

**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 / 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21) 210-3122
Fax: (21) 220-1762/220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2001,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

MAR 2001

NBR 14646

Tolerâncias geométricas - Requisitos de máximo e requisitos de mínimo material

Origem: Projeto 04:005.06-014:2000
ABNT/CB-04 - Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos
CE-04:005.06 - Comissão de Estudo de Tolerâncias e Ajustes
NBR 14646 - Technical drawings - Geometrical tolerancing - Maximum material requirement, least material requirement, reciprocity
Descriptors: Technical drawings. Maximum and least material requirement. Reciprocity requirement. Geometrical tolerancing
Esta Norma foi baseada na ISO 2692:1988
Válida a partir de 30.04.2001

Palavras-chave: Desenho técnico. Condições de máximo e mínimo material. Condição de reciprocidade. Tolerâncias geométricas

24 páginas

Sumário

Prefácio

- 0 Introdução
- 1 Objetivo
- 2 Referências normativas
- 3 Definições
- 4 Princípio de máximo material
- 5 Aplicação do princípio de máximo material
- 6 Exemplo de aplicação de máximo material M para elementos tolerados
- 7 Tolerância geométrica zero
- 8 Exemplos de aplicação do princípio de máximo material para elementos tolerados de referência
- 9 Requisito de mínimo material (LMR) - (*least material requirement*)
- 10 Exemplos de aplicação para requisito de mínimo material

Prefácio

A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ABNT/ONS, circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

0 Introdução

0.1 A montagem de peças depende da relação entre a dimensão real e os erros geométricos reais dos elementos a serem montados, tais como os furos de montagem em dois flanges e os respectivos parafusos de fixação.

A folga mínima de montagem ocorre quando cada um dos elementos está na dimensão de máximo material (isto é, maior parafuso menor furo) e quando seus erros geométricos (isto é, os erros de posição) estão no seu máximo.

A folga de montagem cresce para o máximo quando as dimensões reais dos elementos de montagem estão mais afastados das suas dimensões de máximo material (isto é, menor eixo e maior furo) e quando os erros geométricos (isto é, erros de posição) são zero.

Assim tem-se que, se as dimensões reais de um elemento de montagem não atingirem a dimensão de máximo material, a tolerância geométrica indicada pode ser aumentada sem comprometer a montagem da outra parte.

Isto é chamado "Princípio de Máximo Material" e é indicado em desenho pelo símbolo \textcircled{M} .

As figuras nesta Norma são somente ilustrações para auxiliar o usuário no entendimento da condição de máximo material.

Em alguns exemplos, as figuras mostram detalhes adicionais para ênfase; em outros exemplos, as figuras foram deixadas incompletas deliberadamente. Valores numéricos de dimensões e tolerâncias foram dadas somente como ilustração.

Para simplificar, os exemplos são limitados a cilindros e planos.

0.2 Para uniformizar, todas as figuras desta Norma estão no primeiro diedro.

Deve ser entendido que o terceiro diedro pode ser igualmente utilizado sem prejuízo dos princípios estabelecidos.

Para representação definitiva (proporção e dimensão) dos símbolos para tolerância geométrica, ver ISO 7083.

1 Objetivo

Esta Norma define e descreve o princípio de máximo material e especifica sua aplicação. A utilização do princípio de máximo material facilita a fabricação sem prejuízo da intercambiabilidade onde há uma dependência mútua de dimensão e geometria.

NOTAS

1 O requisito de envolvente (ver 5.2.2) para um elemento simples deve ser indicado pelo símbolo \textcircled{E} (ver ISO 8015)

2 Os símbolos utilizados nas figuras desta Norma estão de acordo com a NBR 6439.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

NBR 6409:1997 - Tolerâncias geométricas - Tolerância de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicação em desenho

ISO 7083:1983 - Technical drawings - Symbols for geometrical tolerancing - Proportions and dimensions

ISO 8015:1985 - Technical drawings - Fundamental tolerancing principle

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

3.1 dimensão efetiva local: Qualquer distância individual em qualquer seção de um elemento, isto é, qualquer tamanho medido entre dois pontos opostos (exemplos: ver figuras 1, 12 b) e 13 b)).

3.2 Dimensão de ajuste

3.2.1 dimensão de ajuste para um elemento externo: Dimensão do menor elemento perfeito que pode ser circunscrito ao elemento, de maneira que ele só contacte a superfície nos pontos mais altos.

NOTA - Por exemplo, a dimensão do menor cilindro perfeito ou a menor distância entre dois pontos paralelos perfeitos, os quais apenas contactam os pontos mais altos da superfície efetiva (ver figura 1).

3.2.2 dimensão de ajuste para um elemento interno: Dimensão do maior elemento perfeito que pode ser inscrito ao elemento de maneira que ele só contacte a superfície nos pontos mais altos.

NOTA - Por exemplo, a dimensão do maior cilindro perfeito ou a maior distância entre dois planos paralelos perfeitos, os quais apenas contactam os pontos mais altos da superfície efetiva.

3.3 condição de máximo material (MMC) - (*maximum material condition*): Estado do elemento considerado no qual todos os pontos estão na dimensão limite e o elemento está em seu máximo material, isto é, mínimo diâmetro do furo e máximo diâmetro do eixo (ver figura 1).

NOTA - O eixo do elemento não necessita ser geometricamente perfeito.

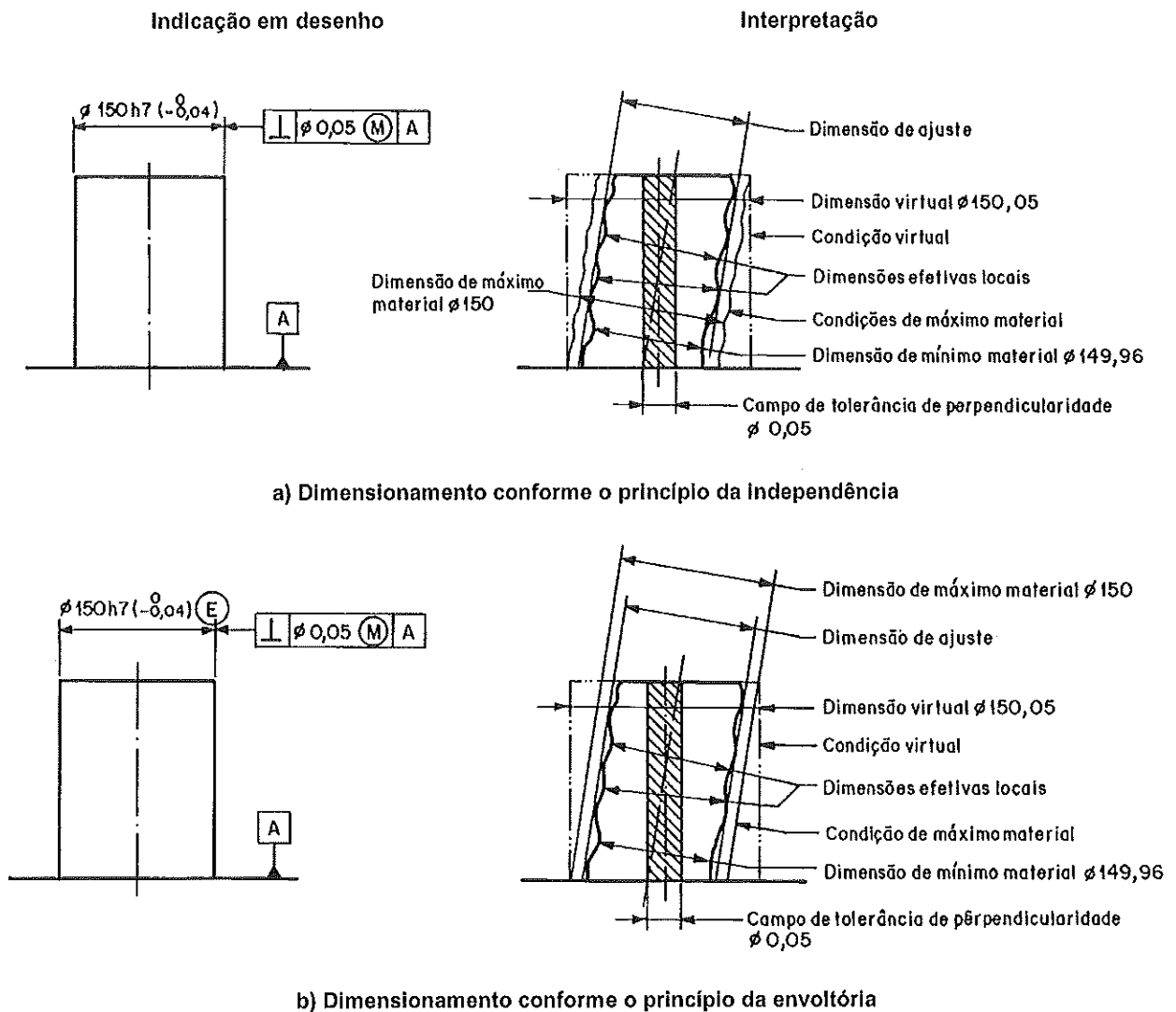


Figura 1

3.4 dimensão de máximo material (MMS) - (*maximum material size*): Dimensão que define a condição de máximo material de um elemento (ver figura 1).

3.5 condição de mínimo material (LMC) - (*least material condition*): Estado do elemento considerado no qual todos os pontos estão na dimensão limite e o elemento está em seu mínimo material, isto é, máximo diâmetro do furo e mínimo diâmetro do eixo.

3.6 dimensão de mínimo material (LMS) (*least material size*): Dimensão que define a condição de mínimo material de um elemento (ver figura 1).

3.7 condição virtual: Contorno limite, de forma perfeita, definido pelos dados do desenho do elemento. A condição é gerada pelo efeito conjunto da dimensão de máximo material e das tolerâncias geométricas.

Quando o princípio de máximo material for aplicado, apenas as tolerâncias geométricas seguidas pelo símbolo \textcircled{M} devem ser levadas em conta na determinação da condição virtual (ver figura 1).

NOTA - A condição virtual representa a dimensão de projeto do calibrador de função.

3.8 dimensão virtual: dimensão que define a condição virtual de um elemento.

3.9 condição virtual de mínimo material (LMVC) - (*least material virtual condition*): Contorno de forma perfeita e dimensão de mínimo material.

3.10 dimensão virtual de mínimo material (LMVS) - (*least material virtual size*): Gerada pelo efeito conjunto da dimensão de mínimo material (LMS) e a tolerância geométrica seguida pelo símbolo \textcircled{L} .

NOTA - Para eixos: LMVS = LMS - tolerância geométrica.

Para furos: LMVS = LMS + tolerância geométrica.

