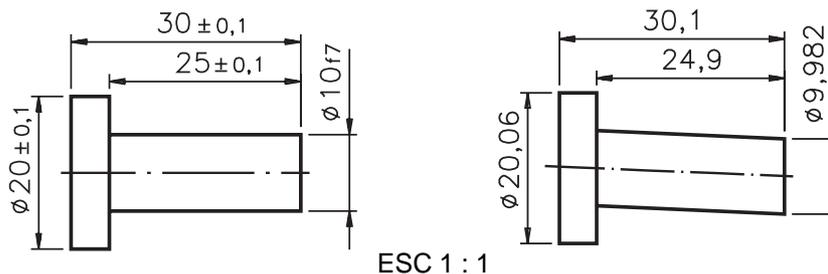


Tolerância geométrica

A execução da peça dentro da tolerância dimensional não garante, por si só, um funcionamento adequado. Veja um exemplo.

A figura da esquerda mostra o desenho técnico de um pino, com indicação das tolerâncias dimensionais. A figura da direita mostra como ficou a peça depois de executada, com a indicação das dimensões efetivas.



Note que, embora as dimensões efetivas do pino estejam de acordo com a tolerância dimensional especificada no desenho técnico, a peça real não é exatamente igual à peça projetada. Pela ilustração você percebe que o pino está deformado.

Não é suficiente que as dimensões da peça estejam dentro das tolerâncias dimensionais previstas. É necessário que as peças estejam dentro das formas previstas para poderem ser montadas adequadamente e para que funcionem sem problemas. Do mesmo modo que é praticamente impossível obter uma peça real com as dimensões nominais exatas, também é muito difícil obter uma peça real com formas rigorosamente idênticas às da peça projetada. Assim, desvios de formas dentro de certos limites não chegam a prejudicar o bom funcionamento das peças.

Quando dois ou mais elementos de uma peça estão associados, outro fator deve ser considerado: a **posição relativa** desses elementos entre si.

As variações aceitáveis das **formas** e das **posições** dos elementos na execução da peça constituem as **tolerâncias geométricas**.

Interpretar desenhos técnicos com indicações de tolerâncias geométricas é o que você vai aprender nesta aula. Como se trata de um assunto muito complexo, será dada apenas uma visão geral, sem a pretensão de esgotar o tema. O aprofundamento virá com muito estudo e com a prática profissional.

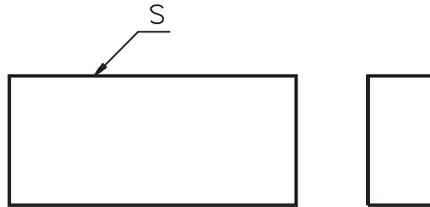
Introdução

Nossa aula

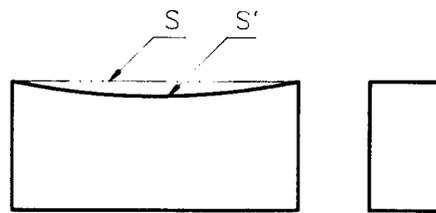
Tolerâncias de forma

As tolerâncias de forma são os desvios que um elemento pode apresentar em relação à sua forma geométrica ideal. As tolerâncias de forma vêm indicadas no desenho técnico para **elementos isolados**, como por exemplo, uma superfície ou uma linha. Acompanhe um exemplo, para entender melhor.

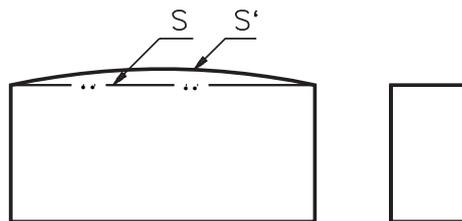
Analise as vistas: frontal e lateral esquerda do modelo prismático abaixo. Note que a superfície **S**, projetada no desenho, é uma superfície geométrica ideal **plana**.



Após a execução, a superfície real da peça **S'** pode não ficar tão plana como a superfície ideal **S**. Entre os desvios de **planeza**, os tipos mais comuns são a **concavidade** e a **convexidade**.

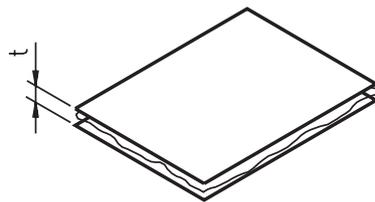


Forma real côncava



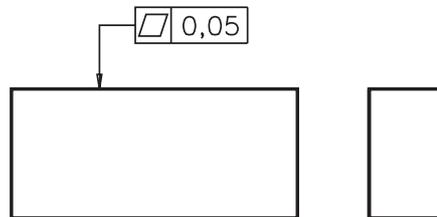
Forma real convexa

A **tolerância de planeza** corresponde à distância **t** entre dois planos ideais imaginários, entre os quais deve encontrar-se a superfície real da peça.



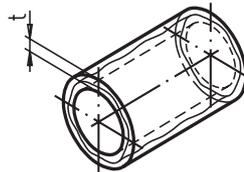
No desenho anterior, o espaço situado entre os dois planos paralelos é o campo de tolerância.

Nos desenhos técnicos, a indicação da tolerância de planeza vem sempre precedida do seguinte símbolo: \square .

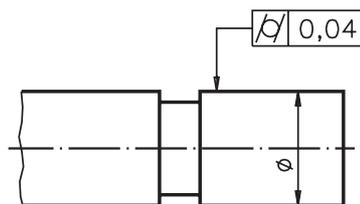


Um outro tipo de tolerância de forma de superfície é a tolerância de **cilindricidade**.

