



CADEIA DIMENSIONAL

(e TOLERANCE CHARTING)



Sumário

- Introdução
- Definições e Símbolos
- Construção
- Exemplos



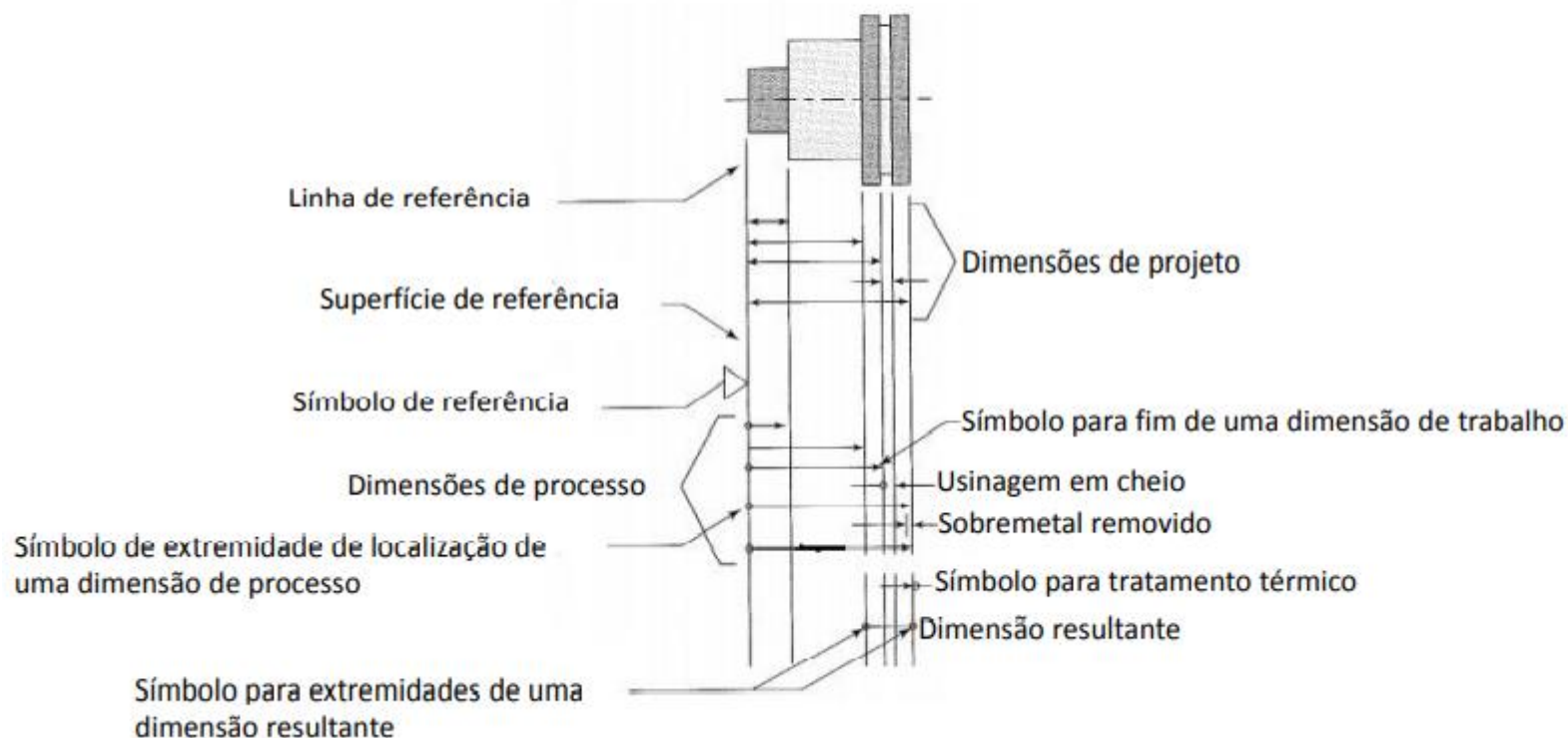
1. Introdução

- O que é uma carta de tolerância?
 - É um gráfico contendo **dimensões de manufatura**, **tolerâncias** e **sobremetais** para cada operação de uma sequência de fabricação.
- O que uma carta de tolerância faz?
 - Garante que o **processamento**, **dimensionamento** e **tolerâncias** propostos para uma peça produza a peça de acordo com o **projeto**.

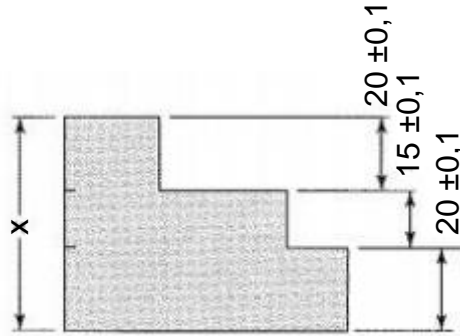


- Permite
 - Desenvolvimento
 - Do processo de manufatura mais viável
 - Dimensões de usinagem mais precisas
 - Máximas tolerâncias
 - Sobremetal de usinagem necessário
 - Determinação
 - De superfícies de referência
 - Calibradores específicos
 - Fornecer meios de
 - Processamento X capacidade da máquina
 - Comparação de processos
 - Determinar matéria prima (“blank”)
 - Facilitar modificações

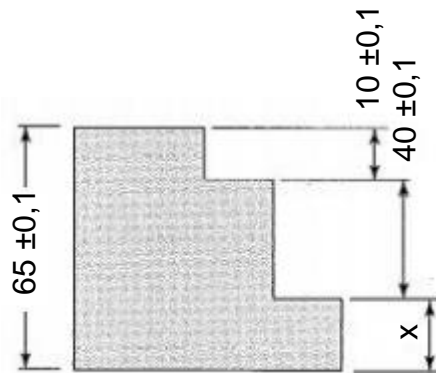
2. Definições e Símbolos



2.1. Adicionando e Subtraindo Tolerâncias



$$X = (20 \pm 0,1) + (15 \pm 0,1) + (20 \pm 0,1) = 55 \pm 0,3$$



$$X = (65 \pm 0,1) - (10 \pm 0,1) - (40 \pm 0,1) = 15 \pm 0,3$$

3. Construindo a carta de tolerâncias

1. Processamento

- Sequência de operações
- Descrição de cada operação
- Faces de referência para cada operação
- Máquina para cada operação
- Ferramental (ponta única, ferramenta da forma, fresa etc.)

2. Leiaute

- Peça
- Dimensões de usinagem
- Tolerâncias de usinagem
- Faces de referência
- Superfícies usinadas



3. Formulário (carta)

- Trace o diagrama com o desenho da peça no centro. A escala e perfil da peça podem ser exagerados para evidenciar as superfícies envolvidas.

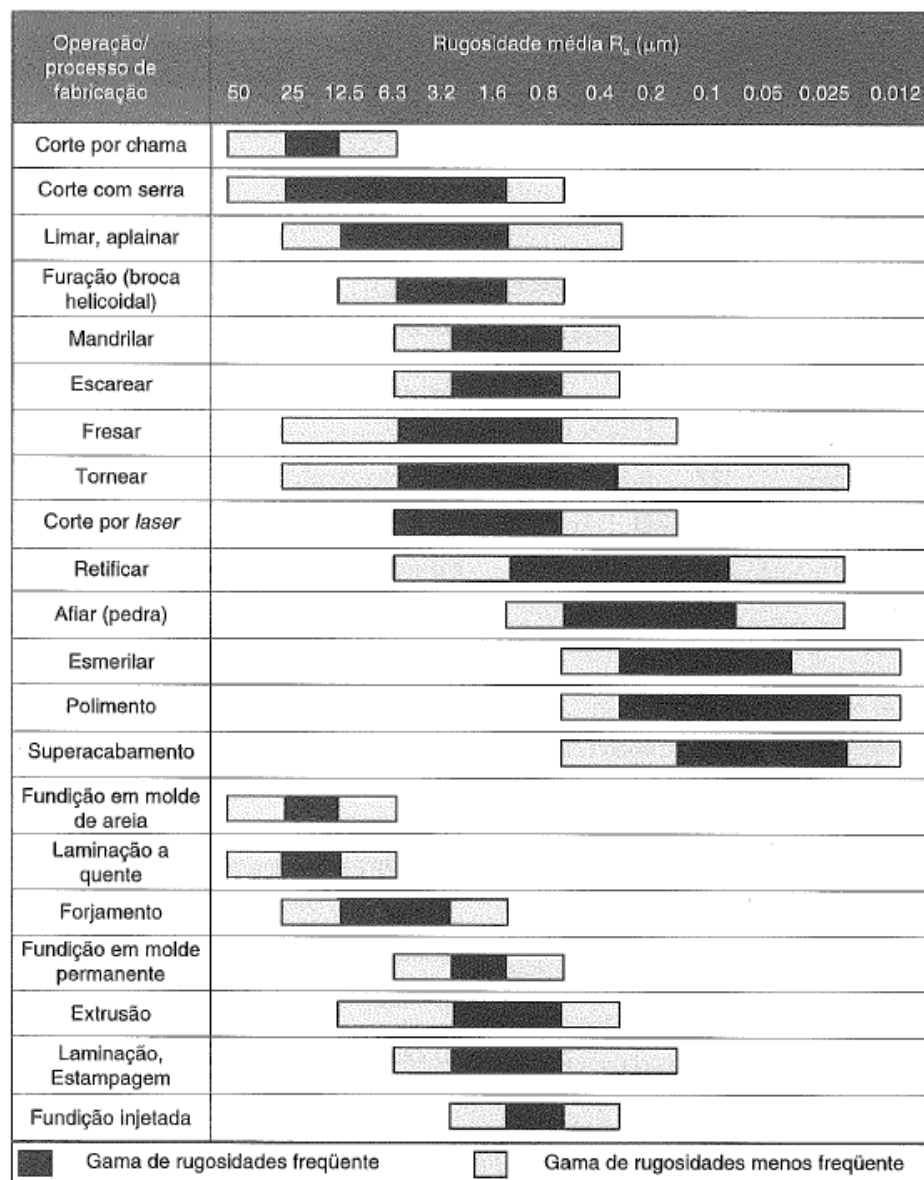
4. Leiaute na carta

- Dimensões de usinagem
- Tolerâncias de usinagem
- Faces de referência
- Superfícies usinadas
- Dimensões resultantes



