



Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo



PRINCÍPIOS DE METROLOGIA INDUSTRIAL

Jaime Duduch

INTRODUÇÃO

Vocabulário Internacional de termos de Metrologia legal - VIM

www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002256.pdf

18 de mai de 2015 - Portaria Inmetro nº, 242 de 18 de maio de 2015.

<https://youtu.be/axMhev-boSM>

<https://youtu.be/bpc76Jg9FRY>

<https://youtu.be/Ajtgd3jf9TI?list=PLiLi0iBi4Dwxt-UAJaEiWTBEWvK69c6Na>

PROGRAMA DA DISCIPLINA

- Ajustes e Tolerâncias (NBR 6158)
- Montagem Seletiva
- Cadeias de tolerâncias
- Controle Estatístico de Processo (NB-1326)
- Desvios Geométricos: Forma, posição, orientação e batida (NBR 6409, NBR 14646)
- Rugosidade: Parâmetros de rugosidade (NBR ISO 4287)
- **Instrumentos de Metrologia convencional**

BIBLIOGRAFIA

Agostinho, O.L.; Rodrigues, A.C.S.; Lirani, J. Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica: Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões. Editora Edgard Blücher, 1977.

Novaski, O. Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica. Editora Edgard Blücher, 1994.

Lirani, J., Introdução à Metrologia Industrial.

Armando Albertazzi G. Jr. e André R. de Sousa. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Manole, 2008.

Mark Curtis e Francis Farago. Handbook of Dimensional Measurement. Industrial Press, 2014.

Donald H. Nelson e George Schneider, Jr. Applied Manufacturing Process Planning. Prentice Hall, 2001.

ABNT – Coletânea de Normas (NBR 6158, NBR 4287 etc.)

NORMAS ISO: 286-1, 4287, etc.

USP



<https://www.youtube.com/watch?v=gqxqDaTwqtk>

<https://tarkka.co/2019/02/20/fits-and-tolerances-how-to-design-stuff-that-fits-together/>



Tolerância Dimensional

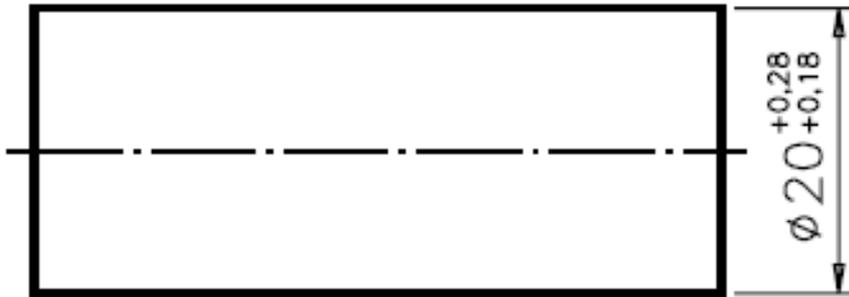


O que é tolerância dimensional?

“São desvios dentro dos quais a peça possa funcionar corretamente”.

O que são afastamentos?

“São desvios aceitáveis das dimensões nominais, para mais ou menos, que permitem a execução da peça sem prejuízo para seu funcionamento e intercambiabilidade”.



Qual é o afastamento superior e o inferior?

0,28 mm = afastamento superior

0,18 mm = afastamento inferior

Qual é a dimensão máxima e mínima?

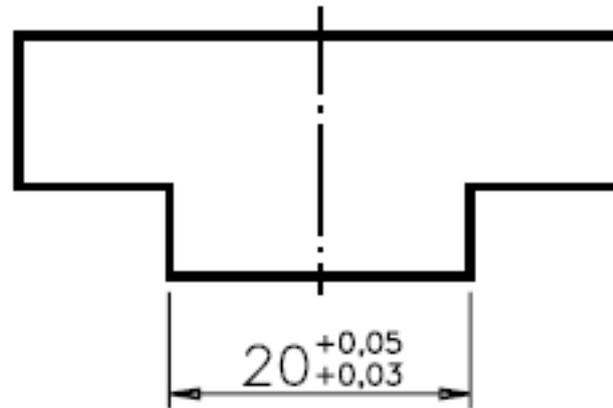
Dimensão máxima = $20\text{mm} + 0,28\text{mm} = 20,28\text{mm}$

Dimensão mínima = $20\text{mm} + 0,18\text{mm} = 20,18\text{mm}$

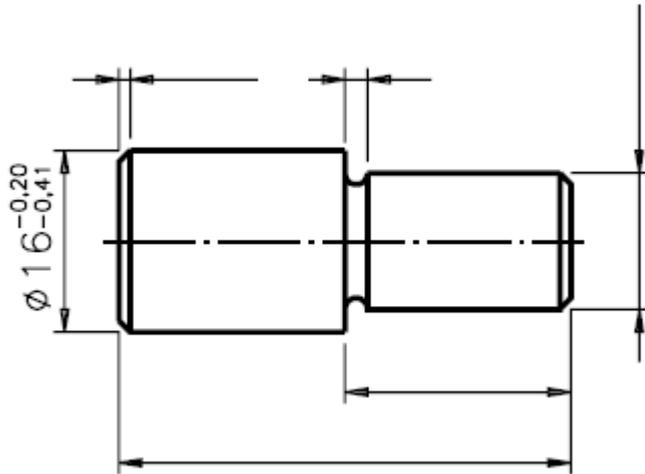
A peça deve estar dentro dos limites da dimensão máxima e da dimensão mínima.



Verificando o entendimento



- a) Complete os espaços com os valores correspondentes:
- afastamento superior:
 - afastamento inferior:
 - dimensão máxima:
 - dimensão mínima:
- b) Dentre as medidas abaixo, assinale com um X as cotas que podem ser dimensões efetivas deste ressalto:
- 20,5 () 20,04 () 20,06 () 20,03 ()



Qual é o afastamento superior e o inferior?

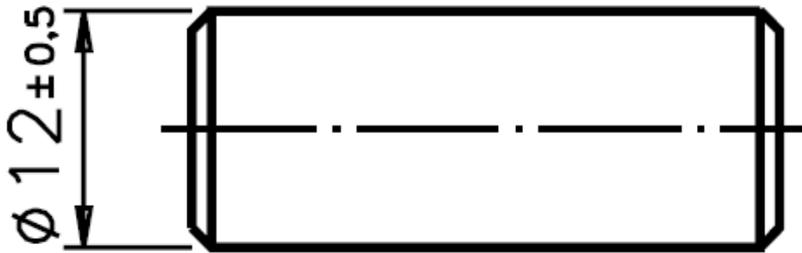
-0,20 mm = afastamento superior

-0,41 mm = afastamento inferior

Dimensão máxima = $16,00\text{mm} - 0,20\text{mm} = 15,80\text{mm}$

Dimensão mínima = $16,00\text{mm} - 0,41\text{mm} = 15,59\text{mm}$

A peça deve estar dentro dos limites da dimensão máxima e da dimensão mínima (15,80 mm e 15,59 mm).



