação de medidas mais empregado.

O comparador mecânico é um instrumento similar a um relógio, (Fig. 6.1) cujo ponteiro, acionado por um mecanismo apropriado, indica em uma escala graduada em 0,01 ou 0,001 o deslocamento sofrido por um apalpador que desliza sobre a superfície a ser me dida.

Podem ser de tres tipos:

- a) Comparadores de amplificação por engrenagens
- b) Comparadores de amplificação por alavanca
- c) Comparadores com amplificação por lamina tensionada.

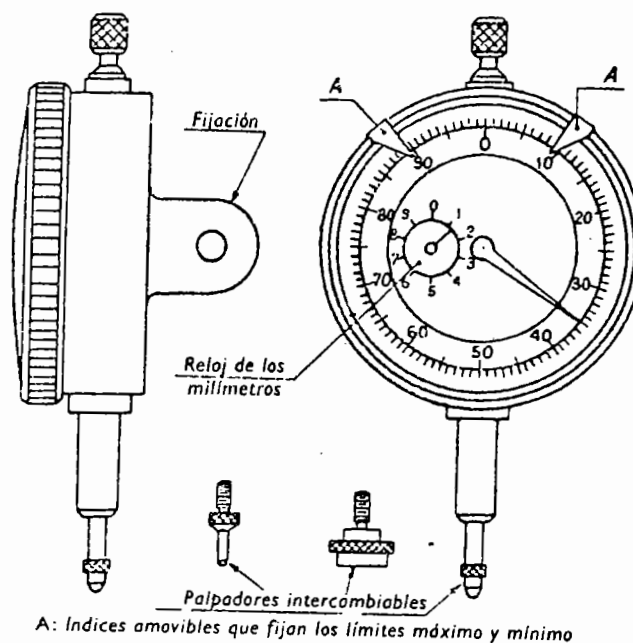


Fig.6.1- a) Comparador de amplificação mecânica

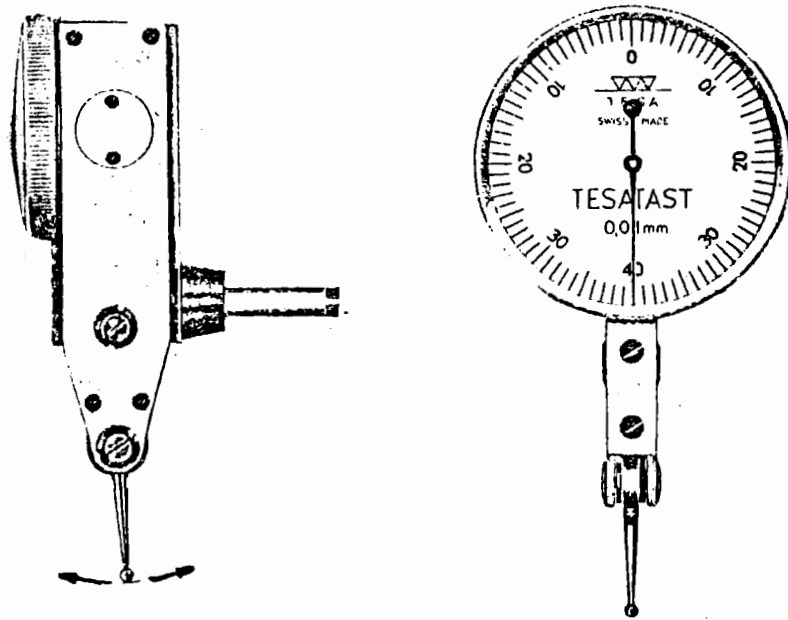


fig.6.1- b) Comparador de amplificação mecânica

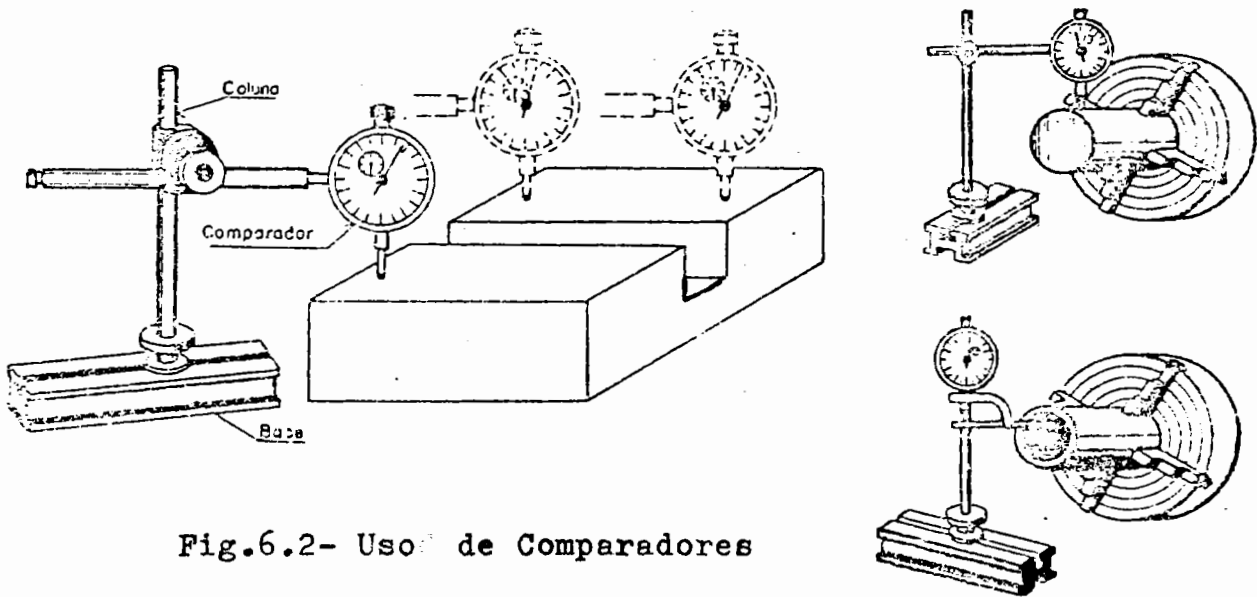
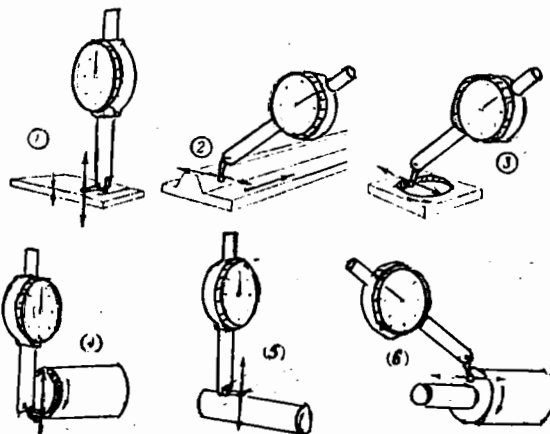


Fig.6.2- Uso de Comparadores

Aplicaciones del comparador.  
 1) Control de superficies rectilíneas; 2) de espesor; 3) de centrado; 4) de concentricidad; 5) de excentricidad; 6) de perpendicularidad.



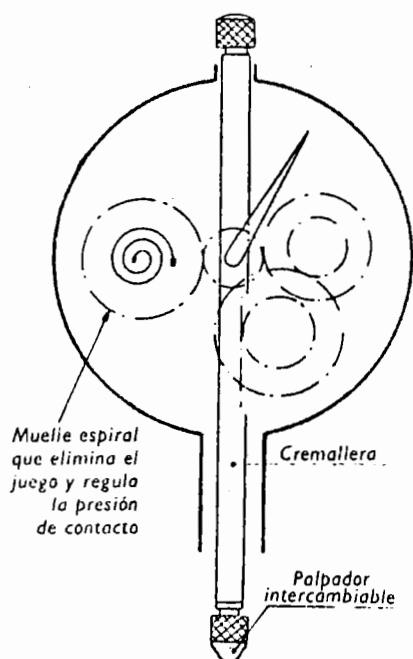
### 6.2.1. - Comparadores de Amplificação por Engrenagens

A Fig. 6.3 indica o princípio de funcionamento. O movimento retilíneo do palpador solidário a uma cremalheira se transmite ao ponteiro e é amplificado por um trem de engrenagem; uma mola mantém o conjunto constantemente sem jogo.

A mesma mola, ou outra prevista especialmente para este fim em outros aparelhos, assegura a pressão constante e necessária do palpador sobre a peça, sendo a força da ordem de 20 a 30 g segundo o amplificador.

O mostrador pode girar em torno do seu eixo (coincide com o eixo do ponteiro) e a zeragem do instrumento pode ser feita facilmente. As orelhas "A" da fig 6.1 se deslocam circunferencialmente e podem se aproximar ou se separarem uma da outra, possibilitando facilmente a visualização da tolerância desejada.

Para isto, em um suporte tipo mesa de medição da fig 6. 5, por exemplo, colocamos montagens de blocos padrões nas dimensões máxima e mínima e ajustamos as orelhas respectivas. É claro também que assim podemos fazer leituras diretas.



**Fig.6.3-** Comparador de ampl. por engrenagens

Os comparadores mais comuns apresentam o mostrador graduado em centésimos de milímetros. Outros mais precisos podem apresentar graduações de 0,005 , 0,002 e 0,001 mm.

Nos primeiros o alcance de medida chegam até 10 mm, nos tres últimos esse alcance é menor. O deslocamento em milímetro é registrado separadamente em uma escala auxiliar colocada na parte interna do mostrador.

Nas indústrias estes instrumentos se empregam sobretudo para fazer, além das verificações dimensionais, as geométricas tais como: paralelismo, perpendicularidade de superfícies, perpendicularidade de eixo e superfície, cilíndricidade, concentricidade, etc; indicando uma variação de comprimento seu valor e seu sentido (V. fig. 6.2).

Para fazer uma verificação o eixo do apalpador deve ser preferentemente, normal à superfície a controlar e dispor-se sempre segundo a direção da diferença que se propõe medir.

### 6.2.2. - Comparadores de Amplificação por Alavanca

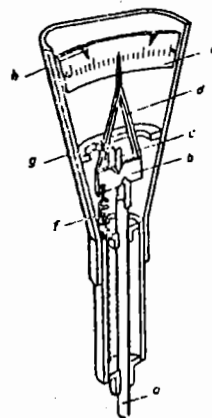
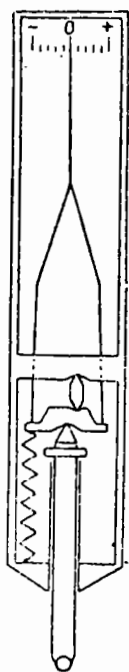
Neste instrumento também conhecido com o nome de "Minímetros" a amplificação por alavanca pode alcançar até 1000 vezes. A fig 6.4 mostra a disposição do princípio a dotado para a amplificação.