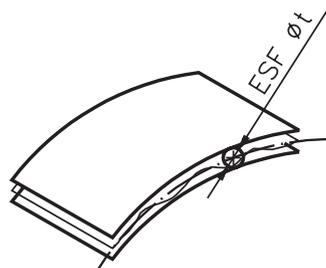
Quando uma peça é cilíndrica, a forma real da peça fabricada deve estar situada entre as superfícies de dois cilindros que têm o mesmo eixo e raios diferentes.



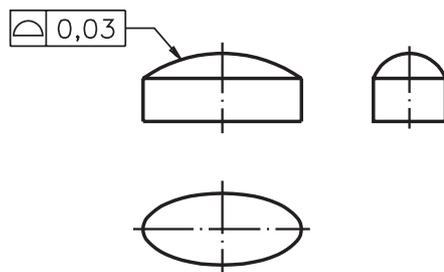
No desenho acima, o espaço entre as superfícies dos cilindros imaginários representa o campo de tolerância. A indicação da tolerância de cilindridade, nos desenhos técnicos, vem precedida do seguinte símbolo: \bigcirc .



Finalmente, a superfície de uma peça pode apresentar uma forma qualquer. A tolerância de **forma de uma superfície qualquer** é definida por uma esfera de diâmetro t , cujo centro movimenta-se por uma superfície que tem a forma geométrica ideal. O campo de tolerância é limitado por duas superfícies tangentes à esfera t , como mostra o desenho a seguir.



A tolerância de forma de uma superfície qualquer vem precedida, nos desenhos técnicos, pelo símbolo: \triangle .



Resolva um exercício, antes de prosseguir.

Verificando o entendimento

Ligue cada símbolo à tolerância de forma de superfície que ele representa:

- | | | |
|----|---|---|
| a) |  | ·planeza |
| b) |  | ·circularidade |
| c) |  | ·cilindricidade
·superfície qualquer |

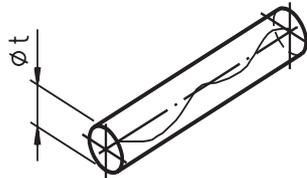
Verifique se você fez as associações acertadas: **a)** superfície qualquer; **b)** cilindricidade e **c)** planeza.

Até aqui você ficou conhecendo os símbolos indicativos de tolerâncias de forma de **superfícies**. Mas, em certos casos, é necessário indicar as tolerâncias de forma de **linhas**.

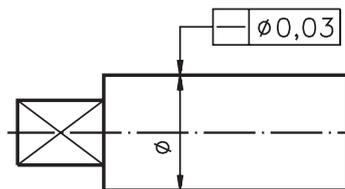
São três os tipos de tolerâncias de forma de linhas: **retilicidade, circularidade e linha qualquer**.

A **tolerância de reticidade** de uma linha ou eixo depende da forma da peça à qual a linha pertence.

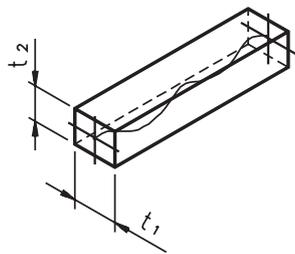
Quando a peça tem forma cilíndrica, é importante determinar a tolerância de reticidade em relação ao eixo da parte cilíndrica. Nesses casos, a tolerância de reticidade é determinada por um cilindro imaginário de diâmetro **t**, cujo centro coincide com o eixo da peça.



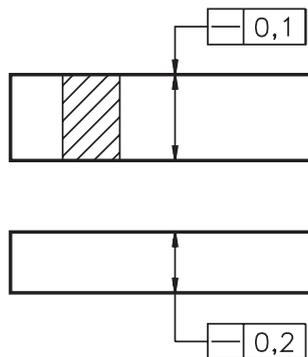
Nos desenhos técnicos, a tolerância de reticidade de linha é indicada pelo símbolo: , como mostra o desenho abaixo.



Quando a peça tem a forma cilíndrica, o campo de tolerância de reticidade também tem a forma cilíndrica. Quando a peça tem forma prismática com **seção retangular**, o campo de tolerância de reticidade fica definido por um paralelepípedo imaginário, cuja base é formada pelos lados **t1** e **t2**.



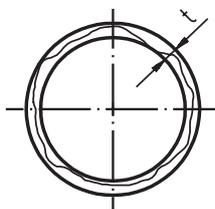
No caso das peças prismáticas a indicação de tolerância de retilidade também é feita pelo símbolo: — que antecede o valor numérico da tolerância.



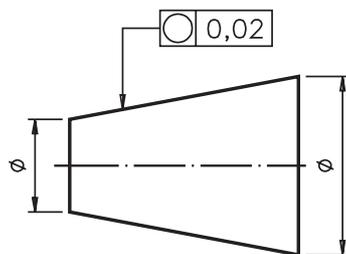
Em peças com forma de disco, cilindro ou cone pode ser necessário determinar a **tolerância de circularidade**.

A tolerância de circularidade é determinada por duas circunferências que têm o mesmo centro e raios diferentes. O centro dessas circunferências é um ponto situado no eixo da peça.

O campo de tolerância de circularidade corresponde ao espaço t entre as duas circunferências, dentro do qual deve estar compreendido o contorno de cada seção da peça.



