

2. SISTEMA DE TOLERÂNCIAS E AJUSTES

2.1 Introdução

Na fabricação em série, é necessário que as peças acopladas sejam passíveis de serem trocadas por outras, que tenham as mesmas especificações das peças originais. Assim, ao se fabricar componentes mecânicos é fundamental que certas peças ajustem-se reciprocamente ao montá-las, sem que sejam submetidas a tratamentos ou ajustes suplementares.

A possibilidade de se substituir umas peças por outras ao montar ou consertar um equipamento (ou conjunto mecânico) denomina-se **intercambiabilidade**.

☞ **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, montada ao conjunto em questão, sem nenhum ajuste ou usinagem posterior, dará condições para que o sistema mecânico cumpra as funções para as quais foi projetado.*

Com a intercambiabilidade, peças fabricadas em série podem ser montadas, sem necessidades de ajustes, em outra peça qualquer, qualquer que seja o lote, a data ou o local de fabricação. Esta intercambiabilidade é garantida através de uma adequada seleção das tolerâncias e ajustes, como será visto a seguir.

Um requisito fundamental da intercambiabilidade é a seleção de um processo de fabricação que assegure a produção de peças com igual **exatidão**.

☞ **Exatidão:** *Correspondência entre as dimensões reais da peça e aquelas indicadas no desenho.*

Não existe processo de fabricação capaz de produzir um número ilimitado de peças com exatidão absoluta. Diversas causas como inexatidões das máquinas, dos dispositivos ou dos instrumentos de medição fazem com que as **dimensões reais (ou efetivas)** das peças sejam diferentes daquelas indicadas no desenho, chamadas de

dimensões nominais. Peças reais possuem dimensões que se afastam para mais ou para menos da cota nominal, apresentando uma certa inexatidão.

☞ **Dimensões nominais:** *São as dimensões indicadas no desenho de uma peça. Elas são determinadas através do projeto mecânico, em função dos objetivos que deverão atingir.*

☞ **Dimensões reais (ou efetivas):** *São as dimensões reais da peça. Estas dimensões podem ser maiores, menores ou iguais às dimensões nominais.*

Assim, para uma peça com uma cota nominal de 145 mm podem ser encontradas peças com 145,023 mm, 144,978 mm, 145.000 mm e assim por diante. Todas as peças cujas dimensões não ultrapassem as dimensões limites serão úteis, enquanto as demais serão rejeitadas. Estes desvios devem ser controlados para que a intercambiabilidade seja garantida. Deve-se portanto, determinar a menor precisão possível dentro da qual a peça em questão exerça sua função adequadamente. Qualquer melhoria adicional elevaria o custo do produto.

☞ Todos os conceitos a seguir serão baseados nas normas: ABNT NBR6158 e DIN 7182

Exemplos de peças que trabalham acopladas: Chaveta em seu rasgo, Eixo no seu coxinete, rolamento no seu mancal, pino no pistão, engrenagem na árvore, etc.....

As dimensões reais são diferentes das dimensões nominais. Estas variações devem ser mantidas dentro de certos limites. Para que a intercambiabilidade seja garantida é necessário que todos os fabricantes obedeam a normas pré-definidas, ou seja a um sistema de tolerâncias e ajustes.

☞ **Sistema de tolerâncias e ajustes:** *É um conjunto de normas, regras e tabelas que têm como objetivo normalizar e limitar as variações das dimensões de componentes mecânicos visando a intercambiabilidade e garantir sua funcionalidade.*

Questões:

1. Porque a intercambiabilidade tornou-se importante com a produção em série?
2. A intercambiabilidade é importante no mundo globalizado?
3. Compare dimensão nominal com dimensão efetiva.
4. Porque um sistema de peças intercambiáveis, bem interpretado, aumenta a qualidade dos produtos e reduz os custos?
5. Qual diferença entre exatidão e precisão?
6. Qual o objetivo de se introduzir um sistema de tolerâncias e ajustes?

2.2 Terminologia de Tolerâncias

As dimensões de peças diferentes, fabricadas com mesmo diâmetro nominal, cujo funcionamento foi experimentado e considerado adequado, podem oscilar dentro de certos limites, mantendo-se as condições de funcionamento anteriormente previstas. Assim, a conjugação requerida de duas peças se assegura somente quando as dimensões limites de tolerância tenham sido previamente estabelecidas.

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

DIMENSÃO MÁXIMA: É o valor máximo admissível para a dimensão efetiva (Fig. 2.1)

Símbolo: $D_{m\acute{a}x}$ para furos e $d_{m\acute{a}x}$ para eixos

DIMENSÃO MÍNIMA: É o valor mínimo admissível para a dimensão efetiva (Fig. 2.1)

Símbolo: $D_{m\grave{i}n}$ para furos e $d_{m\grave{i}n}$ para eixos

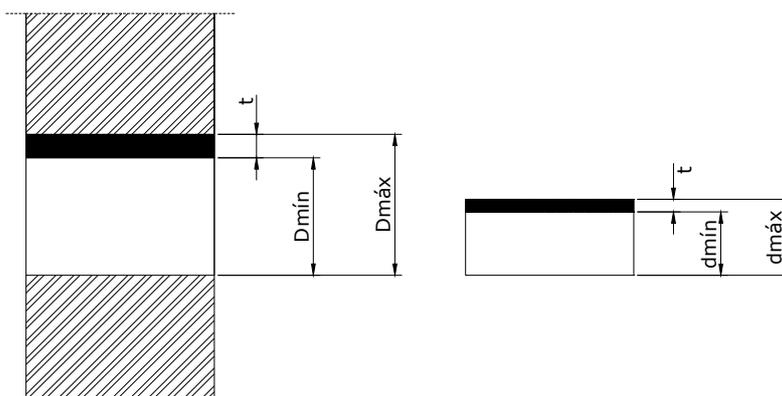


Figura 2.1: Dimensões máxima e mínima e tolerância t para eixo e furo

AFASTAMENTOS: É a diferença entre as dimensões limites e a dimensão nominal

AFASTAMENTO INFERIOR: É a diferença entre a dimensão mínima e a dimensão nominal. Símbolos: A_i para furos e a_i para eixos (Fig. 2.2).

AFASTAMENTO SUPERIOR: É a diferença entre a dimensão máxima e a dimensão nominal. Símbolos: A_s para furos e a_s para eixos (Fig. 2.2)

AFASTAMENTO REAL: É a diferença entre a dimensão efetiva e a dimensão nominal do componente.

TOLERÂNCIA: É a variação admissível da dimensão da peça. Símbolo: t (Fig. 2.1 e 2.2).

A tolerância indica uma faixa de valores compreendidos entre as dimensões limites. Também denominada de Zona de Tolerância ou Campo de tolerância.

$$t = D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}} \text{ (Furos)} \text{ e } t = d_{\text{máx}} - d_{\text{mín}} \text{ (Eixos)} \text{ ou}$$

$$t = A_s - A_i \text{ (Furos)} \text{ e } t = a_s - a_i \text{ (Eixos)}$$

LINHA ZERO: É a linha que indica a posição da dimensão nominal em um desenho.

Ela serve de referência para os afastamentos.

☞ *Afastamentos acima da linha zero são positivos*

☞ *Afastamentos abaixo da linha zero são negativos*

POSIÇÃO DA ZONA DE TOLERÂNCIA: É a menor distância entre a linha zero e a zona de tolerância. Esta posição pode ser medida entre a linha zero e o limite inferior ou entre a linha zero e o limite superior, dependendo de qual é a menor distância.

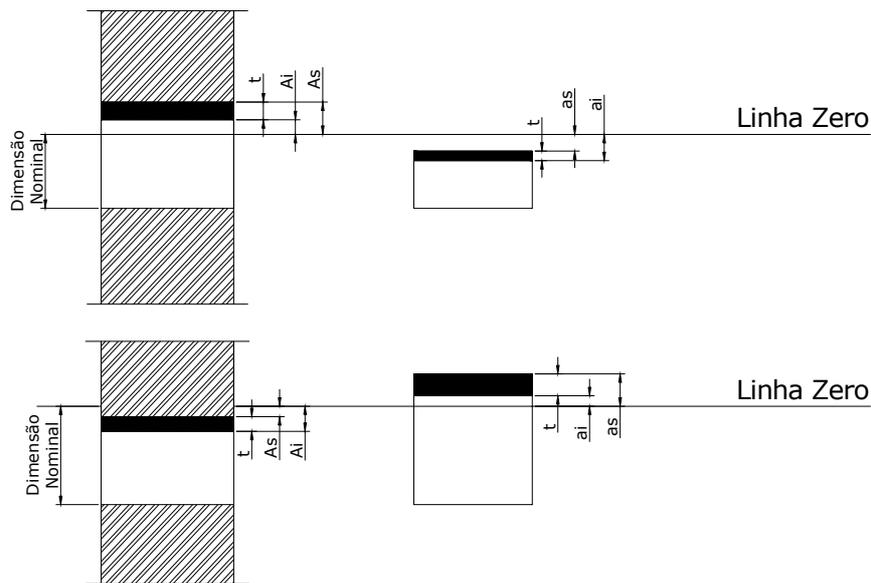


Figura 2.2: Afastamentos superior e inferior e tolerância t para eixo e furo

Exercícios:

- Um eixo apresenta dimensão nominal $\varnothing = 86$ mm, afastamento superior e inferior respectivamente 0,089 mm e 0,011 mm. Determine a tolerância e as dimensões deste eixo. Faça um desenho esquemático deste eixo indicando estes valores.
- Um furo apresenta dimensão nominal $\varnothing = 146$ mm, afastamento superior e inferior respectivamente 0,090 mm e -0,041 mm. Determine a tolerância e as dimensões deste furo. Faça um desenho esquemático deste furo indicando estes valores.

Questões

- Um furo com afastamento inferior positivo poderá ter dimensão efetiva maior, menor ou igual à sua dimensão nominal? Porque? Faça desenho esquemático.
- Um furo com afastamento inferior negativo terá dimensão efetiva maior, menor ou igual à sua dimensão nominal? Porque? Faça desenho esquemático.
- Um eixo com afastamento inferior positivo terá dimensão efetiva maior, menor ou igual à sua dimensão nominal? Porque? Faça desenho esquemático.

2.3 Terminologia de Ajustes

Ajuste é o modo de se conjugar duas peças introduzidas uma na outra. Através do ajuste pode-se assegurar que as peças acopladas terão movimento relativo entre si ou estarão firmemente unidas.

SUPERFÍCIE DE AJUSTE: Toda superfície de contato entre peças acopladas, sejam elas fixas ou móveis.

AJUSTE CILÍNDRICO: Ajuste entre superfícies de ajustes cilíndricas circulares. Ex.: Aro interno do rolamento com o eixo correspondente.

