

## Capítulo 6

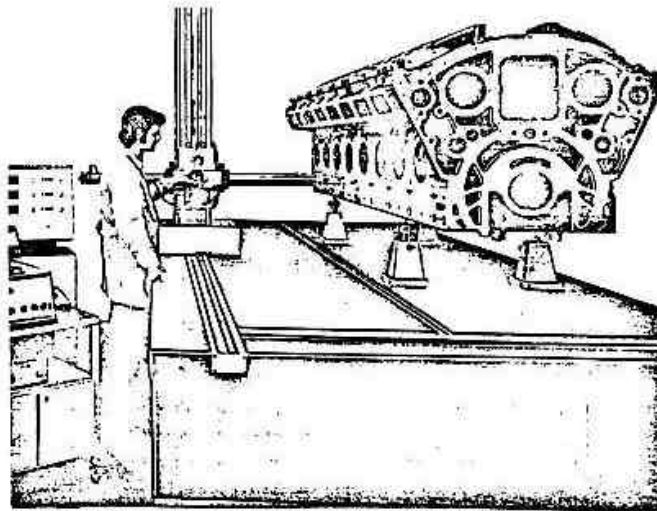
# INSTRUMENTOS AUXILIARES DE MEDIÇÃO

### 6.1 MATERIALIZAÇÃO DE FORMAS GEOMÉTRICAS SIMPLES

Para muitas medições, ou para traçagem de peças, necessita-se de um plano ou de uma reta de referência materializados.

Partindo deste plano ou reta, considerados perfeitos para o caso em questão (ou levadas em conta as imperfeições porventura existentes) pode-se determinar diversas medidas e estabelecer correlações entre as mesmas: se, por exemplo, numa carcaça com vários furos deve-se determinar a posição dos eixos destes furos entre si e em relação a uma superfície de saída (de referência) sobre a carcaça, é mais conveniente montá-la num plano de medição (placa de traçagem, desempeno) e determinar todas as medidas necessárias a partir da mesma com auxílio, por exemplo, de blocos padrão, graminho ou medidor de coordenadas (figura 6.1).

Para a traçagem vale o mesmo. Precisa-se então, para tais procedimentos, desempeno, réguas e esquadros.



**Figura 6.1: Exemplo de peça de grande porte medida em desempeno.**

### 6.2 DESEMPENOS

Os desempenos (placas) são geralmente de ferro fundido, sem falhas de fundição, fortemente nervuradas na parte inferior a fim de se ter uma boa rigidez. São apoiados em três pés com o que se tem sempre um apoio bem definido (isostático), e dispendo-os de modo a conseguir a mínima flecha de flexão pelo peso próprio.

De acordo com a classe de exatidão, a superfície (plana) do desempeno pode

ser usinada ( usinagem de acabamento ), plainada ou rasquetada, porém nunca retificadas (pequenas partículas dos grãos de rebolo poderiam ficar presas dentro de poros do ferro fundido e provocar desgaste demasiado dos instrumentos de medição).

Dimensões e erros admissíveis são normalizados pela DIN 876 e NBR 7263. O erros admissíveis de planeza, relativos a um plano ideal médio da placa em questão, podem ser apreciados, na tabela a seguir.

### **ERROS ADMISSÍVEIS DE DESEMPENOS DIN 876 / NBR 7263**

Classe de erro	Tolerância de planicidade
00	$4 + a/500$
0	$4 + a/250$
1	$10 + a/100$
2	$20 + a/50$
3	$40 + a/25$