Em geral se graduam em 0,001 e 0,002 mm. O alcance de medida é de 0,1 mm.

Estes amplificadores como os anteriores se montam em suportes que devem ser rígidos e estáveis, para possibilitar a sua calibração e seu emprego. Muito utilizados são as bases magnéticas formadas por um ímã permanente o que possibilita uma fixação rápida e segura sem necessidade de peças de fixação.

Os apalpadores podem ser trocados (apalpadores planos ou esféricos) de acordo com a superfície a verificar.

A utilização desses comparadores é a mesma que os anteriores.



Mecanismo interior esquematizado de um minímetro.

a) Palpador; b) palanca amplificadora; c) cuchilla de apoyo; d) índice; e) cuadrante; f) resorte; g) caja; h) índices para límites de tolerancia.

Fig.6.4- Comparador de amp. por alavanca

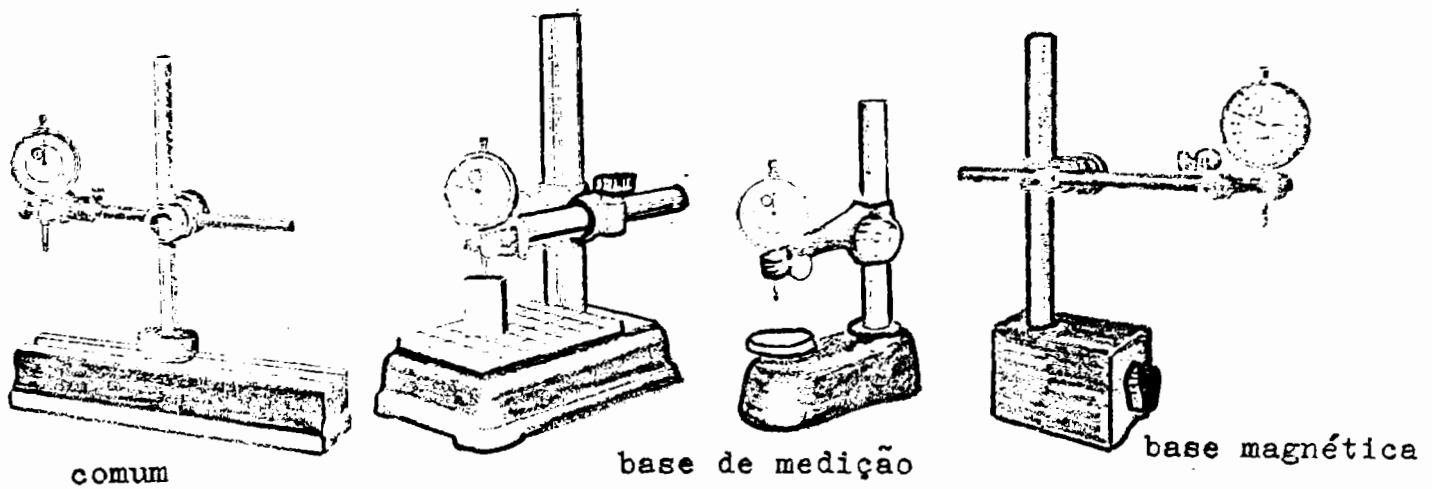


Fig.6.5- Bases para comparadores

6.2.3. - Comparador com amplificação por lamina tensionada

O esquema deste aparelho é mostrado na fig 6.6, onde se vê que um deslocamento da haste  $F$  ligada ao apalpador, provocará através do dispositivo  $E - C - D$  uma tensão proporcional na lamina torcida  $B - A - C$ .

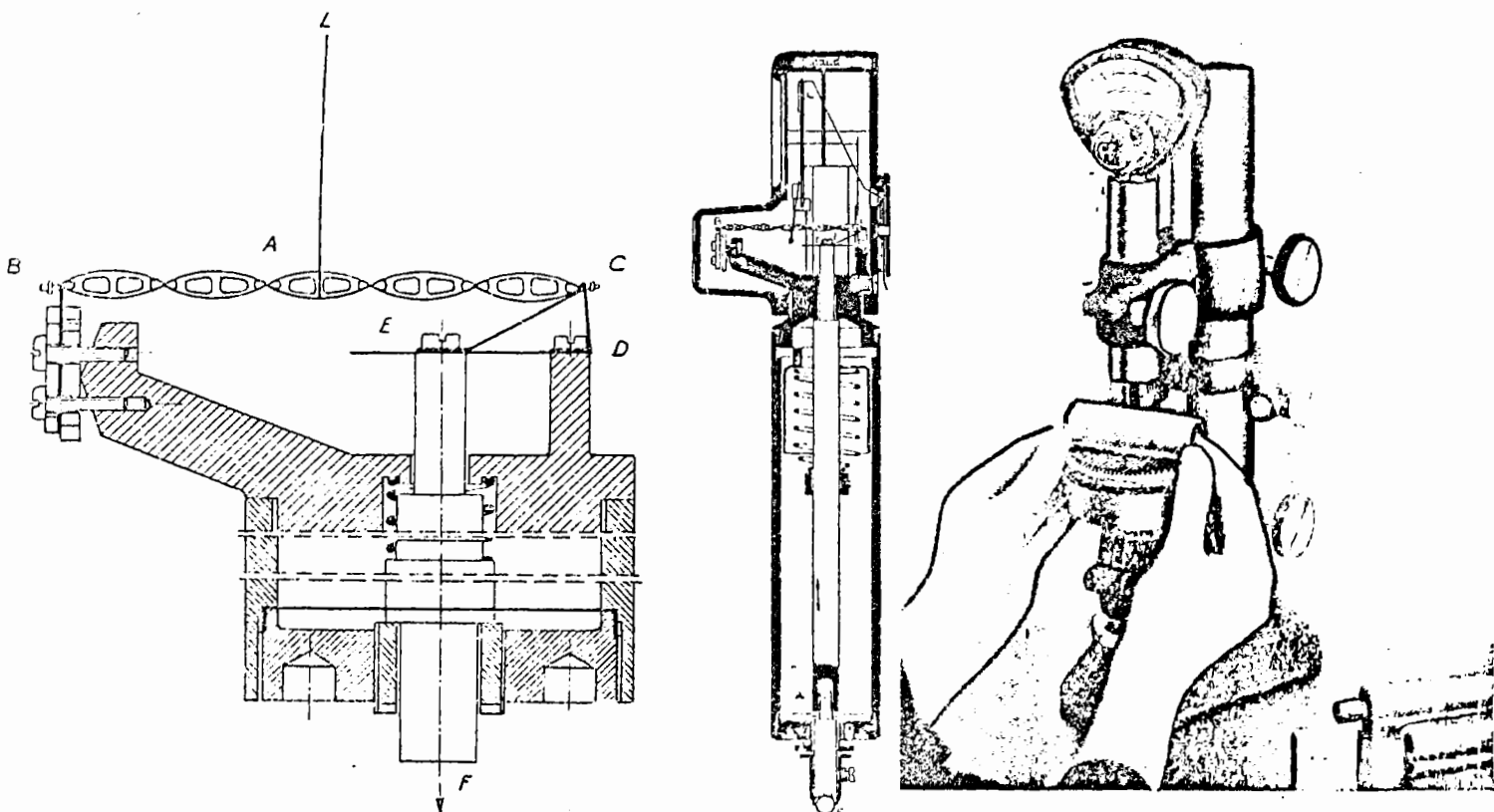


Fig.6.6- Comparador com amp. por lamina tensionada

O ponteiro L sofrerá então um giro (menor que  $180^\circ$ ) em torno de BAC proporcional a esta tensão ou seja ao deslocamento do apalpador. Com este instrumento podemos ter uma acuracidade de 1, 0,5 e 0,2  $\mu\text{m}$  com alcance de 0,1, 0,05 e 0,03 mm.

Também neste caso, o uso é semelhante ao anterior, usando-se o comparador acoplado com mesas de medição ou suportes especiais.

### 6.3. - Comparadores de Amplificação Óptica

A vantagem desses aparelhos reside no fato de que o sistema de amplificação adotado elimina em grande parte o uso de peças mecânicas, dotadas de inércia e passível de desgaste.

O princípio utilizado é uma "alavanca de reflexão", como exemplo citamos o método de Poggendorf para medir ângulos e cuja representação se vê na Fig 6.7.