4 Princípio de máximo material

4.1 Requisitos

O princípio de máximo material é um princípio de tolerância que requer que a condição virtual para o(s) elemento(s) tolerado(s) e, se indicado, a condição de máximo material de forma perfeita para o(s) elemento(s) de referência(s), não deve(m) ser violado(s).

Esse princípio se aplica a eixos ou planos médios e leva em conta a relação mútua de dimensão e tolerâncias geométricas. A aplicação deste princípio deve ser indicada pelo símbolo M .

4.2 Princípio de máximo material aplicado a elemento(s) tolerado(s)

O princípio de máximo material, quando aplicado a elemento(s) tolerado(s), permite um acréscimo na tolerância geométrica indicada, quando o elemento tolerado se desvia de sua condição de máximo material, desde que não ultrapasse a condição virtual.

4.3 Princípio de máximo material aplicado a elemento(s) de referência(s)

Quando o princípio de máximo material é aplicado a elemento(s) de referência(s), o eixo de referência ou o plano médio pode variar em relação ao elemento tolerado, se houver um desvio da condição de máximo material do elemento de referência. O valor da variação é igual à dimensão de ajuste do elemento de referência a partir da dimensão de máximo material (ver figuras 27 b) e 27 c)).

NOTA - O desvio do elemento de referência a partir da dimensão de máximo material não pode ser acrescentado à tolerância dos elementos tolerados em relação um ao outro.

5 Aplicação do princípio de máximo material

Em todos os casos, o projetista deve decidir se o princípio de máximo material pode ser utilizado.

NOTA - O princípio de máximo material não deve ser utilizado em aplicação onde a função pode ser prejudicada por um acréscimo na tolerância, tais como acoplamentos cinemáticos, centros de engrenagens, furos roscados, furos para montagem com interferência.

5.1 Tolerância de posição para um conjunto de furos

O princípio de máximo material é mais comumente usado em tolerâncias de posição.

NOTA - No cálculo da dimensão virtual, assume-se que os pinos e furos estejam nas suas dimensões de máximo e sejam de forma perfeita.

5.1.1 A indicação da tolerância de posição para um conjunto de quatro furos é mostrada na figura 2.

A indicação da tolerância de posição para um conjunto de quatro pinos fixos, os quais montam-se no conjunto de furos, é mostrado na figura 4.

A dimensão mínima dos furos é $\phi 8,1$ - esta é a dimensão de máximo material.

A dimensão máxima dos pinos é $\phi 7,9$ - esta é a dimensão de máximo material.

5.1.2 A diferença entre a dimensão de máximo material dos furos e dos pinos é:

$$8,1 - 7,9 = 0,2$$

A soma das tolerâncias de posição para os furos e pinos não deve exceder a diferença de 0,2. Neste exemplo, a tolerância é igualmente distribuída entre furos e pinos. Desta forma, a tolerância de posição para os furos é $\phi 0,1$ (ver figura 2) e a tolerância de posição para os pinos é também $\phi 0,1$ (ver figura 4).

Os campos de tolerância de $\phi 0,1$ estão localizados nas suas posições teoricamente exatas (ver figuras 3 e 5).

Dependendo da dimensão efetiva de cada elemento, o acréscimo na tolerância de posição pode ser diferente para cada elemento.

Indicação no desenho

Interpretação

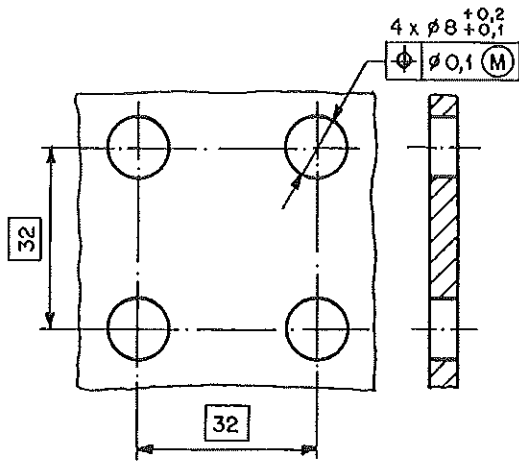


Figura 2

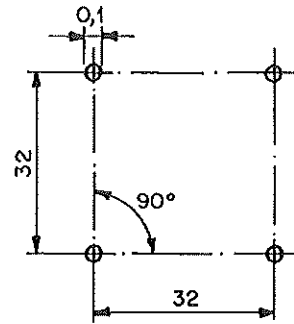


Figura 3

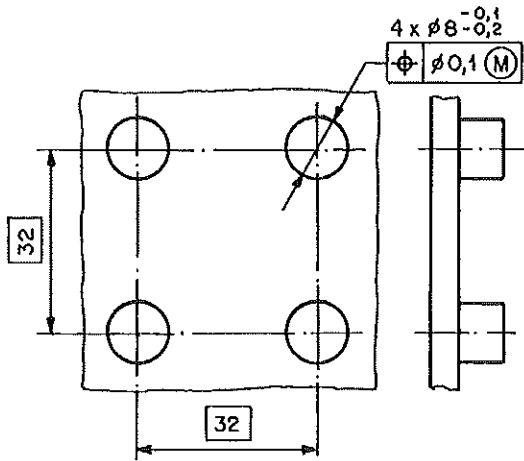


Figura 4

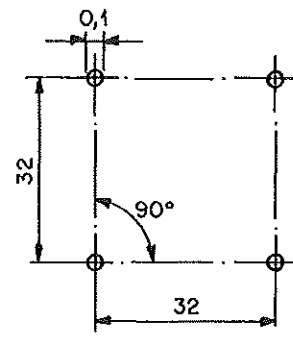


Figura 5

5.1.3 A figura 6 mostra quatro superfícies cilíndricas para cada um dos quatro furos, todos estando em sua dimensão de máximo material e de forma perfeita. Os eixos estão localizados nas posições extremas dentro do campo de tolerância.

A figura 8 mostra os pinos correspondentes na sua dimensão de máximo material. Pode-se ver pelas figuras 6 e 9 que a montagem das peças ainda é possível, mesmo sob as condições mais desfavoráveis.

5.1.3.1 Um dos furos na figura 6 é mostrado em escala ampliada na figura 7. O campo de tolerância para o eixo é $\phi 0,1$. A dimensão de máximo material do furo é 8,1. Todos círculos de $\phi 8,1$, cujos eixos estão localizados no limite extremo do campo de tolerância 0,1, formam um cilindro envolvente de $\phi 8,0$. Este cilindro envolvente de $\phi 8,0$ está localizado na posição teoricamente exata e forma os limites de função para a superfície do furo.

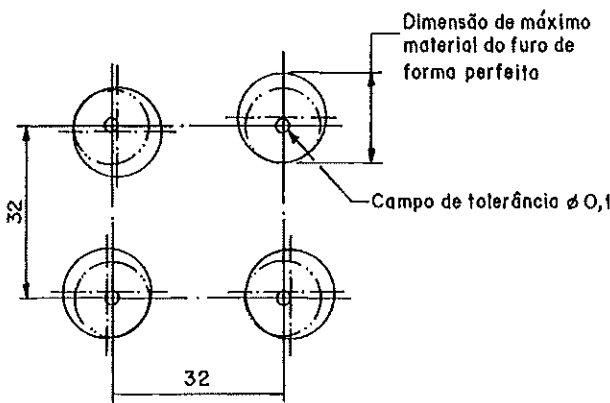


Figura 6

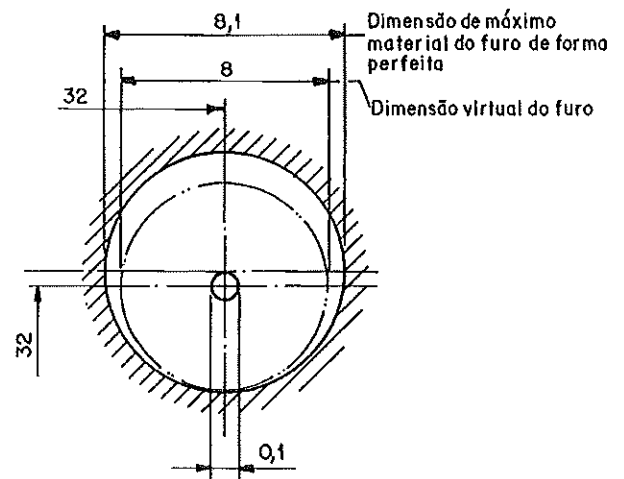


Figura 7

5.1.3.2 Um dos pinos na figura 8 é mostrado em escala ampliada na figura 9. O campo de tolerância para o eixo é $\phi 0,1$. A dimensão de máximo material do pino é $\phi 7,9$. Todos os eixos dos círculos de $\phi 7,9$ estão localizados no limite extremo do campo de tolerância $\phi 0,1$, formando um cilindro envolvente de $\phi 8,0$, condição virtual do pino.

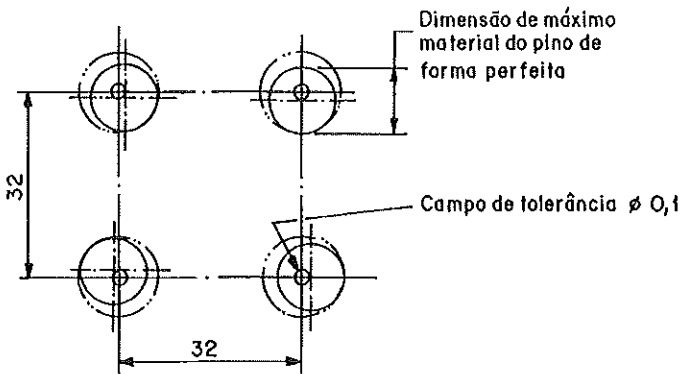


Figura 8

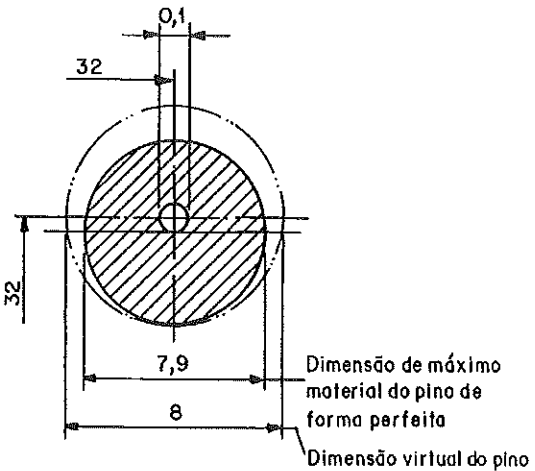


Figura 9

5.1.4 Quando a dimensão do furo é maior que dimensão de máximo material e/ou a dimensão do pino é menor que a dimensão de máximo material, existe um acréscimo na folga entre o pino e o furo, o qual pode ser usado para aumentar as tolerâncias de posição do pino e/ou do furo. Dependendo da dimensão real de cada elemento, o acréscimo na tolerância de posição pode ser diferente para cada elemento.

