

TOLERANCIAMENTO GEOMÉTRICO

Objetivos

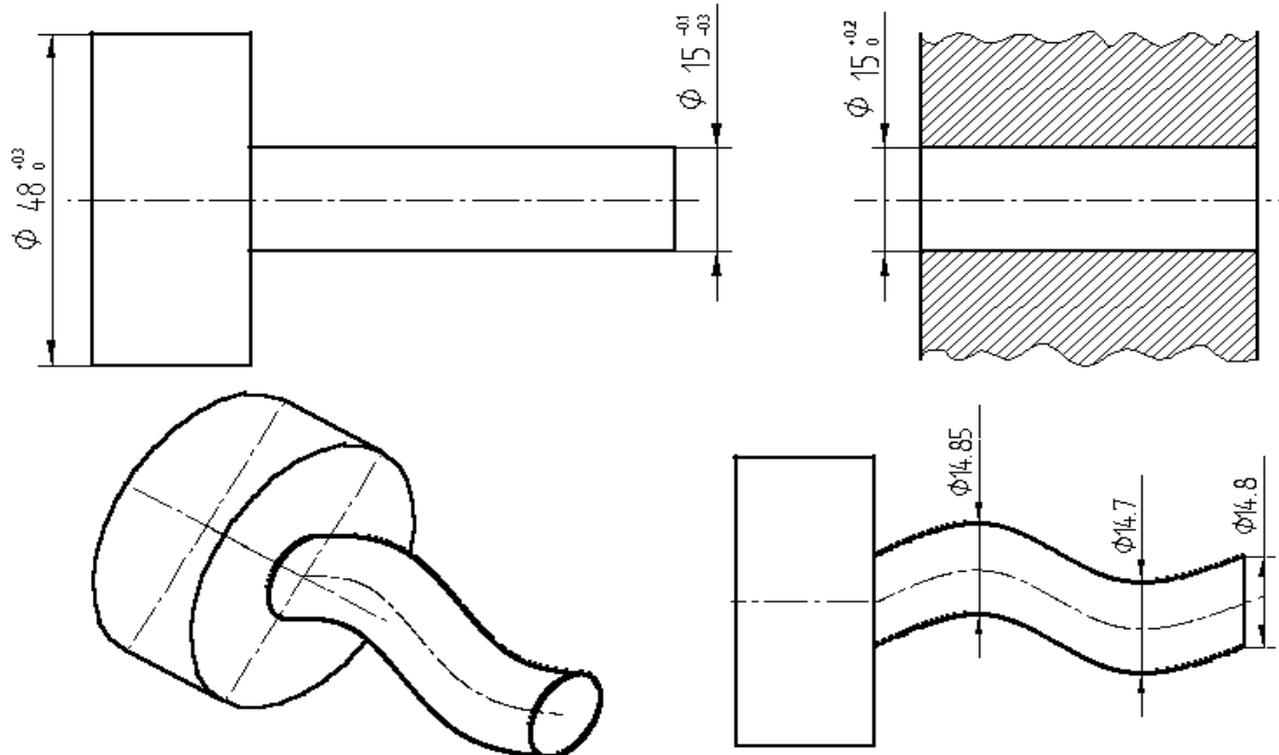
- Identificar os símbolos geométricos e aplicá-los convenientemente no toleranciamento das peça;
- Compreender as vantagens da utilização do toleranciamento geométrico, em conjunto com o dimensional;
- Conhecer os princípios gerais do toleranciamento e a as vantagens da sua aplicação no toleranciamento das peças.

Introdução

- O toleranciamento dimensional apenas permite limitar os erros dimensionais.
- O toleranciamento geométrico permite limitar erros de forma, de orientação e localização dos elementos.
- Filosofia de projecto, baseada em tolerâncias o mais elevadas possível, sem prejudicar a montagem e a funcionalidade.
- Linguagem da qual fazem parte símbolos, referenciais, modificadores, princípios e conceitos.

Tol. Dimensional vs Tol. Geométrico

- O Toleranciamento dimensional não é suficiente para garantir a montagem de peças



- O toleranciamento dimensional é verificado, no entanto a montagem não é possível.

Definições

- **Elemento** - Termo geral aplicado a uma porção física da peça, como seja uma superfície, ou furo.
- **Elemento dimensional** – Corresponde a uma cota, associada a um elemento ou conjunto de elementos.
- **Referencial** – Termo usado para o elemento em relação ao qual é definida uma tolerância geométrica.
- **Zona de tolerância** – Área ou volume definidos a partir dos valores das tolerâncias geométricas inscritas no desenho.

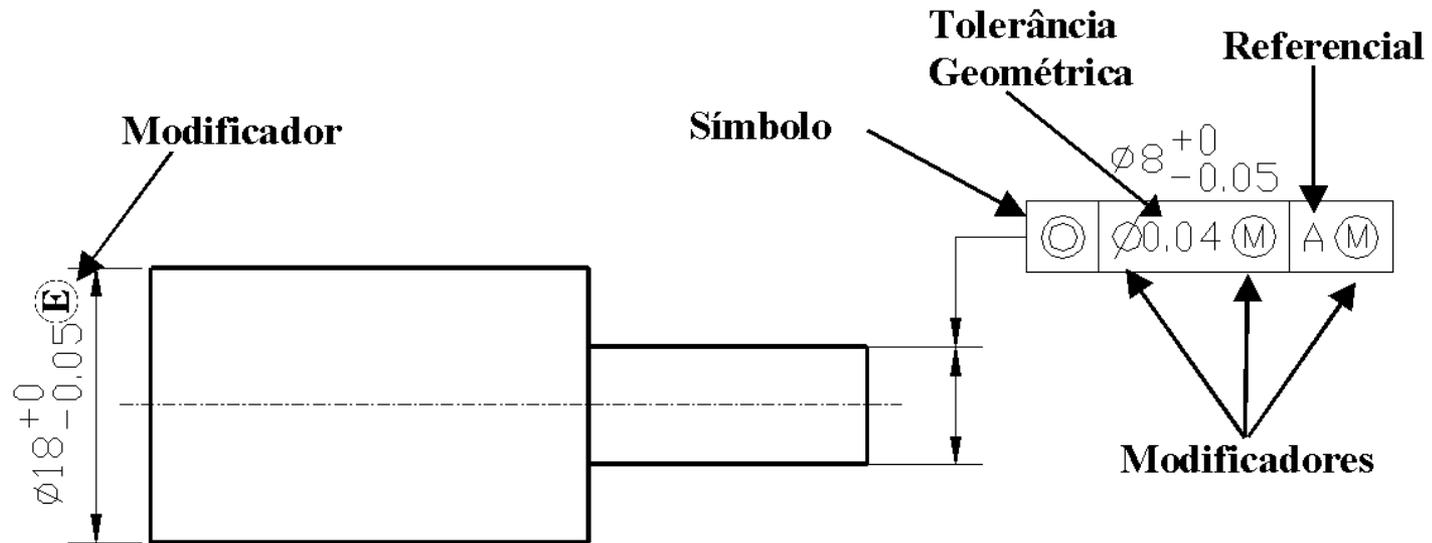
Símbolos Geométricos

CLASSE	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICA TOLERANCIADA	INDICAÇÃO DO REFERENCIAL
FORMA		Rectilismo	NUNCA
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
		Forma de um contorno	PODEM USAR
		Forma de uma superfície	
ORIENTAÇÃO		Paralelismo	SEMPRE
		Perpendicularidade	
		Angularidade	
LOCALIZAÇÃO		Posição	SEMPRE
		Concentricidade ou coaxialidade	
		Simetria	
BATIMENTO		Batimento circular	SEMPRE
		Batimento total	

Símbolos Geométricos e os Programas de CAD

- Muitos dos símbolos geométricos são usados nos programas de CAD paramétricos, tais como *SolidWorks*, *SolidEdge*, *Mechanical Desktop* ou *ProEngineer*.
- Importante a sua utilização, especialmente quando equipamentos automáticos são usados no fabrico das peças.
- Permitem desenhar de uma forma rigorosa, sem ambiguidades geométricas as peças.

Inscrição de Tol. Geométricas

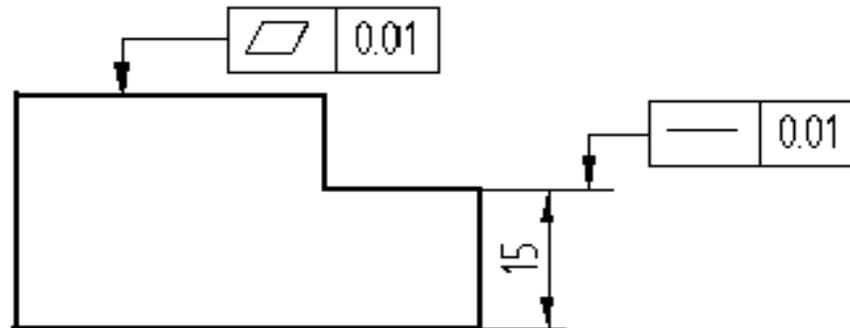


- Um retângulo contendo o símbolo
- Um retângulo contendo o valor da tolerância em mm
- Um ou mais retângulos indicando referenciais (Letras maiúsculas)
- Modificadores (Letras maiúsculas dentro de um círculo)

Tol. Geométrico dos Elementos

Arestas ou superfícies

- Seta aponta para o elemento ou para linha de chamada no prolongamento deste.

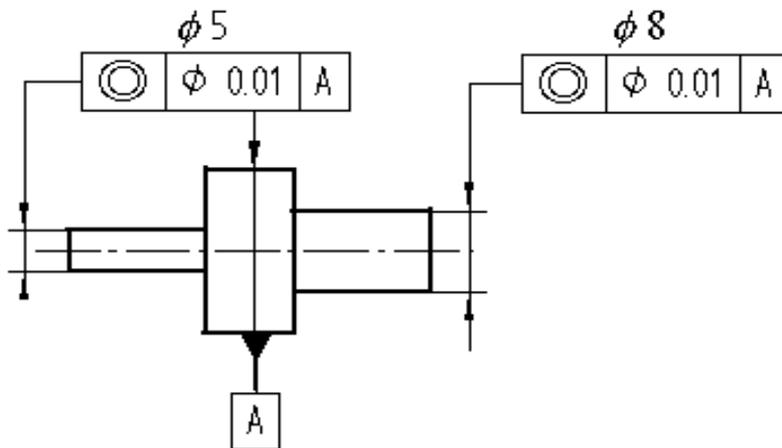


Tol. Geométrico dos Elementos (cont.)

Eixos ou linhas de centro

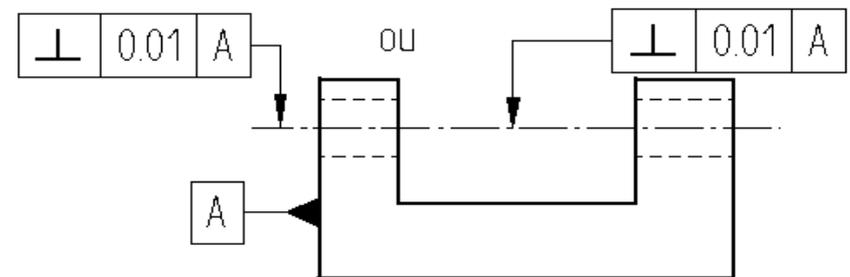
□ *Método Indirecto*

Seta aponta para o prolongamento da linha de cota



□ *Método Directo*

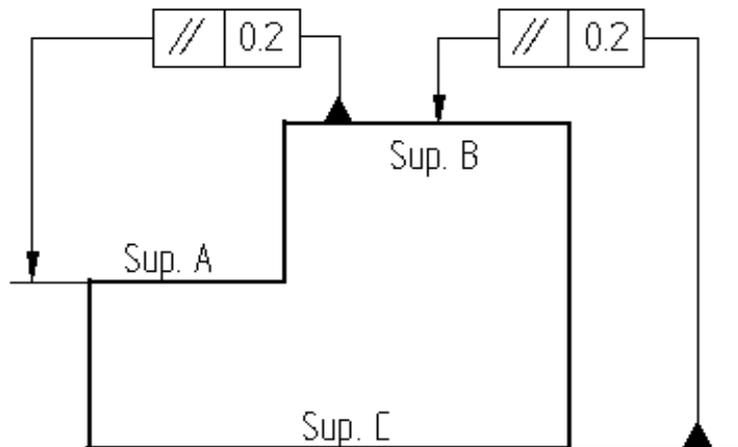
Seta aponta directamente para o eixo



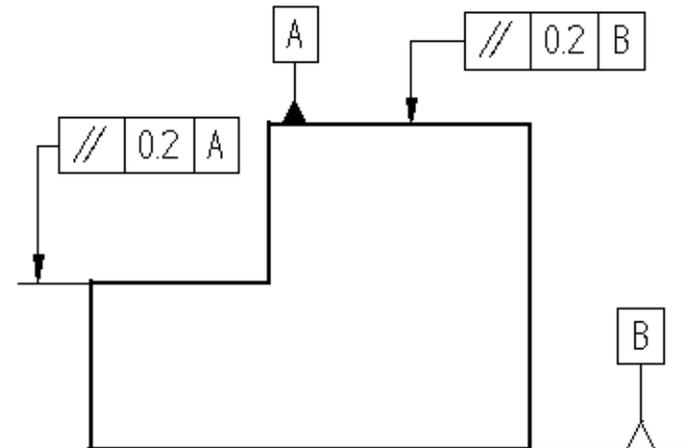
Referenciais

Algumas das relações geométricas são definidas para um elemento, relativamente a outro elemento (**referencial**).

□ **Identificação do referencial de forma directa**



□ **Identificação do referencial através de uma letra**

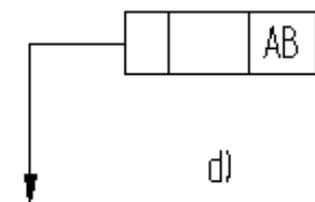
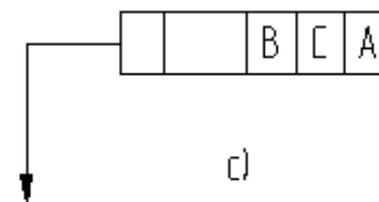
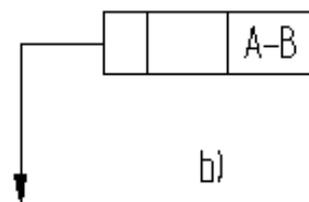
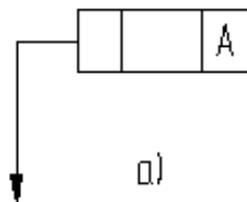
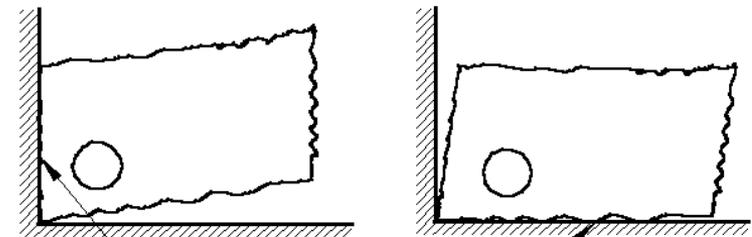
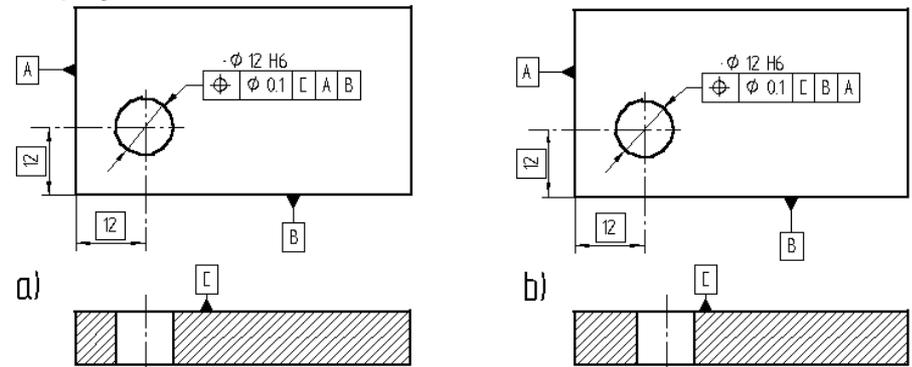


- *Triângulo que identifica o elemento do referencial, pode não ser a negrito.*
- *A letra que identifica o referencial é maiúscula, e deve estar no interior de um rectângulo.*

Múltiplos Referenciais

- a) Referencial Singular
- b) Referencial Composto
- c) Vários referenciais em que a ordem é importante
- d) Vários referenciais em que a ordem não é importante

Nalgumas situações a ordem dos referenciais condiciona os resultados obtidos, podendo prejudicar a funcionalidade da peça



Múltiplos Referenciais (cont.)