a = comprimento do lado maior do desempenho

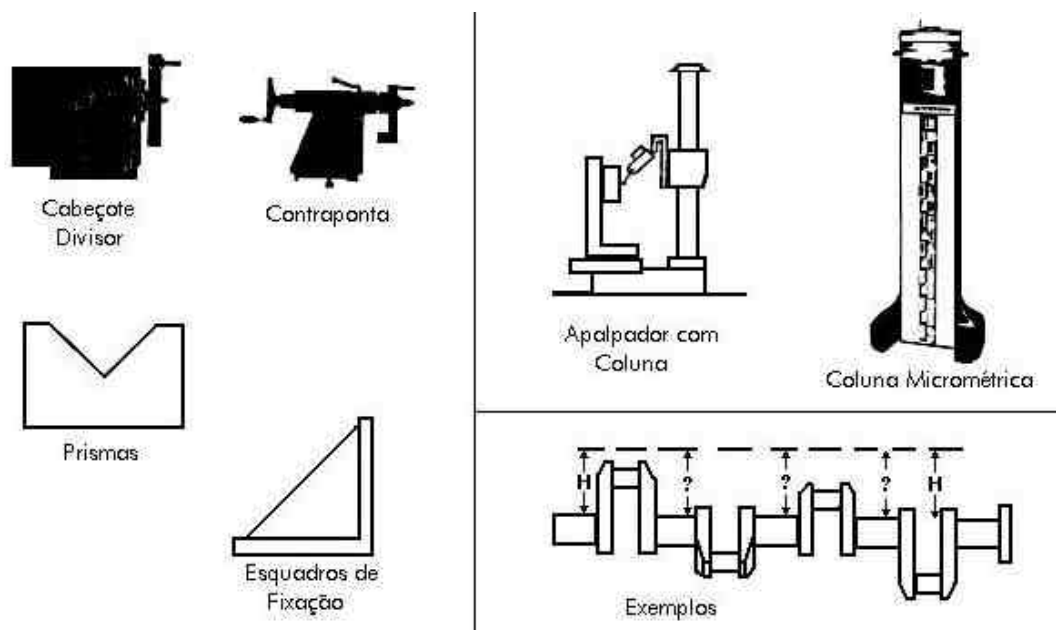
A verificação da planeza de uma placa é feita com auxílio de uma régua ( de pequeno erro máximo ), montada sobre dois blocos padrão do mesmo tamanho, como mostra figura 6.3. A distância entre a régua e a placa é medida em vários pontos com blocos padrão. As diferenças de medidas destes blocos indicam os erros de planeza da placa nos pontos correspondentes.

**NOTA:** Este procedimento, usado na prática pela sua simplicidade, substitui na realidade, o método baseado na medição da retilinearidade em várias direções. Trata-se, pois, apenas de um método onde a planeza é medida de forma aproximada.

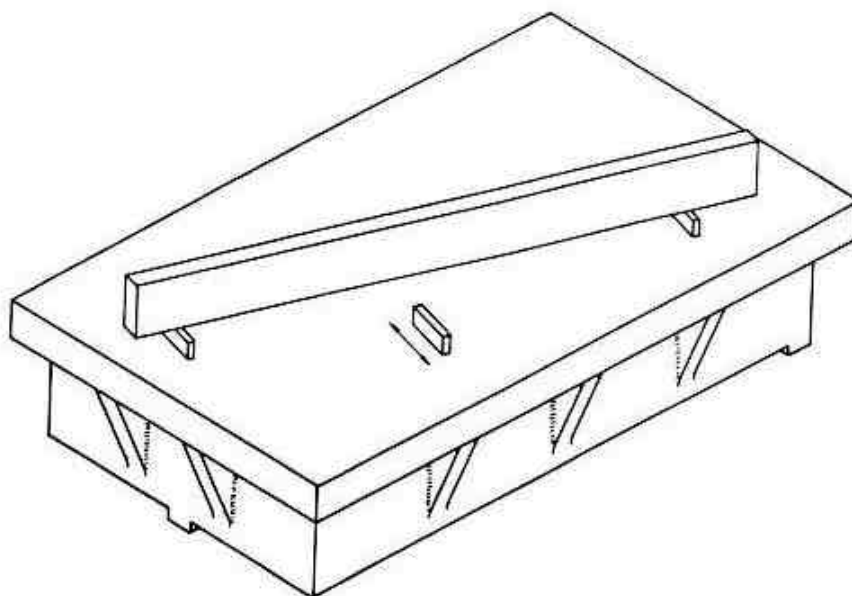
O método de medição do erro da planeza apresentado é o mais elementar. Muitos outros métodos são empregados e utilizam instrumentação sofisticada como: nível eletrônico, autocolimador, laser de alinhamento, etc.

Quando se utilizam níveis eletrônicos o procedimento também se baseia na medição de retilinearidade em várias direções, e por processamento dos dados em software específico, é feita a " amarração " dos dados e se determina o erro de planeza do desempenho. A vantagem de se utilizar níveis eletrônicos está associada a baixa incerteza de medição e ao tempo dedicado a calibração, que em geral é menor comparativamente ao que utiliza réguas padrão.

Se o desempenho é utilizado como plano de referência, ele é disposto na horizontal, com os pés para baixo e a superfície de medição nivelada com um nível de bolha, sendo montado em altura conveniente ao trabalho em pé (1000 a 1200 mm) sobre uma estrutura rígida metálica ( tubular ou de perfis laminados ). Para os trabalhos nos desempenos, dispõe-se de uma série de acessórios ( figuras 6.1 e 6.2).



