CFAC – Concepção e Fabrico Assistidos por Computador

Requisitos de Toleranciamento

João Manuel R. S. Tavares

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Bibliografia

- Simões Morais, José Almacinha, "Texto de Apoio à Disciplina de Desenho de Construção Mecânica (MiEM)", AEFEUP, 2007
- Simões Morais, "Desenho técnico básico 3", ISBN: 972-96525-2-X, Porto Editora, 2006

Índice

- Zona de tolerância projectada (ISO 10578);
- Especificação e interpretação de tolerâncias geométricas;
- Princípio de toleranciamento de base;
- Princípio de independência;
- Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente;
- Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692);
- Verificação do requisito de máximo de matéria;
- Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692);

Índice

- Requisito de reciprocidade (RPR);
- Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas;
- Relações entre os processos de fabricação das peças e os desvios geométricos.

Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

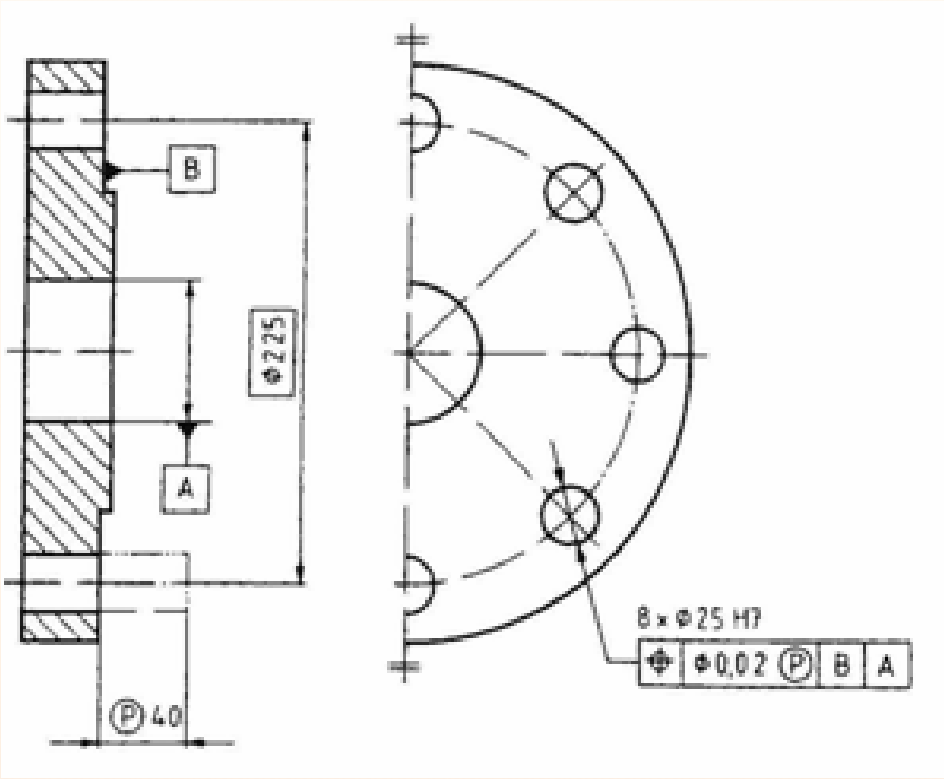
- **Uma tolerância aplica-se em toda a extensão do elemento toleranciado**, a menos que haja alguma indicação em contrário.
- **Esse toleranciamento pode não ser suficiente para caracterizar zonas que, apesar de serem exteriores ao elemento toleranciado, intervêm no funcionamento**.
- **Nestes casos** (ex.: em elementos roscados, furos para ajustamentos com aperto, etc.), **utiliza-se uma zona de tolerância projectada**, em conjugação com toleranciamento geométrico, para caracterizar uma variação extrema desse tipo de elementos.

Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- A **zona de tolerância projectada é aplicada a tolerâncias geométricas** (de orientação, de posição e de batimento).
- A **zona de tolerância projectada aplica-se na projecção externa mínima do elemento**, sendo:
  - indicada no desenho pelo símbolo Ⓟ seguido pela cota projectada;
  - representada por uma linha a traço-dois pontos fina, na vista do desenho correspondente;
  - indicada no quadro de tolerância geométrica pelo símbolo Ⓟ colocado após a tolerância do elemento toleranciado.

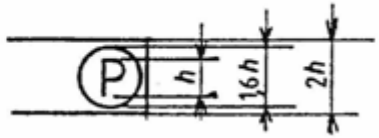
Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplo:



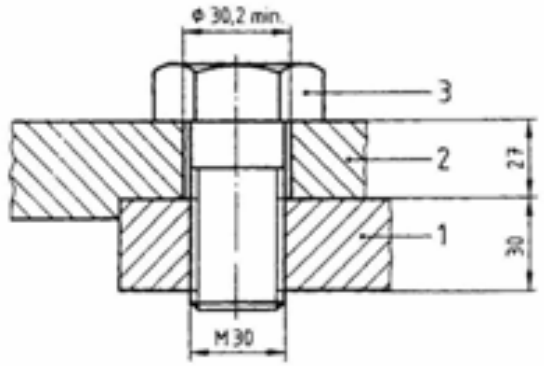
$h = 10\ d$

d – espessura do traço fino



Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplos de indicação nos desenhos e sua interpretação:
  - O parafuso (3) é passante na peça (2) e roscado na peça (1).
  - No cálculo da tolerância de localização do furo roscado, considera-se que **a soma das tolerâncias de localização dos furos das duas peças deve ser igual à soma das folgas mínimas entre todos os elementos**.



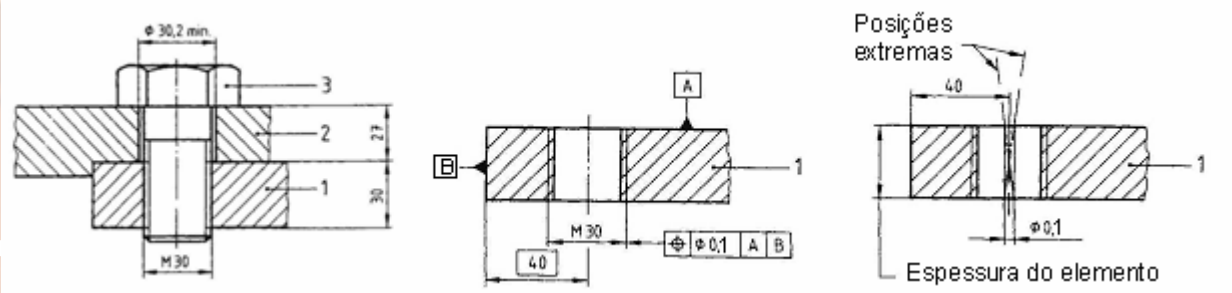
Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplos de indicação nos desenhos e sua interpretação (cont.):
  - Desprezando a folga entre o parafuso e o furo roscado, em comparação com a folga entre o parafuso e o furo passante:

$$T_{LOC2} + T_{LOC1} = (30{,}2 - 30) = 0{,}2$$

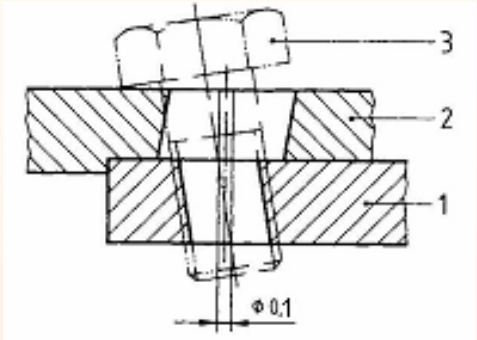
  - logo:

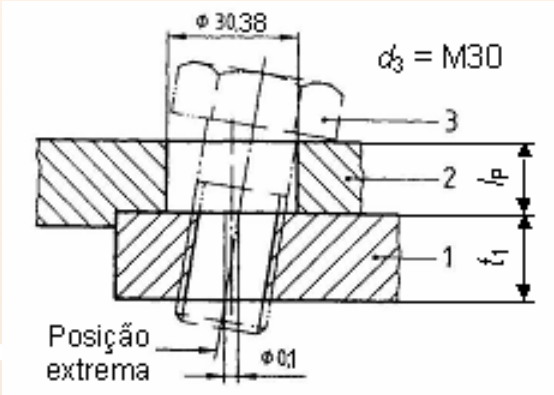
$$T_{LOC2} = T_{LOC1} = (30{,}2 - 30) / 2 = 0{,}1$$



Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplos de indicação nos desenhos e sua interpretação (cont.):
  - É impossível inserir o parafuso.
  - No entanto, existem várias soluções possíveis que podem ser adoptadas para eliminar esta interferência:
    - **O tamanho do furo da peça (2) poderia ser aumentado**. A necessidade de uma boa articulação ou centragem das peças pode impossibilitar esta solução.



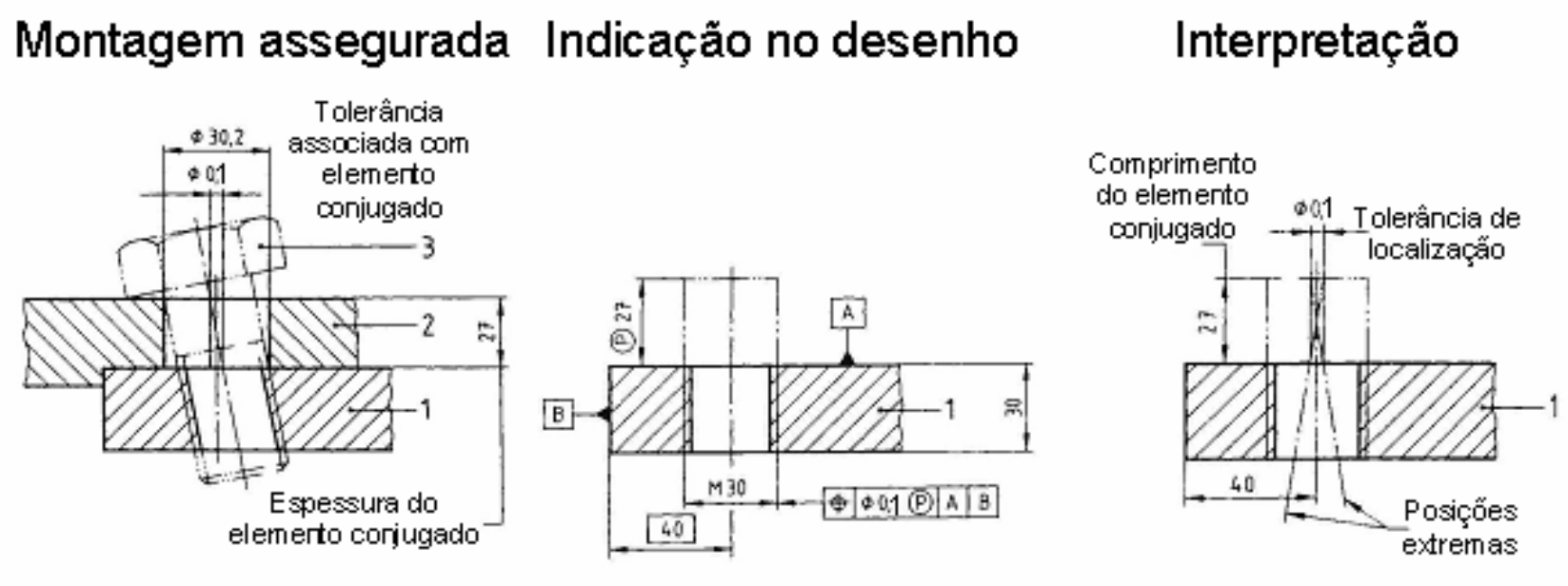


Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplos de indicação nos desenhos e sua interpretação (cont.):
  - **A tolerância do furo da peça (1) podia ser apertada**, mas tal **pode aumentar o custo** de produção da peça.
  - **Uma tolerância suplementar podia ser especificada**, por exemplo, uma tolerância de perpendicularidade de valor inferior à tolerância de localização, mas isso também **aumenta o custo** de produção da peça.
  - **Alternativamente, pode ser especificada uma zona de tolerância projectada**. **Esta solução admite uma tolerância máxima, ao mesmo tempo que assegura a montagem das peças**.

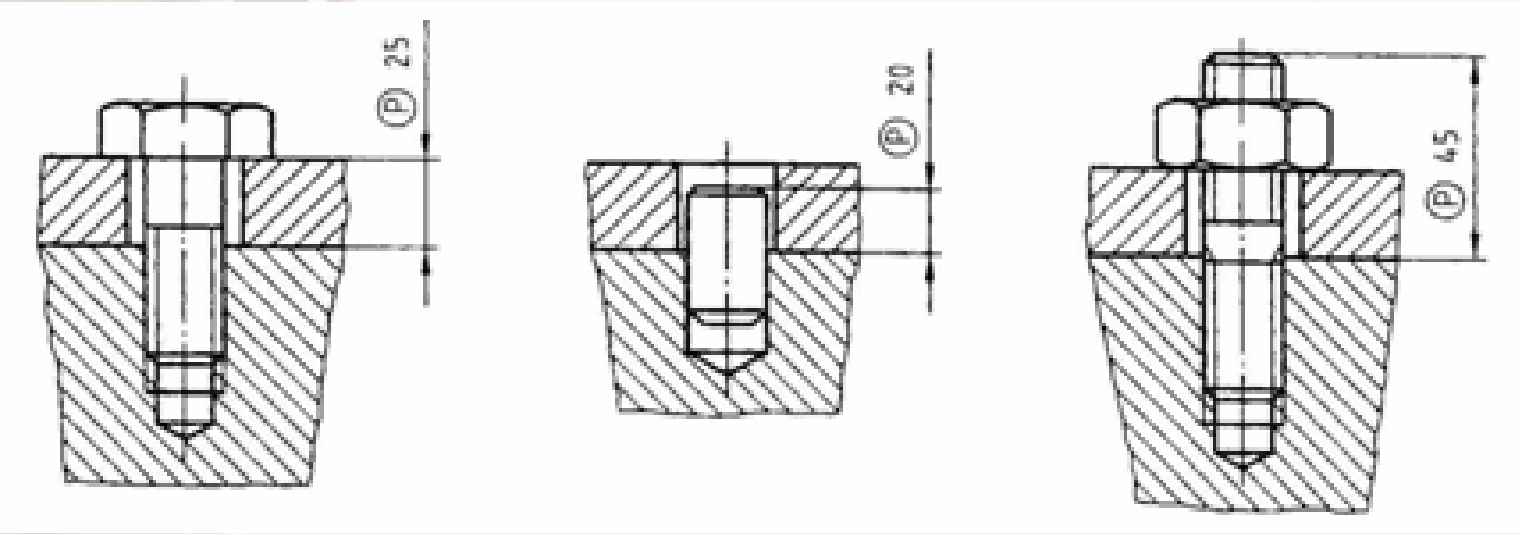
Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplos de indicação nos desenhos e sua interpretação (cont.):



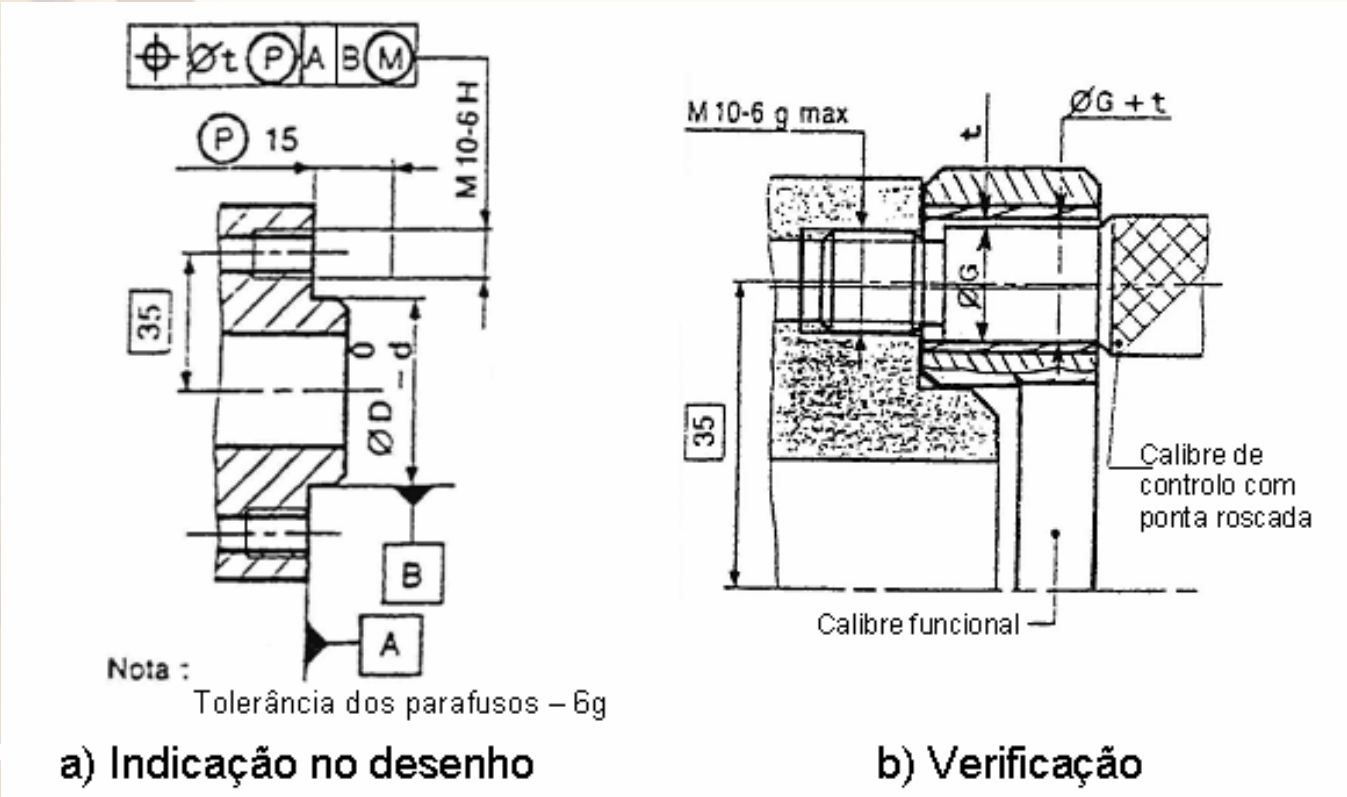
Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- **Comprimento funcional da zona de tolerância projectada**:
  - O comprimento funcional de uma zona de tolerância projectada é um **valor mínimo função do sistema de ligação** em causa.



Zona de tolerância projectada (ISO 10578)

- Exemplo de verificação da especificação de uma zona de tolerância projectada:



Especificação e interpretação de tolerâncias geométricas

- Tolerâncias geométricas:
  - Para **assegurar a qualidade** dos produtos técnicos e dos seus processos de produção e montagem, **os desvios geométricos têm de ser limitados** e, como tal, **toleranciados**.
  - As **causas dos desvios** poderão ser resultantes de efeitos dependentes da máquina e do processo, de efeitos dependentes da ferramenta, de efeitos dependentes da peça ou de combinações de todos eles.
  - Se o **desvio de forma é verificado de um modo independente em relação ao tamanho ou cota do elemento**, esta verificação isolada **não é**, normalmente, **suficiente para assegurar a função da peça**.

Especificação e interpretação de tolerâncias geométricas

- Na fabricação e no processo de controlo, algumas das **tolerâncias de forma podem ser decompostas**:

Características toleranciadas	Tolerâncias de forma e de orientação limitadas implicitamente
Rectitude	
Planeza	Rectitude
Circularidade	
Cilindricidade	Rectitude + circularidade + paralelismo
Perfil de uma linha qualquer	
Perfil de uma superfície qualquer	Perfil de uma linha qualquer

Especificação e interpretação de tolerâncias geométricas

- A **abordagem das tolerâncias complexas através da sua decomposição tem uma vantagem adicional** (ex.: se uma tolerância de cilindricidade for excedida, pode determinar-se qual a parte do desvio de cilindricidade que provocou essa violação, de forma a tomar as necessárias medidas correctivas).
- A **utilização de uma metrologia digital computorizada** (máquinas de medição de coordenadas) estendeu o âmbito da metrologia convencional (planos de medição, comparadores, etc.), pois agora **quase todas as mensurandas observadas passaram a poder ser calculadas**. Logo, tornou-se necessário **matematizar as mensurandas convencionais**, de modo a estas serem aplicáveis em ambos os sistemas.

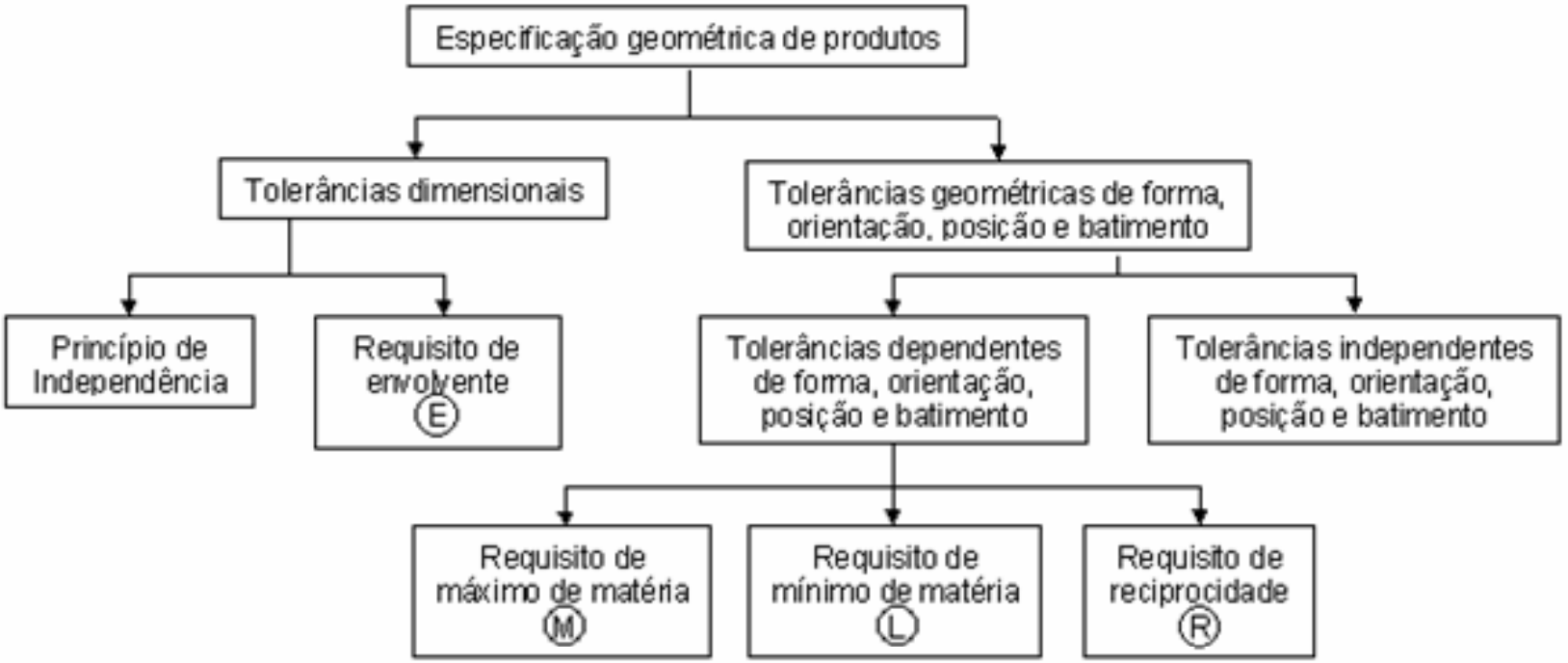
Princípio de toleranciamento de base

- O **princípio de base para o toleranciamento** de cada componente **estabelece relações definidas entre as tolerâncias dimensionais** (lineares e angulares) **e as tolerâncias geométricas de forma, de orientação e de posição e de batimento**.
- No processo de especificação das tolerâncias **deve ser sempre decidido se o princípio de independência** (o **princípio de base**) pode ser tomado em consideração para um tamanho toleranciado **ou se deve ser adoptado o requisito de envolvente** (que apenas diz respeito a tolerâncias em superfícies conjugadas, assinaladas pelo símbolo Ⓔ).

Princípio de toleranciamento de base

- **Deve também ser decidido** se uma **tolerância geométrica** deve ser **especificada de modo independente** ou se o **requisito de máximo de matéria** Ⓜ, de **mínimo de matéria** Ⓛ ou de **reciprocidade** Ⓡ pode ser tomado em consideração para certas tolerâncias geométricas.
- **Outras condições**, tais como a **zona de tolerância projectada** Ⓟ, em concordância com a ISO 10578, ou o **toleranciamento de peças não rígidas** Ⓕ, em concordância com a ISO 10579, são também utilizadas em desenhos técnicos.