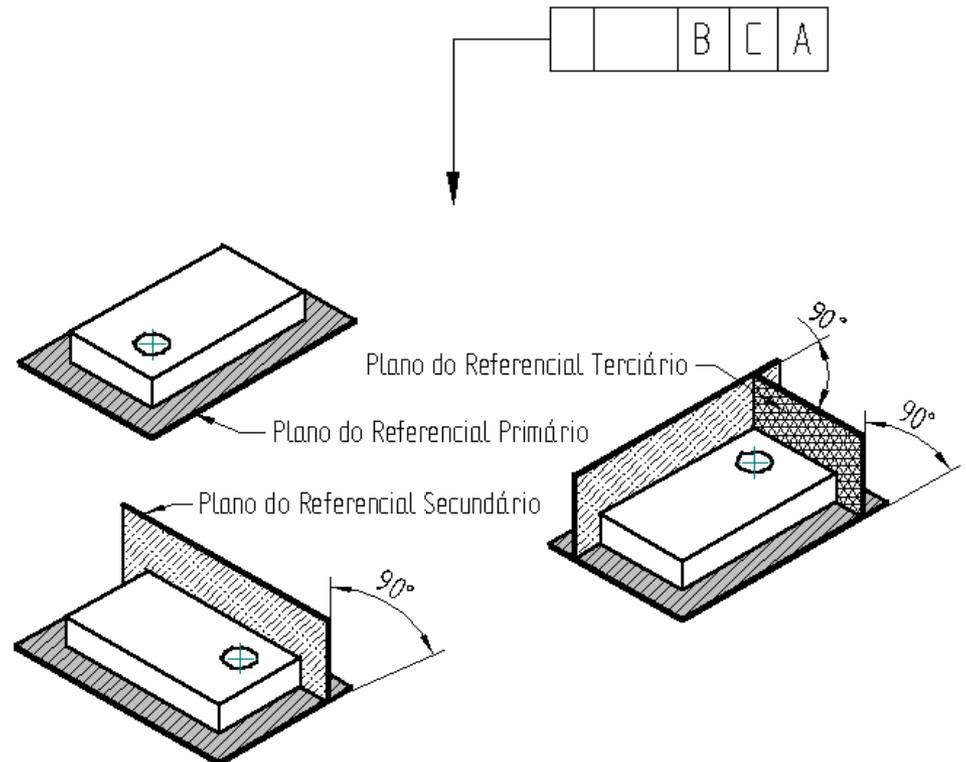
c) *Ordem dos referenciais é importante*

- Prioridade é da esquerda para a direita

- *Referencial Primário (B):*
Contacto em pelo menos 3 pontos

- *Referencial Secundário (C):*
Contacto em pelo menos 2 pontos

- *Referencial Terciário (A):*
Contacto em pelo menos 1 ponto



Definição dos referenciais também é importante para as operações de maquinagem e de verificação.

Modificadores

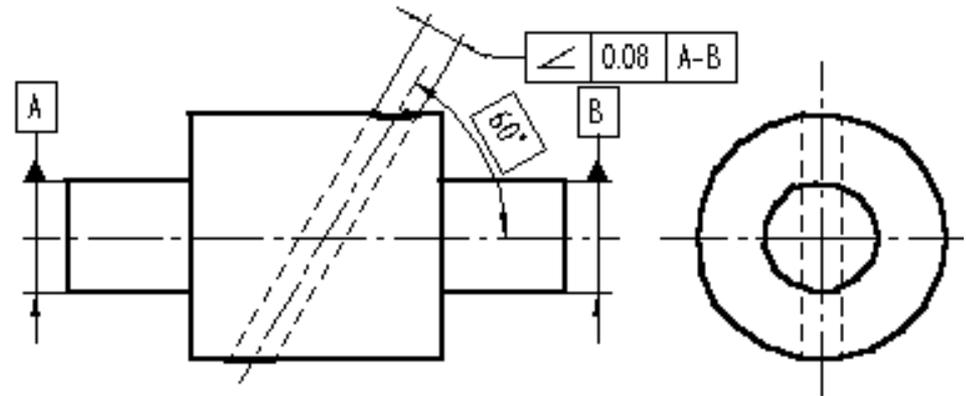
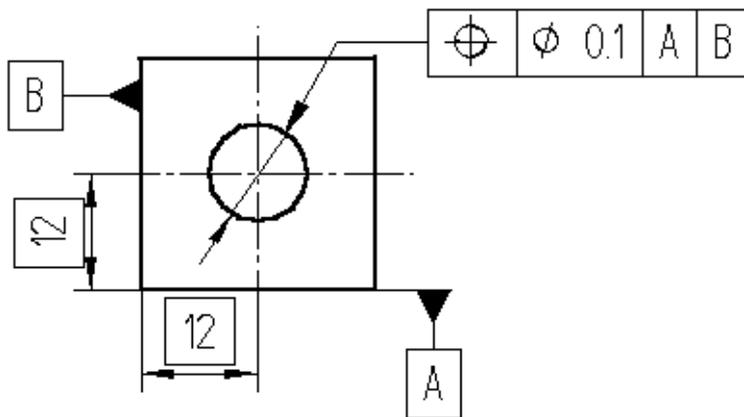
- Símbolos complementares aos símbolos geométricos, associados a princípios ou conceitos.

TERMO	SÍMBOLO	NORMA
Princípio do Máximo Material		ISO 2692
Princípio do Mínimo Material		ISO 2692-Amd. 1
Envolvente		ISO 8015
Zona da Tolerância Projectada		ISO 1101 ISO 10758
Diâmetro		Símbolo de diâmetro é um modificador especial, o único que não é circunscrito por um círculo.

- São aplicados ao valor da tolerância e/ou ao referencial

Cotas Teoricamente Exactas

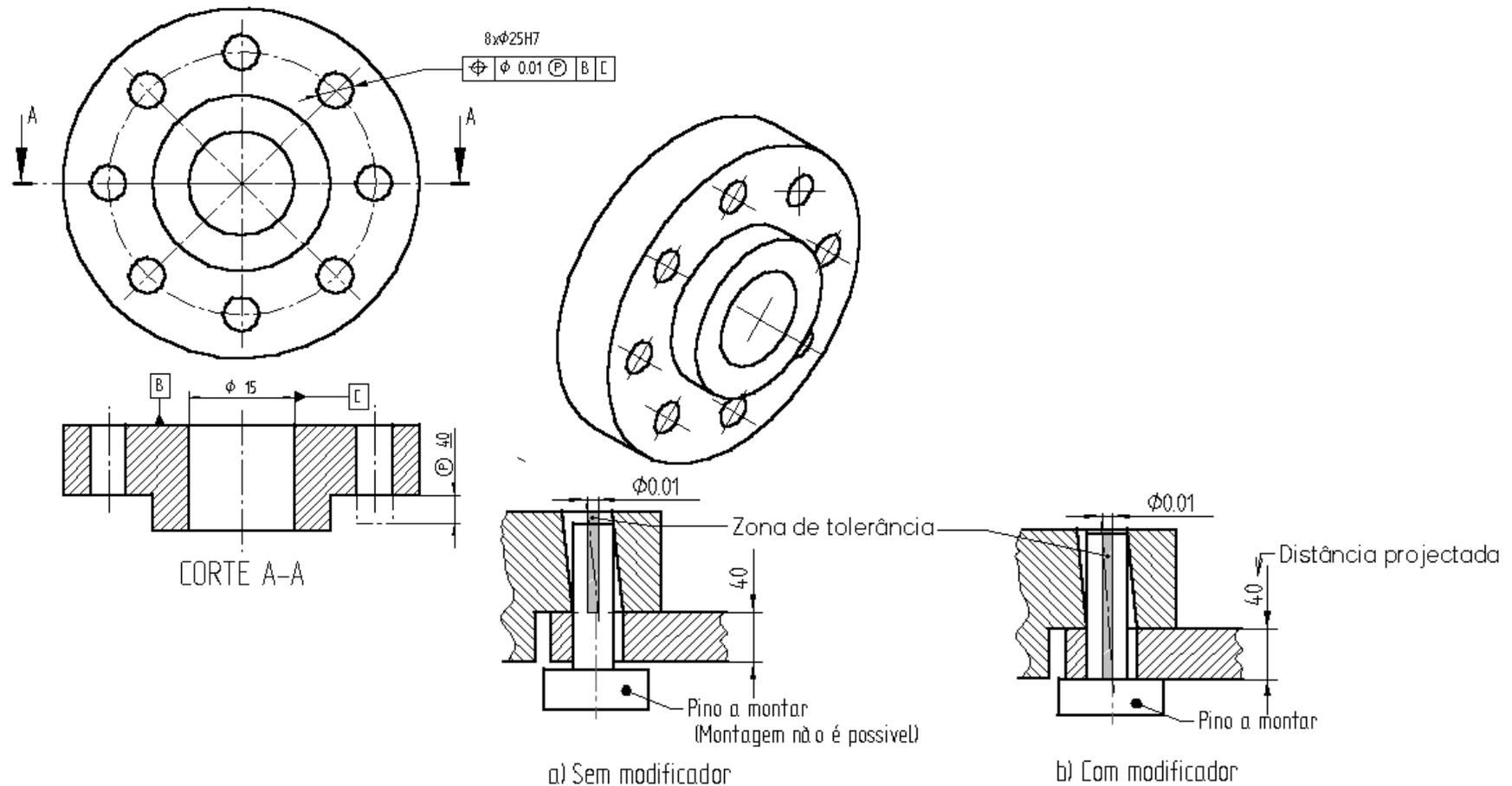
- Cotas a partir das quais é definida uma zona de tolerância.



- Importantes no toleranciamento geométrico de posição e de angularidade

Zona de Tolerância Projectada

- Zona de tolerância é aplicada a uma projecção externa do elemento



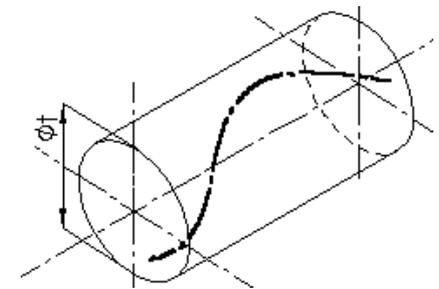
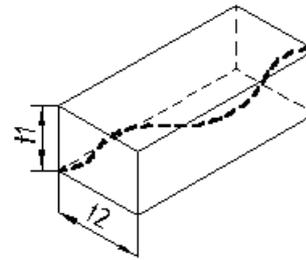
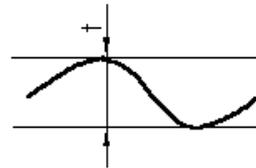
Rectilismo

Zona de tolerância

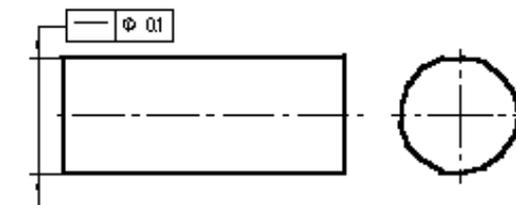
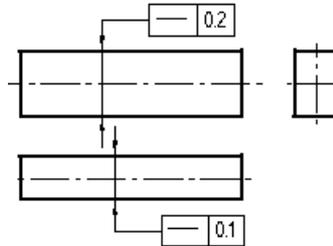
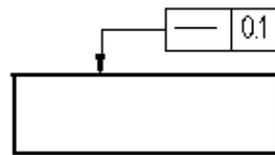
Plana

Paralelepipedica

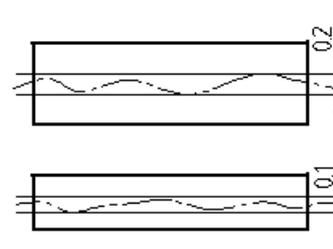
Cilíndrica



Indicação nos desenhos



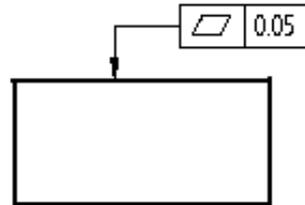
Interpretação



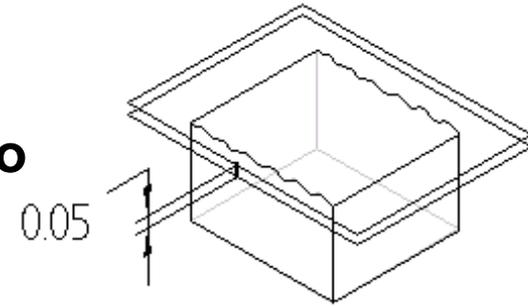
Planeza e Circularidade

Planeza

Indicação nos Desenhos



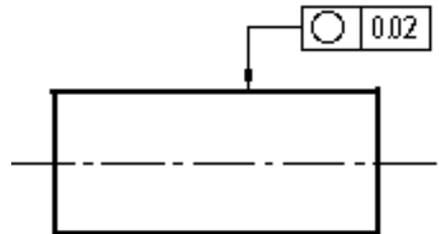
Interpretação



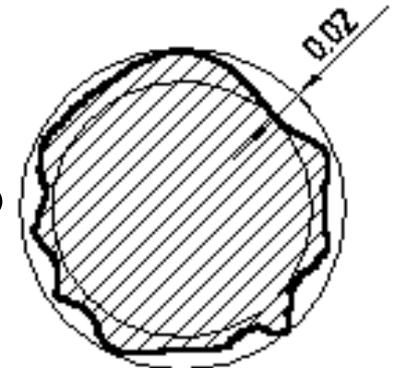
Zona de tolerância é limitada por dois planos paralelos