Nos desenhos técnicos, a indicação da tolerância de circularidade vem precedida do símbolo: \bigcirc

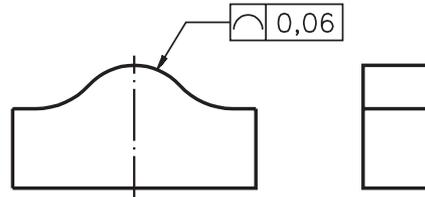


Finalmente, há casos em que é necessário determinar a tolerância de forma de uma linha qualquer. A tolerância de um perfil ou contorno qualquer é determinada por duas linhas envolvendo uma circunferência de diâmetro t cujo centro se desloca por uma linha que tem o perfil geométrico desejado.



Note que o contorno de cada seção do perfil deve estar compreendido entre duas linhas paralelas, tangentes à circunferência.

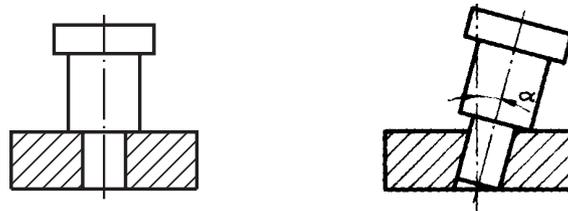
A indicação da tolerância de forma de uma linha qualquer vem precedida do símbolo: \bigcirc .



Cuidado para não confundir os símbolos! No final desta aula, você encontrará um quadro com o resumo de todos os símbolos usados em tolerâncias geométricas. Estude-o com atenção e procure memorizar todos os símbolos aprendidos.

Tolerâncias de orientação

Quando dois ou mais elementos são associados pode ser necessário determinar a **orientação** precisa de um em relação ao outro para assegurar o bom funcionamento do conjunto. Veja um exemplo.



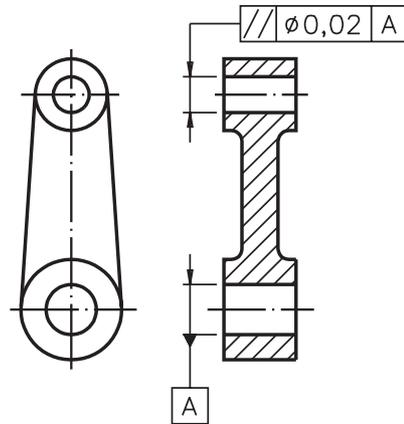
O desenho técnico da esquerda mostra que o eixo deve ser perpendicular ao furo. Observe, no desenho da direita, como um erro de perpendicularidade na execução do furo afeta de modo inaceitável a funcionalidade do conjunto. Daí a necessidade de se determinarem, em alguns casos, as **tolerâncias de orientação**. Na determinação das tolerâncias de orientação geralmente um elemento é escolhido como **referência** para indicação das tolerâncias dos demais elementos.

O elemento tomado como referência pode ser uma **linha**, como por exemplo, o eixo de uma peça. Pode ser, ainda, um **plano**, como por exemplo, uma determinada face da peça. E pode ser até mesmo um **ponto** de referência, como por exemplo, o centro de um furo. O elemento tolerado também pode ser uma **linha**, uma **superfície** ou um **ponto**.

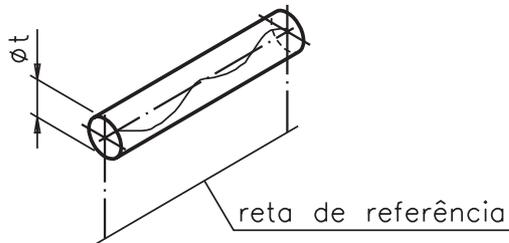
As tolerâncias de orientação podem ser de: **paralelismo**, **perpendicularidade** e **inclinação**. A seguir, você vai aprender a identificar cada um desses tipos de tolerâncias.

Tolerância de paralelismo

Observe o desenho técnico abaixo.



Nesta peça, o eixo do furo superior deve ficar paralelo ao eixo do furo inferior, tomado como referência. O eixo do furo superior deve estar compreendido dentro de uma zona cilíndrica de diâmetro t , paralela ao eixo do furo inferior, que constitui a reta de referência.

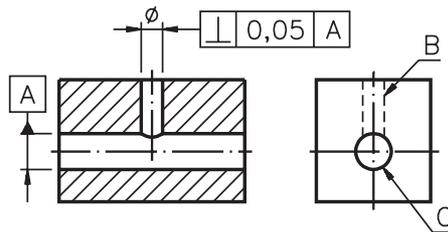


Na peça do exemplo anterior, o elemento tolerado foi uma linha reta: o eixo do furo superior. O elemento tomado como referência também foi uma linha: o eixo do furo inferior. Mas, há casos em que a tolerância de paralelismo de um eixo é determinada tomando-se como referência uma superfície plana.

Qualquer que seja o elemento tolerado e o elemento de referência, a indicação de tolerância de paralelismo, nos desenhos técnicos, vem sempre precedida do símbolo: \parallel

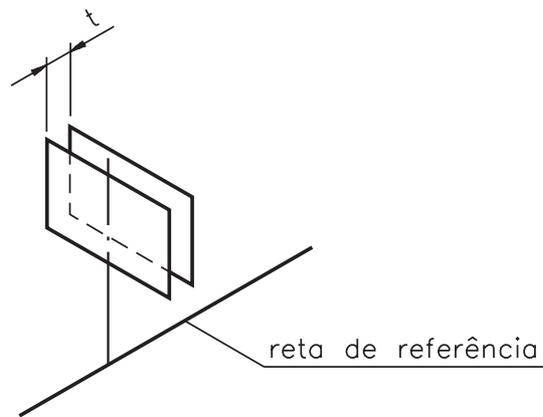
Tolerância de perpendicularidade

Observe o desenho abaixo.