**Figura 6.2: Acessórios para trabalhos de medição em desempenos.**



**Figura 6.3: Controle da planicidade de um desempeno, realizado com régua padrão e blocos padrão.**

Como o nome "desempeno" já indica, ele não é usado apenas para a medição mas, também, para desempenar superfícies. Entende-se aqui a operação de esfregar o desempeno, sobre o qual foi aplicada tinta ( pastosa, a base de óleo geralmente de cor azul escura ) finamente distribuída, sobre a superfície a desempenar, com o objetivo de tornar bem visíveis ( "pintar" ) os pontos altos desta superfície. Os pontos " pintados " são removidos em seguida, pelo rasquetamento. Repetindo o processo descrito várias vezes, consegue-se uma superfície com planeza próxima daquela do desempeno. Neste processo, obviamente o desempeno é usado em várias posições ( também de cabeça

para baixo ), de acordo com a posição da superfície a desempenar, e é manobrado por intermédio de maçanetas adequadas.

O procedimento descrito trata-se de uma comparação entre a superfície a controlar e a do desempenho, comparação que não merece inteira confiança, já que os dois corpos se compensam de um certo modo e, além disso, o erro de comparação depende também da espessura da camada de tinta ( se for muita espessa, "pinta-se" também lugares mais baixos da superfície a desempenar ).

Placas menores ( até cerca de 200 mm de diâmetro ) são fabricadas de aço, temperadas e retificadas. Os erros em sua planeza são da ordem de  $\pm 0,02$  mm.

Desempenos de referência para traçagem e medição são fabricados atualmente em granito. O granito, como passa por " envelhecimento natural " que ocorre após vários milhões de anos, não tende a deformar-se com o tempo ( como é o caso, por exemplo, do ferro fundido ). Além disso, essas placas de granito, são construídas de tal maneira que, ao serem danificadas por algum impacto ( por exemplo, queda por descuido de alguma peça a ser medida) soltam lascas bem visíveis no local do impacto, perdendo a sua planeza apenas parcialmente. Possuem a desvantagem de não permitirem o uso de suportes magnéticos.

### 6.3 RÉGUAS

Para a representação de eixos de referência e de linhas retas ( bordos de referência ), em muitos casos são empregados as réguas, construídas de aço, ferro fundido ou granito.

Uma secção retangular ou de perfil em I ( réguas de oficina ) é a mais freqüente, mas para os casos especiais, usam-se também outras seções: com gume ( régua de fio ), com seção triangular ou de quatro cantos ( réguas de desempenho ) e outras ( figuras 6.4).

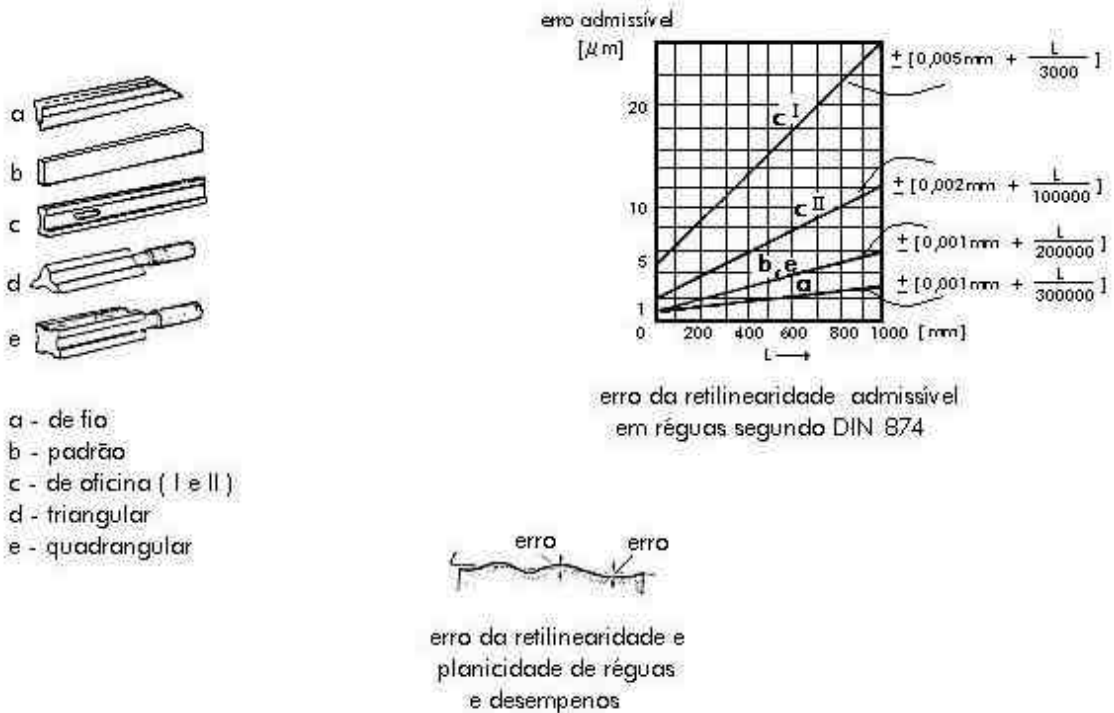
Correspondendo às suas múltiplas aplicações, fabricam-se em comprimentos de até 5 metros ( em casos especiais também maiores ) e com erros admissíveis normalizados pela DIN 874 como se pode ver na tabela a seguir:

#### ERROS ADMISSÍVEIS DE RÉGUAS ( DIN 874 )

Classe de Erro	Erro Máximo Permitido de Planicidade ( $\mu\text{m}$ )
00	$1 + L / 150$
0	$2 + L / 100$
I	$4 + L / 60$
II	$8 + L / 40$

L = Comprimento da régua em mm.

A régua de fio não tem uma superfície de medição, mas apenas um bordo de medição ( figura 6.4.a ). Ela é, por isto, muito apropriada para o controle de planeza pelo processo da fresta luminosa. Com ela pode-se perceber frestas de até 0,001 mm que aparecem "ampliadas " em virtude da refração da luz no bordo da régua.



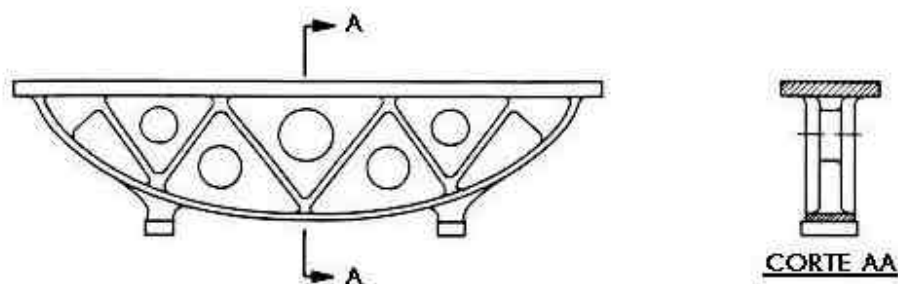
**Figura 6.4: Régulas.**

As superfícies de medição das régulas com seção retangular são os lados estreitos do retângulo ( figura 6.4.b ).

Régulas padrão acima de 2 metros e régulas de oficina de qualidade I acima de 2,5 m de comprimento são rebaixadas nas faces laterais de forma que resulta uma secção I ( figura 6.4.c). Os lados estreitos da seção são as superfícies de medição que devem satisfazer aos erros máximos anteriormente citados.

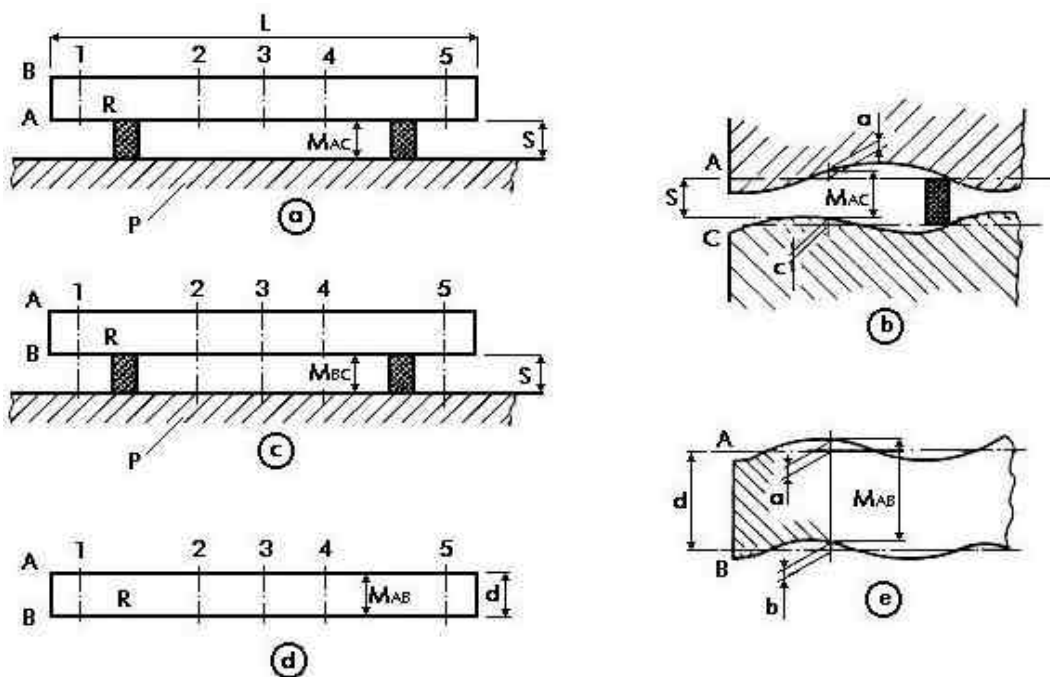
As régulas de 3 e 4 cantos ( figura 6.4.d e 6.4.e) têm os respectivos bordos de medição temperados.