Qual é o afastamento superior e o inferior?

0,5 mm = afastamento superior
-0,5 mm = afastamento inferior

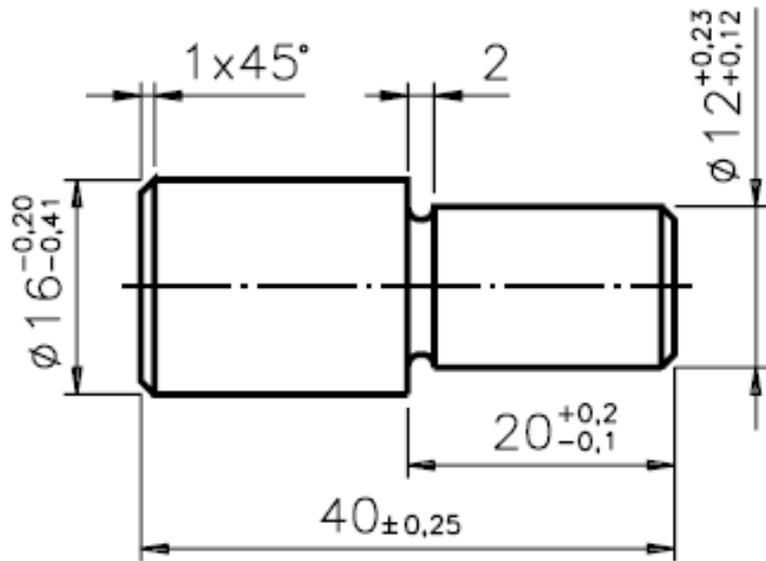
Dimensão máxima = $12,00\text{mm} + 0,5\text{mm} = 12,5\text{mm}$

Dimensão mínima = $12,00\text{mm} - 0,5\text{mm} = 11,5\text{mm}$

A peça deve estar dentro dos limites da dimensão mínima e da dimensão máxima (11,5 mm e 12,5 mm).



Verificando o entendimento



1) Qual a dimensão nominal do comprimento da peça?

R. 40mm

2) Qual é o afastamento superior e inferior do comprimento?

R. + 0,25mm e - 0,25mm

3) Qual é o afastamento superior e inferior do diâmetro da parte rebaixada?

R. + 0,23mm e + 0,12mm

4) Qual é a dimensão efetiva do diâmetro referente ao diâmetro da questão 3?

R. Entre 12,23 mm e 12,12 mm para ser uma peça aprovada no controle de qualidade

5) Qual é a dimensão máxima e mínima do comprimento da parte rebaixada?

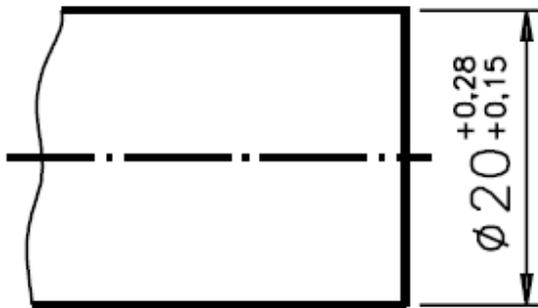
R. 20,2 mm e 19,9 mm

6) O diâmetro maior da peça tem 2 afastamentos negativos, logo a dimensão efetiva desta cota é ...menor... que a dimensão nominal.



Tolerância

É a variação entre a dimensão máxima e a dimensão mínima



Cálculo da tolerância
ESC 1:1

Dimensão máxima

$$\begin{array}{r} 20,00 \\ + \quad \underline{0,28} \\ 20,28 \end{array}$$

Dimensão máxima:

Dimensão mínima:

Tolerância:

Dimensão mínima

$$\begin{array}{r} 20,00 \\ + \quad \underline{0,15} \\ 20,15 \end{array}$$

20,28

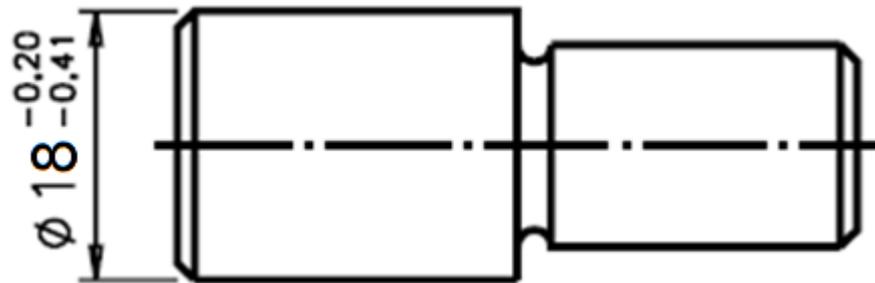
- 20,15

0,13

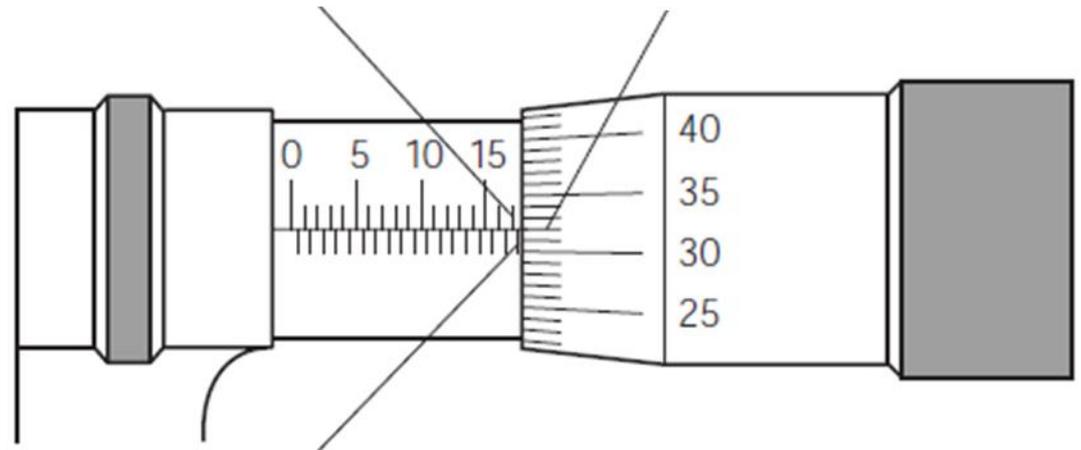


Verificando o entendimento

Qual a tolerância da cota indicada no desenho?