AJUSTE PLANO: Ajuste entre pares de superfícies de ajustes planas. Ex.: Ajustes entre as guias prismáticas de uma máquina-ferramenta.

AJUSTE CÔNICO: Ajuste entre superfícies de ajustes cônicas circulares. Ex.: Pinos cônicos de centragem entre duas peças.

COMPONENTES DO AJUSTES: São os componentes ou peças destinadas ao ajuste. podem ser (Fig. 2.3):

a) *Componente ou peça exterior.* É a peça do ajuste que cobre a peça acoplada \Rightarrow FURO

b) *Componente ou peça interior.* É a peça do ajuste que é coberta pela peça acoplada \Rightarrow EIXO

☞ *O conceito de furo e eixo em ajuste é bastante amplo, como mostra a Figura 2.3.*

☞ *Em acoplamentos múltiplos uma peça pode atuar como eixo em um par e como furo em outro par. Ex.: Buchas em mancais de escorregamento, Cones de Morse. (Fig. 2.4)*

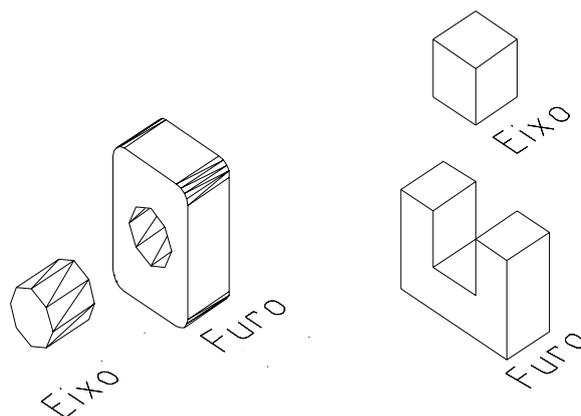


Figura 2.3: Conceitos de eixo e furo

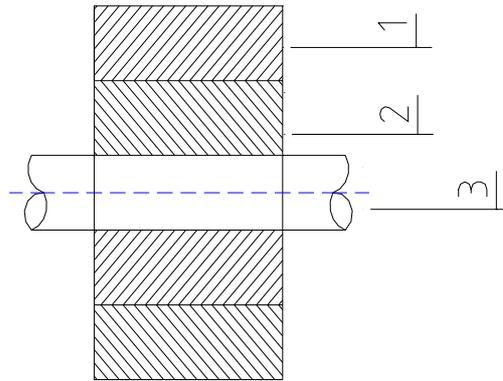


Figura 2.4: Acoplamento Múltiplo

FOLGA: Folga (ou jogo) é a diferença, em um acoplamento, entre as dimensões do furo e do eixo, *quando o eixo é menor que o furo*. Símbolo F . (Fig. 2.5)

FOLGA MÁXIMA: É a diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, *quando o eixo é menor que o furo*. Símbolo $F_{m\acute{a}x}$. (Fig. 2.5).

$F_{m\acute{a}x} = D_{m\acute{a}x} - d_{m\acute{i}n}$. Através desta equação $F_{m\acute{a}x}$ será *sempre positiva*.

FOLGA MÍNIMA: É a diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, *quando o eixo é menor que o furo*. Símbolo $F_{m\acute{i}n}$. (Fig. 2.5).

$F_{m\acute{i}n} = D_{m\acute{i}n} - d_{m\acute{a}x}$. Através desta equação $F_{m\acute{i}n}$ será *sempre positiva*.

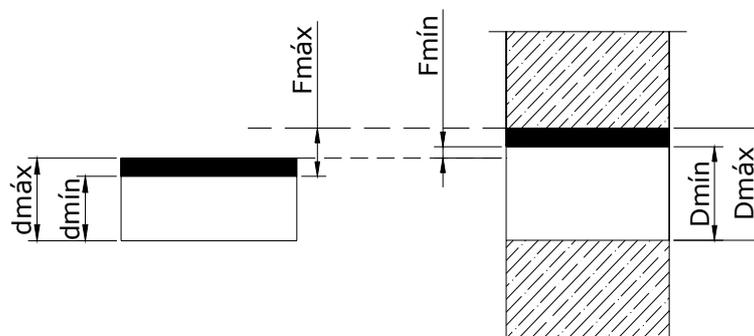


Figura 2.5: Folgas Máxima e Mínima

INTERFERÊNCIA: É a diferença, em um acoplamento, entre as dimensões do furo e do

eixo, quando o eixo é maior que o furo. Símbolo I. (Fig. 2.6)

INTERFERÊNCIA MÁXIMA: É a diferença entre as dimensões mínima do furo e máxima do eixo, quando o eixo é maior que o furo. (Símbolo $I_{máx}$).

$I_{máx} = D_{min} - d_{máx}$. Através desta equação, $I_{máx}$ será sempre negativa. (Fig. 2.6)

INTERFERÊNCIA MÍNIMA: É a diferença entre as dimensões máxima do furo e mínima do eixo, quando o eixo é maior que o furo. Símbolo I_{min} .

$I_{min} = D_{máx} - d_{min}$. Através desta equação, I_{min} será sempre negativa. (Fig. 2.6)

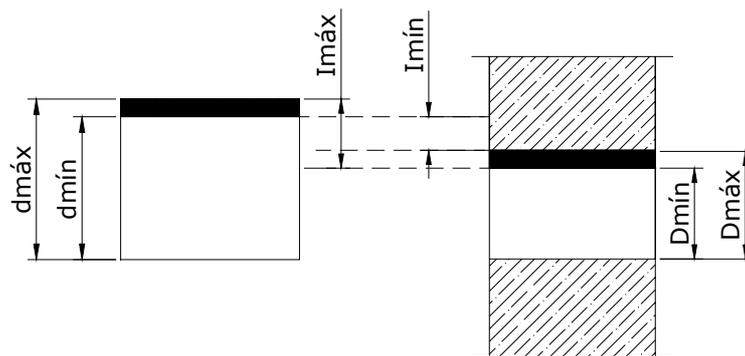


Figura 2.6: Interferências Máxima e Mínima

TOLERÂNCIA DO AJUSTE: É a variação possível da folga ou da interferência entre as peças que se acoplam. Símbolo: t_{AJ}

$$t_{AJ} = t_{EIXO} + t_{FURO}$$

$$t_{AJ} = F_{máx} - F_{min} \Rightarrow \text{Ajuste com folga}$$

$$t_{AJ} = |I_{máx}| - |I_{min}| \Rightarrow \text{Ajuste com Interferência}$$

$$t_{AJ} = F_{máx} + |I_{máx}| \Rightarrow \text{Ajuste Incerto}$$

AJUSTE: É o comportamento de um eixo em um furo, ambos com a mesma dimensão nominal. No acoplamento sempre haverá ajuste, caracterizado pela folga ou interferência presente.

☞ Em um ajuste o furo e eixo terão sempre o **mesmo** diâmetro nominal!

Dependendo das variações dimensionais entre as peças que se acoplam pode-se ter ajuste com folga (móvel), com interferência (prensado) ou incerto (indeterminado).

AJUSTE COM FOLGA: É aquele em que existe folga, ou jogo. Inclui-se o caso em que F_{\min} ou $I_{\max} = 0$. Nestes ajustes tem-se: $a_s \leq A_i$. (Fig. 2.5).

AJUSTE COM INTERFERÊNCIA: É o ajuste em que o diâmetro do eixo é sempre maior que o diâmetro do furo. Nestes ajustes tem-se: $A_s < a_i$. (Fig. 2.6).

AJUSTE INCERTO: É o ajuste que pode ser com folga ou com interferência. Neste tipo de ajuste não pode ser previsto de antemão se haverá folga ou interferência. Somente após o conhecimento das dimensões efetivas é que estes valores poderão ser determinados. Nestes ajustes tem-se: $a_s \geq A_i$ e $A_s \geq a_i$. (Fig. 2.7).

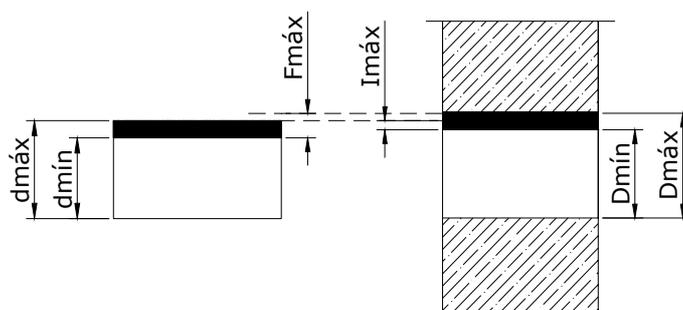


Figura 2.7: Ajuste Incerto.

Através dos conceitos expostos acima, será sempre possível acoplar duas peças com folga ou com interferência, de tal forma que se tenha um dos três tipos de ajustes. Do ponto de vista organizacional e de uso, tal sistema não seria prático, pois as possibilidades de variações dimensionais para um mesmo ajuste são muito grandes. Para solucionar este problema criou-se os **sistemas de ajustes**, que compreendem uma série de ajustes metodicamente estabelecidos com distintas folgas e interferências.

☞ **Sistemas de ajustes** é um conjunto de princípios, regras, tabelas e fórmulas que permite uma escolha racional de tolerâncias no acoplamento eixo-furo, para se obter uma condição pré-estabelecida.

SISTEMA EIXO-BASE: É um sistema de ajuste nos qual as dimensões máximas dos eixos são iguais à dimensão nominal. A linha zero constitui o limite superior da tolerância. Os furos são maiores ou menores conforme o tipo de ajuste desejado. Este sistema é usado em ajustes da capa externa de rolamentos com carcaça, buchas pré-usinadas (compradas prontas) com furo de polia.

$$\text{☞ } a_s = 0$$

SISTEMA FURO-BASE: É um sistema de ajuste no qual a dimensão mínima dos furos é igual à dimensão nominal. A linha zero constitui o limite inferior da tolerância. Os eixos são maiores ou menores conforme o tipo de ajuste desejado. Este sistema é usado em ajustes entre eixos, polias, engrenagens.

$$\text{☞ } A_i = 0$$

Exercícios:

1. A dimensão nominal em um acoplamento é de 40 mm. O furo tem $A_s = 64\mu\text{m}$ e $A_i = 25\mu\text{m}$. O eixo tem $a_s = 0$ e $a_i = -39\mu\text{m}$. Determinar:
 - a) Se existe furo-base ou eixo-base.
 - b) Tipo de ajuste
 - c) Valores máximos e mínimos da Folga e/ou interferência.
 - d) Faça um desenho esquemático do acoplamento
2. Deduzir em função dos afastamentos superior e inferior as expressões para as folgas e interferências (Máximas e Mínimas).
3. O comportamento do eixo em um furo apresenta folga máxima de $18\mu\text{m}$ e mínima de $5\mu\text{m}$. A tolerância do furo é de $6\mu\text{m}$. Determine a tolerância do eixo. Faça um desenho esquemático do acoplamento mostrando a solução.

