# CFAC – Concepção e Fabrico Assistidos por Computador




## Indicação dos Estados de Superfície

João Manuel R. S. Tavares

# 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

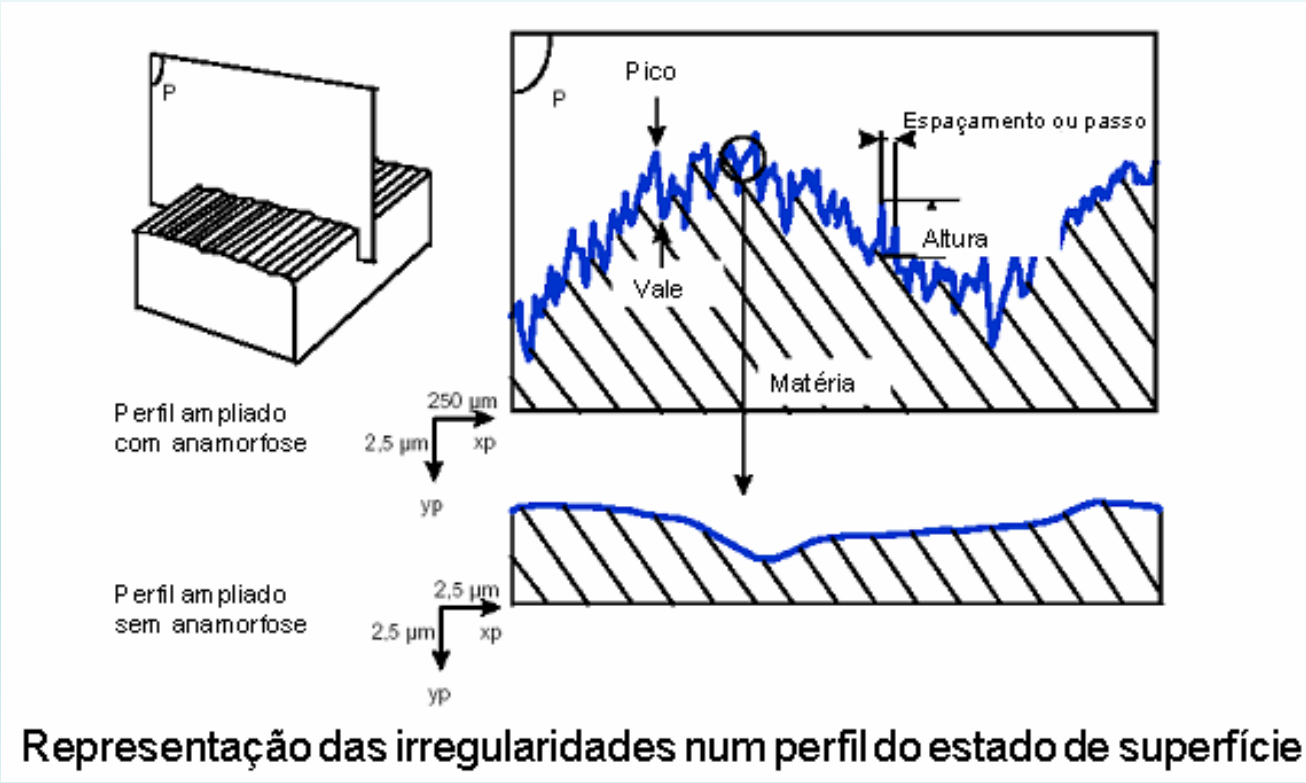
- Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos;
- Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície;
- Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade);
- Relações práticas entre diferentes parâmetros de rugosidade;
- Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade;
- Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais;
- Processos de avaliação do estado de superfície.

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- As **superfícies dos diferentes componentes** de um mecanismo **devem ter características adequadas ao tipo de funções** por eles desenvolvidas.
- Os diferentes **processos de fabricação** de componentes mecânicos determinam **acabamentos diversos nas suas superfícies**.
- As **superfícies apresentam irregularidades**, que podem ser classificadas em: **desvios macrogeométricos** (desvios de rectitude, de planeza, ondulação, etc.) e **desvios microgeométricos** (rugosidade).
- **O estado de superfície é o resultado de desvios repetitivos ou aleatórios, em relação à superfície geométrica, que formam a topografia tridimensional de uma superfície**. Compreende a rugosidade, a ondulação, a orientação das irregularidades, as imperfeições e os desvios de forma numa zona limitada da superfície.