R. 0,21mm





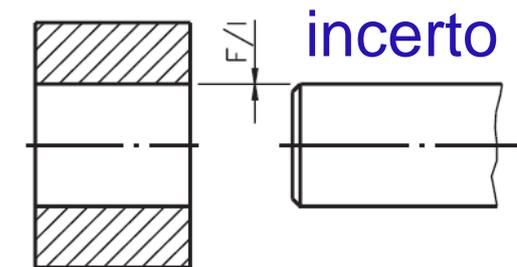
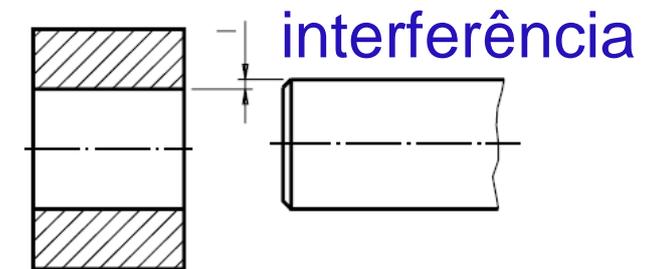
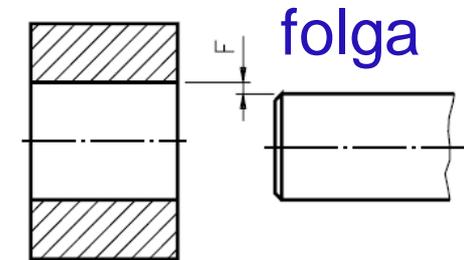
Ajustes

- ✓ Eixos e furos de formas variadas podem funcionar ajustados entre si.
- ✓ Dependendo da função do eixo, existem várias classes de ajustes



Ajustes

- 1) Se o eixo se encaixa no furo de modo a deslizar ou girar livremente, temos um
- 2) Se encaixa no furo com certo esforço, de modo a ficar fixo, temos
- 3) Em situações em que o eixo pode se encaixar no furo com folga ou com interferência, temos

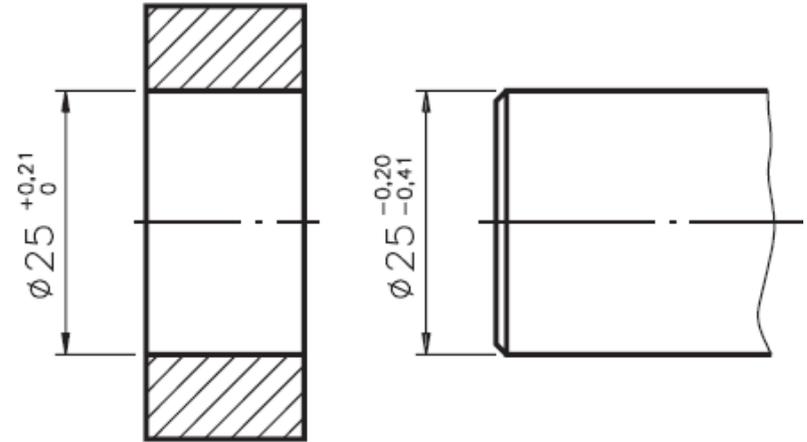


Eixos e furos que se encaixam têm a mesma dimensão nominal, o que varia é o campo de tolerância dessas peças.



Ajuste com folga

Quando o afastamento superior do eixo é menor ou igual ao afastamento inferior do furo, temos um ajuste com folga



Dimensão nominal (eixo e furo): 25 mm.

A dimensão máxima do eixo é: $25 \text{ mm} - 0,20 \text{ mm} = 24,80 \text{ mm}$;

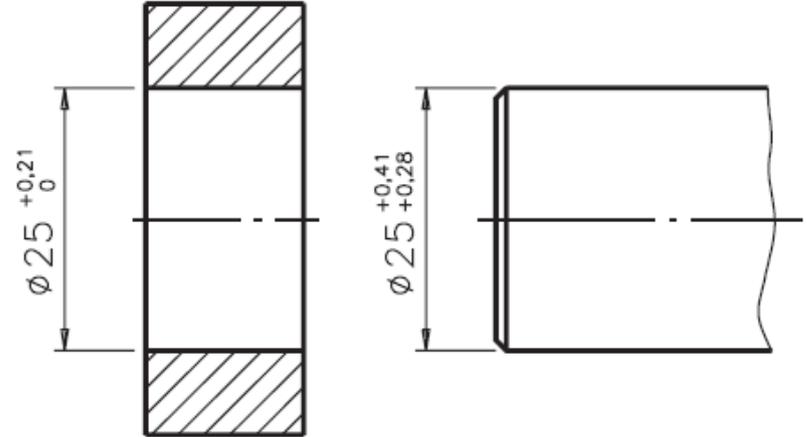
A dimensão mínima do furo é: $25,00 \text{ mm} - 0,00 \text{ mm} = 25,00 \text{ mm}$.

A folga é $25,00 \text{ mm} - 24,80 \text{ mm} = 0,20 \text{ mm}$.



Ajuste com interferência

O afastamento superior do furo é menor ou igual ao afastamento inferior do eixo.



O afastamento superior do furo é : + 0,21 mm

O afastamento inferior do eixo é: + 0,28 mm.

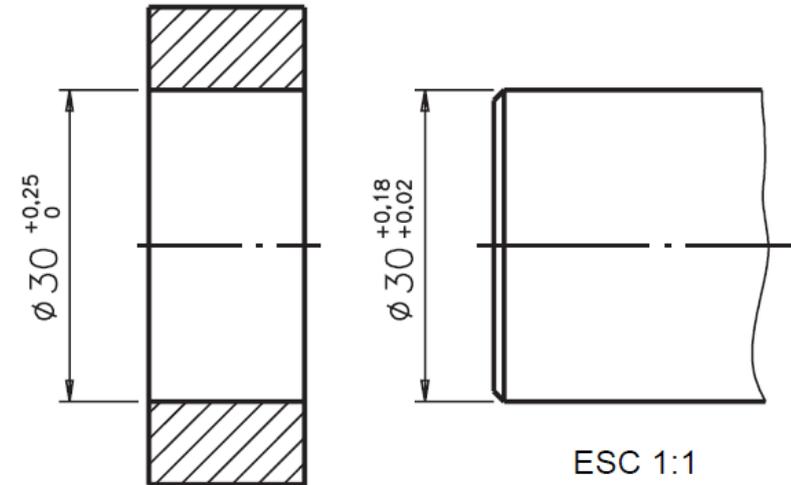
Exemplo: A peça pronta ficou com as seguintes medidas efetivas:
Eixo com $\text{Ø}25,28$ mm e furo com $\text{Ø}25,21$ mm.

A interferência corresponde a: $25,28 \text{ mm} - 25,21 \text{ mm} = 0,07 \text{ mm}$.



Ajuste incerto

É o ajuste intermediário. O afastamento superior do eixo é maior que o afastamento inferior do furo, e o afastamento superior do furo é maior que o afastamento inferior do eixo.