4. Em um acoplamento o eixo tem $\varnothing = 20 \text{ mm}(-10\mu\text{m}, 15\mu\text{m})$. Os afastamentos do furo variam entre -6 e $-20\mu\text{m}$. Qual o tipo de ajuste? Determine as dimensões mínimas e máximas do furo e do eixo. Faça um desenho esquemático.

5. O diâmetro máximo que deverá ter o anel exterior de um rolamento é de $20,050 \text{ mm}$ e o mínimo de $20,030 \text{ mm}$. O mancal de alojamento deste rolamento deverá ter diâmetro máximo de $20,020 \text{ mm}$ e mínimo de $20,000 \text{ mm}$. Calcular o tipo de ajuste e valores máximos e mínimos de Folga e/ou interferência.

Questões

- 1) Pode-se afirmar que em ajuste incerto o eixo terá sempre afastamento superior maior que o afastamento inferior do furo? Mostre em um desenho.
- 2) A folga máxima será sempre igual à interferência mínima negativa?
- 3) Demonstre as equações que determinam a tolerância do ajuste para acoplamentos com folga, com interferência e incertos. Faça desenhos esquemáticos.

2.4 Sistemas de Tolerâncias e Ajustes

Baseado nos conceitos fundamentais desenvolveu-se o conceito de ajustes e tolerâncias, elaborado pela ISO (International Standardization Organization). O sistema de ajustes e tolerâncias ISO determina três condições fundamentais:

1. Uma série de grupos de diâmetros de 1 a 500 mm .
2. Uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a qualidade da usinagem. Existem 18 qualidades distintas: IT01, IT0, IT1, IT2, IT3...IT16.
3. Uma série de posições da tolerância que definem a sua posição em relação à linha zero, ou seja, a sua classe de ajuste.

A temperatura de referência, ou seja, a temperatura em que deve estar a peça, é de 20°C .

DIÂMETROS FUNDAMENTAIS: Os diâmetros nominais utilizados são normalizados, ou seja, são utilizados somente um número restrito de valores, dentro do universo de variações possíveis.

A principal vantagem desta normalização é a possibilidade de se utilizar um menor número de itens de ferramentas de corte e de instrumentos de medição necessários ao controle dimensional.

As dimensões nominais utilizadas foram baseadas na teoria dos números normais, os quais são progressões geométricas cuja razão é uma raiz de 10.

A partir destes números normalizados a norma ABNT NB-86 fixou os grupos de dimensões nominais utilizados para escolha de ajustes (Tab. 2.1).

de 0 até 1		de 24 até 30		de 120 até 140		de 250 até 280	
1	3	30	40	140	160	280	315
3	6	40	50	160	180	315	355
6	10	50	65	180	200	355	400
10	14	65	80	200	225	400	450
14	18	80	100	225	250	450	500
18	24	100	120				

Obs: Os valores "de" são exclusivos, e os valores "até" são inclusivos

QUALIDADE DE TRABALHO: O sistema de tolerâncias estabeleceu 18 graus de tolerâncias para cada zona de medida nominal, denominadas como tolerâncias fundamentais. Cada grau de tolerância é denominado qualidade.

UNIDADE DE TOLERÂNCIA: É um valor numérico calculado em relação às médias geométricas das dimensões limites de cada grupo. Ela serve de base ao desenvolvimento do sistema de tolerâncias e fixa a ordem de grandeza dos afastamentos. **Símbolo: i [μm]**

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

D = Média geométrica dos valores extremos de cada grupo de dimensões nominais [mm].

As séries de tolerâncias fundamentais válidas para as várias dimensões nominais são designadas por IT01 até IT16. Elas foram determinadas baseando-se nas seguintes regras:

- i) IT6 até IT11: Foram calculadas segundo a Eq. (2.1). Cada qualidade tem uma tolerância 60% maior que a qualidade imediatamente inferior.
- ii) IT12 até IT16 são dez vezes maiores que os valores IT7 a IT 11. Ex.: $IT_{12} = 10 \cdot IT_7$.
- iii) IT1 até IT5 não seguem lei matemática geral. IT5 é aproximadamente igual a $7i$.
- iv) Os valores de IT01 a IT1 são:

$$IT_{01} = 0,3 + 0,008D;$$

$$IT_0 = 0,5 + 0,012D;$$

$$IT_1 = 0,8 + 0,020D.$$

Os valores de IT2 a IT4 foram determinados interpolando-se geometricamente os valores de IT1 a IT5:

IT2: Segundo termo da P.G. calculada através da interpolação de três termos entre a_1 (dado pela tolerância IT1) e a_5 (dado pela tolerância IT5). $\Rightarrow t = a_2$

IT3: Terceiro termo da P.G. calculada através da interpolação de três termos entre a_1 (dado pela tolerância IT1) e a_5 (dado pela tolerância IT5). $\Rightarrow t = a_3$

IT4: Quarto termo da P.G. calculada através da interpolação de três termos entre a_1 (dado pela tolerância IT1) e a_5 (dado pela tolerância IT5). $\Rightarrow t = a_4$

Exemplo: $\varnothing = 12$ mm IT2, IT3 e IT4=?

Solução: IT2=?; Das tabelas tem-se: $IT_1 = 1,2\mu\text{m}$; $IT_5 = 8\mu\text{m}$;

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{t_n}{t_1}}$$

n = Número de Termos; $n = 5$ termos;

t_n = n'ésimo termo; t_5 = quinto termo

$t_1 = 1,2\mu\text{m}$ e $t_5 = 8\mu\text{m}$

$$q = \sqrt[5-1]{\frac{8}{1,2}} = \sqrt[4]{6,66} = 1,6$$

Termos da P.G.: $\Rightarrow t_i = t_{i-1} \cdot q$

$$t_1 = 1,2\mu\text{m}; t_2 = t_1 \cdot q = 1,2 \cdot 1,6 = 1,92 \approx 2\mu\text{m}; \Rightarrow IT_2 = 2\mu\text{m}$$

$$t_2 = 1,92\mu\text{m}; t_3 = t_2 \cdot q = 1,92 \cdot 1,6 = 3,07 \approx 3\mu\text{m}; \Rightarrow IT_3 = 3\mu\text{m}$$

$$t_3 = 3,07\mu\text{m}; t_4 = t_3 \cdot q = 3,07 \cdot 1,6 = 4,91 \approx 5\mu\text{m}; \Rightarrow IT_4 = 5\mu\text{m}$$

A tabela 2.2 mostra as tolerâncias fundamentais em função de i para IT6 a IT16.

Tabela 2.2: Tolerâncias fundamentais em função de i [μm]

IT	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
i	10	16	25	40	63	100	160	250	400	640	1000

Baseando-se nestes cálculos e em arredondamentos, calculou-se os valores de tolerâncias. A tabela 2.3 mostra os valores das tolerâncias de fabricação em função das faixas de dimensões nominais e da qualidade de fabricação.

Tabela 2.3: Tolerâncias dimensionais

Grupo de Dimensões em milímetros – Valores da Tabela (tolerâncias) em [µm]														
Qualidade	Até 1	De 1 até 3	De 3 até 6	De 6 até 10	De 10 até 18	De 18 até 30	De 30 até 50	De 50 até 80	De 80 até 120	De 120 até 180	De 180 até 250	De 250 até 315	De 315 até 400	De 400 até 500
IT 01	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
IT 0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
IT 1	0,8	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
IT 2	1,2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
IT 3	2	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
IT 4	3	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
IT 5	4	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
IT 6	6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT 7	10	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT 8	14	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT 9	25	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT 10	40	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT 11	60	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT 12	----	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT 13	----	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
IT 14	----	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
IT 15	----	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
IT 16	----	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000

Obs: Os valores "de" são exclusivos, e os valores "até" são inclusivos

USO:

- IT01 - IT0: Grande precisão.
- IT1 a IT4: São empregadas principalmente para construção de calibradores e instrumentos de medição.
- IT5 a IT9: São empregadas na grande maioria das construções mecânicas.

Em barras trefiladas empregam-se normalmente as qualidades 9 a 11. Mais comum: IT11. Barras trefiladas IT8 são produzidas em casos especiais, sob encomenda. Ex.: Pinos e eixos de pequenas dimensões empregados na indústria automobilística, onde

a utilização destas barras simplifica a produção, eliminando-se várias operações.

- IT12 a IT16: São empregadas em peças fundidas, soldadas ou barras laminadas.

☞ *Em caso de discrepâncias entre cálculos e valores tabelados, **usar sempre o valor tabelado.***

EXERCÍCIOS:

1. Qual a unidade de tolerância para $\varnothing = 25$ mm?
2. Determinar a tolerância fundamental para a qualidade de tolerância IT7 para $\varnothing = 25$ mm. a) Usando somente cálculos; b) Através da tabela 2.3.
3. Qual a tolerância fundamental i para $\varnothing = 7$ mm? Determine a tolerância para a qualidade IT8 através da tabela 2.3 e através de cálculos.

Questões

- 1) Faça uma análise da tabela de tolerâncias fundamentais. Para uma qualidade IT constante, como variam as tolerâncias na medida em que se aumenta o diâmetro nominal? Para Um mesmo grupo de diâmetros nominais como variam as tolerâncias na medida em que se aumenta a qualidade IT?
- 2) Para que serve a unidade fundamental de tolerância i ?
- 3) O que são tolerâncias fundamentais?

2.4.1 Posição dos Campos de Tolerâncias

A posição do campo de tolerância define a sua posição em relação à linha zero.

☞ *A posição do campo de tolerância é a distância entre a dimensão mais próxima à linha zero até a própria linha zero.*

A caracterização das posições dos campos de tolerâncias é feita através do emprego das seguintes letras: Eixos \Rightarrow a, b, c, d, e,...z; Furos \Rightarrow A, B, C, D, E,...Z.

A norma ABNT NB-86 prevê ainda classes especiais cd, ef, fg, js, za, zb e zc para eixos e CD, EF, FG, JS, ZA, ZB E ZC para furo. A letra i não é usada na nomenclatura acima para evitar confusão com a unidade fundamental de tolerâncias (i).

A posição do campo de tolerância define a dimensão do componente enquanto sua qualidade de fabricação IT define a amplitude da tolerância (ou do campo de tolerâncias).

