

## Capítulo 6 - Tolerância Geral de Trabalho

6.1. Introdução.....	43
6.2. Cadeia de Dimensões.....	45

## Capítulo 7 - Tolerâncias Geométricas

7.1. Introdução.....	48
7.2. Tolerâncias de Forma e Tolerâncias de Posição.....	48
7.3. Exemplos de Aplicação.....	54
7.4. Rugosidade das Superfícies.....	55
7.4.1. Parâmetros de Avaliação da Rugosidade.....	60
7.4.2. Determinação do Comprimento de Amostragem ("Cut-Off").....	61
7.5. Indicação do Estado da Superfície em Desenhos Técnicos.....	65

## Capítulo 8 - Noções sobre Controle Estatístico do Processo

8.1. Introdução.....	69
8.2. Conceitos Básicos.....	69
8.3. Exemplos.....	81
8.4. Observações.....	85

## Apêndice

Tabela A.2.1.....	87
Tabela A.2.2.....	87
Tabela A.2.3.....	87
Tabela A.3.1.....	88
Tabela A.3.2.....	89
Tabela A.4.1.....	91
Tabela A.4.2.....	92
Tabela A.4.3.....	103
Tabela A.4.4.....	114
Tabela A.5.1.....	115
Tabela A.5.2.....	117

## I. TOLERÂNCIAS E AJUSTES

### 1.1. Introdução

Ao se fabricar diversas máquinas e aparelhos é necessário conseguir que certas peças elaboradas nas máquinas-ferramentas se ajustem reciprocamente ao montá-las, sem que sejam submetidos a um tratamento ou ajuste suplementares. A possibilidade de se substituir umas peças por outras ao montar ou consertar um certo conjunto mecânico sem tratamento ou ajuste suplementar se denomina *intercambiabilidade*, ou seja, *intercambiabilidade* é a possibilidade de, quando se monta um conjunto mecânico, tomar-se ao acaso, de um lote de peças semelhantes, prontas e verificadas, uma peça qualquer, que, quando montada no conjunto em questão, sem nenhum ajuste ou usinagem secundárias, dará condições para que o mecanismo funcione de acordo com o que foi projetado. A premissa fundamental da intercambiabilidade é a escolha de um processo tecnológico que assegure a fabricação das peças com igual precisão. Por *precisão* no tratamento entende-se o grau da correspondência entre as dimensões reais da peça e as indicadas no desenho. Nas construções mecânicas é impossível se conseguir precisão absoluta nas dimensões das peças ao trabalhá-las nas máquinas-ferramentas devido a certas inexactidões das máquinas, dos dispositivos ou instrumentos de medição. Como consequência destas circunstâncias, é impossível obter dimensões absolutamente precisas que coincidam com as indicadas no desenho ou as assim chamadas *dimensões nominais*. As peças são, portanto, confeccionadas com dimensões que se afastam para mais ou para menos em relação à cota nominal, isto é, apresentam uma certa inexactidão[1].

As dimensões reais de duas peças iguais, inclusive elaboradas com um mesmo procedimento têm poucas possibilidades de serem exatamente iguais, variando dentro de certos limites. Em vista disso, a conjugação requerida de duas peças se assegura somente no caso em que as dimensões *limites de tolerância* das peças se tenham estabelecido de antemão. Deste modo, as *dimensões limites* são aquelas dentro das quais oscilam as

reais. Uma delas se chama *dimensão limite máxima* e a outra *dimensão limite mínima*. Portanto, peças intercambiáveis são aquelas fabricadas com um grau de precisão previamente estabelecido em suas dimensões nominais, através das *dimensões limites*[1].

O limite de inexatidão admissível na fabricação da peça é determinado por sua *tolerância*, ou seja pela diferença entre as dimensões limites máxima e mínima. Por exemplo, suponhamos que uma determinada dimensão nominal seja de 40,000 mm; a dimensão limite máxima seja 40,039 mm e a dimensão limite mínima seja 40,000 mm; então a tolerância de inexatidão para a fabricação será igual a 0,039 mm. Todas as peças cujas dimensões não ultrapassem as dimensões limites serão úteis, ao passo que as demais serão defeituosas[1].

Entende-se por *ajuste* o modo de se conjugar duas peças introduzidas uma na outra, isto é, o modo de assegurar a tal ou qual grau as peças são unidas firmemente, ou a liberdade de seu deslocamento relativo[1].

## 1.2. Terminologia de Tolerâncias[2,3,4]

**DIMENSÃO NOMINAL:** é a dimensão indicada no desenho. Por exemplo, eixo de  $\phi$  30 mm(fig. 1.1).

**DIMENSÃO EFETIVA:** é a dimensão que se obtém medindo a peça. Por exemplo 30,020 mm(fig. 1.1).

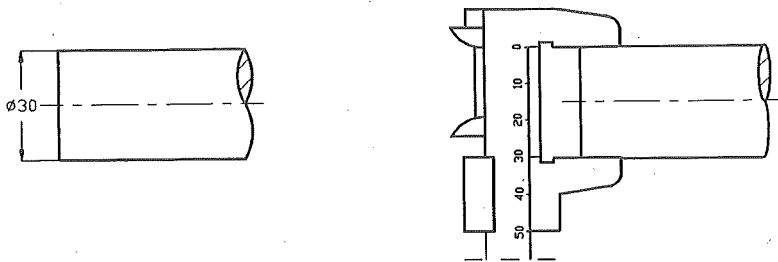


FIG. 1.1 - Dimensões nominal e efetiva de uma peça

**DIMENSÕES LIMITES:** são os valores máximo e mínimo admissíveis para a dimensão efetiva.

**DIMENSÃO MÁXIMA:** é o valor máximo admissível para a dimensão efetiva. Símbolo  $D_{\max}$  para furos e  $d_{\max}$  para eixos(fig. 1.2).

**DIMENSÃO MÍNIMA:** é o valor mínimo admissível para a dimensão efetiva. Símbolo  $D_{\min}$  para furos e  $d_{\min}$  para eixos(fig. 1.2).

**AFASTAMENTO:** é a diferença entre as dimensões limites e a nominal.

**AFASTAMENTO INFERIOR:** é a diferença entre a dimensão mínima e a nominal. Símbolos:  $A_i$  para furos e  $a_i$  para eixos(fig. 1.3).

**AFASTAMENTO SUPERIOR:** é a diferença entre a dimensão máxima e a nominal. Símbolos:  $A_s$  para furos e  $a_s$  para eixos(fig. 1.3).

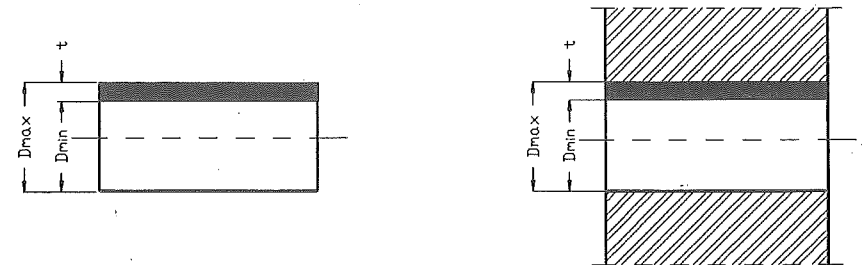


FIG. 1.2 - Dimensões máxima e mínima e tolerância  $t$

**TOLERÂNCIA:** é a variação admissível da dimensão da peça, dada pela diferença entre as dimensões máxima e mínima ou entre os afastamentos superior e inferior, indicada pelo símbolo  $t$  (figs. 1.2 e 1.3). Portanto,

$$t = D_{\max} - D_{\min} \text{ (para furos) e } t = d_{\max} - d_{\min} \text{ (para eixos) ou} \quad (1.1)$$

$$t = A_s - A_i \text{ (para furos) e } t = a_s - a_i \text{ (para eixos)} \quad (1.2)$$

onde:

$t$ = tolerância	(mm);
$D_{máx}$ = dimensão máxima do furo	(mm);
$D_{mín}$ = dimensão mínima do furo	(mm);
$d_{máx}$ = dimensão máxima do eixo	(mm);
$d_{mín}$ = dimensão mínima do eixo	(mm);
$A_s$ = afastamento superior do furo	(mm);
$A_i$ = afastamento inferior do furo	(mm);
$a_s$ = afastamento superior do eixo	(mm);
$a_i$ = afastamento inferior do eixo	(mm).