O caso extremo é quando o furo está na dimensão de mínimo material, isto é, $\phi 8,2$. A figura 10 mostra que o eixo do furo pode ficar em qualquer lugar dentro do campo de tolerância $\phi 0,2$, sem que a superfície do furo ultrapasse o cilindro de dimensão virtual.

A figura 11 mostra uma situação similar em relação aos pinos. Quando o pino está na dimensão de mínimo material, isto é, $\phi 7,8$, o diâmetro do campo de tolerância de posição é $\phi 0,2$.

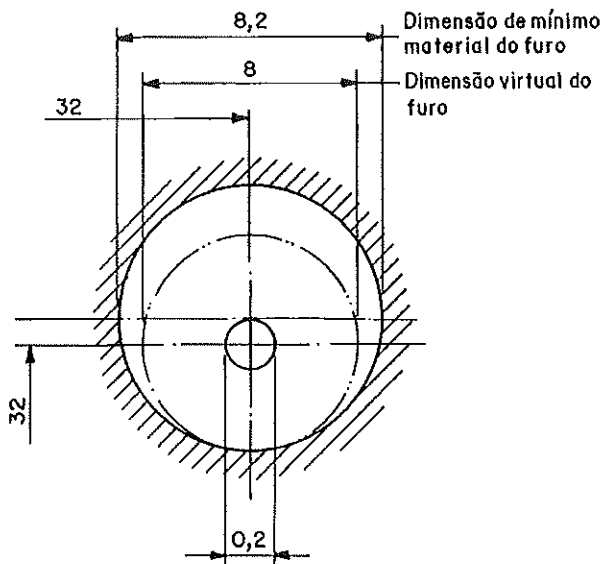


Figura 10

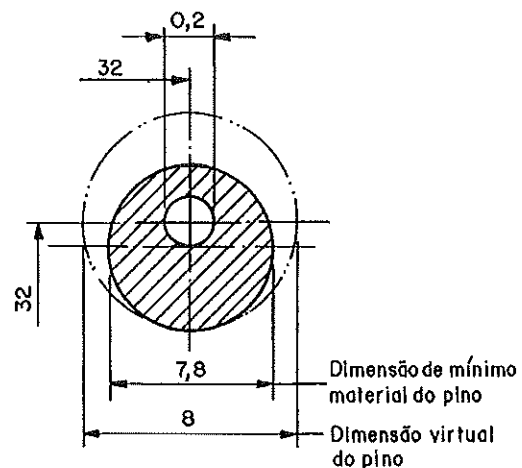


Figura 11

5.1.5 O aumento da tolerância geométrica de uma peça em uma montagem pode ser feito independentemente da peça de ajuste (contrapeça). A montagem será sempre possível, mesmo quando a contrapeça for fabricada nos limites extremos de tolerância, na condição mais desfavorável para a montagem, uma vez que a combinação de desvios de dimensão e geométricos em nenhuma das peças foi excedida, isto é, suas condições virtuais não foram ultrapassadas.

5.2 Tolerância de perpendicularidade de um eixo em relação a um plano de referência

5.2.1 O elemento tolerado da figura 12 a) deve satisfazer as condições mostradas na figura 12 b), isto é, o elemento não deve ultrapassar a condição virtual, isto é $\phi 20,2$ ($\phi 20 + 0,2$), e como todas as dimensões efetivas locais devem ficar entre $\phi 19,9$ e $\phi 20,0$, os afastamentos de retitude das geratrizes ou do eixo não devem exceder 0,2, quando a dimensão efetiva for $\phi 20,0$ (ver figura 12 c)) e não deve exceder 0,3, quando a dimensão efetiva for $\phi 19,9$ (ver figura 12 d)).

5.2.2 Na figura 13 a) a exigência adicional (E) (ver ISO 8015), juntamente com (M) , restringe ainda mais o elemento a permanecer dentro da envolvente forma perfeita na dimensão de máximo material $\phi 20,0$ (ver figura 13b)). Neste exemplo, as dimensões efetivas locais devem permanecer entre $\phi 19,9$ e $\phi 20,0$ e o efeito combinado dos afastamentos de retitude e de circularidade não deve causar que o elemento ultrapasse as condições de envolvente. Por exemplo, o afastamento de retitude das geratrizes ou do eixo deve ser 0,0 (zero) quando a dimensão efetiva for $\phi 20,0$ e não deve exceder 0,1 quando a dimensão efetiva for $\phi 19,9$. Entretanto, o afastamento de perpendicularidade, devido à indicação (M) , pode ser aumentado para 0,3 (dimensão virtual = $\phi 20,0$) quando a dimensão efetiva local do elemento for $\phi 19,9$ (ver figura 13b)).

Indicação no desenho

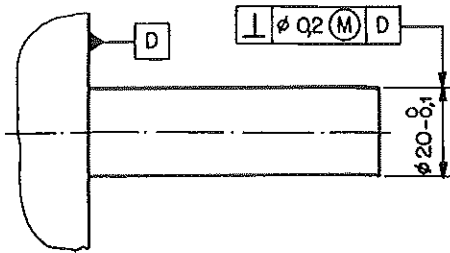
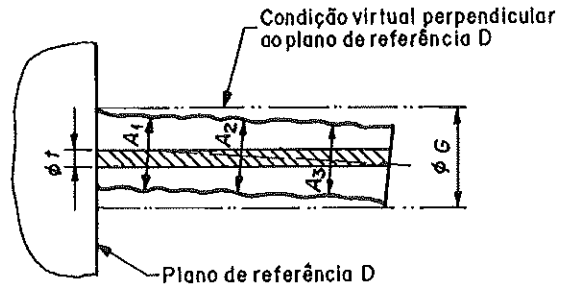


Figura 12 a)

Interpretação



- A_1 a A_3 = Dimensões efetivas locais = 19,9 ... 20
(dimensão de máximo material = $\phi 20$)
- ϕG = Dimensão virtual = $\phi 20,2$
- ϕf = Campo de tolerância = 0,2 ... 0,3

Figura 12 b)

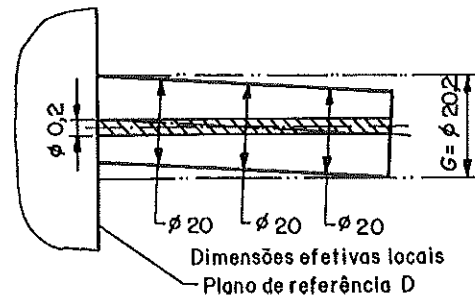


Figura 12 c)

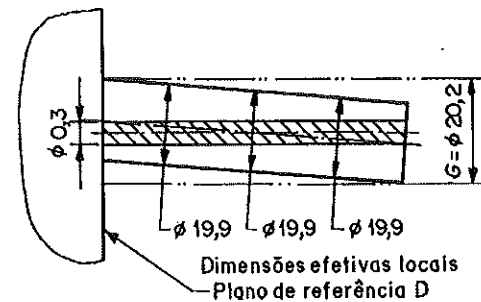


Figura 12 d)

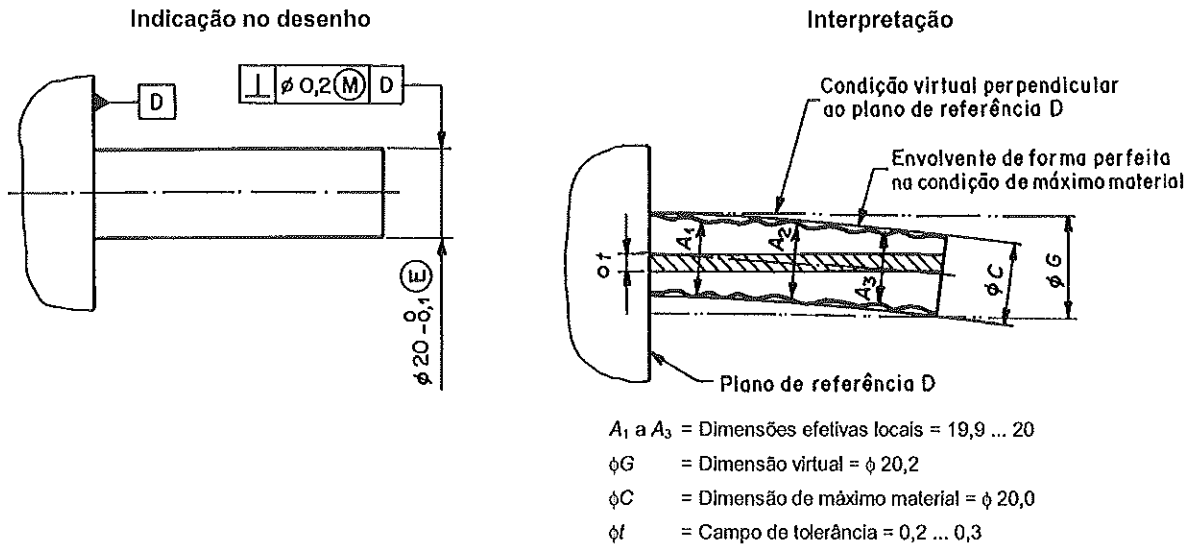


Figura 13 a)

Figura 13 b)

6 Exemplo de aplicação de máximo material (M) para elementos tolerados

6.1 Tolerância de retitude de um eixo

a) Indicação em desenho

Conforme a figura 14 a);

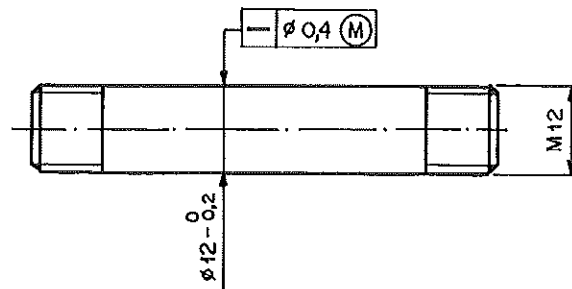


Figura 14 a

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local do elemento deve estar dentro da tolerância dimensional de 0,2 e por isso pode variar entre $\phi 12,0$ e $\phi 11,8$;
- o elemento tolerado deve satisfazer a condição virtual, isto é, o cilindro envolvente de forma perfeita com $\phi 12,4$ ($= \phi 12,0 + 0,4$) ver figuras 14 b) e 14 c);
- o eixo deve, ainda, permanecer dentro do campo de tolerância de retitude de $\phi 0,4$ quando todos diâmetros do elemento estiverem em sua dimensão de máximo material de $\phi 12,0$ (ver figura 14 b)) e pode variar dentro de um campo de tolerância de até $\phi 0,6$ quando todos diâmetros do elemento estiverem em sua dimensão de mínimo material de $\phi 11,8$ (ver figura 14 c)).