Princípio de toleranciamento de base



Princípio de toleranciamento para tolerâncias geométricas

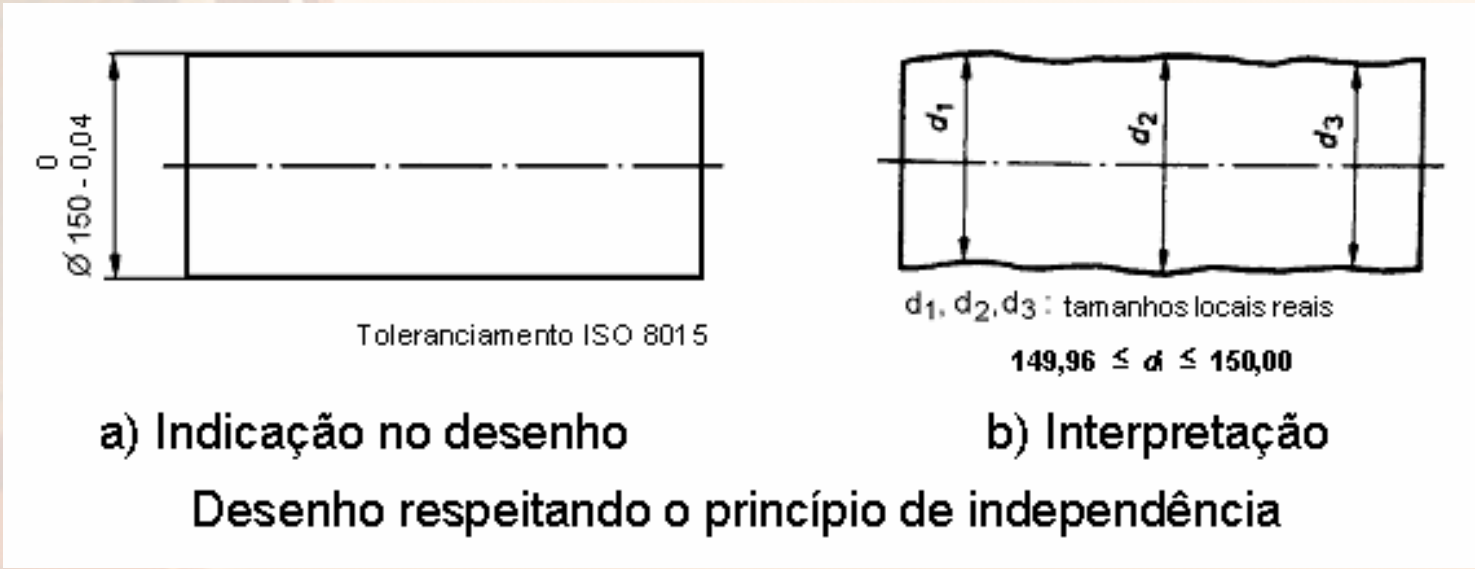
Princípio de independência

- De acordo com este princípio de base, **cada requisito dimensional ou geométrico especificado deve ser respeitado independentemente dos outros**, a menos que seja especificada uma relação particular entre eles.
- Os desenhos em que se aplique o princípio de independência, como princípio de aplicação geral a todo o desenho, devem ser **identificados através da seguinte inscrição colocada no interior ou junto da legenda do desenho**:

Toleranciamento ISO 8015

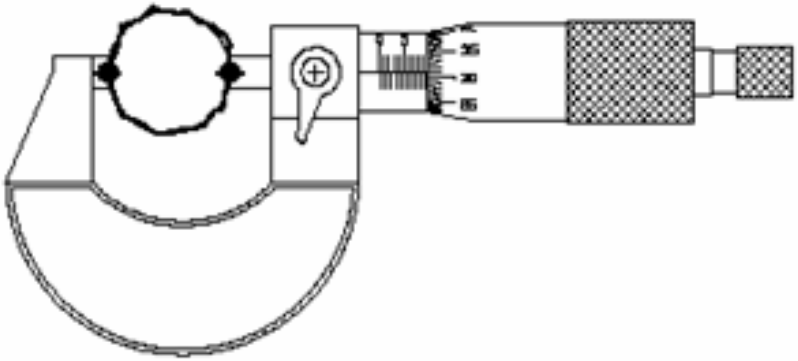
Princípio de independência

- Com este princípio de base, **uma tolerância linear controla apenas os tamanhos locais reais** (medições entre dois pontos) de um elemento, mas **não os seus desvios de forma**.



Desenho respeitando o princípio de independência

Princípio de independência



Micrómetro de exteriores



Calibre de limites para veios
(calibre-maxila)

Exemplos de processos de medição e controlo entre dois pontos

Princípio de independência

- Os **desvios de forma devem ser controlados através de tolerâncias geométricas de forma individuais; de tolerâncias geométricas gerais ou através do requisito de envolvente**.
- Neste âmbito, um elemento de tamanho pode ser uma superfície cilíndrica ou duas superfícies planas paralelas, sendo definido por uma cota linear do tipo tamanho.
- **Não existe controlo da relação geométrica entre elementos individuais por meio de tolerâncias lineares.**

Princípio de independência

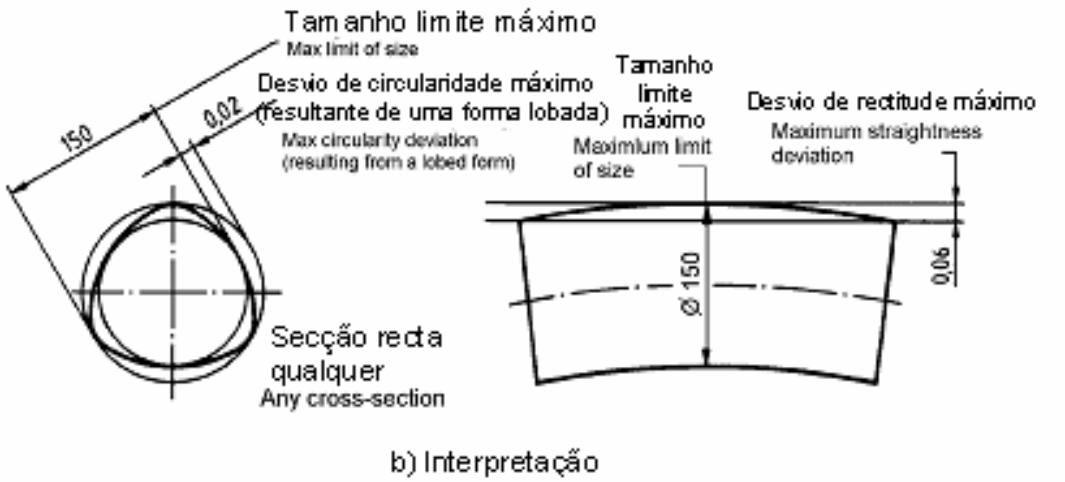
- **Uma tolerância angular especificada, em unidades angulares, controla apenas a orientação geral de linhas ou elementos de linha de superfícies, em qualquer secção recta do diedro, mas não os seus desvios de forma**.
- A orientação geral da linha derivada da superfície real é a orientação da linha em contacto, de forma geométrica ideal.

Princípio de independência

- A distância máxima entre a linha em contacto e a linha real deve ser a menor possível.
- Os **desvios de forma devem ser controlados através de tolerâncias de forma indicadas individualmente ou de tolerâncias geométricas gerais**.
- **As tolerâncias geométricas controlam o desvio do elemento em relação à sua forma, orientação ou posição teoricamente exacta, independentemente do tamanho do elemento**.

Princípio de independência





Desenho respeitando o princípio de independência

Princípio de independência

- **Este tipo de toleranciamento não seria adequado para uma peça "veio" que devesse ser ajustada a uma peça "furo", mas é suficiente para muitos casos em que este requisito não é necessário, com as consequentes vantagens económicas**.
- No entanto, **com a verificação exclusiva dos tamanhos entre dois pontos, o princípio de independência pode dar origem a situações diversas e, nalguns casos, extremas**.
- **O princípio de independência deverá ser, geralmente, utilizado para elementos geométricos que não se destinem a ser ajustados a outros elementos.**

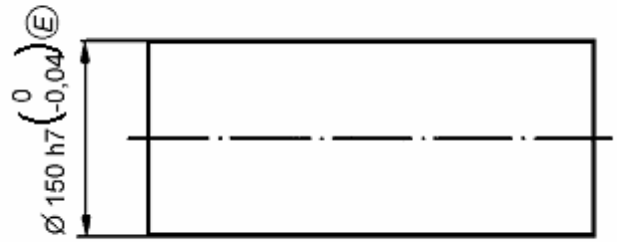
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- **O requisito de envolvente (princípio de Taylor) pode ser aplicado a elementos de tamanho** (do tipo cilindro e do tipo dois planos paralelos opostos).
- **O requisito significa que a envolvente de forma perfeita do elemento, de tamanho no máximo de matéria, não deve ser violada**.
- O requisito de envolvente pode ser **indicado ou através do símbolo Ⓔ colocado após a tolerância linear**, ou por referência a uma norma apropriada que invoque o requisito de envolvente.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- Elementos de tamanho com uma função de ajustamento entre peças conjugadas são **indicados** no desenho **com o símbolo** Ⓔ.
- Em casos onde o requisito de envolvente se aplica a todos os elementos de tamanho, a designação "E" deve ser incluída na designação das tolerâncias gerais, por exemplo:

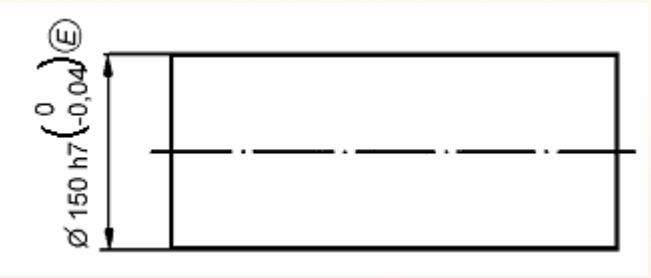
ISO 2768-mK-E.



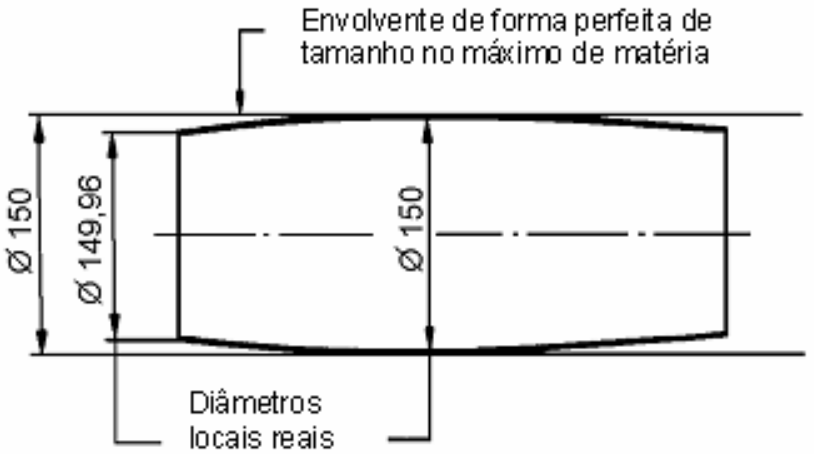
Desenho com indicação do requisito de envolvente

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- Isto significa que a peça real deve obedecer aos seguintes requisitos:

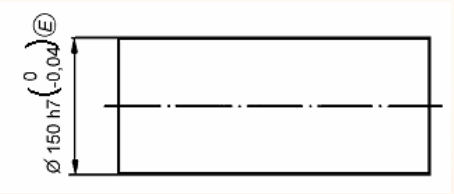


- Cada diâmetro local real do veio deve ficar no interior da tolerância dimensional de 0,04, podendo variar entre ∅150 e ∅149,96

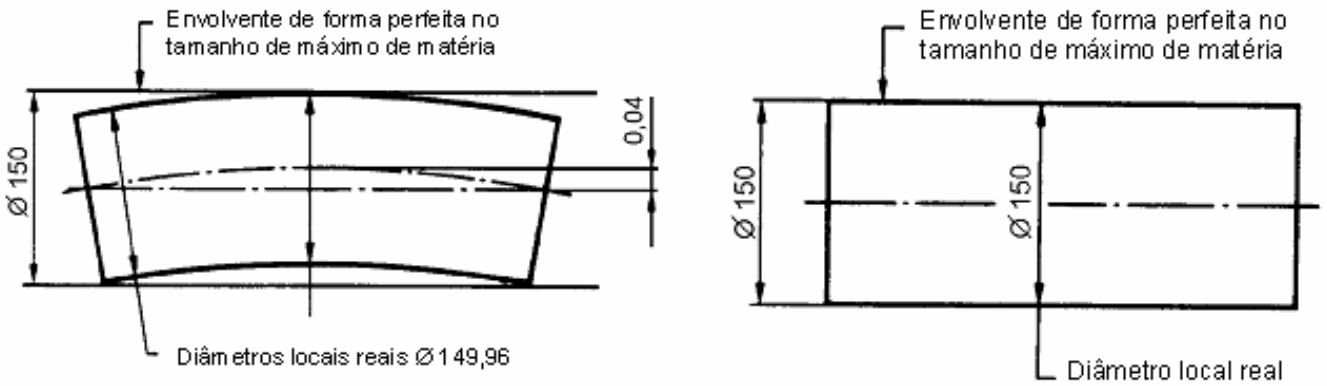


Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- Isto significa que a peça real deve obedecer aos seguintes requisitos (cont.):



- Todo o veio deve ficar no interior do limite da envolvente cilíndrica de forma perfeita e de tamanho ∅150.

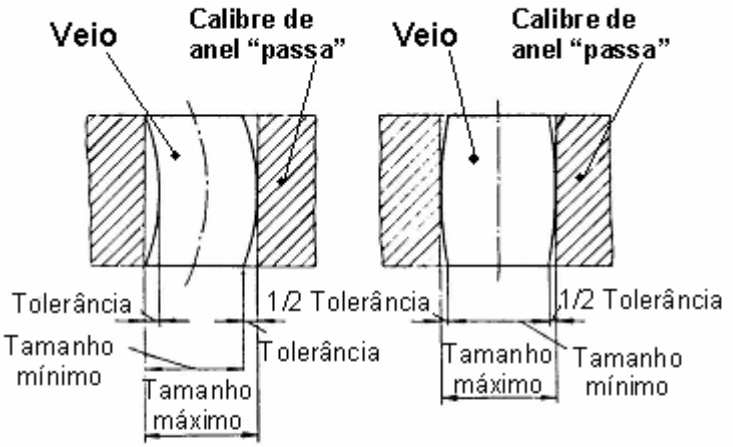


Se todos os diâmetros locais reais fossem iguais a ∅150, o veio deveria ser exactamente cilíndrico.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

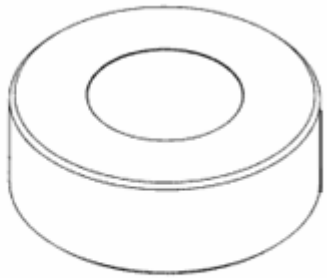
- Verificação dimensional respeitando o requisito de envolvente:

Exemplos de verificação dimensional de peças "veio":

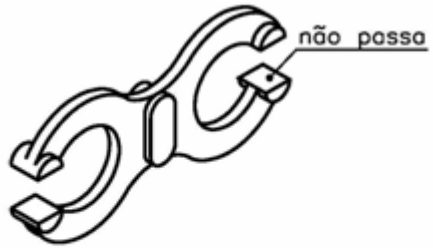


Campo de aplicação para veios c/ $\varnothing \leq 315$ **mm** (ISO/R 1938).

Nenhum tamanho local real deve ser desrespeitado: $d_i \geq d_{min.}$



Verificação da envolvente de forma perfeita de tamanho no máximo de matéria com um calibre de anel "passa".



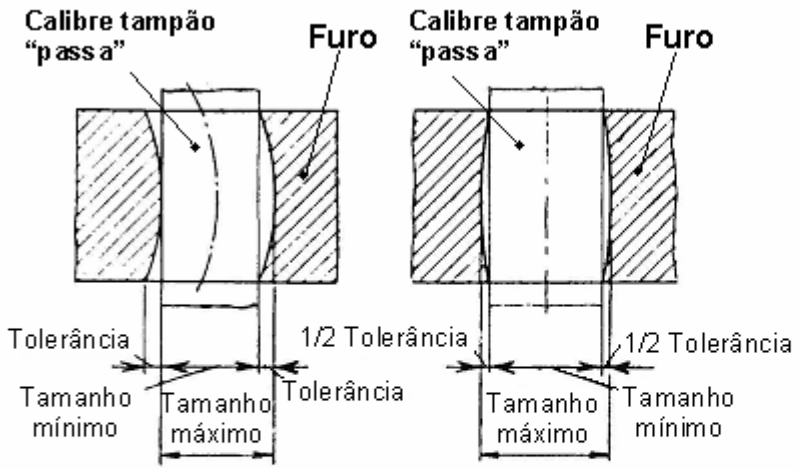
Verificação dos tamanhos locais reais com o lado "não passa" de um calibre-maxila.

Verificação dimensional de peças "veio", respeitando o requisito de envolvente

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- Verificação dimensional respeitando o requisito de envolvente (cont.):

Exemplos de verificação dimensional de peças "furo":





Verificação da envolvente de forma perfeita de tamanho no máximo de matéria com o lado "passa" de um calibre-tampão".

Campo de aplicação para furos c/ **Ø ≤ 120 mm** (ISO/R 1938).



Verificação dos tamanhos locais reais com um calibre de vareta.

Nenhum tamanho local real deve ser desrespeitado: $D_l \leq D_{máx.}$

Verificação dimensional de peças "furo", respeitando o requisito de envolvente

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- O **requisito de envolvente traduz uma condição de montagem local** (acoplamentos veio-cubo com ajustamento de contacto fixo ou móvel), definindo uma fronteira que não deve ser ultrapassada pela matéria dos dois elementos reais, com vista a **assegurar a intermutabilidade das peças**.
- Logo, **só se aplica a um dos limites da tolerância: o tamanho limite superior, no veio, e o tamanho limite inferior, no furo**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- O requisito de envolvente, **não se aplica no controlo de**:
  - **matérias-prima**s (ex.: barras, chapas, tubos, perfis estruturais, etc.). Salvo especificação em contrário, as normas dos produtos regem as superfícies que permanecem na condição de "como fornecido", na peça final;
  - **peças sujeitas a variação no estado livre**, na condição de não restringidas (ver ISO 10579).
- Em certos casos especiais, os **desvios máximos de forma admitidos pelo requisito de envolvente podem não permitir um funcionamento satisfatório das peças montadas, havendo necessidade de especificar tolerâncias geométricas de forma separadas**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de envolvente

- De acordo com a **norma ISO 286-1: 1988 – Sistema ISO de tolerâncias**:
  - **Com** a indicação "**Toleranciamento ISO 8015**" no desenho, **uma tolerância de tamanho linear controla apenas os tamanhos locais** reais.
  - **Sem** a indicação "**Toleranciamento ISO 8015**" no desenho, **uma tolerância de tamanho linear**, indicada através de uma classe de tolerância **deve respeitar o requisito de envolvente**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

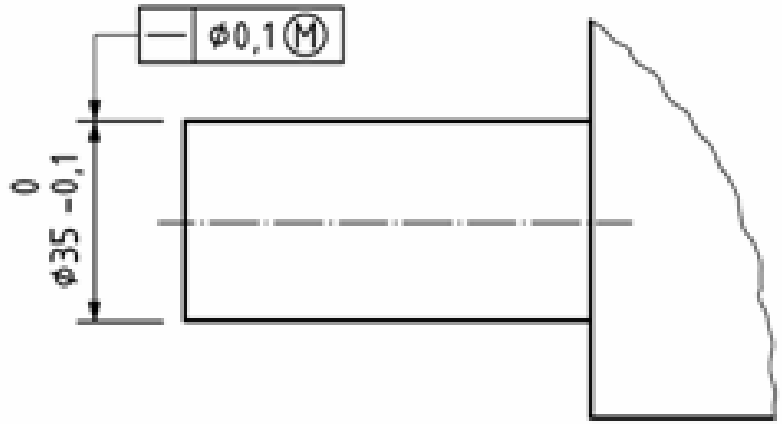
- **Requisito de máximo de matéria** usa-se para controlar funções específicas de peças, onde exista uma **interdependência entre o tamanho e a geometria**, tais como, por exemplo, assegurar a "**aptidão para a montagem de peças**".
- Este requisito (**MMR**) combina dois requisitos de tolerância independentes num **requisito colectivo**, que simula, de um modo mais exacto, a função pretendida para a peça.
- Em alguns casos, este requisito **pode ser complementado pelo requisito de reciprocidade**, **RPR**.

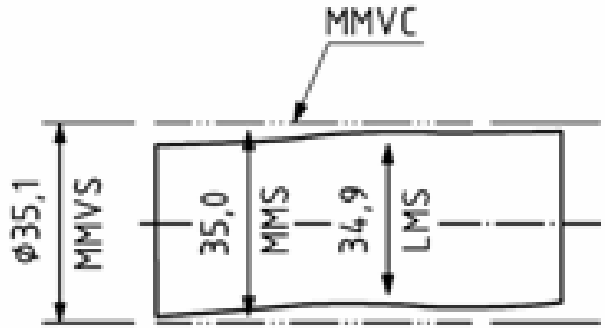
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- O **requisito de máximo de matéria (MMR)** pode ser aplicado, apenas, para **combinar requisitos** para o tamanho de **elementos de tamanho** (do tipo cilindro e do tipo duas superfícies planas paralelas opostas) e para a **tolerância geométrica** do(s) **elemento(s) derivado(s) do(s) elemento(s) de tamanho** (linhas medianas ou superfícies medianas).
- Este **requisito colectivo** diz respeito apenas ao **elemento integral**, que, na ISO 2692, está relacionado com a(s) superfície(s) do(s) elemento(s) de tamanho.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Quando o requisito de **máximo de matéria (MMR)** se aplica ao elemento toleranciado, tal é **indicado nos desenhos pelo símbolo** Ⓜ , colocado, no quadro de tolerância, após a tolerância geométrica do elemento derivado do elemento de tamanho (elemento toleranciado).

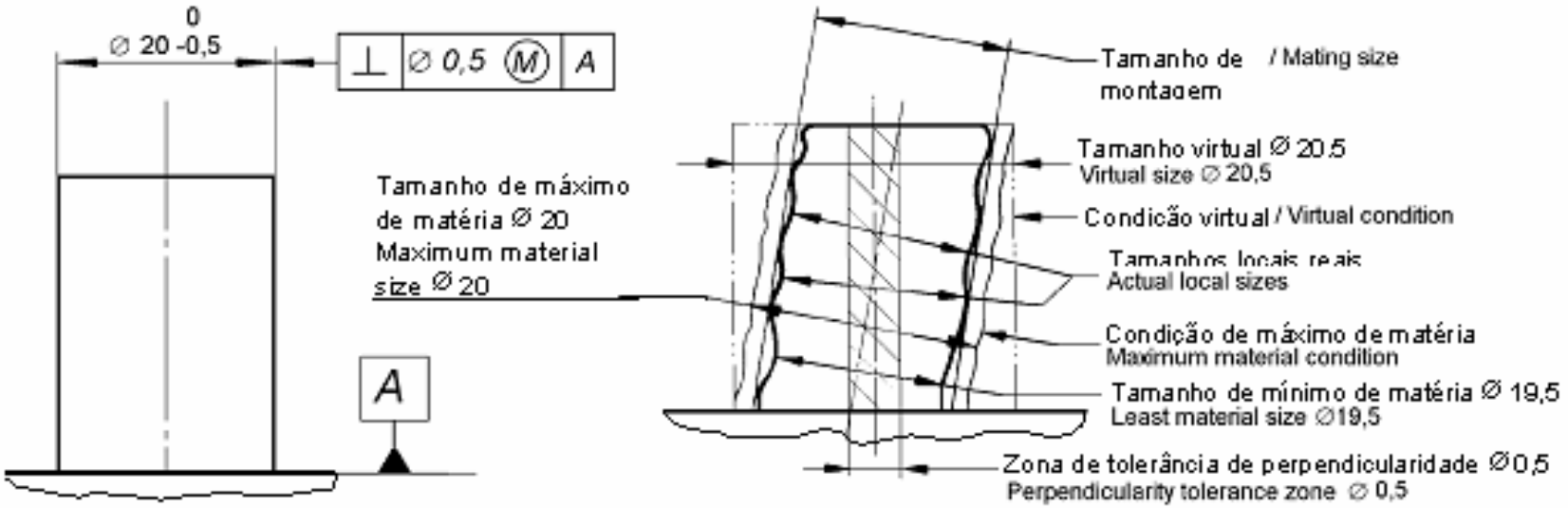




Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Requisito de máximo de matéria (MMR):** requisito para um elemento de tamanho, que define um **elemento geométrico do mesmo tipo e de forma perfeita**, com um valor dado para a característica intrínseca (cota) igual ao **MMVS**, que limita o elemento não-ideal pelo lado exterior da matéria.
- **O MMR é utilizado para controlar a aptidão para a montagem da peça**. Aplica-se também a elementos de referência correlacionados.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)



Cotagem de uma peça segundo o princípio de independência

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Tamanho virtual de máximo de matéria (MMVS):** tamanho gerado pelo **efeito colectivo do tamanho** de máximo de matéria (**MMS**) de um elemento de tamanho **e da tolerância geométrica** (de forma, orientação ou posição) especificada para o seu elemento derivado (linha mediana ou superfície mediana).