Na figura 6.5 tem-se uma régua de desempeno, usada para desempenar superfícies estreitas porém compridas com nervuras de reforço em formas parabólicas, e é fabricada com a mesma classe de erro das placas de desempenar.



**Figura 6.5: Régua de desempenho.**

No caso da régua apoiar-se em dois pontos, a deflexão mínima ocorre quando estes pontos de apoio estão afastados dos extremos de um valor igual a  $0,22315 \cdot L$  ( onde  $L$  é o comprimento da régua ) segundo figura 6.9. A flexão pelo peso próprio, que representa um erro adicional, não precisa ser levada em consideração com este tipo de apoio. Para trabalhos criteriosos, no entanto, deve-se considerar a flexão sempre que se é forçado a escolher outro tipo de apoio como, por exemplo, nos extremos da régua.



**Figura 6.6: Método dos três cantos para determinação da retilidade.**

A verificação da planeza das superfícies de medição pode ser feita de maneira semelhante à da figura 6.3, usando-se um plano ou uma régua de elevada qualidade, cujos erros da planeza são conhecidos. Quando não se dispões de tal recurso, pode-se resolver o problema pelo método chamado de " Medição de três cantos ", figura 6.6. A régua R a ser calibrada ( figura 6.6.a ) é colocada sobre dois apoios de mesma altura  $S$  num plano  $P$  ( ou régua ) de referência, cujos erros de planeza são também desconhecidos. Em vários pontos 1, 2, ..., distribuídos ao longo do comprimento  $L$  podem ser obtidas as medidas  $M_{AC}$ , como mostra esquematicamente e em escala aumentada a

figura 6.6.b. As superfícies A e C da régua a calibrar e a de referência possuem erros de planeza ( desconhecidos ) a e c, respectivamente. Para cada um dos pontos 1,2, ..., tem-se pois a equação:

$$MAC + 1AC = S, \text{ sendo } 1AC = a + c.$$

Coloca-se em seguida a régua a ser verificada sobre os mesmos apoios, porém com a superfície B virada para baixo, para o lado da placa P ( figura 6.6.c ). Nos mesmos pontos 1,2, ..., são medidos os valores MBC, e tem-se:

$$MBC + 1BC = S \quad \text{sendo } 1BC = b + c$$

onde b e c são os erros de planeza ( desconhecidos ) das superfícies B e C, respectivamente.

Finalmente, mede-se a largura da régua R dos locais dos pontos 1, 2, ..., obtendo-se as medidas MAB ( figura 6.6.d ). Como mostra a figura 6.6.e, tem-se:

$$MAB - 1AB = d \quad \text{onde } 1AB = a + b$$

onde d é a largura da régua R nos pontos de apoio ( escolhidos de modo que ambos forneçam obrigatoriamente o mesmo "d" ).

Do modo descrito obtém-se, para cada um dos pontos 1,2, .... três equações com três incógnitas ( erros de planeza a, b, c das superfícies A, B, C, respectivamente ) que podem ser a partir daí determinadas.