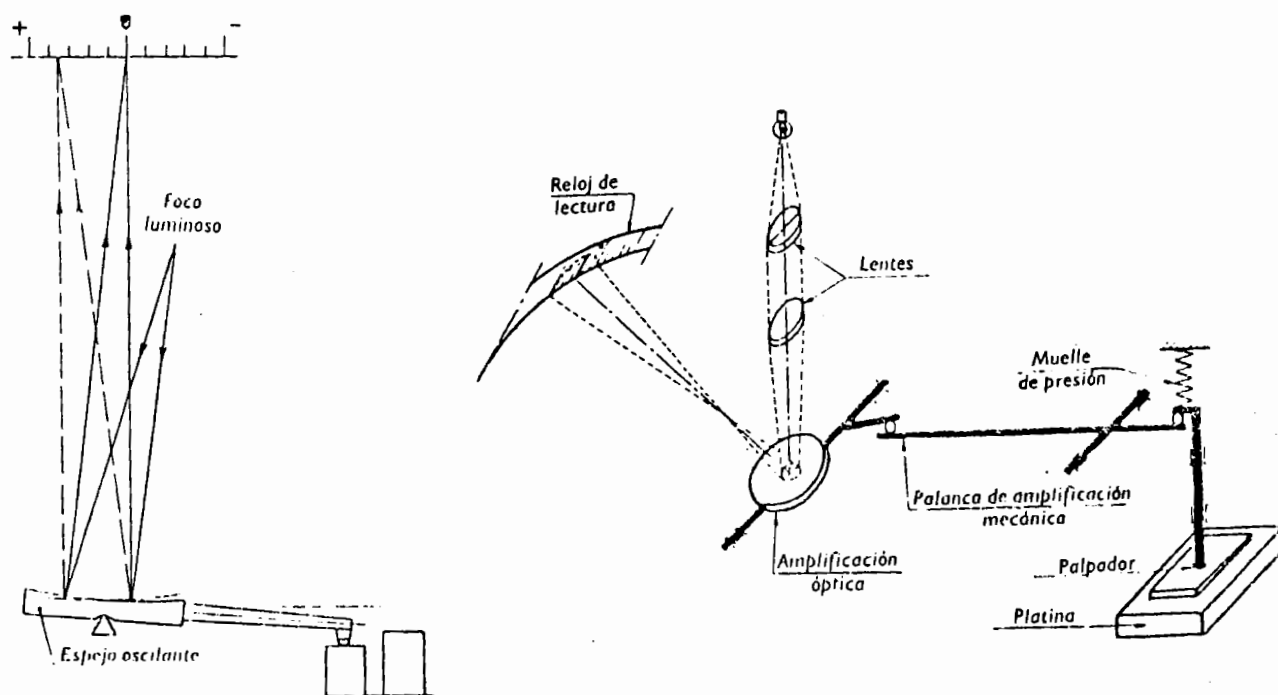


Fig.6.7- Esquema do amplificador óptico

A fig 6.8 representa o princípio de amplificação adotado. Constitui uma síntese da amplificação mecânica e da amplificação óptica. A amplificação é de 1000 vezes. A pressão de medida, constante, é dada para força de 200 g, a precisão é de 5  $\mu\text{m}$ , mas nos laboratórios de metrologia se pode alcançar até 1  $\mu\text{m}$ . A amplitude é de  $\pm 0,1$  mm.

A objetiva ③ leva duas gradações fixas em que a da esquerda esta iluminada por um fecho de luz que provem do espelho ⑤ esta gradação se reflete no espelho oscilante ⑧ por intermédio de um prisma ⑥ e da lente autocolimadora ⑦ que tem por missão transformar em paralelos os raios luminosos que provem da objetiva.

Por oscilação do espelho ⑧ sob a ação das variações das medidas da peça ⑫, a imagem refletida da gradação esquerda se desloca diante da gradação à direita e dá o respectiva leitura. A ocular ② permite ter uma vista aumentada da escala.



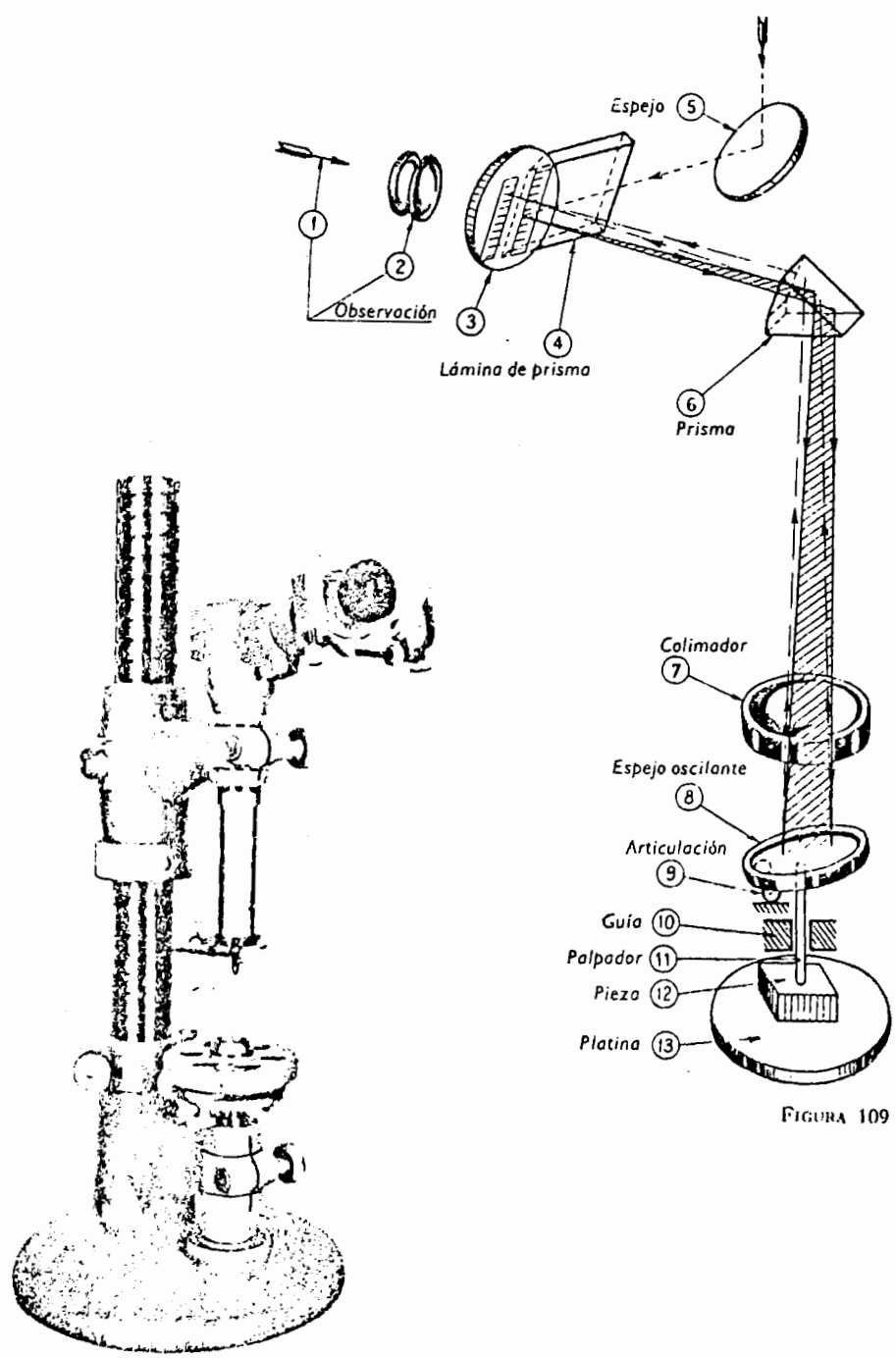


FIGURA 109

Fig.6.8- Comparador com amp. óptica

6.4. - Comparadores de Amplificação Pneumática

É um tipo de comparador de largo uso e que possui grande amplificação (até... 100 000 vezes) e versatilidade. Pode ser usado na produção, junto às máquinas, dando leituras rápidas e precisas, sendo particularmente adequado para as fases de acabamento das peças (retificação por exemplo). O seu desempenho compensa o seu custo mais elevado.

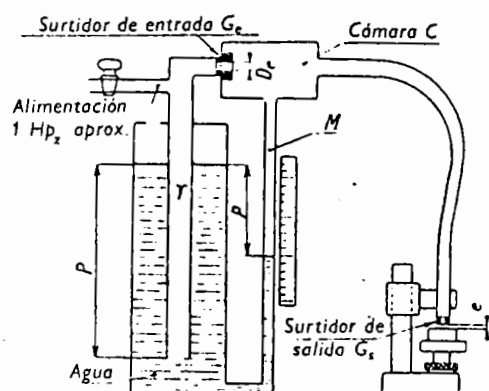


Fig.6.9- Esquema do comparador pneumático

Vemos na fig 6.9 o esquema de funcionamento.

O aparelho é alimentado por uma rede pneumática qualquer usando pressões da ordem de  $1 \text{ kgf/cm}^2$ , suficiente para borbulhar o tanque de água. Isto garante uma pressão constante de alimentação para camera (atmosférica + coluna d'água de altura  $P$ ) pois qualquer variação é balanceada pelo borbulhamento e o nível d'água. O ar penetra em  $C$  por um restritor de entrada e o manômetro  $M$  indica a pressão  $P$  nesta camera. Esta última pressão pode ser variada alterando-se o diametro do restritor de saída ou a dimensão  $e$ , mas geralmente estaremos interessados no valor desta última, conservando-se fixo o diametro referido.

Podemos então graduar  $M$ , com uma aferição apropriada em unidades de comprimento, e assim obteremos aí o valor quantitativo de qualquer variação de  $e$ .