Para **elementos de tamanho exteriores:**

MMVS = MMS + tolerância geométrica.

Para **elementos de tamanho interiores:**

MMVS = MMS – tolerância geométrica.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

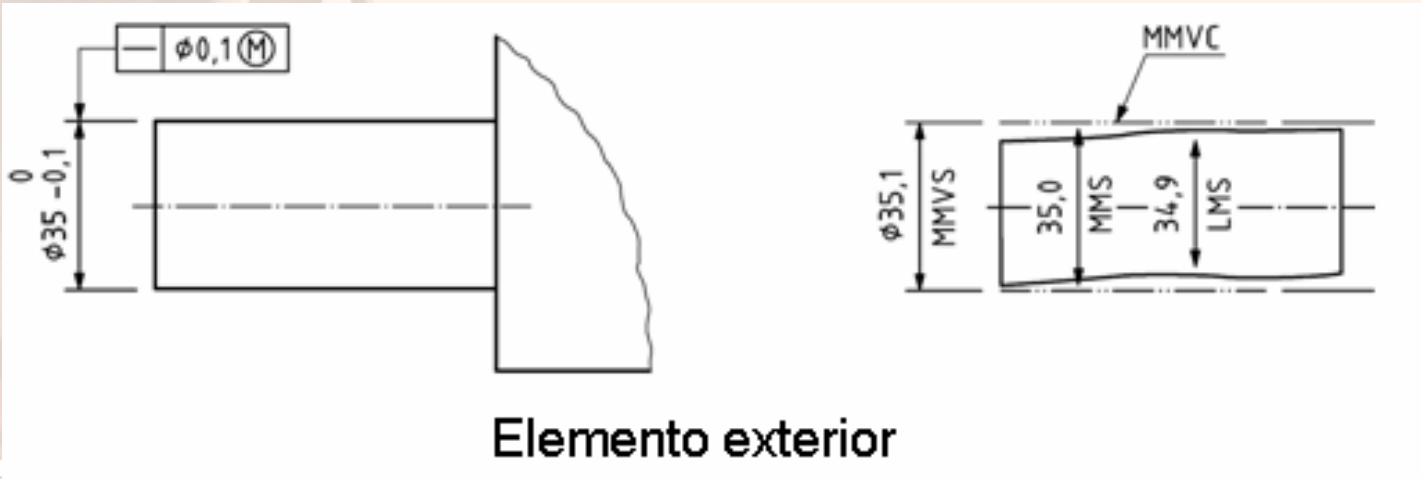
- **Condição virtual de máximo de matéria (MMVC):** estado do **elemento associado** de tamanho virtual de máximo de matéria (MMVS). **MMVC** é uma condição de forma perfeita e pode incluir uma **restrição de orientação** ou uma **restrição de posição** do elemento associado.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- O requisito de máximo de matéria para elementos toleranciados traduz-se em **4 requisitos independentes**:
  - um requisito para o limite superior do tamanho local (**Regra A**);
  - um requisito para o limite inferior do tamanho local (**Regra B**);
  - um requisito de não-violação da superfície da condição virtual de máximo de matéria (**Regra C**);
  - um requisito para quando estão envolvidos mais do que um elemento (**Regra D**).

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

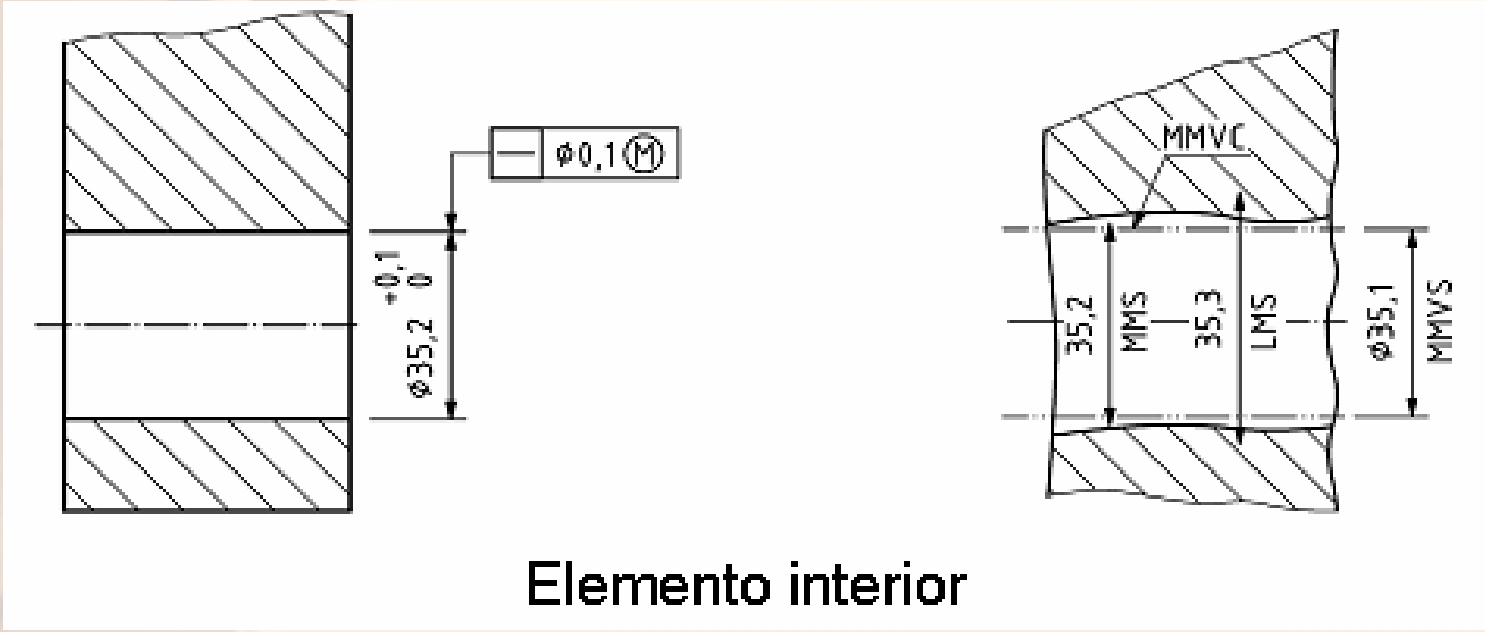
- **Regra A** – Os tamanhos locais extraídos do elemento toleranciado devem ser:
  - Menores ou iguais ao tamanho de máximo de matéria (**MMS**), para elementos exteriores.
  - Maiores ou iguais ao tamanho de máximo de matéria (**MMS**), para elementos interiores.



Elemento exterior

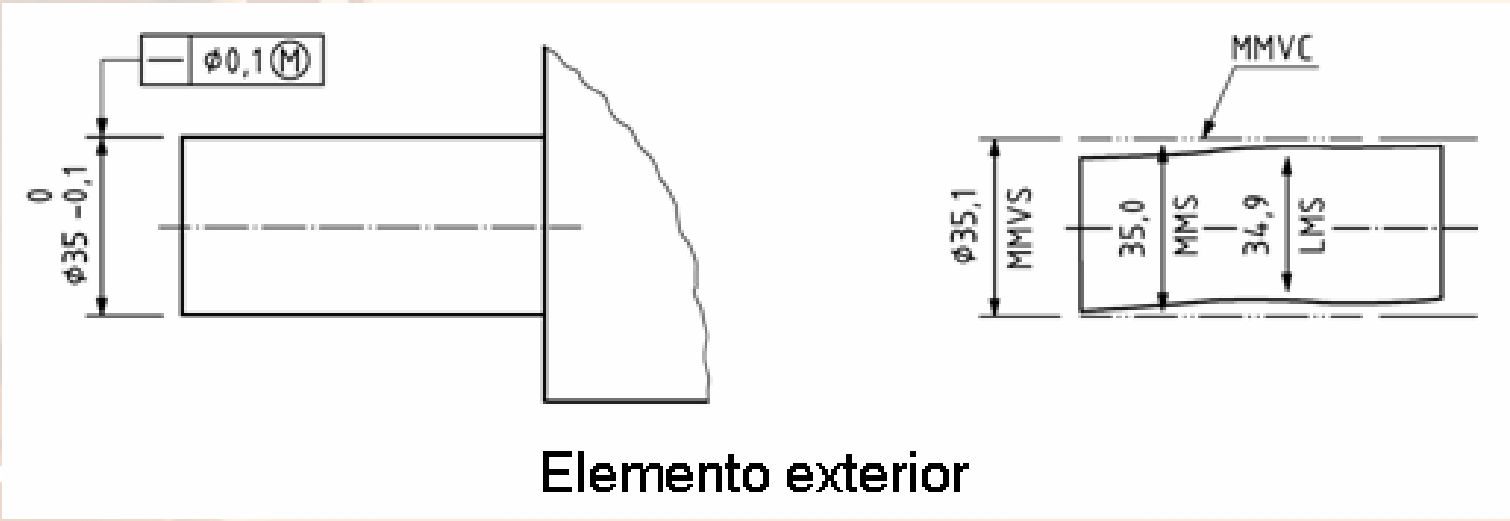
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra A** (cont.)



Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

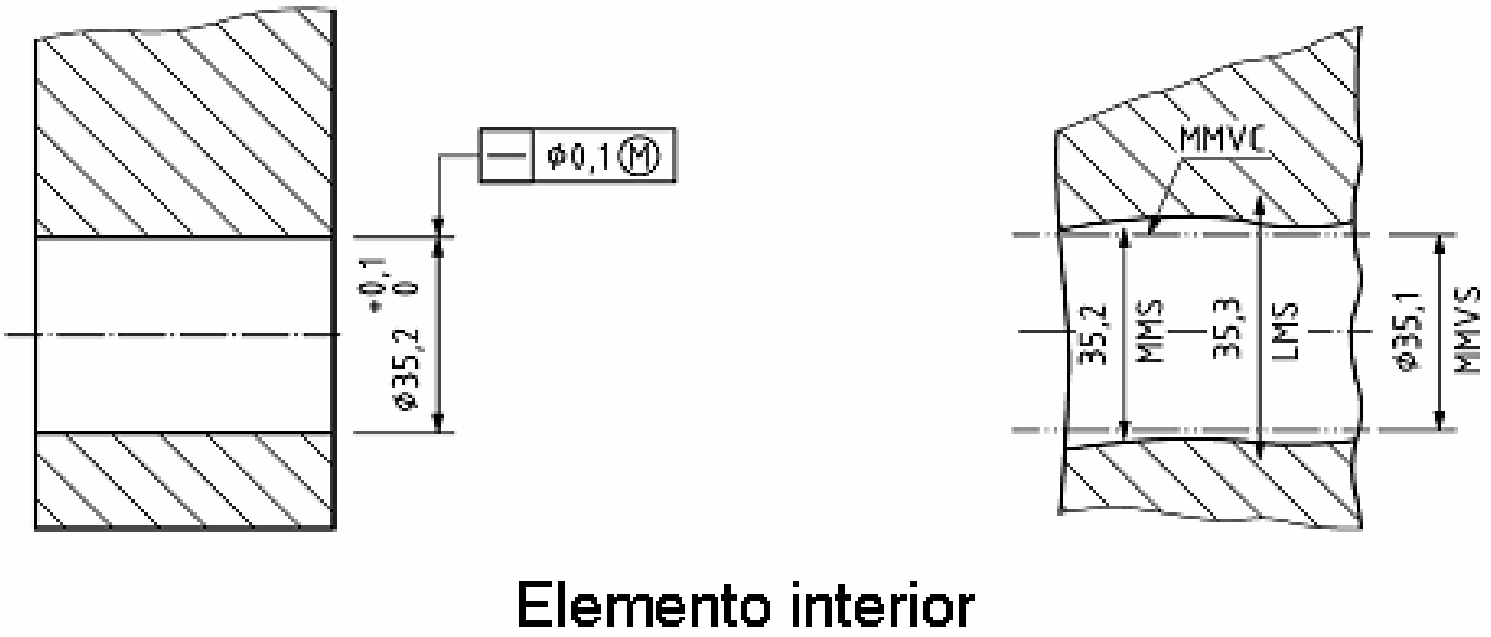
- **Regra B** – Os tamanhos locais extraídos do elemento toleranciado devem ser:
  - Maiores ou iguais ao tamanho de mínimo de matéria (**LMS**), para elementos exteriores.
  - Menores ou iguais ao tamanho de mínimo de matéria (**LMS**), para elementos interiores.



Elemento exterior

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra B** (cont.)



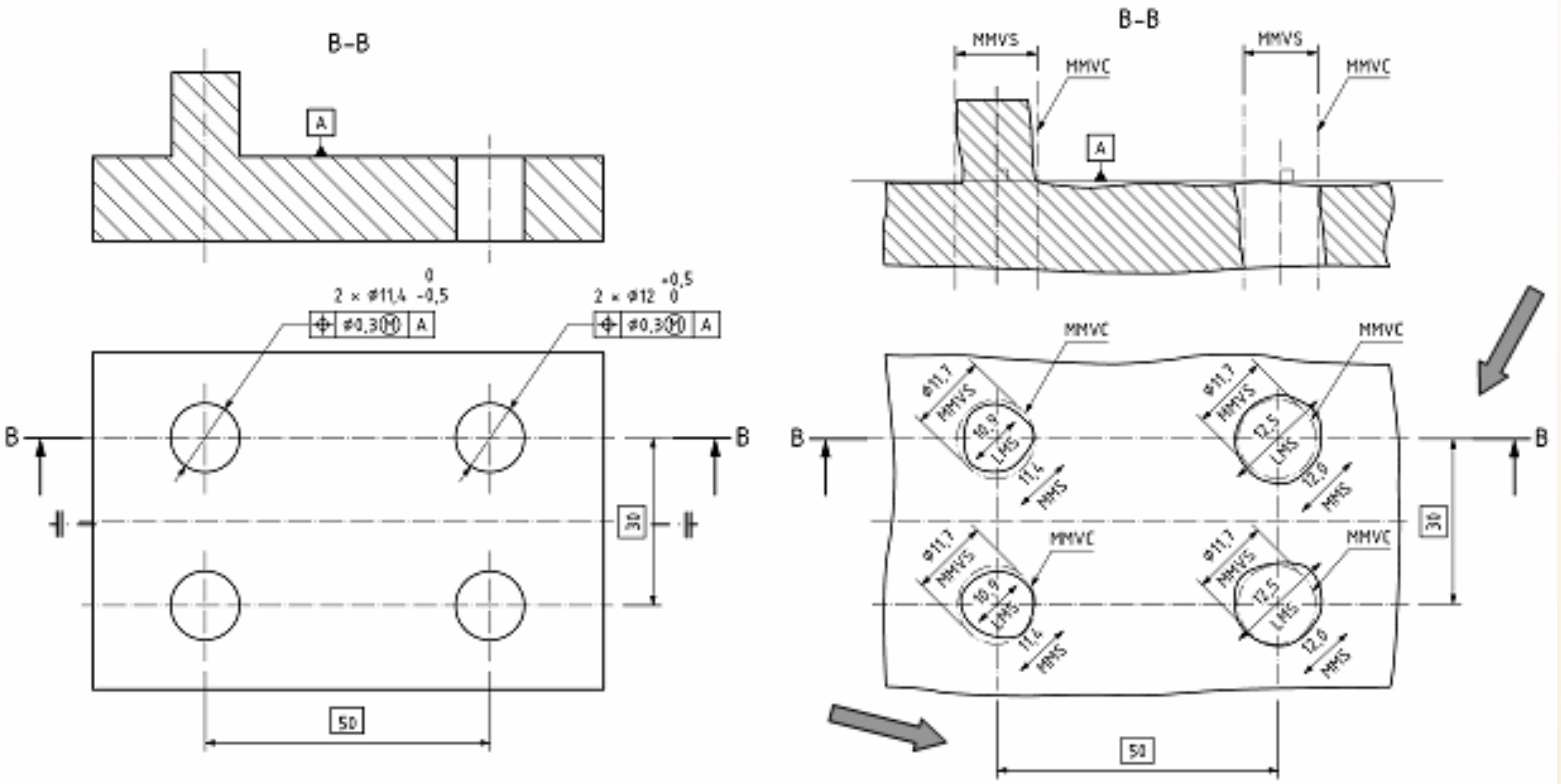
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra C** – A condição virtual de máximo de matéria (**MMVC**) do elemento de tamanho toleranciado não deve ser violada pelo elemento (integral) extraído.
- **A utilização de outras restrições no tamanho, na condição de máximo de matéria (MMC), (ex.: o requisito de envolvente), pode resultar em requisitos supérfluos, não necessários para a função do(s) elemento(s) (aptidão para a montagem)**, reduzindo as vantagens técnicas e económicas do requisito de máximo de matéria.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra D** – Quando os elementos toleranciados (**em casos de mais do que um elemento**) são controlados pela mesma indicação de tolerância, ou quando a especificação geométrica é de **orientação ou de posição, a(s) condição(ões) virtual(ais) de máximo de matéria (MMVC), do(s) elemento(s) toleranciado(s) estão em posição(ões) e orientação(ões) teoricamente exactas, umas em relação às outras e em relação à(s) referência(s) especificada(s)**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

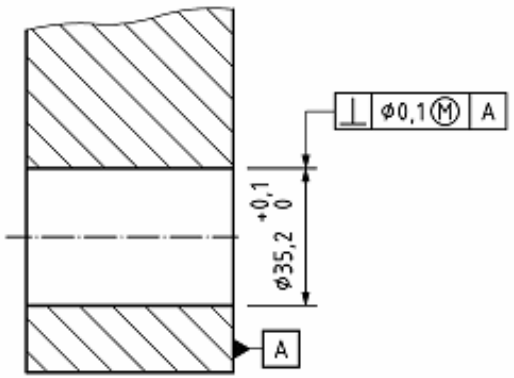


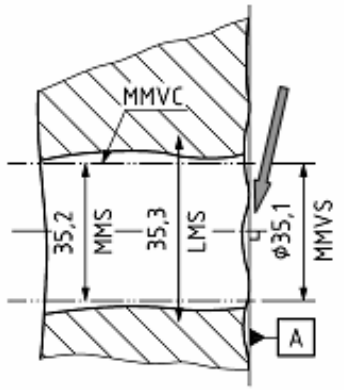
Indicação no desenho

Interpretação

Exemplo com mais do que um elemento controlado pela mesma indicação de tolerância

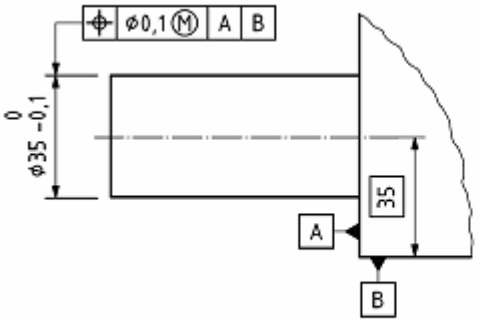
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

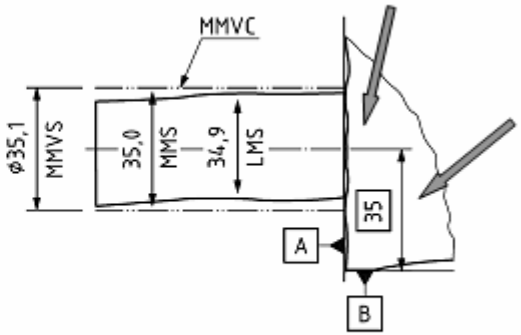




Indicação no desenho Interpretação

Exemplo com especificação geométrica de orientação





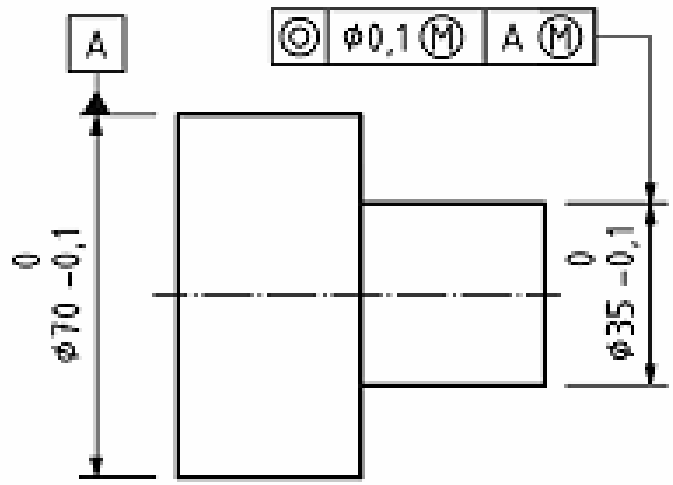
Exemplo com especificação geométrica de posição

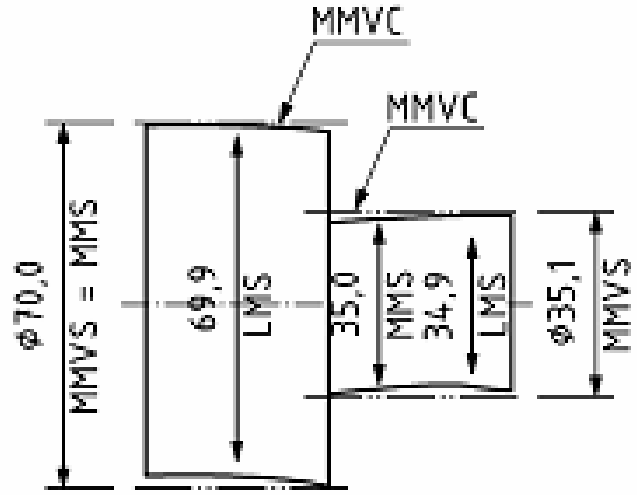
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- O **requisito de máximo de matéria** para **elementos de referência** traduz-se em três requisitos independentes:
  - um requisito de não-violação da superfície da condição virtual de máximo de matéria (**Regra E**);
  - bum requisito para o tamanho de máximo de matéria (MMS), quando não existe tolerância geométrica ou quando existe uma tolerância geométrica de forma não seguida pelo símbolo Ⓜ (**Regra F**);
  - um requisito para o tamanho de máximo de matéria (MMS), quando existe uma tolerância geométrica de forma seguida pelo símbolo Ⓜ (**Regra G**);

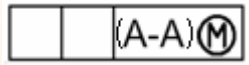
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- A utilização do símbolo Ⓜ após a letra que designa a referência especificada é apenas possível se a referência especificada for obtida a partir de um elemento de tamanho.





Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

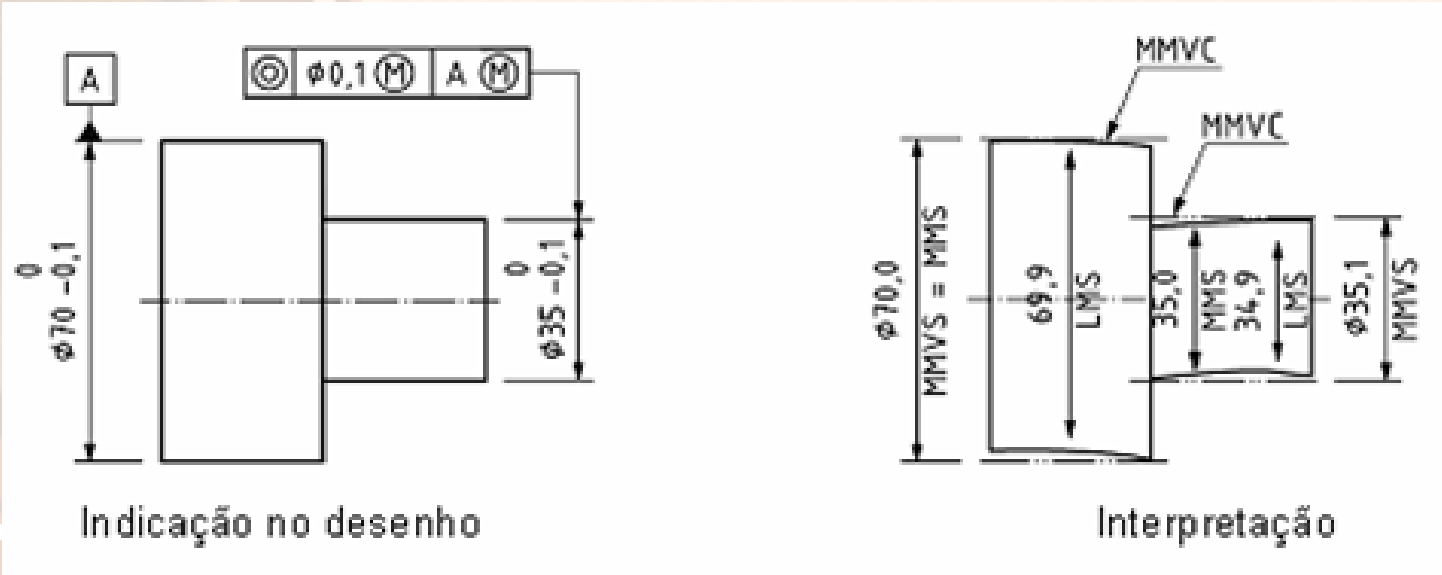
- Quando o requisito de máximo de matéria (**MMR**) se aplica a todos os elementos da colecção de superfícies de uma **referência especificada comum**, indica-se: 

- Quando o requisito de máximo de matéria (**MMR**) se aplica apenas a um elemento da colecção de superfícies de **uma referência especificada comum**, indica-se: 

- No caso do **requisito de máximo de matéria para elementos de referência**, o requisito especifica as **seguintes regras** para a(s) superfície(s) (do elemento de tamanho):

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra E – A condição virtual de máximo de matéria (MMVC) do elemento de referência correlacionado não deve ser violada pelo elemento de referência (integral) extraído**, a partir do qual a referência especificada é derivada.



Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra F – O tamanho da condição virtual de máximo de matéria (MMVC), do elemento de referência correlacionado, é o tamanho de máximo de matéria (MMS)**, quando o elemento de referência correlacionado não tem qualquer tolerância geométrica ou tem uma tolerância geométrica de forma não seguida do símbolo Ⓜ . Para elementos de tamanho exteriores e interiores:

$$MMVS = MMS \pm 0 = MMS$$

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Regra G – O tamanho da condição virtual de máximo de matéria (MMVC), do elemento de referência correlacionado é tamanho de máximo de matéria (MMS) + / – a tolerância geométrica**, quando o elemento de referência tem uma tolerância geométrica de forma e essa tolerância é seguida pelo símbolo Ⓜ.

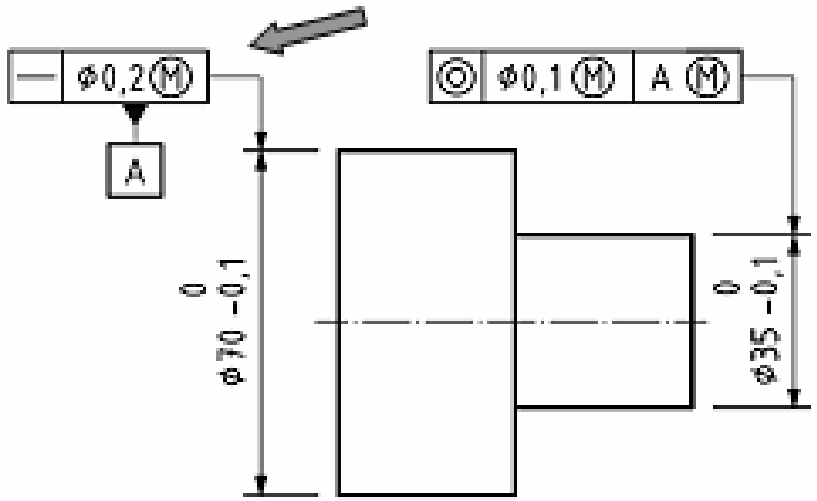
Para **elementos de tamanho exteriores:**

MMVS = MMS + tolerância geométrica

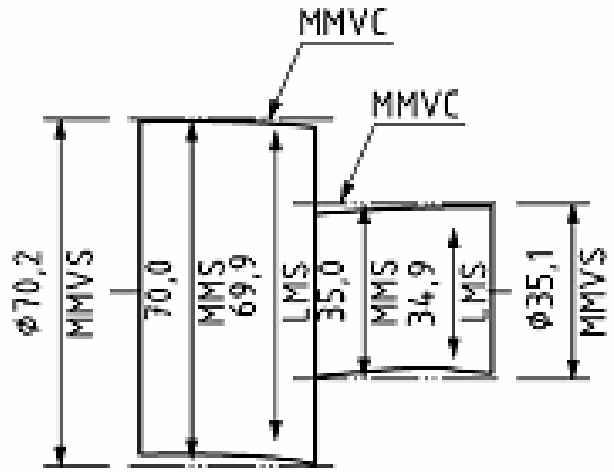
Para **elementos de tamanho interiores:**

MMVS = MMS – tolerância geométrica

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)



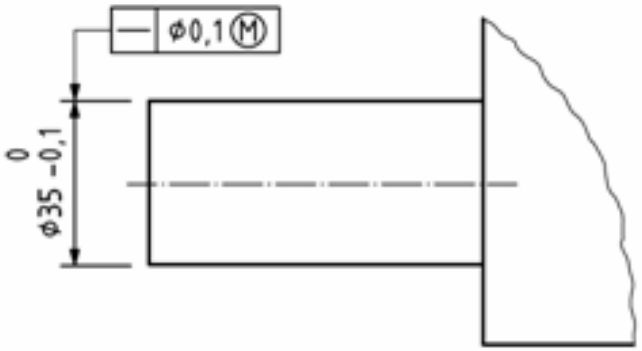
Indicação no desenho



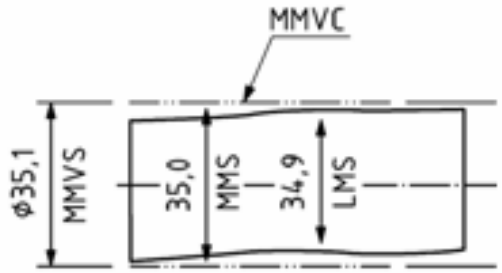
Interpretação

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo I: A função pretendida para as peças veio e furo tolerenciadas e com o mesmo comprimento poderá ser o seu ajustamento com folga.



Indicação no desenho



Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico exterior, baseado em requisitos de tamanho e de forma (rectitude)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo I: (cont.)



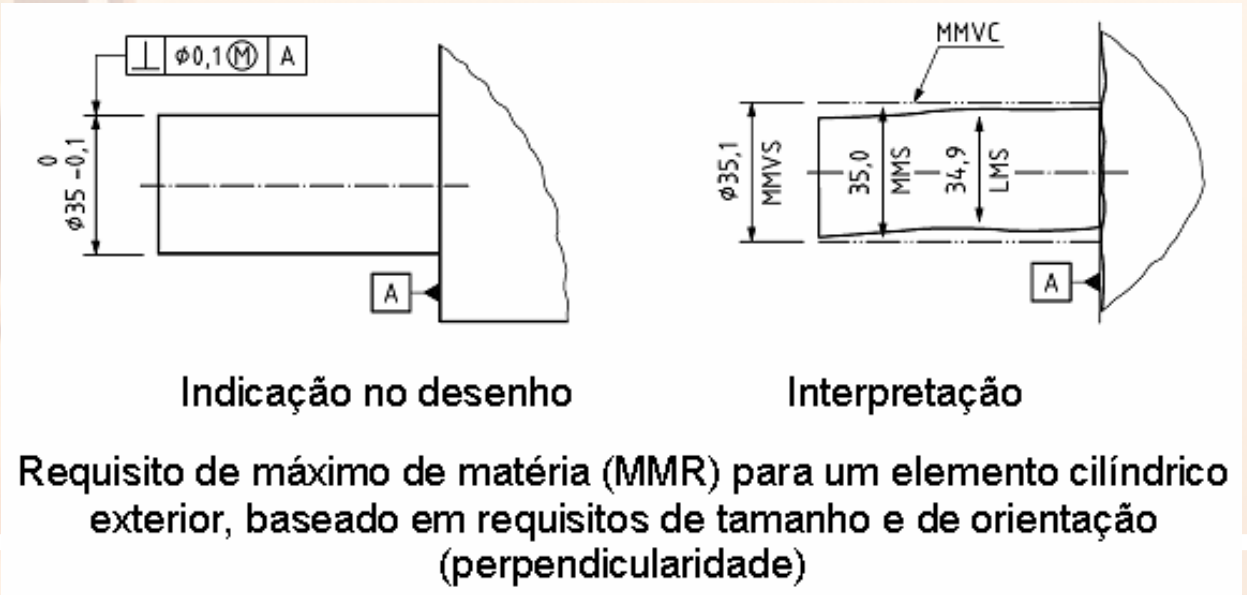
Indicação no desenho

Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico interior, baseado em requisitos de tamanho e de forma (rectitude)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

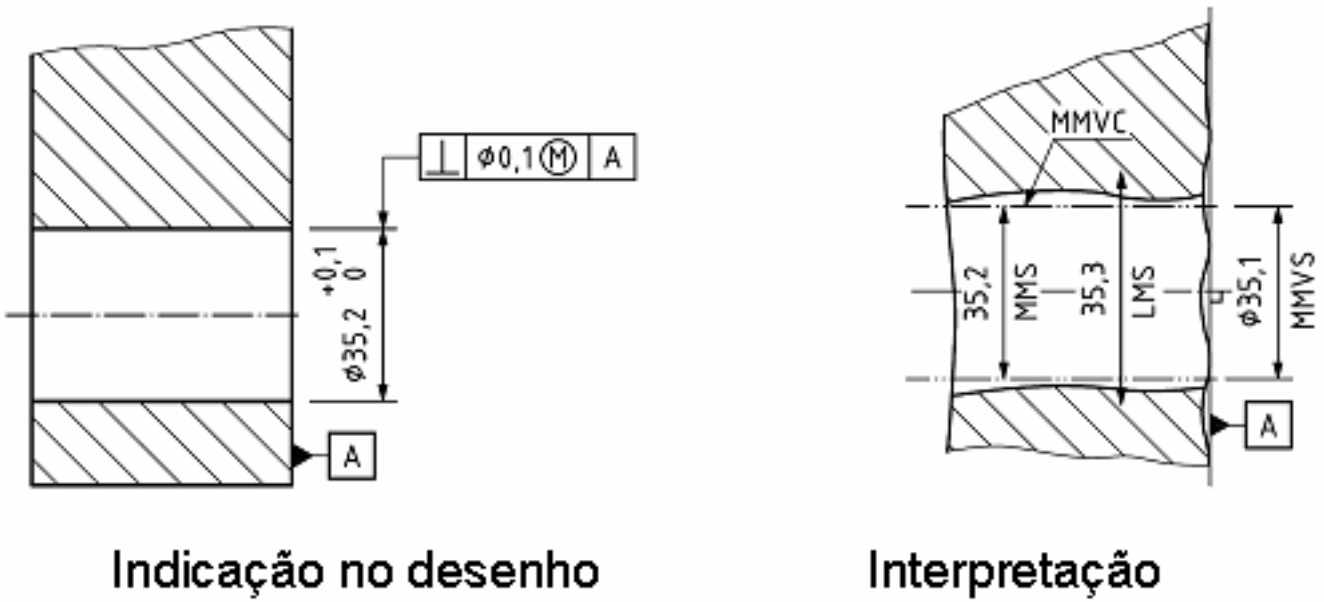
- Exemplo II: A função pretendida para as peças veio e furo tolerenciadas poderá ser uma ligação em que, segundo o requisito funcional, os dois elementos de referência (faces planas) devem ficar em contacto e, em simultâneo, a ponta de veio deve ajustar-se no furo.



Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico exterior, baseado em requisitos de tamanho e de orientação (perpendicularidade)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo II: (cont.)



Indicação no desenho Interpretação

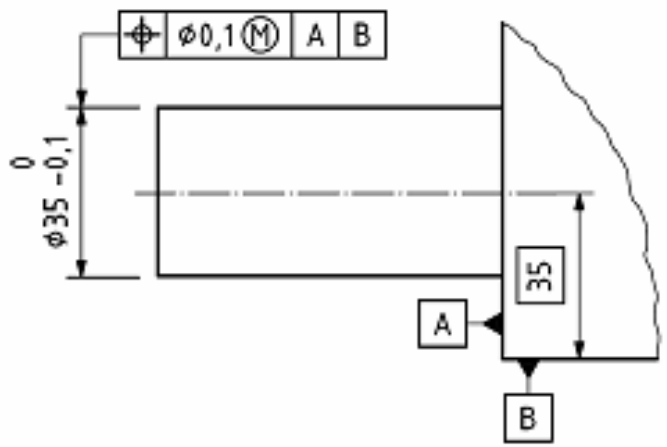
Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico interior, baseado em requisitos de tamanho e de orientação (perpendicularidade)

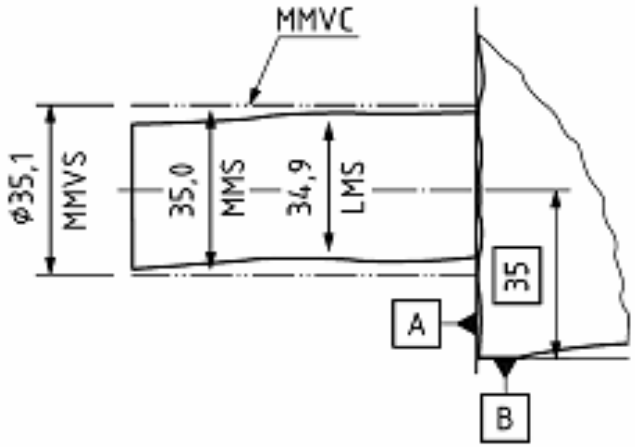
Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo III: A função pretendida para as peças veio e furo toleranciadas poderá ser **uma ligação** em que, segundo o requisito funcional, os dois elementos de **referência primária A** (faces planas) e os dois elementos de **referência secundária B** (faces planas) devem ficar em contacto e, em simultâneo, a **ponta de veio deve ajustar-se no furo**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo III (cont.):





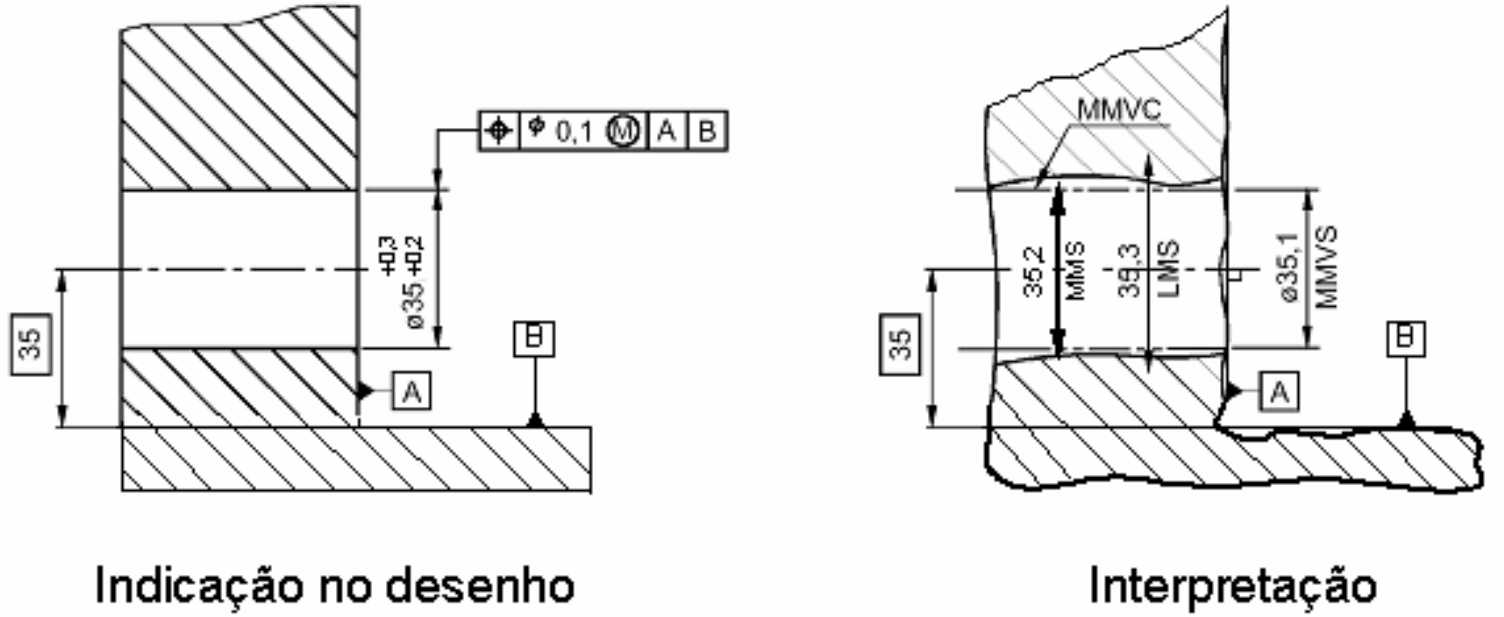
Indicação no desenho

Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico exterior, baseado em requisitos de tamanho e de posição (**localização**)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo III (cont.):



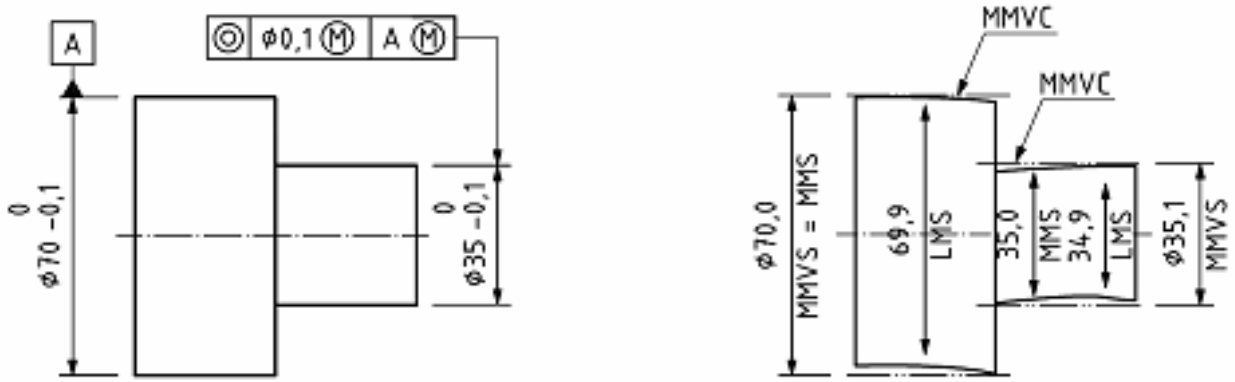
Indicação no desenho

Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico interior, baseado em requisitos de tamanho e de posição (**localização**)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo IV: A função pretendida para as peças tolerenciadas poderá ser **a sua ligação**.

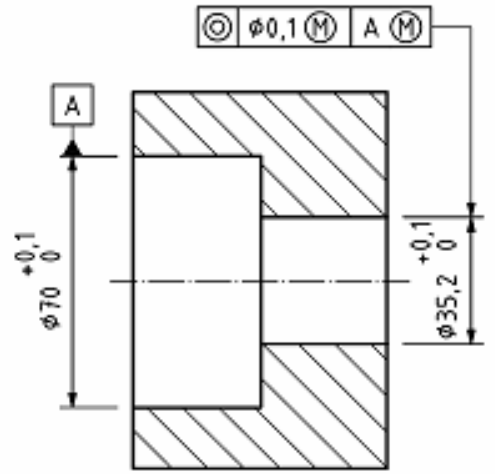


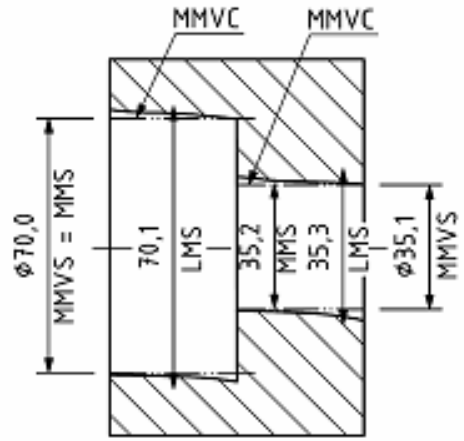
Indicação no desenho Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico exterior, baseado em requisitos de tamanho e de posição (**coaxialidade**), com o eixo de um elemento cilíndrico – com um requisito de tamanho – como referência especificada e também com requisito de máximo de matéria (MMR)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo IV (cont.):





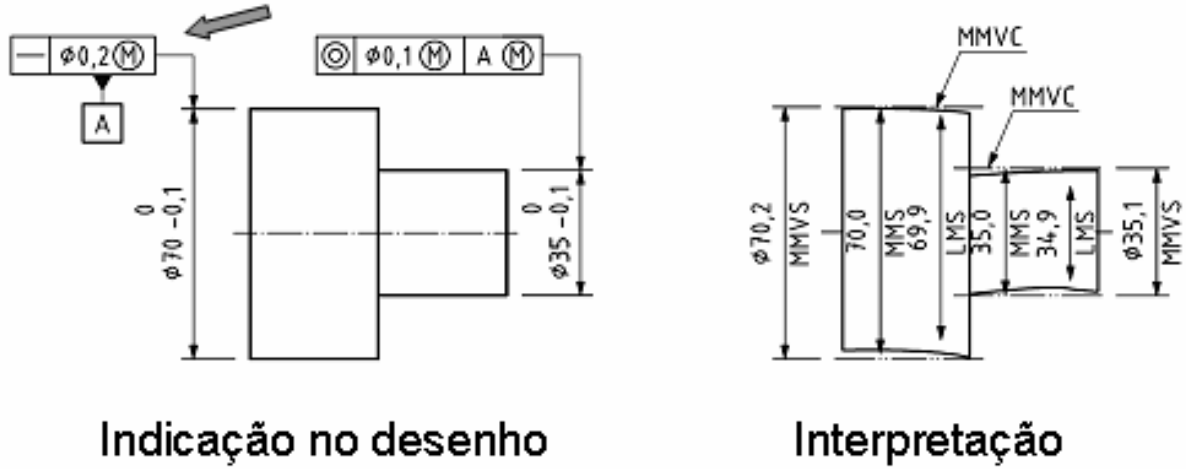
Indicação no desenho

Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico interior, baseado em requisitos de tamanho e de posição (**coaxialidade**), com o eixo de um elemento cilíndrico – com um requisito de tamanho – como referência especificada e também com requisito de máximo de matéria (MMR)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo V: A função pretendida para as peças toleranciadas poderá ser **a sua ligação**.