5. Calcule as dimensões resultantes
6. Calcule o sobremetal de usinagem
7. Marque as linhas envolvidas
8. Indique a conclusão da carta
9. Adicione as dimensões de projeto e tolerâncias
10. Determine as dimensões e tolerâncias reais e compare com as dimensões e tolerâncias de projeto
11. Faça as modificações e correções se necessário

Processos de fabricação x rugosidade



PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E QUALIDADE DE TRABALHO

Processo	Qualidade IT							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Polimento								
Rasqueteamento								
Torneamento para acabamento								
Retificação								
Brochamento								
Mandrimento								
Torneamento								
Aplainamento								
Fresamento								
Furação								

Furação: *IT 10 a IT 11*
 Fresamento: *IT 9 a IT 11*
 Plainamento: *IT 7 a IT 11*
 Mandrilamento: *IT 6 a IT 11*
 Torneamento: *IT 6 a IT 11*
 Alargamento: *IT 6 a IT 7*
 Brochamento: *IT 5 a IT 8*
 Retificação: *IT 3 a IT 7*
 Lapidação: *IT 1 a IT 4*
 Rodagem: *IT 1 a IT 4*
 Superacabamento: *IT 1 a IT 4*

4. Exemplos

Exemplo 1

Pivô

Material: barra laminada

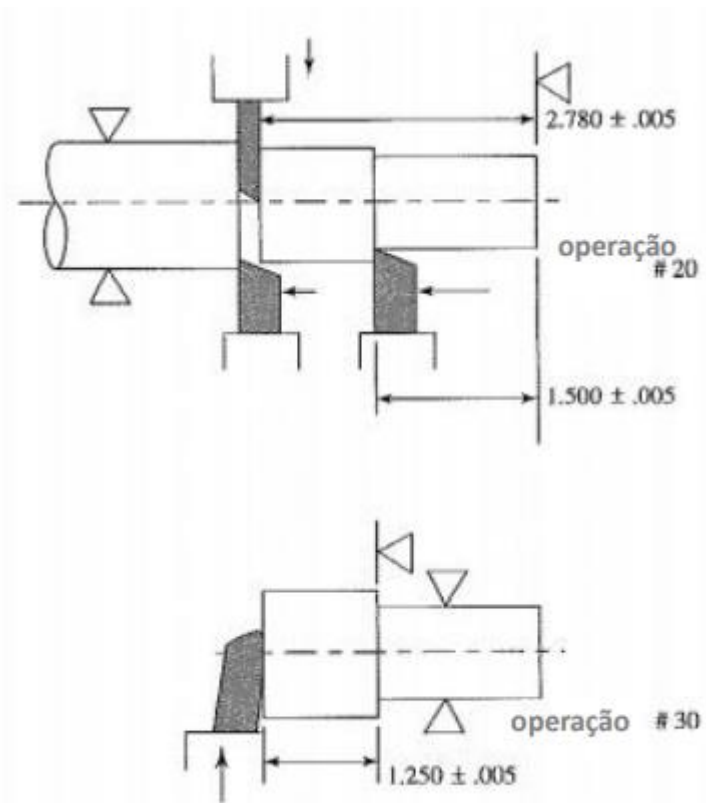
Processamento: torneamento

Produção: baixa

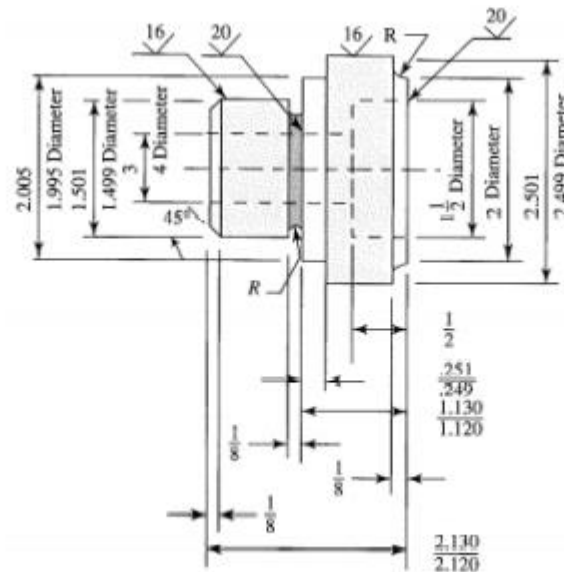




Op. No.	Equipamento	Descrição da operação
20	Torno revólver	Alimentar com barra laminada até "stop" Pinça no diâmetro Tornear os dois diâmetros Cortar no comprimento
30	Torno	Prender na placa pelo diâmetro menor Localizar contra ombro Facear face maior



- Exemplo 2
 - Overrunner clutch hub (cubo da embreagem)
 - Material: Aço 1020 forjado
 - Processamento: torneamento, furação, tratamento térmico (cementação e têmpera, 0.064" mín.), retificação.
 - Produção: alta



Tolerâncias não indicadas $\pm 0,015$ "



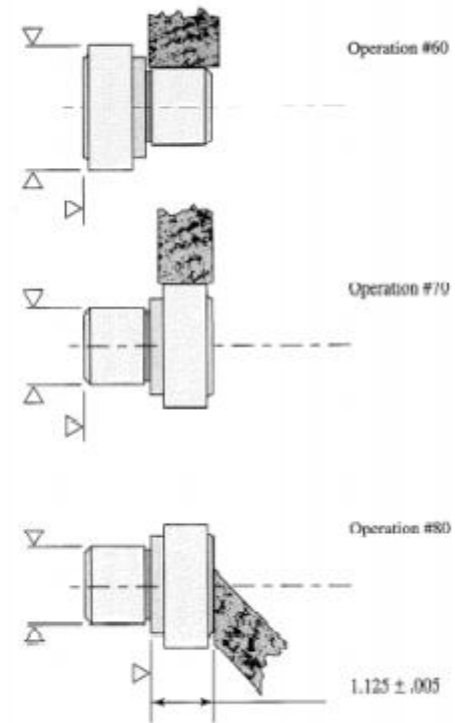
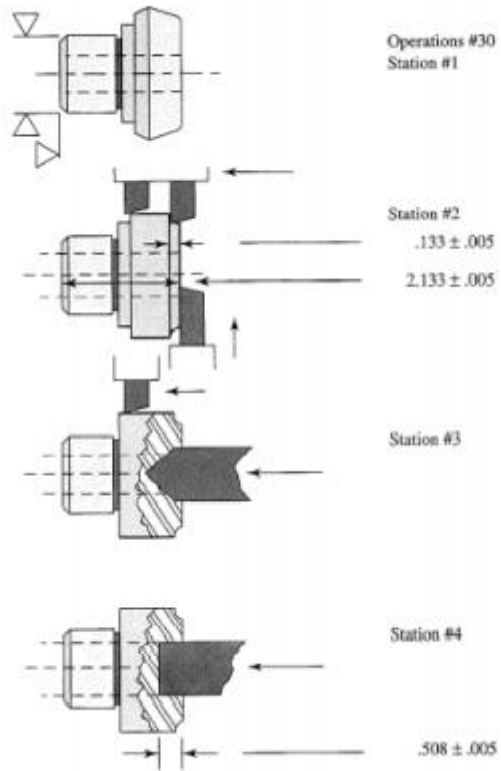
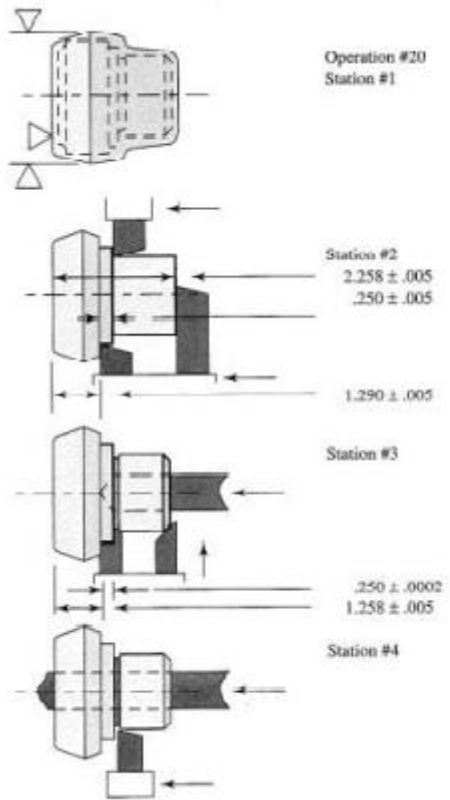
No. Op.	Equipamento	Descrição da Operação
20	Centro de Usinagem de 4 eixos	<p>Estação #1</p> <ul style="list-style-type: none"> Carrega e descarrega Prende na placa dia. Maior Localiza contra superfície bruta Facear (J) <p>Estação #2</p> <ul style="list-style-type: none"> Tornear desbaste dia. Ext. menor Tornear desbaste dia. 2,000 Facear <p>Estação #3</p> <ul style="list-style-type: none"> Tornear acabamento (forma) dia. 2.000 e rasgo Chanfrar 1/8"x 45° Furar dia. 3/4" até a metade <p>Estação 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Tornear acabamento dia, menor Furar dia. 3/4" até o final