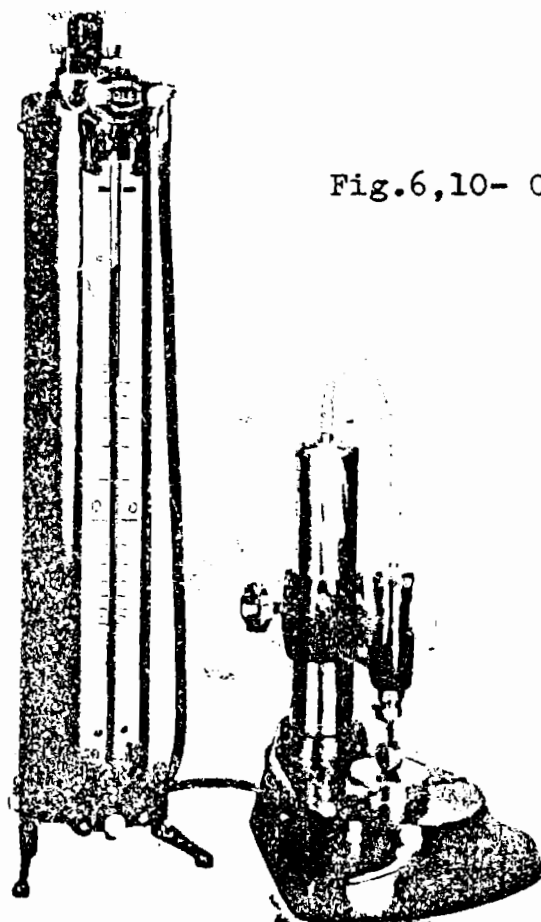


Fig.6,10- Comparador pneumático

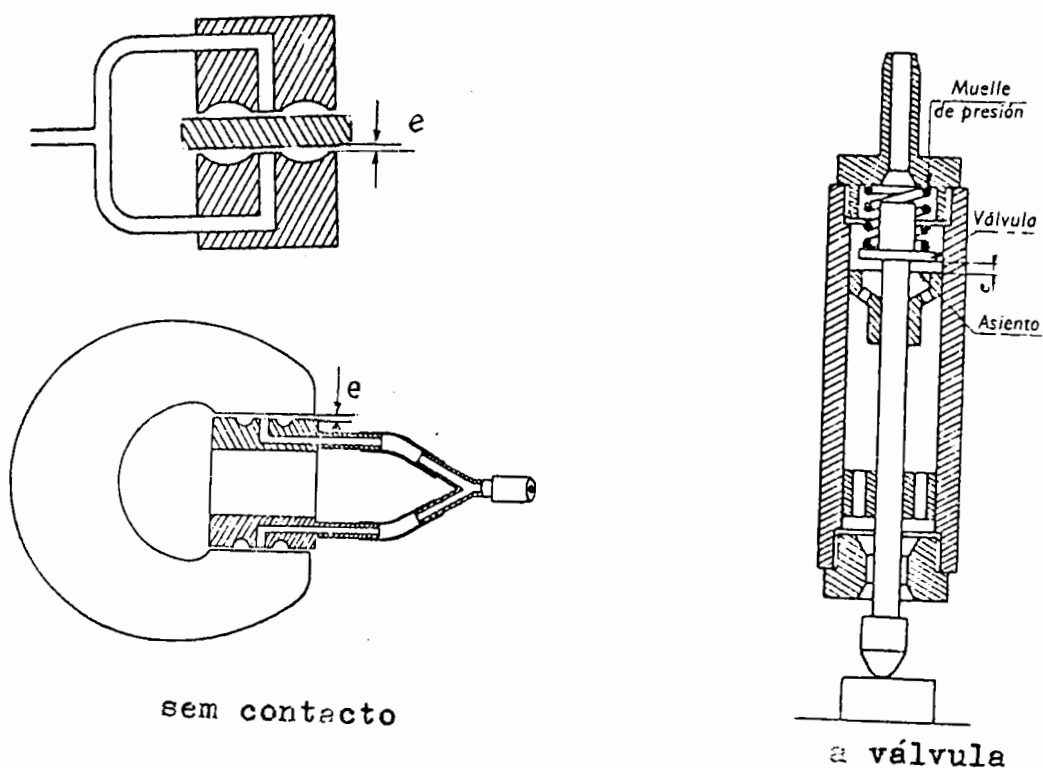
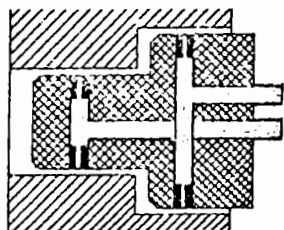


Fig.6.11- Tipos de apalpadores

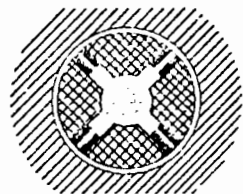
O apalpador pode ser de dois tipos: a válvula (ou com contato) e sem contato (ver fig 6.11 onde se observa as respectivas dimensões  $e$ ). Existe alguma vantagem de se usar o tipo válvula pois a vazão de ar não depende da rugosidade superficial da peça, o que acontece no segundo tipo. Porém este último é mais versátil conforme vemos na fig. 6.13.

A ampliação destes aparelhos para uso normal em fabricação é de 4.000 a 20000 vezes ou seja uma variação de  $1 \mu\text{m}$  em  $e$  ocasiona um deslocamento de 20 mm da coluna neste último caso. Existem também modelos para ampliação de 100.000 vezes, lendo-se dimensões com acuracidade de até  $0,03 \mu\text{m}$ !. No caso normal esta acuracidade é de  $1 \mu\text{m}$  com alcance de 18 a 55  $\mu\text{m}$ .

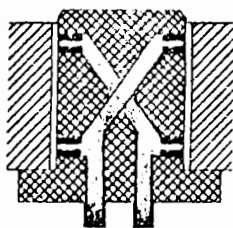
A fig 6.13 mostra algumas das múltiplas aplicações dos comparadores pneumáticos.



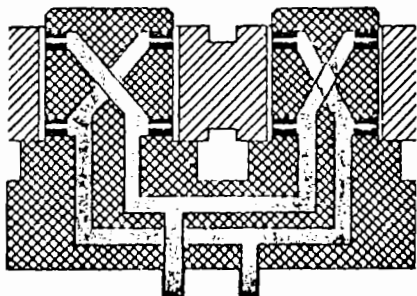
Contrôle simultâneo de 2 furos



Medição do diâmetro médio

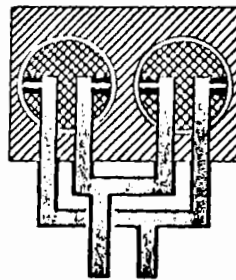


Perpendicularidade entre furo e face

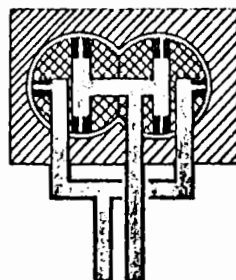


Paralelismo de 2 furos

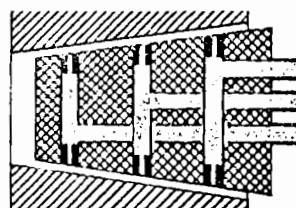
Fig.6.12



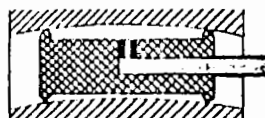
Distância entre centros



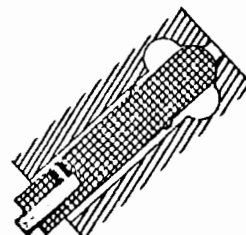
Distância entre centros de 2 furos socavados



Contrôle de furo cônico



Contrôle de retitude de furo



Concentricidade entre sede cônica e furo

Fig.6.13

### 6.5. - Comparadores com Amplificação eletrônica

Estes instrumentos operam através da conversão do deslocamento do apalpador em um sinal elétrico (corrente ou tensão) por meio de um transdutor. Este sinal pode ser manipulado, ampliado e apresentado em um galvanômetro em cuja escala, previamente calibrada, pode-se ler o deslocamento do apalpador.

Estes transdutores são geralmente baseados em um dos quatro tipos de funcionamento:

- capacitivo (v. fig 6.14)
- indutivo (v. fig 6.15)
- por "strain-gage"
- piezo-elétrico

Os dois primeiros tipos geram o sinal elétrico pela variação da capacidade e da indutância dos respectivos transdutores como se vê pelas figuras indicadas. No caso de fig 6.15 mostra-se a fonte de excitação da bobina (OSCILLATOR - 2,5 kHz e 6 V) e, a manipulação do sinal obtido, após o que ele é convertido geralmente, em deslocamento de um ponteiro (INDICATOR).

No terceiro caso, um deslocamento do apalpador produz tensão em um elemento qualquer (uma lamina por exemplo) que contém um "strain - gage", o qual, assim, tem o valor de sua resistência ôhmica variada.

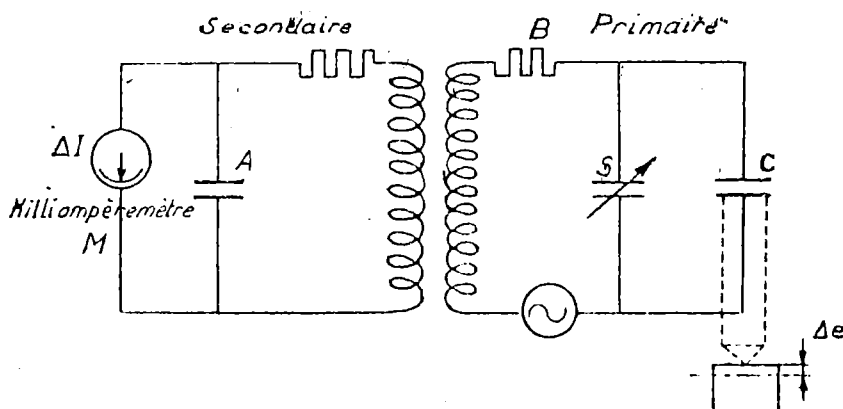


Fig.6.14- Esquema de um comparador Capacitivo

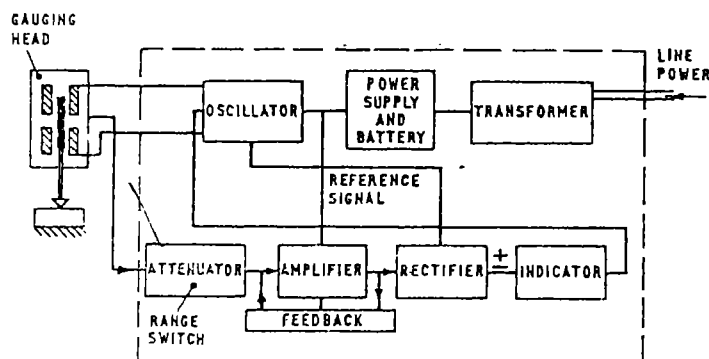
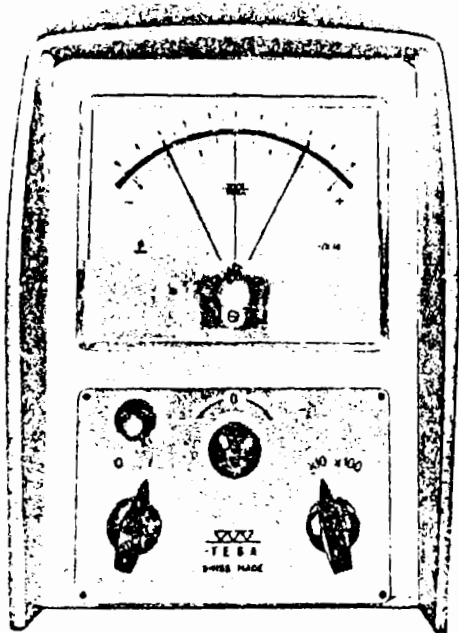


Fig.6.15- Esquema de um comparador eletrônico com amp. indutiva

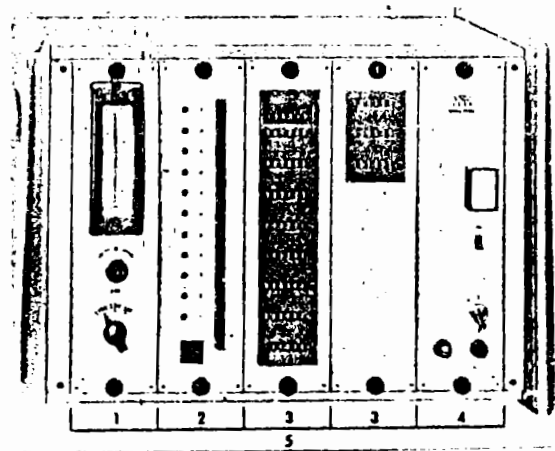
Esta é a grandeza elétrica que propiciará o conhecimento do deslocamento através de uma ponte de Wheatstone, por exemplo.