**LINHA ZERO:** é a linha que indica a dimensão nominal e serve de origem aos afastamentos, ou seja, todos os afastamentos (superior e inferior) situados acima da linha zero serão positivos, ao passo que os afastamentos situados abaixo da linha zero serão negativos (fig. 1.3). Exemplo, na dimensão  $D = 40G7$  (furo), os valores indicativos para os afastamentos superior e inferior são  $+0,034\text{mm}$  e  $+0,009\text{mm}$  (tabela contida em [3]). Neste caso a linha de referência (linha zero) passará exatamente pela cota  $40,000\text{ mm}$ , sendo que ambos os valores dos afastamentos estarão acima desta linha, ou seja, a *dimensão efetiva* deste furo deve estar compreendida entre  $40,034$  e  $40,009$ , sendo que todas as peças que possuam dimensões fora deste intervalo, deverão ser refugadas. Através deste exemplo, nota-se que:

$$D_{max} = D + A_s \text{ (para furos) e } d_{max} = d + a_s \text{ ( para eixos) } \quad (1.3)$$

$$D_{min} = D + A_i \text{ (para furos) e } d_{min} = d + a_i \text{ ( para eixos) } \quad (1.4)$$

onde:

$D_{máx}, D_{mín}$ = dimensões máxima e mínima do furo	(mm);
$d_{máx}, d_{mín}$ = dimensões máxima e mínima do eixo	(mm);
$A_s, A_i$ = afastamentos superior e inferior do furo	(mm);
$D, d$ = dimensões nominal do furo e do eixo	(mm).

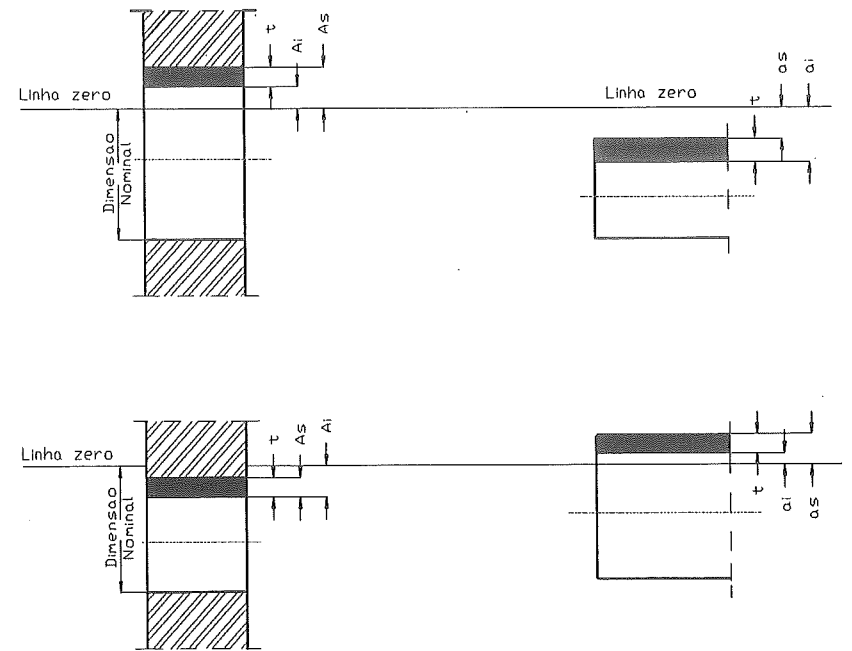


FIG. 1.3 - Linha zero, afastamentos superior e inferior e tolerância

### 1.3. Exemplos

1.3.1. Um eixo tem dimensão nominal  $\phi 30\text{mm}$  e afastamentos superior e inferior respectivamente  $+0,036\text{ mm}$  e  $+0,015\text{ mm}$ . Calcular a tolerância  $t$  e as dimensões máxima e mínima.

*Resolução*(fig. 1.3.1e)

A expressão 1.1 apresenta:

$$t = a_s - a_i, \text{ para a tolerância } t \text{ no caso de eixos. Portanto,}$$

$$t = 0,036 - 0,015 = 0,021 \text{ mm.}$$

Para as dimensões máxima e mínima, tem-se, utilizando-se as expressões 1.3 e 1.4 :

$$d_{max} = d + a_s; \quad d_{max} = 30,000 + 0,036 = 30,036\text{mm}$$

$$d_{min} = d + a_i; \quad d_{min} = 30,000 + 0,015 = 30,015\text{mm}$$

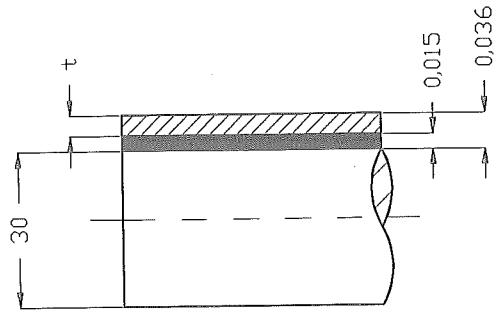


FIG. 1.3.1e - Representação do eixo com os afastamentos superior e inferior

1.3.2. Um eixo tem dimensão nominal  $\phi$  30mm e afastamentos superior e inferior respectivamente +0,013mm e -0,008mm. Calcular a tolerância  $t$  e as dimensões máxima e mínima.

#### Resolução

Neste caso, tendo em vista o valor negativo do afastamento inferior (-0,008mm), o mesmo estará abaixo da linha zero, sendo que o afastamento superior estará acima da linha zero (fig. 1.3.2e)

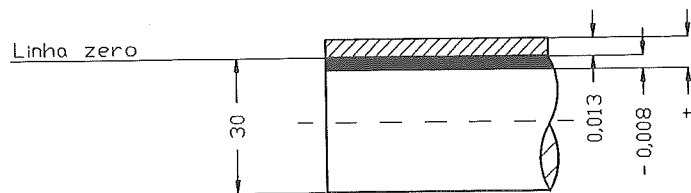


FIG.1.3.2e - Representação da linha zero, dos afastamentos superior e inferior

$$\text{Tolerância } t = a_s - a_i; \quad t = 0,013 - (-0,008) = 0,021\text{mm}$$

$$\text{Dimensão máxima } d_{max} = d + a_s; \quad d_{max} = 30,000 + 0,013 = 30,013\text{mm}$$

$$\text{Dimensão mínima } d_{min} = d + a_i; \quad d_{min} = 30,000 + (-0,008) = 29,992\text{mm}$$

#### 1.4. Terminologia de Ajustes [2,3,4]

**EIXO** : o conceito de eixo num sistema de ajustes e tolerâncias aplica-se a todo elemento, cuja superfície externa destina-se a encaixar-se na superfície interna de outra (fig. 1.4).

**FURO**: da mesma maneira, o conceito de furo, neste caso, aplica-se a todo elemento, cuja superfície interna destina-se a alojar a superfície externa de outra (fig. 1.4).