Não sabemos, de antemão, se as peças acopladas vão ser ajustadas com folga ou com interferência. Isso vai depender das dimensões efetivas do eixo e do furo.



Sistema de tolerância e ajustes ABNT/ISO

As tolerâncias não são escolhidas ao acaso. Em 1926, entidades internacionais organizaram um sistema normalizado que acabou sendo adotado no Brasil pela ABNT: o sistema de tolerâncias e ajustes ABNT/ISO (NBR 6158).

O sistema ISO consiste num conjunto de princípios, regras e tabelas que possibilita a escolha racional de tolerâncias e ajustes de modo a tornar mais econômica a produção de peças mecânicas intercambiáveis. Este sistema foi estudado, inicialmente, para a produção de peças mecânicas com até 500 mm de diâmetro; depois, foi ampliado para peças com até 3150 mm de diâmetro. Ele estabelece uma série de tolerâncias fundamentais que determinam a precisão da peça, ou seja, a qualidade de trabalho, uma exigência que varia de peça para peça, de uma máquina para outra.



Sistema de tolerância e ajustes ABNT/ISO

- ✓ A norma brasileira prevê 18 qualidades de trabalho.
- ✓ As qualidades são identificadas pelas letras: IT seguidas de numerais.
- ✓ A cada uma delas corresponde um valor de tolerância.

		Qualidade de Trabalho																	
		IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
Eixos		mecânica extra-precisa				mecânica corrente						mecânica grosseira							
Furos		mecânica extra-precisa				mecânica corrente						mecânica grosseira							

É o caso dos calibradores, que são instrumentos de alta precisão.

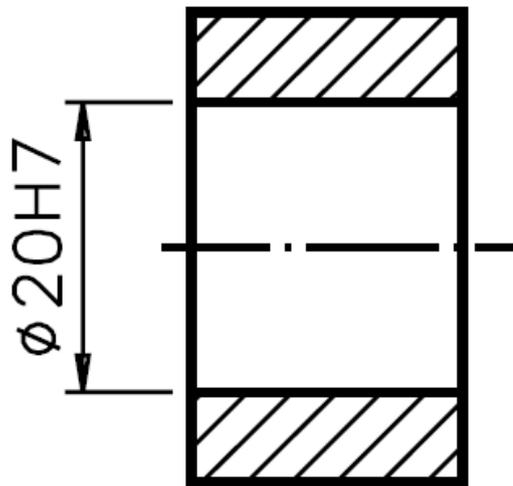
peças isoladas, que não requerem grande precisão

Peças que funcionam acopladas a outras.
 Se forem eixos -> entre IT 4 e IT 11
 Se forem furos -> entre IT 5 e IT 11.



Sistema de tolerância e ajustes ABNT/ISO

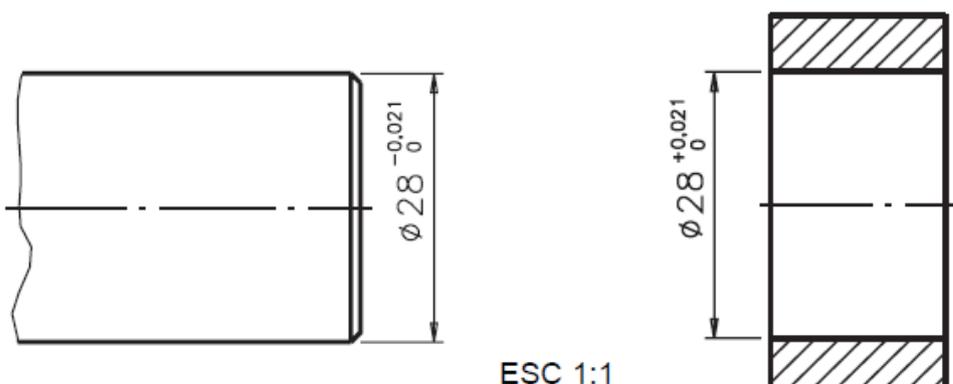
Nos desenhos técnicos, a qualidade de trabalho vem indicada apenas pelo numeral, sem o IT. Antes do numeral vem uma ou duas letras, que representam o campo de tolerância no sistema ISO. Veja um exemplo.



A dimensão nominal da cota é 20 mm. A tolerância é indicada por H7.

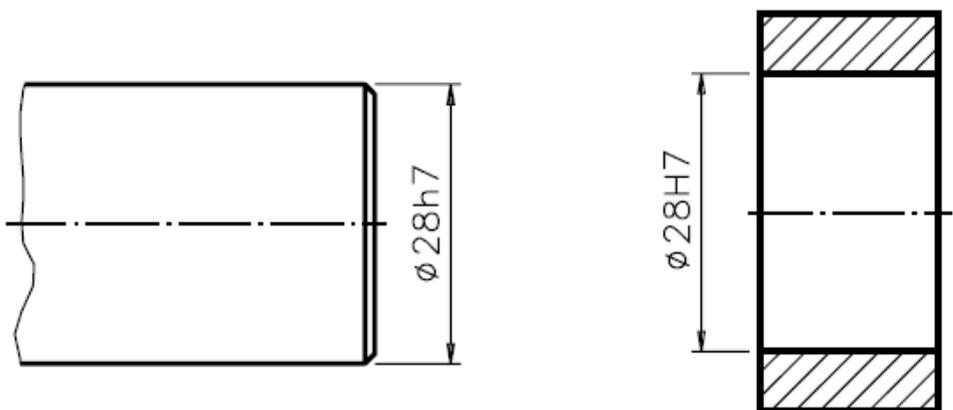


Campos de tolerância ISO



	Eixo	Furo
Dimensão máxima:	28,000	28,021
Dimensão mínima:	- 27,979	- 28,000
Tolerância:	0,021	0,021

Os campos de tolerâncias das duas peças são diferentes!



Os campos de tolerância para **eixo** são representados por letras **minúsculas**, e os **furos** por letra **maiúscula** conforme a ilustração.



Campos de tolerância ISO

O sistema ISO estabelece 28 campos de tolerâncias, identificados por letras do alfabeto latino. Cada letra está associada a um determinado campo de tolerância.