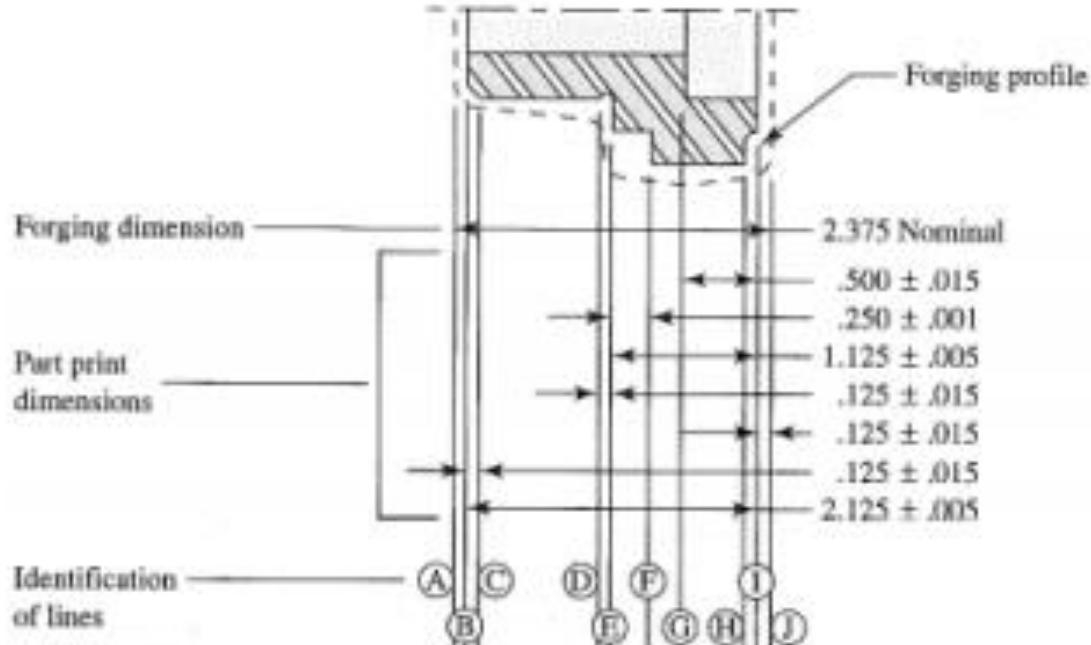


30	Centro de Usinagem de 4 eixos	<p>Estação #1</p> <ul style="list-style-type: none"> Carrega e descarrega Prende pelo dia. menor Localiza pela face do dia. menor <p>Estação #2</p> <ul style="list-style-type: none"> Tornear de desbaste dia. maior Tornear de forma dia. 2" Facear <p>Estação #3</p> <ul style="list-style-type: none"> Tornear acabamento dia. maior Furar em desbaste rebaixo do furo <p>Estação #4</p> <ul style="list-style-type: none"> Acabamento no rebaixo do furo
40		Inspeção
50	Estação de tratamento Térmico	Cementar e temperar superfícies externas. Profundidade mínima de 0,06 4".



50	Estação de tratamento Térmico	Cementar e temperar superfícies externas. Profundidade mínima de 0,064" min.
60	Retificadora Cilíndrica Externa	Placa no dia. maior Localizar contra face maior Retificar dia. maior
70	Retificadora Cilíndrica Externa	Placa no dia. menor Localizar contra o ombro (E) Retificar dia. maior
80	Retificadora Cilíndrica Externa	Placa no dia. menor Localizar contra ombro (E) Retificar superfície maior
90	Equipamento de rebarbação	Rebarbar





Line No.	Op. No.	Machine Dimensions			Resultant		Lines Involved	Stock Removed	
		Mean	± Tolerance		Mean	± Tolerance		Mean	± Tolerance
1	20	1,258	0,005						
2	20	0,250	0,0002						
3	20	0,125	0,015						
4	20	2,258	0,005					0,117 nominal	
5	20	0,125	0,015						
6									
7					1,000	0,010	1 - 4		
8									
9	30	2,133	0,005				4 - 9	0,125	0,010
10	30	0,133	0,005						
11	30	0,508	0,005						
12									
13					2,000	0,010	9 - 10		
14					1,625	0,010	9 - 11		
15					1,133	0,015	7 - 9		
16					0,625	0,020	7 - 14		
17					1,000	0,020	7 - 13		
18									
19	50	0,072							
20									
21	80	1,125	0,005				15 - 21	0,008	0,020
22					2,125	0,015	7 - 21		



Part Print Dimensions	Actual or Resultant Dimensions		
0,500 ±0,015	0,500 ±0,025	16 - 21	*
0,250 ±0,001	0,250 ±0,0002	2	
1,125 ±0,005	1,125 ±0,005	20	
0,125 ±0,015	0,125 ±0,020	4 - 10 - 13	*
0,125 ±0,015	0,125 ±0,015	3	
0,125 ±0,015	0,125 ±0,015	5	
2,125 ±0,005	2,125 ±0,015	7 - 21	*
0,064 mínimo	0,44 mínimo	19 - 21	*



a) Todas as cotas parciais possuem tolerância

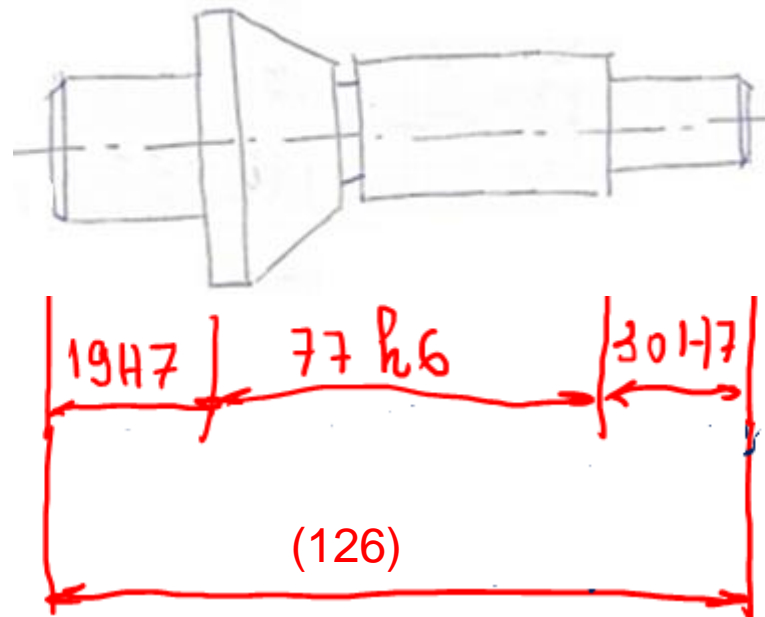
NBR 6158

Tab. 1

19H7 → $t = 0,021 \text{ mm}$

77h6 → $t = 0,019 \text{ mm}$

30H7 → $t = 0,025 \text{ mm}$



Então, a cota total será 126 terá tolerância

$t_{126} = 0,021 + 0,019 + 0,025 = 0,065 \text{ mm}$ e os

afastamentos serão:

+0,046

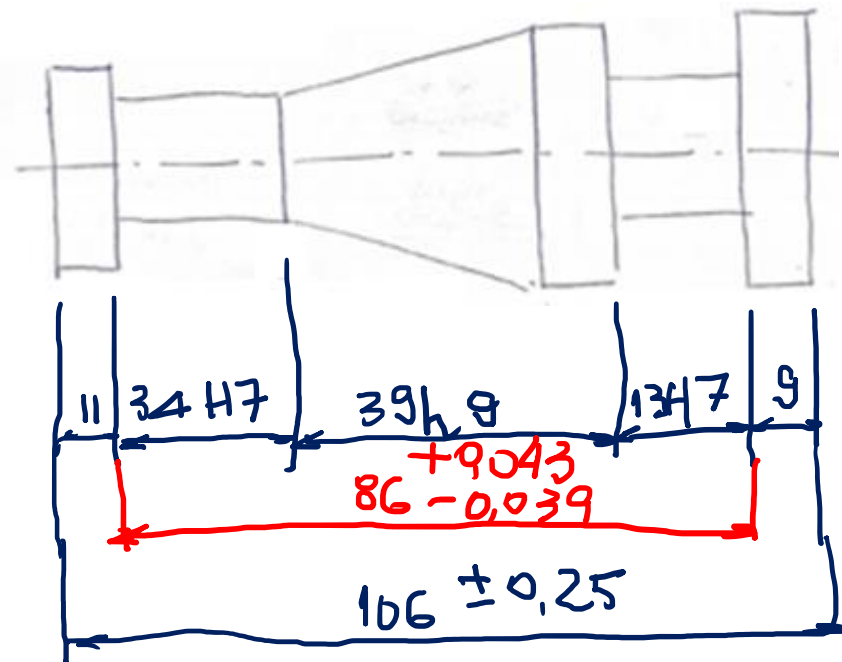
126 -0,019



b) Não todas as cotas parciais possuem tolerância e a cota total possui tolerância.
Determinar a cota semi-total.