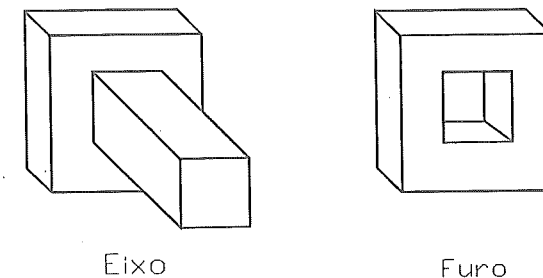


FIG. 1.4.- Conceitos de eixo e furo

**FOLGA**: é a diferença, em um acoplamento eixo-furo, entre as dimensões do furo e do eixo, quando o eixo é menor que o furo. Indicada pelo símbolo  $F$  (fig. 1.5).

**FOLGA MÁXIMA**: é a diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, quando o eixo for menor que o furo (fig. 1.5). Indicada pelo símbolo  $F_{max}$ , resultará sempre valores positivos através da expressão,

$$F_{max} = D_{max} - d_{min} \quad (1.5)$$

onde:

$F_{máx}$  = folga máxima (mm);

$D_{máx}$  = dimensão máxima do furo (mm);

$d_{mín}$  = dimensão mínima do furo (mm).

**FOLGA MÍNIMA:** é a diferença entre as dimensões mínima do furo e a máxima do eixo, quando o eixo for menor que o furo (fig. 1.5). Indicada pelo símbolo  $F_{mín}$ , resultará sempre valores positivos através da expressão,

$$F_{min} = D_{min} - d_{max} \quad (1.6)$$

onde:

$F_{mín}$  = folga mínima (mm);

$D_{mín}$  = dimensão mínima do furo (mm);

$d_{máx}$  = dimensão máxima do furo (mm).

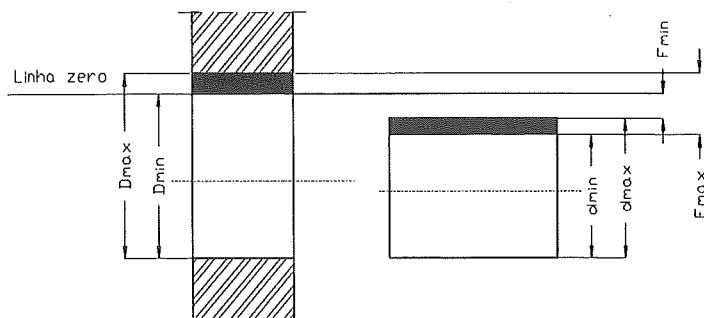


FIG.1.5.- Folgas máxima e mínima

**INTERFERÊNCIA:** é a diferença, em um acoplamento eixo-furo, entre as dimensões do furo e do eixo, quando o eixo é maior que o furo. Indicada pelo símbolo  $I$ .

**INTERFERÊNCIA MÁXIMA:** é a diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, quando o eixo for maior que o furo (fig. 1.6)

Indicada pelo símbolo  $I_{max}$ , resultará sempre valores negativos através da expressão,

$$I_{max} = D_{min} - d_{max} \quad (1.7)$$

onde:

$I_{máx}$  = interferência máxima (mm);

$D_{mín}$  = dimensão mínima do furo (mm);

$d_{máx}$  = dimensão máxima do eixo (mm).

**INTERFERÊNCIA MÍNIMA:** é a diferença entre as dimensões máxima do furo e a mínima do eixo, quando o eixo for maior que o furo (fig. 1.6). Indicada pelo símbolo  $I_{mín}$ , resultará sempre valores negativos através da expressão,

$$I_{min} = D_{max} - d_{min} \quad (1.8)$$

onde:

$I_{mín}$  = interferência mínima (mm);

$D_{máx}$  = dimensão máxima do furo (mm);

$d_{mín}$  = dimensão mínima do eixo (mm).

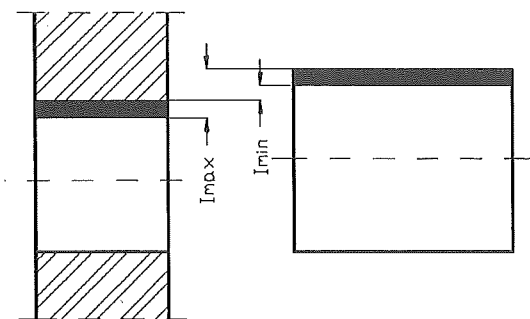


FIG. 1.6. - Interferências máxima e mínima

**AJUSTE:** é o comportamento de um eixo em um furo, ambos com a mesma dimensão nominal. O ajuste sempre existirá quando um eixo acoplar-se a um furo caracterizado pela folga ou interferência que apresenta.

**AJUSTE COM FOLGA:** é aquele em que o afastamento superior do eixo(dimensão máxima do eixo) é menor ou igual ao afastamento inferior do furo(dimensão mínima do furo)(fig.1.5). Há de se notar que por convenção, nos casos em que a *folga mínima* ou a *interferência máxima* for zero, o ajuste é chamado de ajuste com folga.

**AJUSTE COM INTERFERÊNCIA:** é aquele em que o afastamento superior do furo(dimensão máxima do furo) é menor ou igual ao afastamento inferior do eixo(dimensão mínima do eixo)(fig.1.6).

**AJUSTE INCERTO:** é aquele no qual o afastamento superior do eixo(dimensão máxima do eixo) é maior que o afastamento inferior do furo(dimensão mínima do furo) e o afastamento superior do furo(dimensão máxima do furo) é maior que o afastamento inferior do eixo(dimensão mínima do eixo)(fig. 1.7).

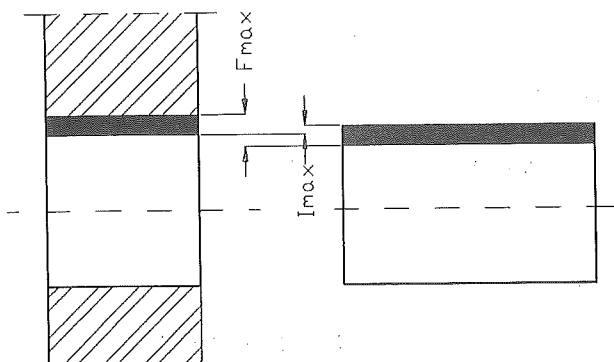


FIG. 1.7.- Ajuste incerto, onde dependendo das dimensões efetivas das peças, ter-se-á um ajuste com folga ou interferência.

**EIXO-BASE:** é o eixo, cuja linha zero constitui o limite superior da tolerância, ou seja, é o eixo cuja dimensão máxima é igual à dimensão nominal(o afastamento superior é igual a zero)(fig. 1.8).

**FURO-BASE:** é o furo, cuja linha zero constitui o limite inferior da tolerância, ou seja, é o furo cuja dimensão mínima é igual à dimensão nominal(o afastamento inferior é igual a zero)(fig. 1.8).

**QUALIDADE DE TRABALHO:** grau de precisão fixado pela norma de tolerâncias e ajustes

**TOLERÂNCIA FUNDAMENTAL:** tolerância calculada para cada qualidade de trabalho e para cada grupo de dimensões.

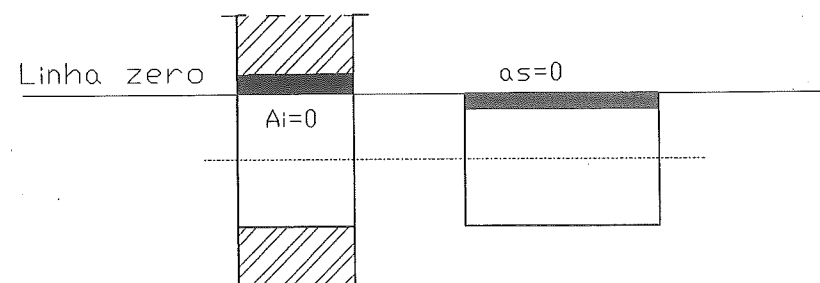


FIG. 1.8.- Furo-base e eixo-base

**UNIDADE DE TOLERÂNCIA:** valor numérico calculado em relação às médias geométricas das dimensões limites de cada grupo, segundo fórmula fundamental, que serve de base ao desenvolvimento do sistema de tolerâncias e fixa a ordem de grandeza dos afastamentos. É indicada pelo símbolo  $i$ .