Nesta peça, o eixo do furo vertical **B** deve ficar perpendicular ao eixo do furo horizontal **C**. Portanto, é necessário determinar a tolerância de perpendicularidade de um eixo em relação ao outro.

Tomando como reta de referência o eixo do furo **C**, o campo de tolerância do eixo do furo **B** fica limitado por dois planos paralelos, distantes entre si uma distância **t** e perpendiculares à reta de referência.

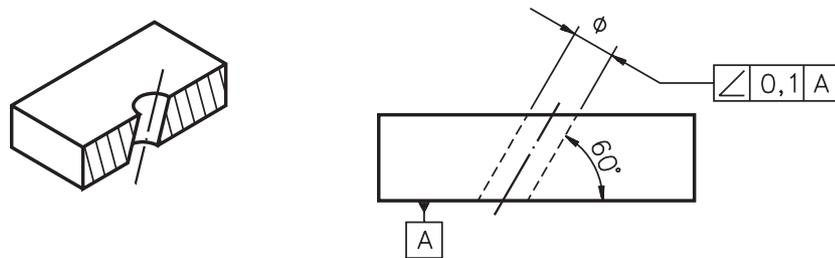


Dependendo da forma da peça, pode ser mais conveniente indicar a tolerância de perpendicularidade de uma linha em relação a um plano de referência.

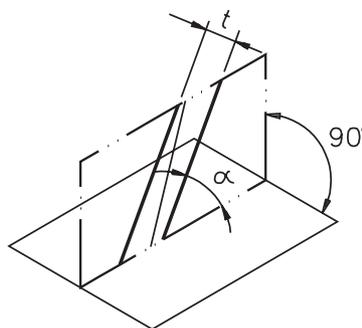
Nos desenhos técnicos, a indicação das tolerâncias de perpendicularidade vem precedida do seguinte símbolo: \perp .

Tolerância de inclinação

O furo da peça representada a seguir deve ficar inclinado em relação à base.



Para que o furo apresente a inclinação correta é necessário determinar a tolerância de inclinação do eixo do furo. O elemento de referência para determinação da tolerância, neste caso, é o plano da base da peça. O campo de tolerância é limitado por duas retas paralelas, distantes entre si uma distância **t**, que formam com a base o ângulo de inclinação especificado α .



Em vez de uma linha, como no exemplo anterior, o elemento tolerado pode ser uma superfície.

Nos desenhos técnicos, a indicação de tolerância de inclinação vem precedida do símbolo: \angle .

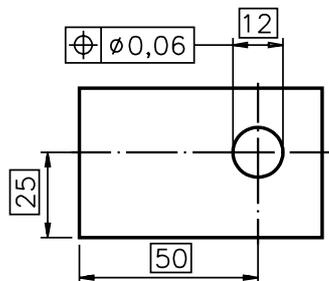
Tolerância de posição

Quando tomamos como referência a posição, três tipos de tolerância devem ser considerados: **de localização**; de **concentricidade** e de **simetria**.

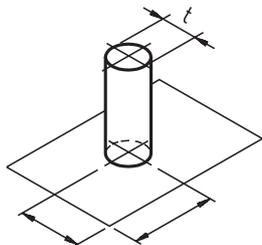
Saiba como identificar cada um desses tipos de tolerância acompanhando com atenção as próximas explicações.

Tolerância de localização

Quando a localização exata de um elemento, como por exemplo: uma linha, um eixo ou uma superfície, é essencial para o funcionamento da peça, sua **tolerância de localização** deve ser determinada. Observe a placa com furo, a seguir.



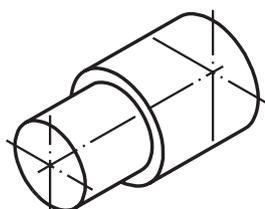
Como a localização do furo é importante, o eixo do furo deve ser tolerado. O campo de tolerância do eixo do furo é limitado por um cilindro de diâmetro t . O centro deste cilindro coincide com a localização ideal do eixo do elemento tolerado.



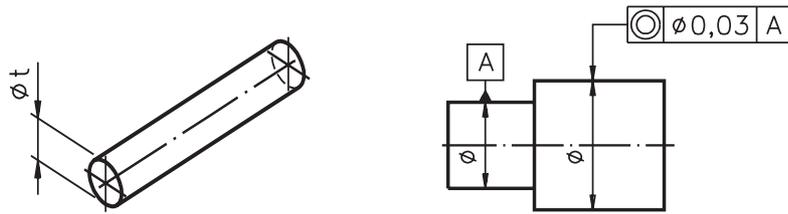
A indicação da tolerância de localização, nos desenhos técnicos, é antecedida pelo símbolo: \oplus .