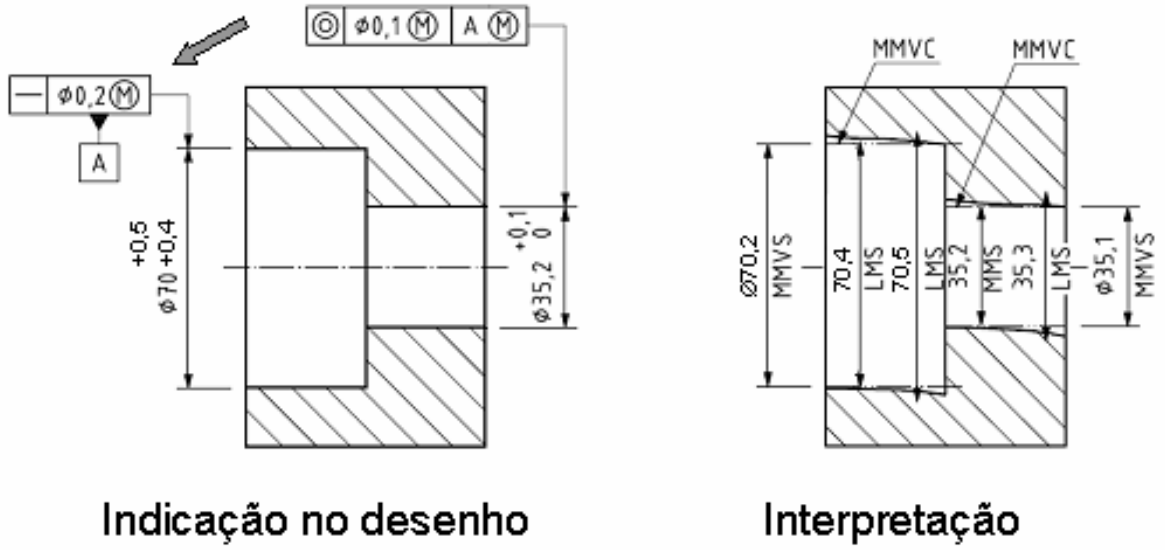


Indicação no desenho — Interpretação

Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico exterior, baseado em requisitos de tamanho e de posição (**coaxialidade**), com o eixo de um elemento cilíndrico – com um requisito de tamanho e uma tolerância geométrica – como referência especificada e também com requisito de máximo de matéria (MMR)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo V (cont.):



Indicação no desenho Interpretação

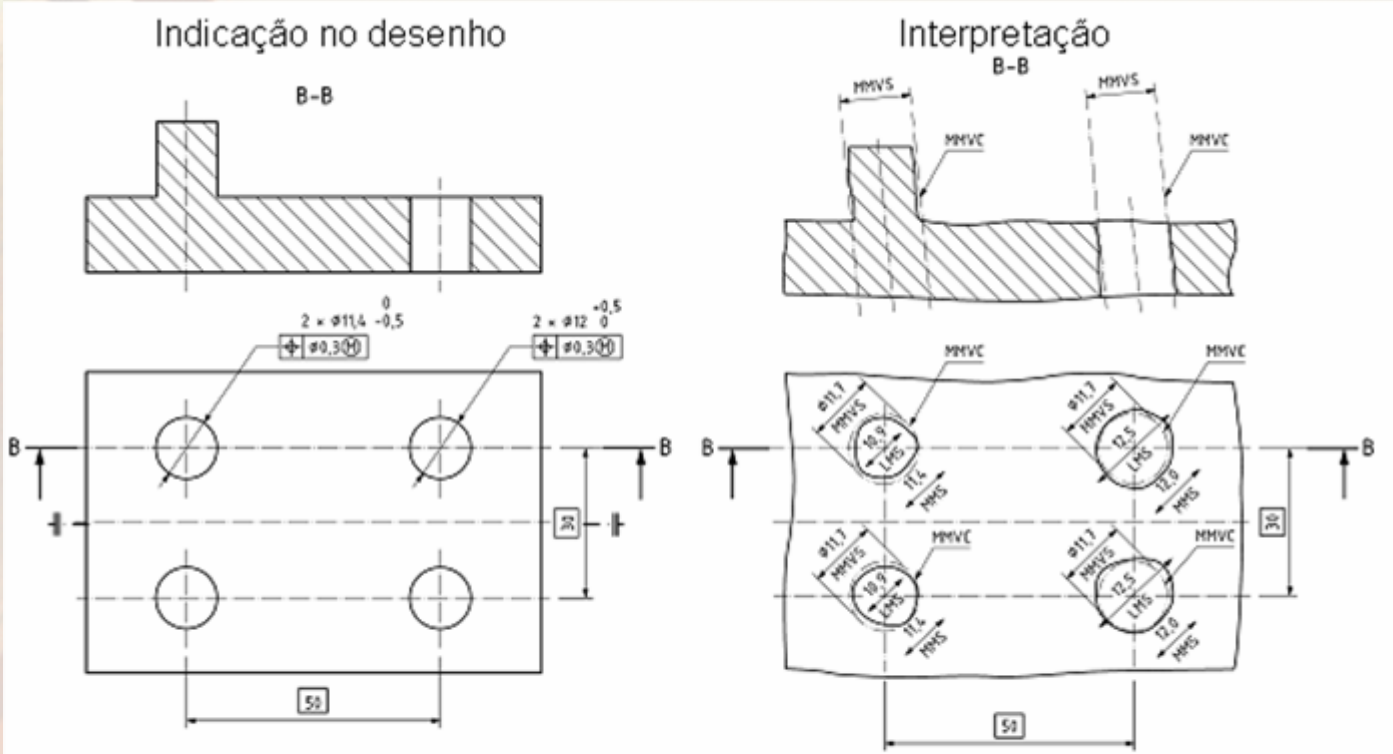
Requisito de máximo de matéria (MMR) para um elemento cilíndrico interior, baseado em requisitos de tamanho e de posição (**coaxialidade**), com o eixo de um elemento cilíndrico – com um requisito de tamanho e uma tolerância geométrica – como referência especificada e também com requisito de máximo de matéria (MMR)

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo VI: A função pretendida para peça toleranciada pode ser **o seu ajustamento, com folga**, com uma peça semelhante. **Não existindo o requisito funcional das superfícies planas das duas peças deverem estar em contacto**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo VI (cont.):



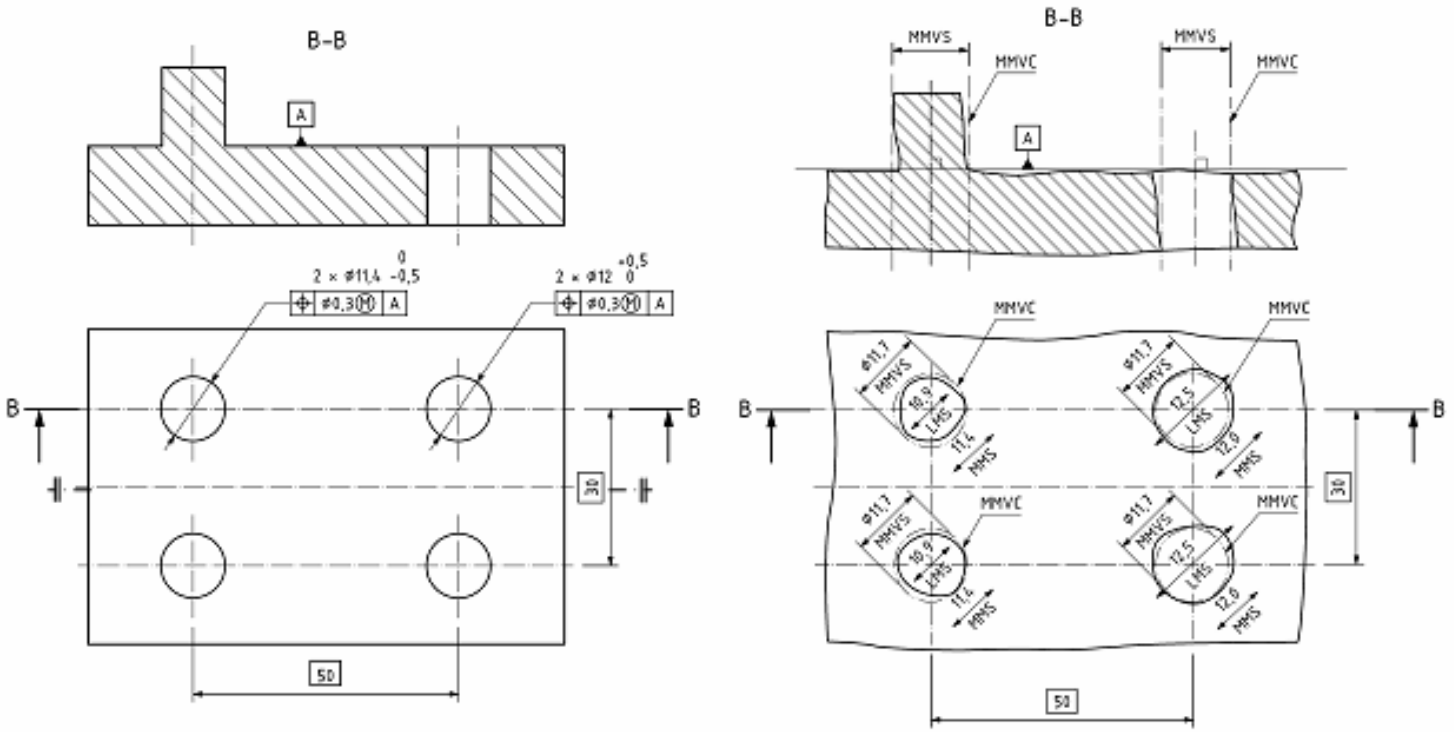
MMR utilizado para um conjunto de furos e pinos posicionados uns em relação aos outros através de cotas teoricamente exactas e tolerâncias de localização, **sem a utilização de uma referência especificada**

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo VII: A função pretendida para peça toleranciada pode ser **o seu ajustamento, com folga**, com uma peça semelhante. **Existindo um requisito funcional das superfícies planas das duas peças deverem estar em pleno contacto, quando montadas**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- Exemplo VII (cont.):



MMR utilizado para um conjunto de furos e pinos posicionados uns em relação aos outros através de cotas teoricamente exactas e tolerâncias de localização, **com uma referência especificada**

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Conclusões**:
  - A montagem de peças depende do **efeito combinado do tamanho** (de um ou mais elementos de tamanho extraídos) **e do desvio geométrico dos elementos (extraídos) e seus elementos derivados**.
  - A **folga mínima de montagem** ocorre quando cada um dos **elementos de tamanho da montagem está no seu tamanho de máximo de matéria e quando os desvios geométricos dos elementos de tamanho e seus elementos derivados** (linha mediana ou superfície mediana) **estão também no seu máximo**.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Conclusões** (cont.):
  - Se os tamanhos de uma das peças da montagem não atingirem o seu valor de máximo de matéria, a **tolerância geométrica** indicada para os elementos de tamanho e seus elementos derivados **pode ser excedida sem pôr em perigo a sua montagem com a outra peça**.
  - A **função de montagem** pode ser controlada pelo requisito de máximo de matéria (MMR).
  - Este **requisito colectivo** é indicado nos desenhos por meio do símbolo Ⓜ.

Interdependência entre o tamanho e a geometria: Requisito de máximo de matéria (ISO 2692)

- **Conclusões** (cont.):
  - O requisito de máximo de matéria apenas deve ser indicado em elementos de **ajustamentos com folga**.
  - **Não pode ser aplicado em ajustamentos com aperto (interferência) e em furos roscados** (em que o elemento "veio" será posicionado de acordo com o eixo da rosca sem qualquer relação com o tamanho real da rosca).

Verificação do requisito de máximo de matéria

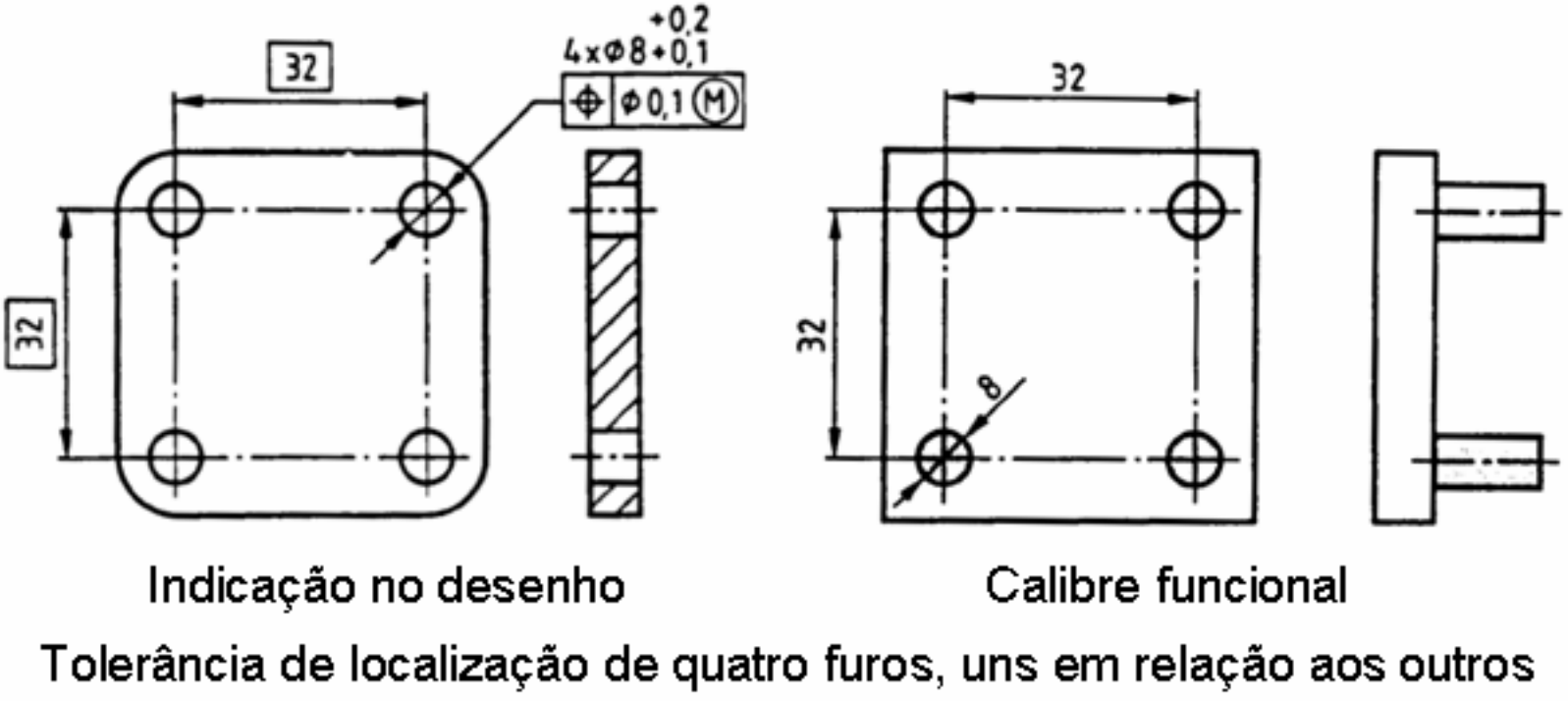
- O requisito de máximo de matéria pode ser verificado com o auxílio de um **calibre funcional**, que permite detectar se a tolerância geométrica foi excedida na condição de máximo de matéria (**MMC**).
- **Quando um requisito de máximo de matéria é verificado por outros meios** (ex.: c/ uma máquina de medição de coordenadas), a sua verificação deve ser feita de modo a que, a sua eventual aprovação pudesse também ser obtida através de uma verificação com um calibre funcional.

Verificação do requisito de máximo de matéria

- **O calibre funcional representa a condição virtual de máximo de matéria.**
- O tamanho virtual de máximo de matéria (**MMVS**) é **determinado para**:
  - elem. exteriores: **MMVS = MMS + toler. geométrica**;
  - elem. interiores: **MMVS = MMS - toler. geométrica**.

Verificação do requisito de máximo de matéria

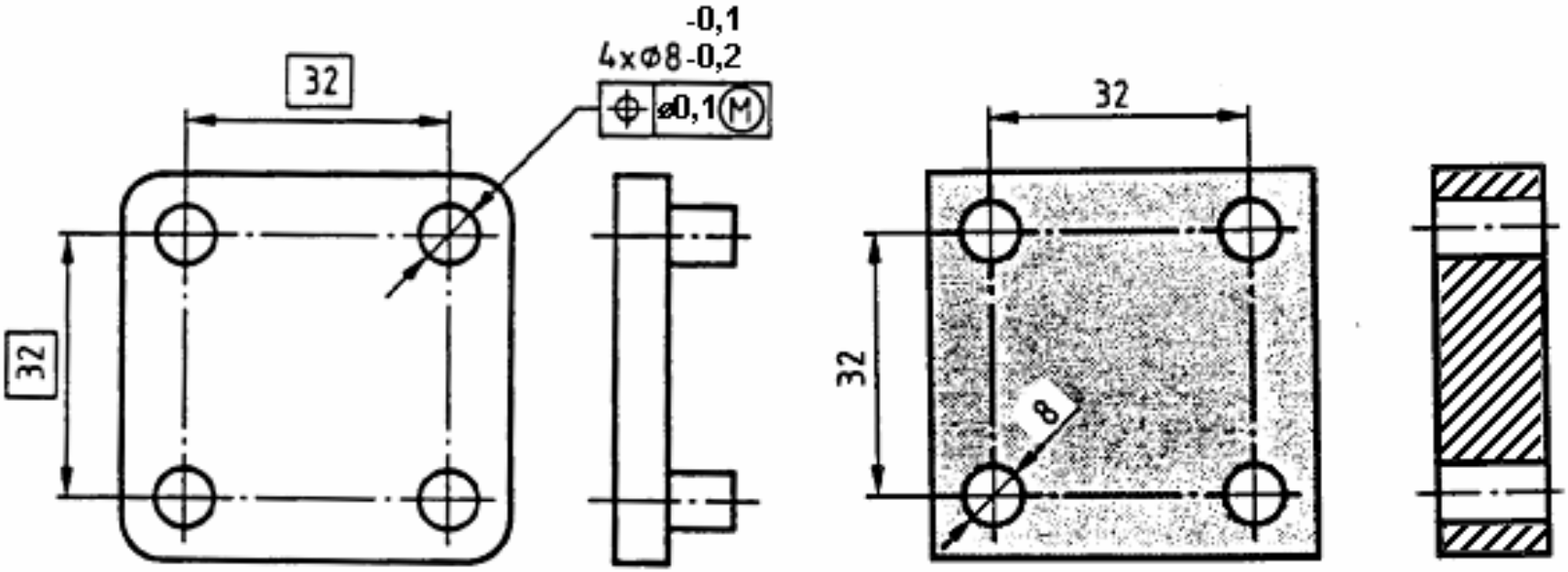
- Exemplo I:



Tolerância de localização de quatro furos, uns em relação aos outros

Verificação do requisito de máximo de matéria

- Exemplo II:



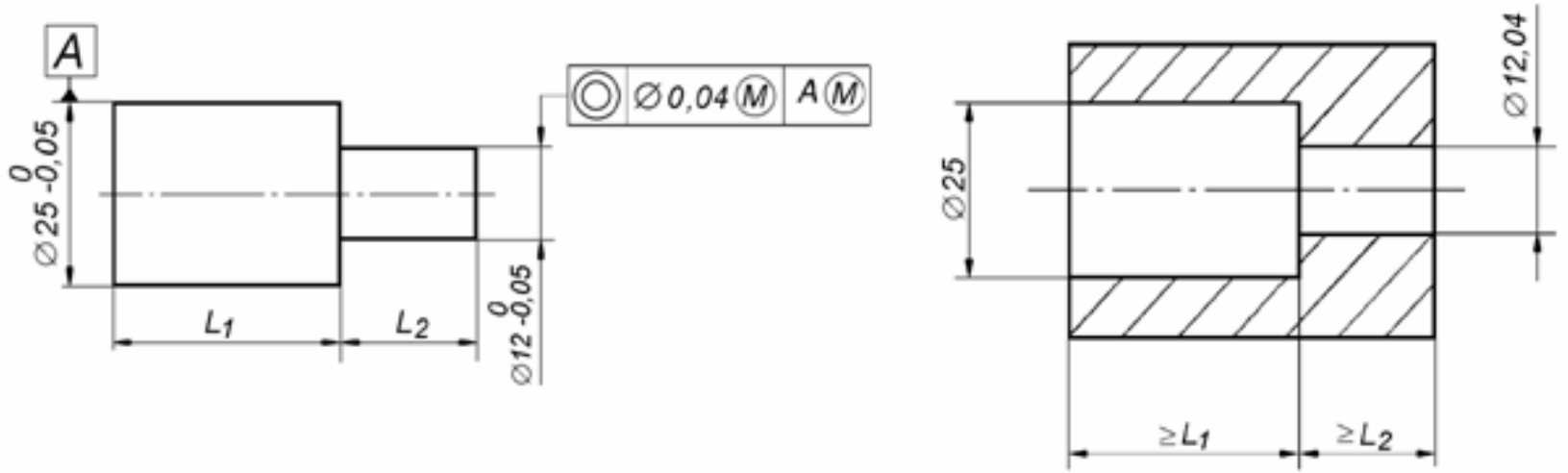
Indicação no desenho

Calibre funcional

Tolerância de localização de quatro "veios", uns em relação aos outros

Verificação do requisito de máximo de matéria

- Exemplo III:



Indicação no desenho

Calibre funcional

Tolerância de coaxialidade

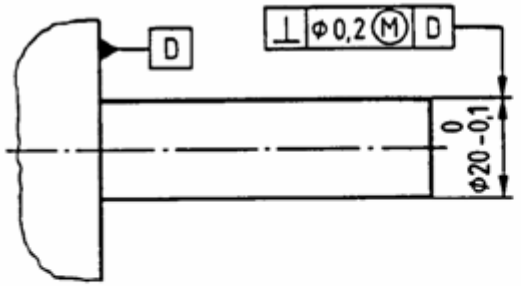
Verificação do requisito de máximo de matéria

- O significado da especificação de uma **tolerância geométrica zero**:
  - **Num ajustamento H/h**, quando cada um dos elementos de tamanho da montagem está no seu tamanho de máximo de matéria, **a folga mínima é nula e a montagem só é possível se os desvios geométricos forem nulos**.
  - Este facto **obriga à especificação de uma tolerância geométrica zero na condição de máximo de matéria** (0 Ⓜ).

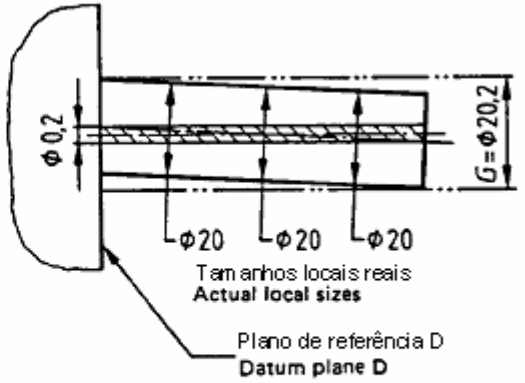
Verificação do requisito de máximo de matéria

- **Aumento da tolerância geométrica**:
  - **Assumindo que o elemento toleranciado fabricado não tem desvios de forma**, tendo, deste modo, o mesmo tamanho extraído (tamanho local real) em todas as secções rectas, o requisito de máximo de matéria permite um aumento da tolerância geométrica (T_G) de uma quantidade igual à diferença entre o tamanho de máximo de matéria e o tamanho extraído.
  - Nesta base, o **desvio geométrico admissível** (E_G) pode ser determinado:
    - elem. exteriores: $E_G = T_G + (d_{máx} - d_{real})$;
    - elem. interiores: $E_G = T_G + (D_{real} - D_{min})$.

Verificação do requisito de máximo de matéria



Indicação no desenho

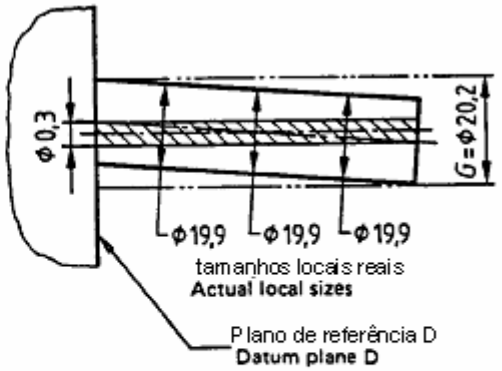


O elemento não deve ultrapassar a cond. virtual de máximo de matéria (MMVS = 20,0 + 0,2 = 20,2).

Admitindo que o elemento toleranciado foi fabricado sem desvios de forma, se os tamanhos locais reais fossem todos iguais

$d_i = \varnothing 20{,}0 \Rightarrow E_G \leq \varnothing 0{,}2$

$d_i = \varnothing 19{,}9 \Rightarrow E_G \leq \varnothing 0{,}3$

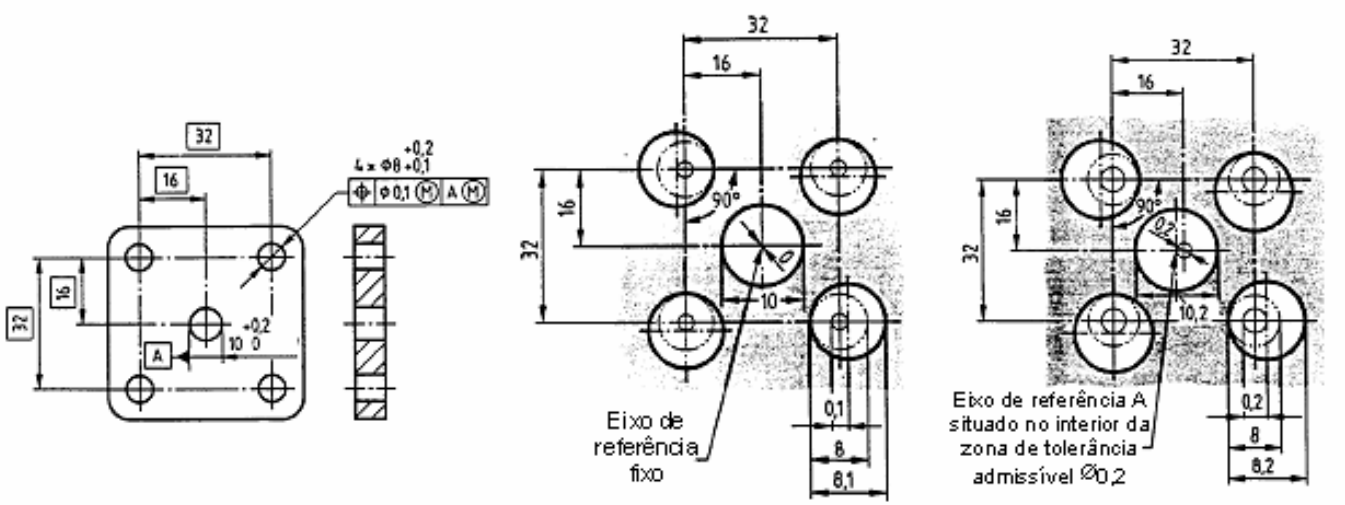


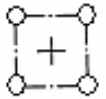
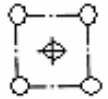
Tolerância de perpendicularidade de um veio em relação a um plano de referência

Verificação do requisito de máximo de matéria

- Quando o requisito de máximo de matéria é **aplicado a um elemento de referência primária**, o eixo de referência extraído ou a superfície mediana de referência real **pode flutuar** em relação ao elemento toleranciado, se existir uma diferença em relação à condição de máximo de matéria do elemento de referência.
- O **valor da flutuação** é igual à diferença entre o tamanho de montagem do elemento de referência e o seu tamanho de máximo de matéria.