**SISTEMA DE TOLERÂNCIAS:** conjunto de princípios, regras, fórmulas e tabelas que permite a escolha racional de tolerâncias para a produção de peças intercambiáveis.

**SISTEMA DE AJUSTES:** conjunto de princípios, regras, fórmulas e tabelas que permite a escolha racional de tolerâncias no acoplamento eixo-furo, para se obter uma condição pré-estabelecida.

**CAMPO DE TOLERÂNCIA:** é o conjunto de valores compreendidos entre os afastamentos superior e inferior. A tolerância é medida em milímetro (mm) ou em micron ( $\mu\text{m}$ ). A relação é:

$$1 \text{ mm} = 1000 \mu\text{m}$$

### 1.5. Exemplos

1.5.1. Em um acoplamento, a dimensão nominal do encaixe é de 40 mm. O furo tem para os afastamentos superior e inferior respectivamente os valores  $A_s = +0,064\text{mm}$  e  $A_i = +0,025 \text{ mm}$ . O eixo tem os seguintes valores para os afastamentos superior e inferior  $a_s = 0,000 \text{ mm}$  e  $a_i = -0,039 \text{ mm}$ . Determinar :

- se existe furo-base ou eixo-base;
- que tipo de ajuste é este;
- as folgas e/ou interferências máximas e mínimas.

#### Resolução

- Não existe furo-base, tendo em vista que o afastamento inferior do furo é diferente de zero. Como o afastamento superior do eixo é zero, o sistema é um sistema eixo-base.
- O ajuste é um ajuste com folga, tendo em vista que o afastamento superior do eixo ( $a_s = 0,000 \text{ mm}$ ) é menor que o afastamento inferior do furo ( $A_i = +0,025 \text{ mm}$ ).
- Como o ajuste é com folga, deve-se calcular as folgas máximas e mínimas.

$$\text{Expr. 1.5} \quad F_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$F_{\max} = 40,064 - 39,961 = 0,103 \text{ mm}$$

$$\text{Expr. 1.6} \quad F_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

$$F_{\min} = 40,025 - 40,000 = 0,025 \text{ mm}$$

(ver fig. 1.5.1e)

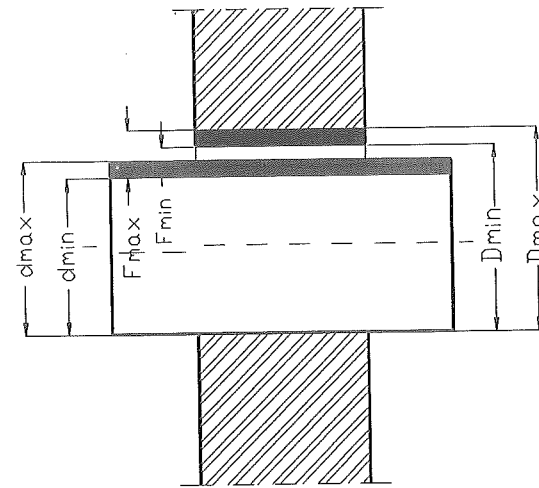


FIG. 1.5.1e - Resultado gráfico do exemplo 1.5.1

1.5.2. Deduzir em função dos afastamentos superior e inferior do eixo e do furo, as expressões para as folgas (máxima e mínima) e para as interferências (máxima e mínima).

#### Resolução

Da eq. 1.5, tem-se:

$$F_{\max} = D_{\max} - d_{\min}$$

$$F_{\max} = (D + A_s) - (d + a_i)$$

Em ajustes, o diâmetro nominal do furo é sempre igual ao do eixo, portanto, sempre tem-se

$$D = d$$

portanto,

$$F_{\max} = A_s - a_i$$

Para a folga mínima, tem-se a eq. 1.6,

$$F_{\min} = D_{\min} - d_{\max}$$

$$F_{\min} = (D + A_i) - (d + a_s)$$

$$F_{\min} = A_i - a_s$$

Para as interferências, tem-se:

$$I_{\max} = D_{\min} - d_{\max} \quad (\text{exp. 1.7})$$

$$I_{\max} = (D + A_i) - (d + a_s)$$

$$I_{\max} = A_i - a_s \quad (\text{os resultados darão valores negativos})$$

$$I_{\min} = D_{\max} - d_{\min} \quad (\text{exp. 1.8})$$

$$I_{\min} = (D + A_s) - (d + a_i)$$

$$I_{\min} = A_s - a_i \quad (\text{os resultados darão valores negativos})$$

ou seja, as expressões de  $F_{\max}$  e  $I_{\min}$  são idênticas e, da mesma forma, as expressões de  $F_{\min}$  e  $I_{\max}$ , todavia os valores de interferência serão negativos. Pode-se afirmar que a *interferência é a folga negativa*.

## II. SISTEMAS DE TOLERÂNCIAS E AJUSTES [3]

### 2.1. Unidade de Tolerância

O cálculo da tolerância é baseado na *unidade de tolerância* ( $i$ ), definida no item (1.4). É calculada pela expressão:

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D \quad (2.1)$$

onde:

$i$  = unidade de tolerância expressa em microns ( $\mu\text{m}$ );  
 $D$  = média geométrica dos dois valores extremos de cada grupo de dimensões fixados na tabela A.2.1 do anexo, seja eixo, seja furo (mm).

### 2.2 Qualidade de Trabalho

O sistema de tolerâncias e ajustes prevê 18 qualidades de trabalho, designadas por IT01, IT0, IT1, IT2...IT16, onde I = ISO e T = tolerância.

As tolerâncias das qualidades IT01 à IT3 para eixos e as de IT01 à IT4 para furos, são recomendadas para calibradores.

As tolerâncias das qualidades 4 à 11 para eixos e as de 5 à 11 para furos são recomendadas para peças que formam conjuntos.

As tolerâncias das qualidades superiores a 11, seja para eixos, seja para furos, são recomendadas para a execução mais grosseira de peças que não farão parte de um conjunto.

A tabela A.2.1 do anexo apresenta as *tolerâncias fundamentais* já calculadas para os vários grupos de dimensões e para as várias qualidades de trabalho.



A tabela A.2.2 do anexo apresenta algumas expressões utilizadas para a confecção da tabela A.2.1. O formulário completo se encontra em [3].

A tabela A.2.3 apresenta os critérios de arredondamento utilizados para a confecção da tabela A.2.1, a partir do cálculo.

As tabelas A.2.2 e A.2.3 são utilizadas pela norma[3] para a confecção da tabela A.2.1, portanto sempre se pode determinar as tolerâncias fundamentais utilizando-se dos dados das tabelas A.2.2 e A.2.3, todavia é sempre recomendável a utilização da tabela A.2.1 ao invés do formulário, para se evitar qualquer erro de valor ou aproximação.

### 2.3. Exemplos

2.3.1. a. Qual a unidade de tolerância para 12 mm?

b. Determinar a tolerância fundamental para a qualidade de tolerância IT7, utilizando-se do cálculo.

#### Resolução

a. O grupo de dimensões no qual está inserido o valor 12 mm, tem como valores extremos 10 e 18 mm (ver tabela A.2.1), portanto, a média geométrica é:

$$D = \sqrt{10 \times 18} = 13,41 \text{ mm}$$

$$i = 0,45 \sqrt[3]{13,41} + 0,001 \times 13,41$$

$$i = 1,0824 \text{ } \mu\text{m}$$

b. A tolerância fundamental para a qualidade de trabalho IT7 é dada por(tabela A.2.2):

$$t = 16 i$$

$$t = 16 \times 1,0824 = 17,32 \text{ } \mu\text{ m}$$

Para tolerâncias inferiores à 100  $\mu\text{m}$ , o arredondamento deve ser múltiplo de 1(tabela A.2.3), portanto, o arredondamento nos levaria ao valor 17  $\mu\text{m}$  todavia a tabela indicada em [3], apresenta o valor 18  $\mu\text{ m}$ .