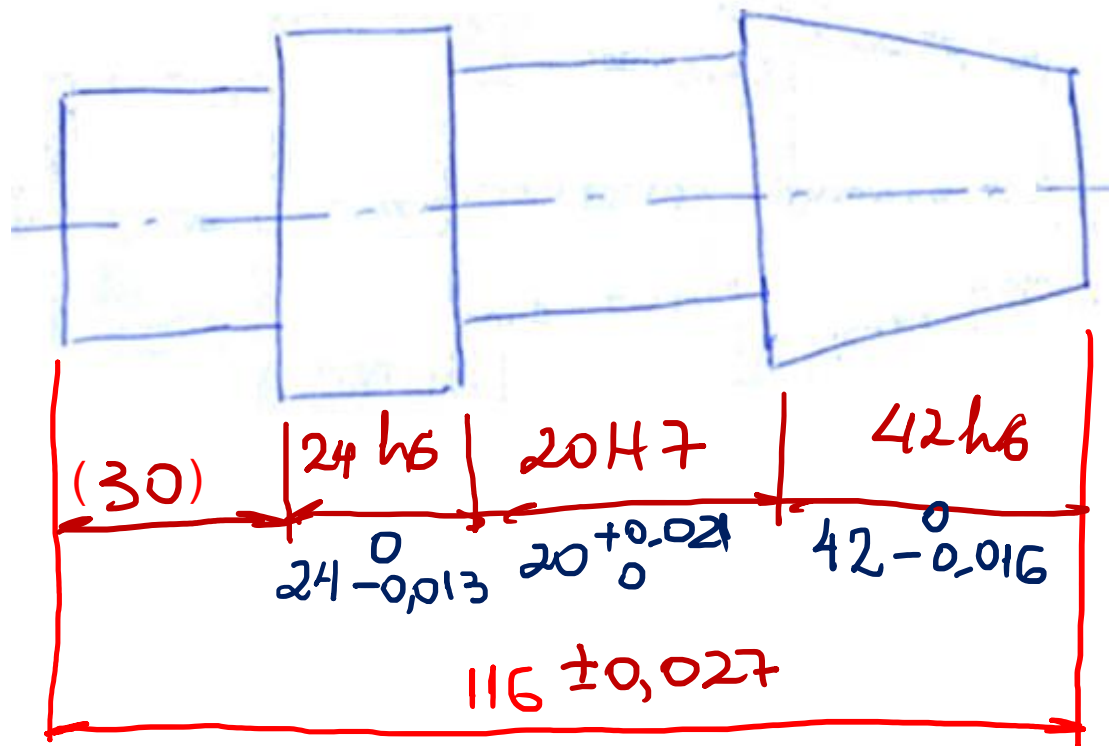
Tabela 1 NBR 6158

$34H7 \rightarrow 34 \begin{matrix} +0,025 \\ 0 \end{matrix}$
 $39h9 \rightarrow 39 \begin{matrix} 0 \\ -0,039 \end{matrix}$
 $13H7 \rightarrow 13 \begin{matrix} +0,018 \\ 0 \end{matrix}$





c) Uma cota parcial fica aberta para compensação e a cota total é tolerada por razões de funcionamento



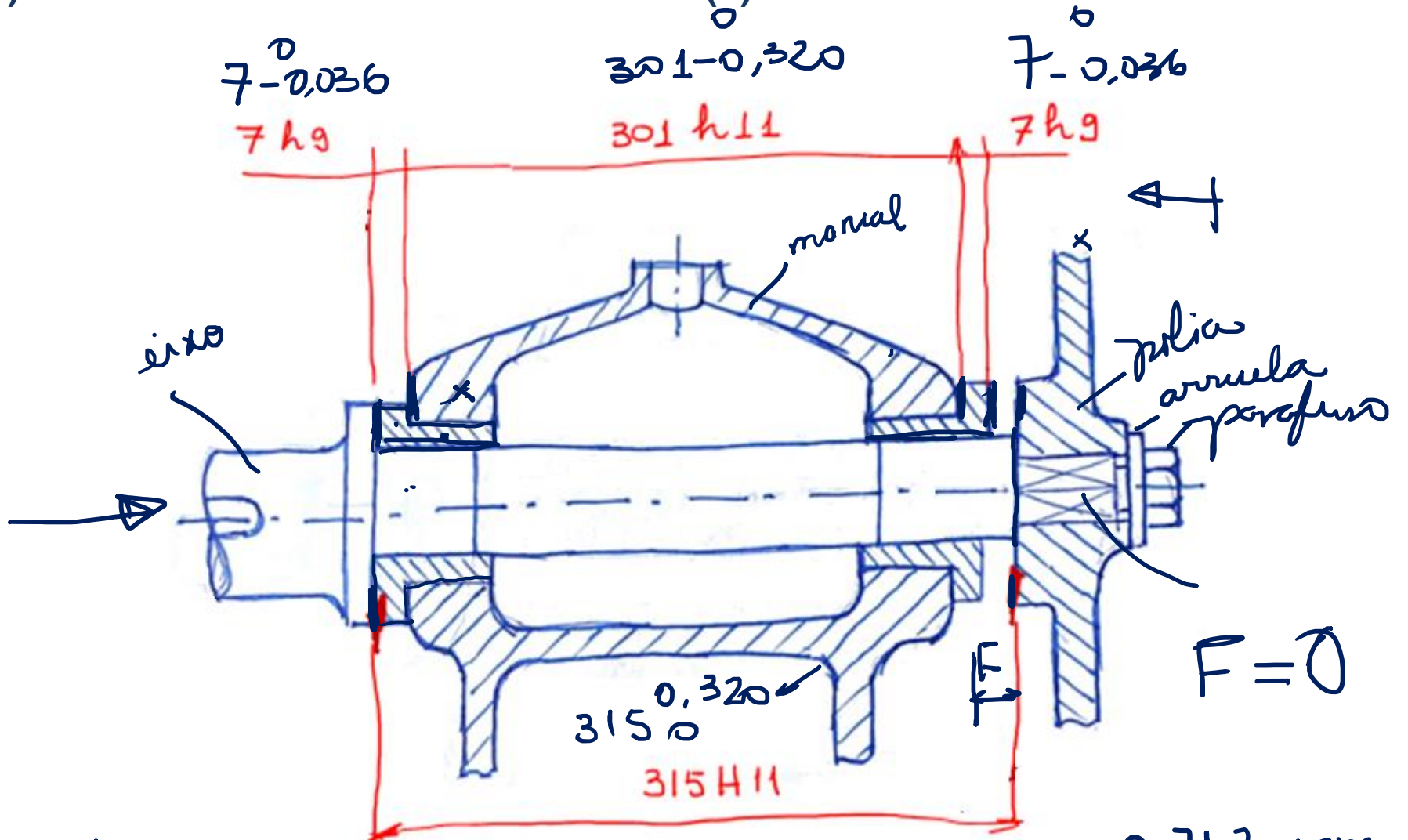
Note que seria possível, através de subtração de tolerâncias, determinar a tolerância da dimensão 30 mm, conforme descrito no item 2.1, ou seja, $t_{30} = 0,054 + 0,013 + 0,021 + 0,016 = 0,104$, mas isso não é necessário, pois é uma dimensão aberta, ou seja, sem tolerância especificada.

CUIDADO: A dimensão 30 mm assume o papel de dimensão resultante e é uma cota parcial, justamente o contrário do caso a) onde as todas as cotas parciais estão toleradas e a cota total que é a dimensão resultante. Isso tem implicações importantes na sequência de fabricação e na escolha das faces de referência.



Tob. 1 NPR
61 58

a) AVALIANDO O JOGO AXIAL DO EIXO (F)



$$t_F = 0,036 + 0,320 + 0,036 + 0,320 = 0,712 \text{ mm}$$



$$e_{sF} = \sum e_{s\oplus} - \sum e_{i\ominus}$$

$$e_{iF} = \sum e_{i\oplus} - \sum e_{s\ominus}$$

e_s = afastamento superior

e_i = afastamento inferior

\oplus cota que, se ela própria aumentar, causa aumento na dimensão resultante ou dimensão final da cadeia de dimensões

\ominus cota que, se ela própria aumentar, causa decréscimo na dimensão resultante ou dimensão final da cadeia de dimensões

No caso do exemplo, a dimensão F (folga), é a dimensão final (ou resultante), então, aplicando as relações acima:

$$e_{sF} = 0,320 - (-0,036 - 0,320 - 0,036) = 0,712mm$$

$$e_{iF} = 0 - (0 - 0 - 0) = 0$$

Desse, a dimensão nominal de $F = 315 - 7 - 7 - 301 = 0$

+0,712

Então, a folga, com os afastamentos será: $F = 0 \quad 0$

O que leva à conclusão que a folga máxima é 0,712 mm e a folga mínima é 0. Esse é um resultado conveniente visto que se a folga resultasse menor que zero o conjunto estaria sujeito a travamento.