Tolerância de concentricidade ou coaxialidade

Quando duas ou mais figuras geométricas planas regulares têm o mesmo centro, dizemos que elas são **concêntricas**. Quando dois ou mais sólidos de revolução têm o eixo comum, dizemos que eles são **coaxiais**. Em diversas peças, a concentricidade ou a coaxialidade de partes ou de elementos, é condição necessária para seu funcionamento adequado. Mas, determinados desvios, dentro de limites estabelecidos, não chegam a prejudicar a funcionalidade da peça. Daí a necessidade de serem indicadas as tolerâncias de concentricidade ou de coaxialidade. Veja a peça abaixo, por exemplo:



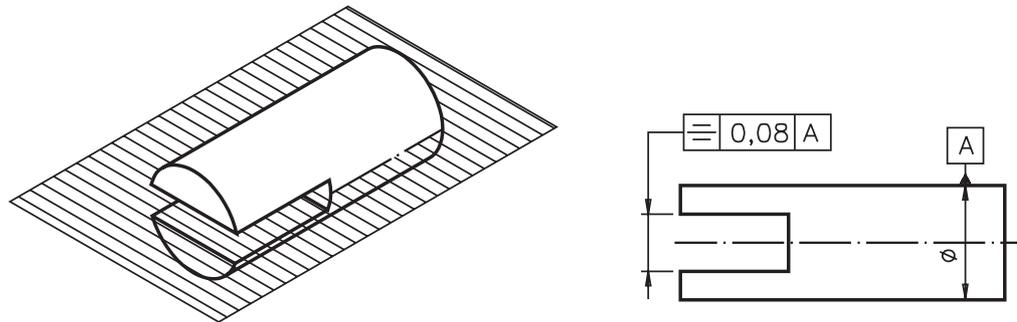
Essa peça é composta por duas partes de diâmetros diferentes. Mas, os dois cilindros que formam a peça são coaxiais, pois têm o mesmo eixo. O campo de tolerância de coaxialidade dos eixos da peça fica determinado por um cilindro de diâmetro t cujo eixo coincide com o eixo ideal da peça projetada.



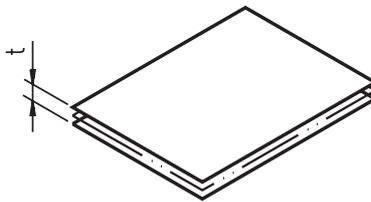
A tolerância de concentricidade é identificada, nos desenhos técnicos, pelo símbolo: \odot

Tolerância de simetria

Em peças simétricas é necessário especificar a tolerância de simetria. Observe a peça a seguir, representada em perspectiva e em vista única:



Preste atenção ao plano que divide a peça em duas partes simétricas. Na vista frontal, a simetria vem indicada pela linha de simetria que coincide com o eixo da peça. Para determinar a tolerância de simetria, tomamos como elemento de referência o plano médio ou eixo da peça. O campo de tolerância é limitado por dois planos paralelos, equidistantes do plano médio de referência, e que guardam entre si uma distância t . É o que mostra o próximo desenho.



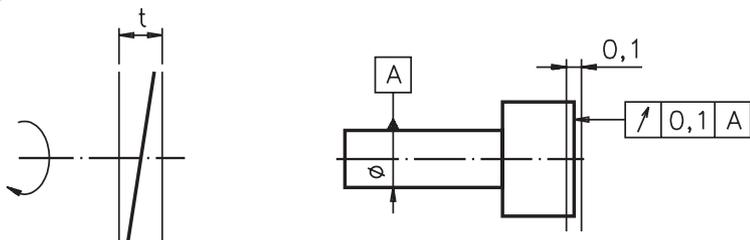
Nos desenhos técnicos, a indicação de tolerância de simetria vem precedida pelo símbolo: \equiv

Há ainda um outro tipo de tolerância que você precisa conhecer para adquirir uma visão geral deste assunto: tolerância de **batimento**.

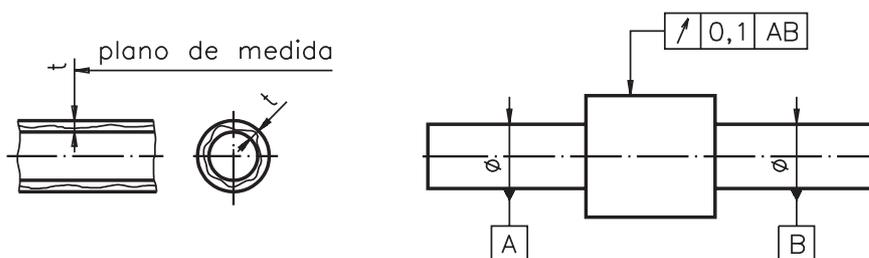
Tolerância de batimento

Quando um elemento dá uma volta completa em torno de seu eixo de rotação, ele pode sofrer **oscilação**, isto é, deslocamentos em relação ao eixo. Dependendo da função do elemento, esta oscilação tem de ser controlada para não comprometer a funcionalidade da peça. Por isso, é necessário que sejam determinadas as tolerâncias de batimento, que delimitam a oscilação aceitável do elemento. As tolerâncias de batimento podem ser de dois tipos: **axial** e **radial**.

Axial, você já sabe, refere-se a eixo. Batimento axial quer dizer balanço no sentido do eixo. O campo de tolerância, no batimento axial, fica delimitado por dois planos paralelos entre si, a uma distância **t** e que são perpendiculares ao eixo de rotação.



O batimento radial, por outro lado, é verificado em relação ao raio do elemento, quando o eixo der uma volta completa. O campo de tolerância, no batimento radial é delimitado por um plano perpendicular ao eixo de giro que define dois círculos concêntricos, de raios diferentes. A diferença **t** dos raios corresponde à tolerância radial.