A Fig. 2.8 mostra as posições do campo de tolerâncias em relação à linha zero. Observa-se que:

- Eixos de a até g têm afastamentos negativos, ou seja suas dimensões são menores que a dimensão nominal.
- Furo de A até G têm dimensões maiores que a dimensão nominal, ou seja têm afastamentos positivos.
- Eixos e furos com a mesma posição no campo de tolerâncias apresentam valores simétricos dos afastamentos em relação à linha zero, ou seja, eles estão situados a uma mesma distância da linha zero.
- Eixos na posição h apresentam $a_s = 0$, ou seja a dimensões limite máximas destes eixos são iguais à suas dimensões nominais. **Caracterizam o sistema eixo-base.**
- Furos na posição H apresentam $A_i = 0$, ou seja a dimensões limite mínimas destes furos são iguais à suas dimensões nominais. **Caracterizam o sistema furo-base.**

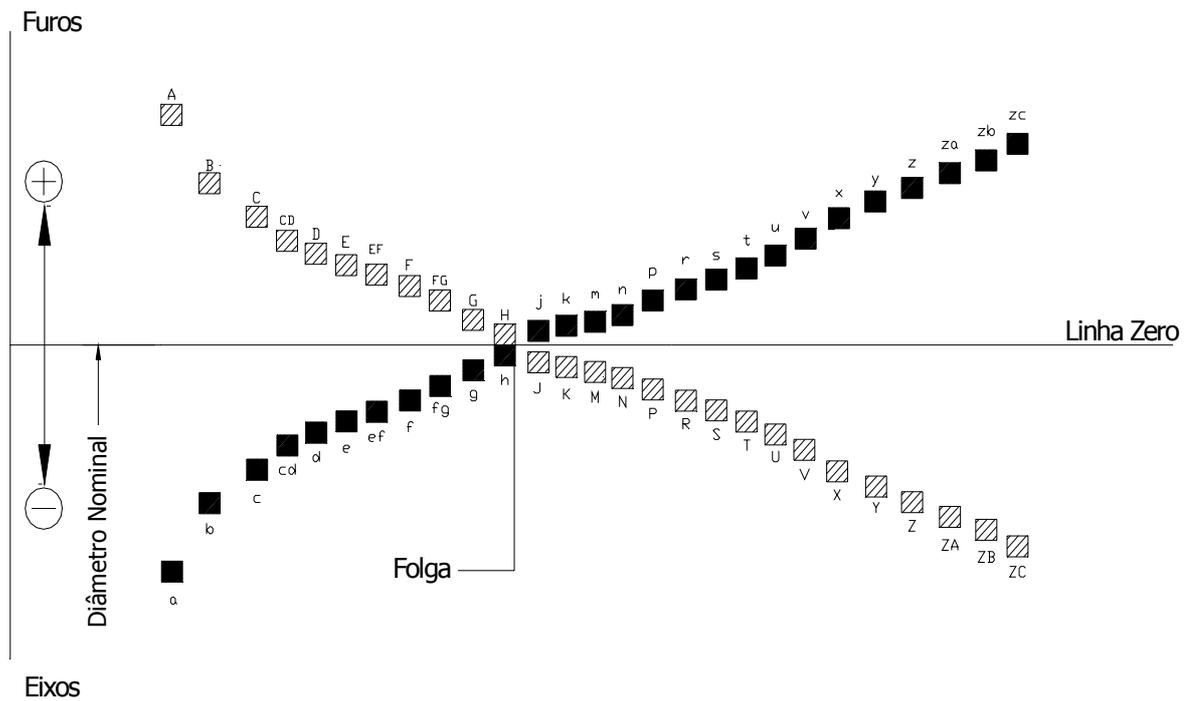


Figura 2.8: Posição dos Campos de tolerâncias em relação a Linha Zero

Os valores dos afastamentos de referência, ou seja, as posições dos campos de tolerâncias, são fornecidos pela tabela 2.4. Esta tabela foi confeccionada para o sistema furo base. Assim, os valores fornecidos são para eixos.

Tabela 2.4: Afastamento de Referências para Eixos
Afastamentos Superiores (μm)

Dimensões (mm) > <	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h
de 0 a 1	X	X	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0
de 1 a 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0
de 3 a 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0
de 6 a 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0
de 10 a 14	-290	-150	-95	X	-50	-32	X	-16	X	-6	0
de 14 a 18	-290	-150	-95	X	-50	-32	X	-16	X	-6	0
de 18 a 24	-300	-160	-110	X	-65	-40	X	-20	X	-7	0
de 24 a 30	-300	-160	-110	X	-65	-40	X	-20	X	-7	0
de 30 a 40	-310	-170	-120	X	-80	-50	X	-25	X	-9	0
de 40 a 50	-320	-180	-130	X	-80	-50	X	-25	X	-9	0
de 50 a 65	-340	-180	-140	X	-100	-60	X	-30	X	-10	0
de 65 a 80	-360	-200	-150	X	-100	-60	X	-30	X	-10	0
de 80 a 100	-380	-220	-170	X	-120	-72	X	-36	X	-12	0
de 100 a 120	-410	-240	-180	X	-120	-72	X	-36	X	-12	0
de 120 a 140	-460	-260	-200	X	-145	-85	X	-43	X	-14	0
de 140 a 160	-520	-280	-210	X	-145	-85	X	-43	X	-14	0
de 160 a 180	-580	-310	-230	X	-145	-85	X	-43	X	-14	0
de 180 a 200	-660	-340	-240	X	-170	-100	X	-50	X	-15	0
de 200 a 225	-740	-380	-260	X	-170	-100	X	-50	X	-15	0
de 225 a 250	-820	-420	-280	X	-170	-100	X	-50	X	-15	0
de 250 a 280	-920	-480	-300	X	-190	-110	X	-56	X	-17	0
de 280 a 315	-1050	-540	-330	X	-190	-110	X	-56	X	-17	0
de 315 a 355	-1200	-600	-360	X	-210	-125	X	-62	X	-18	0
de 355 a 400	-1350	-680	-400	X	-210	-125	X	-62	X	-18	0
de 400 a 450	-1500	-760	-440	X	-230	-135	X	-68	X	-20	0

Tab. 2.4: Afastamentos Inferiores (μm)

(mm) > ≤	j5 e j6	j7	j8	k4 à k7	k=3 k>7	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
de 0 a 1	-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14	X	18	X	20	X	26	32	40	60
de 1 a 3	-2	-4	-6	0	0	2	4	6	10	14	X	18	X	20	X	26	32	40	60
de 3 a 6	-2	-4	X	1	0	4	8	12	15	19	X	23	X	28	X	35	42	50	80
de 6 a 10	-2	-5	X	1	0	6	10	15	19	23	X	28	X	34	X	42	52	67	97
de 10 a 14	-3	-6	X	1	0	7	12	18	23	28	X	33	X	40	X	50	64	90	130
de 14 a 18	-3	-6	X	1	0	7	12	18	23	28	X	33	39	45	X	60	77	108	150
de 18 a 24	-4	-8	X	2	0	8	15	22	28	35	X	41	47	54	63	73	98	136	188
de 24 a 30	-4	-8	X	2	0	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218
de 30 a 40	-5	-10	X	2	0	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274
de 40 a 50	-5	-10	X	2	0	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325
de 50 a 65	-7	-12	X	2	0	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405
de 65 a 80	-7	-12	X	2	0	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480
de 80 a 100	-9	-15	X	3	0	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585
de 100 a 120	-9	-15	X	3	0	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690
de 120 a 140	-11	-18	X	3	0	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800
de 140 a 160	-11	-18	X	3	0	15	27	43	65	100	134	190	228	280	340	415	535	700	900
de 160 a 180	-11	-18	X	3	0	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000
de 180 a 200	-13	-21	X	4	0	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150
de 200 a 225	-13	-21	X	4	0	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250
de 225 a 250	-13	-21	X	4	0	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350
de 250 a 280	-16	-26	X	4	0	20	34	56	94	158	218	315	285	475	580	710	920	1200	1550
de 280 a 315	-16	-26	X	4	0	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700
de 315 a 355	-18	-28	X	4	0	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900
de 355 a 400	-18	-28	X	4	0	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100
de 400 a 450	-20	-32	X	5	0	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1000	1450	1850	2400
de 450 a 500	-20	-32	X	5	0	23	40	68	132	252	360	530	660	820	1000	1250	1600	2100	2800

De: Exclusive. – a: Inclusive

☞ **Determinação dos valores dos afastamentos para eixos:** Os afastamentos dos eixos são determinados na tabela 2.4 entrando-se com os valores do diâmetro nominal e da posição no campo de tolerâncias. Conhecendo-se um dos afastamentos (superior ou inferior), torna-se fácil a obtenção do outro (inferior ou superior), pela adição ou subtração com a tolerância.

☞ **Determinação dos valores dos afastamentos para furos:** Os afastamentos dos furos são determinados segundo os critérios abaixo:

Regra Geral: O afastamento inferior do furo é igual ao afastamento superior do eixo, para idênticas qualidades de trabalho e posição do campo de tolerâncias., ou seja: $A_i = -a_s$

e/ou $A_s = -a_i$

Regra Especial: Para dimensões superiores à 3mm, para furos J à N até qualidade IT8 (inclusive) e para furos P à ZC até qualidade IT7 (inclusive) usa-se a equação:

$$A_{S(n)} = -a_{i(n-1)} + [IT_{(n)} - IT_{(n-1)}], \text{ onde:}$$

$A_{S(n)}$ = Afastamento superior do furo para qualidade de trabalho n;

$a_{i(n-1)}$ = Afastamento inferior do eixo para qualidade de trabalho n-1;

$IT_{(n)}$ = Tolerância para qualidade de trabalho n;

$IT_{(n-1)}$ = Tolerância para qualidade de trabalho n-1;

A Fig. 2.9A mostra a influência da posição do campo de tolerância sobre as dimensões do furo com diâmetro nominal $\emptyset = 125\text{mm}$, IT7. Da tabela 2.3 determina-se $t = 40 \mu\text{m}$.

125A7 $\Rightarrow A_i = 460 \mu\text{m}$; 125D7 $\Rightarrow A_i = 145 \mu\text{m}$; 125H7 $\Rightarrow A_i = 0 \mu\text{m}$

125M7 $\Rightarrow A_s = -15 \mu\text{m}$; 125Z7 $\Rightarrow A_s = -365 \mu\text{m}$;

Observa-se que :

\emptyset e IT = **CONSTANTE** para todas as posições do C.T., assim,

t = **CONSTANTE** para todas as posições do C.T.

$D_{\text{máx}}$, D_{min} variam para cada posição do C.T.

A Fig. 2.9B mostra a influência da posição do campo de tolerância sobre as dimensões do eixo com diâmetro nominal $\varnothing = 125\text{mm}$, IT7. Da tabela 2.3 determina-se $t = 40 \mu\text{m}$.