Circularidade

Indicação nos Desenhos



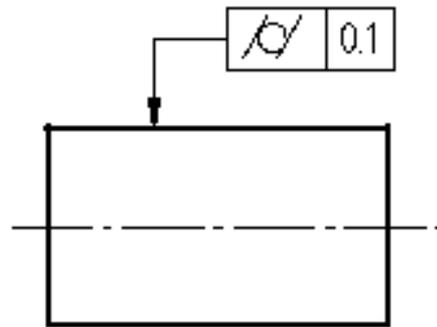
Interpretação



Zona de tolerância é limitada por dois círculos concêntricos, para qualquer plano perpendicular ao eixo

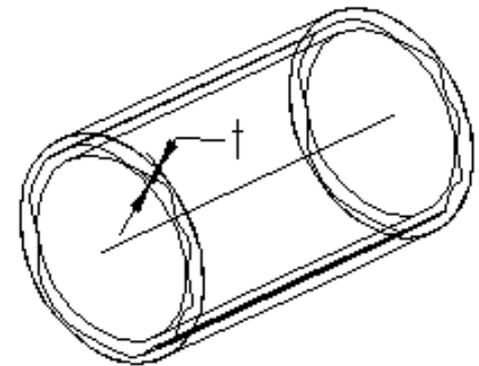
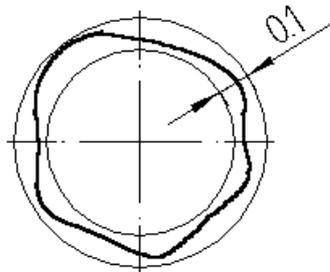
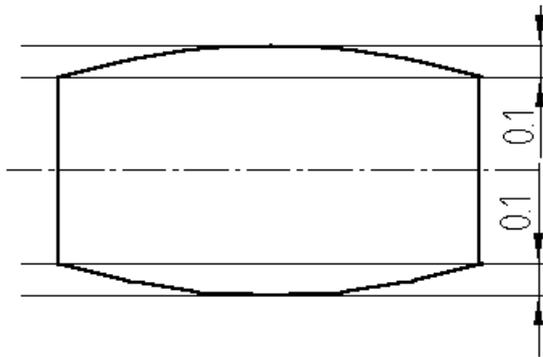
Cilindricidade

Indicação nos Desenhos



Zona de tolerância é limitada por dois cilindros coaxiais

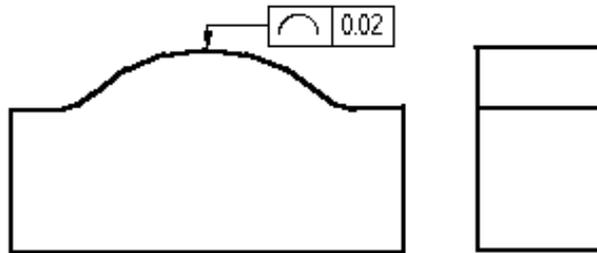
Interpretação



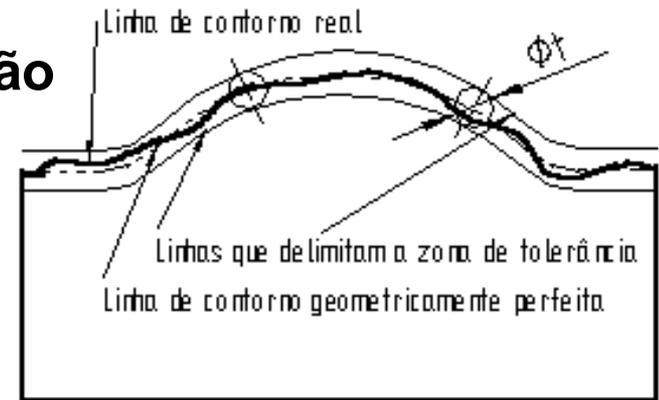
Forma

Forma de um contorno 

Indicação nos Desenhos

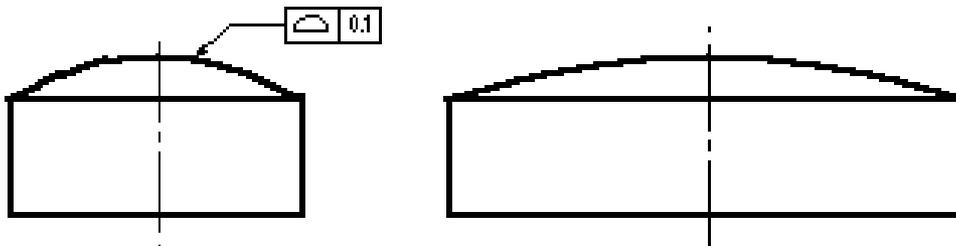


Interpretação

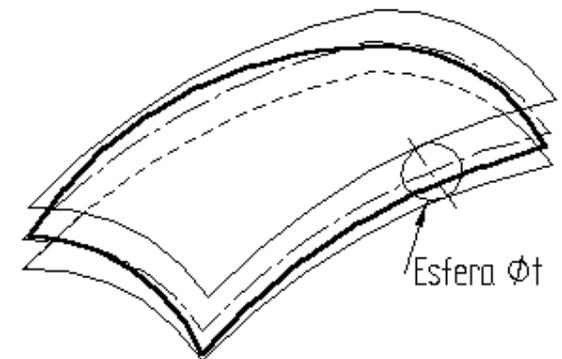


Forma de uma superfície 

Indicação nos Desenhos



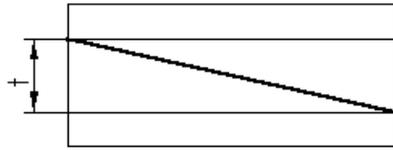
Interpretação



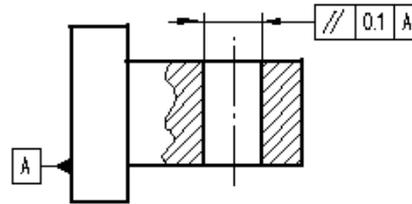
Paralelismo

Zona de tolerância

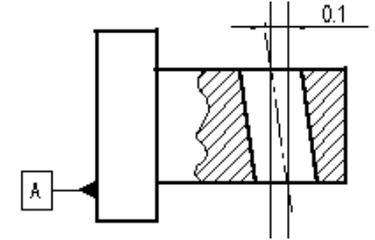
Plana



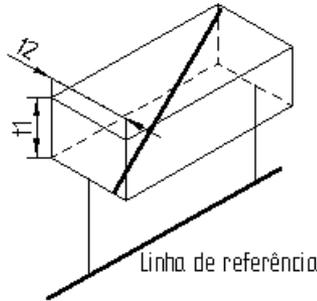
Indicação nos desenhos



Interpretação

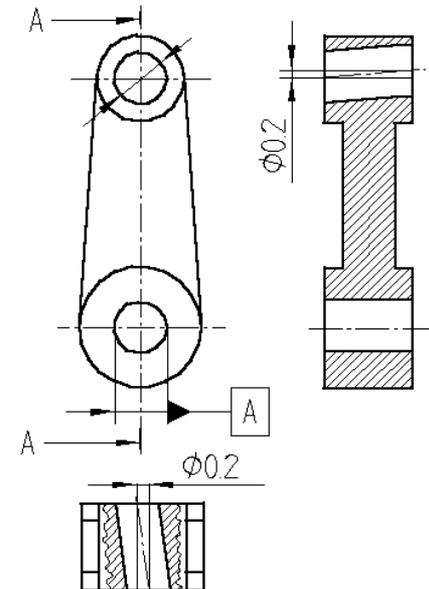
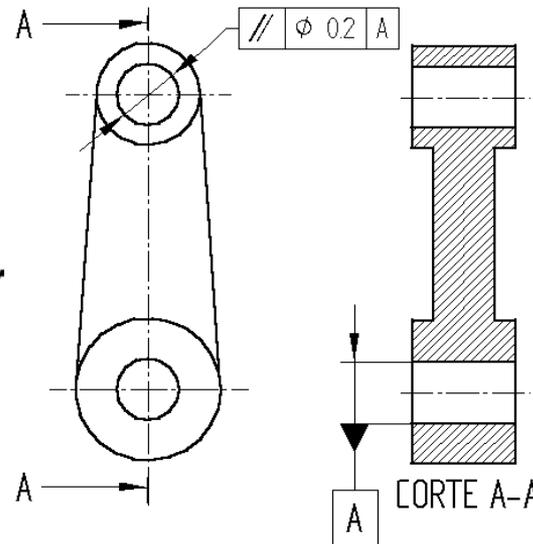
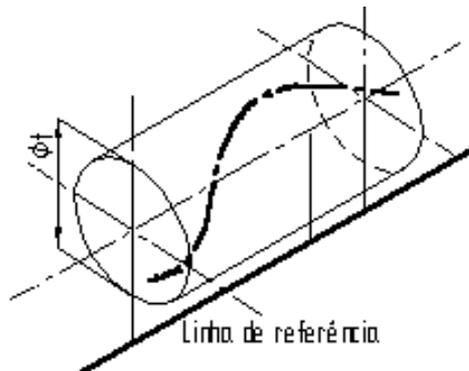


Paralelepípedica



Idêntico ao caso anterior, mas para duas direcções perpendiculares

Cilíndrica



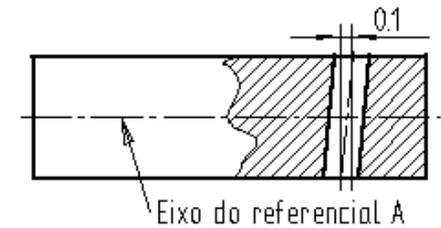
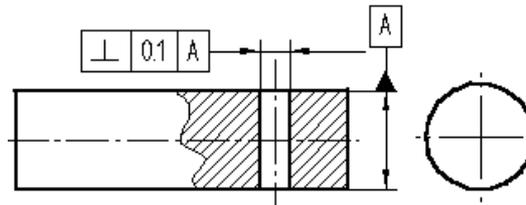
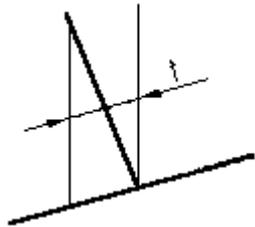
Perpendicularidade

Definição

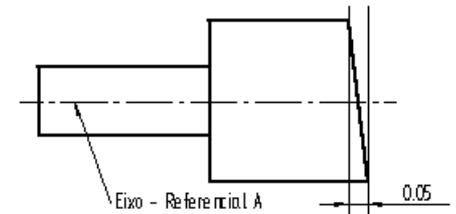
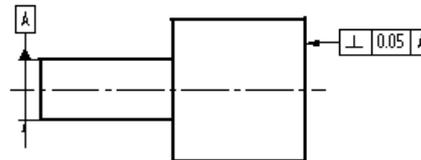
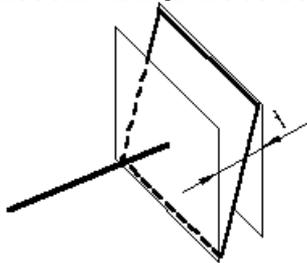
Indicação nos desenhos

Interpretação

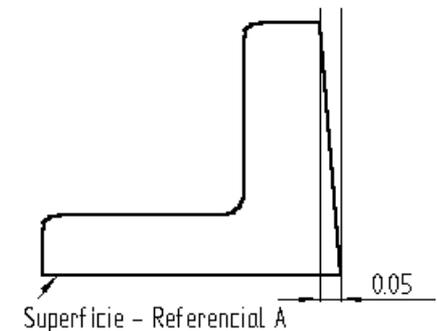
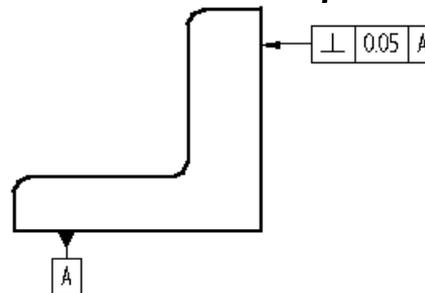
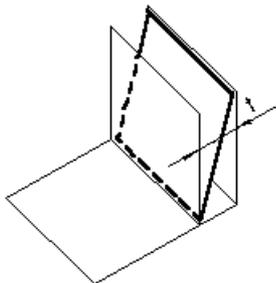
1) *De uma linha relativamente a outra linha*



2) *De uma superfície relativamente a uma linha*



3) *De uma superfície relativamente a outra superfície*



Perpendicularidade (cont.)

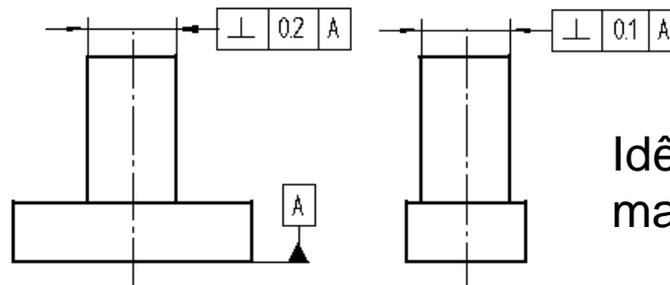
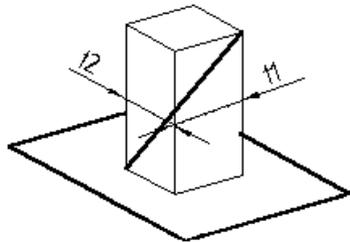
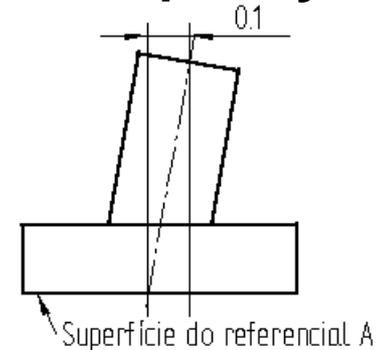
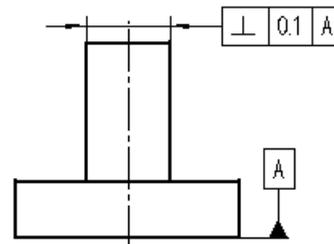
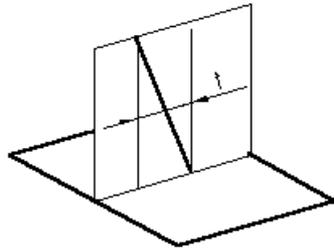
4) De uma linha relativamente a uma superfície

Zona de tolerância

Indicação nos desenhos

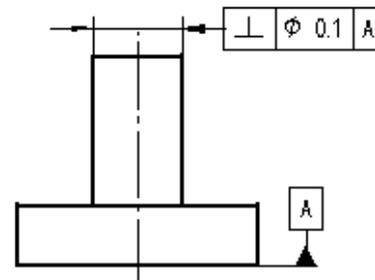
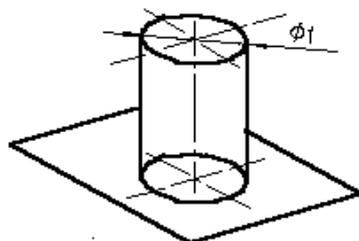
Interpretação

Plana



Idêntica ao caso anterior, mas em duas direcções

Cilíndrica



Eixo deve estar contido num cilindro de diâmetro 0.1 mm.