NOTAS

1 As figuras 14 b) e 14 c) ilustram casos extremos onde o elemento é de forma teoricamente exata. Na prática o elemento terá dimensão entre as condições extremas com diferentes dimensões efetivas locais.

2 Esta indicação (ver figura 14 a)) pode ser utilizada quando a indicação de uma tolerância de maior diâmetro, associada ao requisito de envoltório, não puder ser aplicada, no caso de um elemento roscado.

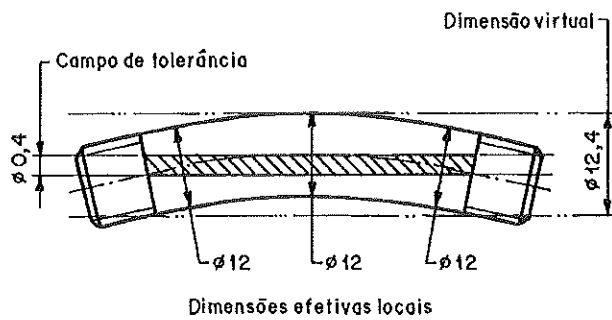


Figura 14 b)

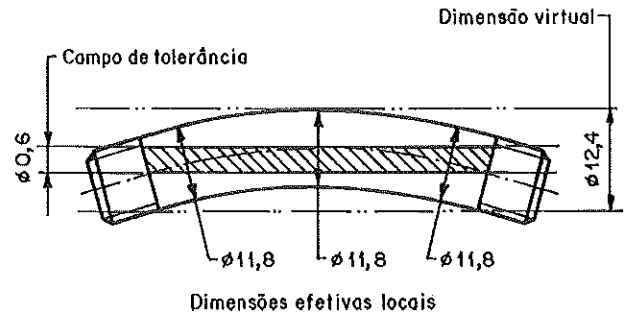


Figura 14 c)

6.2 Tolerância de paralelismo de um eixo em relação a um plano referência

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 15 a);

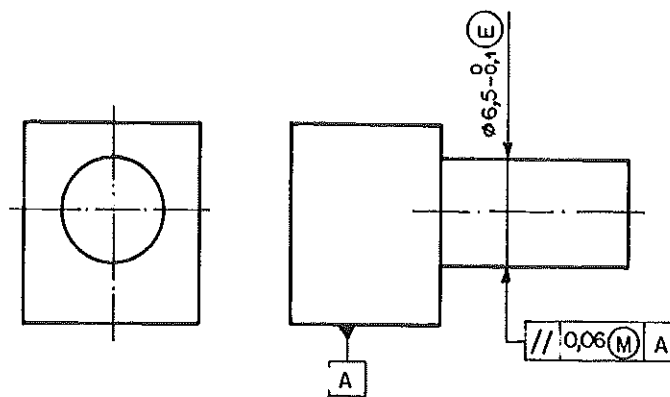


Figura 15 a)

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local do elemento deve permanecer dentro da tolerância dimensional de 0,1 e por isso pode variar entre $\phi 6,5$ e $\phi 6,4$;
- todo o elemento deve estar envolvido por um cilindro de forma perfeita de $\phi 6,5$;
- o elemento tolerado deve satisfazer a condição virtual estabelecida por dois planos paralelos afastados $6,56 (= 6,5 + 0,06)$ e paralelo ao plano de referência A (ver figuras 15 b) e 15 c));

O eixo deve ainda estar entre dois planos paralelos afastados 0,06 e paralelos ao plano de referência A, quando todos os diâmetros do elemento estiverem na sua condição de máximo material de $\phi 6,5$ (ver figura 15 b)), e pode variar dentro de um campo de tolerância (distância entre dois planos paralelos) de até 0,16, quando todos diâmetros do elemento estiverem na sua dimensão de mínimo material de $\phi 6,4$ (ver figura 15 c)).

NOTAS

1 No caso de uma tolerância de paralelismo de um eixo com um plano de referência, o campo de tolerância deve ser o espaço entre dois planos paralelos e não pode ser um campo de tolerância cilíndrico.

2 Como o campo de tolerância de paralelismo é um espaço entre planos paralelos, a condição virtual é o espaço entre dois planos paralelos. A distância entre eles é a dimensão de máximo material mais a tolerância de paralelismo de 0,06, isto é, 6,56. A condição do cilindro perfeito na dimensão de máximo material, conforme indicada por (E), precisa ser verificada separadamente.

3 As figuras 15 b) e 15 c) ilustram casos extremos onde o elemento é de forma teoricamente exata. Na prática o elemento terá dimensão entre as condições extremas com diferentes dimensões efetivas locais.

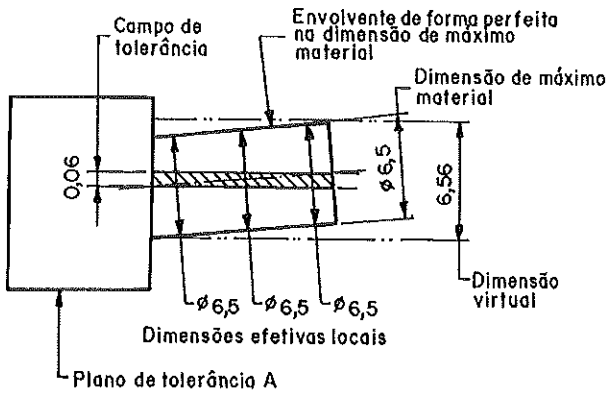


Figura 15 b)

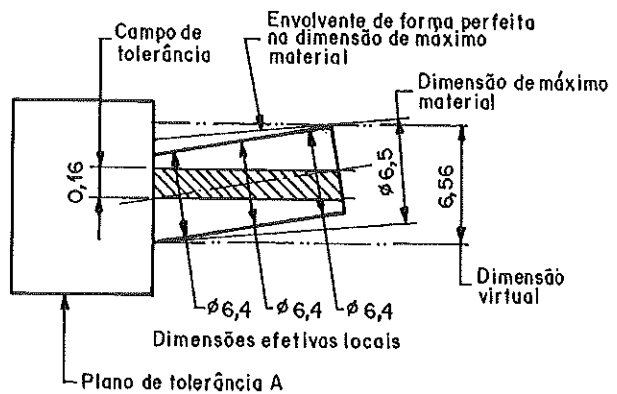


Figura 15 c)

6.3 Tolerância de perpendicularidade de um furo em relação a um plano de referência

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 16 a);

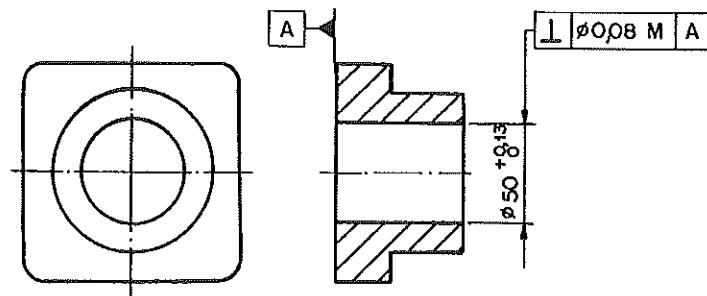


Figura 16 a)

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local do elemento deve permanecer dentro da zona de tolerância dimensional de 0,13 e por isso pode variar entre $\phi 50$ e $\phi 50,13$;
- o elemento tolerado deve satisfazer os limites da condição virtual, isto é, envolver o cilindro de forma perfeita com $\phi 49,92$ ($= \phi 50 - 0,08$) e perpendicular ao plano de referência A (ver figuras 16 b e 16 c);

O eixo deve ainda permanecer dentro do campo de tolerância de $\phi 0,08$, perpendicular ao plano de referência A, quando todos diâmetros do elemento estiverem na sua dimensão de máximo material de $\phi 50$ (ver figura 16 b)), e pode variar dentro de um campo de tolerância de até $\phi 0,21$, quando todos os diâmetros do elemento estiverem na sua dimensão de mínimo material de $\phi 50,13$ (ver figura 16 c)).

NOTA - As figuras 16 b) e 16 c) ilustram os casos extremos, onde o elemento é de forma teoricamente exata. Na prática o elemento terá dimensões entre as condições extremas com diferentes dimensões efetivas locais.

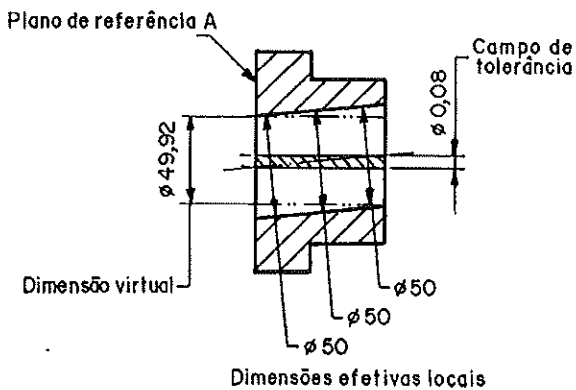


Figura 16 b)

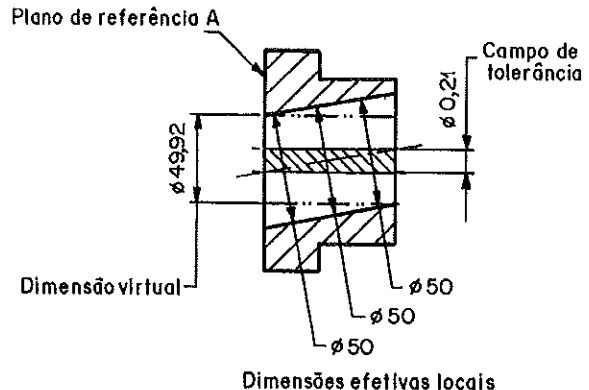


Figura 16 c)

6.4 Tolerância de inclinação de um rasgo a um plano de referência

a) Indicação no desenho;

Conforme figura 17 a);

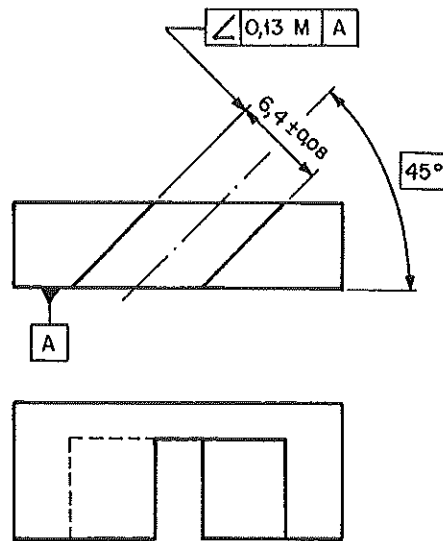


Figura 17 a)

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local do elemento deve permanecer dentro do campo de tolerância de 0,16 e pode variar entre 6,32 e 6,48;
- o elemento tolerado dimensional deve satisfazer o limite da condição virtual estabelecido por dois planos paralelos afastados 6,19 (= 6,32 - 0,13) e o ângulo especificado de 45° em relação ao plano de referência A (ver figura 17 a)).