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

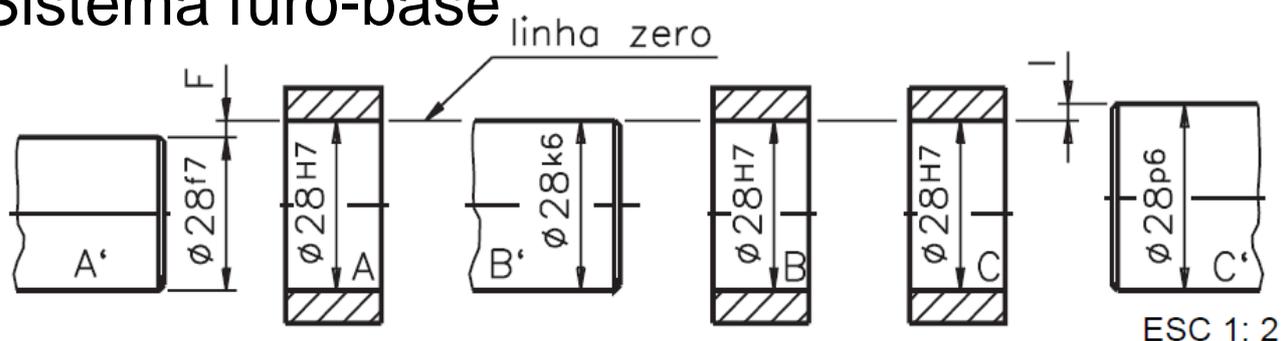
Furos

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



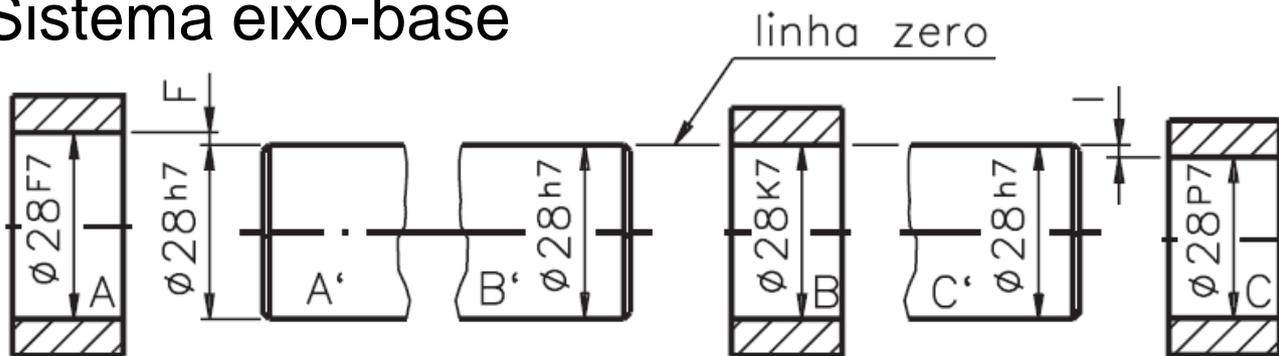
Campos de tolerância ISO

Sistema furo-base



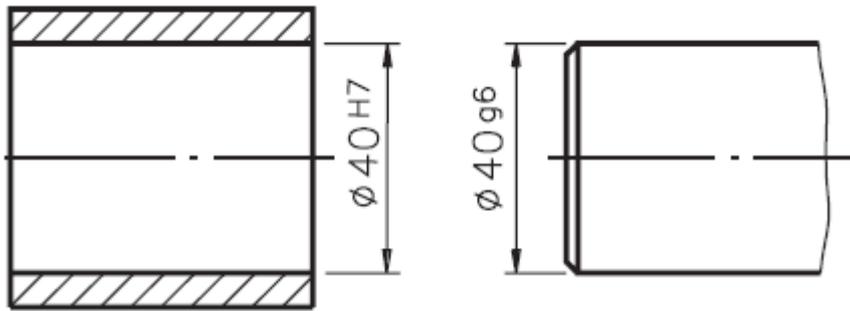
Entre os dois sistemas, o furo-base é o que tem maior aceitação.

Sistema eixo-base





Interpretação de tolerâncias no sistema ABNT/ISO



A letra H representa tolerância de furo padrão; o número 7 indica a qualidade de trabalho, que no caso corresponde a uma mecânica de precisão.

Dimensão nominal mm		Furo ^{af. inf.} / _{af. sup.}	EIXOS afastamento superior afastamento inferior								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34

Lembre-se de que, nesta tabela, as medidas estão expressas em microns.



Interpretação de tolerâncias no sistema ABNT/ISO

Dimensão nominal mm		Furo ^{af. inf.} / _{af. sup.}	EIXOS ^{afastamento superior} / _{afastamento inferior}								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	p6	r6
30	40	0 +25	-25 -50	-9 -25	0 -16	+11 -5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+42 +26	+50 +34

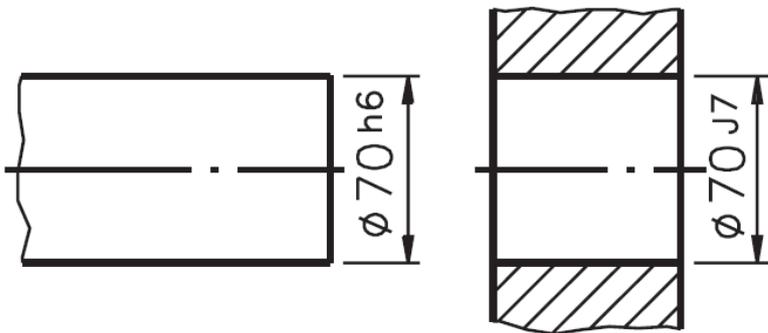
Superior = $-9\mu\text{m} = -0,009\text{mm}$.
 Inferior = $-25\mu\text{m} = -0,025\text{mm}$.

Dimensão nominal: 40,000
 Afastamento superior: - 0,009
 Dimensão máxima: 39,991

Dimensão nominal: 40,000
 Afastamento inferior: - 0,025
 Dimensão mínima: 39,975



Interpretação de tolerâncias no sistema ABNT/ISO



A tolerância do furo é J7 e a tolerância do eixo é h6. O h indica que se trata de um ajuste no sistema eixo-base.

Dimensão nominal mm		Eixo ^{af. sup} _{af. inf}	F U R O S								
acima de	até		afastamento inferior					afastamento superior			
			F7	G7	H7	J7	K7	M7	N7	P7	R7
65	80	0 -19	+30 +49	+10 +40	0 +30	-12 +18	-21 +9	-30 0	-39 -9	-51 -21	-62 -32

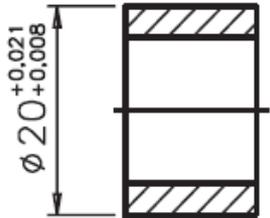
O afastamento superior do eixo é $0\mu\text{m}$ e o inferior é $-19\mu\text{m}$. Para o furo de tolerância J7, o afastamento superior é $+18\mu\text{m}$ e o afastamento inferior é $-12\mu\text{m}$.



Exercícios

1) Tomando como base o desenho anterior, do eixo e do furo consulte a tabela e calcule:
 a) dimensão máxima do eixo; b) dimensão mínima do eixo; c) dimensão máxima do furo; d) dimensão mínima do furo.