$125a7 \Rightarrow a_s = -460 \mu\text{m}$; $125d7 \Rightarrow a_s = -145 \mu\text{m}$; $125h7 \Rightarrow a_s = 0 \mu\text{m}$

$125m7 \Rightarrow a_i = 15 \mu\text{m}$; $125z7 \Rightarrow a_i = 365 \mu\text{m}$;

Observa-se que :

\varnothing e IT = **CONSTANTE** para todas as posições do C.T., assim,

t = **CONSTANTE** para todas as posições do C.T.

$d_{\text{máx}}$, d_{min} variam para cada posição do C.T.

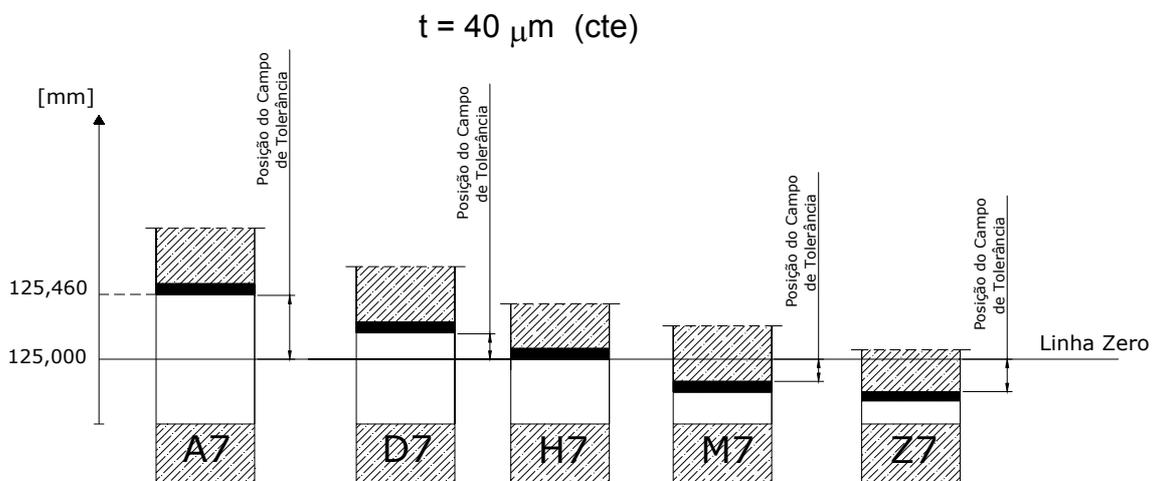


Fig. 2.9A: Influência da posição do campo de tolerância sobre as dimensões do furo com $\varnothing = 125\text{mm}$, IT7

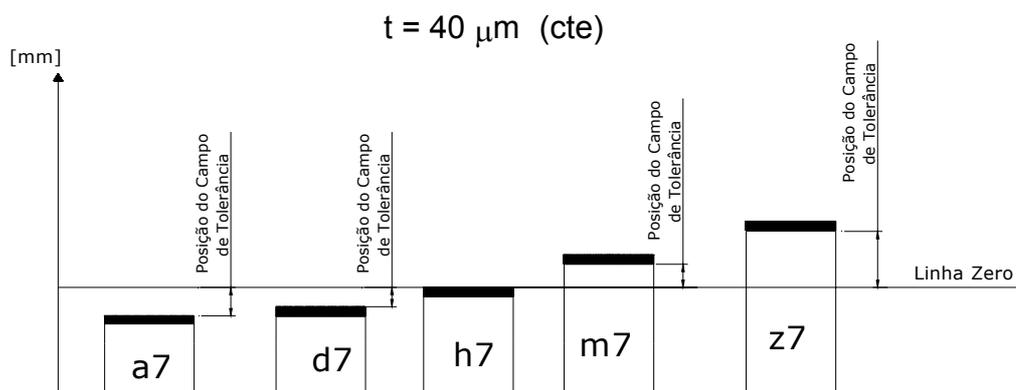


Fig. 2.9B: Influência da posição do campo de tolerância sobre as dimensões do eixo com $\varnothing = 125\text{mm}$, IT7

Representação Simbólica: 25m6; 25M7; 25m7/h6

2.4.2 Determinação de Ajustes a partir das folgas ou interferências

☞ Determinação de $F_{\text{máx}}$ e F_{min} , se for ajuste com folga ou $I_{\text{máx}}$ e I_{min} , se for ajuste com interferência ou $F_{\text{máx}}$ e $I_{\text{máx}}$ se for ajuste incerto.

☞ Calcular a tolerância do ajuste;

$$t_{AJ} = t_{EIXO} + t_{FURO}$$

$$t_{AJ} = F_{\text{máx}} - F_{\text{min}} \quad \Rightarrow \text{Ajuste com Folga}$$

$$t_{AJ} = | I_{\text{máx}} | - | I_{\text{min}} | \quad \Rightarrow \text{Ajuste com Interferência}$$

$$t_{AJ} = F_{\text{máx}} + | I_{\text{máx}} | \quad \Rightarrow \text{Ajuste Incerto}$$

Distribuir t_{AJ} entre os dois elementos, se possível $t_{EIXO} < t_{FURO}$

☞ Procurar o ajuste normalizado que mais se aproxime das necessidades

Exemplo 1:

Tendo as informações de que o diâmetro nominal $\emptyset = 100 \text{ mm}$, $F_{\text{máx}} = 170 \text{ }\mu\text{m}$ e $F_{\text{min}} = 70 \text{ }\mu\text{m}$, especifique um ajuste normalizado no SFB.

Cálculo da t_{AJ}

$$t_{AJ} = F_{\text{máx}} - F_{\text{min}} = 170 - 70 = 100 \text{ }\mu\text{m}$$

$$t_{AJ} = t_{EIXO} + t_{FURO} \quad \Rightarrow \quad t_{AJ}/2 = 100/2 = 50 \text{ }\mu\text{m}$$

Escolher uma *tolerância normalizada* que se aproxime de $50 \text{ }\mu\text{m}$:

Com $\emptyset = 100 \text{ mm} \Rightarrow IT8 = 54 \text{ }\mu\text{m}$; $IT7 = 35 \text{ }\mu\text{m}$

Condições para seleção: $t_{EIXO} \leq t_{FURO}$
 $t_{AJ} > t_{EIXO} + t_{FURO}$

Assim: Furo $\Rightarrow IT8 = 54 \text{ }\mu\text{m}$ Eixo $\Rightarrow IT7 = 35 \text{ }\mu\text{m}$

Observe que $t_{EIXO} + t_{FURO} < t_{AJ} \Rightarrow 35 + 54 = 89 < 100$

Adotar ~~FURO BASE~~

Furo: 100H8 ; $A_i = 0$; $A_s = 54 \text{ }\mu\text{m}$

Determinação do ~~Eixo:~~

$$F_{\text{min}} = A_i - a_s \Rightarrow 70 = 0 - a_s \Rightarrow a_s = -70 \text{ }\mu\text{m}$$

$$t = a_s - a_i \Rightarrow 35 = -70 - a_i \Rightarrow a_i = -105 \mu\text{m}$$

$$\text{Eixo} \Rightarrow \emptyset = 100 \text{ mm}; a_s = -70 \mu\text{m}; a_i = -105 \mu\text{m}$$

☞ satisfaz as condições, mas **não** é normalizado. Procurar o eixo normalizado que mais se aproxima dos afastamentos calculados e das condições exigidas no projeto.

$$\emptyset = 100 \text{ mm} \rightarrow \text{Tabela 2.4 (de afastamentos - pág. 21)} \Rightarrow 100e7 \Rightarrow a_s = -72 \mu\text{m}$$

$$\rightarrow \text{Tabela de IT (pág. 17)} \Rightarrow t = a_s - a_i \Rightarrow 35 = -72 - a_i \Rightarrow a_i = -107 \mu\text{m}$$

Logo \Rightarrow **100H8/e7**

Verificação das folgas com o novo ajuste:

$$F_{\text{máx}} = A_s - a_i \Rightarrow F_{\text{máx}} = 54 - (-107) = 161 \mu\text{m!}$$

$$F_{\text{min}} = A_i - a_s \Rightarrow F_{\text{min}} = 0 - (-72) = 72 \mu\text{m}$$

Observe que $F_{\text{máx}} \text{ calculada} < F_{\text{máx}} \text{ especificada} \Rightarrow 161 < 170 \mu\text{m} \Rightarrow \text{Ótimo!}$

$F_{\text{min}} \text{ calculada} > F_{\text{min}} \text{ especificada} \Rightarrow 72 > 70 \mu\text{m} \Rightarrow \text{Ótimo!}$

☞ Deve-se procurar o valor mais próximo possível para folgas especificadas.

☞ Às vezes, SFB e SEB não resolvem. Adotar sistema misto o mais próximo possível da posição H.

Exercícios:

1. Detalhar o eixo 125g9 e o furo 125G9.
2. Determine os afastamentos para o eixo 60js8.
3. Determine os afastamentos para o furo 40N6
4. Estudar o seguinte ajuste 145F7/h6
5. Estudar o seguinte ajuste 125H8/h8
6. Um eixo de saída de um redutor de elevação de uma ponte rolante siderúrgica deve ser acoplado com interferência à engrenagem correspondente. Neste caso justifica-se o ajuste com interferência devido ao rigor da solicitação e alta periculosidade proveniente de uma quebra da união com chavetas ou estrias. O acoplamento tem diâmetro nominal de 90 mm. Foram calculados: $I_{\text{MIN}} = 38\mu\text{m}$ e $I_{\text{MÁX}} = 213\mu\text{m}$. Especifique um ajuste que atenda estas especificações.

7. Especificar um acoplamento normalizado para: $F_{\text{máx}} = 50 \mu\text{m}$; $I_{\text{máx}} = 120 \mu\text{m}$; $\varnothing = 140 \text{ mm}$;
8. Especificar um acoplamento normalizado para: $I_{\text{máx}} = 80 \mu\text{m}$; $I_{\text{min}} = 10 \mu\text{m}$; $\varnothing = 200 \text{ mm}$;
9. Especificar um acoplamento normalizado para: $F_{\text{máx}} = 220 \mu\text{m}$; $F_{\text{min}} = 100 \mu\text{m}$; $\varnothing = 450 \text{ mm}$;
10. Foram fornecidos os seguintes dados de projeto: $F_{\text{máx}} = 140 \mu\text{m}$; $I_{\text{máx}} = 130 \mu\text{m}$; $\varnothing = 225 \text{ mm}$. Determine o melhor acoplamento.
11. Determine a temperatura que deve ser aquecido um furo para que o acoplamento 100H7/t6 seja feito manualmente. Material Aço: $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $T_{\text{AMB.}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
12. Qual o valor da tensão desenvolvida na montagem, após o conjunto do exercício anterior voltar à temperatura ambiente? $E_{\text{AÇO}} = 210 \text{ GPa}$.
13. Um tubo de aço onde circula um líquido refrigerante é acoplado a um tubo externo com o ajuste 128T12/h10. Determine a menor temperatura de trabalho possível para que não haja folga. Material Aço: $\alpha = 11 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $T_{\text{AMB.}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.4.3 Classes de Ajustes

O sistema de ajustes prevê três classes de ajustes: Ajustes com folga (ou móveis ou deslizantes), ajustes com interferência (ou prensados) e ajustes indeterminados (ou incertos). Para evitar um número muito elevado de combinações deve-se usar ajustes no *sistema furo-base* ou no *sistema eixo-base*.