2.3.2. a. Qual a tolerância fundamental para 7 mm? -

b. Determinar a tolerância fundamental para a qualidade de trabalho IT8, utilizando-se do cálculo.

#### Resolução

a. No presente exemplo, o grupo de dimensões que compreende o valor 7 mm, tem como valores extremos 6 e 10 mm (tabela A.2.1). Calculando-se a unidade de tolerância da mesma forma anterior, chega-se ao valor:

$$i = 0,8936 \text{ } \mu\text{m}$$

b. Para a qualidade de tolerância IT8, a tolerância fundamental é dada por:

$$t = 25 i, \text{ portanto,}$$

$$t = 25 \times 0,8936 = 22,4 \mu\text{m}$$

Neste caso, o arredondamento deveria nos levar ao valor 22 $\mu\text{m}$  e neste caso, realmente a tabela indica o valor 22 $\mu\text{m}$ .

*Obs.:* Dos exemplos (2.3.1) e (2.3.2), observa-se que a norma[3] utilizou dois critérios diferentes para arredondamento e confecção da tabela A.2.1., após o cálculo da unidade de tolerância e das tolerâncias fundamentais; na referida norma não há mais detalhes sobre esta variação de critério. Portanto, recomenda-se sempre a utilização da tabela A.2.1 e não o cálculo, para se saber as tolerâncias fundamentais dos diversos grupos.

### III. CAMPOS DE TOLERÂNCIA [3]

#### 3.1. Introdução

Através da *unidade de tolerância* calculam-se as *tolerâncias fundamentais* para as diversas *qualidades de trabalho* e os vários grupos de dimensões (tabela A.2.1). As tolerâncias fundamentais nos indicam o valor total da tolerância para um determinado grupo de dimensões, segundo uma determinada qualidade de trabalho, todavia a *posição dos campos de tolerância* em relação à linha zero ainda é desconhecida. Esta *posição* (afastamentos superior e inferior) é designada por uma ou duas letras, as maiúsculas reservadas para os furos e as minúsculas reservadas para os eixos, como segue:

**Furos:** A - B - C - CD - D - E - EF - F - FG - G - H - J - JS - K - M - N - P - R - S - T - U - V - X - Y - Z - ZA - ZB - ZC.

**Eixos:** a - b - c - cd - d - e - ef - f - fg - g - h - j - js - k - m - n - p - r - s - t - u - v - x - y - z - za - zb - zc.

A fig. 3.1., mostra as posições dos campos de tolerância em relação à linha zero (dimensão nominal).

Da fig. 3.1., observa-se que a posição dos campos de tolerância para *eixos* de *a* até *g* encontram-se abaixo da linha zero, ou seja, os afastamentos superiores e inferiores dos eixos designados com estas letras serão sempre negativos. Da mesma forma os campos de tolerância para *furos* de *A* até *G* encontram-se acima da linha zero, portanto, os afastamentos superiores e inferiores de furos designados por estas letras serão sempre positivos.

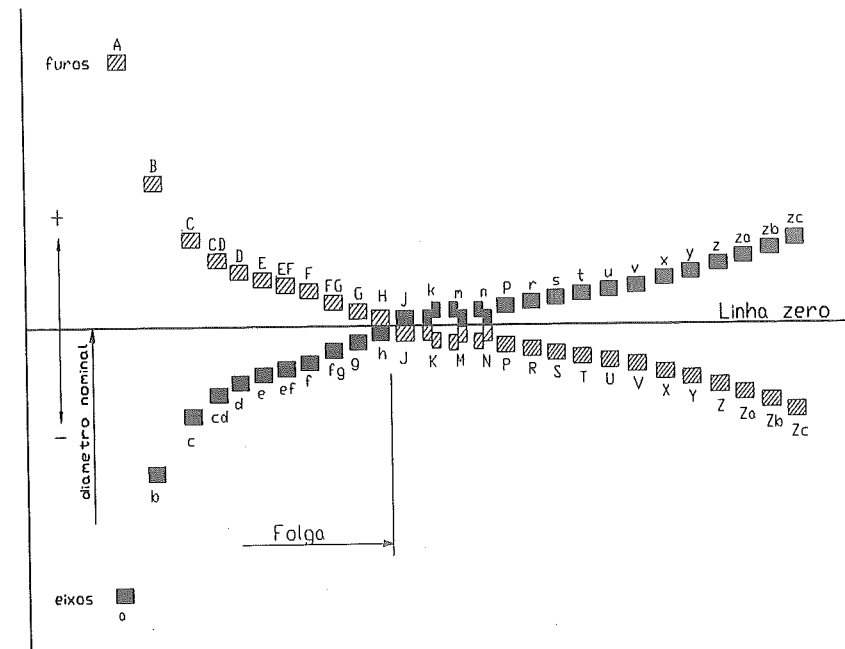


FIG. 3.1. - Posições dos campos de tolerância em relação à linha zero

#### 3.2. Representação Simbólica

Em um desenho mecânico, a dimensão nominal deve sempre ser acrescentado a *posição do campo de tolerância* (letras), seguido da *qualidade de trabalho* (números), do contrário, deve ser indicado os valores dos afastamentos superior e inferior, conforme uma das maneiras abaixo (fig. 3.2).

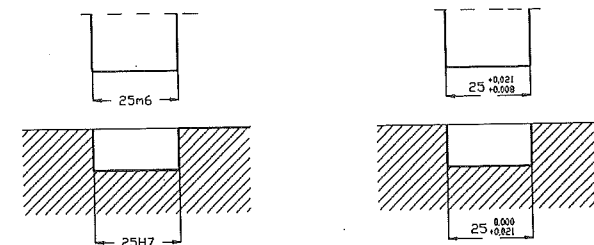


FIG. 3.2.- Indicação de tolerâncias em desenho mecânico.

Quando são indicados simultaneamente os símbolos do furo e do eixo correspondente, deve figurar em primeiro lugar o símbolo do furo, conforme uma das maneiras:

$\frac{H7}{m6}$	H7 - m6	H7/m6
-----------------	---------	-------

Para os desenhos mecânicos onde não venha especificado nos mesmos os campos de tolerância e as qualidades de trabalho, ou os afastamentos superiores e inferiores, são válidos os afastamentos indicados na tabela A.3.1 do anexo [5].

### 3.3. - Sistemas de Ajustes

Para o sistema de ajustes são utilizados os conceitos de *eixo-base* e *furo-base* (vide item 1.4).

No *sistema furo-base*, a linha zero constitui o limite inferior da tolerância do furo, ou seja, é o sistema em que o *afastamento inferior do furo* é igual a zero, portanto a *dimensão mínima do furo* é igual a zero. De acordo com a fig. 2.1, percebe-se que os furos H são os elementos básicos do sistema, ou seja, em um acoplamento, sempre que a *posição do campo de tolerância* do furo for representado pela letra H, tem-se um acoplamento no sistema furo-base(fig. 3.3).

No *sistema furo-base*, independente se o ajuste é com folga, incerto ou com interferência, *sempre o afastamento inferior do furo será zero* e o afastamento superior será maior do que zero, sendo que o ajuste será dado pela *posição do campo de tolerância* do eixo.