O transdutor piezoelétrico funciona gerando sinal elétrico sempre que o seu cristal piezo-elétrico é distorcido por um deslocamento do apalpador.

De todos estes tipos o mais largamente usado é o indutivo. O seu uso geralmente é restrito à sala de metrologia, onde se presta para medidas de precisão e controle de blocos padrões classes A e B. Pode, porém, ser usado nas fases de acabamento de



a) normal



b) especial para separação seletiva

Fig.6.16- Indicadores do comparador indutivo

peças e na separação final de componentes que sofrerão montagem seletiva. Para este fim existem acessórios especiais como da fig 6.16b. Uma vez selecionados as várias classes de dimensões seletivas, o aparelho pode ser preparado para acender no painel central a lâmpada referente a cada uma das classes, dependendo da dimensão da peça.

Os comparadores com amplificação elétrica possuem ampliações de 10.000 a 100.000 vezes. O conjunto apalpador / transdutor tem geralmente, dimensões pequenas e é ligado ao circuito principal por um cabo flexível o que dá uma grande versatilidade de uso, a exemplo dos comparadores com amplificação mecânica.

Isto se vê na fig 6.17, mas aqui destacamos que neste caso são medidas diferenciais. Com os comparadores elétricos é possível; invertendo-se a "polaridade" dos transdutores, ler-se diretamente a diferença dos deslocamentos.

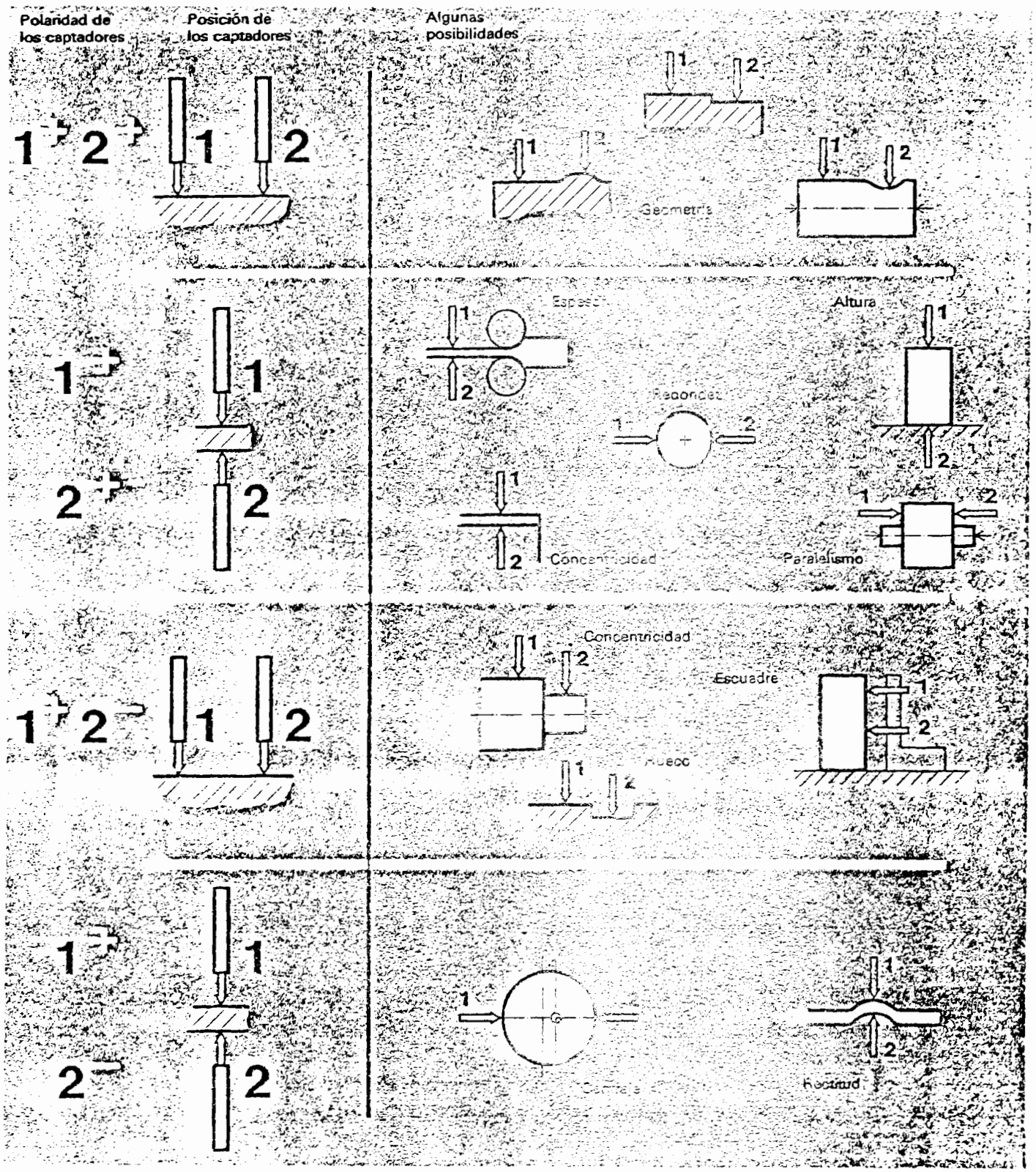


Fig.6.17- Usos de comp. eletr. para medidas diferenciais

## VII. - INSTRUMENTOS OPTICOS

### 7.1. - Generalidades

Os instrumentos ópticos caracterizam-se pela grande precisão e são geralmente usados somente dentro das salas de metrologia para fazer controle ou medições acuradas.

Além da precisão, podem possuir três grandes vantagens: ausência de contacto, baixo desgaste e fácil manejo. Realmente, alguns aparelhos opticos utilizam um feixe de luz no processo de medição (v. itens 7.4 e 7.5) e não usam apalpadores evitando problemas de deformação.

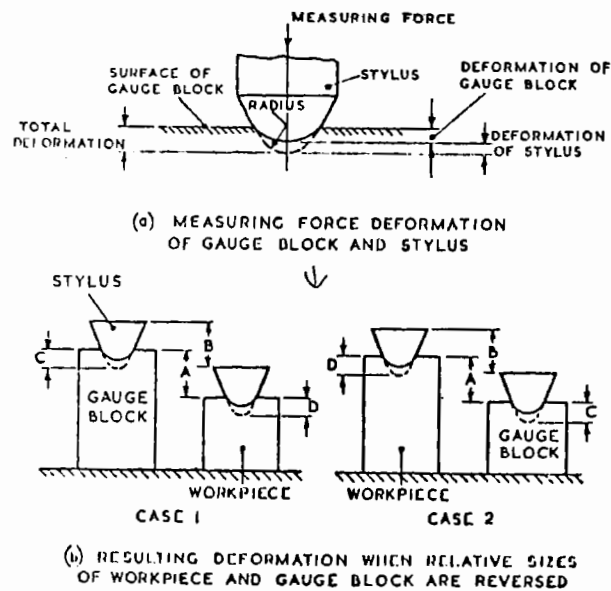


Fig.7.1- Deformações devido a pressão de medição

Na fig 7.1 vemos as deformações havidas e lembramos que estas dependem da pressão local. Para uma força de medição alta ou raio do apalpador pequeno (área de contato pequena) teremos alta pressão de contato e deformações também altas (centenas de  $\mu\text{m}$  por exemplo). O ideal é se ter pressão de medição constante para garantir a repetibilidade, mas deformações pequenas para não alterar a dimensão real da peça (deformações devem ser coerentes com a menor divisão da escala do aparelho).

Além disto, de um modo geral, os sistemas ópticos possuem poucos componentes mecanicos. Estes últimos são os que mais sofrem desgastes devido ao uso e portanto tais aparelhos se desgastam pouco.

### 7.2. - Sistemas Opticos de Ampliação

Temos dois princípios básicos de ampliação óptica:

a) espelho oscilante - é o princípio usado no comparador óptico, já descrito no item 6.3.

b) lentes de aumento - Na fig 7.2 vemos um esquema deste princípio. A composição da objetiva (lente (s) que focalizam o objeto) e a ocular (lente (s) para o observador mirar) e respectivas distancias focais, proporciona uma ampliação  $\frac{A''}{A}$ .



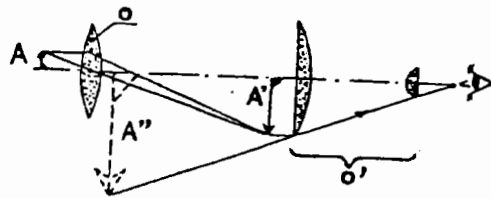


Fig.7.2- Ampliação óptica por meio de lentes

Em instrumentos de medida esta ampliação chega até 100 X, sendo normal entre 20 e 50 X.

O objeto representado por A pode ser iluminado de duas formas:

a) iluminação diascópica (ou projeção) - neste caso o feixe de luz incide paralelamente ao eixo das lentes. Enxergamos na objetiva somente o contorno da peça sendo o restante da mesma enxergado como um campo escuro.

b) iluminação episcópica - a iluminação é feita obliquamente (da direita para a esquerda no caso da fig 7.2) sendo possível observar agora, além do contorno, os detalhes da superfície que estão sob a objetiva.

Estes princípios básicos de optica associados, como veremos adiante, a tambó - res micrométricos, oculares micrométricos, régua, mesas e retículos, irão gerar uma série de instrumentos ópticos. Neste capítulo veremos os mais comuns e universais, sendo que outros serão vistos nos capítulos seguintes.

### 7.3. - Lupa

É o instrumento optico mais simples. Constitui-se de lente(s) de aumento montadas num cabo apropriado para uso manual. É usada para exame (não para fins de controle de qualidade) de: superfície de peças, desgastes de ferramentas etc. Pode ser acoplado a ela vários retículos.

Retículos são figuras especialmente gravadas num elemento transparente colocado no plano focal para comparações com o forma ou dimensão do objeto. Podemos ter retículos com escalas lineares, angulos e formas especiais, todos eles já levando em conta a respectiva ampliação da lupa.

As lupas comuns tem ampliação de 2' a 10 X.