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- **O método de medição dos estados de superfície mais utilizado é a exploração do perfil de superfície, ampliado e com anamorfose** (a ampliação vertical é maior do que a ampliação horizontal), **num plano normal à superfície considerada**.



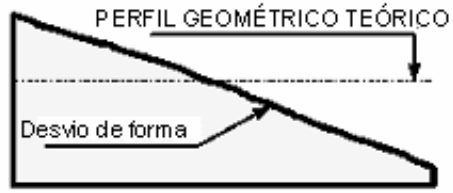
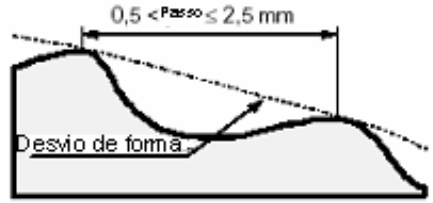
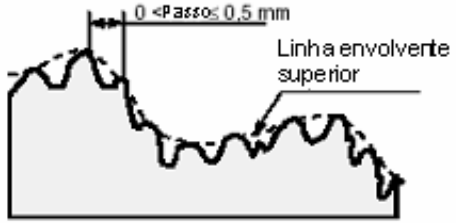
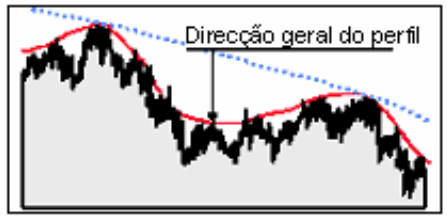

Representação das irregularidades num perfil do estado de superfície

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- O **perfil de superfície** apresenta uma sucessão de **picos** separados por **vales** (irregularidades geométricas do perfil). Estas irregularidades são **quantificadas pela sua altura e pelo seu espaçamento**. Quando esse espaçamento é regular designa-se por **passo**.
- As diferentes ordens de grandeza das irregularidades geométricas do perfil são definidas a partir do seu passo.
- Existe uma **gama alargada de meios de avaliação dos estados de superfície** (através da análise de uma área ou de um perfil).

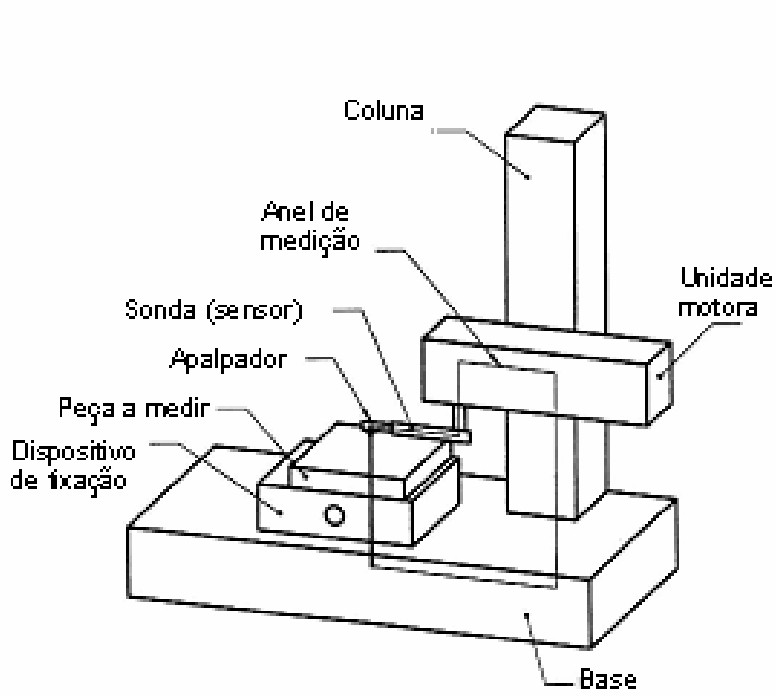
# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- **Tipologia dos desvios** (irregularidades):