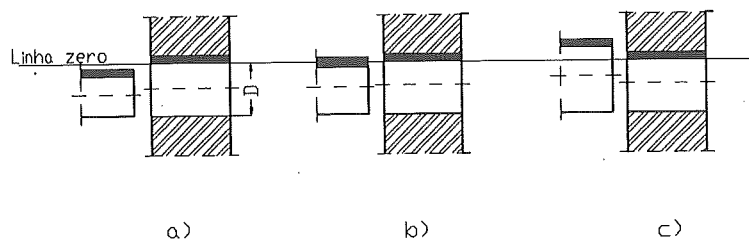


FIG. 3.3 - Representação de um ajuste no sistema furo-base : a) ajuste com folga ; b) ajuste incerto ; c) ajuste com interferência

No *sistema eixo-base*, a linha zero constitui o limite superior da tolerância do furo, ou seja, é o sistema em que o *afastamento superior do eixo* é igual a zero, portanto a *dimensão máxima do eixo* é igual a zero. De acordo com a fig. 2.1, percebe-se que os eixos h são os elementos básicos do sistema, ou seja, em um acoplamento, sempre que a *posição do campo de tolerância* do eixo for representado pela letra h, tem-se um acoplamento no sistema eixo-base(fig. 3.4).

No *sistema eixo-base*, independente se o ajuste é com folga, incerto ou com interferência, *sempre o afastamento superior do eixo será zero* e o afastamento inferior será menor do que zero (valores negativos), sendo que o ajuste será dado pela *posição do campo de tolerância* do furo.

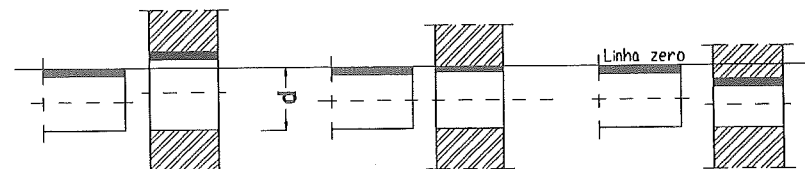


FIG. 3.4 - Representação de um ajuste no sistema eixo-base : a) ajuste com folga ; b) ajuste incerto ; c) ajuste com interferência

### 3.4 - Afastamentos de Referência

Os valores dos afastamentos de referência para eixos (afastamentos superior e/ou inferior) são fornecidos na tabela A.3.2 do anexo[3].

Tendo-se um dos afastamentos de referência (superior ou inferior), torna-se fácil a obtenção do outro (superior ou inferior), pela adição ou subtração com a tolerância  $t$ , como segue:

$$a_s - t = a_i \quad (3.1)$$

$$A_s - t = A_i \quad (3.2),$$

onde :

$a_s$ = afastamento superior do eixo	(mm ou $\mu\text{m}$ );
$a_i$ = afastamento inferior do eixo	(mm ou $\mu\text{m}$ );
$A_s$ = afastamento superior do furo	(mm ou $\mu\text{m}$ );
$A_i$ = afastamento inferior do furo	(mm ou $\mu\text{m}$ );
$t$ = tolerância	(mm ou $\mu\text{m}$ ).

Para os furos, os valores dos afastamentos de referência são determinados segundo os critérios abaixo:

*Regra geral* : o valor do afastamento inferior do furo tem o mesmo valor absoluto do afastamento superior do eixo, para *qualidades de trabalho e posição do campo de tolerância* iguais, ou seja,

$$A_i = -a_s \quad (3.3)$$

todavia, para N9 e qualidades menos finas (N10, N11), para dimensões acima de 3 mm, o afastamento superior do furo ( $A_s$ ) é zero.

*Regra especial*: para dimensões superiores à 3 mm, para os furos J à N até a qualidade 8 inclusive e para os furos P à ZC até a qualidade 7 inclusive, aplica-se a expressão:

$$A_{s(n)} = -a_{i(n-1)} + [IT_{(n)} - IT_{(n-1)}] \quad (3.4)$$

onde:

$A_{s(n)}$ = afastamento superior do furo para a qualidade de trabalho $n$ ;
$a_{i(n-1)}$ = afastamento inferior do eixo para a qualidade de trabalho $n-1$ ;
$IT_{(n)}$ = tolerância para a qualidade de trabalho $n$ ;
$IT_{(n-1)}$ = tolerância para a qualidade de trabalho $n-1$ .

### 3.5.- Exemplos

3.5.1. Determinar os afastamentos de referência do eixo 40g6.

#### Resolução

Na tabela A.3.2 encontra-se o valor - 9  $\mu\text{m}$  para o afastamento superior  $a_s$ . Da tabela A.2.1, encontra-se o valor 16  $\mu\text{m}$  para a tolerância  $t$ , para a

qualidade 6, dimensão  $\phi$  40 mm. Portanto, utilizando-se a expressão 3.2, encontra-se para  $a_i$  o valor - 25  $\mu\text{m}$ .

3.5.2. Determinar os afastamentos de referência para o eixo 60js8.

#### Resolução

Na tabela A.3.2, para *campos de tolerância js*, vale a expressão,  $\pm 1/2IT$ . Da tabela A.2.1, encontra-se para a qualidade de trabalho IT8, dimensão 60 mm, o valor  $t = 46 \mu\text{m}$ . Portanto, os afastamentos superior e inferior do eixo serão respectivamente +23  $\mu\text{m}$  e -23  $\mu\text{m}$ .

3.3.3. Determinar os afastamentos de referência para o furo 40N6.

#### Resolução

Para este *campo de tolerância(N)* e esta *qualidade de trabalho(IT6)*, aplica-se a regra especial, expressão 3.4. Portanto, pela aplicação da expressão, tem-se:

$$A_s(6) = -a_i(5) + [IT_6 - IT_5]$$

$a_i(5) = + 17 \mu\text{m}$ para a posição $n$	(tabela A.3.2);
$IT_6 = 16 \mu\text{m}$	(tabela A.2.1);
$IT_5 = 11 \mu\text{m}$	(tabela A.2.1);
portanto,	

$$A_s(6) = - 17 + [16 - 11] = - 12 \mu\text{m}$$

$$A_i = A_s - t = - 12 - 16 = - 28 \mu\text{m}$$

Obs.: observa-se através da tabela A.3.2, que o afastamento inferior do eixo para a posição  $n$ , independente da qualidade de trabalho, terá sempre o mesmo valor, dentro de um grupo de dimensões, uma vez que o valor do afastamento inferior está indicado para a posição do campo de tolerância genérico  $n$ . Assim, o afastamento inferior do eixo 40n4, 40n5, 40n6 etc., terá sempre o mesmo valor +17  $\mu\text{m}$ .

## IV. Classes de ajustes

### 4.1. Introdução

Em acoplamentos são previstos três classes de ajustes (vide item 1.4)(fig. 4.1):

- a. ajustes com folga;
- b. ajustes incertos;
- c. ajustes com interferência.

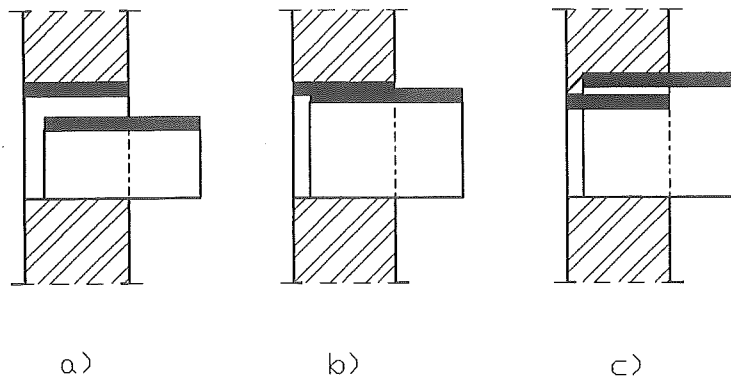


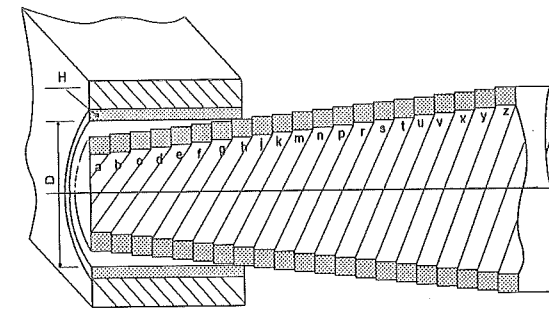
FIG. 4.1.- Ajustes : a) com folga ; b) incertos; c) com interferência

Em um acoplamento mecânico, deve-se sempre usar, para evitar um número muito elevado de combinações, ajustes ou no sistema furo-base, ou no sistema eixo-base. A fig. 4.2, visualiza as classes de ajustes, utilizando-se de um dos dois sistemas.