Verificação do requisito de máximo de matéria



Zona de tolerância do elemento toleranciado Tolerance zone for toleranced feature	0,1	0,2	0,1	0,2
Zona de tolerância do elemento de referência Tolerance zone for datum feature	0	0	0,2	0,2
Diagrama de tolerância Tolerance diagram				

Tolerância de localização de quatro furos em relação a um furo de referência

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

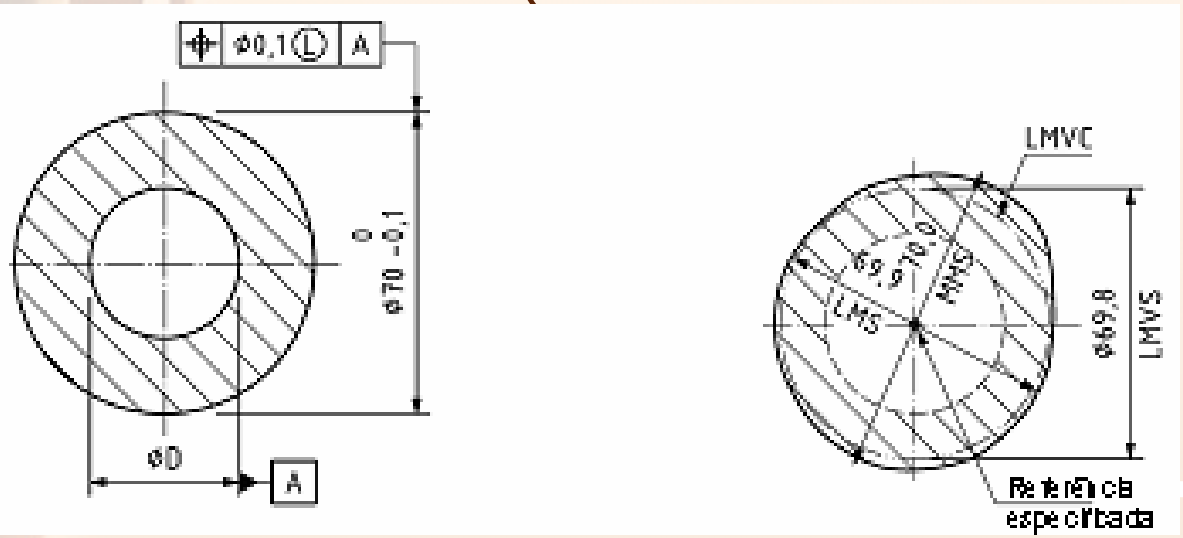
- O **requisito de mínimo de matéria** destina-se a controlar funções específicas de peças, **onde o tamanho e a geometria são interdependentes**, tais como, por exemplo, a existência de uma "**espessura de parede mínima**".
- Este requisito (**LMR**) combina dois requisitos de tolerância independentes num **requisito colectivo**, que simula, de um modo mais exacto, a função pretendida para a peça.
- Em alguns casos, este requisito pode ser complementado pelo **requisito de reciprocidade**, **RPR**.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- O **requisito de mínimo de matéria (LMR)** pode ser aplicado, apenas, para **combinar requisitos** para o **tamanho** de **elementos de tamanho** (do tipo cilindro e do tipo duas superfícies planas paralelas opostas) e a **tolerância geométrica do(s) elemento(s) derivado(s) do(s) elemento(s) de tamanho** (linhas medianas ou superfícies medianas).
- Este **requisito colectivo** diz respeito apenas ao **elemento integral**, que, na ISO 2692, está relacionado com a(s) superfície(s) do(s) elemento(s) de tamanho.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

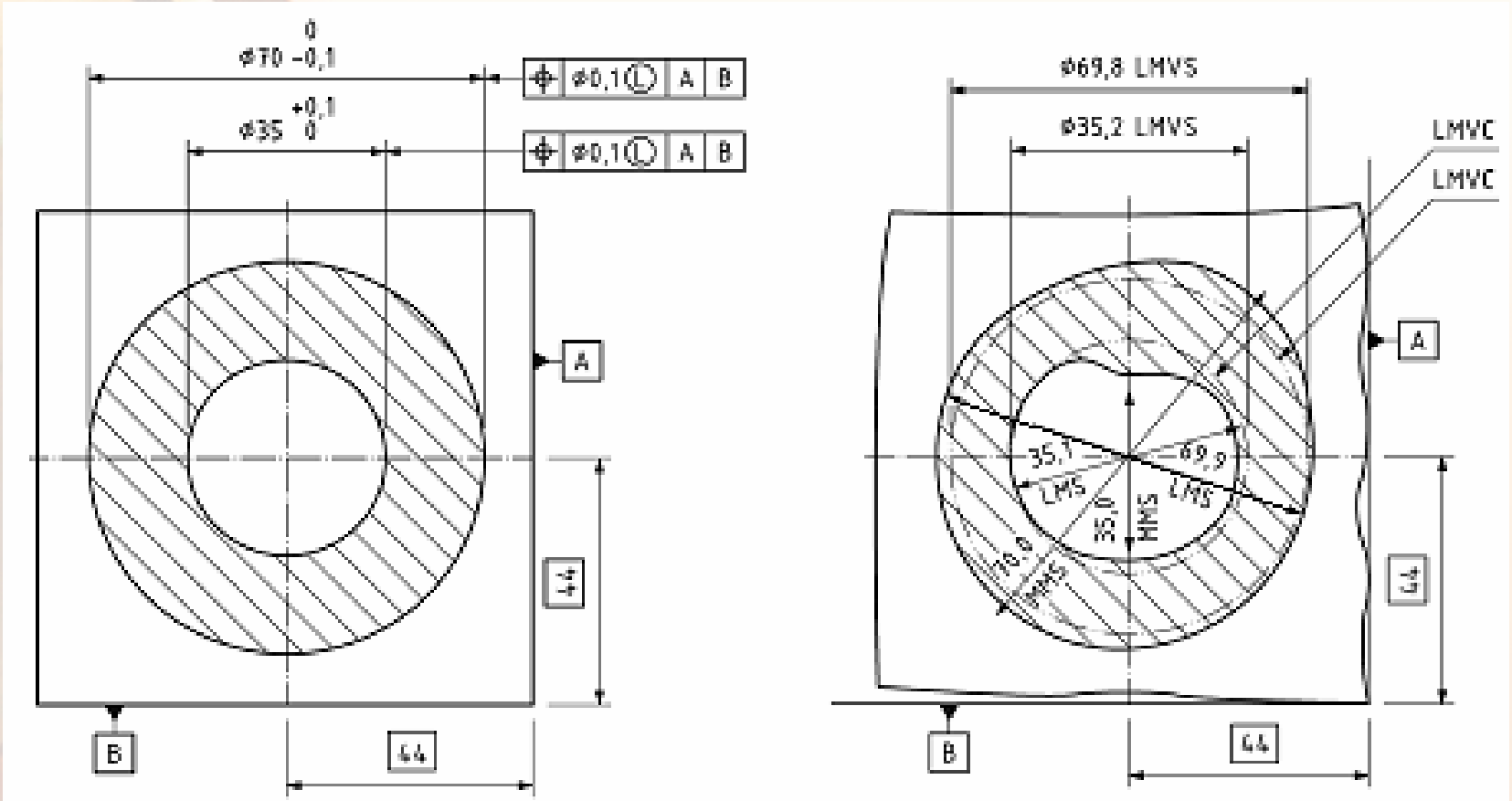
- **Quando o requisito de mínimo de matéria (LMR) se aplica ao elemento toleranciado**, tal é indicado nos desenhos pelo **símbolo** Ⓛ , colocado, no quadro de tolerância, após a tolerância geométrica do elemento derivado do elemento de tamanho (**elemento toleranciado**).



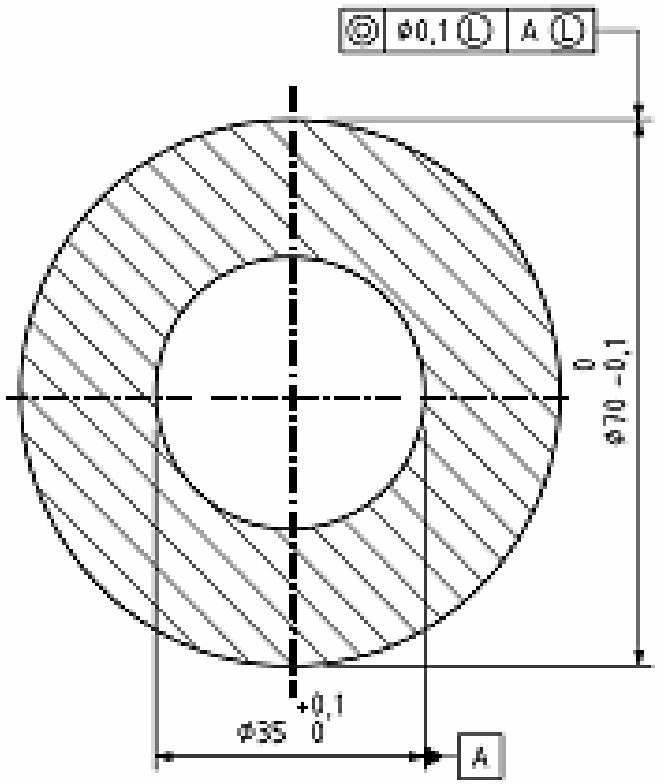
Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

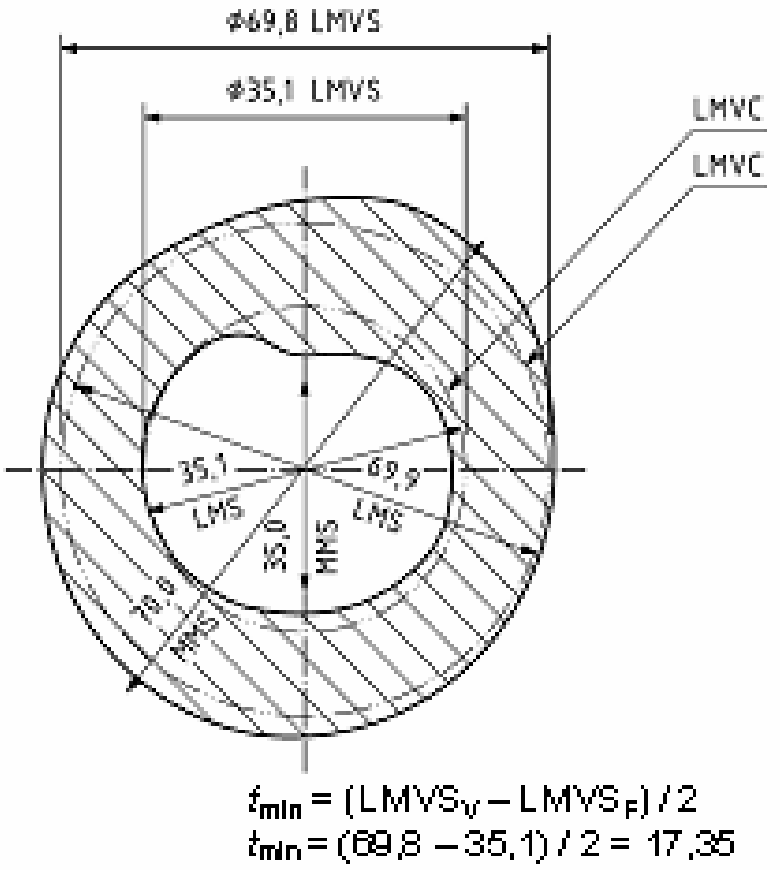
- **Requisito de mínimo de matéria (LMR)**: requisito para um elemento de tamanho, que define um elemento geométrico do mesmo tipo e de forma perfeita, com um valor dado para a característica intrínseca (cota) igual ao **LMVS**, que limita o elemento não-ideal pelo lado interior da matéria.
- **Estes requisitos são utilizados aos pares para, por exemplo, controlar a espessura de parede mínima** entre dois elementos de tamanho similares posicionados simétrica ou coaxialmente.
- **Aplicam-se também a elementos de referência correlacionados**.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)



Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)





$t_{min} = (LMVS_V - LMVS_F) / 2$

$t_{min} = (69,8 - 35,1) / 2 = 17,35$

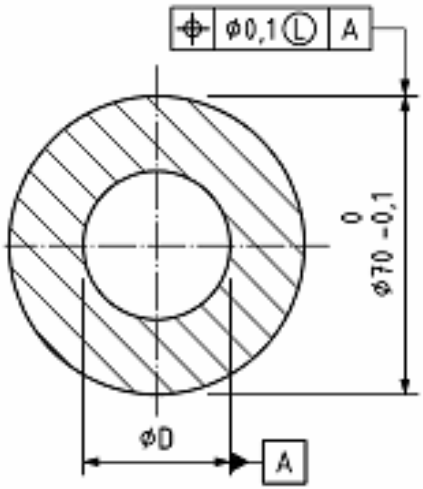
Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

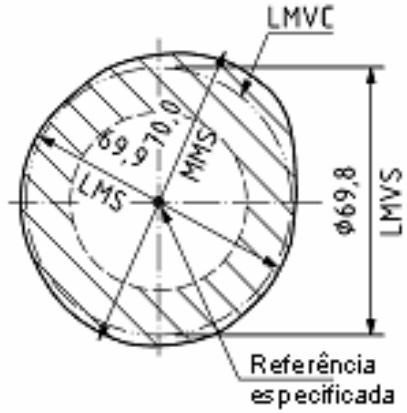
- **Tamanho virtual de mínimo de matéria (LMVS)**: tamanho gerado pelo **efeito colectivo** do **tamanho de mínimo de matéria** (LMS) de um elemento de tamanho **e da tolerância geométrica** (de forma, orientação ou posição) especificada para o seu elemento derivado (linha mediana ou superfície mediana).

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

Para **elementos de tamanho exteriores:**

LMVS = LMS – tolerância geométrica.

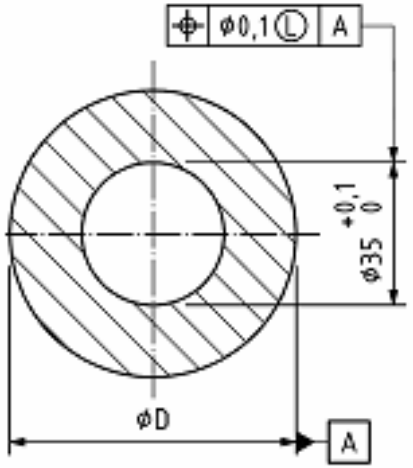


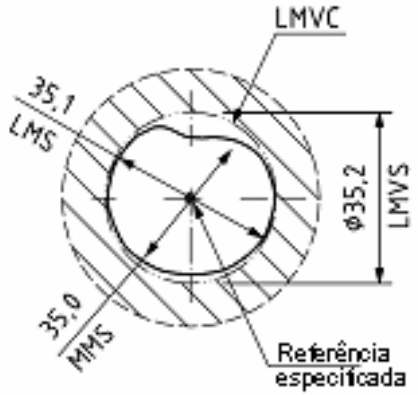


Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

Para **elementos de tamanho interiores:**

LMVS = LMS + tolerância geométrica.



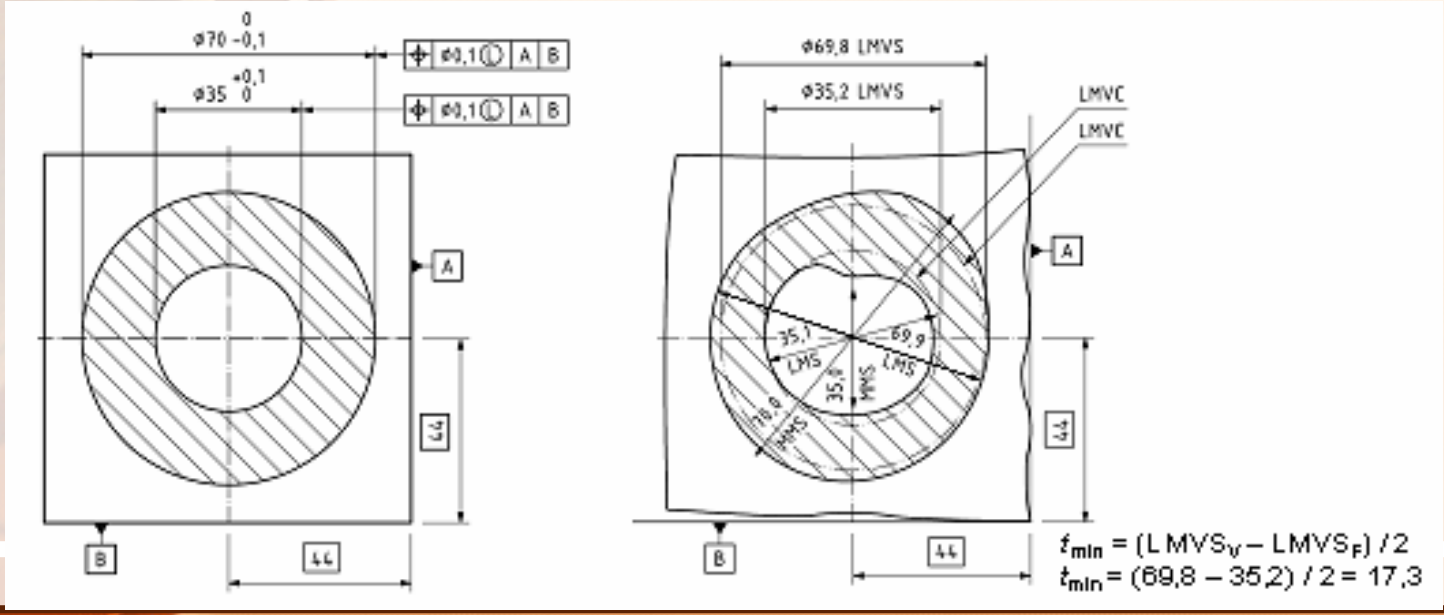


Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- **Condição virtual de mínimo de matéria (LMVC)**: estado do **elemento associado** de tamanho virtual de mínimo de matéria (LMVS).
- **LMVC** é uma condição de forma perfeita e pode incluir uma **restrição de posição** do elemento associado.
- **Para controlar, completamente**, a **espessura de parede mínima**, o **símbolo Ⓛ deve ser aplicado, ao tolerânciamento dos elementos, em ambos os lados da parede**.
- O **requisito de mínimo de matéria (LMR)** pode ser **implementado de dois modos diferentes**:

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

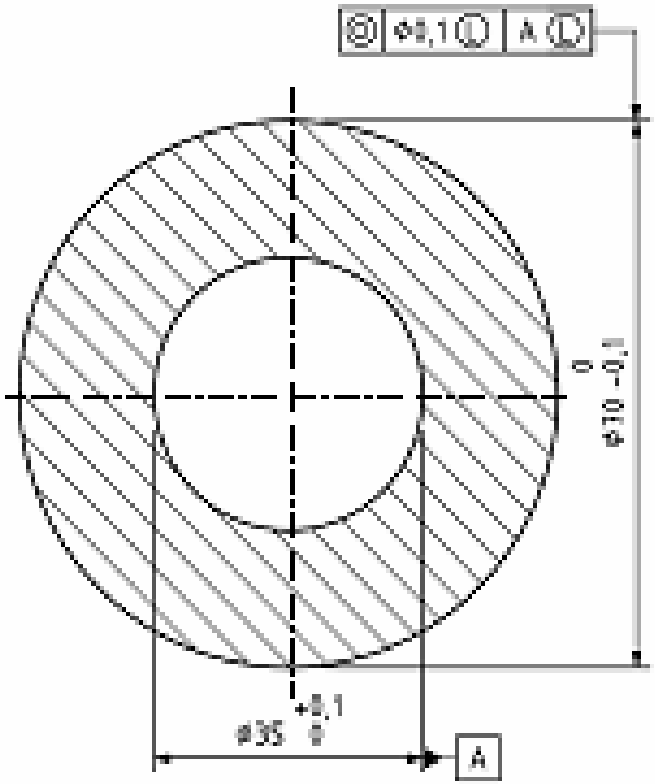
1. **As tolerâncias de posição para os dois lados diferentes da parede** podem ser referidas ao mesmo eixo de referência ou sistema de referências especificadas. Neste caso, Ⓛ aplica-se aos dois elementos toleranciados.

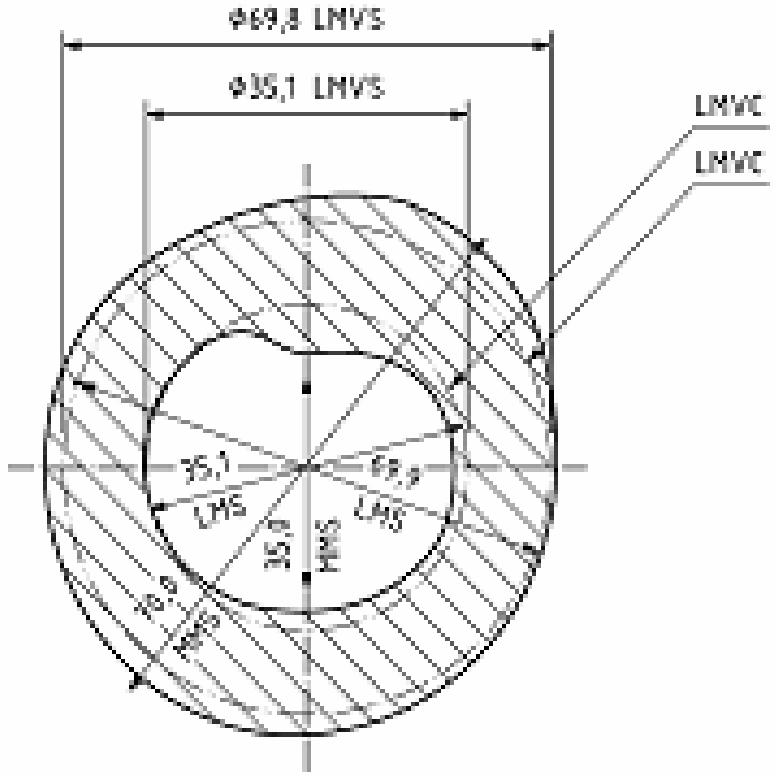


Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

2. **A tolerância de posição do elemento derivado para um dos lados da parede pode ser referida ao elemento derivado do outro lado, na sua qualidade de referência especificada.**
   A tolerância para o elemento toleranciado e a letra da referência especificada devem ser seguidas do símbolo Ⓛ.
   Esta possibilidade **aplica-se, apenas, se os elementos, nos dois lados da parede, forem elementos de tamanho**.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)





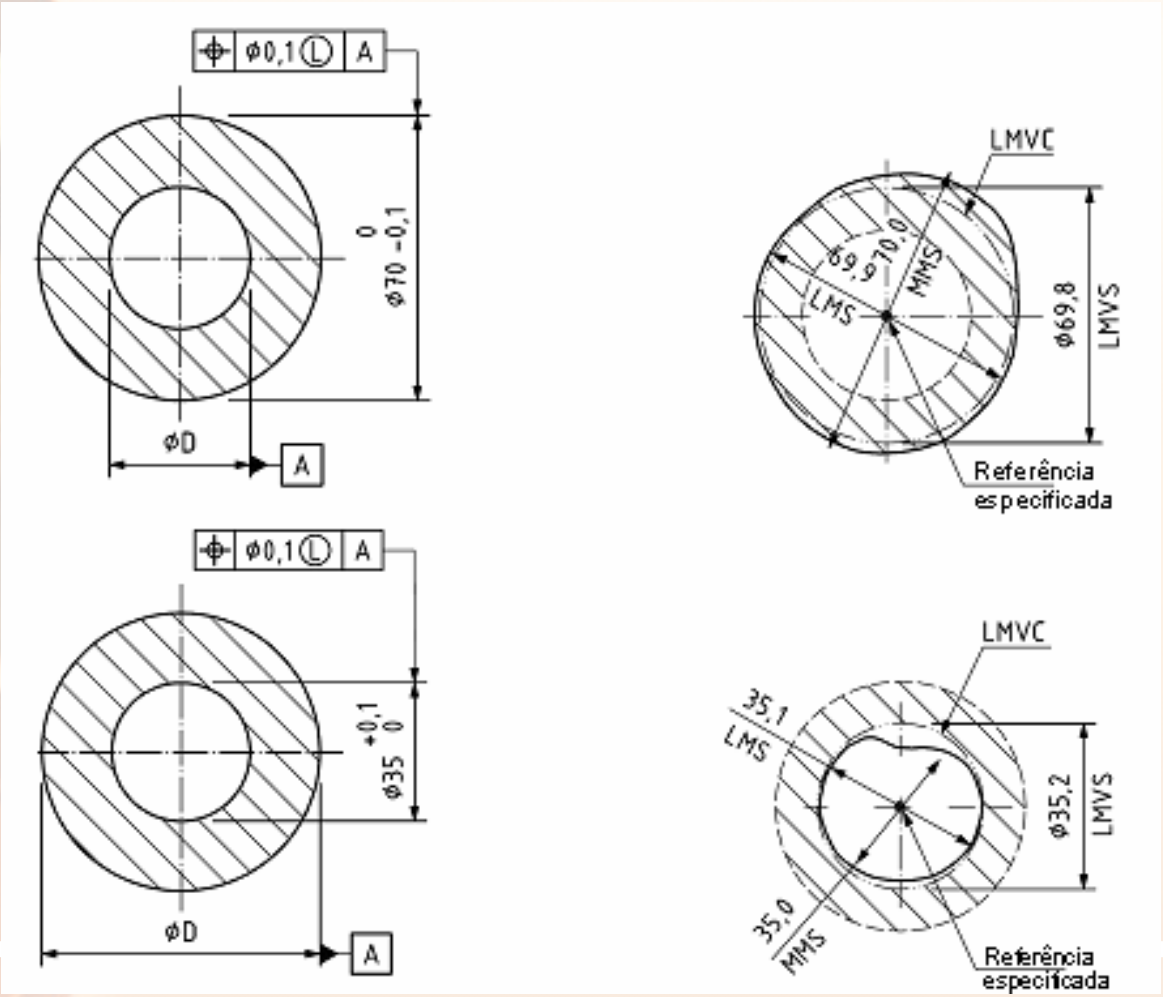
$t_{min} = (LMVS_E - LMVS_I)/2$

$t_{min} = (69,8 - 35,1)/2 = 17,35$

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- **Quando o requisito de mínimo de matéria (LMR) se aplica ao elemento toleranciado**, ele especifica as seguintes regras para a(s) superfície(s) (do elemento de tamanho):
  - **Regra H** – Os tamanhos locais extraídos do elemento toleranciado devem ser:
    - Maiores ou iguais ao tamanho de mínimo de matéria (**LMS**), para elementos exteriores;
    - Menores ou iguais ao tamanho de mínimo de matéria (**LMS**), para elementos interiores.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)



Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- **Regra I** – Os tamanhos locais extraídos do elemento devem ser:
  - Menores ou iguais ao tamanho de máximo de matéria (**MMS**), para elementos exteriores;
  - Maiores ou iguais ao tamanho de máximo de matéria (**MMS**), para elementos interiores.
- **Regra J** – A condição virtual de mínimo de matéria (**LMVC**) do elemento toleranciado não deve ser violada pelo elemento (integral) extraído.