CALCULANDO A COTA RESULTANTE EM UMA CADEIA OU SÉRIE DE TOLERÂNCIAS

b) Cota final R

$$e_{sR} = \sum e_{s\oplus} - \sum e_{i\ominus}$$

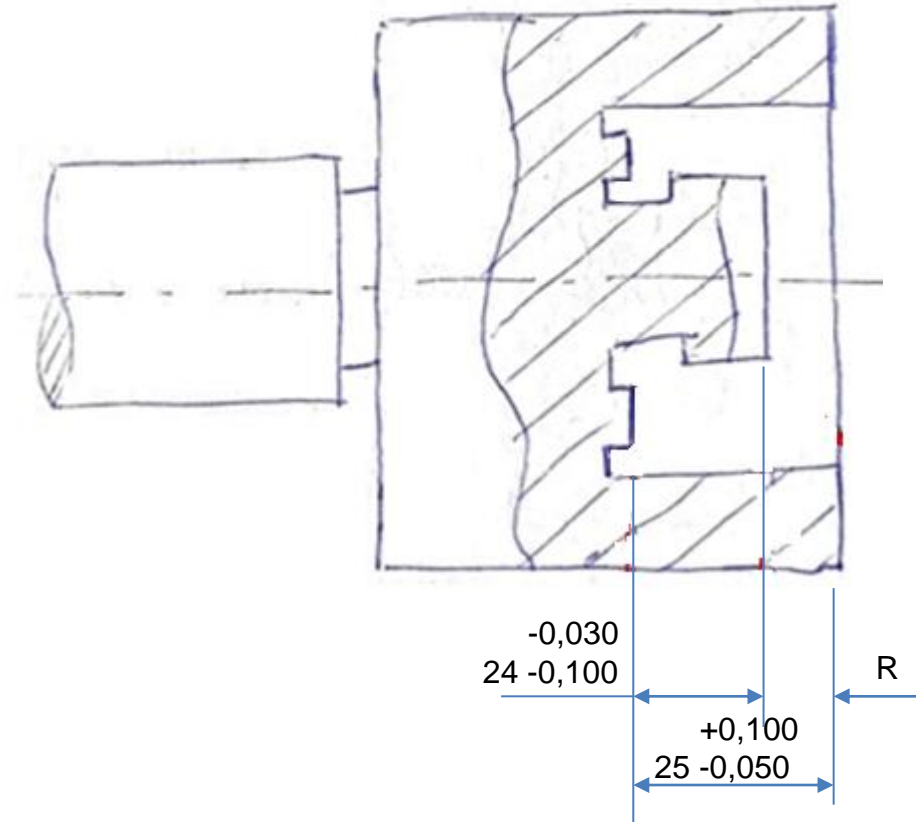
$$e_{iR} = \sum e_{i\oplus} - \sum e_{s\ominus}$$

e_s = afastamento superior

e_i = afastamento inferior

\oplus cota que, se ela própria aumentar, causa aumento na dimensão resultante ou dimensão final da cadeia de dimensões

\ominus cota que, se ela própria aumentar, causa decréscimo na dimensão resultante ou dimensão final da cadeia de dimensões



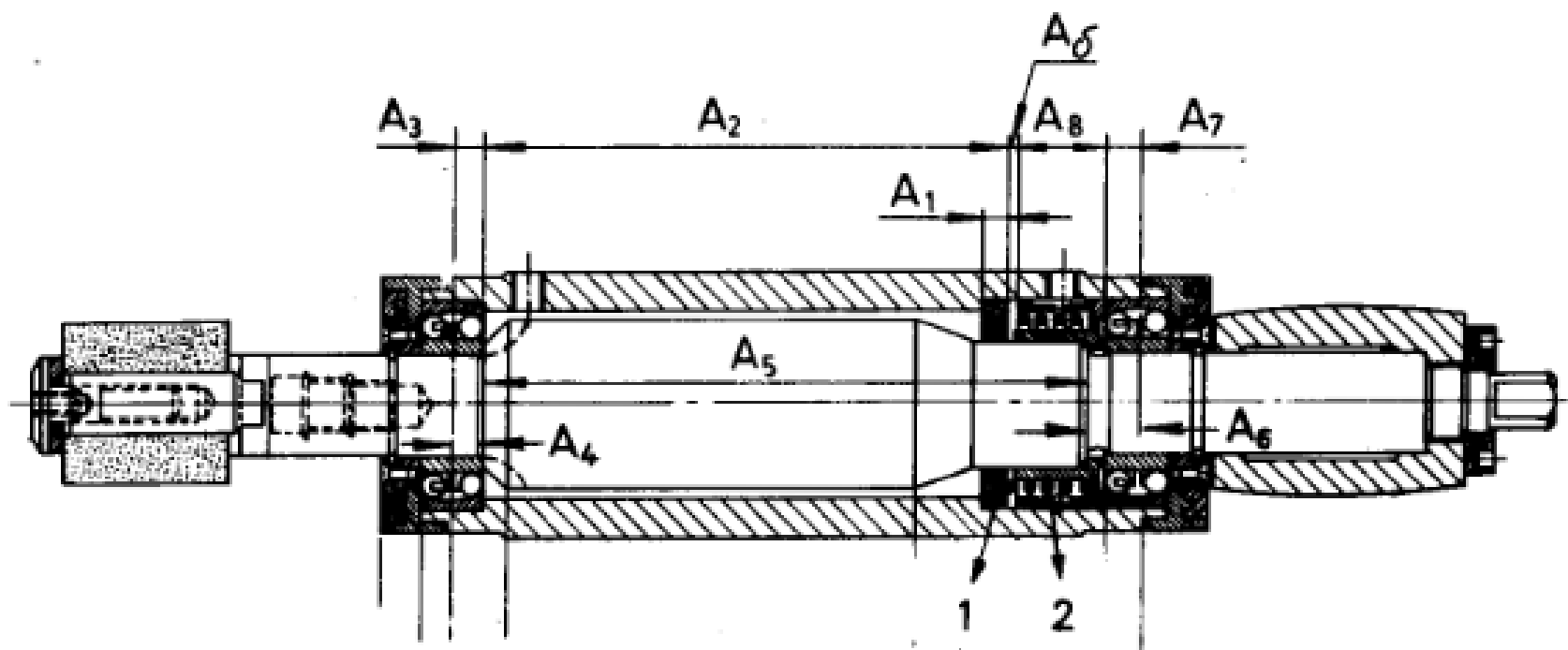
$$e_{sR} = 0,100 - (-0,100) = 0,200\text{mm}$$

$$e_{iR} = -0,050 - (-0,030) = 0,020\text{mm}$$

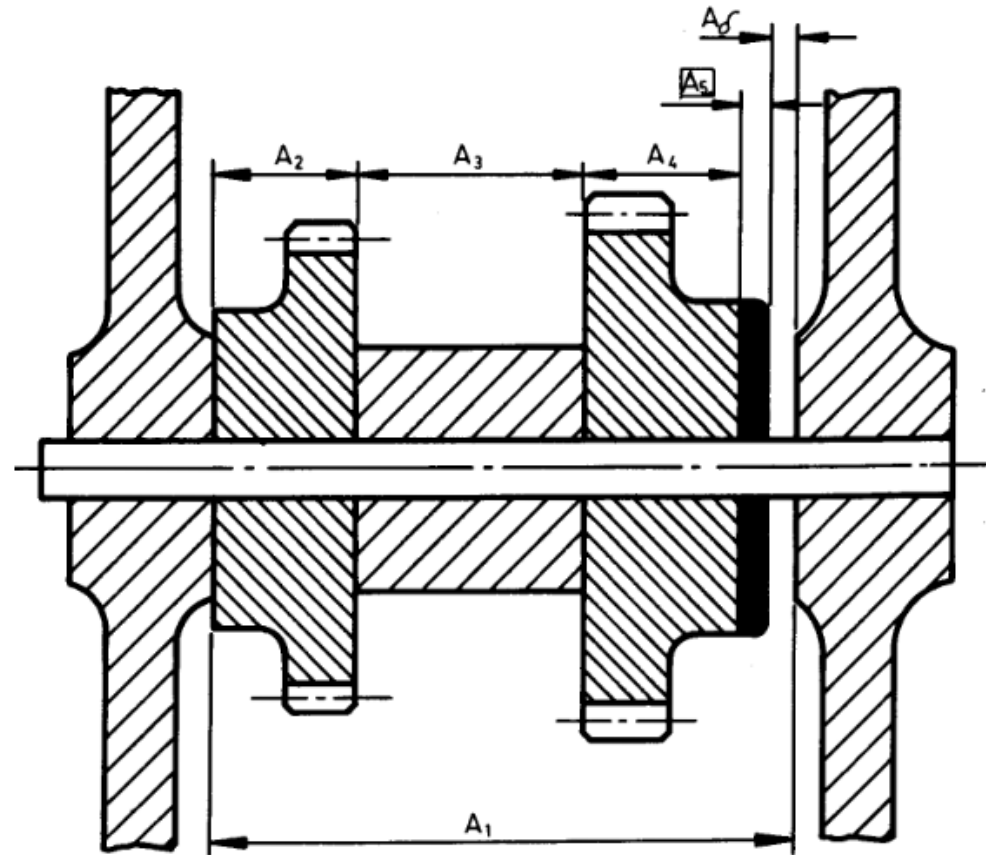
$$R = 25 - 24 = 1 \text{ mm} \quad t_R = 0,150 + 0,070 = 0,220 \text{ mm}$$

$$R = 1 \begin{matrix} +0,200 \\ -0,020 \end{matrix} \text{ mm}$$

Exemplos:



Cadeia de dimensões principal



A_1 = distância entre as paredes da caixa. É uma dimensão \oplus

A_2 = largura da engrenagem. É uma dimensão \ominus

A_3 = largura do anel de espaçamento. É uma dimensão \ominus

A_4 = largura da engrenagem. É uma dimensão \ominus

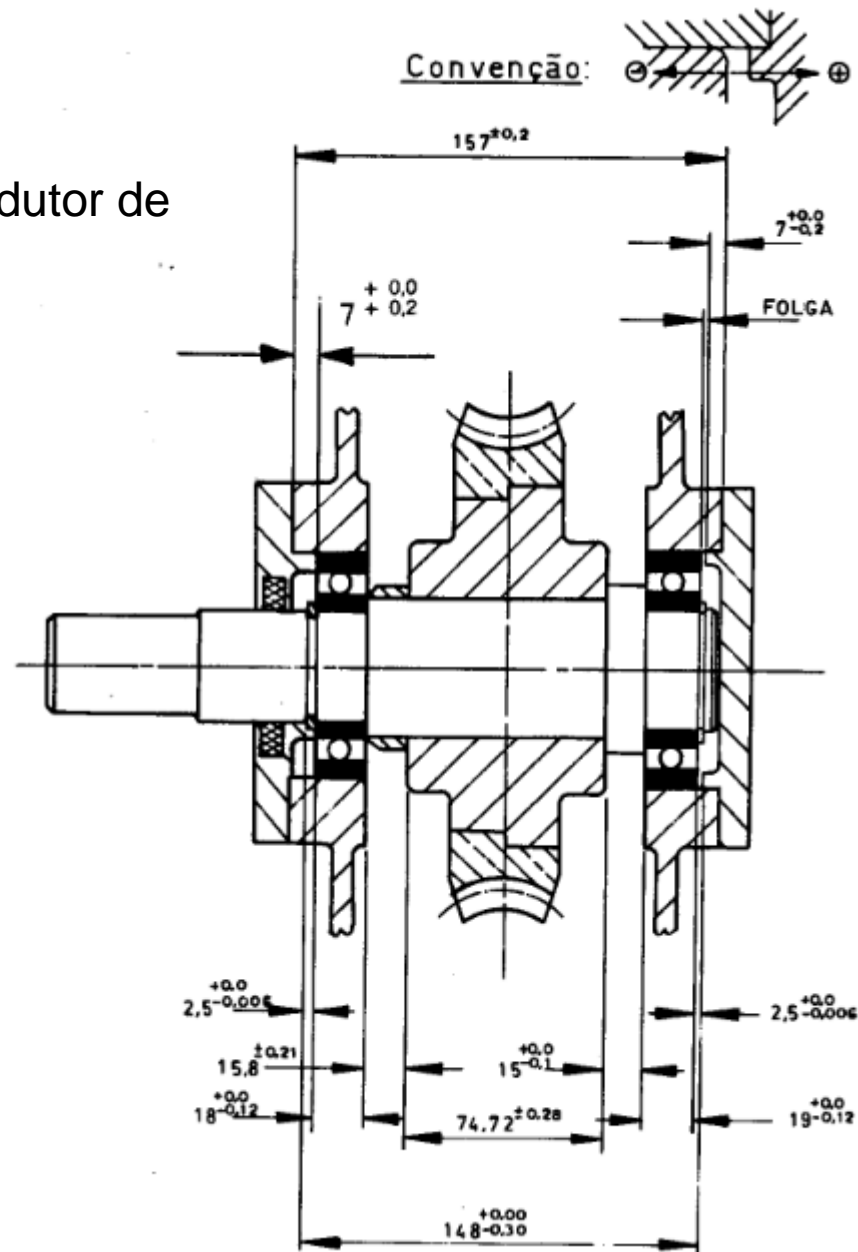
A_δ = Folga. É a dimensão final (resultante)

A_5 Elemento de compensação: a folga resultante entre a parede direita da caixa e a face direita da engrenagem 4 é medida e um anel 5 de dimensão apropriada é inserido de modo a obter a folga necessária



Exemplo de cadeia
dimensional:

Eixo da coroa de um redutor de
parafuso sem-fim





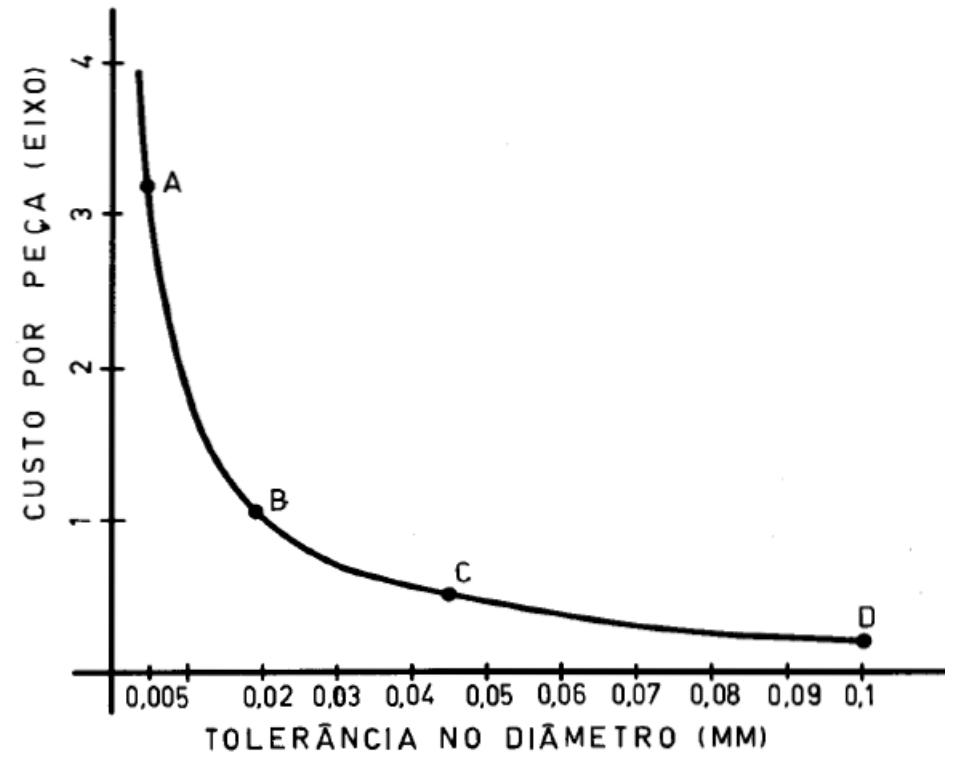
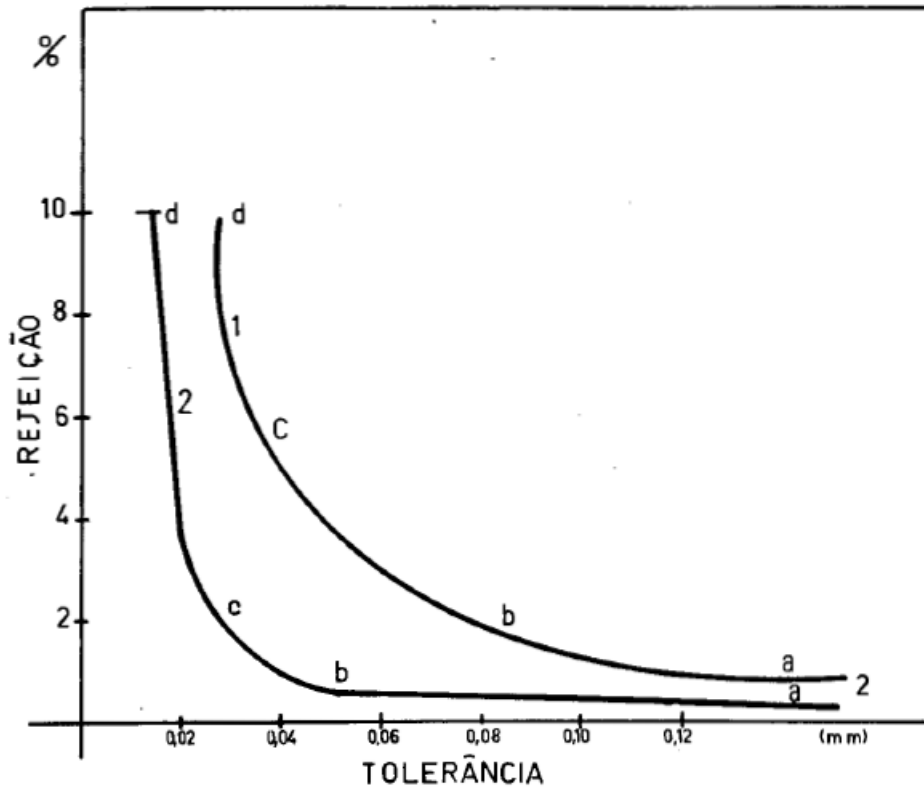
MÉTODO DA INTERCAMBIABILIDADE TOTAL

- Vantagens
 - Grandes séries
 - Elimina paradas na linha de produção
 - Permite fluxo contínuo resultando em maior produção
 - Controles ficam mais fáceis:
 - Tempos-padrão
 - Programa de produção
 - Planejamento e
 - Controle de produção
- Desvantagens
 - Investimento em máquinas mais precisas
 - Custo maior de fabricação