2) Tomando como base o desenho anterior, do eixo e do furo consulte a tabela e calcule:



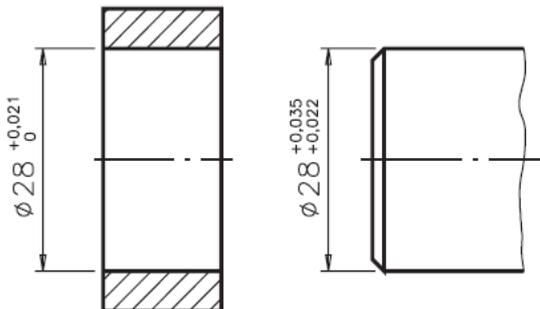
- a) dimensão nominal:; b) afastamento superior:.....;
 c) afastamento inferior:.....; d) dimensão máxima:.....;
 e) dimensão mínima:.....

3) Faça um traço embaixo das medidas que se encontram no campo de tolerância da cota $16^{+0,18}_{-0,05}$.

- a) 16 mm b) 15,5 mm c) 16,05 mm d) 15,82 mm e) 15,95 mm

4) Calcule a tolerância da cota $28^{-0,13}_{-0,20}$

5) Analise o desenho técnico cotado, observe os afastamentos e assinale com um X o tipo de ajuste correspondente.



- a) () ajuste com interferência;
 b) () ajuste com folga;
 c) () ajuste incerto.

φ 30 mm

21 μm ≤ FOLGA ≤ 35 μm



$t_{aj} = F_{max} - F_{min} = 35 - 21 = 14 \mu m$

$t_{aj} = t_f + t_e = 9 + 4 \approx 13 \mu m$

Sobre
1 μm
ou
=

→ tab. 1 da Norma:



RETR.
LAPID.
POLIDO

NÃO É POSSÍVEL FABRICAR
ESSE CONJUNTO EM SÉRIE
COM ESSAS TOLERÂNCIAS

⇒ MONTAGEM SELETIVA



- 1) Produzir as peças com as tolerâncias compatíveis com fabricação em série (economicamente) → p. exemplo IT6, IT7, IT8 (IT5)
- 2) Produzir tanto eixo quanto furo com a mesma tolerância, p. ex., IT8 furo
IT8 eixo
- 3) ^{fazer o} Controle de Qualidade 100% (medir todas as peças). → CVSTO ↑
- 4) Separar o lote em caixas conforme a medida real encontrada e montar seletivamente

USP



$$t_{aj} = 35 - 21 = 14 \mu\text{m}$$

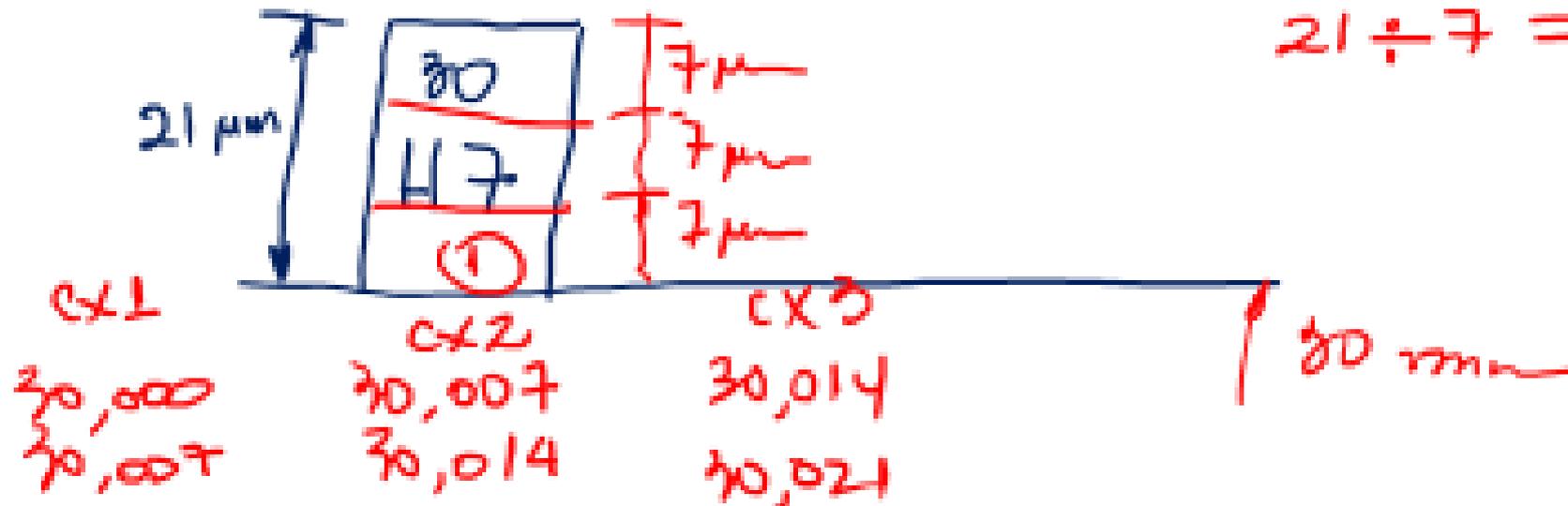
$$t_{aj} = \underbrace{t_F}_{\sim} + \underbrace{t_e}_{\sim} \approx 14 \mu\text{m}$$

$$14 / 2 = 7 \mu\text{m}$$

$$\underline{t_F = t_e}$$

Qualidade IT7 \rightarrow $t_{ob-1} \rightarrow$ IT7 = 21 μm
 $\varnothing 30 \text{ mm}$

$$21 \div 7 = 3 \text{ caixas}$$



AJUSTES RECOMENDADOS						
TIPO DE AJUSTE	EXEMPLO DE AJUSTE	EXTRA- PRECISO	MECÂNICA PRECISA	MECÂNICA MÉDIA	MECÂNICA ORDINÁRIA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
LIVRE	<p>Montagem à mão, podendo girar sem esforço.</p>	H6 e7	H7 e7 H7 e8	H11 e9	H11a11	Peças cujos funcionamentos necessitam de folga por força de dilatação, ou mau alinhados, etc
ROTATIVO	<p>Montagem à mão, com facilidade.</p>	H6 f6	H7 f7	H8 f8	H10 d10 H11 d11	Peças que deslizam ou giram com boa lubrificação. Ex: eixos, mancais, etc.
DESLIZANTE	<p>Montagem à mão, com leve pressão.</p>	H6 g5	H7 g6	H8 g8 H8 h8	H10 h10 H11 h11	Peças que deslizam ou giram com grande precisão. Ex: anéis de rolamentos, corredeiras, etc
DESLIZANTE JUSTO	<p>Montagem a mão, porém necessitando de algum esforço.</p>	H6 h5	H7 h6			Encaixes fixos de precisão, órgãos lubrificados descartáveis à mão. Ex: punções, guias, etc.
ADERENTE FORÇADO LEVE	<p>Montagem com auxílio de martelo.</p>	H6 j5	H7 j6			Órgãos que necessitam freqüentes desmontagens. Ex: polias, engrenagens, rolamentos, etc.
FORÇADO DURO	<p>Montagem com auxílio de martelo pesado.</p>	H6 m5	H7 m6			Órgãos possíveis de montagem e desmontagem sem deformação da peça.
À PRESSÃO COM ESFORÇO	<p>Pressão Montagem com auxílio de balancim ou por dilatação.</p>	H6 p5	H7 p6			Peças impossíveis de serem desmontadas sem deformação. Ex: buchas à pressão, etc.