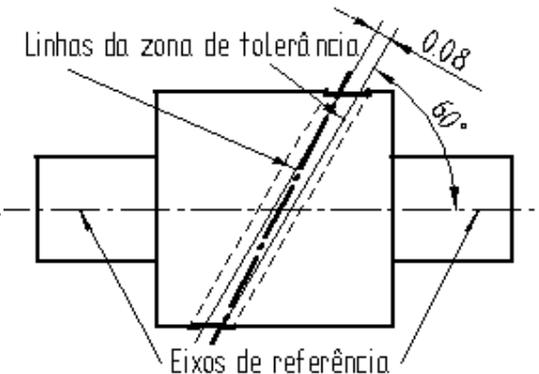
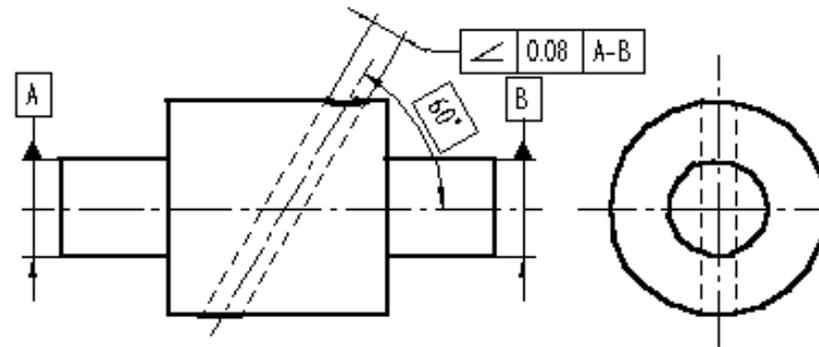
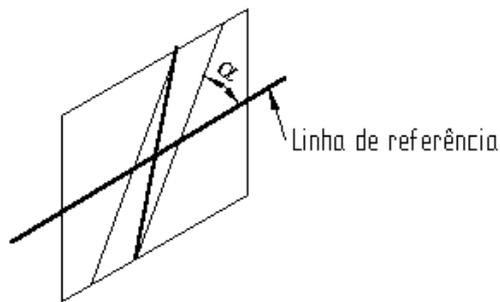
Angularidade

Definição

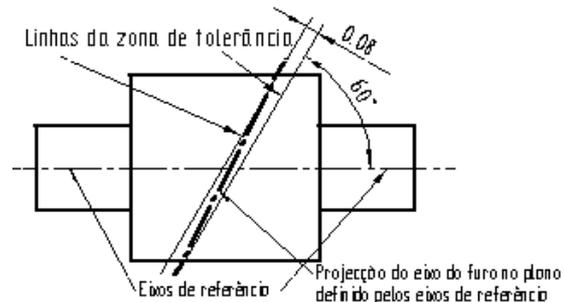
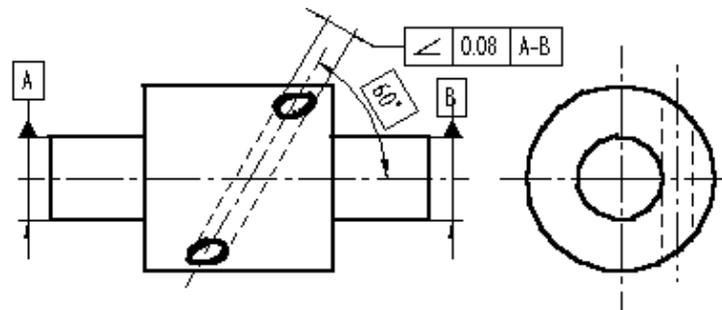
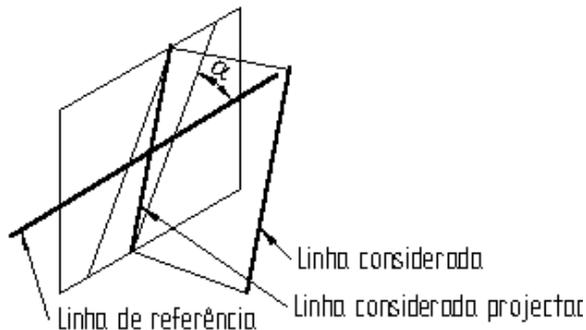
Indicação nos desenhos

Interpretação

1) De uma linha relativamente a outra linha, ambas no mesmo plano



2) De uma linha num plano relativamente a outra linha noutra plano



A linha toleranciada é projectada no plano definido pela linha de referência

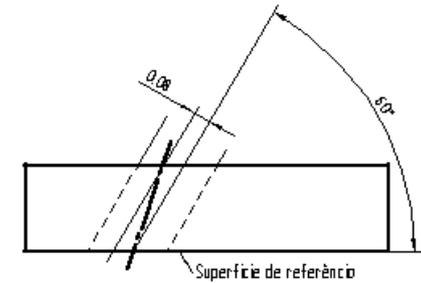
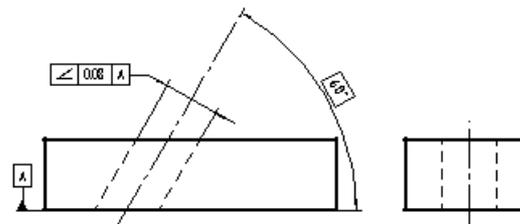
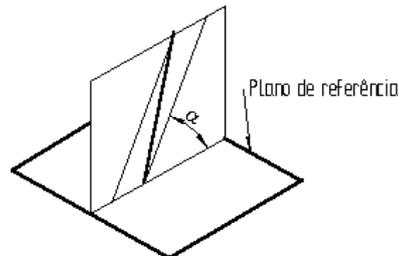
Angularidade (cont.)

Definição

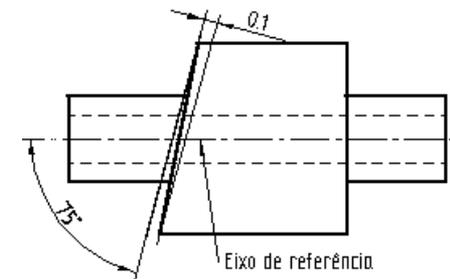
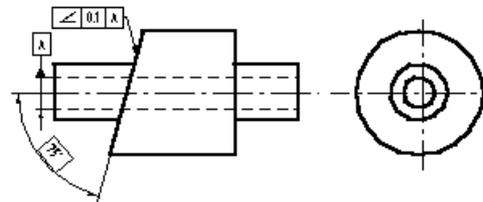
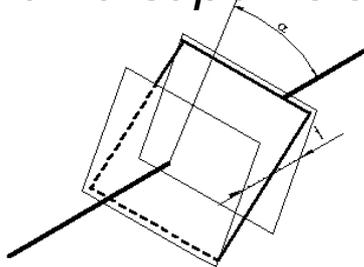
Indicação nos desenhos

Interpretação

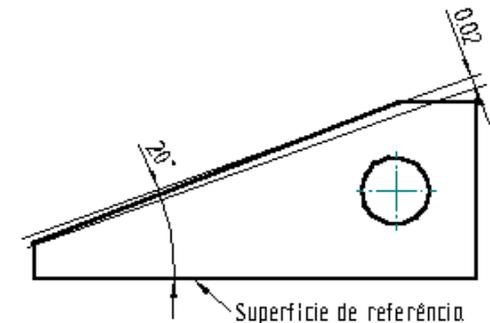
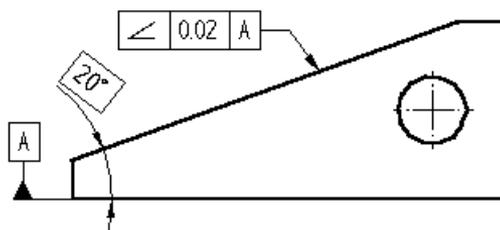
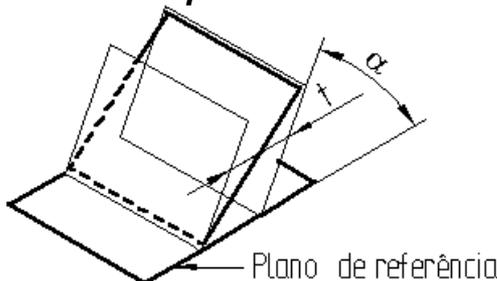
3) De uma linha relativamente a uma superfície



4) De uma superfície relativamente a uma linha



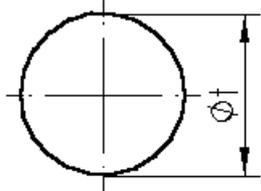
5) De uma superfície relativamente a outra superfície



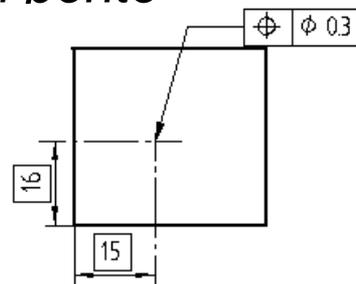
Posição

Definição

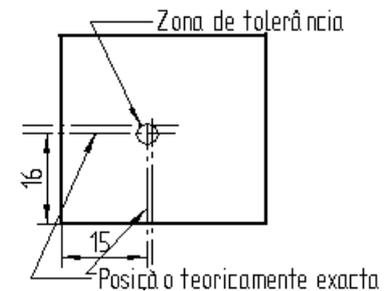
1) Tolerância de posição de um ponto



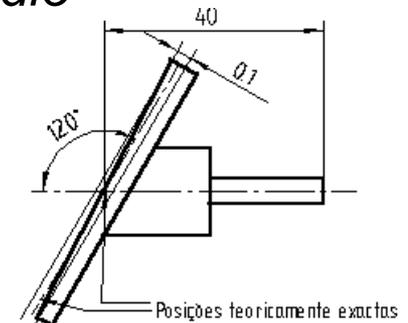
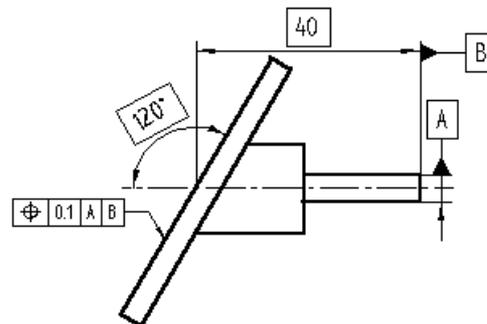
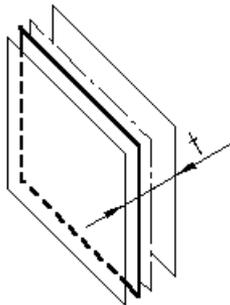
Indicação nos desenhos



Interpretação



2) Tolerância de posição de uma superfície ou plano médio



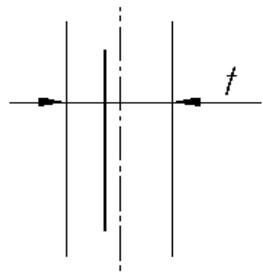
As zonas de tolerância, para a tolerância geométrica de posição são sempre definidas simetricamente em relação às posições de referência teoricamente exactas.

Posição (cont.)

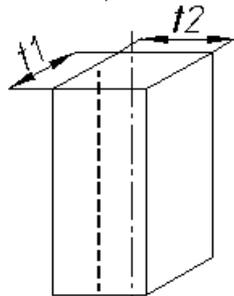
3) Tolerância de posição de uma linha

Zona de tolerância

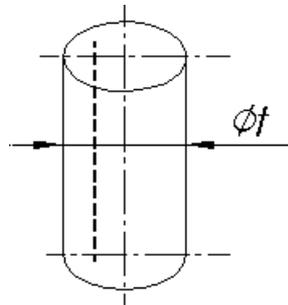
Plana



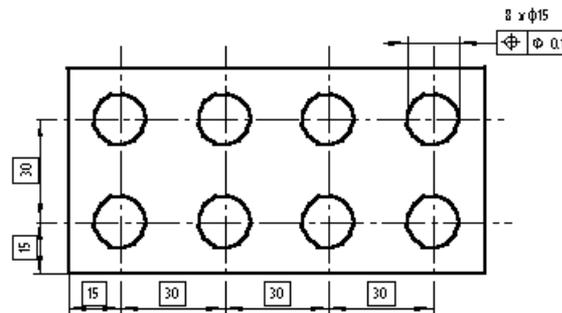
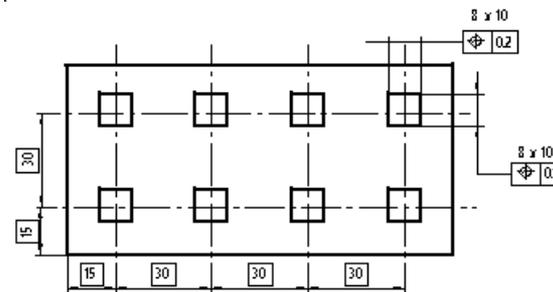
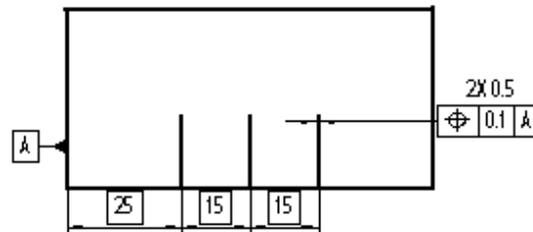
Paralelepípedica



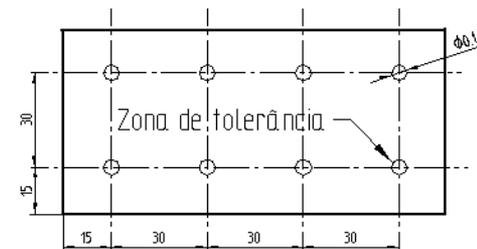
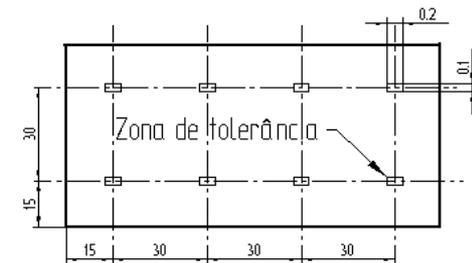
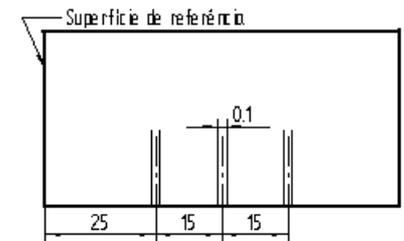
Cilíndrica