Deve-se ressaltar que o resultado para cada um dos pontos pode ter bastante erro, já que se torna necessário levar em consideração os erros possíveis de cada uma das etapas acima descritas. Se as medições de MAC têm as dispersões  $DMAC = \pm 2 \mu\text{m}$ ,  $DMBC = \pm 2 \mu\text{m}$  e  $DMAB = \pm 3 \mu\text{m}$ , respectivamente, a incerteza do resultado final é

$$DM = \pm \sqrt{(DM_{AC})^2 + (DM_{BC})^2 + (DM_{AB})^2} = \sqrt{17} = \pm 4 \text{ mm}$$

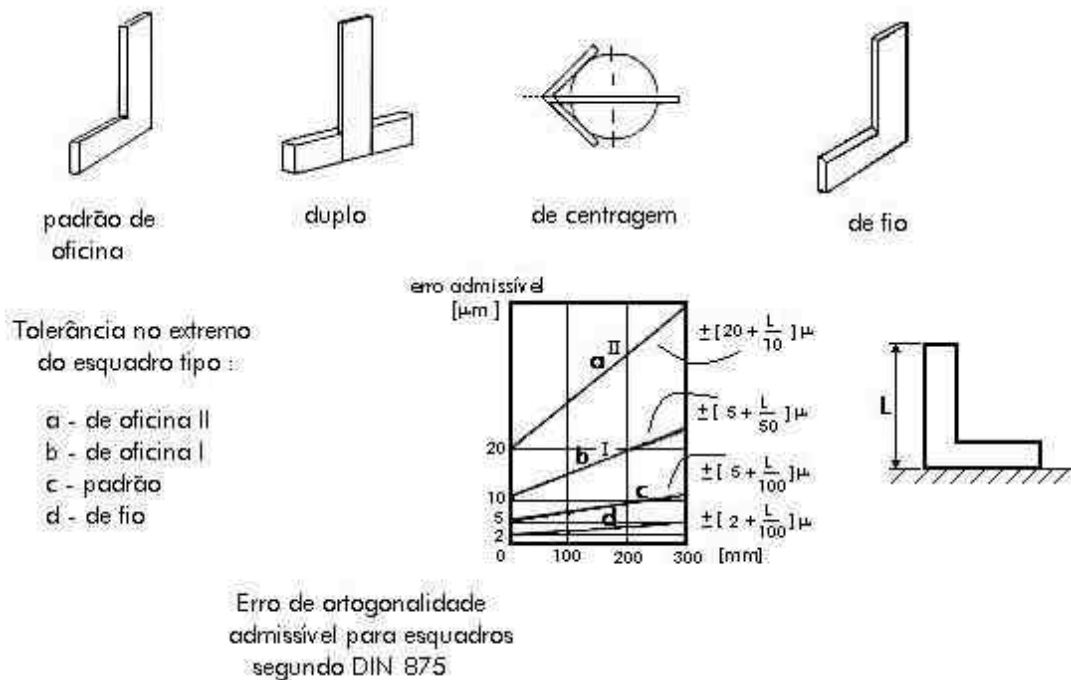
A retilidade ( neste caso igual a planeza) de uma régua pode ser estabelecida, também, com nível de bolha, um autocolimador, ou ainda, por intermédio de um laser de alinhamento.

## 6.4 ESQUADROS

Esquadros possuem ângulos retos que são utilizados na medição ou traçagem de planos e/ou retas perpendiculares.

As formas mais comuns estão mostradas na figura 6.7. Outras formas de

esquadros estão mostradas na figura 6.8.a ( esquadro de coluna ) e 6.8.b ( esquadro de coluna cilíndrica ).



**Figura 6.7: Esquadros.**

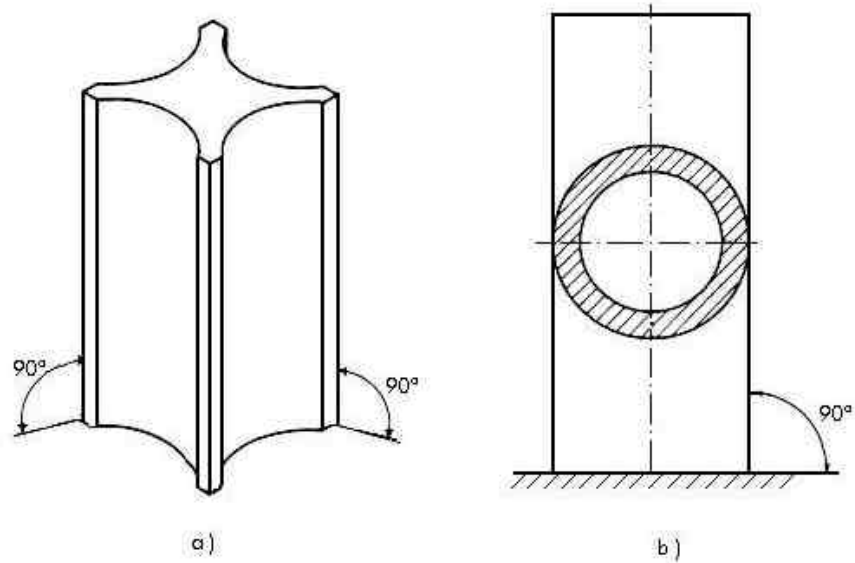
Os erros admissíveis dos esquadros comuns são normalizados pela DIN 875. Os erros permitidos no perpendicularismo da superfície de medição dos esquadros, segundo a norma citada, podem ser vistos na tabela apresentada a seguir e na figura 6.7.