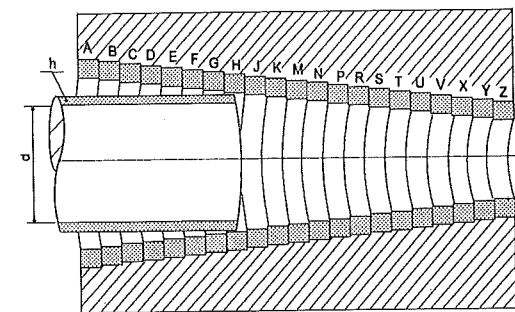
Dos acoplamentos seguintes resultam sempre ajustes com folga:

- a. dos eixos de  $a$  à  $h$  com furo-base  $H$ ;
- b. dos furos de  $A$  à  $H$  com eixo-base  $h$ .

Entretanto para os demais acoplamentos podem resultar ajustes incertos ou com interferência, de acordo com as *posições dos campos de tolerância* e as *qualidades de trabalho*. Todavia, a norma ABNT NBR 6158[3] indica algumas combinações que sempre darão ajustes incertos ou com interferência(ver tab. A.4.1 do anexo).



a)



b)

FIG. 4.2.- Ajustes nos sistemas a) furo-base ; b) eixo-base

A norma ABNT NBR 6158[3], bem como a normas DIN 7160[6] e DIN 7161[7] apresentam tabelas sobre os valores dos campos de tolerância para diversas dimensões, de tal forma, que sempre que se precisar saber o valor de tais campos, pode-se consultar diretamente tais tabelas. As tabelas A.4.2 e A.4.3 do anexo indicam os valores dos afastamentos superiores e inferiores para eixos e furos.

#### 4.2. - Escolha de Ajustes

A escolha de ajustes para um determinado acoplamento deve ficar a cargo do Departamento de Projeto da empresa, tendo como princípio qual a função e grau de responsabilidade que este acoplamento terá, cabendo à equipe de engenharia de fabricação saber interpretar e confeccionar as peças com as tolerâncias indicadas. Todavia, será apresentado neste item, algumas pequenas sugestões de escolha de ajustes.

A escolha de um sistema de ajuste (furo-base ou eixo-base) para um determinado acoplamento, é feito levando-se em conta a facilidade de fabricação dos componentes. No sistema *furo-base*, os eixos serão maiores ou menores do que os furos, de acordo com o ajuste desejado (fig. 4.2.a). No sistema *eixo-base*, os furos serão usinados com dimensões maiores ou menores do que os eixos, de acordo com o ajuste necessário (fig. 4.2.b).

Normalmente é mais fácil para a fabricação, variar-se medidas de eixos do que de furos, portanto, em princípio deve-se tentar usar o sistema *furo-base*.

As figs. 4.3 e 4.4 ilustram bem a aplicação de um ou outro sistema [8]. No caso da fig. 4.3, o anel *a* deve ter um ajuste com folga e o anel *b* um ajuste com interferência. Neste caso, o sistema a ser usado deve ser o sistema *eixo-base*, do contrário, a peça *a* teria dificuldades de ser encaixada. No caso da fig. 4.4, em que a peça *a* deve ter um ajuste com interferência e a peça *b* um ajuste com folga, o sistema a ser usado deve ser o sistema *furo-base*, onde a variação da tolerância é dada pelo eixo, pois do contrário, a peça *a* ao ser encaixada danificaria toda a superfície onde se encaixaria a peça *b*.

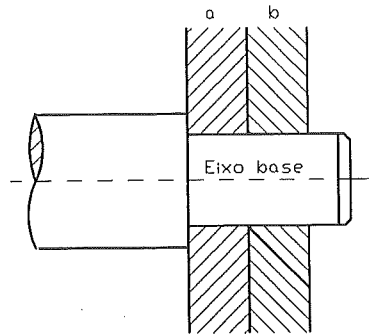


FIG. 4.3. - Exemplo de aplicação de acoplamento no sistema eixo-base [8]

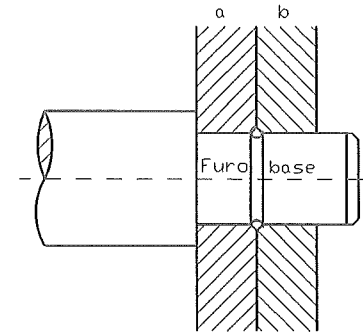


FIG. 4.4. - Exemplo de aplicação de acoplamento no sistema furo-base [8]

A seguir são apresentados os ajustes mais usuais aplicados na eng. mecânica:

#### ajustes de mecânica muito precisa

##### a. com furo-base H6

Para os eixos, corresponde a série de ajustes:  
 ajuste com interferência forte n5  
 ajuste com interferência leve m5  
 ajuste incerto forte k5 (interferência forte)  
 ajuste incerto leve j5 (interferência leve)  
 ajuste com folga leve h5  
 ajuste com folga forte g5

##### b. com eixo-base h5

Para os furos corresponde a série de ajustes:

ajuste com interferência forte N6  
 ajuste com interferência leve M6  
 ajuste incerto forte K6 (interferência forte)  
 ajuste incerto leve J6 (interferência leve)  
 ajuste com folga leve H6 e G6

ajustes de mecânica de precisãoa. com furo-base H7

Para os eixos corresponde a série de ajustes:

ajuste com interferência forte à pressão s6 e r6  
 ajuste com interferência forte prensado n6  
 ajuste com interferência forte m6  
 ajuste incerto forte k6 (interferência forte)  
 ajuste incerto leve j6 (interferência leve)  
 ajuste com folga leve h6  
 ajuste com folga semi-rotativo g6  
 ajuste com folga rotativo f7  
 ajuste com folga rotativo livre e8  
 ajuste com folga rotativo forte d9

b. com eixo-base h6

Para os furos corresponde a série de ajustes:

ajuste com interferência forte prensado S7 e R7  
 ajuste com interferência forte N7  
 ajuste com interferência leve M7  
 ajuste incerto forte K7 (interferência forte)  
 ajuste incerto leve J7  
 ajuste com folga leve H7  
 ajuste com folga semi-rotativo G7  
 ajuste com folga rotativo F7  
 ajuste com folga rotativo livre E8  
 ajuste com folga rotativo forte D9

ajustes de média precisãoa. com furo-base H8

Para os eixos corresponde a seguinte série de ajustes:

ajuste com folga leve h8 e h9  
 ajuste com folga semi-rotativo f8 e f9

ajuste com folga rotativo forte d10

b. com eixos-base h8 e h9

Para os furos corresponde a série de ajustes:

ajuste com folga leve H8  
 ajuste com folga semi-rotativo F8 e E9  
 ajuste com folga rotativo forte D10

ajuste de mecânica comuma. com furo-base H11

Para os eixos, tem-se os ajustes com folga d11, e11, b11, a11

b. com eixo-base h11

Para os furos, tem-se os ajustes com folga H11, D11, C11, B11, A11

A tabela A.4.1[3] apresenta ajustes equivalentes, ou seja, ajustes que no sistema furo-base ou eixo-base darão as mesmas interferências ou folgas.

A seguir serão apresentados alguns pequenos exemplos de aplicações dos tipos de ajustes citados acima.

Ajustes com interferência prensados: utilizados para peças de ajuste permanentemente unidas com muita pressão. Ex.: eixo de saída de redutor de ponte rolante de empresa siderúrgica, acoplado à engrenagem.