Indicação nos desenhos



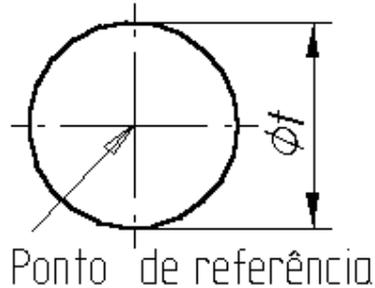
Interpretação



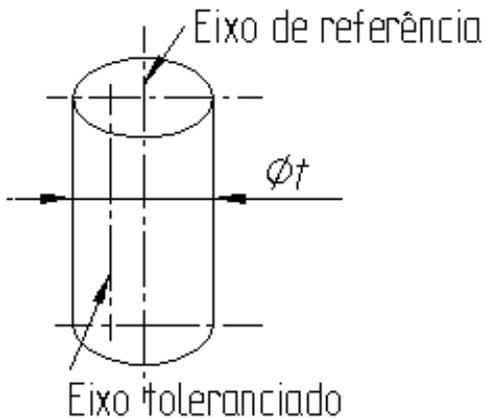
Concentricidade ou Coaxialidade

Definição

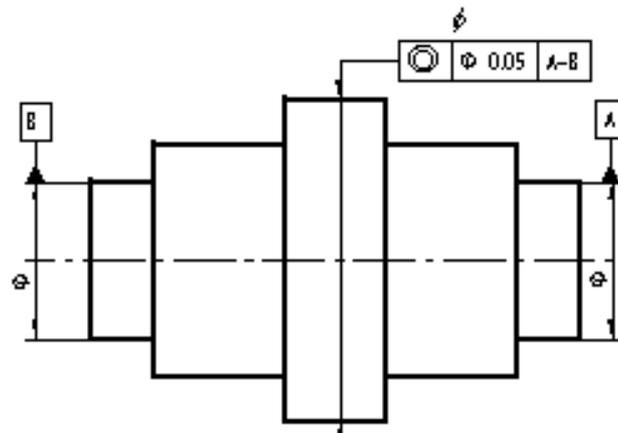
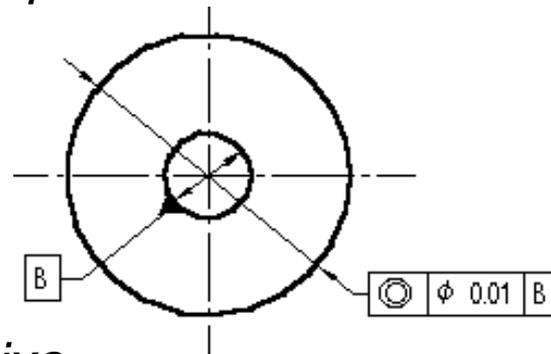
1) Concentricidade de um ponto



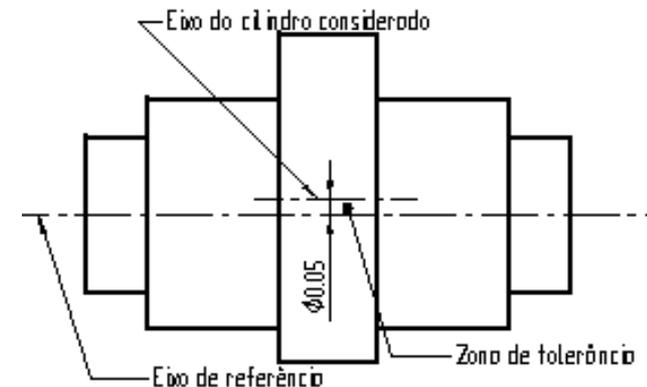
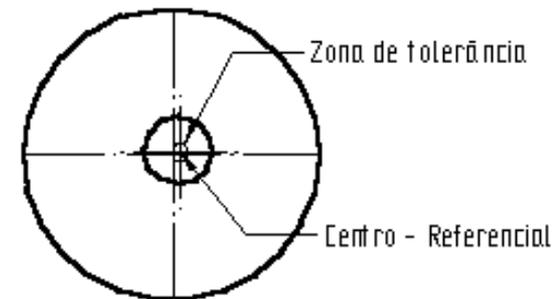
2) Coaxialidade de um eixo



Indicação nos desenhos



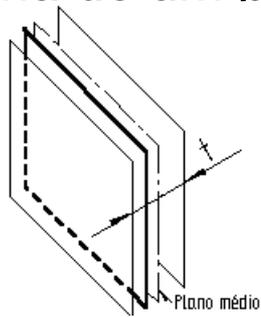
Interpretação



Simetria

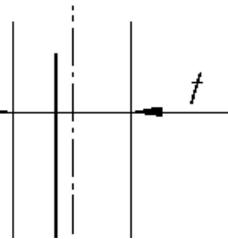
Definição

1) Simetria de um plano médio

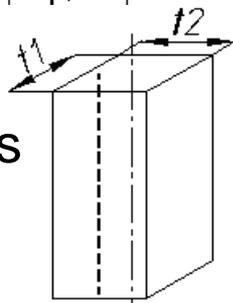


2) Simetria de uma linha ou eixo

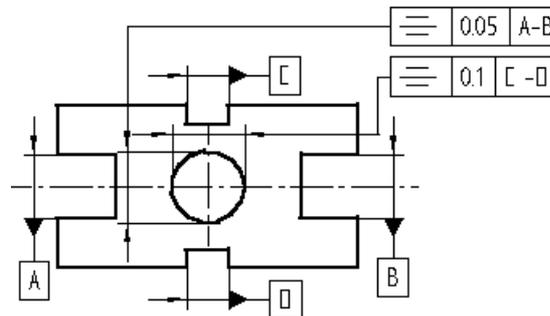
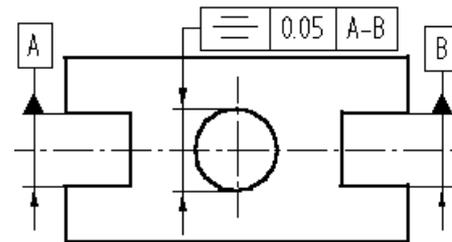
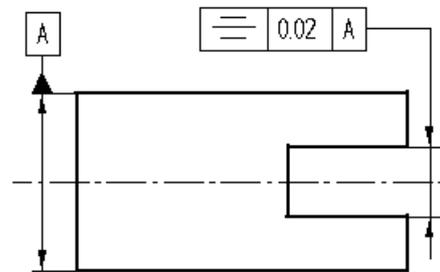
Numa direcção



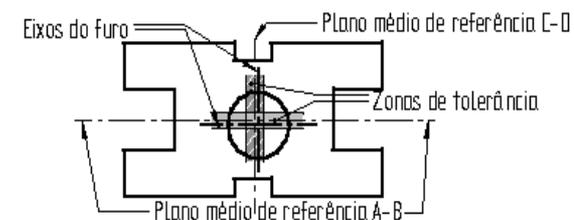
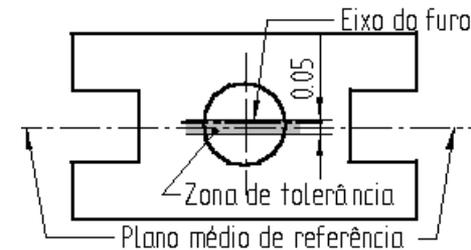
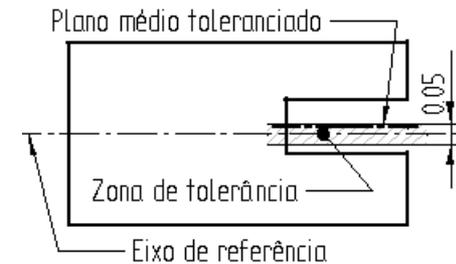
Em duas direcções



Indicação nos desenhos



Interpretação

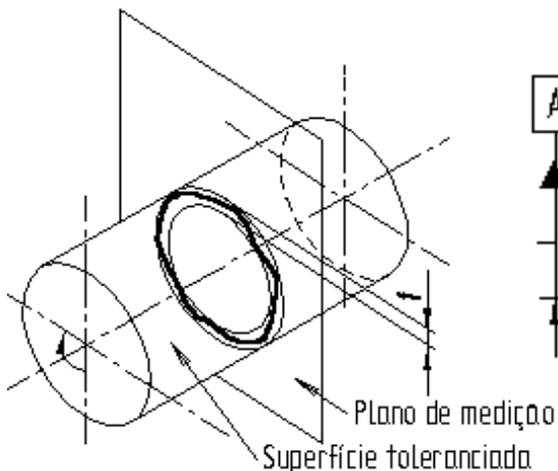


Batimento Circular

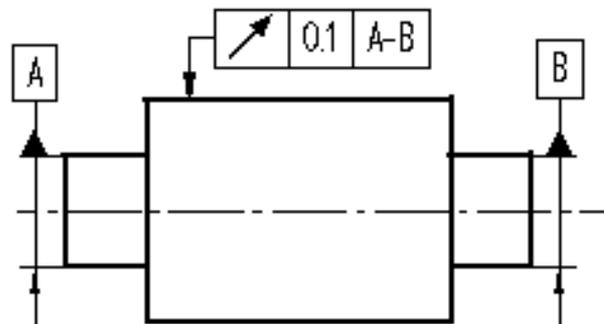
- Tolerâncias “dinâmicas”, que se aplicam a peças de revolução e implicam rotações completas em torno dos seus eixos.
- Tolerâncias geométricas compostas, que controlam simultaneamente a forma e a localização dos elementos em relação aos referenciais.

1) Batimento circular- Radial

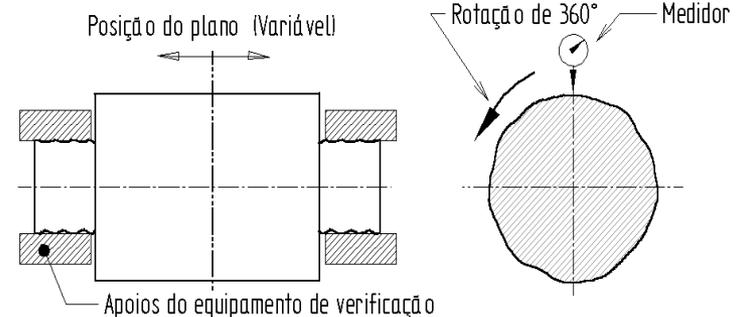
Definição



Indicação nos desenhos



Interpretação



Cada secção transversal é verificada autonomamente

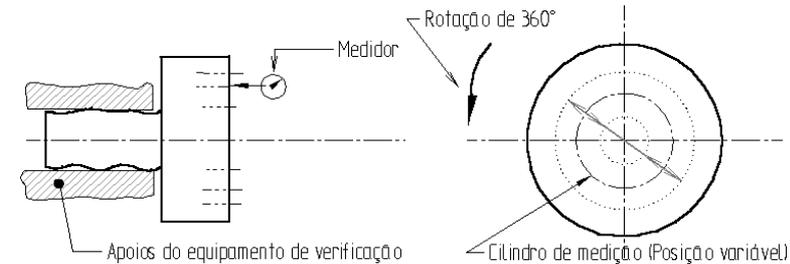
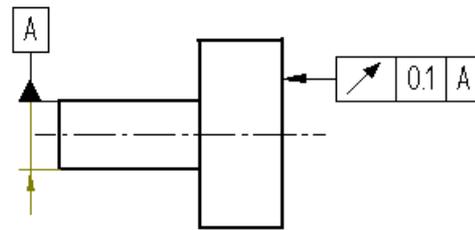
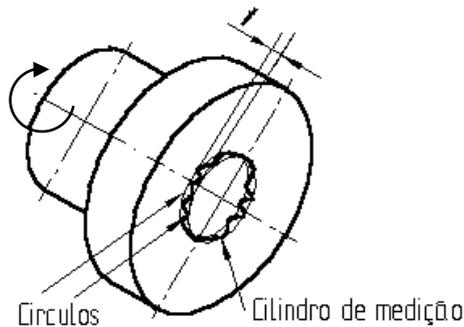
Batimento Circular (cont.)

Definição

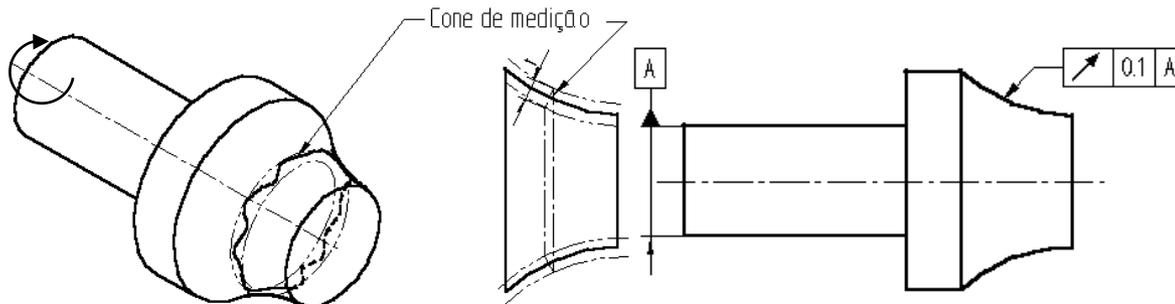
Indicação nos desenhos

Interpretação

2) Batimento circular-Axial



3) Batimento circular em qualquer direcção



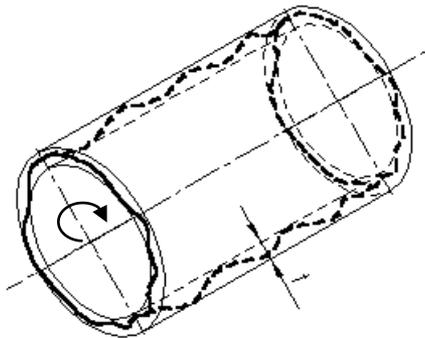
O batimento na direcção perpendicular à tangente da superfície considerada, não pode exceder 0.1 mm, durante uma rotação completa da peça, e qualquer um dos cones de medição considerados.

Batimento Total

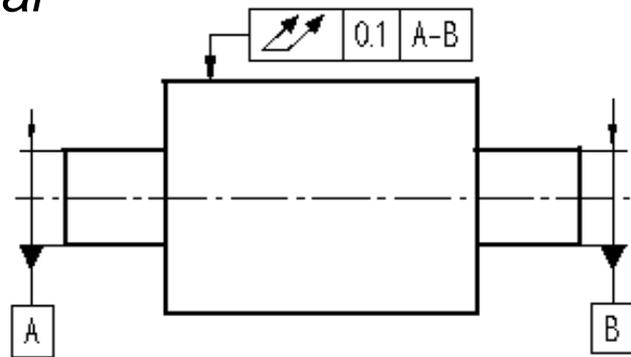
O batimento total é verificado simultaneamente para todas as secções transversais da peça.