O plano médio do elemento deve ainda permanecer entre dois planos paralelos afastados de 0,13, inclinado no ângulo especificado de 45° em relação ao plano de referência A, quando todas as larguras do elemento estiverem nas suas dimensões de máximo material de 6,32 (ver figura 17 b)). O plano médio do elemento pode variar dentro de um campo de tolerância de até 0,29, quando todas as larguras do elemento estiverem na sua dimensão de mínimo material de 6,48 (ver figura 17 c)).

NOTA - As figuras 17 b) e 17 c) ilustram os casos extremos, onde o elemento é de forma teoricamente exata. Na prática o elemento terá dimensões entre as condições extremas com diferentes dimensões efetivas locais.

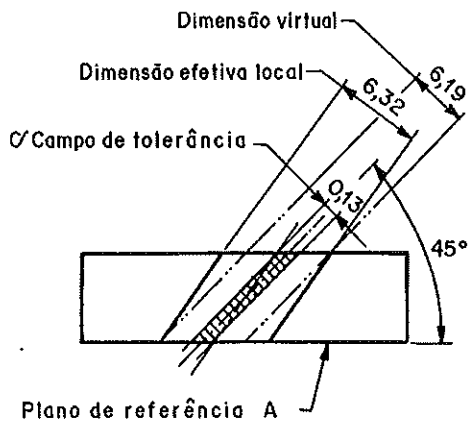


Figura 17 b)

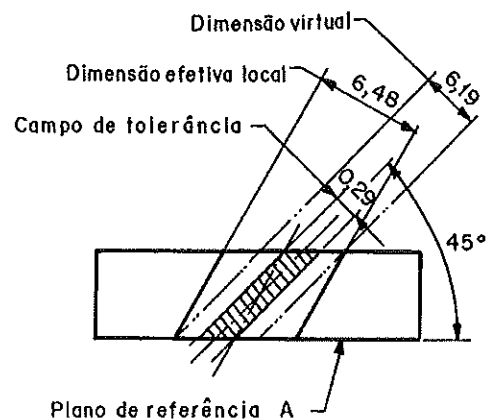


Figura 17 c)

6.5 Tolerância de posição de quatro furos, um em relação ao outro

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 18 a);

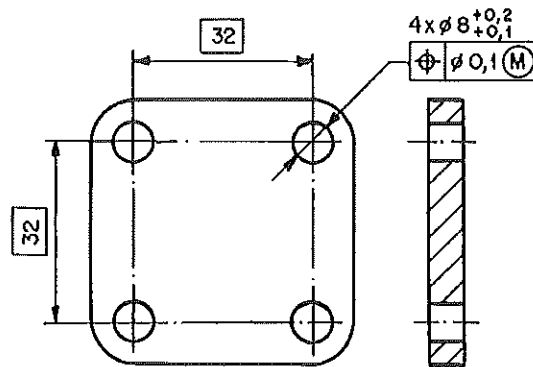


Figura 18 a)

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local de cada elemento deve permanecer dentro do campo de tolerância dimensional de 0,1 e cada um pode variar entre $\phi 8,1$ e $\phi 8,2$;
- todos os elementos tolerados devem satisfazer com o limite da condição virtual, isto é, envolver o cilindro de forma perfeita com $\phi 8$ ($= \phi 8,1 - 0,1$), onde cada um desses cilindros está localizado na sua posição teoricamente exata em relação aos outros cilindros (dimensão 32 perpendiculares entre si) (ver figura 18 a)).

O eixo de cada elemento deve ainda permanecer dentro do campo de tolerância de posição $\phi 0,1$, quando cada diâmetro do elemento estiver na sua dimensão de máximo material de $\phi 8,1$ (ver figura 18 b)), e pode variar dentro de um campo de tolerância de $\phi 0,2$, quando cada diâmetro do elemento estiver na sua dimensão de mínimo material de $\phi 8,2$ (ver figura 18 c)).

NOTA - As figuras 18 b) e 18 c) ilustram os casos extremos, onde os elementos são de forma teoricamente exata. Na prática o elemento terá dimensões entre as condições extremas com diferentes dimensões efetivas locais.

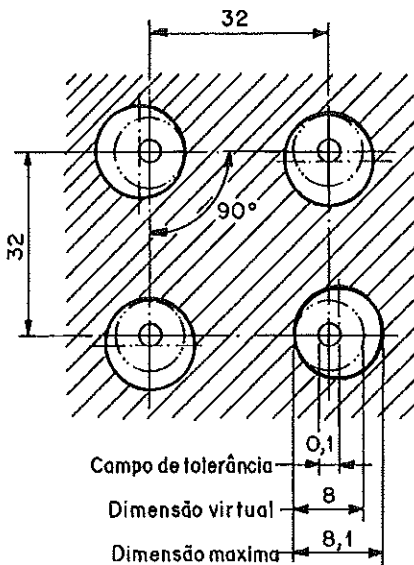


Figura 18 b)

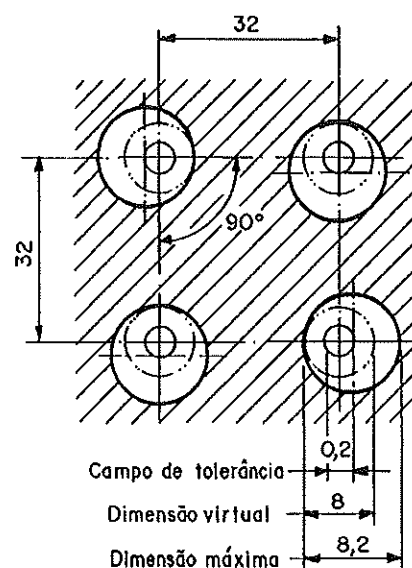


Figura 18 c)

O diagrama dinâmico de tolerância (ver figura 19) ilustra a relação entre a dimensão e o afastamento admissível a partir da posição teoricamente exata de acordo com a tabela 1.

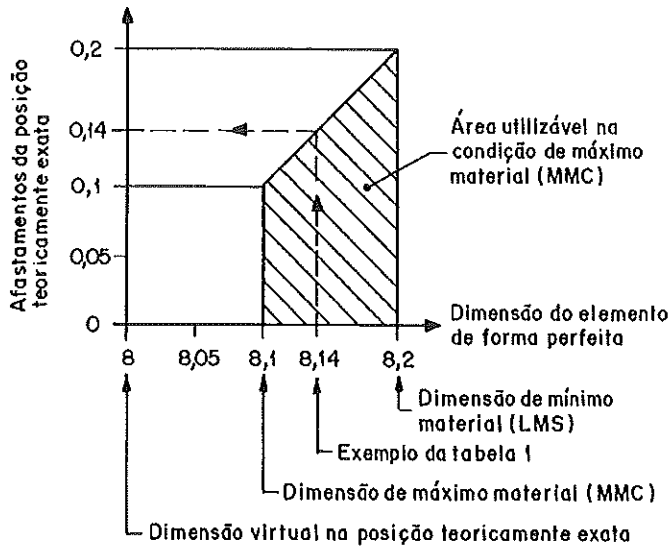


Tabela 1 - Dimensão e tolerância

Diâmetro do furo da forma perfeita	Tolerância de posição
8,10 MMS	0,10
8,12	0,12
8,14	0,14
8,16	0,16
8,18	0,18
8,20 LMS	0,20

Figura 19

O calibrador funcional (ver figura 20) representa a condição virtual.

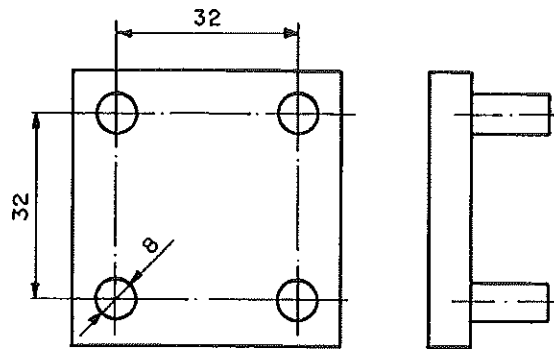


Figura 20

7 Tolerância geométrica zero

7.1 Condições gerais

Nos exemplos dados em 5.1 e 6.5, a tolerância é distribuída entre dimensão e posição. O caso extremo é alocar tolerância total para a dimensão e tolerância de posição zero. Neste caso, a tolerância dimensional é aumentada e passa a ser a soma das tolerâncias de dimensão e posição indicadas anteriormente. A indicação no desenho para os furos da figura 2 passa a ser conforme ilustrado na figura 21 a) e a indicação no desenho para os pinos na figura 4 passa a ser conforme ilustrado na figura 21 b).

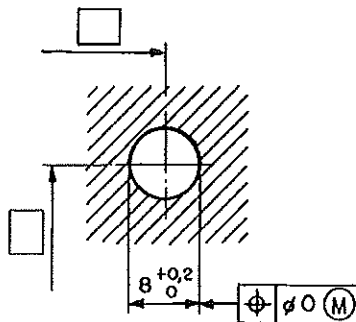


Figura 21 a)

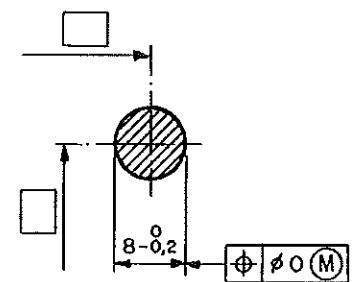


Figura 21 b)

De acordo com as indicações em desenhos, nas figuras 21 a) e 21 b), as tolerâncias podem variar entre $\phi 0$ e $\phi 0,2$, conforme as dimensões efetivas variam entre máxima e mínima.

A indicação (M) pode também ser usada com outras características geométricas.

7.2 Exemplos

7.2.1 Quatro furos relacionados entre si

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 22;

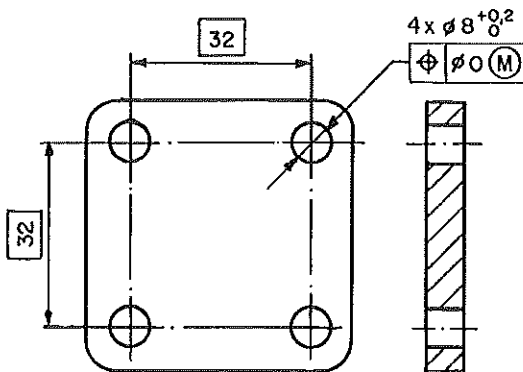


Figura 22

b) Interpretação

De acordo com a indicação em desenho da figura 22, a dimensão virtual é a dimensão de máximo material (diâmetro mínimo do furo) menos a tolerância de posição dada, isto é $\phi 8 - \phi 0 = \phi 8$.