Ajustes com Folga:

Sistema Furo-base \Rightarrow Eixos a até h

Sistema Eixo-base \Rightarrow Furos A até H

Para os demais acoplamentos podem resultar em ajustes incertos ou com interferência, de acordo com as posições dos campos de tolerâncias e as qualidades de trabalho. A norma ABNT NBR 6158 indica algumas combinações que sempre darão ajustes incertos ou com interferência (Tab. 2.5)

Tab. 2.5: Ajustes Equivalentes – Exemplos

Ajustes com Folga	Ajustes Incertos	Ajustes com Interferência
H7/a9 = A9/h7 H11/a1 = A11/h11	H6/j5 = J6/h5 H8/j7 = J8/h7	H5/n4 = N5/h4 H6/n5 = N6/h5
H7/b8 = B8/h7 H7/b9 = B9/h7 H11/b11 = B11/h11	H5/k4 = K5/h4 H6/k5 = K6/h5 H7/k6 = K7/h6	H5/p4 = P5/h4 H6/p5 = P6/h5 H7/p6 = P7/h6
H7/c8 = C8/h7 H11/c11 = C11/h11	H5/m4 = M5/h4 H8/m7 = M8/h7	H5/r4 = R5/h4 H8/r7 = R8/h7
H6/d6 = D6/h6 H6/d7 = D7/h6 H7/d8 = D8/h7	H7/n6 = N7/h6 H8/n7 = N8/h7	H5/s4 = S5/h4 H7/s6 = S7/h6 H8/s7 = S7/h8
H5/e5 = E5/h5 H10/e9 = E10/h9	H8/p7 = P8/h7	H7/t6 = T7/h6 H8/t7 = T7/h8
H5/f4 = F5/h4 H6/f6 = F6/h6		H6/u5 = U6/h5 H7/u6 = U7/h6
H5/g4 = G5/h4 H6/g5 = G6/h5		H6/v5 = V6/h5 H7/v6 = V7/h6
H7/h6 = H7/h6 H8/h7 = H8/h7		H6/x5 = X6/h5 H8/x7 = X7/h8
		H7/z6 = Z7/h6
		H8/zb7 = ZB8/h7

Escolha de ajustes. A escolha de ajustes para um determinado acoplamento é parte do projeto mecânico do componente. Esta escolha deve ser baseada na função e no grau de responsabilidade do conjunto mecânico. A escolha de um sistema de ajuste (furo-base ou eixo-base) é feita levando-se em consideração a facilidade de fabricação. Geralmente é mais fácil para a fabricação variar as medidas de eixos do que de furos, devendo-se assim tentar usar o sistema furo-base.

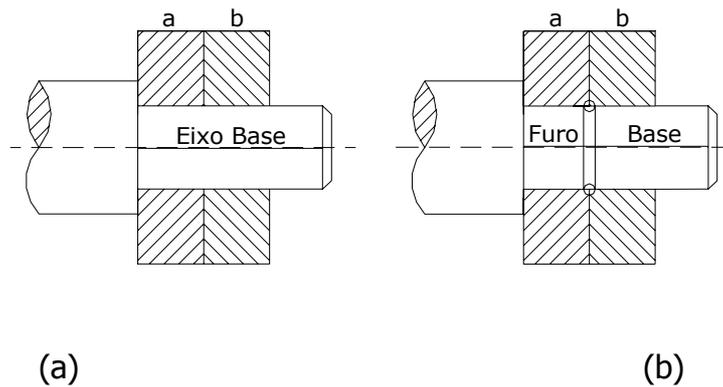


Fig. 2.10: Exemplo de aplicação dos sistemas Furo-base e eixo-base

A figura 2.10 mostra a aplicação de um ou outro sistema. Na fig. 2.10a o anel (a) deve ter ajuste com folga e o anel (b) um ajuste com interferência. Deve-se usar o sistema eixo-base; Caso contrário a peça (a) teria dificuldades de ser encaixada.

Na fig. 2.10b a peça (a) deve ter ajuste com interferência e a peça (b) ajuste com folga. Deve-se usar 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).

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO:

- **Ajustes com interferência prensado:** 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. A transmissão de torque dever ser garantida por chavetas e/ou estrias. Ex.: Eixos de motores elétricos
- **Ajustes com interferência leve:** Utilizados em acoplamentos fixos que só podem acoplar-se ou desacoplar-se a golpe de martelo pesado. A transmissão de torque dever ser garantida por chavetas e/ou estrias. Ex.: Anéis internos de rolamentos montados em eixos para cargas normais.
- **Ajustes incerto forte:** Utilizados para peças que tenham acoplamento fixo e cuja desmontagem não seja tão frequente, podendo desacoplar-se a golpes de martelo

comum de mão em pequenas peças e martelo pesado nas grandes. Ex.: Embuchamento de rodas, rotores de turbinas e bombas centrífugas.

- **Ajustes incerto leve:** Utilizados 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 rolamento fixados nas carcaças.
- **Ajustes com folga leve:** 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:** Utilizados em peças que devam ter uma folga bastante minima. Ex.: Engrenagens deslizantes em caixa de câmbio.
- **Ajustes com folga rotativo:** Utilizados em acoplamentos que necessitam folga perceptível. Ex.: Mancal principal em furadeiras e tornos.
- **Ajustes com folga rotativo forte:** Utilizados em acoplamentos que necessitam uma ampla folga. Ex.: Mancais de turbo-geradores

AJUSTES MÓVEIS

A folga determinada para estes ajustes deve ser proporcional às dimensões das peças. Para dimensionamento da carga admissível e das condições de lubrificação, deve-se considerar tanto a folga minima quanto a folga máxima. A correspondência entre os ajustes e qualidades está mostrada na Tab. 2.6.

Tab. 2.6: Classificação dos ajustes móveis

Qualidades		Ajustes
Eixo	Furo	
5	6	Nobre
6	7	Fino
11	11	Grosso
13	13	Grande Jogo

Existem alguns critérios gerais aplicáveis na escolha de um ajuste com folga:

- Precisão de locação do eixo.
- Capacidade de carga do mancal.
- Suavidade de marcha.
- Temperatura de funcionamento e repouso.
- Condições de lubrificação e velocidade de deslizamento.
- Limitação das perdas por atrito.

Para mancais com lubrificação pode-se ter os seguintes ajustes com folga:

• **Ajustes com guias precisas.** Nestes ajustes, esperam-se guias precisas entre o mancal e o eixo, fazendo-se com que as folgas mínimas cresçam lentamente com o diâmetro. As normas ISO e ABNT NB-86 recomendam ajustes H/g e G/h. Neste caso, o cálculo da folga mínima (em μm) será $F_{\text{MIN}} = 2,5 D^{0,34}$. Ex.: Montagens de engrenagens sobre eixos quando o torque é transmitido por chavetas, estrias, etc.. Montagem de acoplamentos elásticos para transmissão de torque de um eixo para outro através de elemento mecânico. Montagens de pinos transmissores de torque onde não possa haver jogo.

• **Ajuste com mínima perdas por atrito e máxima capacidade de carga:** A folga cresce mais que o caso anterior com o diâmetro. Furo-base: eixos f, e, d. Eixo-base: furos F, E, D. As leis de variações de folgas são as seguintes, idênticas para ambos sistemas:

$$\text{Eixo f - furo F} \Rightarrow F_{\text{MIN}} = 5,5 D^{0,41}$$

$$\text{Eixo e - furo E} \Rightarrow F_{\text{MIN}} = 11 D^{0,41}$$

$$\text{Eixo de furo D} \Rightarrow F_{\text{MIN}} = 16 D^{0,41}$$

Ex.: Engrenagens ou polias deslizantes. Acoplamentos com discos deslizantes em baixa rotação. Engrenagens e eixos de caixas de câmbio destinadas à transmissão de veículos automotores.

• **Ajustes com grandes folgas.** em tais ajustes, o objetivo é o bom funcionamento das partes em acoplamento nos seguintes casos:

a) Máquinas de altas velocidades, a fim de se obter rotação sem vibração do eixo e minimizar perdas por atrito. Nestes casos, devido à alta rotação, os desvios de forma e posição passam a ter grande importância, passando a interferir no acoplamento. Ex.: rotores de turbinas, grandes motores elétricos.

b) Máquinas onde as temperaturas de operação são consideravelmente superiores à temperatura de fabricação. Ex.: Redutores que trabalham em altas temperaturas.

c) Máquinas e implementos agrícolas, onde não são exigidas grandes precisões.

AJUSTES INCERTOS

Os ajustes incertos são compreendidos entre os ajustes com folga e com interferência. Neste tipo de ajuste, pode-se ter folga ou interferência indiferentemente, dependendo das dimensões efetivas de cada peça. As folgas e interferências são mínimas, pois as dimensões das peças variam em torno da linha zero, de uma quantidade muito pequena.

Os ajustes incertos são usados quando é necessário grande precisão de giro sem que possa arriscar qualquer excentricidade devido à folga resultante, ou ainda quando existe variação de esforço ou de temperatura durante o funcionamento. O torque deve ser transmitido através de elementos mecânicos auxiliares tais como pinos, chavetas, estrias, buchas.

Para o sistema furo-base:

- Eixos k e j: Ajustes incertos com tendência à folga, ou seja, a folga média é positiva. São montados com fraca prensagem e podem ser desmontados sem provocar danos às superfícies de montagens. Usados em aplicações com grande precisão de giro, com carga fraca e direção indeterminada da carga. Ex.: Assentos de rolamentos em máquinas de altas velocidades, Pinhões em eixo-árvore de máquinas ferramentas, ventiladores montados com chavetas.
- Eixos m e n: Ajustes incertos com tendência à interferência, ou seja, a "folga" média é negativa (interferência). Estes ajustes são usados onde têm-se cargas maiores que o caso anterior, ou onde ocorre aumento progressivo de temperatura de funcionamento. Nestes casos os apertos devem ser maiores para compensar as deformações elásticas. Montagens e desmontagens devem ser feitas com martelos sem danificar as superfícies. Ex.: Cubos de rodas.
- Quando não existem as variações citadas acima, a escolha do ajuste incerto específico depende da frequência de montagem e desmontagem das peças acopladas durante a operação regular. Assim, em máquinas ferramentas, engrenagens de mudanças de velocidades ou avanços são constantemente trocadas na seleção de avanços e rotações adequadas para uma determinada usinagem. Deve-se adotar nestes casos ajuste incerto tendendo à folga.