Definição

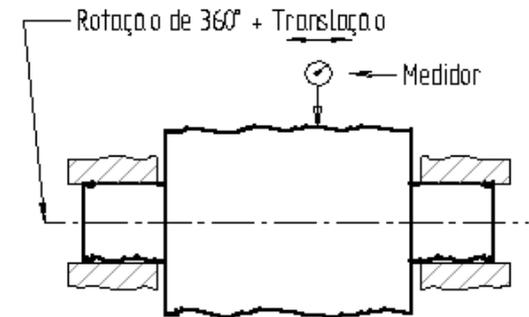
1) *Batimento Total – Radial*



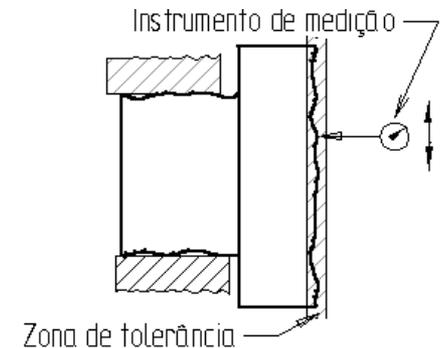
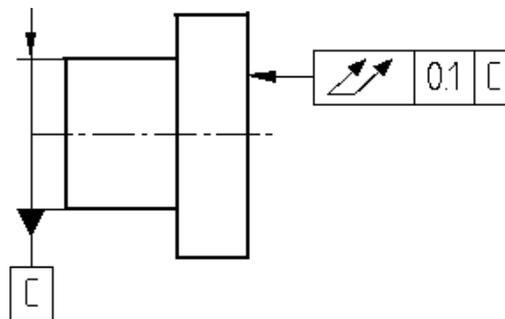
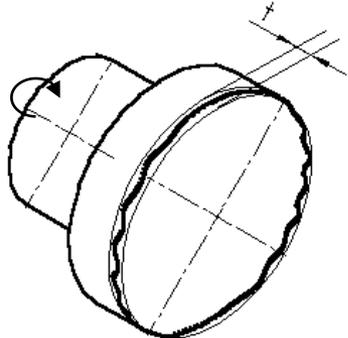
Indicação nos desenhos



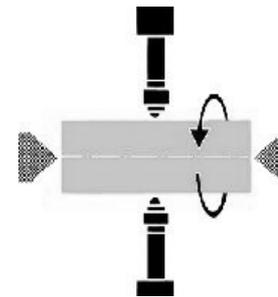
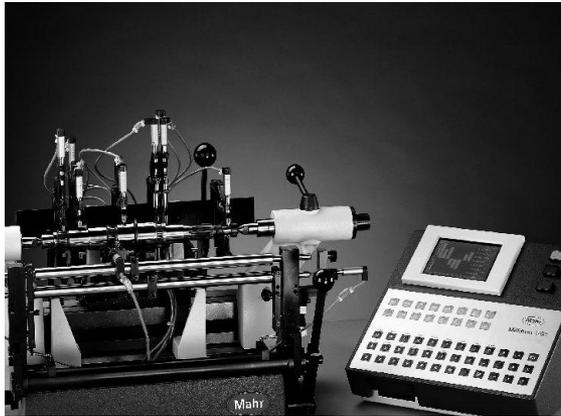
Interpretação



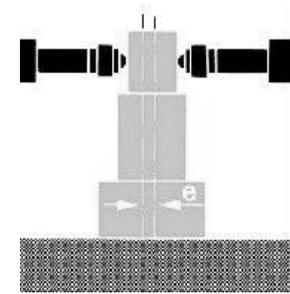
2) *Batimento Total – Axial*



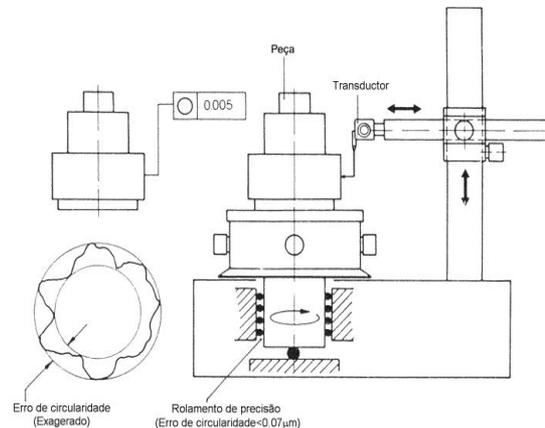
Técnicas e Equipamentos de Verificação



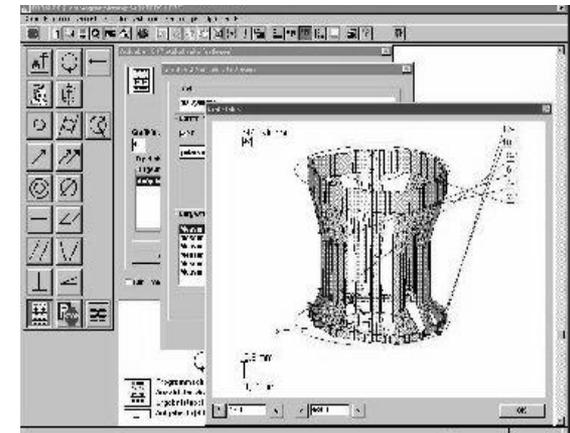
Circularidade



Coaxialidade

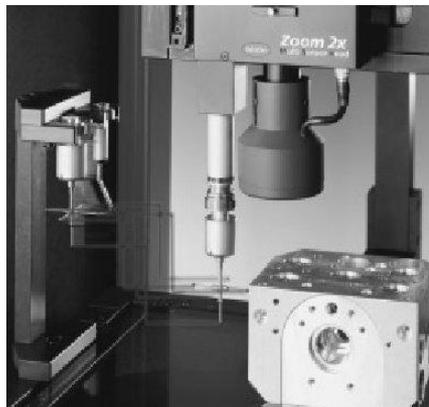
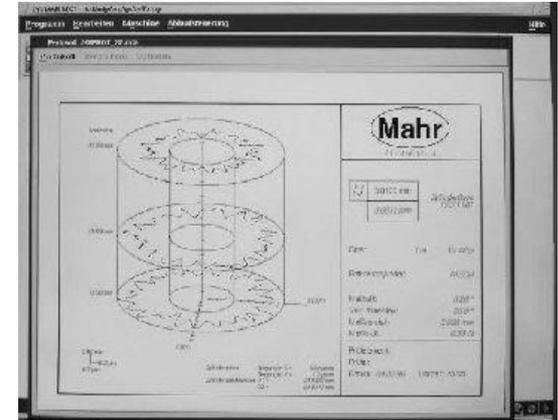


Circularidade



Software para tratamento dos dados obtidos

Técnicas e Equipamentos de Verificação (cont.)



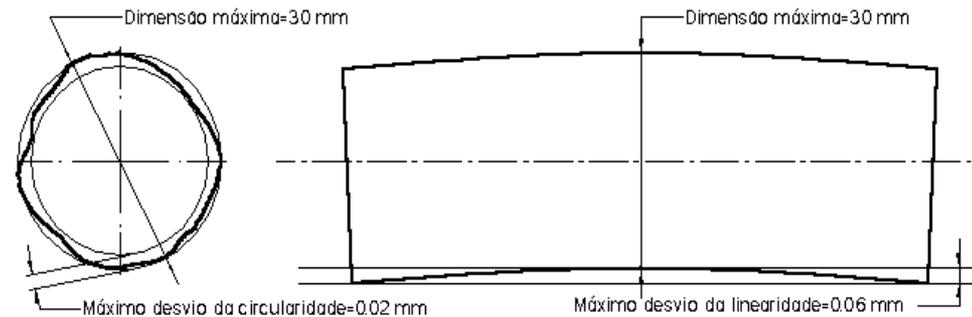
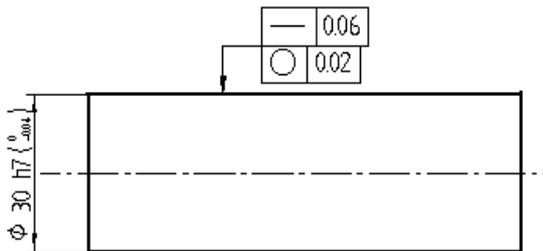
- Equipamentos usam sensores mecânicos, acústicos ou ópticos (laser).
A verificação na maior parte das situações é estatística (Apenas algumas peças de um lote são verificadas).

- Alguns destes equipamentos também são usados para verificação do toleranciamento dimensional e medição de rugosidades das superfícies

Princípio da Independência - ISO 8015

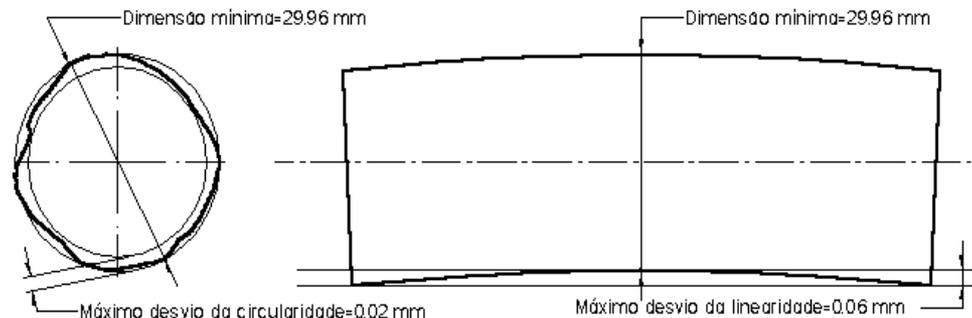
- Quando tolerâncias dimensionais e geométricas são especificadas simultaneamente num desenho, estas devem ser verificadas independentemente, excepto se alguma indicação em contrário for inscrita no desenho, tais como os modificadores  ou .

Indicação nos desenhos



Interpretação

- Independentemente do valor das cotas locais dos elementos, as variações geométricas admissíveis são constantes.



Princípio do máximo material

- A aplicação do Princípio do máximo Material , facilita o fabrico ao permitir tolerâncias mais elevadas, sem no entanto, prejudicar a montagem.
- Cota virtual não pode ser violada (Ver definição).
- Pode ser aplicado aos elementos e/ou aos referenciais.
- Da aplicação do princípio do máximo material resulta, uma Tolerância de Bónus, a qual não prejudica a montagem, e facilita o fabrico.

Princípio do máximo material (cont.)

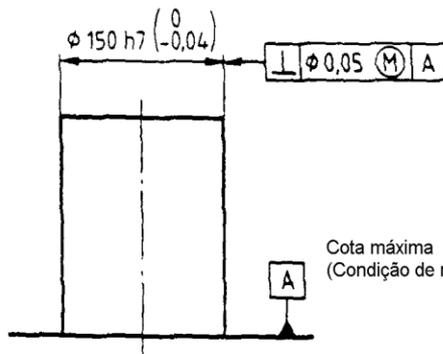
Definições:

- **Condição de máximo material (CMM):** Quando aplicada a um elemento significa que esse elemento tem a maior quantidade possível de material, permitido pelo toleranciamento dimensional. Ou seja Elementos externos (veios) estão à cota máxima, e elementos internos (furos) estão à cota mínima.
- **Condição de máximo material (CmM):** Mesma descrição que para a CMM, mas agora para a mínima quantidade de material.
- **Condição Virtual (CV):** Corresponde à fronteira limite de um elemento geometricamente perfeito, obtida a partir das cotas e tolerâncias inscritas no desenho.

No caso de um elemento externo corresponde à soma da cota na situação de máximo material (cota máxima) + valor das tolerâncias geométricas inscritas no desenho. Outra interpretação deste conceito: Dimensão de um “Calibre geométrico”, no qual a peça fosse introduzida com folga nula.

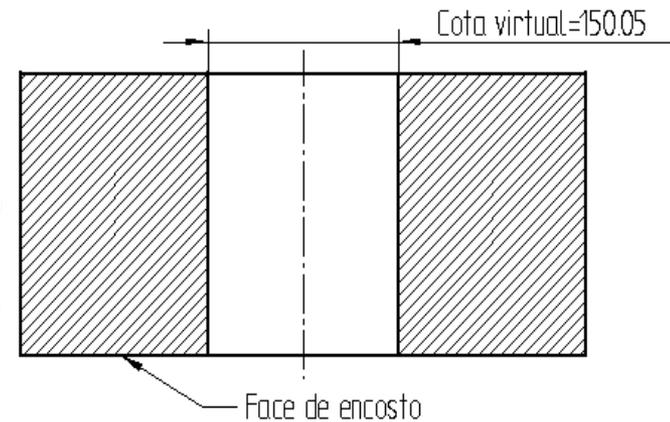
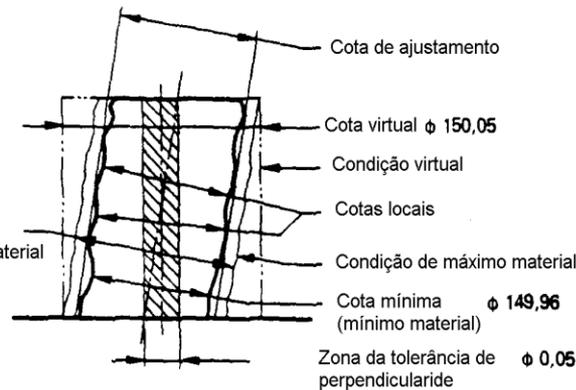
- **Cota de ajustamento para um elemento externo:** É a cota mínima do elemento geometricamente perfeito, que circunscreve o elemento considerado.

Princípio do máximo material (cont.)

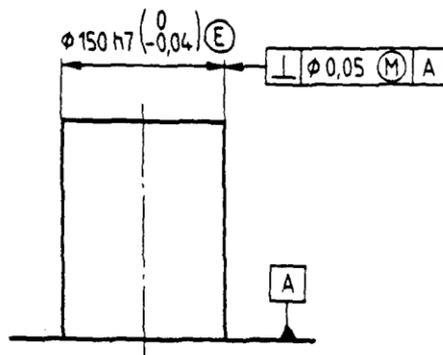


Cota máxima $\phi 150$
(Condição de máximo material)

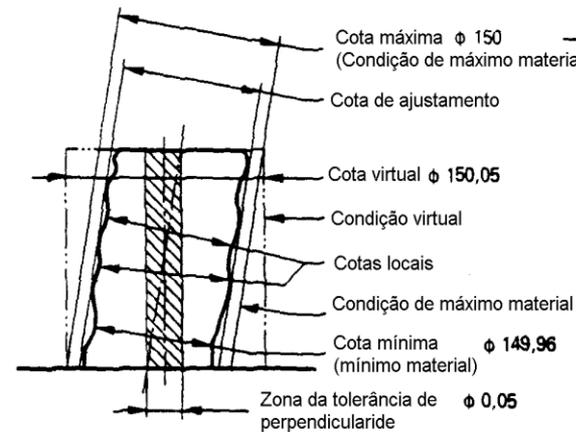
a) Dimensionamento de acordo com o princípio da independência



Calibre Geométrico

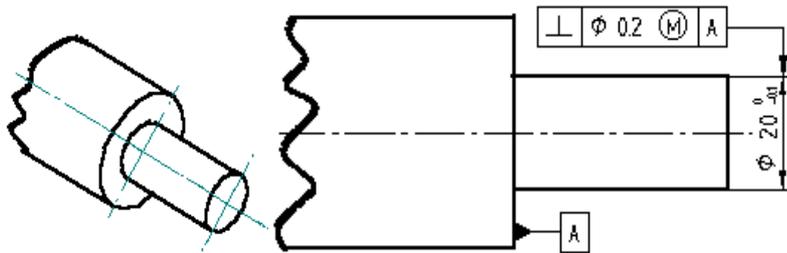


b) Dimensionamento de acordo com o princípio da envolvente



Princípio do Máximo Material (cont.)