### ERROS ADMISSÍVEIS DE ESQUADROS ( DIN 875 )

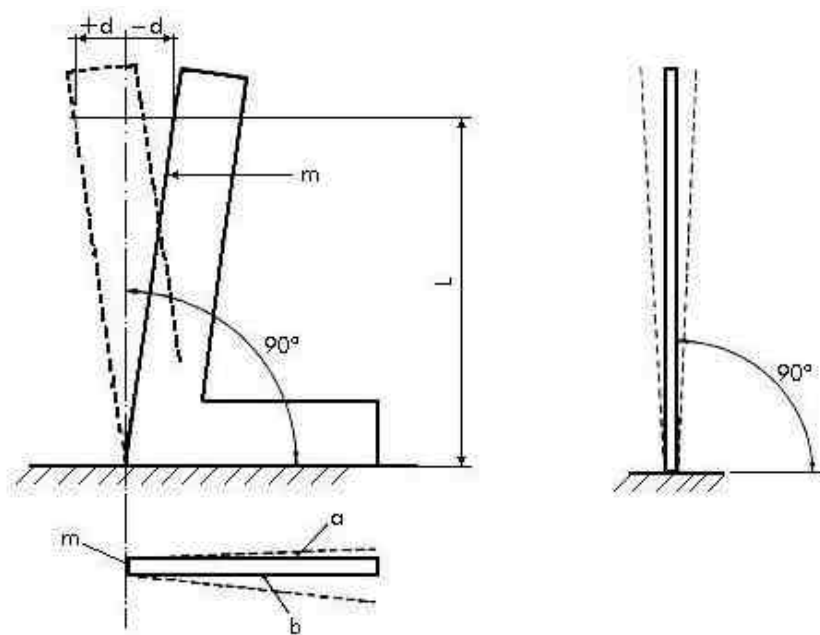
Grau de Precisão	Erro de Perpendicularidade em (mm), sendo L em (mm)
00	$\pm ( 0,002 + L / 100.000 )$
0	$\pm ( 0,005 + L / 50.000 )$
1	$\pm ( 0,010 + L / 20.000 )$
2	$\pm ( 0,020 + L / 10.000 )$

O conceito " erro de perpendicularidade " está esclarecido na figura 6.9: é o afastamento d da aresta do esquadro, a partir de uma linha vertical V ideal, medido na altura L, sendo o sinal positivo (+) quando o ângulo verdadeiro do esquadro for maior do que 90° , e negativo (-) no caso oposto. Assim, o erro de perpendicularidade é dado em micrometros por determinado comprimento L, e é válido para a superfície de medição (m na figura 6.9). Para os lados a e b, os erros permitidos de perpendicularidade são o triplo do valor permitido para a superfície de medição que consta na tabela.