- A utilização de outras restrições no tamanho, na condição de mínimo de matéria (LMC), como, por exemplo, o requisito de envolvente Ⓔ, pode resultar em requisitos supérfluos, não necessários para a função do(s) elemento(s) (espessura de parede mínima).

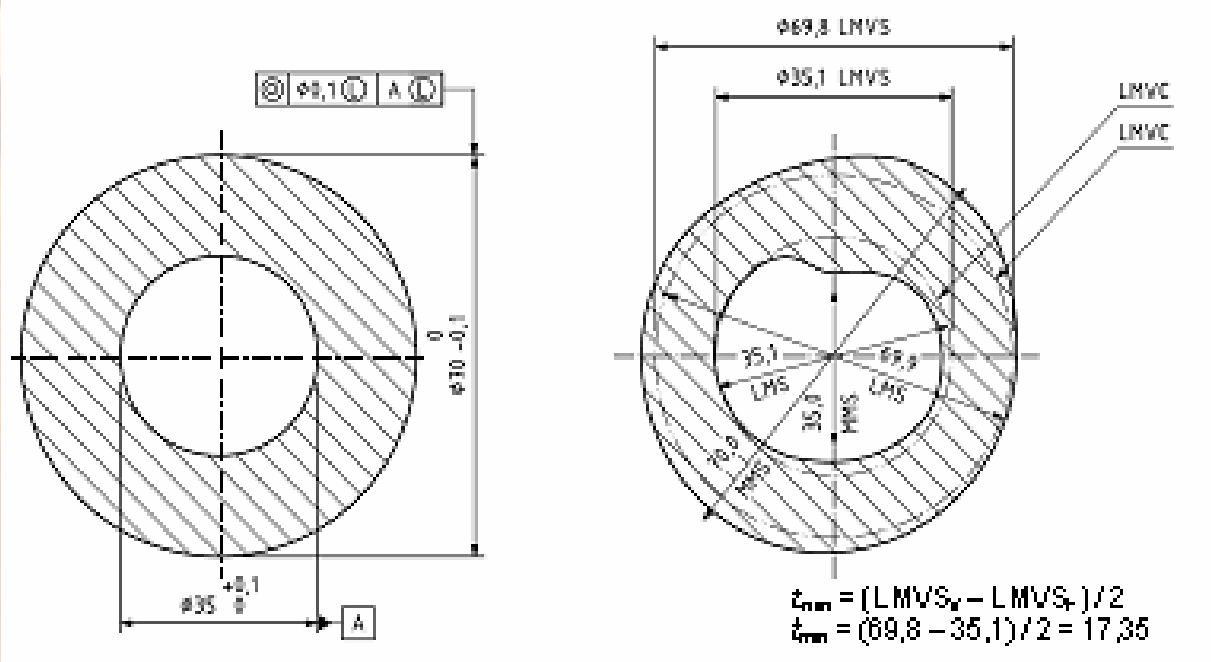
Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- **Regra K** – Quando os elementos toleranciados (em casos de mais do que um elemento) são controlados pela mesma indicação de tolerância, ou quando a especificação geométrica é de orientação ou de posição, **a(s) condição(ões) virtual(ais) de mínimo de matéria (LMVC), do(s) elemento(s) toleranciado(s) estão em posição(ões) e orientação(ões) teoricamente exactas, umas em relação às outras e em relação à(s) referência(s) especificada(s)**.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- Quando o requisito de mínimo de matéria (**LMR**) se **aplica ao elemento de referência**, tal é indicado nos desenhos pelo **símbolo** Ⓛ **colocado, no quadro de tolerância**, após a(s) letra(s) que designam a referência especificada.
- A utilização do símbolo Ⓛ após a letra que designa a referência especificada é **apenas possível** se a **referência especificada for obtida a partir de um elemento de tamanho**.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)



- Quando o requisito de mínimo de matéria (**LMR**) se aplica a todos os elementos da colecção de superfícies de uma **referência especificada comum**, indica-se: (A-A) Ⓛ

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- Quando o requisito de mínimo de matéria (**LMR**) se aplica **apenas a um elemento da colecção de superfícies de uma referência especificada comum**, indica-se:



- **O LMR em elementos de referência** especifica as **seguintes regras** para a(s) superfície(s) (do elemento de tamanho):
  - **Regra L – A condição virtual de mínimo de matéria (LMVC) do elemento de referência correlacionado não deve ser violada pelo elemento de referência (integral) extraído**, a partir do qual a referência especificada é derivada.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- **Regra M – O tamanho da condição virtual de mínimo de matéria (LMVC), do elemento de referência correlacionado, é o tamanho de mínimo de matéria (LMS)**, quando o elemento de referência correlacionado não tem qualquer tolerância geométrica ou tem uma tolerância geométrica de forma não seguida do símbolo Ⓛ.

Para elementos de tamanho exteriores e interiores,

$$LMVS = LMS \pm 0 = LMS.$$

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- **Regra N – O tamanho da condição virtual de mínimo de matéria (LMVC), do elemento de referência correlacionado é tamanho de mínimo de matéria (LMS) – / + a tolerância geométrica**, quando o elemento de referência tem uma tolerância geométrica de forma e essa tolerância é seguida pelo símbolo Ⓛ.

Para **elementos de tamanho exteriores:**

LMVS = LMS – tolerância geométrica.

Para **elementos de tamanho interiores:**

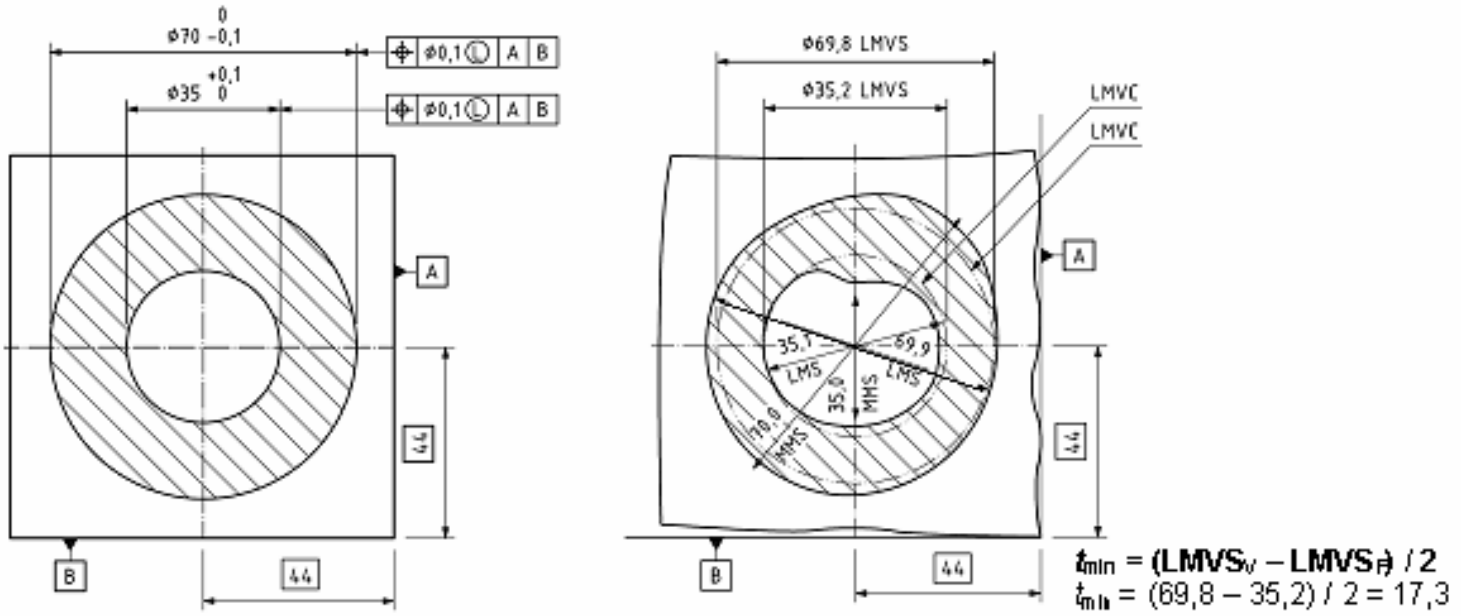
LMVS = LMS + tolerância geométrica.

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- Neste caso, o **triângulo de referência deve estar ligado ao quadro de tolerância geométrica**, a partir do qual a condição virtual de mínimo de matéria (**LMVC**) do elemento de referência é controlada.

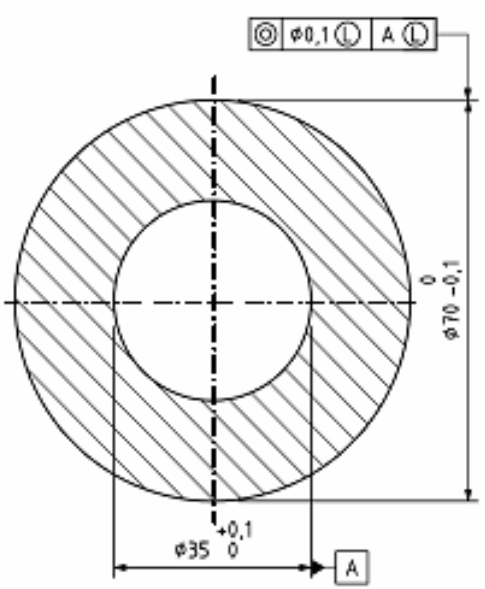
- O **requisito de mínimo de matéria (LMR)** é concebido para, por exemplo, **controlar a espessura de parede mínima** e, deste modo, **evitar a rotura** (devida à pressão no interior de um tubo, por exemplo), **controlar a largura máxima de uma série de ranhuras**, etc.
- Este requisito é também caracterizado por um **requisito colectivo** para o **tamanho** de um elemento de tamanho e os **desvios geométricos** do elemento de tamanho (**desvios de forma**) e do seu elemento derivado (**desvio de posição**).

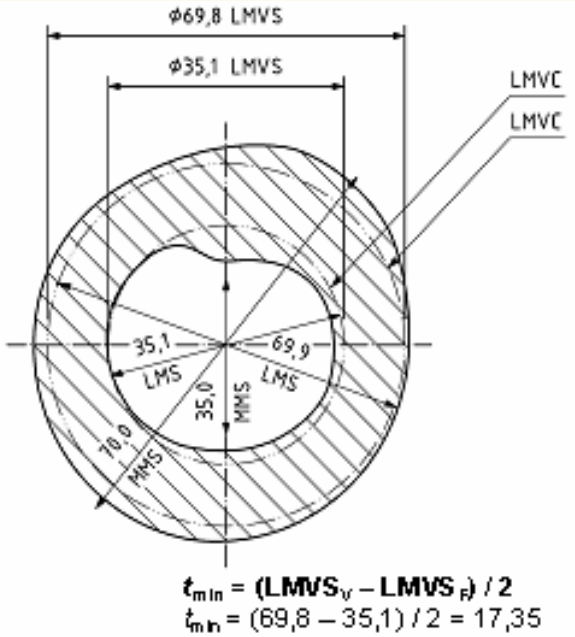
Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)



Requisito de mínimo de matéria (LMR) para dois elementos cilíndricos concêntricos (exterior e interior), ambos controlados por tamanho e posição (**localização**) em relação ao mesmo sistema de referências especificadas A e B. (A função pretendida da peça é a sua **capacidade de resistir a pressão interna**, evitando a rotura.)

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)





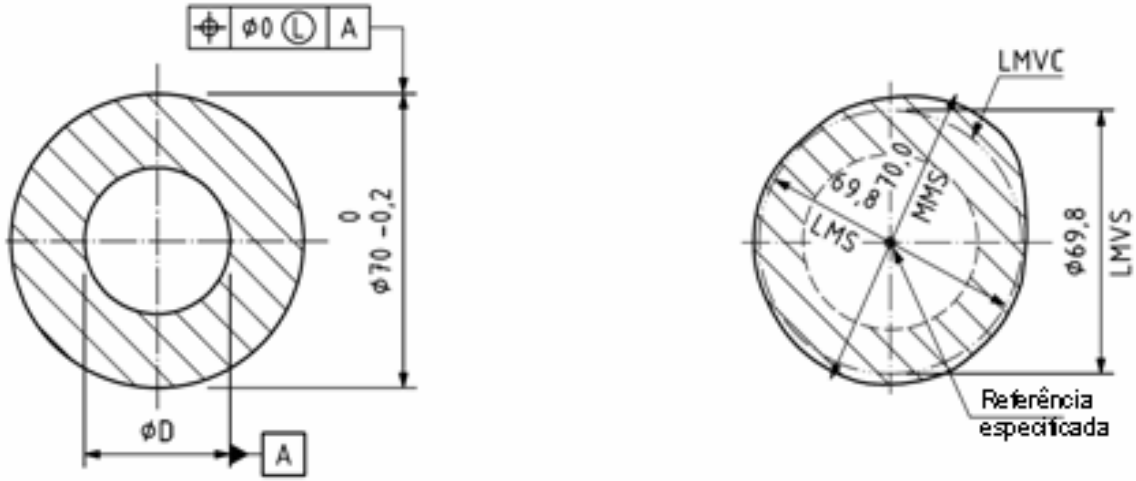
$t_{min} = (LMVS_V - LMVS_F) / 2$

$t_{min} = (69,8 - 35,1) / 2 = 17,35$

Requisito de mínimo de matéria (LMR) para um elemento cilíndrico exterior controlado por tamanho e posição (**coaxialidade**), em relação ao elemento cilíndrico interior utilizado como uma referência especificada, controlado por tamanho e requisito de mínimo de matéria (LMR). (A função pretendida da peça é a **capacidade de resistir a pressão interna**, evitando a rotura.)

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

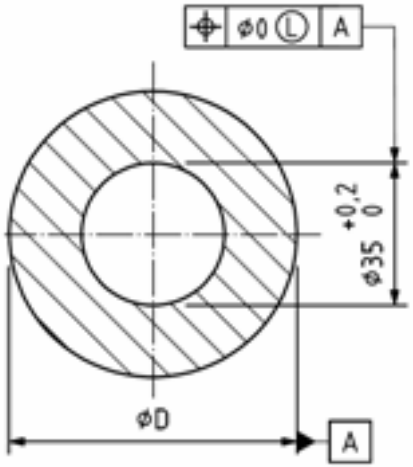
- Significado da especificação de uma **tolerância geométrica zero**:

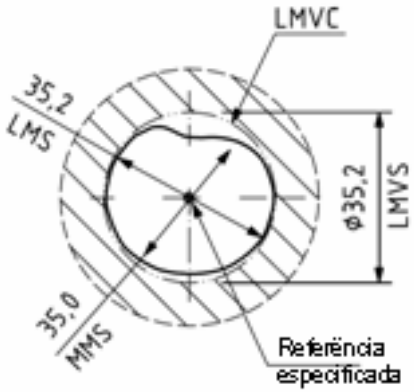


Requisito de mínimo de matéria (LMR) (com 0 Ⓛ) para um elemento de tamanho exterior, com outro elemento de tamanho interior concêntrico/coaxial como referência especificada

Requisito de mínimo de matéria (ISO 2692)

- Significado da especificação de uma **tolerância geométrica zero**:





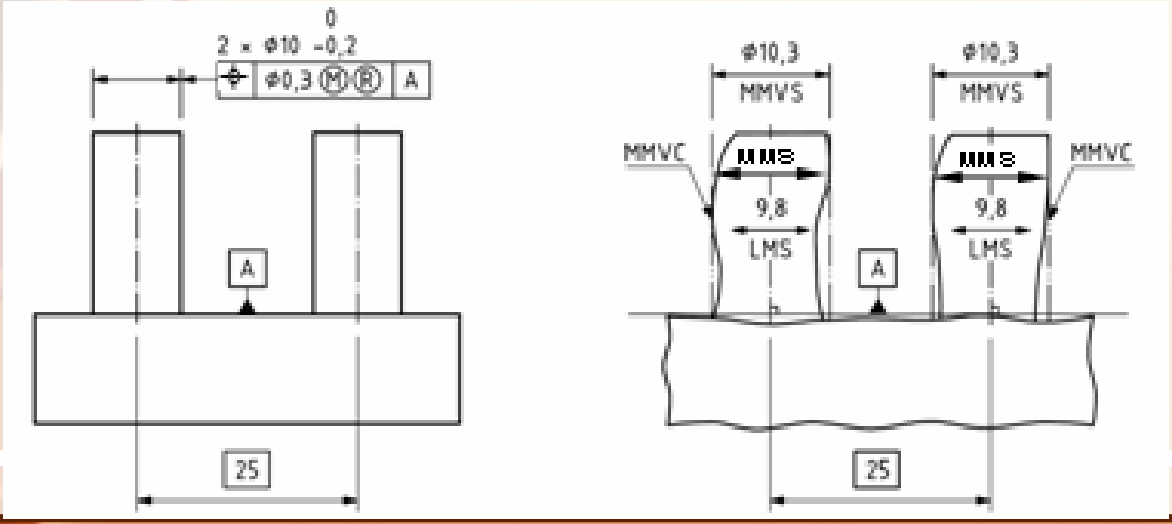
Requisito de mínimo de matéria (LMR) (com 0 Ⓛ) para um elemento de tamanho interior, com outro elemento de tamanho exterior concêntrico/coaxial como referência especificada

Requisito de reciprocidade (RPR)

- **Requisito de reciprocidade (RPR)**: requisito suplementar para um elemento de tamanho, usado em complemento ao requisito de máximo de matéria (**MMR**) ou ao requisito de mínimo de matéria (**LMR**), para indicar que a **tolerância dimensional é aumentada da diferença entre a tolerância geométrica e o desvio geométrico real**.
- O **requisito de reciprocidade (RPR)** é indicado nos desenhos como um requisito adicional ao requisito de máximo de matéria (**MMR**) ou ao requisito de mínimo de matéria (**LMR**), com o símbolo Ⓡ colocado, no quadro de tolerância, após o símbolo Ⓜ ou após o símbolo Ⓛ.

Requisito de reciprocidade (RPR)

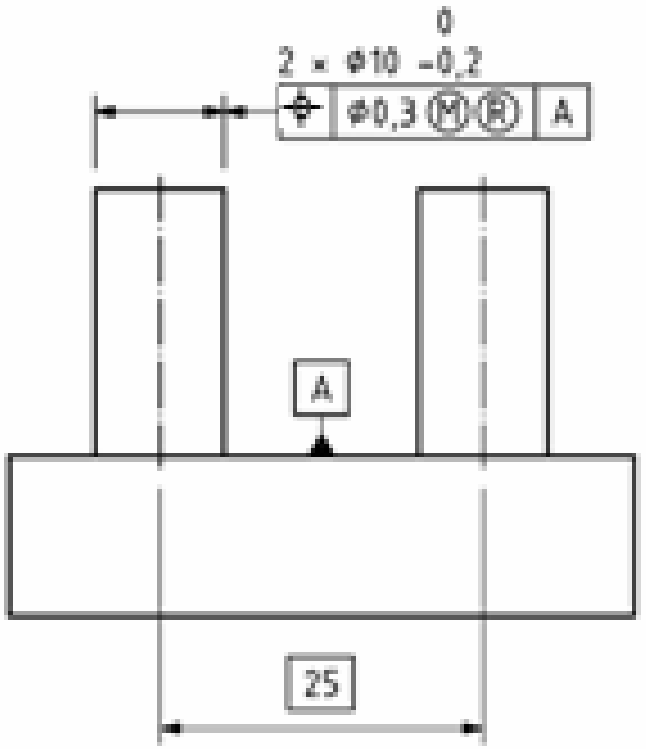
- O **requisito de reciprocidade** é apenas aplicável ao(s) elemento(s) toleranciado(s), em casos em que tal é permitido – tendo em conta a função destes.
- O **requisito adicional RPR permite um aumento da tolerância dimensional** do elemento de tamanho, nos requisitos colectivos MMR e LMR.

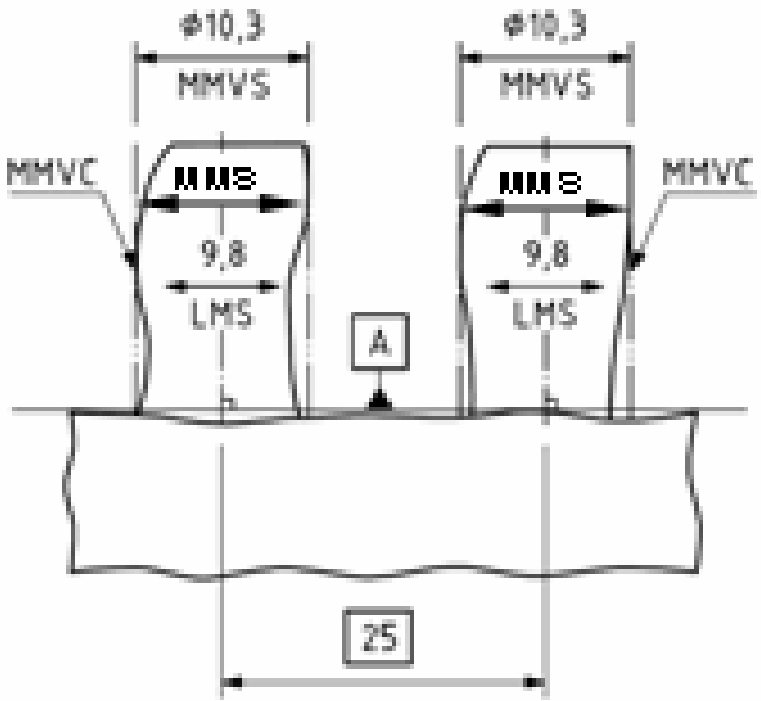


Requisito de reciprocidade (RPR)

- O **requisito de reciprocidade** permite que o tamanho tire todo o partido das condições virtuais de máximo de matéria (MMVC) ou de mínimo de matéria (LMVC), **possibilitando que seja feita uma escolha da distribuição da variação admissível entre as tolerâncias dimensionais e geométricas, em função das capacidades de fabricação disponíveis**.