MÉTODO DA INTERCAMBIABILIDADE LIMITADA

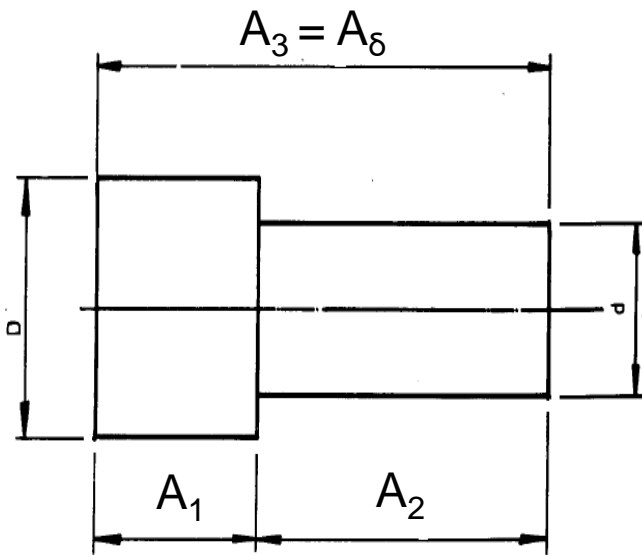
- Vantajoso para lotes fechados:
 - Algumas máquinas operatrizes
 - Equipamentos pesados e meio pesados
 - Máquinas agrícolas

CRITÉRIO DE ESCOLHA

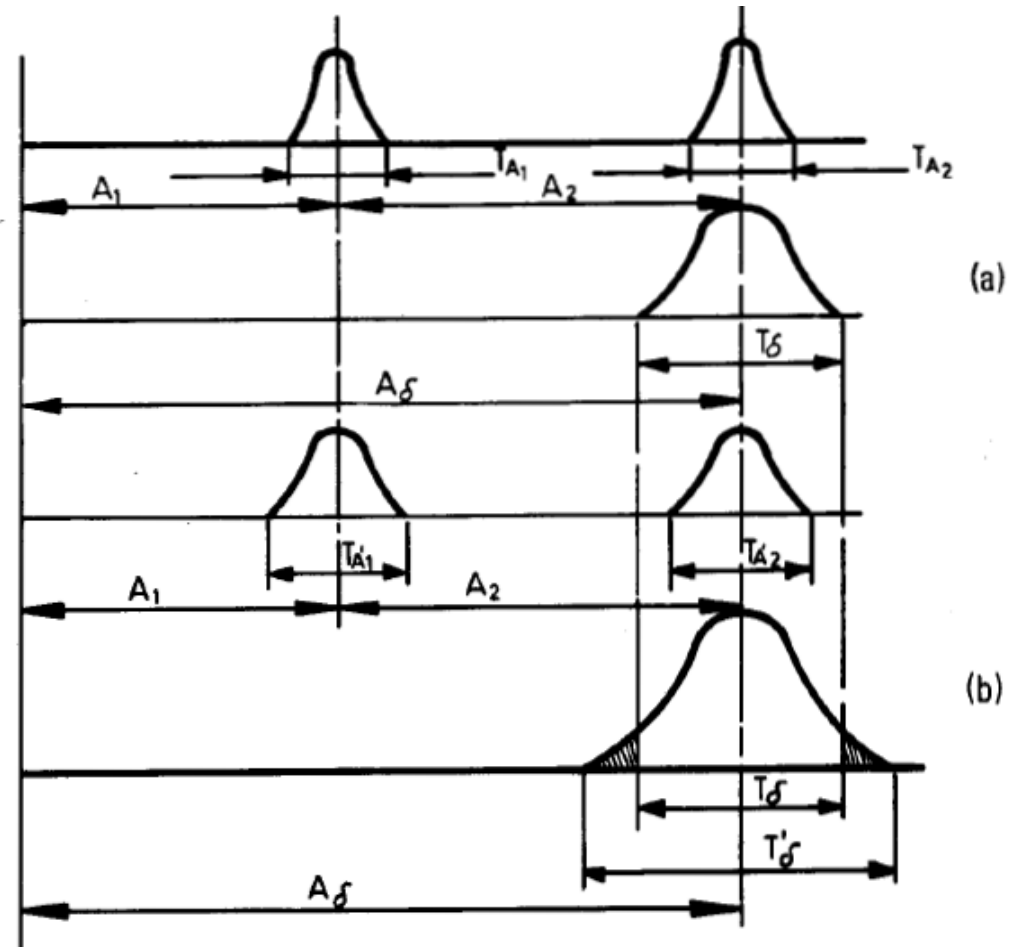


MÉTODO DA INTERCAMBIABILIDADE LIMITADA

Formulação Analítica



Suponha a cadeia dimensional acima, com 3 elementos: A_1 , A_2 (componentes normais) e $A_3 = A_\delta$ (componente final).



Comparação entre método da intercambiabilidade total a) e limitada b)

Teoria das

probabilidades: $\sigma_{\delta}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_{m-1}^2 = \sum_{i=1}^{m-1} \sigma_i^2,$

σ_{δ}^2 – variância da tolerância do componente final,
 σ_i^2 – variância da tolerância dos componentes normais,
 m = número de componentes, inclusive o final.

Coefficiente que caracteriza a distribuição de frequência:

$$k_i = \frac{t_i}{\sigma_i},$$

$$k_{\delta} = \frac{t_{\delta}}{\sigma_{\delta}}.$$

$$\frac{t_{\delta}^2}{k_{\delta}^2} = \frac{t_1^2}{k_1^2} + \frac{t_2^2}{k_2^2} + \cdots + \frac{t_{m-1}^2}{k_{m-1}^2}$$

$$\frac{t_{\delta}}{k_{\delta}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \frac{t_i^2}{k_i^2}},$$

Supondo que todos os componentes da cadeia dimensional sejam fabricados segundo a mesma lei de variação de dispersão:

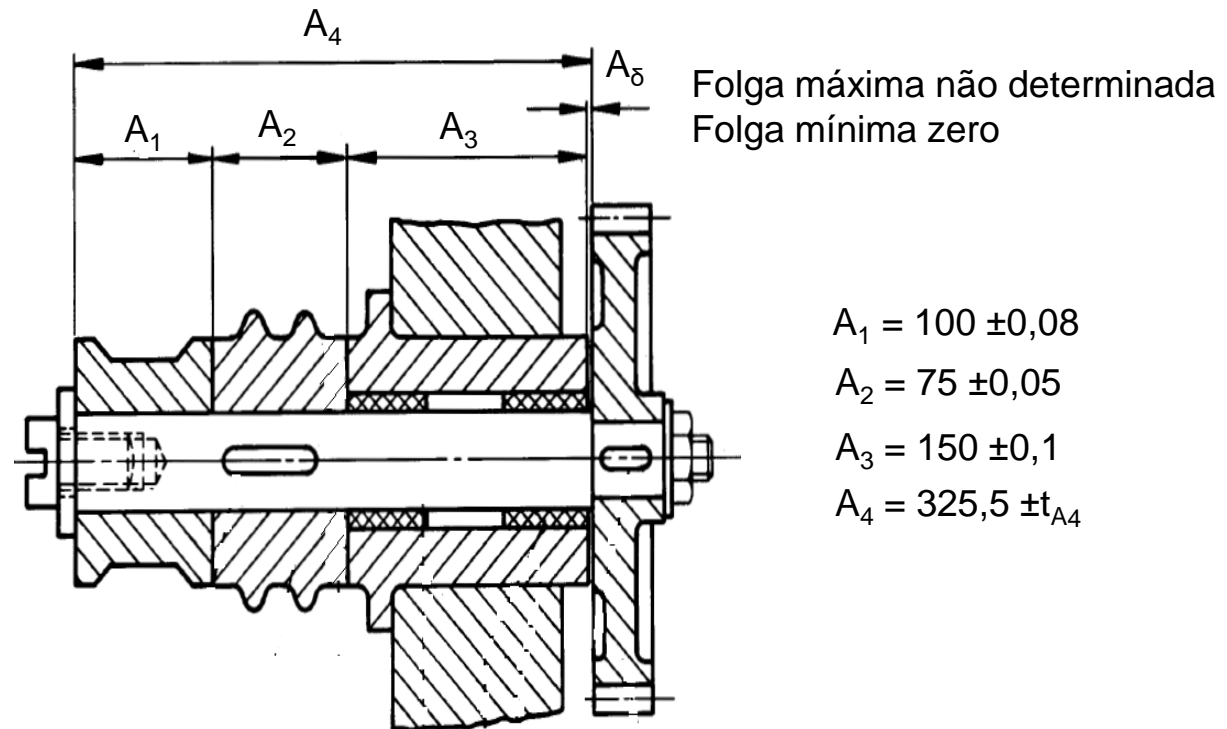
$$t_{\delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} t_i^2}.$$