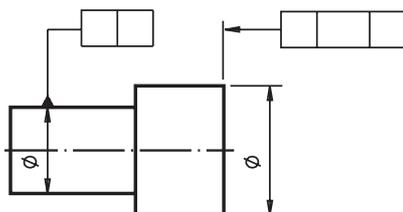


As tolerâncias de balanço são indicadas, nos desenhos técnicos, precedidas do símbolo: ↗.

A execução de peças com indicação de tolerâncias geométricas é tarefa que requer grande experiência e habilidade. A interpretação completa deste tipo de tolerância exige conhecimentos muito mais aprofundados, que escapam ao objetivo deste curso.

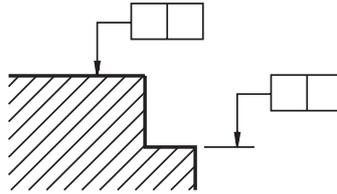
Indicações de tolerâncias geométricas em desenhos técnicos

Nos desenhos técnicos, as tolerâncias de forma, de orientação, de posição e de batimento são inscritas em quadros retangulares divididos em **duas** ou **três** partes, como mostra o desenho abaixo:

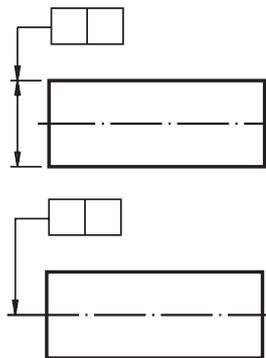


Observe que o quadro de tolerância aparece ligado ao elemento que se deseja verificar por uma linha de marcação terminada em seta.

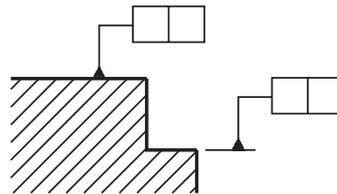
Veja, no detalhe do desenho, reproduzido a seguir, que a seta termina no contorno ou numa **linha de prolongamento** se a tolerância é aplicada numa superfície, como neste exemplo.



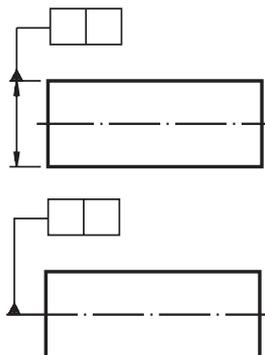
Mas, quando a tolerância é aplicada a um eixo, ou ao plano médio da peça, a indicação é feita na linha auxiliar, no prolongamento da linha de cota, ou diretamente sobre o eixo tolerado. Veja, no próximo desenho, essas duas formas de indicação.



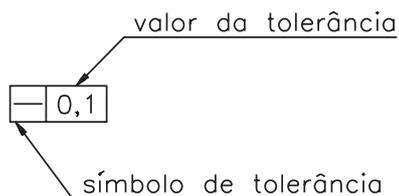
Os elementos de referência são indicados por uma linha que termina por um triângulo cheio. A base deste triângulo é apoiada sobre o contorno do elemento ou sobre o prolongamento do contorno do elemento.



No exemplo acima, o elemento de referência é uma superfície. Mas, o elemento de referência pode ser, também, um eixo ou um plano médio da peça. Quando o elemento de referência é um eixo ou um plano médio, a base do triângulo se apoia sobre a linha auxiliar, no prolongamento da linha de cota ou diretamente sobre o eixo ou plano médio de referência.



Agora, vamos analisar o conteúdo do quadro dividido em duas partes. No primeiro quadrinho, da esquerda para a direita, vem sempre indicado o tipo de tolerância. No quadrinho seguinte, vem indicado o valor da tolerância, em milímetros:

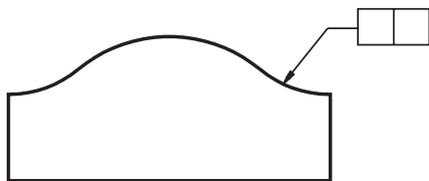


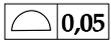
No exemplo acima, o símbolo: — indica que se trata de tolerância de reticidade de linha. O valor **0,1** indica que a tolerância de reticidade, neste caso, é de um décimo de milímetro.

Resolva o próximo exercício.

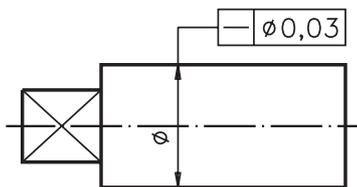
Verificando o entendimento

Indique a tolerância geométrica no quadro apropriado sabendo que: a tolerância é aplicada a uma superfície de forma qualquer; o valor da tolerância é de cinco centésimos de milímetro.



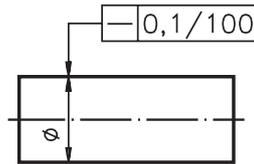
Verifique se você acertou. Você deve ter inscrito o símbolo de tolerância de forma para superfície qualquer no quadrinho da esquerda. No quadrinho da direita você deve ter inscrito o valor da tolerância: 0,05. Sua resposta deve ter ficado assim: 

Às vezes, o valor da tolerância vem precedido do símbolo indicativo de diâmetro: \varnothing como no próximo exemplo.