Requisito de reciprocidade (RPR)



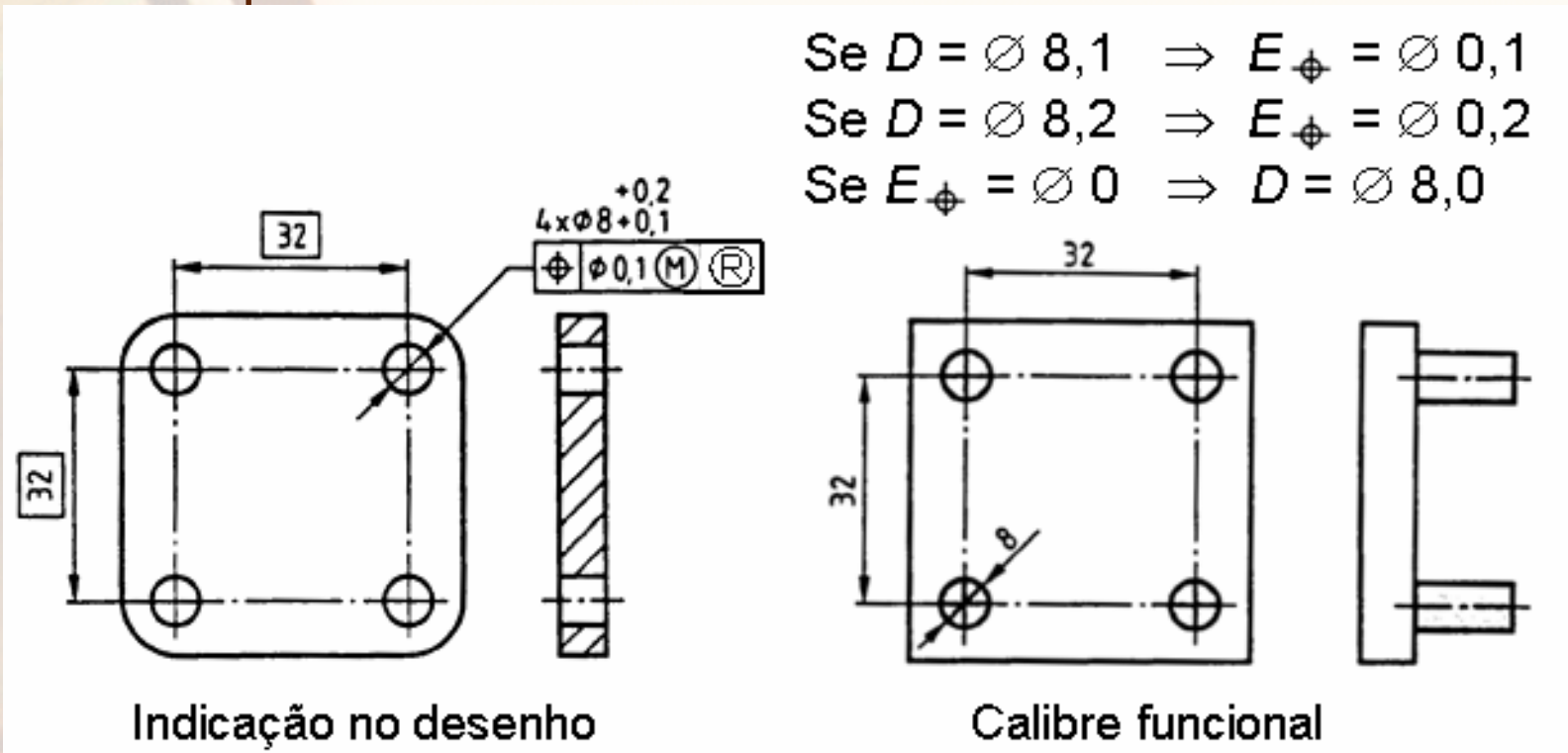


Requisito de reciprocidade (RPR)

- O **requisito de reciprocidade (RPR) permite um aumento da tolerância dimensional**, de modo a que o tamanho local possa tomar valores até ao limite do tamanho virtual **MMVS** ou **LMVS**, se os desvios geométricos de forma, de orientação e de posição não tirarem todo o partido da condição virtual de máximo de matéria (**MMVC**) ou da condição virtual de mínimo de matéria (**LMVC**)

Requisito de reciprocidade (RPR)

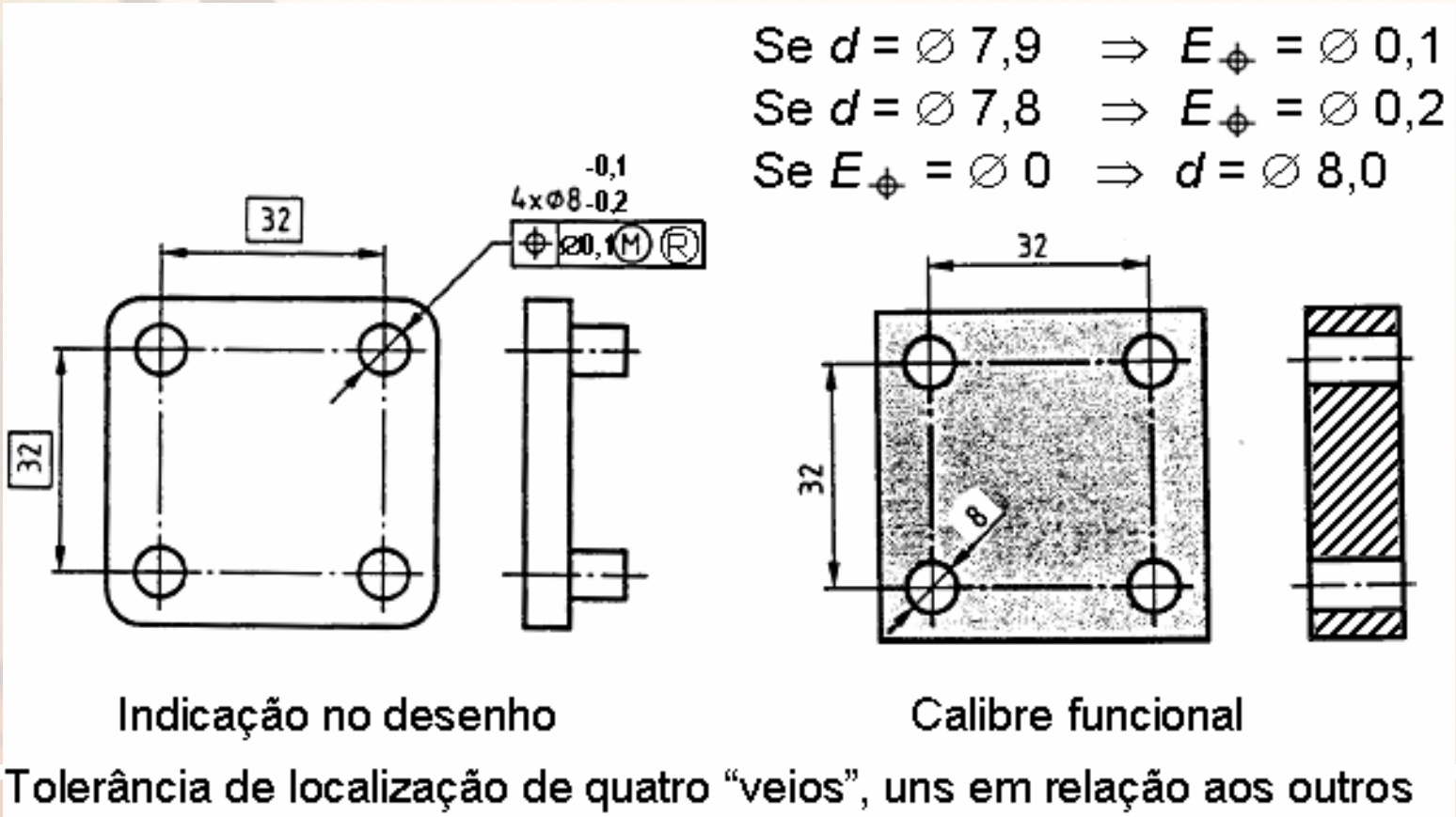
- Exemplos:



Tolerância de localização de quatro furos, uns em relação aos outros

Requisito de reciprocidade (RPR)

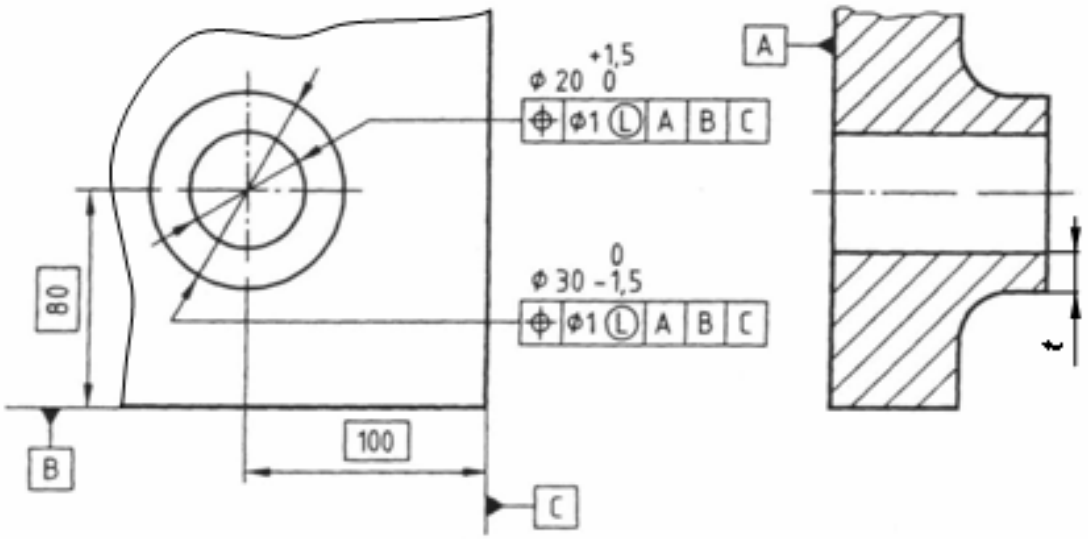
- Exemplos:



Tolerância de localização de quatro "veios", uns em relação aos outros

Requisito de reciprocidade (RPR)

- Exemplos:



$\mathbf{LMVS_F = LMS_F + T}$ ⌖

$LMVS_F = 22,5$

Se Ø 21,5 ⇒ E ⌖ = Ø 1

Se Ø 20,0 ⇒ E ⌖ = Ø 2,5

$\mathbf{LMVS_V = LMS_V - T}$ ⌖

$LMVS_V = 27,5$

Se Ø 28,5 ⇒ E ⌖ = Ø 1

Se Ø 30,0 ⇒ E ⌖ = Ø 2,5

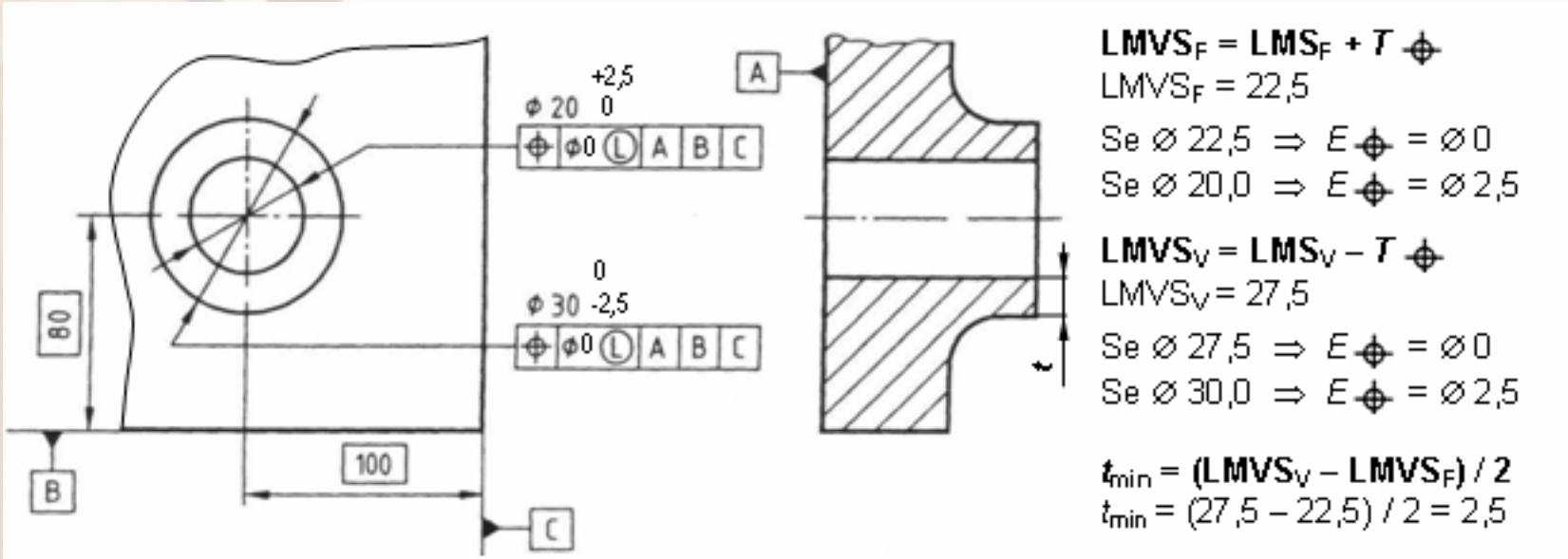
$\mathbf{t_{min} = (LMVS_V - LMVS_F) / 2}$

$t_{min} = (27,5 - 22,5) / 2 = 2,5$

a) Tolerância de localização, na condição de mínimo de matéria, para controlo da coaxialidade

Requisito de reciprocidade (RPR)

- Exemplos:



$\mathbf{LMVS_F = LMS_F + T}$ ⌖
$LMVS_F = 22,5$
Se ⌀ 22,5 ⇒ E ⌖ = ⌀0
Se ⌀ 20,0 ⇒ E ⌖ = ⌀2,5

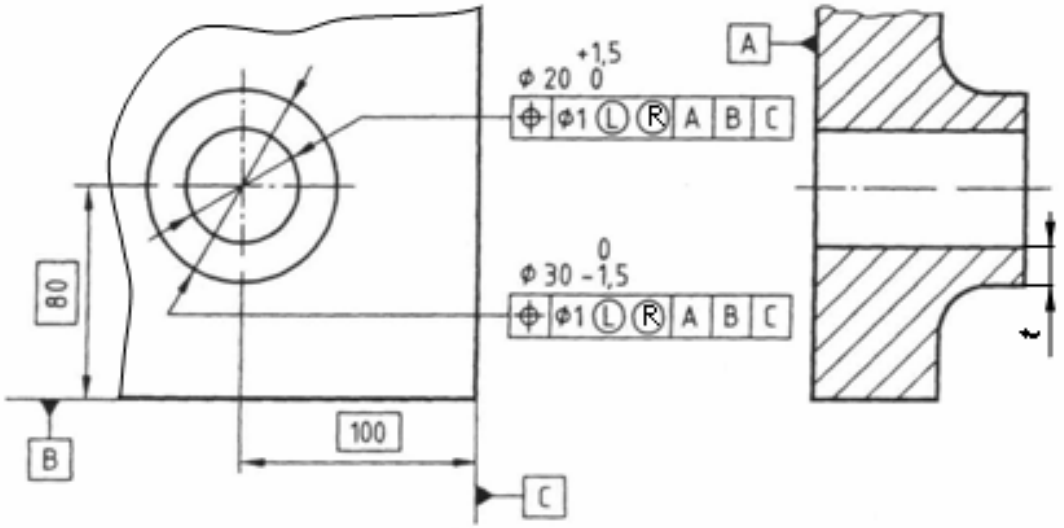
$\mathbf{LMVS_V = LMS_V - T}$ ⌖
$LMVS_V = 27,5$
Se ⌀ 27,5 ⇒ E ⌖ = ⌀0
Se ⌀ 30,0 ⇒ E ⌖ = ⌀2,5

$\mathbf{t_{min} = (LMVS_V - LMVS_F) / 2}$
$t_{min} = (27,5 - 22,5) / 2 = 2,5$

b) Tolerância de localização zero, na condição de mínimo de matéria, para controlo da coaxialidade

Requisito de reciprocidade (RPR)

- Exemplos:



$\mathbf{LMVS_F = LMS_F + T}$ ⌖
$LMVS_F = 22,5$
Se Ø 21,5 ⇒ E ⌖ = Ø 1
Se Ø 20,0 ⇒ E ⌖ = Ø 2,5
Se E ⌖ = Ø 0 ⇒ Ø 22,5

$\mathbf{LMVS_V = LMS_V - T}$ ⌖
$LMVS_V = 27,5$
Se Ø 28,5 ⇒ E ⌖ = Ø 1
Se Ø 30,0 ⇒ E ⌖ = Ø 2,5
Se E ⌖ = Ø 0 ⇒ Ø 27,5

$\mathbf{t_{min} = (LMVS_V - LMVS_F) / 2}$
$t_{min} = (27,5 - 22,5) / 2 = 2,5$

c) Tolerância de localização, na condição de mínimo de matéria, para controlo da coaxialidade, com a especificação do requisito de reciprocidade

Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas

- A **norma CNOMO GE40-040N** apresenta um **quadro-guia** para a **especificação das tolerâncias geométricas e a escolha do seu método de verificação**. Este quadro deverá ser posteriormente completado, em função de estudos em curso.
- O **requisito de envolvente** estabelece uma **relação entre os tamanhos e a forma**, enquanto o **requisito de máximo de matéria** permite **estabelecer uma relação entre os tamanhos, a forma, a orientação e a posição**.

Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas

- Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas (CNOMO GE40-040N):

Funções		Forma	Orientação	Posição	Batimento	E, I, M
Escorregamento Atrito Almofada de ar	macho - fêmea	X	(X)	X	(X)	E
	plano sobre plano	X				I
Rolamento	de esferas	X		X		E
	caminho de esferas	X				I
Vedação com junta que admite as variações de diâmetro	montagem deslizante	X		X		I
	montagem rotativa	X			X	I
Vedação sem junta ou (1)	montagem deslizante	X		X		E
	montagem rotativa	X			X	E
Montagem ou ajustamento fixo	com tensão (aperto)	X	X	(X)		E
	ajustado	X	X			E
	com folga			X		M

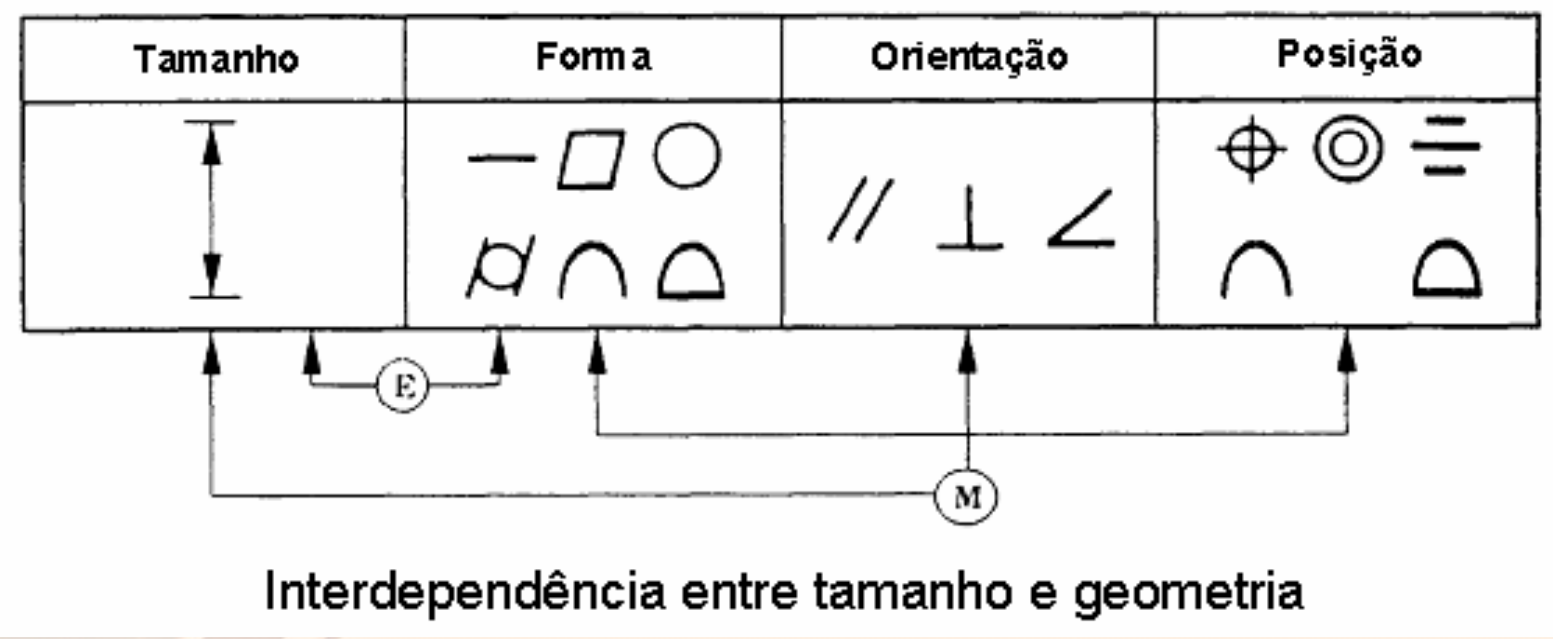
Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas

- Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas (CNOMO GE40-040N) (cont.):

Guiamento	em translação	X	X			E
	em rotação	X			X	E
Posicionamento estático				X		E
Aderência ou/e vedação com colagem		X				I
Resistência ao encalque		X				I
Escoamento de fluídos		X				I
Ferramentas de corte		X			X	I
Aspecto		X				I
Estigmatismo (óptica)		X				I
Equilíbrio (equilibração)					X	I

(1) = com junta que não admite as variações de diâmetro.
x = Tolerâncias importantes para a função.
(x) = A especificar, se necessário.
E = Envolvente; **I** = Independência; **M** = Máximo de matéria.

Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas



Interdependência entre tamanho e geometria

- A título de orientação geral, pode considerar-se a seguinte **relação entre tolerâncias geométricas e dimensionais individuais $T_G \leq 0{,}5\ T_D$.**

Relação entre a função das peças e as tolerâncias geométricas

- Valores (indicativos) de tol. geométricas [mm] adequados para diferentes funções das superfícies:

Funções	Superfícies em bruto s/ contacto	Superfícies com contacto fixo	Centragem. Guiamento. Contacto c/ atrito, de pequena ou média velocidade	Contacto c/ atrito de grande velocidade. Vedação. Alta exactidão

Exactidão do conjunto	Grosseira	Corrente	Cuidada
Rectitude	0,05 /100	0,02 /100	0,01 /100
Planeza	0,06 a 0,03 /100	0,03 a 0,02 /100	0,01 / 100
Circularidade	0,05	0,02	0,01
Cilindricidade	0,1 /100	0,05 /100	0,02 / 100
Paralelismo	0,1	0,05	0,02
Perpendicularidade	0,1	0,05	0,02
Inclinação	0,1	0,05	0,02
Localização	Variáveis de acordo c/ a realização: apoio, nónio, leitor óptico, …		
Coaxialidade	0,3 c/ mais do que um aperto 0,02 c/ um único aperto	0,1 c/ mais do que um aperto 0,01 c/ um único aperto	0,005 c/ um único aperto
Simetria	0,2	0,1	0,05

Nota: Os valores das tolerâncias de forma indicados são mínimos compatíveis com a exactidão do conjunto.

Relações entre os processos de fabricação das peças e os desvios geométricos

- A escolha do **processo de fabricação** é feita pelo gabinete de métodos de fabrico da empresa, em função do grau de qualidade desejado para a peça, por um lado, e do parque de máquinas existente, por outro.
- A escolha do **processo de fabricação depende** da **exactidão pretendida para as dimensões** a realizar, mas **também das tolerâncias geométricas** e do **estado das superfícies**.

Relações entre os processos de fabricação das peças e os desvios geométricos

- Desvios geométricos [mm] que podem ser obtidos através de diferentes processos de fabricação:

Processos de fabricação	▱	//	⊥	∠	◎
Sinterização		0,02			0.02
Aplainamento	0,1 / 100	0,05	0,1	0,1	
Fresagem	0,02 a 0,05 / 100	0,02 a 0,1 / 100			
Fresagem c/ aço rápido		0,05 – 0,01	0,03	0,01	0,005 – 0,02
Fresagem c/ carboneto		0,02 – 0,01	0,02	0,01	
Torneamento	0,02 a 0,05 / 100	0,01 a 0,1 / 100			
Torneamento de acabamento		0,02 – 0,01	0,02	0,01	0,005 – 0,01
Torneamento c/ diamante policristalino		0,01	0,02	0,01	0,01
Furagem c/ broca		0,2	0,1	0,1	0,1
Mandrilagem		0,005	0,01	0,01	0,01
Brochagem		0,002			0,002
Rectificação	0,005 a 0,01 / 300	0,005 a 0,01 / 100			
Rectificação de precisão		0,001	0,001	0,002	0,002
"Honing"		0,0005	0,001	0,002	0,002
Superacabamento		0,0005	0,001	0,002	0,005

Relações entre os processos de fabricação das peças e os desvios geométricos

- Estabelecido o processo de fabricação a utilizar, **é necessário não negligenciar, no entanto, os efeitos derivados**:
  - da **fixação** e da **deformação** da peça;
  - dos **tratamentos** térmicos;
  - dos **revestimentos**, etc.;
  - que podem provocar **deformações** nas peças.