Ajustes com interferência forte: utilizados para peças que devam ficar solidamente acopladas em qualquer caso, podendo acoplar-se ou desacoplar-se somente mediante pressão. O movimento de rotação deve ser garantido por meio de chavetas. Ex.: eixos de motores elétricos.

ajustes com interferência leve : utilizado em peças com acoplamento fixo que só podem acoplar-se ou desacoplar-se a golpe de martelo pesado; o movimento de rotação deve ser assegurado por meio de chaveta. Ex.: anéis internos de rolamentos montados em eixos para cargas normais.

ajustes incerto forte: utilizado para peças que tenham acoplamento fixo e sua desmontagem não seja tão frequente, podendo acoplar-se e desacoplar-se a golpes de martelo comum de mão, em pequenas peças e martelo pesado nas grandes. O movimento de rotação deve ser assegurado por meio de chaveta. Ex.: embuchamento de rodas, rotores de turbinas e bombas centrífugas.

ajuste incerto leve: utiliza-se em peças que devam acoplar-se e desacoplar-se a mão ou golpe suave com martelo de borracha. Ex.: anéis internos de rolamentos de esferas para pequenas cargas e anéis externos de rolamentos fixados nas carcaças.

ajustes com folga leve: utiliza-se para peças que, quando bem lubrificadas, pode-se montá-las e desmontá-las com a mão. Ex.: anéis distanciadores, colunas móveis de furadeiras.

ajustes com folga semi-rotativo: utiliza-se em peças que devam ter uma folga bastante mínima. Ex.: engrenagens deslizantes em caixas de câmbio.

ajustes com folga rotativo: utiliza-se em peças que necessitam uma folga perceptível. Ex.: mancal principal em furadeiras e tornos.

ajustes com folga rotativo livre: utiliza-se em peças que devam ter uma folga bastante perceptível entre ambas as peças. Ex.: fusos de tornos em seus suportes.

ajustes com folga rotativo forte: utiliza-se em peças que devam ter uma ampla folga. Ex.: mancais de turbo-geradores, e casos especiais.

Os ajustes de mecânica comum são utilizados em peças que devam ter ampla folga e grande tolerância de fabricação e são todos com folga. Ex.: grande parte dos elementos de máquinas empregados em máquinas agrícolas.

A tabela A.4.4 do anexo, mostra uma *recomendação geral* para tolerâncias a serem aplicados em eixos e carcaças para rolamentos. Recomendações mais detalhadas encontram-se em catálogos de fabricantes de rolamentos. Deve ser lembrado que, como o rolamento é um elemento comprado, os ajustes desejados são obtidos usinando-se os eixos (no caso de acoplamento do anel interno), quando então temos um sistema furo-base, ou usinando-se

as carcaças (no caso de acoplamento do anel externo), quando então temos um sistema eixo-base.

### 4.3. Exemplos

4.3.1. - No conjunto abaixo (fig. 4.3.1e), uma bucha de bronze deve ser colocada entre o eixo e o furo, sendo que o eixo que será encaixado na bucha deverá ter uma folga leve. Quais as tolerâncias a serem usadas? [8]

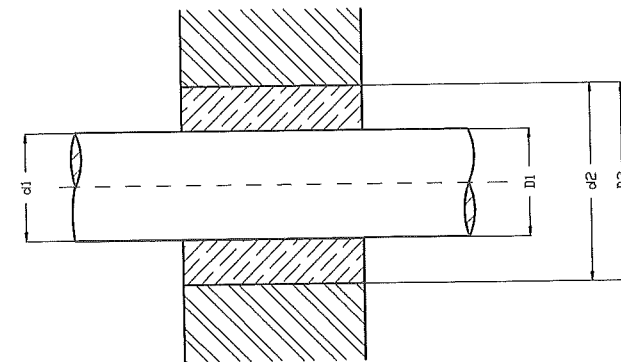


Fig. 4.3.1e - Exemplo de acoplamento de bucha de bronze entre eixo e furo

### Resolução

Sugere-se em casos semelhantes a estes adotar-se os seguintes ajustes [8]:

Para o eixo  $d1$ : tolerância  $h8$

Para o diâmetro  $D1$  da bucha: tolerância  $H9$ ,

portanto, ter-se-á entre  $d1$  e  $D1$  um ajuste com folga leve, onde o eixo deslizará sobre a bucha.

Para o diâmetro do furo  $D2$  sugere-se a tolerância  $H7$

Para o diâmetro externo da bucha, sugere-se a tolerância  $r6$ , portanto, ajuste com interferência, evitando que a bucha deslize no furo.



4.3.2.- Qual o sistema de ajustes a ser utilizado no conjunto ilustrado na figura 4.3.2e ? [8]

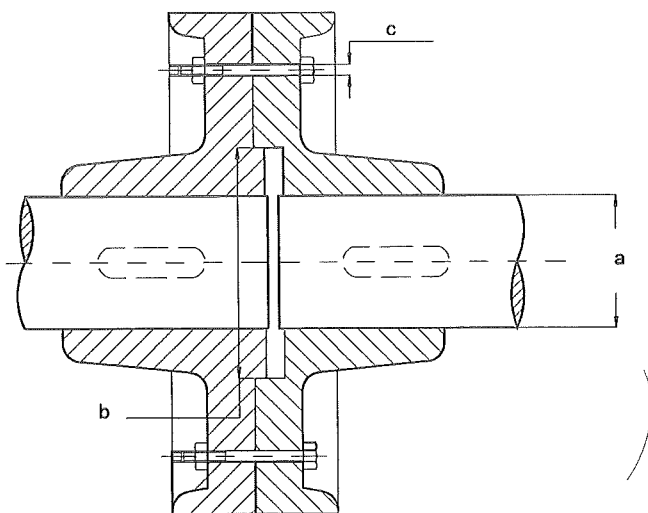


Fig. 4.3.2e - Acoplamento envolvendo união chavetada

#### Resolução

a) H7k6 - ajuste incerto, devido à grande precisão necessária para localização, além da necessidade de se minimizar a folga entre as peças, a fim de não sobrecarregar o ajuste da chaveta com cargas alternativas e choques

b) e c) H7j6 - ajuste incerto, devido à precisão necessária e a impossibilidade de haver folga excessiva entre pino e furo que poderia provocar o seu cisalhamento.

4.3.3.- Estudar o seguinte ajuste 55 F7/h6

#### Resolução

#### Furo F7

Qualidade de trabalho : 7

Posição do campo de tolerância : F

Dimensão nominal : 55

Afastamento superior: + 0,060 mm (tabela A.4.3 do anexo)

Afastamento inferior : + 0,030 mm (tabela A.4.3 do anexo)

Tolerância  $t = 0,060 - 0,030 = 0,030$  mm

Dimensão máxima =  $55,000 + 0,060 = 55,060$  mm

Dimensão mínima =  $55,000 + 0,030 = 55,030$  mm

Eixo h6

Qualidade de trabalho : h6

Posição do campo de tolerância: h

Afastamento superior : + 0,000 (tabela A.4.2 do anexo)

Afastamento inferior : - 0,019 mm (tabela A.4.2 do anexo)

Tolerância:  $0,000 - (-0,019) = 0,019$  mm

Dimensão máxima :  $55,000 + 0,000 = 55,000$  mm

Dimensão mínima :  $55,000 - 0,019 = 54,981$  mm

Como o afastamento superior do eixo é menor do que o afastamento inferior do furo, o ajuste 55F7/h6 é um ajuste com folga.

Folga máxima =  $55,060 - 54,981 = 0,079$  mm

Folga mínima =  $55,030 - 55,000 = 0,030$  mm

Obs.: Percebe-se dos exemplos, que a escolha das classes de ajustes depende, portanto, da função das peças no conjunto.