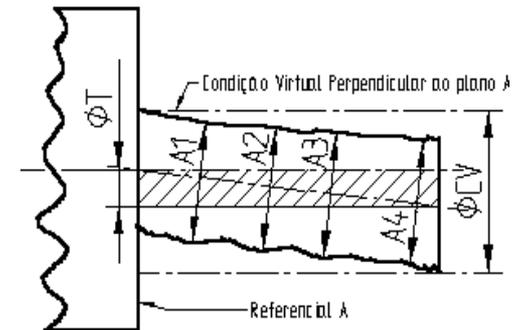
Indicação nos desenhos



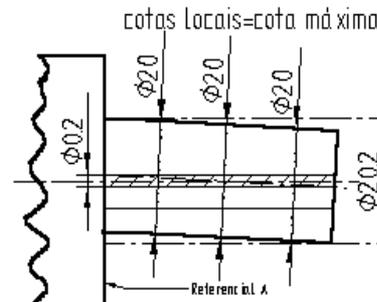
Cotas locais:

- Entre 9.9 e 20 mm

Interpretação



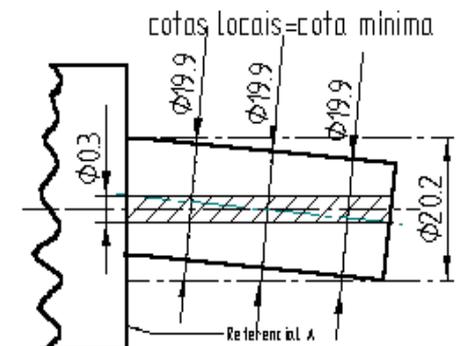
- Cota virtual = Cota máxima (20mm) + Tol. Geom. Perp. (0.2 mm) = 20.2 mm



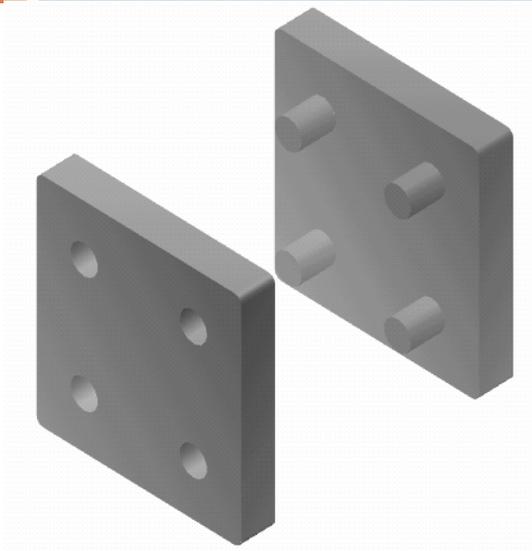
Na condição de máximo material,

- f=20mm e Tol. Geom.
- Perpendicularidade=0.2 mm

- Para veio à cota mínima (19.9mm), a tolerância de perpendicularidade pode aumentar 0.1 mm (Tol. Bónus), sem prejudicar os requisitos funcionais.



Princípio de Máximo Material

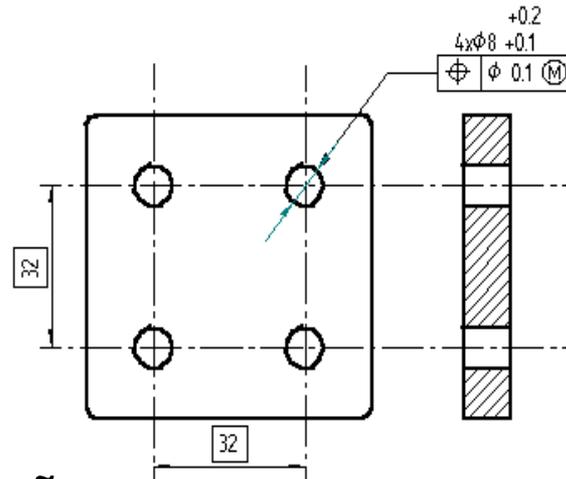


Interpretação

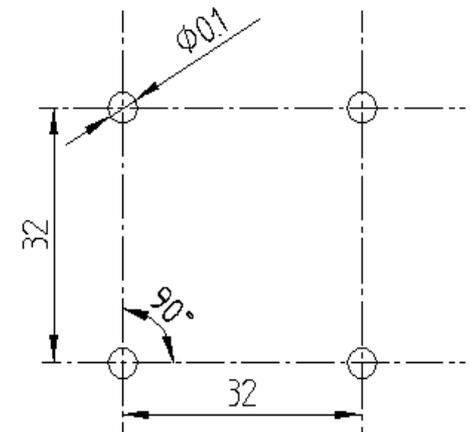
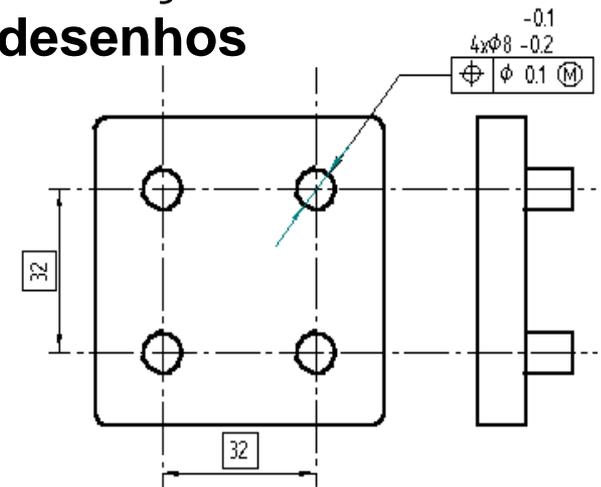
Se a localização de furos e pinos fosse exacta ocorreria sempre folga. Folga mínima=0.2 mm.

- Cota virtual (Furos)= $f_{\text{furo}}(\text{CMM}) - \text{Tol. Geom.} = 8.1 - 0.1 = 8\text{mm}$
- Cota virtual (pinos)= $f_{\text{pino}}(\text{CMM}) + \text{Tol. Geom.} = 7.9 + 0.1 = 8\text{mm}$

Como a cota virtual não pode ser violada, existe sempre folga.

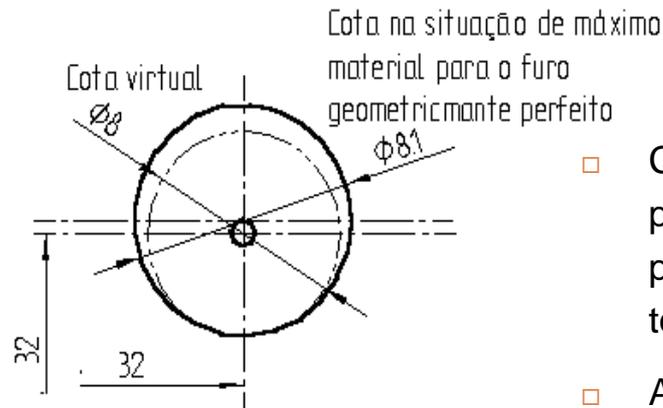
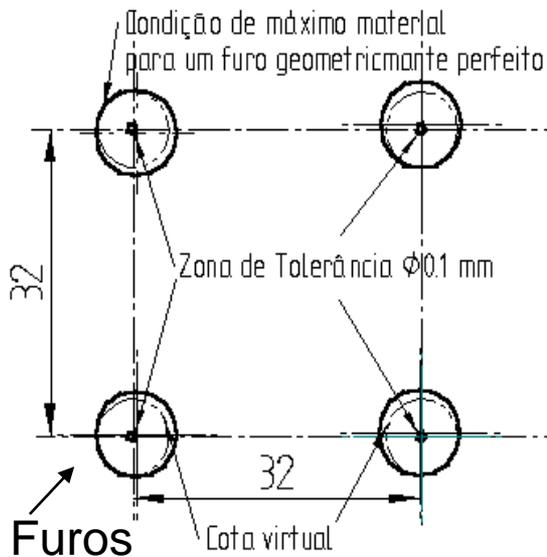


Indicação nos desenhos



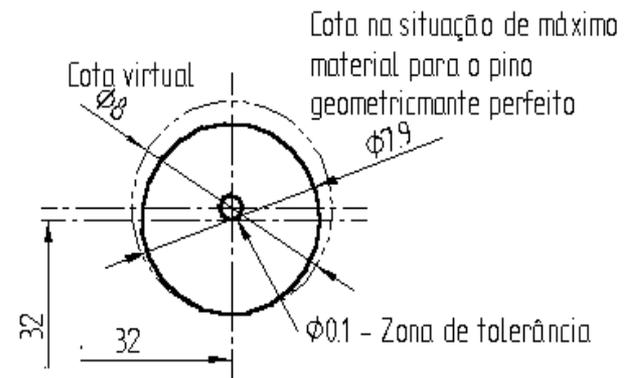
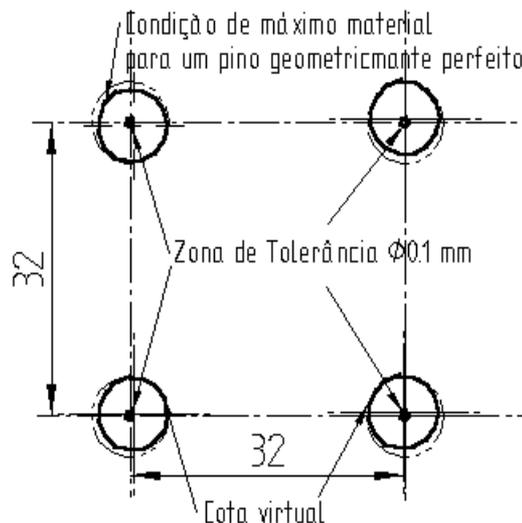
Princípio do Máximo Material (cont.)

Interpretação – Passo 2



- Condição virtual é obtida, posicionando o centro dos furos e pinos, nos limites da zona de tolerância, para a CMM.
- A Condição virtual define a fronteira nas qual furos e pinos devem estar contidos.

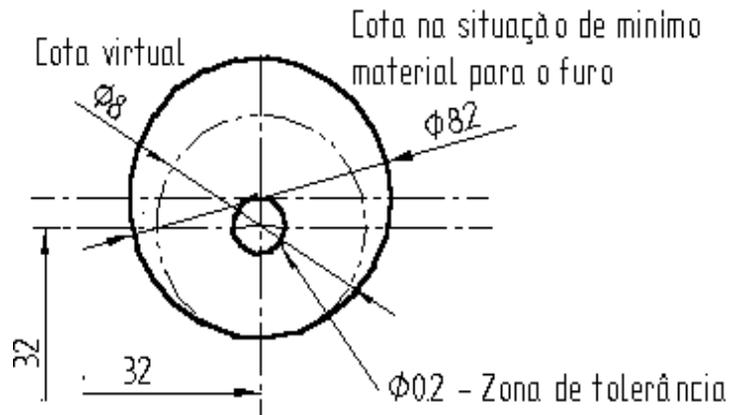
Pinos



Princípio do Máximo Material (cont.)

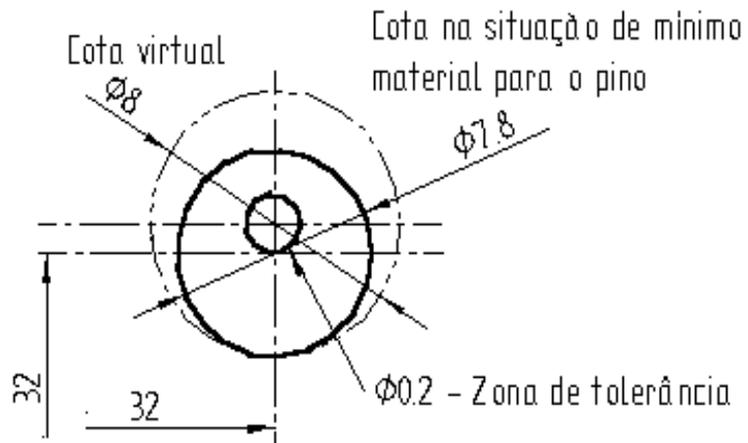
Interpretação – Passo 3

Furos



- Como a tolerância geométrica de posição é definida para a CMM, quando furos e pinos não estão na CMM, a tolerância de posição aumenta.
- A tolerância de posição é máxima, na situação em que ambos estão na condição de mínimo material.

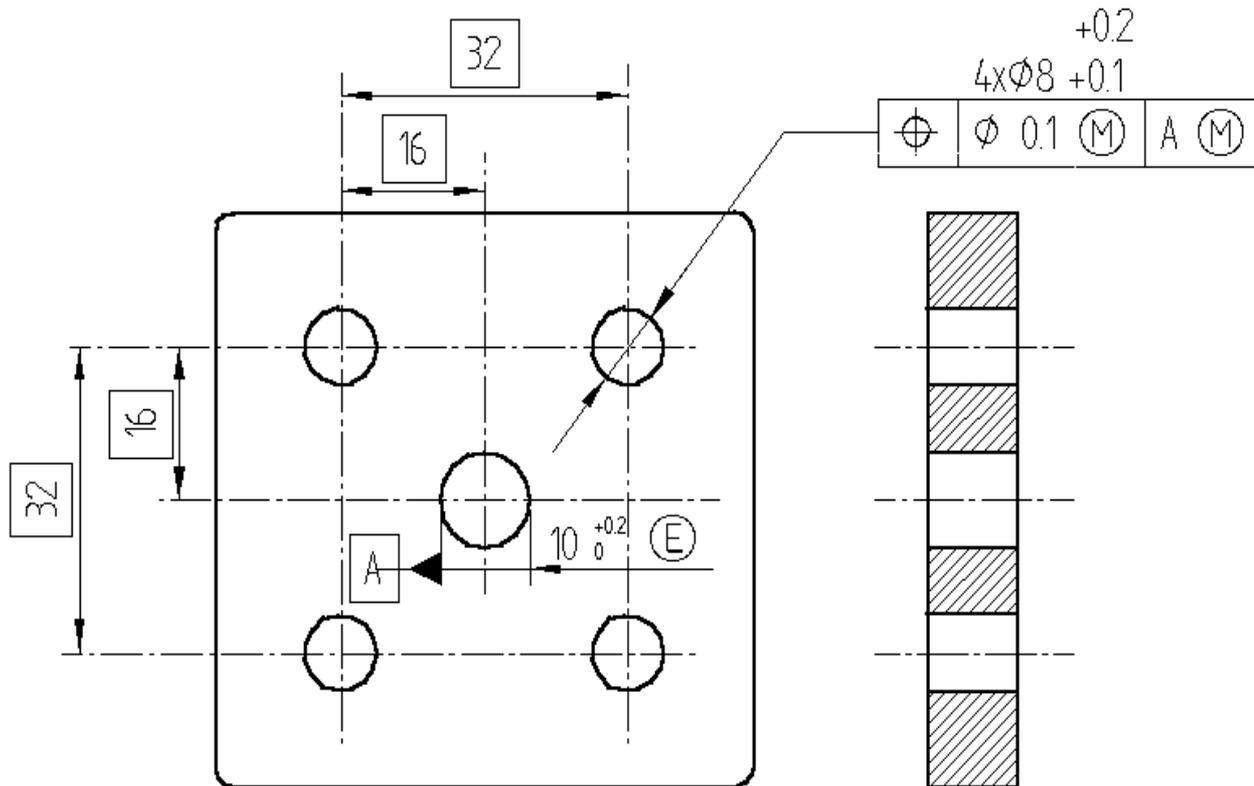
Pinos



- Na situação correspondente aos furos e pinos na condição de mínimo material, e com tolerâncias de posição máximas, verifica-se que, ainda é possível, a montagem com folga.

Princípio do Máximo Material (cont.)