Tabela 1 - Valores numéricos de graus de tolerância-padrão IT para dimensões nominais até 3150 mm^(A)

Dimensão nominal (mm)		Graus de tolerância-padrão																	
		IT1 ^(B)	IT2 ^(B)	IT3 ^(B)	IT4 ^(B)	IT5 ^(B)	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14 ^(C)	IT15 ^(C)	IT16 ^(C)	IT17 ^(C)	IT18 ^(C)
Acima	Até e Inclusive	Tolerância																	
		(µm)										(mm)							
-	3 ^(A)	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630 ^(B)	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800 ^(B)	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000 ^(B)	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250 ^(B)	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600 ^(B)	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000 ^(B)	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500 ^(B)	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150 ^(B)	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

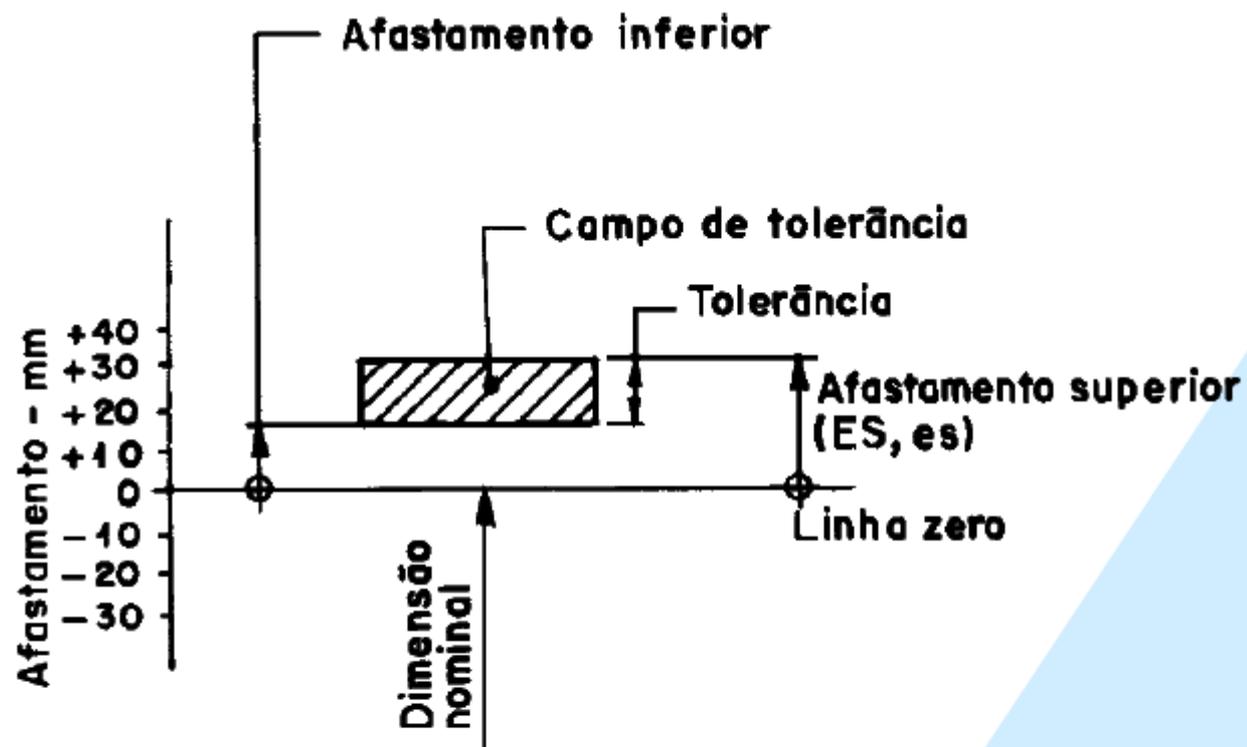
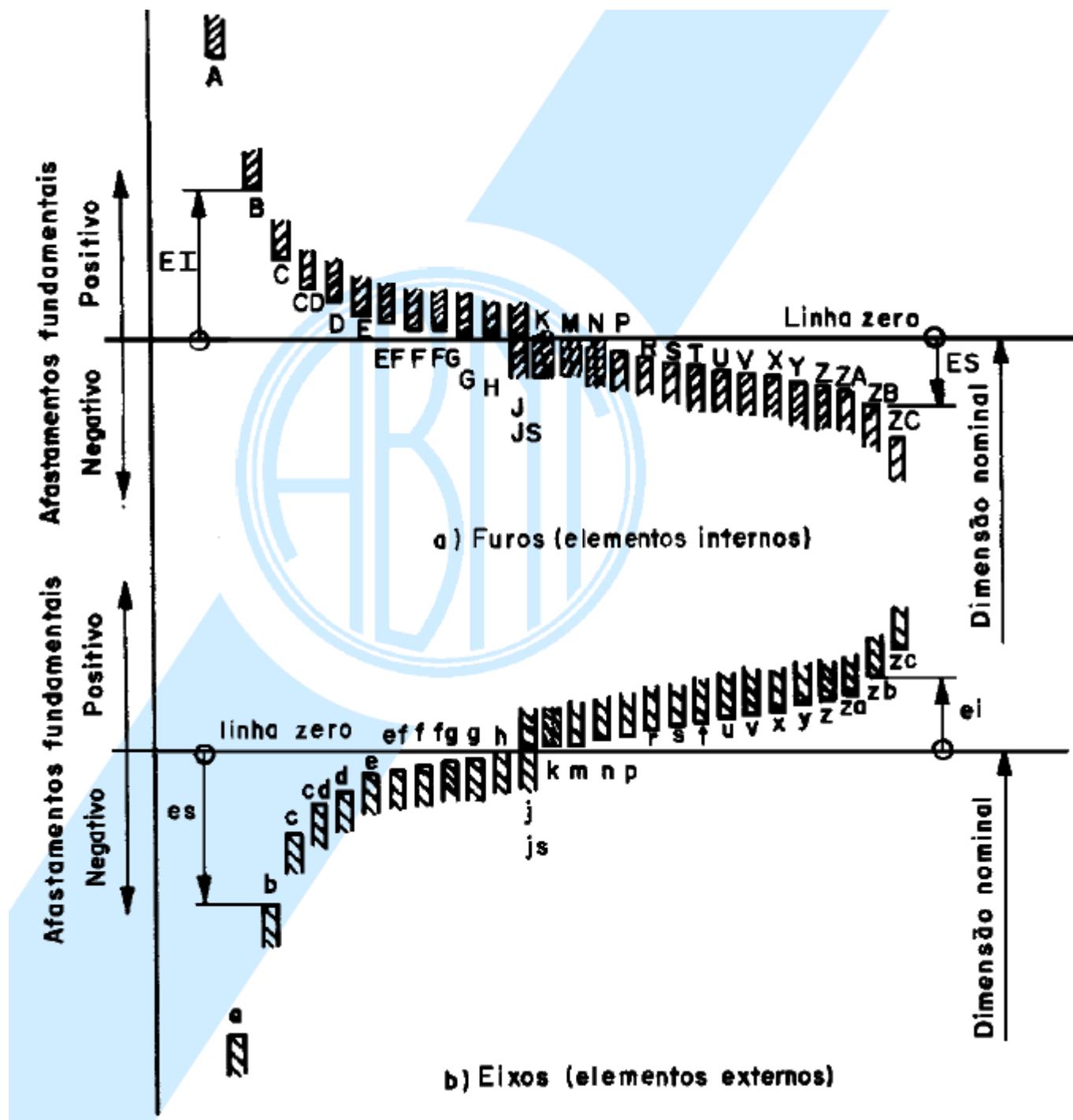