O diagrama dinâmico de tolerância (ver figura 23) ilustra a interrelação entre a dimensão do elemento e o desvio admissível a partir da posição teoricamente exata de acordo com a tabela 2.

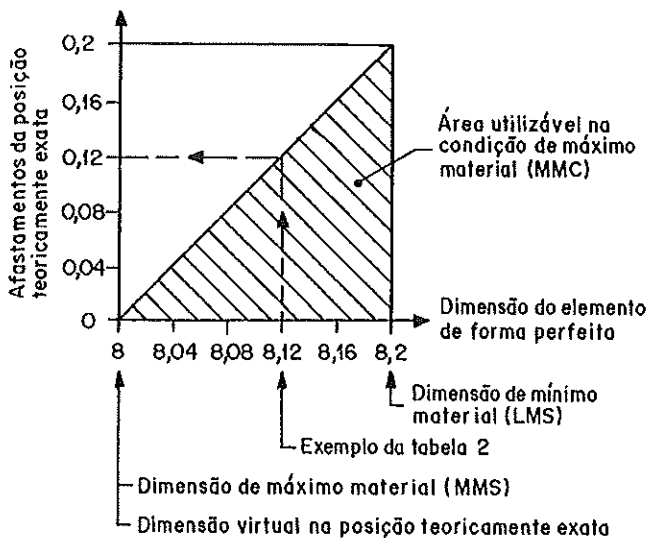


Tabela 2 - Dimensões e tolerâncias

Diâmetro do furo da forma perfeita	Tolerância de posição
8,00 MMS	0,00
8,04	0,04
8,08	0,08
8,12	0,12
8,18	0,16
8,20 LMS	0,20

Figura 23

O calibrador de função de acordo com a figura 20 também representa a condição virtual da peça ilustrada na figura 22. Em ambos os casos os diâmetros dos elementos devem ser verificados separadamente, de acordo com suas diferentes tolerâncias dimensionais.

7.2.2 Quatro pinos relacionados entre si

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 24;

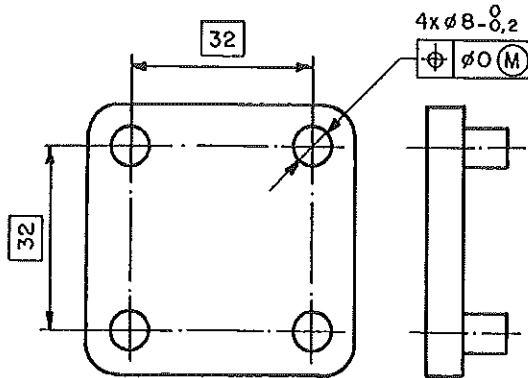


Figura 24

b) Interpretação

De acordo com a indicação em desenho da figura 24, a dimensão virtual é a dimensão de máximo material (diâmetro máximo do pino) mais a tolerância de posição dada, isto é, $\phi 8 + \phi 0 = \phi 8$.

O diagrama dinâmico de tolerância (ver figura 25) ilustra a inter-relação entre a dimensão do elemento e o desvio admissível a partir da posição teoricamente exata de acordo com a tabela 3.

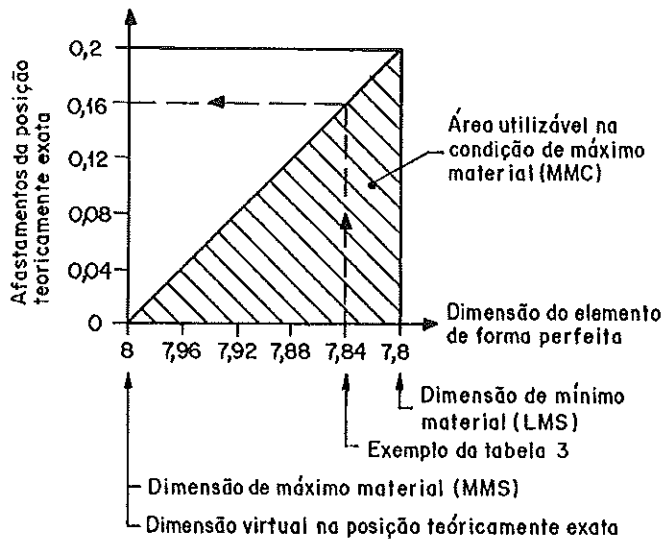


Figura 25

Tabela 3 - Dimensões e tolerâncias

Diâmetro do furo da forma perfeita	Tolerância de posição
8,00 MMS	0,00
7,96	0,04
7,92	0,08
7,88	0,12
7,84	0,16
7,80	0,20

O calibrador de função (ver figura 26) representa a condição virtual.

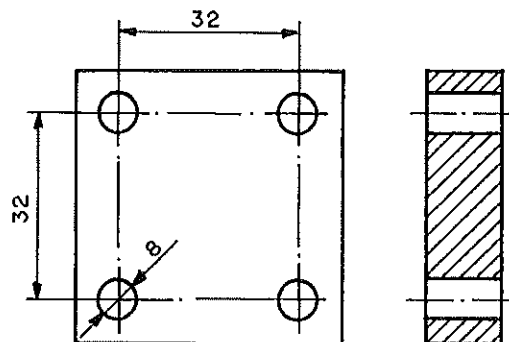


Figura 26

8 Exemplos de aplicação do princípio de máximo material para elementos tolerados de referência

8.1 Tolerância de posição de quatro furos em relação a um furo de referência

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 27 a);

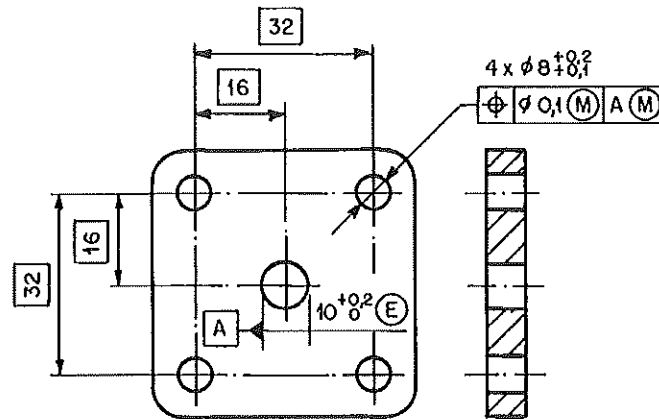


Figura 27 a)

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local de cada elemento deve estar dentro da tolerância dimensional de 0,1 por isso e pode variar entre $\phi 8,1$ e $8,2$ (ver figuras 27 b) e 27 c));
- todos os elementos tolerados devem concordar com os limites da condição virtual, isto é, o cilindro inscrito de forma perfeita como $\phi 8$ ($= \phi 8,1 - 0,1$), onde cada um desses cilindros está localizado na sua posição teoricamente exata em relação aos outros cilindros (dimensão 32 e exatamente a 90° (ver figura 27 b) e 27 c)) e também na sua posição teoricamente exata em relação ao eixo de referência, quando a dimensão da contrapeça do elemento de referência A está na dimensão de máximo material de $\phi 10$ (ver figura 27 b));
- no caso extremo, o eixo de cada elemento deve ainda estar dentro do campo de tolerância de posição de $\phi 0,1$, quando cada diâmetro do elemento estiver em sua dimensão de máximo material de $\phi 8,1$ (ver figura 27 b)), e pode variar dentro de um campo de tolerância de $\phi 0,2$, quando cada diâmetro do elemento estiver na sua dimensão de mínimo material de $\phi 8,2$ (ver figura 27 c)).

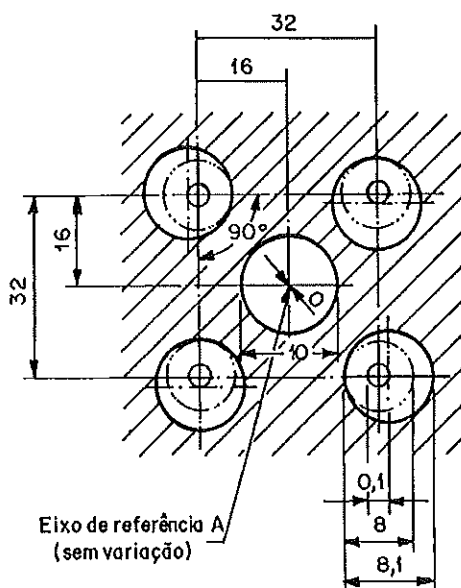


Figura 27 b)

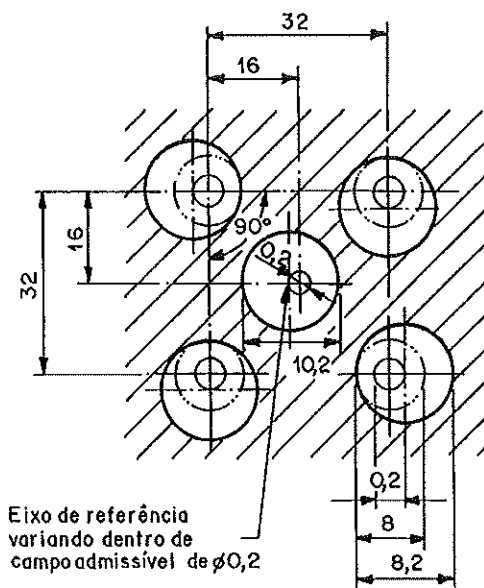


Figura 27 c)

A tolerância de posição se aplica para os quatro elementos tolerados um em relação ao outro assim como em relação ao elemento de referência. O valor dado inicialmente é aumentado por um valor igual ao afastamento fornecido na tabela 4 (segunda coluna).

A tolerância de posição adicional, que depende da dimensão do elemento de referência (devido à condição de máximo material da referência), se aplica somente aos elementos tolerados como um todo em relação ao elemento de referência, mas não se aplica aos elementos tolerados um em relação ao outro, isto é, a referência pode variar em relação ao elemento tolerado (para valores ver tabela 4).

Tabela 4 - Valores

Diâmetro do furo tolerado	Tolerância de posição de cada elemento tolerado	Diâmetro do furo de referência	Campo de variação para o elemento de referência
8,10 MMS	0,10	10,00 MMS	0,00
8,12	0,12	10,05	0,05
8,14	0,14	10,10	0,10
8,16	0,16	10,15	0,15
8,18	0,18	10,20 LMS	0,20
8,20 LMS	0,20		

Qualquer combinação de valores na segunda e quarta colunas da tabela 4 pode ocorrer. Os valores nas segunda e quarta colunas não podem ser simplesmente somados por possuírem interpretações diferentes. Alguns exemplos de combinações extremas são dados na tabela 5.