k	R	k	R	k	R	k	R
0,00	1,0000	0,39	0,6965	0,78	0,4354	1,17	0,2420
0,01	0,9920	0,40	0,6892	0,79	0,4295	1,18	0,2360
0,02	0,9840	0,41	0,6818	0,80	0,4237	1,19	0,2301
0,03	0,9761	0,42	0,6745	0,81	0,4179	1,20	0,2241
0,04	0,9681	0,43	0,6672	0,82	0,4122	1,21	0,2183
0,05	0,9601	0,44	0,6599	0,83	0,4065	1,22	0,2125
0,06	0,9522	0,45	0,6527	0,84	0,4009	1,23	0,2167
0,07	0,9442	0,46	0,6455	0,85	0,3953	1,24	0,2110
0,08	0,9362	0,47	0,6384	0,86	0,3898	1,25	0,2153
0,09	0,9283	0,48	0,6312	0,87	0,3843	1,26	0,2097
0,10	0,9203	0,49	0,6241	0,88	0,3789	1,27	0,2041
0,11	0,9124	0,50	0,6171	0,89	0,3735	1,28	0,2085
0,12	0,9045	0,51	0,6101	0,90	0,3681	1,29	0,2029
0,13	0,8966	0,52	0,6031	0,91	0,3628	1,30	0,1973
0,14	0,8887	0,53	0,5961	0,92	0,3575	1,31	0,1917
0,15	0,8808	0,54	0,5892	0,93	0,3524	1,32	0,1861
0,16	0,8729	0,55	0,5823	0,94	0,3472	1,33	0,1805
0,17	0,8650	0,56	0,5755	0,95	0,3421	1,34	0,1749
0,18	0,8572	0,57	0,5687	0,96	0,3371	1,35	0,1693
0,19	0,8493	0,58	0,5619	0,97	0,3320	1,36	0,1637
0,20	0,8415	0,59	0,5552	0,98	0,3271	1,37	0,1581
0,21	0,8337	0,60	0,5485	0,99	0,3222	1,38	0,1525
0,22	0,8259	0,61	0,5419	1,00	0,3173	1,39	0,1469
0,23	0,8181	0,62	0,5353	1,01	0,3125	1,40	0,1413
0,24	0,8103	0,63	0,5287	1,02	0,3077	1,41	0,1357
0,25	0,8026	0,64	0,5222	1,03	0,3030	1,42	0,1301
0,26	0,7949	0,65	0,5157	1,04	0,2983	1,43	0,1245
0,27	0,7872	0,66	0,5093	1,05	0,2937	1,44	0,1189
0,28	0,7795	0,67	0,5029	1,06	0,2891	1,45	0,1133
0,29	0,7718	0,68	0,4965	1,07	0,2846	1,46	0,1077
0,30	0,7642	0,69	0,4902	1,08	0,2801	1,47	0,1021
0,31	0,7566	0,70	0,4839	1,09	0,2757	1,48	0,0965
0,32	0,7490	0,71	0,4777	1,10	0,2713	1,49	0,0909
0,33	0,7414	0,72	0,4715	1,11	0,2670	1,50	0,0853
0,34	0,7339	0,73	0,4654	1,12	0,2627	1,51	0,0797
0,35	0,7263	0,74	0,4593	1,13	0,2585	1,52	0,0741
0,36	0,7188	0,75	0,4533	1,14	0,2543	1,53	0,0685
0,37	0,7114	0,76	0,4473	1,15	0,2501	1,54	0,0629
0,38	0,7039	0,77	0,4413	1,16	0,2460	1,55	0,0573
1,56	0,1188	1,94	0,0524	2,32	0,0203	2,70	0,0069
1,57	0,1164	1,95	0,0512	2,33	0,0198	2,71	0,0067
1,58	0,1141	1,96	0,0500	2,34	0,0193	2,72	0,0065
1,59	0,1118	1,97	0,0488	2,35	0,0188	2,73	0,0063
1,60	0,1096	1,98	0,0477	2,36	0,0183	2,74	0,0061
1,61	0,1074	1,99	0,0466	2,37	0,0178	2,75	0,0060

k	R	k	R	k	R	k	R
1,62	0,1052	2,00	0,0455	2,38	0,0173	2,76	0,0058
1,63	0,1031	2,01	0,0444	2,39	0,0168	2,77	0,0056
1,64	0,1010	2,02	0,0434	2,40	0,0164	2,78	0,0054
1,65	0,0989	2,03	0,0424	2,41	0,0160	2,79	0,0053
1,66	0,0970	2,04	0,0414	2,42	0,0155	2,80	0,0051
1,67	0,0949	2,05	0,0404	2,43	0,0151	2,81	0,0050
1,68	0,0930	2,06	0,0394	2,44	0,0147	2,82	0,0048
1,69	0,0910	2,07	0,0385	2,45	0,0143	2,83	0,0047
1,70	0,0891	2,08	0,0375	2,46	0,0139	2,84	0,0045
1,71	0,0873	2,09	0,0366	2,47	0,0135	2,85	0,0044
1,72	0,0854	2,10	0,0357	2,48	0,0131	2,86	0,0042
1,73	0,0836	2,11	0,0349	2,49	0,0128	2,87	0,0041
1,74	0,0819	2,12	0,0340	2,50	0,0124	2,88	0,0040
1,75	0,0801	2,13	0,0332	2,51	0,0121	2,89	0,0039
1,76	0,0784	2,14	0,0324	2,52	0,0117	2,90	0,0037
1,77	0,0767	2,15	0,0316	2,53	0,0114	2,91	0,0036
1,78	0,0751	2,16	0,0308	2,54	0,0111	2,92	0,0035
1,79	0,0735	2,17	0,0300	2,55	0,0108	2,93	0,0034
1,80	0,0719	2,18	0,0293	2,56	0,0105	2,94	0,0033
1,81	0,0703	2,19	0,0285	2,57	0,0102	2,95	0,0032
1,82	0,0688	2,20	0,0278	2,58	0,0099	2,96	0,0031
1,83	0,0673	2,21	0,0271	2,59	0,0096	2,97	0,0030
1,84	0,0658	2,22	0,0264	2,60	0,0093	2,98	0,0029
1,85	0,0643	2,23	0,0257	2,61	0,0091	2,99	0,0028
1,86	0,0629	2,24	0,0251	2,62	0,0088	3,00	0,0027
1,87	0,0615	2,25	0,0244	2,63	0,0085		
1,88	0,0601	2,26	0,0238	2,64	0,0083		
1,89	0,0588	2,27	0,0232	2,65	0,0081		
1,90	0,0574	2,28	0,0226	2,66	0,0078		
1,91	0,0561	2,29	0,0220	2,67	0,0076		
1,92	0,0549	2,30	0,0214	2,68	0,0074		
1,93	0,0536	2,31	0,0209	2,69	0,0071		

$$R = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\lambda}^{\infty} e^{-x^2/2\sigma^2} dx$$



$$A_1 = 100 \pm 0,08$$

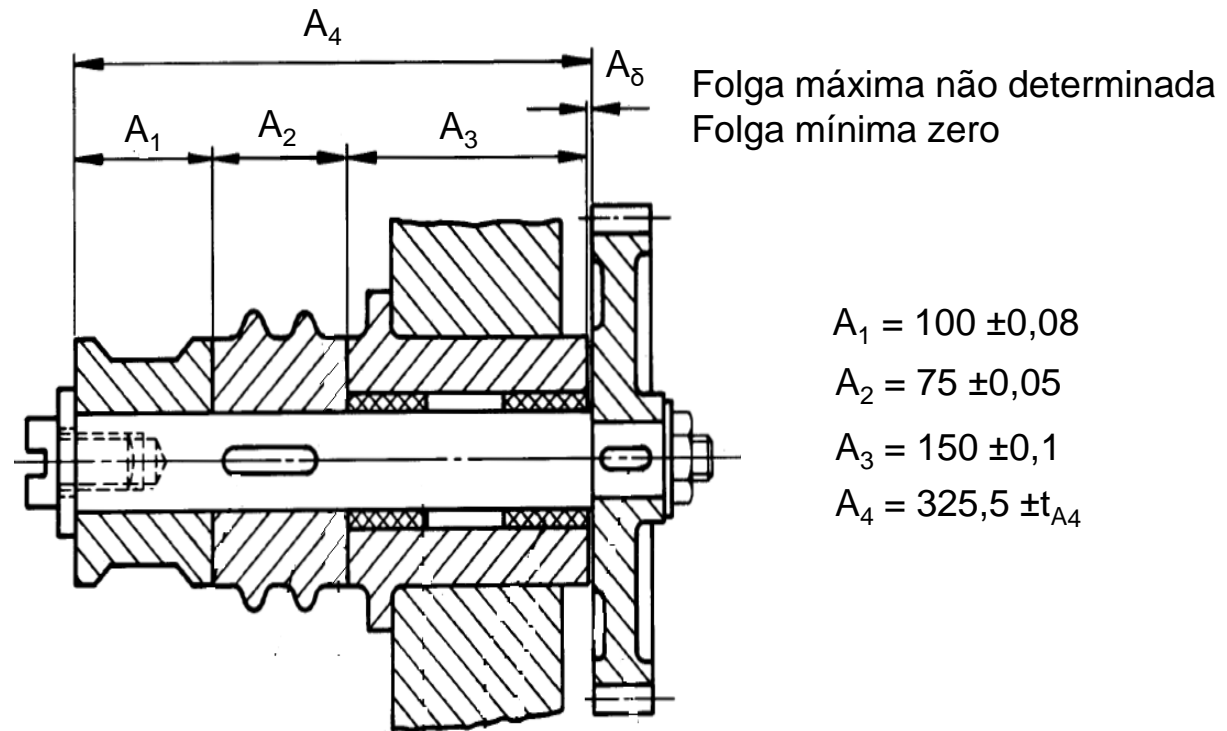
$$A_2 = 75 \pm 0,05$$

$$A_3 = 150 \pm 0,1$$

$$A_4 = 325,5 \pm t_{A_4}$$

$$A_\delta = \sum_{i=1}^{m-1} A_i \Rightarrow A_\delta = A_4 - A_1 - A_2 - A_3 = 325,5 - 100 - 75 - 150 = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_\delta = \sum_{i=1}^{m-1} t_i$$



$$A_1 = 100 \pm 0,08$$

$$A_2 = 75 \pm 0,05$$

$$A_3 = 150 \pm 0,1$$

$$A_4 = 325,5 \pm t_{A_4}$$

$$A_\delta = \sum_{i=1}^{m-1} A_i \Rightarrow A_\delta = A_4 - A_1 - A_2 - A_3 = 325,5 - 100 - 75 - 150 = 0,5 \text{ mm}$$

$$t_\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} t_i^2}$$

Exemplo de montagem com
anel de compensação
(resolvido na lousa)