### 7.4. - Projektor de Perfis

Na fig 7.3 vemos um projetor de perfis tendo em sua tela a projeção de uma ar ruela. Da objetiva ① parte um feixe de luz (iluminação diascópica) o qual atravessa a mesa ② que possui em seu centro um campo circular vazado com um vidro superposto. Aí é colocada a peça e os raios que atravessam levam a imagem do seu contorno até a objetiva ③ onde sofre ampliação e, por reflexões apropriadas, é lançada na tela ④. A focalização do sistema é feita pelo manipululo ⑤.

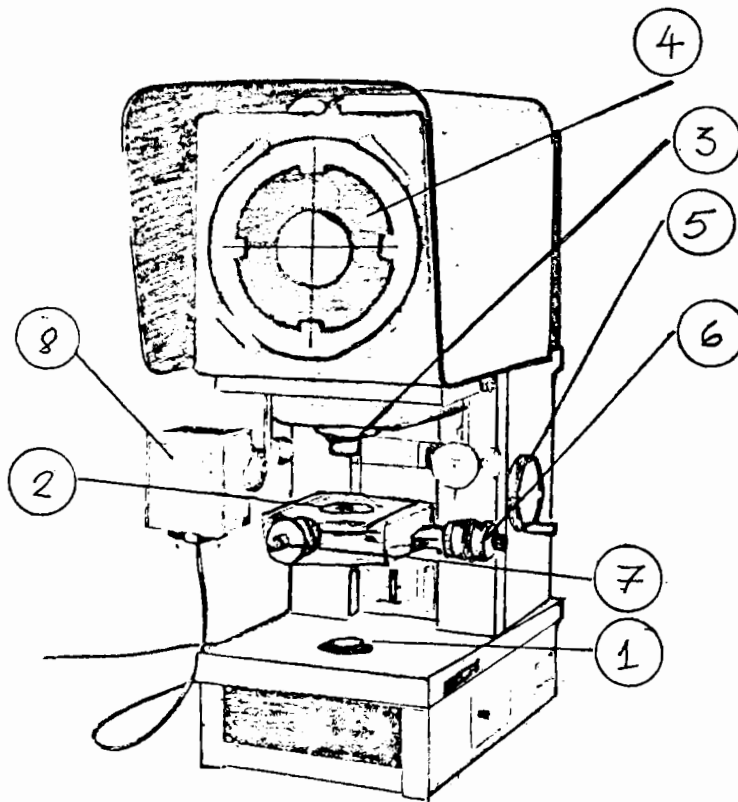


Fig.7.3- Projektor de Perfis

Com este sistema podemos medir:

a) medidas lineares

A peça fica sobre a mesa que sofre deslocamentos ortogonais pela ação dos tambores micrométricos (6) e (7), que permitem leituras de 0,01 ou 0,005 mm com curso em geral, de 25 mm.

Suponhamos que se queira medir o diâmetro interno da arruela mostrada.

Todas as medidas lineares são tomadas com referencia aos eixos ortogonais gravados na tela. Em nosso caso temos que centrar a arruela em relação a esses eixos caso contrário mediremos uma secante mas não um diâmetro. Feito isto deslocamos a mesa ( e portanto a imagem da peça) até fazermos o ponto "O" de cruzamento dos dois eixos, coincidir com o ponto A (v. fig 7.4) e anotamos a leitura do tambor. Após isto com um novo deslocamento fazemos coincidir O e B, e descontamos agora esta leitura da anterior.

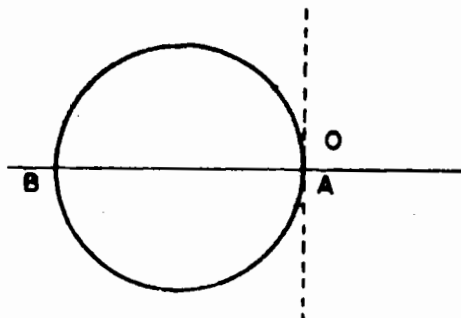


Fig.7.4- Medidas lineares feitas no projetor

O resultado é o diâmetro desejado. Assim fazemos todas as medidas lineares, superpondo 0 aos extremos da dimensão a medir e fazendo a diferença de cotas.

(Com isto fica fácil a centragem da arruela: basta medir uma secante qualquer e colocando 0 no ponto médio, um dos eixos será corda e passará portanto pelo centro).

É importante observar que o projetor de perfis mede dimensões, contidas num plano perpendicular ao feixe de luz, da projeção da peça nesse mesmo plano. Assim só obteremos a verdadeira grandeza da secção normal de um perfil de rosca, se colocarmos o filete paralelamente ao feixe de luz.

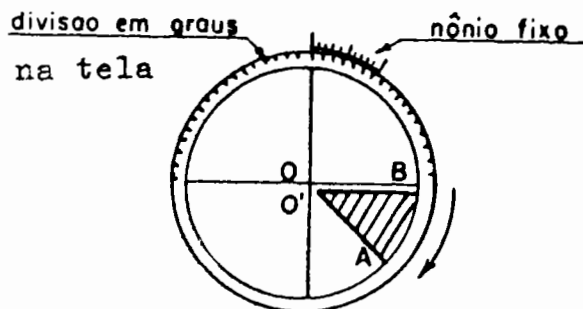


Fig.7.5- Medidas angulares feitas no projeor

#### b) medidas angulares

A medição é feita segundo a fig 7.5. A tela é giratória em torno do ponto "O" e possui divisões em graus. Fixo no painel está um vernier que permite leituras de 1 min. Para se obter o valor do angulo  $AO'B$ , basta coincidir (para facilitar) 0 e  $O'$  e girando-se a tela faz-se, coincidir, agora, um dos eixos com  $O'B$  e após com  $O'A$  e descontar as respectivas leituras.

#### c) comparação e controle de formas

Pode-se controlar ou comparar, com o projetor de perfis, formas de peças: raios de concordância, contornos retilíneos ou curvilíneos etc. Basta saber a ampliação óptica do aparelho (geralmente 20 X e 50 X) é fazer um gabarito em papel vegetal, por exemplo, com a forma desejada devidamente ampliada. Neste gabarito é possível até ser desenhada a tolerância de forma respectiva. Este gabarito colocado sobre a tela será comparado com a imagem da peça.

Além disto os projetores de perfis possuem um acessório de iluminação episcópica (assinalado ⑧ na fig 7.3). A iluminação diascópica tem a limitação de só poderem ser examinadas com ela os detalhes de peças que sejam atravessados pela luz. Neste caso não é possível medir-se o diâmetro de um furo cego, por exemplo. A iluminação episcópica não tem esta limitação e pode-se, então, medir de uma moeda por exemplo o diâmetro e também detalhes da superfície cunhada.

Para o exame de superfícies de revolução (eixos em geral, calibradores tampão etc) pode ser acoplado à mesa um suporte entre pontas, ou prismas, calços e outros acessórios. Existem modelos de aparelhos destinados a peças mais pesadas, onde a mesa é mais robusta e não mais vazada, pois a iluminação é feita paralelamente ao plano da mesma (as objetivas ① e ③ da fig 7.3 são colocadas horizontalmente).

Em qualquer modelo, porém, pode ser notada a grande versatilidade do projetor de perfis.

### 7.5. - Microscópios de Oficina

O microscópio de oficina é um aparelho de medida formalmente semelhante ao projetor de perfis fazendo também o mesmo tipo de medidas. Porém o microscópio é mais apropriado a peças pequenas e ferramentas.

Agora a imagem não é mais vista numa tela mas sim através de uma ocular. A iluminação passa também através da mesa e vai até a ocular sofrendo uma ampliação de 20 a 50 X. Os tambores micrométricos permitem igualmente leituras de 0,01 ou 0,005 mm e curso de 20 ou 25 mm e a focalização é feita deslocando-se verticalmente o conjunto que contém a ocular. O aparelho possui um dispositivo especial para se inclinar o feixe de luz para o exame de roscas (v. 7.6 ).

As medidas lineares são feitas da mesma forma que em 7.4. Os eixos ortogonais estão agora gravados num retículo sob a ocular. Existem dois tipos de oculares: ocular revólver e ocular goniométrica, ou cabeçote goniométrico, que são trocáveis.

Adaptando-se a ocular revólver, podemos fazer passar sob a ocular uma série de formas gravadas num retículo girando-se o botão lateral que aparece na fig 7.7. O referido retículo, em forma de disco também é aí mostrado. Essas gravações são, além dos eixos ortogonais, geralmente perfis dos vários tipos de rosca, raios de concordância , etc.