Tabela 5 - Exemplo de combinações

Campo de tolerância para o elemento tolerado	0,1	0,2	0,1	0,2
Campo de tolerância para o elemento de referência	0	0	0,20	0,20
Diagrama de tolerância				

O calibrador de função (ver figura 28) representa a condição virtual.

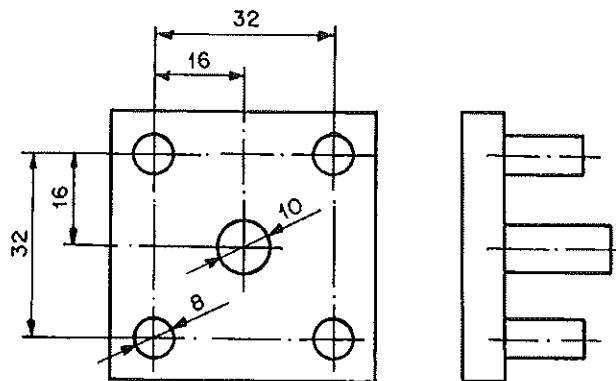


Figura 28

8.2 Tolerância de coaxialidade

a) Indicação em desenho:

Conforme a figura 29 a);

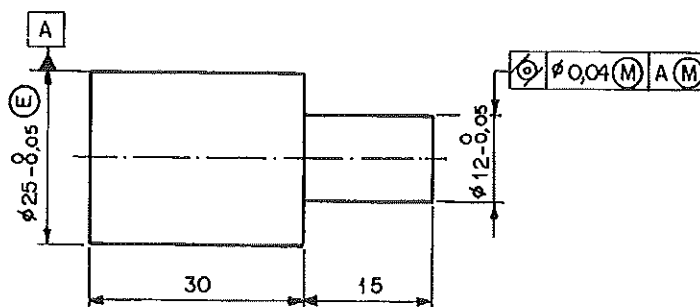


Figura 29 a)

b) Requisitos funcionais

O elemento tolerado deve atender aos seguintes requisitos:

- cada dimensão efetiva local do elemento deve estar dentro da tolerância dimensional de 0,05 e por isso pode variar entre $\phi 12$ e $\phi 11,95$, ver figuras 29 b) e 29 c);
- todo o elemento deve estar dentro dos limites da condição virtual, isto é, o cilindro envolvente de forma perfeita de $\phi 12,04$ ($= 12 + 0,04$) e coaxial ao eixo de referência A, quando a dimensão da contrapeça do elemento de referência A estiver na sua dimensão de máximo material (ver figuras 29 b) e 29 c));
- o eixo efetivo do elemento de referência A pode variar em relação à condição virtual se existir um afastamento da dimensão de máximo material do elemento de referência. O valor da variação é igual ao afastamento do elemento de referência da contrapeça e sua dimensão de máximo material (ver figura 29 d));
- o eixo do elemento por isso deve estar dentro do campo de tolerância coaxial de $\phi 0,04$, quando todos os diâmetros do elemento estiverem na sua dimensão de máximo material de $\phi 12$ (ver figura 29 b)), e pode variar dentro de um campo de tolerância de até $\phi 0,09$, quando todos diâmetros do elemento tolerado estiverem na sua dimensão de mínimo material de $\phi 11,95$ e a dimensão do elemento de referência da contrapeça estiver na dimensão de máximo material de $\phi 25$ (ver figura 29 c)).

O eixo efetivo do elemento de referência A pode variar dentro de um campo de $\phi 0,05$, quando a dimensão do elemento de referência A da contrapeça estiver na dimensão de mínimo material de $\phi 24,95$ (ver figura 29 d)). Como neste caso apenas um elemento está relacionado com a referência, a variação da referência tem o efeito de um aumento da tolerância de coaxialidade conforme ilustrado na figura 29 e).

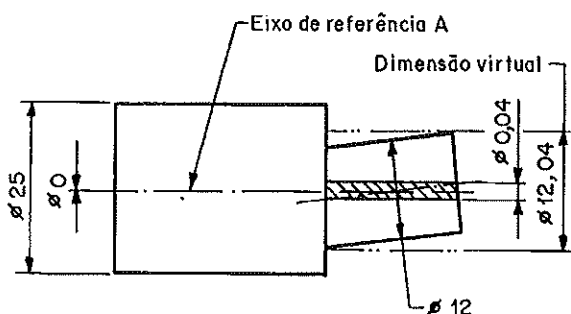


Figura 29 b)

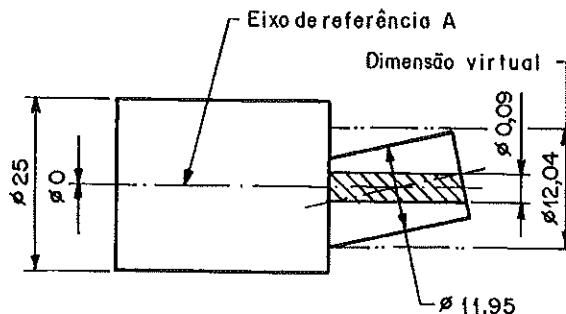


Figura 29 c)

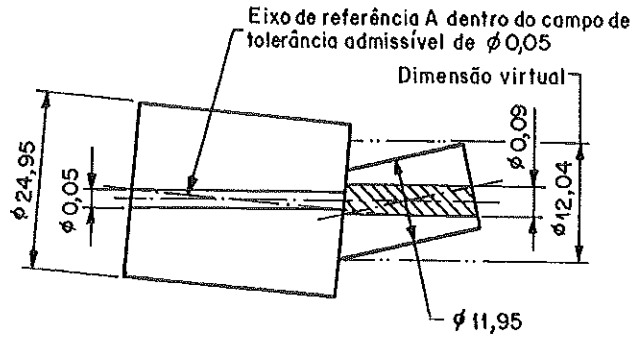
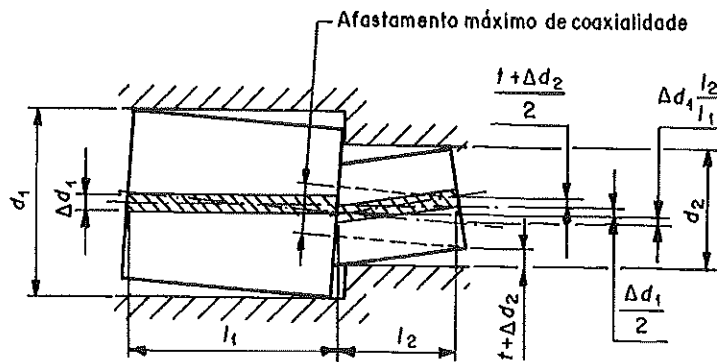


Figura 29 d)



onde:

d_1 é a dimensão de máximo material MMS do elemento de referência;

d_2 é a dimensão virtual do elemento tolerado;

t é a tolerância geométrica;

$\Delta d_1 = d_1$ menos a dimensão de ajuste do elemento de referência;

$t + \Delta d_2 = d_2$ menos a dimensão de ajuste do elemento tolerado.

$$\text{Máximo desvio de coaxialidade} = 2 \left(\frac{t + \Delta d_2}{2} + \frac{\Delta d_1}{2} + \Delta d_1 \frac{l_2}{l_1} \right)$$

$$\text{Máximo desvio coaxialidade} = 2 \left(\frac{0,04 + 0,05}{2} + 0,025 + 0,05 \frac{15}{30} \right) = 0,19 \text{ mm}$$

Figura 29 e)

O calibrador de função (ver figura 30) representa a condição virtual.

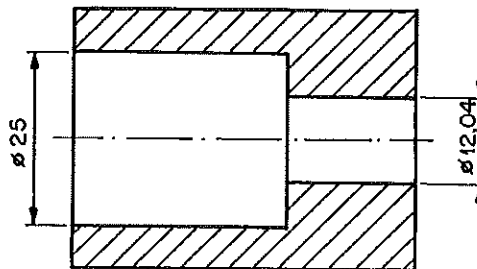


Figura 30

9 Requisito de mínimo material (LMR) - (*least material requirement*)

9.1 Condições gerais

O requisito de mínimo material permite um aumento na tolerância geométrica especificada quando o elemento considerado se afasta da condição de mínimo material. É indicado nos desenhos pelo símbolo \textcircled{L} , que é inserido no quadro retangular após a tolerância geométrica do elemento tolerado ou após a letra que identifica o elemento de referência.

9.2 Requisito de mínimo material aplicado a elemento(s) tolerado(s)

Quando o requisito de mínimo material é aplicado a elemento(s) tolerado(s), especifica que a condição virtual de mínimo material (LMVC) deve estar contido totalmente dentro do material do elemento com tolerância efetiva.

9.3 Requisito de mínimo material aplicado a elemento(s) de referência(s)

Quando o requisito de mínimo material é aplicado a elemento(s) de referência(s), especifica que o limite de forma perfeita na dimensão de mínimo material pode variar dentro do material do elemento com referência efetiva (sem violar a superfície de referência efetiva do elemento).

10 Exemplos de aplicação para requisito de mínimo material

10.1 Ilustração de requisito de mínimo material

O requisito de mínimo material está ilustrado na figura 31. Quando o elemento se afasta da sua dimensão de mínimo material, quando de forma perfeita, é permitido um aumento na tolerância de posição, igual à quantidade desse afastamento.