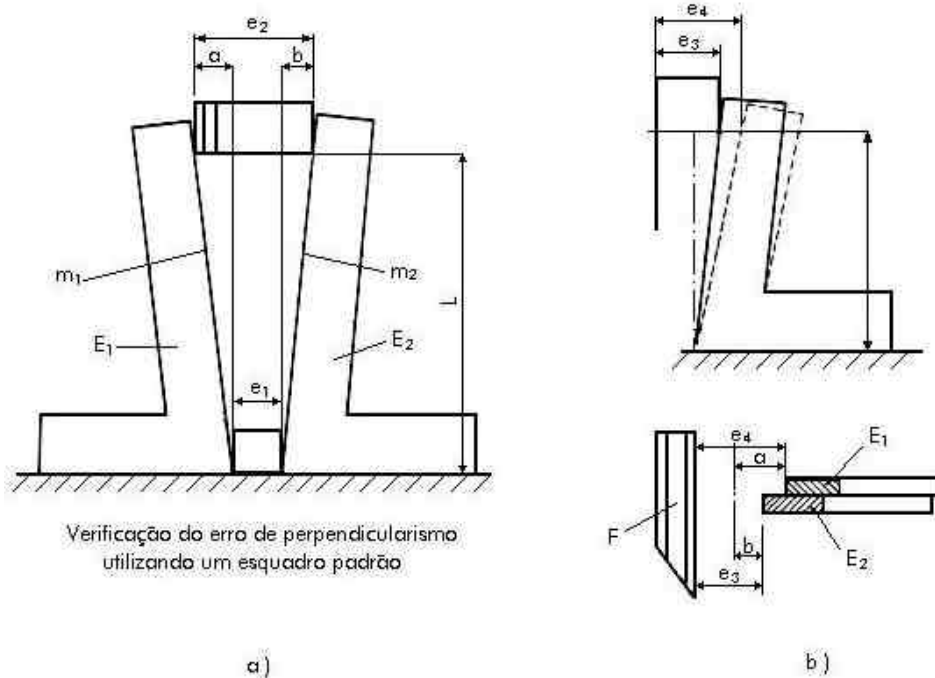


**Figura 6.8: Esquadros de coluna.**



**Figura 6.9: Erro de perpendicularismo em esquadros.**

A verificação da perpendicularidade é conduzida com auxílio de um esquadro de referência de tamanho adequado, cujos erros de perpendicularidade são conhecidos, e de blocos-padrão, precedendo-se da maneira descrita a seguir (figura 6.10.a).



**Figura 6.10: Verificação do perpendicularismo.**

O esquadro E1 a ser verificado e o esquadro E2 apoiam-se sobre um desempenho com um bloco padrão de comprimento  $e_1$  conhecido, entre os mesmos. Em certa altura  $L$  mede-se por intermédio de uma composição de blocos padrão, a distância verdadeira  $e_2$  entre as superfícies de medição  $m_1$  e  $m_2$  dos esquadros E1 e E2, respectivamente. Se não houver erro de perpendicularidade,  $e_1 = e_2$ . Se houver erros, tem-se:

$$e_2 = e_1 + a + b$$

onde  $a$  ( desconhecido ),  $b$  ( conhecido ) são os erros de perpendicularidade dos esquadros E1, E2, respectivamente. Torna-se, pois, fácil calcular o desvio  $a$ :

$$a = e_2 - e_1 - b$$

Se, por outro lado, os erros de perpendicularidade do esquadro de referência não forem conhecidos, torna-se necessário complementar a medição descrita anteriormente por mais uma representada na figura 6.10.b. O esquadro E1 a ser verificado, é colocado lado a lado com o de referência E2 e, usando o bloco padrão  $e_3$  de comprimento conhecido mais a régua de fio  $F$  medem-se, por intermédio de uma composição de blocos-padrão  $e_4$ , a diferença dos erros reais de perpendicularidade na altura  $L$ . Três casos são possíveis:

a) Sabemos que o esquadro de referência tem incerteza de medição menor ou igual a um décimo da incerteza de medição do esquadro a calibrar ( $IM_{\text{padrão}} \leq IM_{\text{calibrar}} / 10$ ) e por isso supusemos que os erros de perpendicularidade do mesmo podem ser desprezados. Neste caso, obtém-se diretamente na medição, de acordo com a figura 6.10.a, o erro de perpendicularidade procurado que se verifica

através da medição de acordo com a figura 6.10.b.

b) Os erros de perpendicularidade do esquadro de referência E2 são menores do que aqueles do esquadro E1. O erro de perpendicularidade  $a$ , na altura  $L$ , neste caso é:

$$a = \frac{(e_2 - e_1) + (e_4 - e_3)}{2}$$

obtendo-se a diferença  $e_2 - e_1 = a + b$  da medição segundo a figura 6.10.a e a diferença  $e_4 - e_3 = a - b$  da medição de acordo com a figura 6.10.b. Ao eliminar  $b$  ( ora desconhecido ) das duas equações, obtém-se a fórmula acima citada.

c) Os erros de perpendicularidade do esquadro E2 de referência, são maiores do que o do esquadro E1 a ser verificado. O erro procurado neste caso é

$$a = \frac{(e_2 - e_1) - (e_4 - e_3)}{2}$$

**NOTA:** O uso de blocos padrão  $e_1$  e  $e_3$ , nas medições, de acordo com as figuras 6.10.a e 6.10.b, respectivamente, deve-se a motivos práticos. Se encostarmos os esquadros e a régua de fio diretamente seria difícil medir a fresta estreita surgida, já que os erros são, comumente pequenos.

**NORMAS:** DIN 875/81 Stahlwinkel 90°  
NBR 9972/87 Esquadros 90°