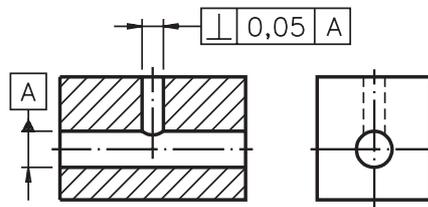
Aqui temos um caso de tolerância de forma: o símbolo — indica tolerância de reticidade de linha. Observe o símbolo \varnothing antes do valor da tolerância 0,03. Quando o valor da tolerância vem após o símbolo \varnothing isto quer dizer que o campo de tolerância correspondente pode ter a forma circular ou cilíndrica.

Quando a tolerância deve ser verificada em relação a determinada extensão da peça, esta informação vem indicada no segundo quadrinho, separada do valor da tolerância por uma barra inclinada (/). Veja, no próximo desenho:



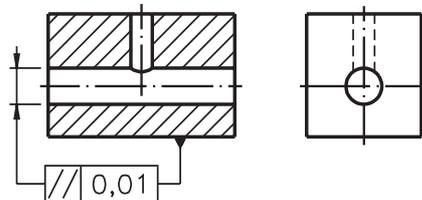
A tolerância aplicada nesta peça é de retilidade de linha. O valor da tolerância é de **0,1**, ou seja, um décimo de milímetro. O número **100**, após o valor da tolerância, indica que sobre uma extensão de 100 mm, tomada em qualquer parte do comprimento da peça, o eixo real deve ficar entre duas retas paralelas, distantes entre si 0,1 mm.

Os casos estudados até agora apresentavam o quadro de tolerância dividido em duas partes. Agora você vai aprender a interpretar a terceira parte do quadro:



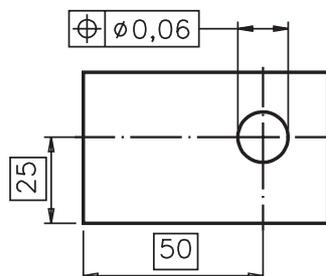
A letra **A** identifica o elemento de referência, que, neste exemplo, é o eixo do furo horizontal. Esta mesma letra A aparece no terceiro quadrinho, para deixar clara a associação entre o elemento tolerado e o elemento de referência. O símbolo \perp no quadrinho da esquerda, refere-se à tolerância de perpendicularidade. Isso significa que, nesta peça, o furo vertical, que é o elemento tolerado, deve ser perpendicular ao furo horizontal. O quadrinho \perp ^A é ligado ao elemento a que se refere pela linha que termina em um triângulo cheio. O valor da tolerância é de 0,05 mm.

Nem sempre, porém, o elemento de referência vem identificado pela letra maiúscula. Às vezes, é mais conveniente ligar diretamente o elemento tolerado ao elemento de referência. Veja.



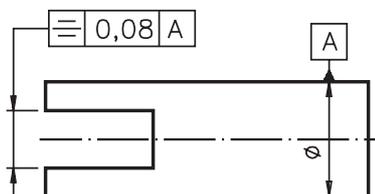
O símbolo \parallel indica que se trata de tolerância de paralelismo. O valor da tolerância é de 0,01 mm. O triângulo cheio, apoiado no contorno do bloco, indica que a base da peça está sendo tomada como elemento de referência. O elemento tolerado é o eixo do furo horizontal, paralelo ao plano da base da peça.

Acompanhe a interpretação de mais um exemplo de desenho técnico com aplicação de tolerância geométrica.



Aqui, o elemento tolerado é o furo. O símbolo \oplus indica que se trata de tolerância de localização. O valor da tolerância é de 0,06 mm. O símbolo \bigcirc antes do valor da tolerância indica que o campo de tolerância tem a forma cilíndrica. As cotas $\boxed{25}$ e $\boxed{50}$ são cotas de referência para localização do furo. As cotas de referência sempre vêm inscritas em retângulos.

Analise o próximo desenho e depois resolva o exercício.



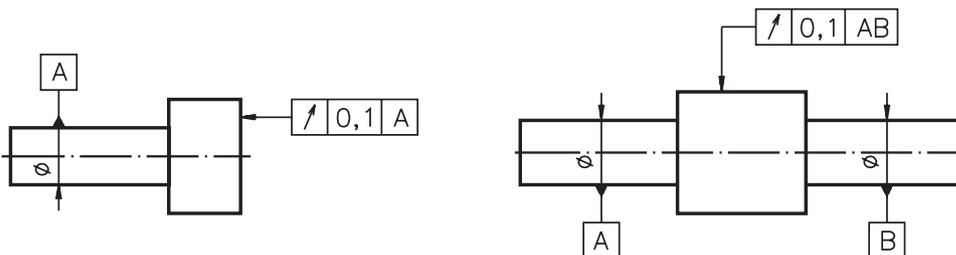
Verificando o entendimento

Responda às questões:

- Que tipo de tolerância está indicada nesse desenho? R:.....
- Qual o valor da tolerância? R:
- Qual o elemento tomado como referência? R:.....

Você deve ter respondido que: **a)** Nesse desenho está indicada a tolerância de simetria; **b)** O valor da tolerância é de 0,08 mm e **c)** O elemento tomado como referência é o plano médio da peça. Você deve ter concluído que o plano médio da peça é o elemento de referência, já que o triângulo cheio da letra A ($\frac{A}{\perp}$) está apoiado sobre o prolongamento da linha de cota do diâmetro.

Finalmente, observe dois exemplos de aplicação de tolerância de batimento:



No desenho da esquerda temos uma indicação de batimento axial. Em uma volta completa em torno do eixo de referência **A**, o batimento da superfície tolerada não pode se deslocar fora de duas retas paralelas, distantes entre si de 0,1 mm e perpendiculares ao eixo da peça.