Os ajustes incertos tendendo à interferência são utilizados com vantagem quando as

peças acopladas são sujeitas a cargas de choque. Neste caso, o atrito entre as peças, resultante da interferência, poderá livrar parcialmente as chavetas, estrias e embreagens dos efeitos diretos das cargas de choque.

Deve-se considerar que os ajustes indeterminados, por possuir afastamentos muito próximos da linha zero, são sempre de grande precisão, necessitando na maioria dos casos de equipamentos de usinagens mais caros.

AJUSTE COM INTERFERÊNCIA

Em ajustes com interferência sempre será necessário um esforço externo mais ou menos intenso para sua efetivação. Quanto maior a interferência maior deverá ser esforço, podendo ser necessário usar prensas hidráulicas.

Para a determinação do ajuste, a condição fundamental será sempre a interferência mínima, devido às condições funcionais. A interferência mínima deverá ser suficiente para absorver todos os esforços e solicitações externas. Deve-se levar em consideração, entre outros fatores, as condições de transmissão do torque e movimentos de esforços longitudinais. A interferência máxima deverá ser tal que não provoque tensões superiores ao limite de escoamento do material.

As posições de tolerância que dão interferência no sistema eixo-base são:

Furos: P,R,S,T,U,X,Y,Z,ZA,ZB,ZC.

No sistema furo-base têm-se as seguintes posições:

Eixos: p,r,s,t,u,x,y,z,za,zb,zc.

De maneira genérica, estes ajustes podem ser classificados como *forçados* os ajustes conseguidos sem auxílio de equipamentos especiais e como *prensados* os que necessitam destes equipamentos. Os ajustes prensados podem ser conseguidos por: Prensagem de uma peça por outra; Esquentamento da peça exterior; Resfriamento da peça interior e por aplicação simultânea de resfriamento e aquecimento.

Pode-se distinguir as seguintes classificações:

- Ajuste Prensado Longitudinal: É o ajuste prensado, formado pela introdução sob pressão do eixo e furo, no sentido da linha de centro do eixo.
- Ajuste prensado transversal: É o ajuste prensado, no qual o ajuste entre o eixo e furo é feito sem esforço, através do aquecimento e/ou do resfriamento dos componentes. (Fig 2.11). No caso de aquecimento do furo, a interferência será conseguida pelo seu resfriamento posterior. É um processo bastante utilizado para prensagem de anéis externos em rodas de vagões ferroviários

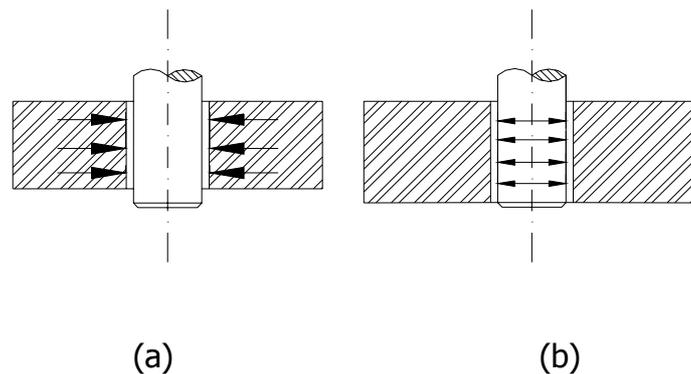
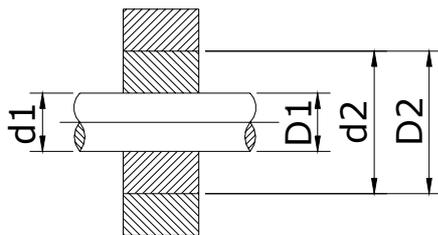


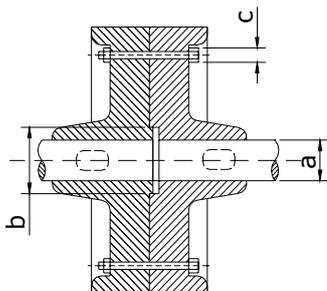
Fig. 2.11: Ajuste prensado transversal - a) Por contração; b) Por dilatação

Exercícios:

1. No conjunto abaixo, uma bucha de bronze deve ser colocada entre o eixo e o furo. O eixo que será acoplado à bucha deverá ter uma folga leve. Determine as tolerâncias a serem usadas. Especifique os ajustes.



2. Qual o sistema de ajuste a ser empregado no conjunto abaixo?



3. Analise e compare o ajuste 138H7/m6 com o ajuste 138M7/h6.

2.5 Extensão do Sistema de 500 a 3150 mm

A norma ABNT NB-86 prevê a extensão dos sistemas de ajuste para peças com dimensões maiores que 500 mm, até 3150 mm. A Tabela 2.7 mostra o grupo de dimensões normalizadas.

500 até 560	900 até 1000	1600 até 1800
560 até 630	1000 até 1120	1800 até 2000
630 até 710	1120 até 1250	2000 até 2240
710 até 800	1250 até 1400	2240 até 2500
800 até 900	1400 até 1600	2500 até 2800
		2800 até 3150

QUALIDADE DE TRABALHO - TOLERÂNCIAS FUNDAMENTAIS

As tolerâncias estão estabelecidas de forma similar às já previstas para o sistema de dimensões abaixo de 500 mm. São previstas 11 qualidades fundamentais de trabalho: IT6, IT7, IT8 até IT16. Todas as qualidades fundamentais estão relacionadas com a unidade fundamental de tolerância i : $\Rightarrow i = 0,004D+2,1$

i = Unidade fundamental de tolerâncias, expresso em μm ;

D = Média geométrica dos dois valores extremos de cada grupo de dimensões, expressa em mm.

A tabela 2.8 mostra os valores das tolerâncias fundamentais para cada faixa de dimensão nominal. Até a qualidade 11, os valores de tolerâncias estão expressos em μm , enquanto para qualidades superiores estão em mm

Tab. 2.8: Tolerâncias Fundamentais para Dimensões Superiores a 500 mm

Grupo de Dimensões (mm)	Qualidade (IT)										
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Valores em microns						Valores em milímetros				
Mais de 500 até 630	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4
Mais de 630 até 800	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2,0	3,2	5,0
Mais de 800 até 1000	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6
Mais de 1000 até 1250	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6
Mais de 1250 até 1600	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5,0	7,8
Mais de 1600 até 2000	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6,0	9,2
Mais de 2000 até 2500	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7,0	11,0
Mais de 2500 até 3150	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5

CLASSES DE TRABALHO

A designação das posições relativas dos eixos, com relação à linha zero, é dada por:

Eixos: d,e,f,g,h,js,k,m,n,p,r,s,t,u;

Furos: D,E,F,G,H,JS,K,M,N,P,R,S,T,U.

Os valores dos afastamentos estão mostrados na tabela 2.9. Observa-se nesta tabela que:

- Eixos d até h e furos JS até U: Afastamento de referência é o afastamento superior;
- Eixos js até u e furos D até H: Afastamentos de referência é o afastamento inferior.
- A posição do campo de tolerância para as letras js e JS são simétricas em relação à linha zero.
- Os afastamentos dos eixos d até h são negativos, enquanto k até u são positivos.
- Os afastamentos dos furos D até H são positivos, enquanto K até U são negativos

Tab. 2.9: Afastamentos de Referências para Dimensões superiores a 500 mm

Grupos de Dimensões	Posição													
	D	E	F	G	H	JS	K	M	N	P	R	S	T	U
	d	e	f	g	h	Js	k	m	n	p	r	s	t	u
Mais de 500 até 560	260	146	76	22	0	$\pm \frac{IT}{2}$	0	26	44	78	150	280	400	600
Mais de 560 até 630											155	310	450	660
Mais de 630 até 710	290	160	80	24	0		0	30	50	88	175	340	500	740
Mais de 710 até 800											185	380	560	840
Mais de 800 até 900	320	170	86	26	0		0	34	56	100	210	430	620	940
Mais de 900 até 1000											220	470	680	1050
Mais de 1000 até 1120	350	195	98	28	0		0	40	66	120	250	520	780	1150
Mais de 1120 até 1250											260	580	840	1300
Mais de 1250 até 1400	390	220	110	30	0		0	48	78	140	300	640	960	1450
Mais de 1400 até 1600											330	720	1050	1600
Mais de 1600 até 1800	430	240	120	32	0		0	58	92	170	370	820	1200	1850
Mais de 1800 até 2000											400	920	1350	2000
Mais de 2000 até 2240	480	260	130	34	0		0	68	110	195	440	1000	1500	2300
Mais de 2240 até 2500											460	1100	1650	2500
Mais de 2500 até 2800	520	290	140	38	0		0	76	135	240	550	1250	1900	2900
Mais de 2800 até 3150											580	1400	2100	3100

Eixos: d até h \Rightarrow Afastamento Superior (a_s) (-)Furos: D até H \Rightarrow Afastamento Inferior (A_i) (+)Js até u \Rightarrow Afastamento Inferior (a_i) (+)JS até U \Rightarrow Afastamento Superior (A_s) (-)

Exercícios:

1. Defina completamente o ajuste 1250H9/g10
2. Faça uma figura mostrando todas as posições do campo de tolerâncias para $\varnothing \geq 500\text{mm}$.

2.6 Casos Especiais

2.6.1 Tolerâncias para Perfis Estriados e Chavetas

PERFIS ESTRIADOS

A Figura 2.12 mostra as dimensões a serem consideradas no ajustes de perfis estriados, através de tolerâncias normalizadas. Tem-se:

D = Diâmetro maior do furo estriado;

D_1 = Diâmetro maior do eixo estriado;

d = Diâmetro menor do furo estriado;

d_1 = Diâmetro menor do eixo estriado;

b = Vão circular do furo estriado;

b_1 = Espessura circular do eixo estriado.