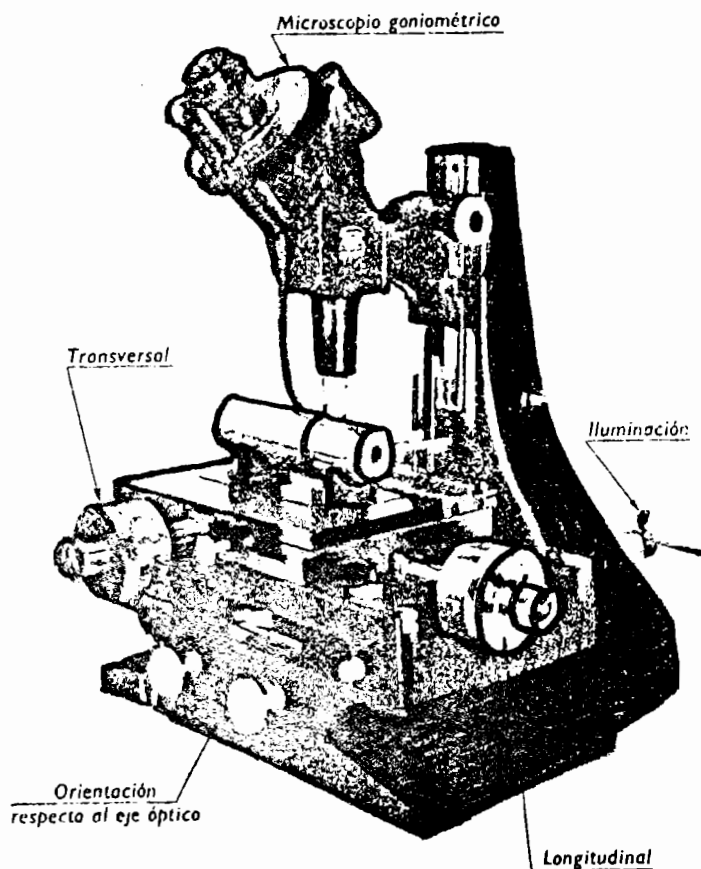


Fig.7.6- Microscópio de oficina

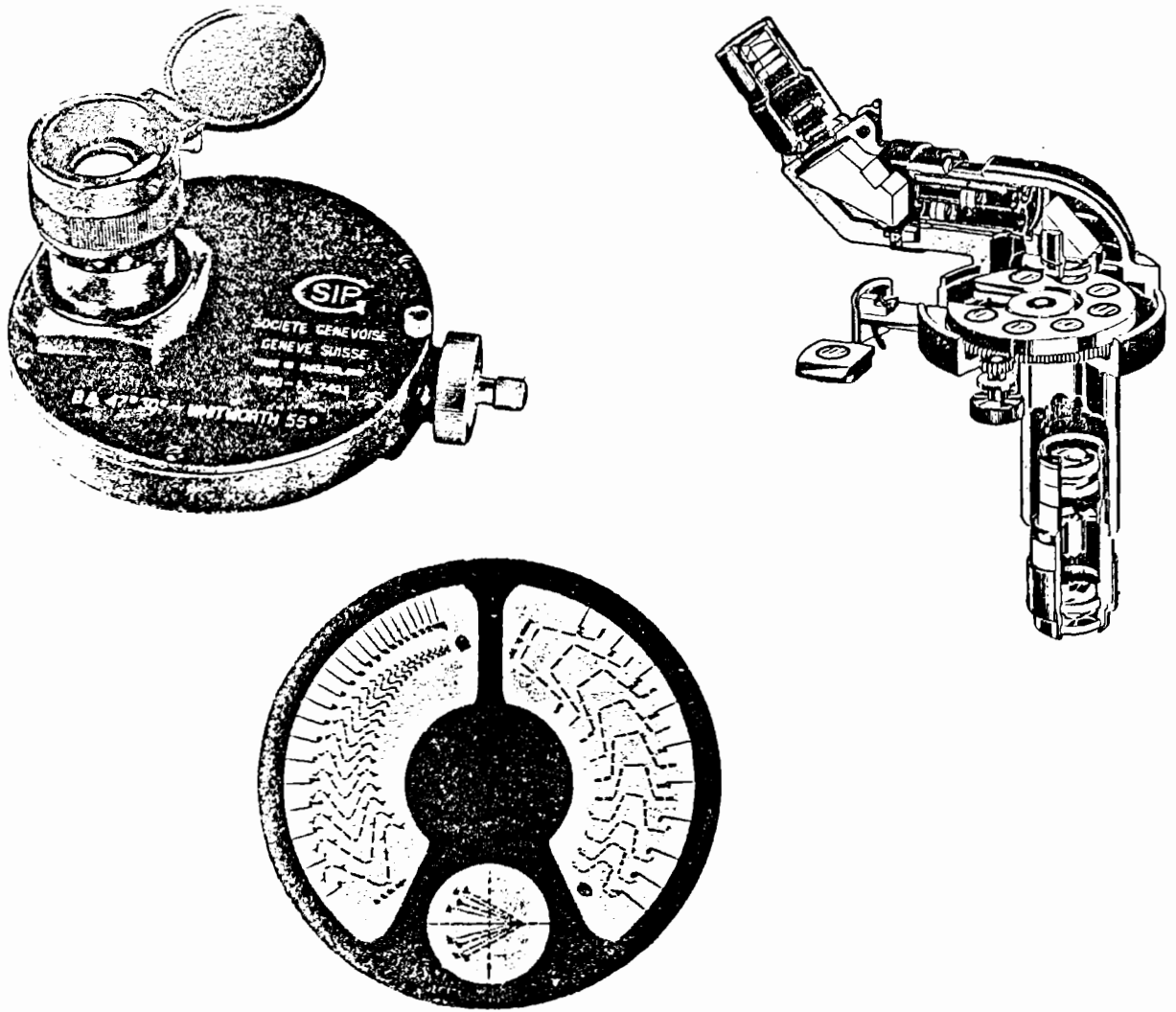


Fig.7.7- Ocular revolver

Com o cabeçote goniométrico podemos ler ângulos com acuracidade de 1 minuto. Ele é semelhante ao dispositivo já descrito, mas possui uma ocular auxiliar (v. fig 7.8). No interior do cabeçote existe um disco que pode ser girado, como na ocular revólver, em torno de seu centro que é coincidente com o eixo óptico da ocular principal. Nele estão gravados, em seu centro, dois eixos ortogonais e na sua periferia a divisão da circunferência de grau em grau. Estas marcações podem ser vistas pela ocular auxiliar que também mostra, solidária à estrutura do cabeçote, o arco de um grau dividido em 60 minutos (notar que não se trata de um nônio).

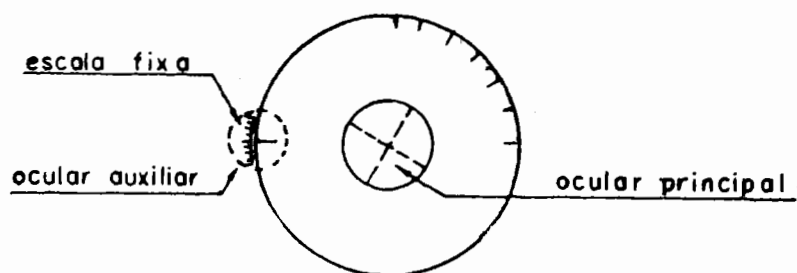


Fig.7.8- Ocular goniométrica

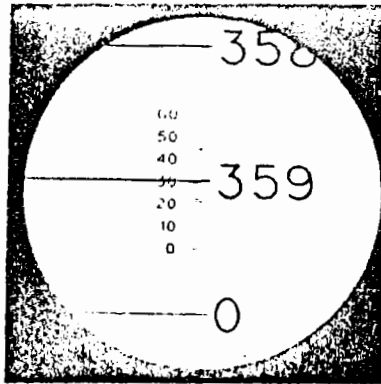


Fig.7.9- Leitura da ocular goniométrica

Exemplo: leitura  $359^{\circ} 30'$  na fig 7.9).

Basta, então, coincidir os eixos ortogonais com os lados do ângulo a medir e subtrair as leituras como em 7.4.b.

Também o microscópio de oficina pode contar com iluminação episcópica, bastante útil para medir desgastes de ferramentas. E além deste acessório temos também suporte entre-pontas, prismas, calços, etc.

#### 7.6. - Máquinas de Medir

São também conhecidas como bancos micrométricos, bancos ópticos etc. Constituem-se basicamente em um equipamento para medir acuradamente dimensões lineares (embora alguns acessórios possam também medir ângulos). Temos tipos que medem 1, 2 ou 3 coordenadas, permitindo leituras de até 0,0001 mm, sendo máquinas de alto custo (existem máquinas menos acuradas que não serão consideradas aqui).

Em verdade uma máquina com tal acuracidade e precisão pode constituir-se, juntamente com os blocos padrões, no suporte que garante a exatidão e bom funcionamento de uma sala de Metrologia Industrial.

Assim, são largamente utilizados para medições de comparadores tipos tampão, anel, de boca, tampão de roscas, instrumentos de medidas, blocos padrões classe oficina, machos, ferramentas em geral e peças acabadas.

Para melhor ilustrar esta espécie de máquina, apresentamos na fig 7.10 um tipo de uma coordenada.

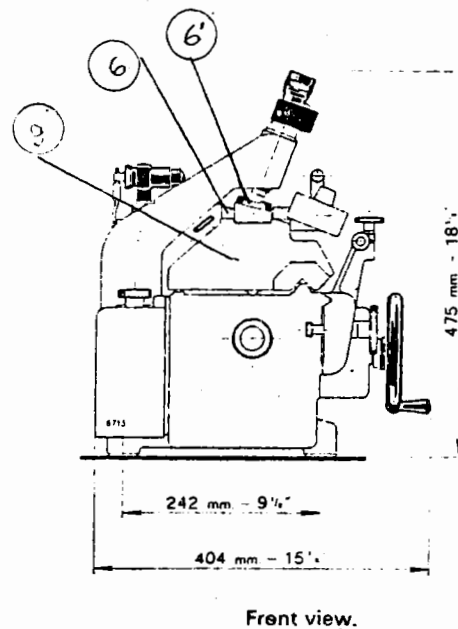
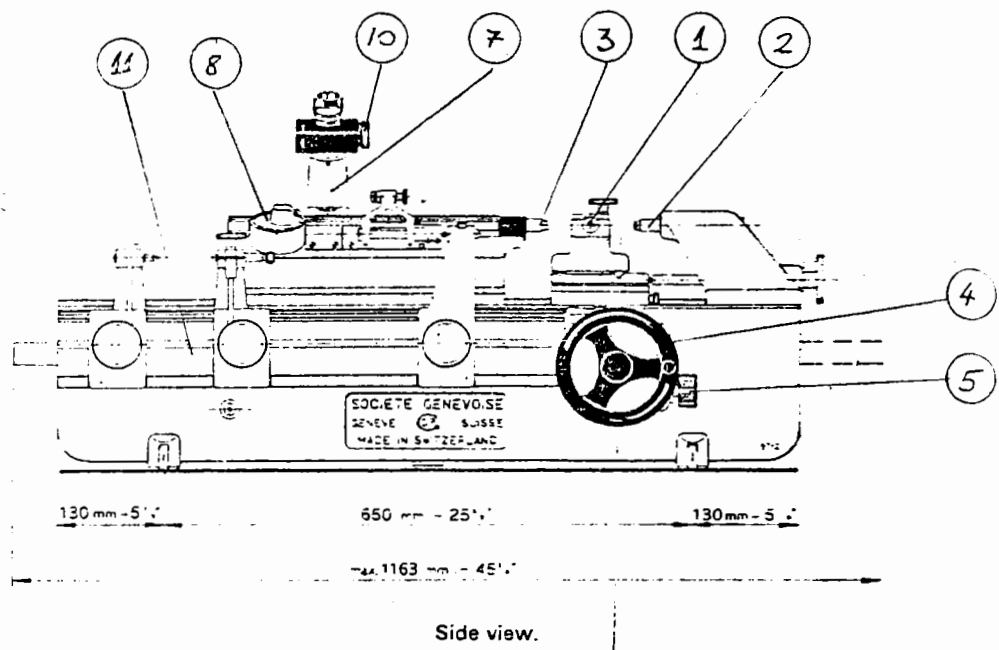


Fig.7.10- Máquina universal de medir de 1 coord.