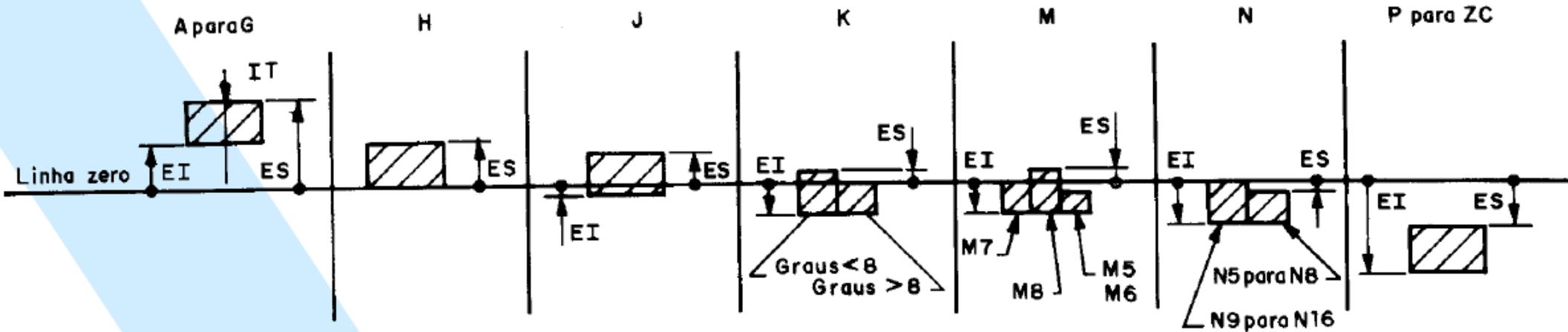
Figura 2 - Representação convencional de um campo de tolerância



b) Eixos (elementos externos)



Afastamentos

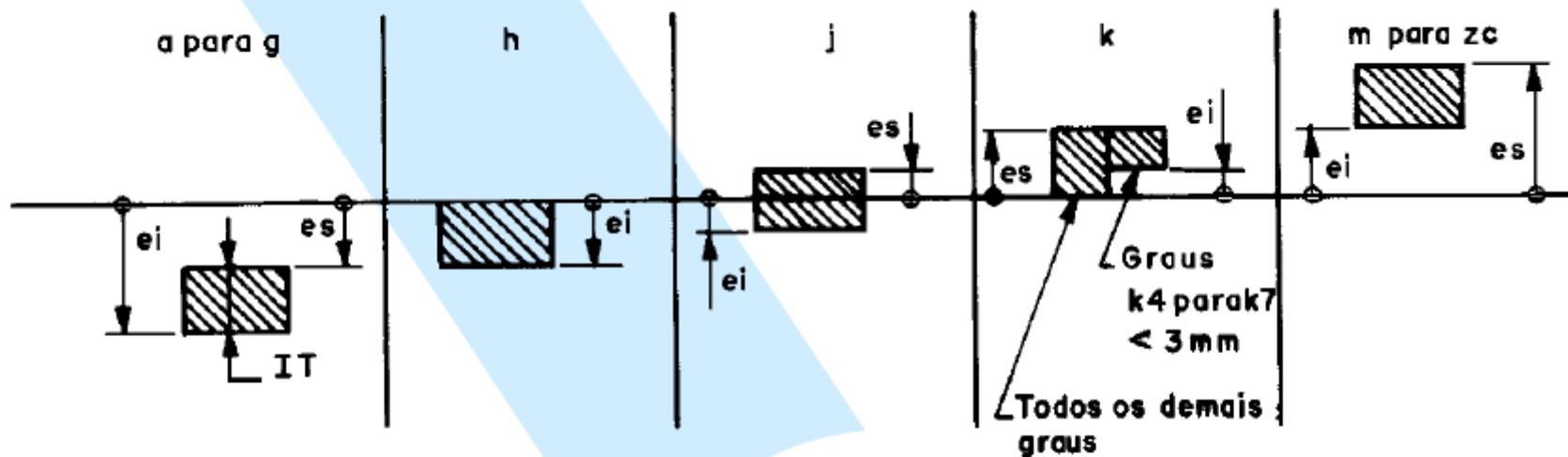


Nota: $TE - ES = EI + IT$ ou
 $EI = ES - IT$

a) FUROS



Afastamentos



Nota: $ei = es - IT$ ou
 $es = ei + IT$



b) EIXOS

Tabela 10 - Arredondamento para desvios fundamentais

Arredondamento: μm

Valores calculados conforme a Tabela 9 (μm)		Dimensão nominal		
		Até 500 mm (inclusive)	Acima de 500 mm até 3150 mm (inclusive)	
		Afastamentos fundamentais		
		"a" até g" "A" até G"	"k" até zc" "K" até ZC"	"d" até "u" "D" até "U"
Acima	Até e inclusive	Arredondamento em múltiplos de		
5	45	1	1	1
45	60	2	1	1
60	100	5	1	2
100	200	5	2	5
200	300	10	2	10
300	500	10	5	10
500	560	10	5	20
560	600	20	5	20
600	800	20	10	20
800	1000	20	20	20
1000	2000	50	50	50
2000	5000		100	100
20 x 10 ⁿ	50 x 10 ⁿ			1 x 10 ⁿ
50 x 10 ⁿ	100 x 10 ⁿ			2 x 10 ⁿ
100 x 10 ⁿ	200 x 10 ⁿ			5 x 10 ⁿ