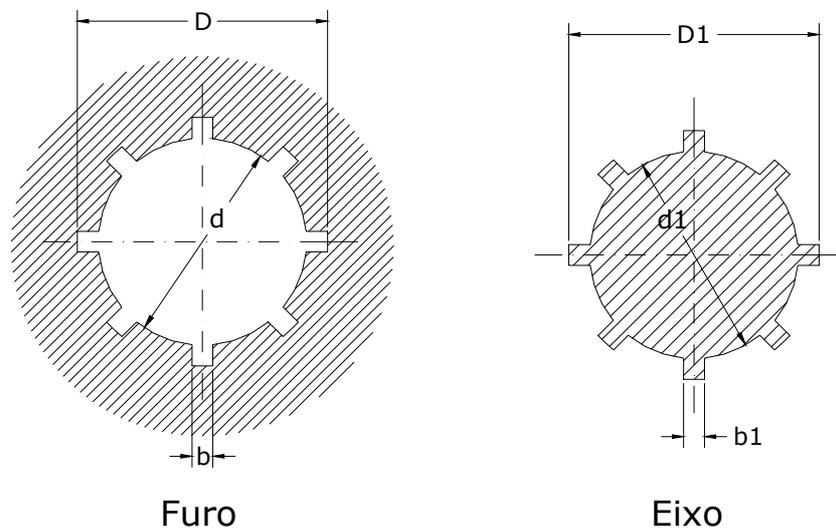


Fig. 2.12: Ajustes normalizados em perfis estriados

Pode-se distinguir dois casos distintos:

- *Perfis estriados cujo ajuste é feito pelos flancos*: O ajuste é conseguido por variações de tolerâncias entre a espessura circular do eixo (b_1) e o vão circular do furo (b). Existe grande folga entre os diâmetros D , D_1 , d e d_1 .

- *Perfis estriados cujo ajuste é feito pelo fundo das estrias:* O ajuste é conseguido por variações de tolerâncias entre os diâmetros D e D_1 ou entre os diâmetros d e d_1 . Existe grande folga entre as dimensões b e b_1 .

CHAVETAS

A Figura 2.13 mostra as dimensões a serem consideradas no ajustes normalizados de chavetas:

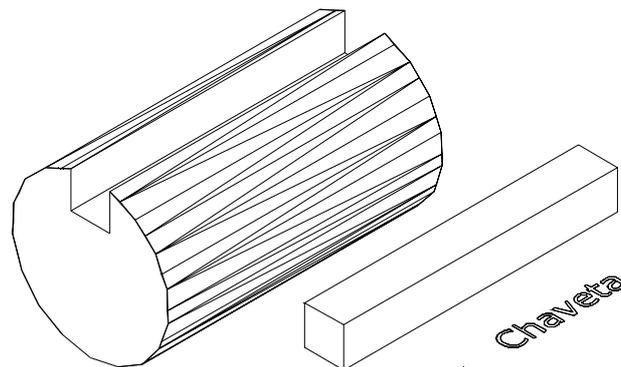


Fig. 2.13.A: Visão 3D de chaveta

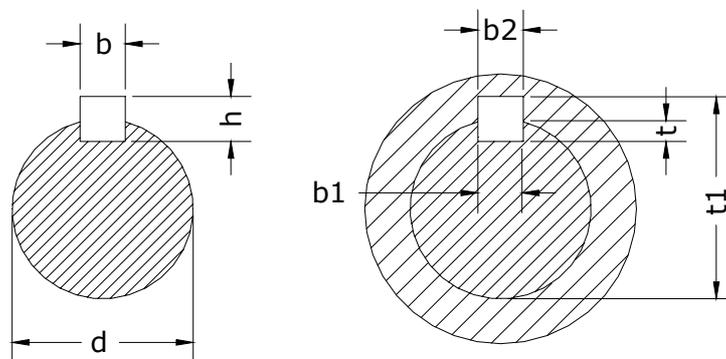


Fig. 2.13.B: Ajustes para chavetas

- Eixo: t : Tolerância C11 (Rasgo da chaveta no eixo)
 b_1 : Tolerância R8 (Rasgo da chaveta no eixo)
- Furo: t_1 : Tolerância H11 (Rasgo da chaveta no Furo)
 b_2 : Tolerância H9 (Rasgo da chaveta no Furo)
- Chaveta: b : Tolerância h8
 h : tolerância h11

Acoplamentos:

- Chaveta e eixo: Faces laterais - Dimensões b e $b_1 \Rightarrow R8/h8 \Rightarrow$ Ajuste com interferência.
- Chaveta e furo: Faces laterais - Dimensões b e $b_2 \Rightarrow H9/h8 \Rightarrow$ Ajuste com folga.

Estes ajustes são necessários para uma fixação rígida entre o eixo e a chaveta, para transmissão do torque, além de grande precisão e possibilidade de constantes desmontagens entre chaveta e canal de chaveta no cubo.

2.6.2 Tolerâncias para Rolamentos

A fabricação de rolamentos é normalizada internacionalmente pela ISO. Para facilidade e redução de custos em sua fabricação adota-se:

- Furo do rolamento em seu anel interno: Sistema Furo-base - Classe de ajustes H, qualidades IT6 e IT7.
- Diâmetro da capa externa: Sistema Eixo-base - Classe de ajustes h, qualidades IT5 e IT6.

A partir destas especificações, deve-se ter variações das tolerâncias dos eixos e alojamentos para se conseguir o ajuste desejado com o rolamento indicado.

Para uma correta seleção de ajustes devem ser considerados:

Condições de rotação:

- Se um dos anéis tiver deslocamento axial, deve-se analisar qual dos dois anéis deverá receber ajuste deslizante. Deve ser previsto aumento de temperatura.
- Deve-se definir a carga que atua sobre o anel: Carga rotativa ou carga fixa. A principal função do ajuste em rolamentos é evitar que ocorra movimento relativo entre a superfície do aro do rolamento e a superfície da peça em ajuste com ele. A existência de movimento relativo entre as duas superfícies provocaria sua erosão e a consequente destruição dos assentos, estragando as peças.

Carga fixa: Quando a carga não varia sua posição relativa com a rotação do rolamento.

Carga rotativa: Quando a carga varia sua posição relativa com a rotação do rolamento.

Exemplo: Rolamento com aro interior fixo e exterior girando: Carga fixa sobre o aro interior e rotativo sobre o aro exterior \Rightarrow Polias e engrenagens loucas, rodas de automóveis.

Uma carga fixa admitirá sempre ajuste deslizante, já que o aro não terá tendência a deslocamento axial. Ao contrário, uma carga rotativa tenderá sempre a afrouxar o ajuste, havendo necessidade de um ajuste com interferência.

Grandeza de carga e temperatura: Sob a ação de carga, o aro interior tende a aumentar o seu diâmetro, afrouxando o ajuste. Efeito idêntico é provocado pelo aumento de temperatura. Deve ser previsto ajuste com interferência.

Influência do Ajuste na exatidão de aplicação: Em aplicações precisas como fuso de máquinas, ferramentas de precisão cresce a importância de erros de forma (ovalização, conicidade, etc..)

Os fabricantes têm tabelas que determinam as dimensões e respectivas tolerâncias para eixos e alojamentos para cada tipo de rolamento.

2.7 Conclusões

Para a construção mecânica em geral, o sistema furo-base oferece maiores vantagens, principalmente quanto aos custos de fabricação e de ferramental, possibilitando ainda melhores condições de montagens e desmontagens para todos os tipos de ajustes, devido à possibilidade de escalonamento dos eixos.

No sistema eixo-base deve ser usado, sempre que possível, um eixo com uma única dimensão, sem escalonamento. De maneira geral tem-se as seguintes tendências de aplicação de ajustes nos diversos tipos de projetos:

- ◆ Construção de baixa precisão: Eixo-base;
- ◆ Construção de média e alta precisão: Furo-base;
- ◆ Material ferroviário: Furo-base;
- ◆ Maquinaria pesada: Eixo-base;
- ◆ Maquinaria elétrica: furo-base;
- ◆ Indústria automobilística e aeronáutica: furo-base, eixo-base e ajustes combinados.

Para os acoplamentos mais utilizados as normas ABNT NB-86, ISO R-286 e DIN 7154 apresenta, tabelas para eixos e furos com todos os afastamentos calculados.

Como exemplo típico de aplicação de ajustes, a Fig. 2.14 mostra um virabrequim montado em uma biela.

H7/r6: Cabeça de biela e bronzina - Ajuste com interferência para evitar que a bucha se movimente em relação ao furo da biela.

E7/h6: Assento do virabrequim nos mancais - Ajuste deslizante, sistema eixo-base, devido à folga necessária entre a bucha e o colo do virabrequim. Este ajuste poderá se tornar mais ou menos preciso dependendo das condições de lubrificação e rotação.

H7/j6: Assento das buchas nos mancais - Ajustes indeterminados tendendo à folga devido à grande precisão de localização e assentamento da bucha no mancal, para evitar-se seu desgaste prematuro devido a forças excêntricas.

h6: Os colos do virabrequim são usinados na tolerância h6 para facilitar a fabricação e diminuição dos custos de ferramental.

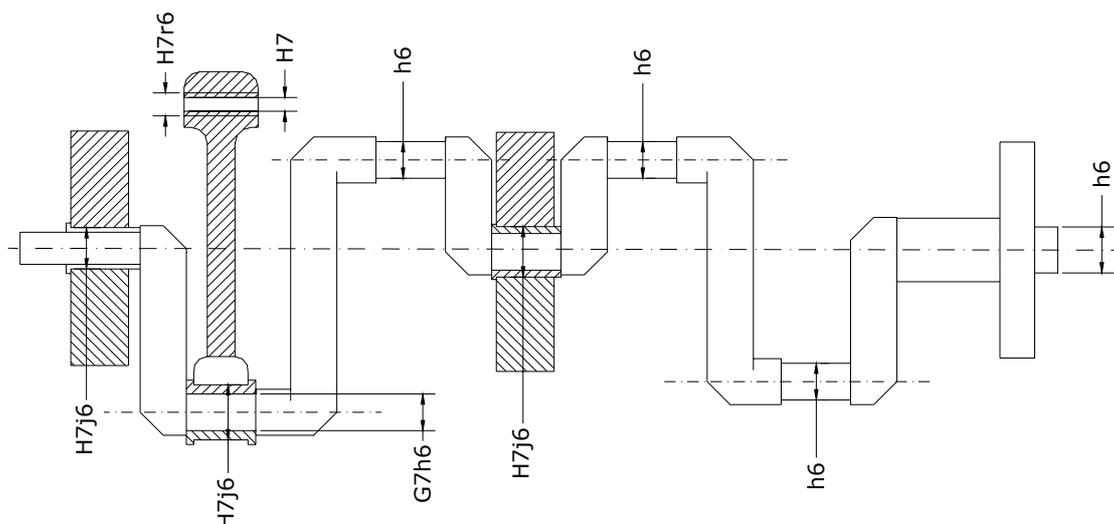


Fig. 2.14: Virabrequim montado em uma biela