Indicação nos desenhos

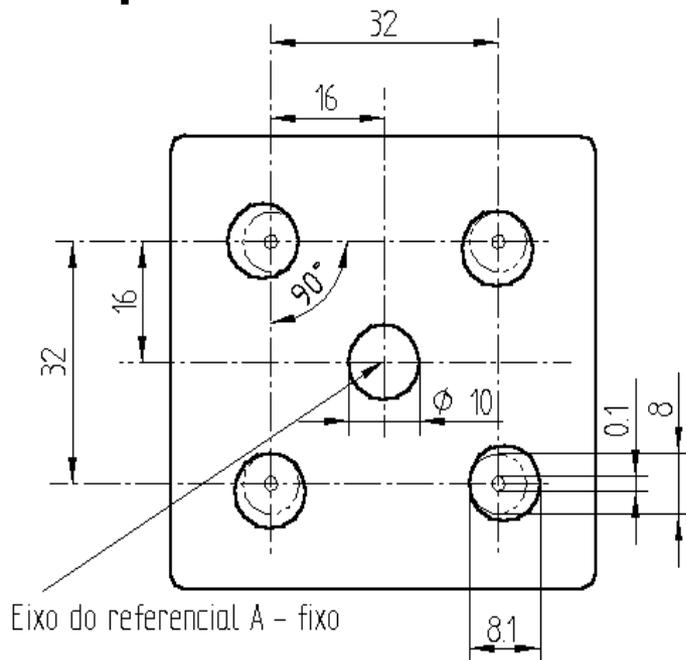


Interpretação

- As dimensões locais dos furos de $f=8$ mm, devem estar entre 8.1 e 8.2 mm.
- Como a posição dos furos é toleranciada geometricamente, as cotas de localização dos furos são teoricamente exactas.

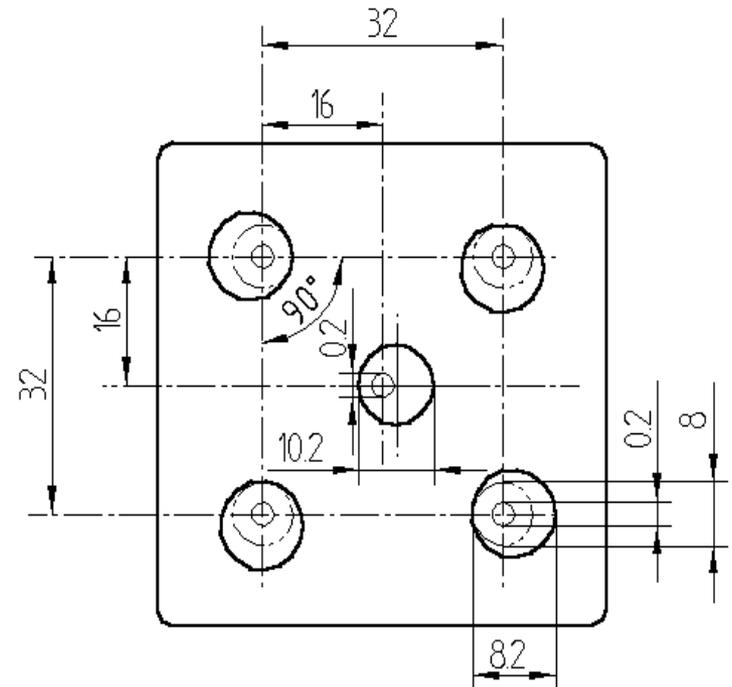
Princípio do Máximo Material (cont.)

Sem modificador aplicado ao referencial



- Cota virtual= $8.1 - 0.1 = 8\text{mm}$
Diâmetro dos furos de $f = 8\text{mm}$, está entre 8.1mm (CMM) e 8.2mm (CmM).

Com modificador aplicado ao referencial

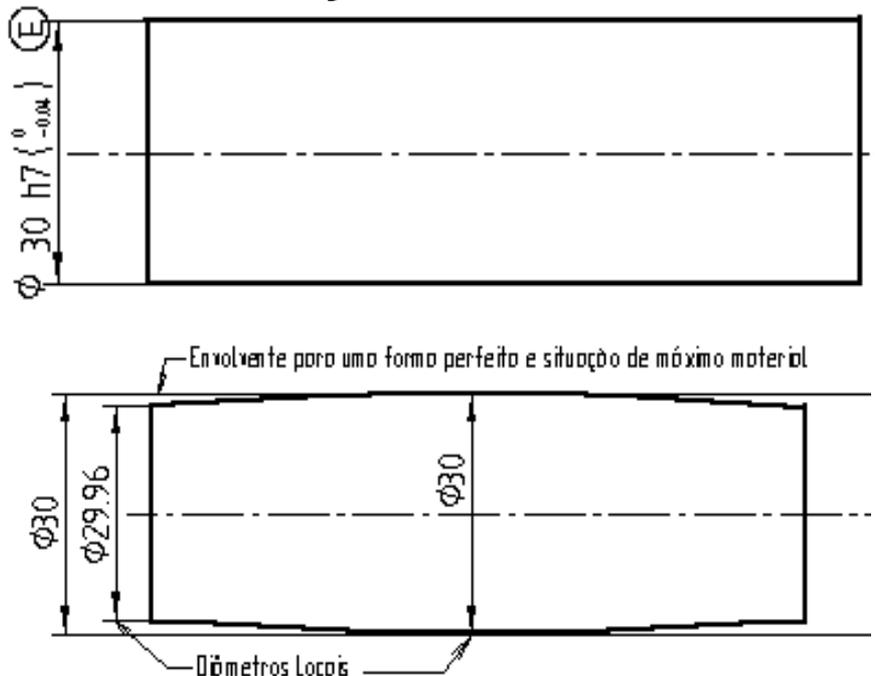


- Tolerância de localização do furo de $f = 10\text{mm}$, situa-se entre 0mm (CMM) e 0.2mm (CmM)

Princípio da Envoltente

- Aplica-se a elementos dimensionais individuais.
- A envoltente do elemento que corresponde à sua forma geometricamente perfeita na situação de máximo material não pode ser violada.

Indicação nos desenhos



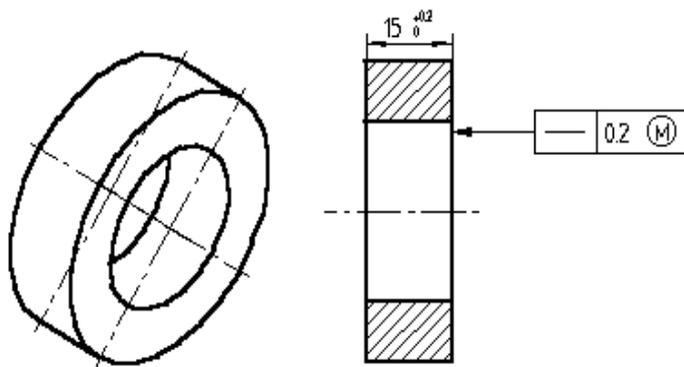
Interpretação

- A envoltente do elemento, que corresponde à sua forma geometricamente perfeita na situação de máximo material, não pode ser violada.
- A superfície do veio não pode ultrapassar o cilindro envoltente geometricamente perfeito para a situação de máximo material, o que implica que, se o veio está na situação de máximo material, então tem de ser geometricamente perfeito.

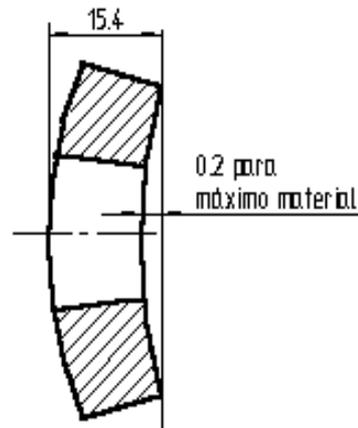
Tolerância de Bónus

DEFINIÇÃO: Tolerância adicional que se obtém da aplicação do princípio do máximo material ou da envolvente.

Indicação nos desenhos



Interpretação



- Quando a peça não está na CMM, obtém-se uma tolerância de bónus adicional.
- Sem modificador, Tol. Total é sempre igual a 0.2 mm.

Dimensão Real (mm)	Tolerância de retilismo	Tolerância de Bónus	Tolerância Total
15.2 (máximo material)	0.2	0	0.2
15.1	0.2	0.1	0.3
15.0 (mínimo material)	0.2	0.2	0.4

Regras para Aplicação do Tol. Geométrico

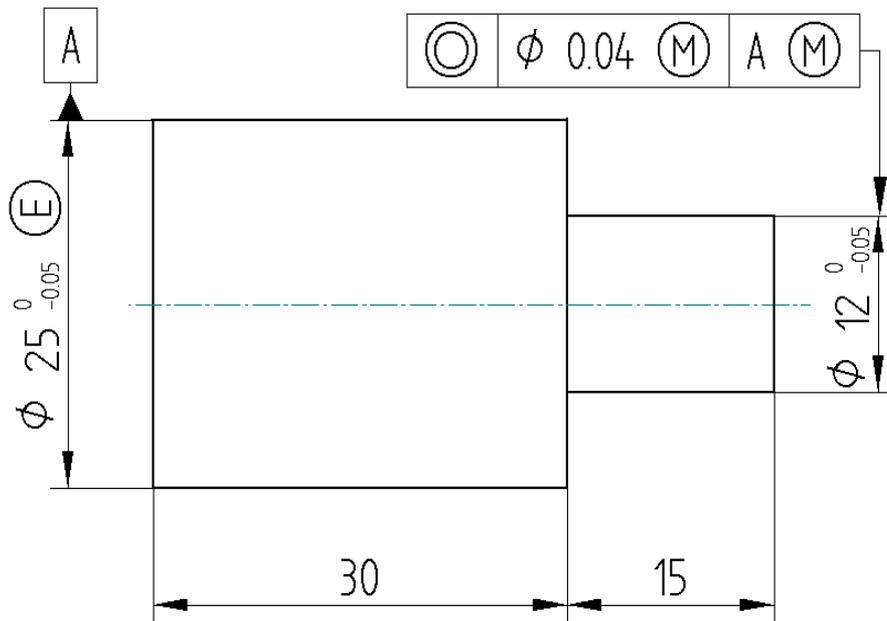
- ❑ **PRECISÃO:** Peças ou elementos são especificados de uma forma mais precisa e rigorosa.
- ❑ **MONTAGEM:** A aplicação dos princípios do toleranciamento é fundamental, de modo a que, sem prejudicar a montagem, se obtenham tolerâncias mais elevadas, reduzindo os custos de fabrico.
- ❑ **PEÇAS OU ELEMENTOS A APLICAR:**
 - ❑ 1) O toleranciamento geométrico não deve ser aplicado indiscriminadamente (não deve ser especificado, por exemplo, para elementos cujos erros geométricos não prejudiquem a sua função)
 - ❑ 2) Devem ser especificados com rigor para peças montadas, como por exemplo peças móveis de um motor, tais como, cilindros e êmbolos.
- ❑ **PROCESSO DE FABRICO:** As tolerâncias especificadas não obrigam à utilização de um determinado processo de fabrico, podendo no entanto, em certos casos condicionar o/os processo de fabrico a usar.
- ❑ **CONTROLO DE QUALIDADE E INSPECÇÃO:** O toleranciamento geométrico facilita a inspecção das peças fabricadas.

Especificação

- 1) Especificar a função das peças ou elementos. Esta é a parte mais importante, podendo certas funções da peça ser inviabilizadas devido a erros geométricos não considerados.
- 2) Listar as funções por ordem de prioridade.
- 3) Definir os referenciais. Estes são baseados nas funções das peças ou elementos. Um referencial pode ser usado para vários tipos de toleranciamento geométrico.
- 4) Especificar os controlos geométricos a usar. Começar da tolerância geométrica menos restritiva para a mais restritiva.
- 5) Especificar os valores das tolerâncias. Note-se que estes valores condicionam os custos de fabrico, devendo ser criteriosamente definidos.

Exemplo 1

Indicação nos desenhos



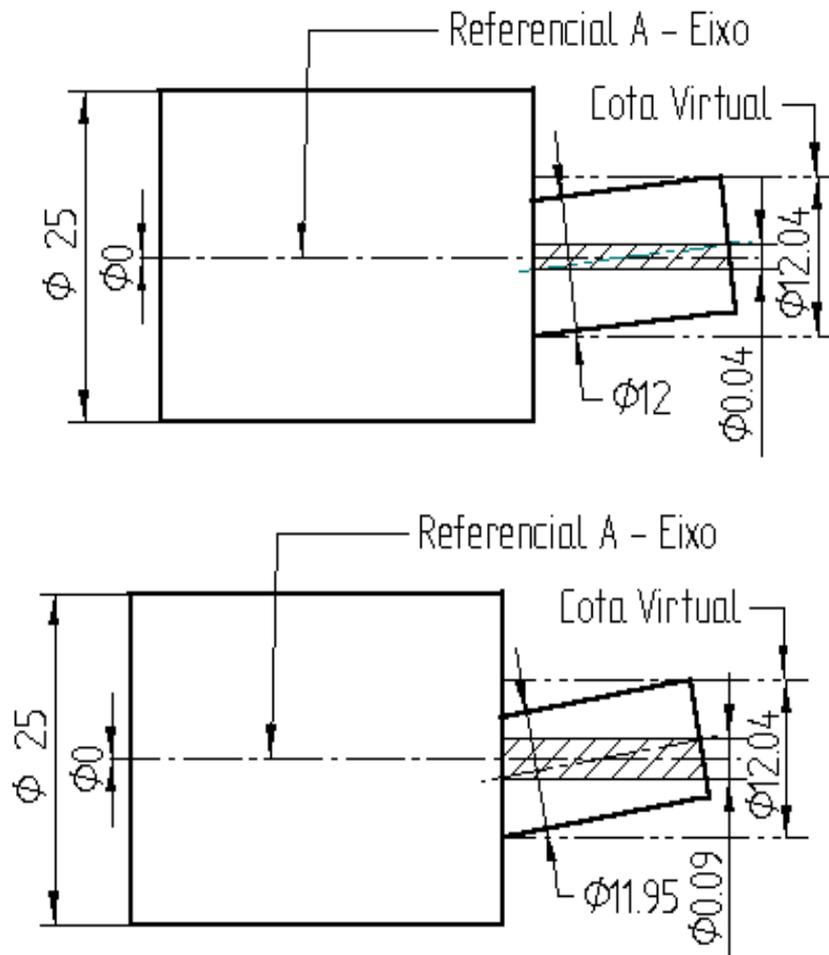
Requisitos funcionais

- Todas as cotas locais do elemento tolerenciado deve estar compreendidas entre 11.95 e 12 mm.
- Todas as cotas locais do elemento de referência devem estar entre 24.95 e 25mm.
- O princípio do máximo material é aplicado ao elemento tolerenciado e ao referencial.
- O princípio da envolvente é aplicado ao elemento que serve de referencial.

- Cota virtual do elemento tolerenciado = 12 mm (CMM)+ 0.04 (Tol. Concentricidade)=12.04 mm

Exemplo 1 (cont.)

Interpretação- Passos 1 e 2



- 1) Na condição de máximo material o elemento tolerenciado não pode violar a condição virtual.
- 2) Estando o elemento de referência na condição de máximo material a zona de tolerância para o seu eixo é de 0mm.
- 3) No caso do elemento tolerenciado estar na condição de mínimo material, a sua tolerância de coaxialidade é de 0.09 mm.
- 4) Quando o elemento da esquerda tem um diâmetro inferior à cota máxima, a zona de tolerância para o seu eixo está entre 0 e 0.05 mm.