No desenho da direita o batimento é radial em relação a dois elementos de referência: **A** e **B**. Isto quer dizer que durante uma volta completa em torno do eixo definido por A e B, a oscilação da parte tolerada não pode ser maior que 0,1 mm.

Muito bem! Depois de analisar tantos casos, você deve estar preparado para responder a algumas questões básicas sobre tolerâncias geométricas indicadas em desenhos técnicos. Então, resolva os exercícios a seguir.

Exercícios

Exercício 1

Faça um círculo em torno dos símbolos que indicam tolerâncias de forma:

- a) \perp b) \varnothing c) \frown d) \square

Exercício 2

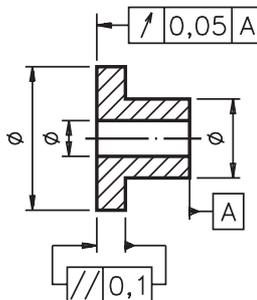
Faça um círculo em torno do símbolo que indica tolerância de concentricidade.

- a) \equiv b) \odot c) \oplus d) \angle

Exercício 3

Análise o desenho e assinale com um X os tipos de tolerâncias indicados.

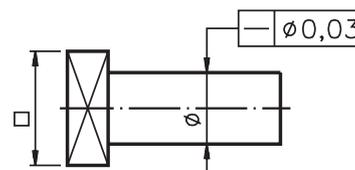
- a) () batimento;
b) () paralelismo;
c) () inclinação;
d) () simetria.



Exercício 4

Análise o desenho abaixo e assinale com X qual o elemento tolerado:

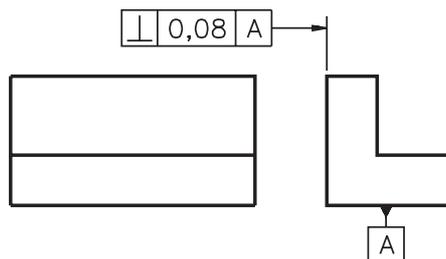
- a) () eixo da parte cilíndrica
b) () eixo da parte prismática



R.:

Exercício 5

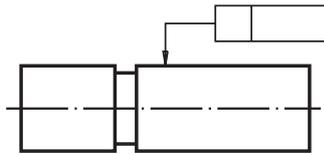
Análise o desenho técnico e responda:



- a) qual o elemento tolerado? R.:
b) qual o elemento de referência? R.:

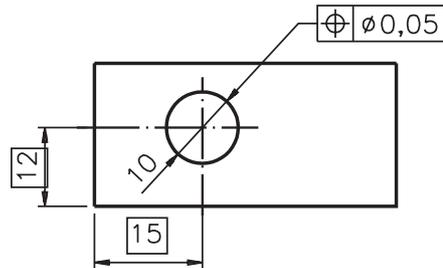
Exercício 6

No desenho técnico abaixo, preencha o quadro de tolerância sabendo que a tolerância aplicada é de cilíndricidade e o valor da tolerância é de dois centésimos de milímetro.



Exercício 7

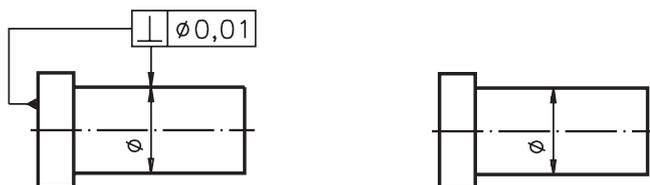
Analise o desenho técnico e complete as frases.



- A tolerância aplicada neste desenho é de
- O valor da tolerância é de
- Os elementos de referência são as cotas e

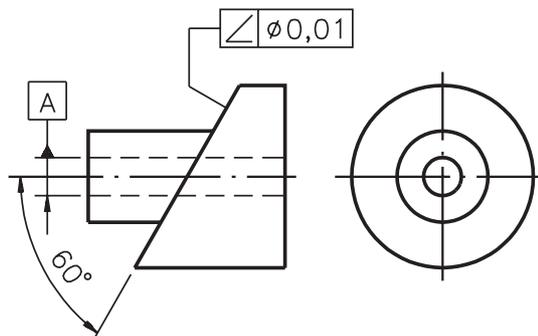
Exercício 8

No desenho técnico da esquerda, o elemento de referência está ligado diretamente ao elemento tolerado. Complete o desenho da direita, identificando o elemento de referência como A.



Exercício 9

Analise o desenho técnico e complete as frases corretamente.



- A tolerância indicada neste desenho é de
- O elemento de referência é o

TOLERÂNCIAS GEOMÉTRICAS (QUADRO SINÓTICO)		
TOLERÂNCIA DE FORMA PARA ELEMENTOS ISOLADOS		
	Denominação	Símbolo
de linhas	Retilidade Circularidade Forma de linha qualquer	— ○ ⤿
de superfícies	Planeza Cilindricidade Forma de superfície qualquer	▭ ⊘ ⤿
TOLERÂNCIA PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS		
	Denominação	Símbolo
de orientação	Paralelismo Perpendicularidade Inclinação	/ ⊥ ∠
de posição	Localização Concentricidade ou coaxialidade Simetria	⊕ ◎ ≡
TOLERÂNCIA DE BATIMENTO		
	Radial Axial	↗