A peça é sustentada pela mesa ① (no caso se trata de um suporte entre-pon-tas) e a dimensão a ser medida será obtida através do contato com os apalpadores fixo ② e móvel ③. Aliás todo o carro ⑨ se desloca longitudinalmente através de ④ (avanço grosseiro) e ⑤ (avanço fino). Uma vez tocada a peça pode-se garantir a constancia da pressão de medição (no caso a força de contato é de 400 grf.) por um dispositivo interno tipo catraca.

Uma grande vantagem da máquina é ter-se sempre medidas absolutas, sem necessi-dade de subtrair medidas (com ② e ③ em contato lê-se deslocamento nulo).

Uma vez, então, feito um deslocamento leremos na régua (6) seu valor em milímetros inteiros em relação a um traço fixo existente no braço posterior. Pela ocular ou microscópio micrométrico (7) leremos desde décimos de milímetro até décimos de microm. Para isto existe uma régua padrão (6') devidamente aferida, dividida em mm. Ao se olhar pela ocular ver-se-á algo semelhante à fig. 7.11.

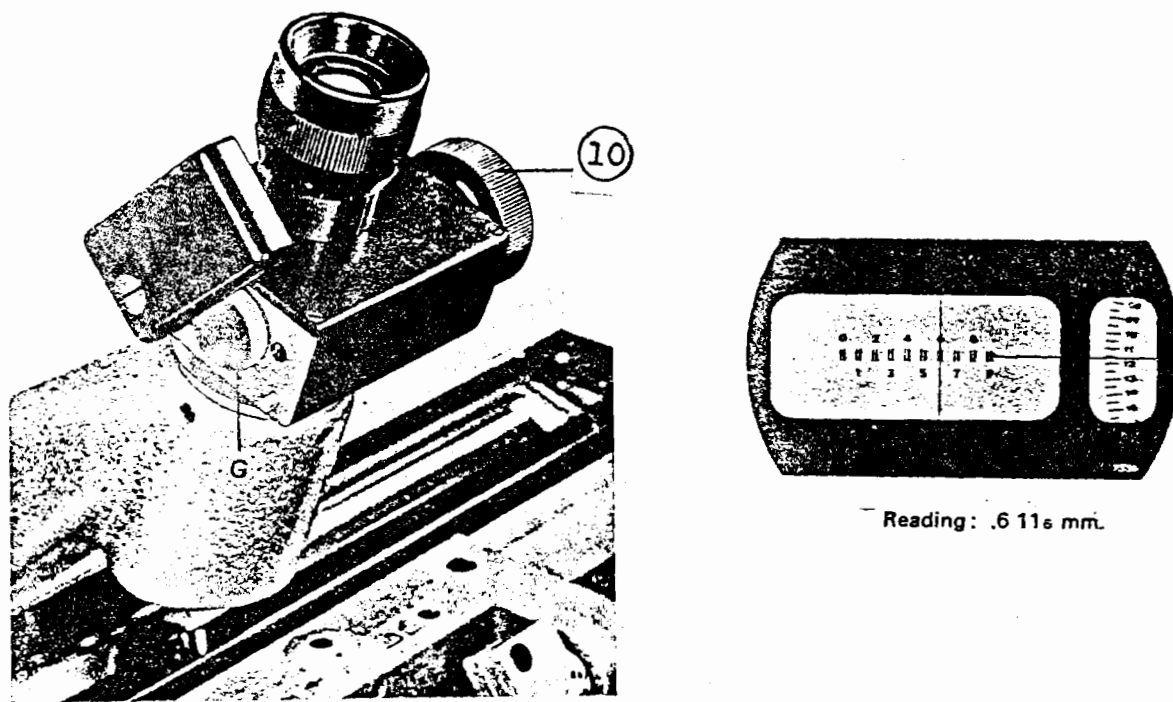


Fig.7.11- Microscópio micrométrico

No campo maior cada unidade vale 0,1 mm, e o traço que o cruza verticalmente é um dos traços da régua padrão. O campo menor indica os milésimos de milímetro, sendo que a menor divisão vale 0,0005 mm e devido à boa leituralidade do aparelho pode-se distinguir 0,1 m.

Neste microscópio (que é fixo) pode-se girar o botão (10) que faz girar o campo menor e deslocar longitudinalmente o maior. Num caso geral o digamos que o traço caia entre as marcações 6 e 7 dos decimos de milímetro. Com (10) deslocaremos o retículo para fazê-lo coincidir com o traço duplo mais próximo e leremos na fig 7.11 0,6116 mm que serão adicionados à leitura em mm inteiros.

Caso seja necessário, a essa medida serão feitas correções devido à temperatura do ambiente e deformação sob pressão de medição, as quais constam de tabelas que acompanham cada máquina. Para controlar a repetibilidade de uma medida pode-se usar o comparador (8). Estes são os recursos básicos, podendo-se ainda contar com grande número de acessórios: microscópio goniométrico (colocado nas guias (11)) ocular revólver, apalpadores para diâmetros internos, sistemas para controle de roscas, calços, prismas, etc.



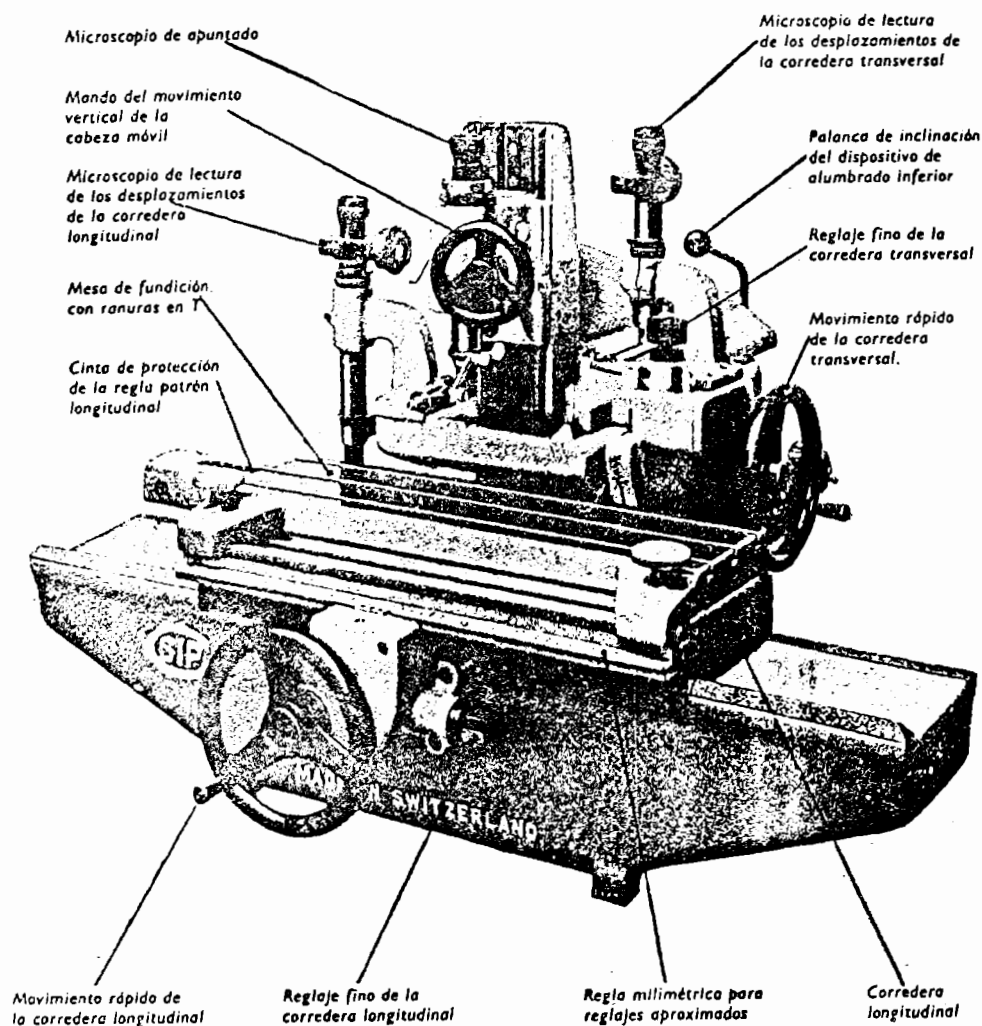


Fig.7.12- Máquina universal de medir de duas coordenadas

Na fig 7.12 vê-se uma máquina para duas coordenadas. A peça agora fica sobre a mesa e o microscópio de mira é que determina os pontos de medição (como em 7.5). Pode-se medir, pelo princípio já exposto, em coordenadas retangulares ou polares usando sobre a mesa uma mesa divisora de precisão.

Em realidade, com um acessório especial, pode-se medir uma terceira coordenada retangular.

## BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINHO, O.L.; A.C. RODRIGUES e J. LIRANI - "Princípios Básicos de Fabricação : Aplicações de Tolerância e Rugosidade Superficial" - EESC, 1975, 220p
- CARY, Fabriques d'Assortiments Réunies - catálogos
- COMPAIN, L. - "Metrologie de Taller" - Ediciones URMO, Bilbao, 1970, 303 p.
- GARCIA MATEOS, A - "Tolerâncias Ajustes y Cálibras", Ediciones URMO. Bilbao, 1969. 331 p.
- KRISIN, A - "Manual del Ajustador Mecánico, Editorial MIR, Moscou, 1967, 405p
- MAKIENKO, N. - "Manual del Ajustador", Editorial MIR, Moscou, 469 p.
- MEC - "Manuais Técnicos" - vols. nº 1 "Ajustador" e nº 3 "Retificador". EDART, S.Paulo. 1968
- NELSON CAMPOS G. OLIVEIRA - "Tolerâncias" - Escola Eng. Mackenzie, 1960, 45p
- Normas: ABNT NB-86 "Sistemas de Tolerâncias e Ajustes", DIN 7150, 7154, 7162
- PANAMBRA - "Boletins de Controle de Qualidade", nº 1 "Blocos Padrão" e nº 2 "Micrômetros";
- PEZZANO, P.H. - "Tecnologia Mecânica" - vol. 1, Libreria Alsina, B. Aires , 1962, 217 p.
- SALMON, P. "Métrologie Industrielle - "Soc. Publ. Mécaniques, Paris, 336 p.
- THOMAS, G.G. - "Engineering Metrology" - Butterworths - Londres. 1960 , 418 p.
- Torosevich, Y. - "Fits, Tolerances and Engineering Measurements" - Peace Publishers, Moscou, 1973, 120 p.