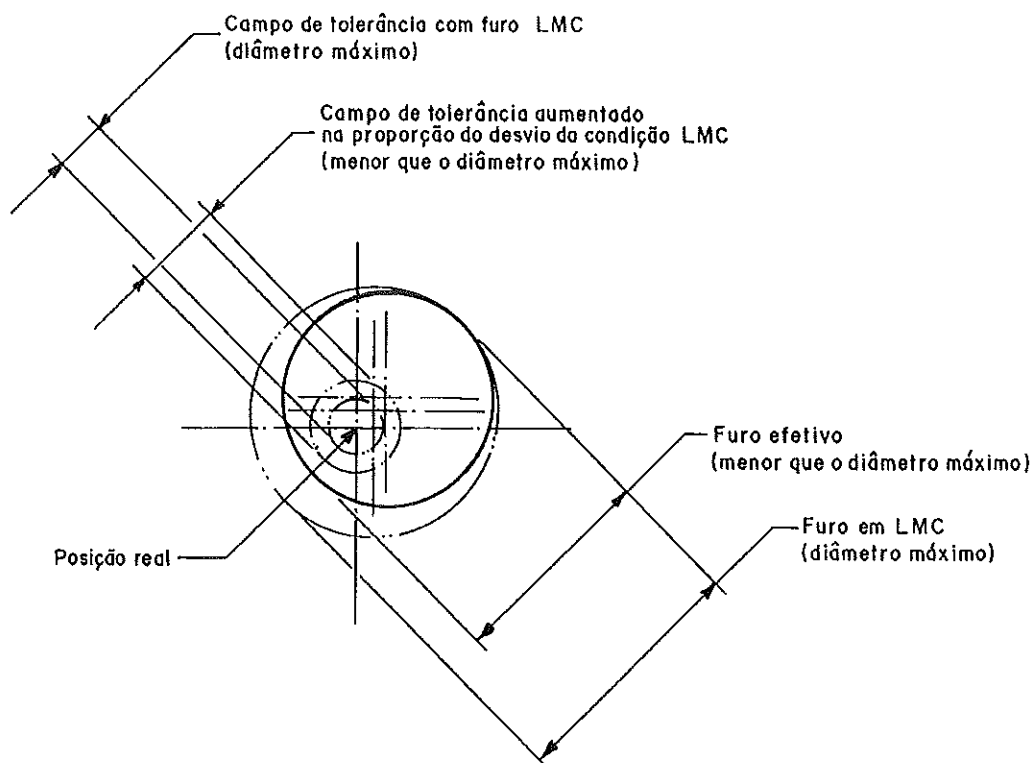


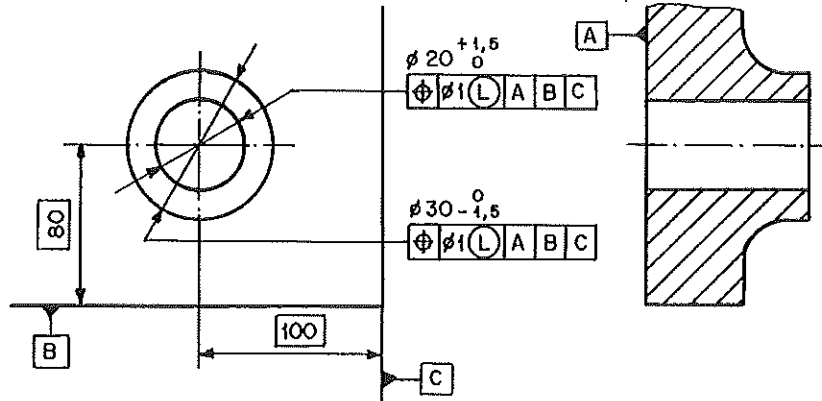
Figura 31

10.2 Exemplos de indicação em desenho e interpretação

10.2.1 Requisito de mínimo material - Mínima espessura de parede

Conforme a figura 32.

Indicação em desenho



Interpretação

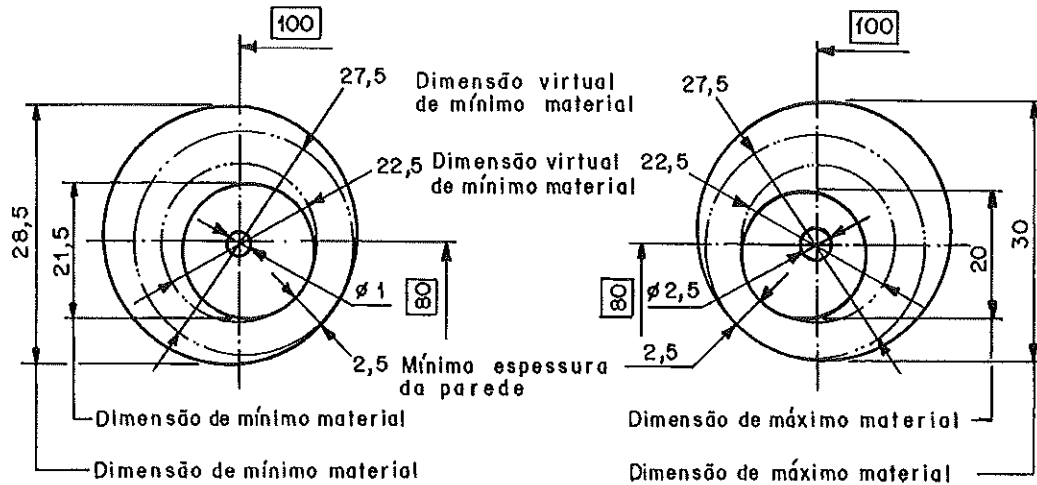
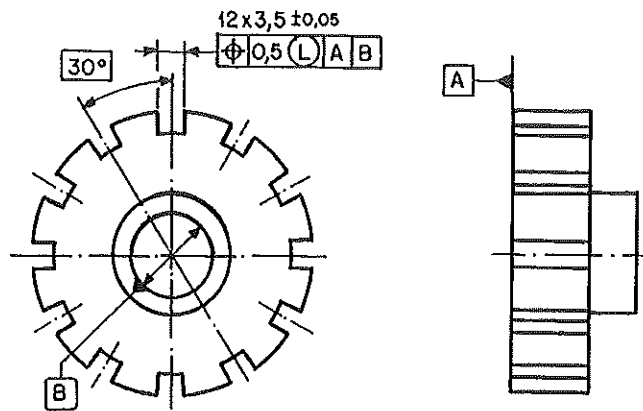


Figura 32

10.2.2 Requisitos de mínimo material - Máxima distância entre faces

Conforme a figura 33.

Indicação em desenho



Interpretação

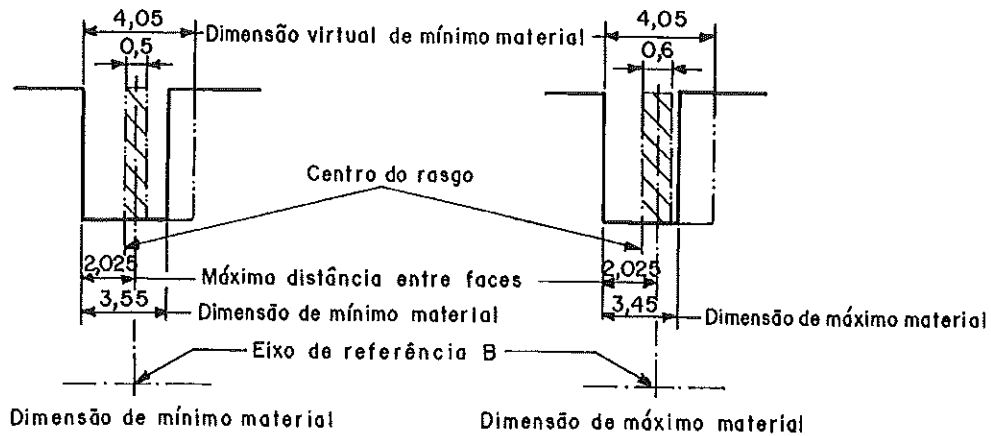
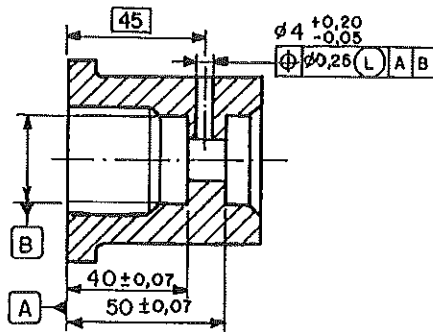


Figura 33

10.2.3 Requisitos de mínimo material - Mínima espessura de parede

Conforme a figura 34.

Indicação em desenho



Interpretação

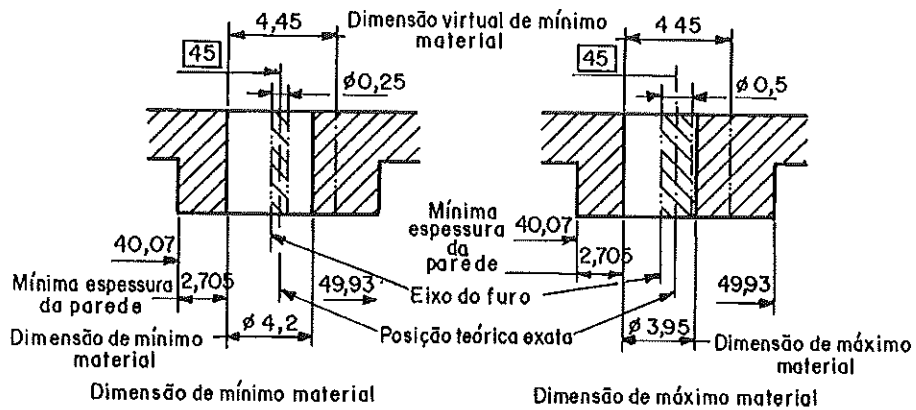
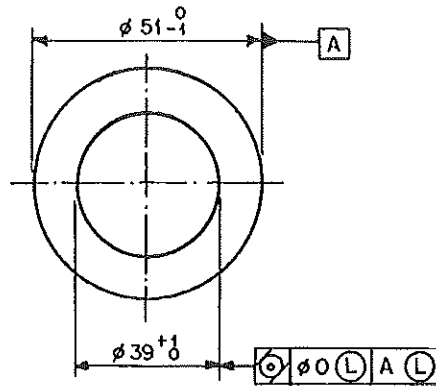


Figura 34

10.2.4 Requisito de mínimo material - Mínima espessura de parede com forma perfeita na condição de mínimo material (LMC)

Conforme a figura 35.

Indicação em desenho



Interpretação

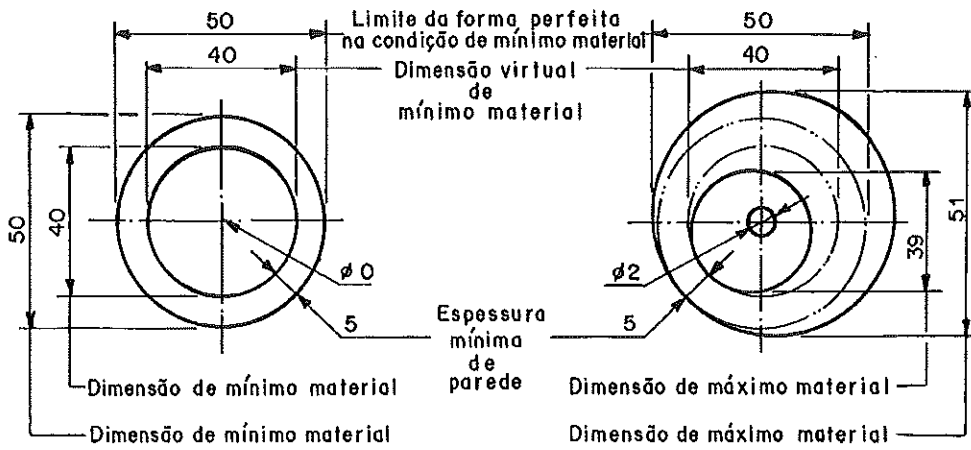


Figura 35