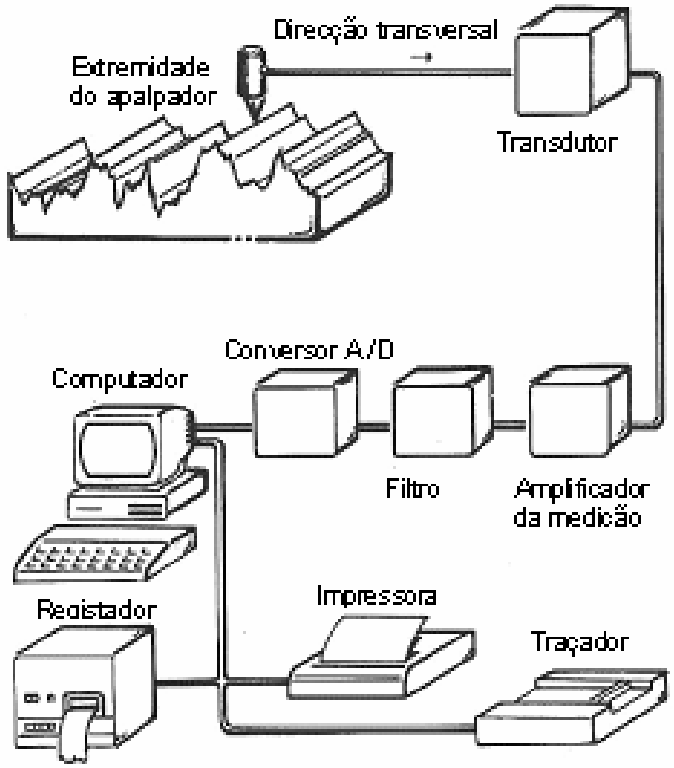
| N.º de ordem | TIPO DE IRREGULARIDADES | ESBOÇO |
|---|---|---|
| 1 | DESVIOS DE FORMA:<br>Desvios de rectitude<br>de planeza<br>de circularidade<br>de cilindricidade<br>etc. |  |
| 2 | ONDULAÇÃO<br>Irregularidades geométricas tais que a distância entre dois dos seus topos esteja compreendida entre dois limites (ex.: 0,5 a 2,5 mm). |  |
| 3 | RUGOSIDADE<br>Irregularidades geométricas tais que a distância entre dois dos seus picos esteja compreendida entre 0 e, por exemplo, 0,5 mm. |  |
| 4 | ARRANCAMENTO<br>Marca de ferramenta, fenda, picagem. |  |
| PERFIL TOTAL<br>(Soma dos desvios) | |  |

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- **Meios de avaliação dos estados de superfície:**




a)

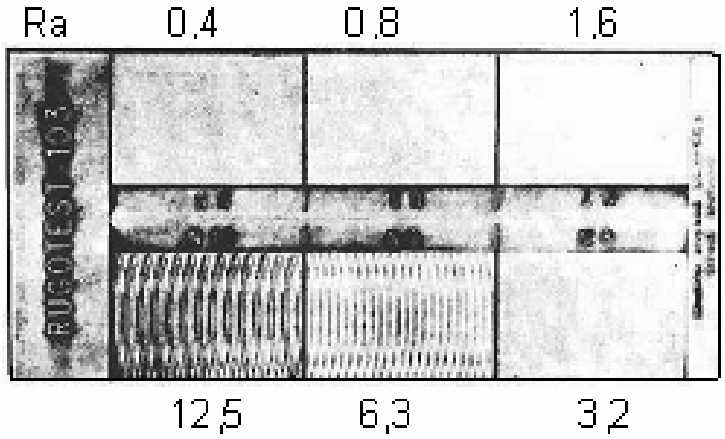



b)

Instrumento de apalpador (rugosímetro ou perfilómetro de contacto)

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- **Meios de avaliação dos estados de superfície:**




Exemplo de padrão de rugosidade (p/ fresagem frontal) - placa de "RUGOTEST" 103

Com os **rugosímetros, a separação das diferentes irregularidades geométricas de perfil (perfil primário, perfil de ondulação e perfil de rugosidade) faz-se por intermédio de uma filtragem electrónica**, embora uma adequada escolha da extremidade (raio) do apalpador seja também muito importante para a aquisição de dados relativos ao perfil (filtragem mecânica).

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- A importância dos estados de superfície:
  - **A rugosidade pode ter influência em funcionalidades tais como**:
    - a **qualidade do deslizamento** (atritos seco e viscoso);
    - a **resistência à corrosão e ao desgaste**;
    - a materialização dos **ajustamentos** apertados;
    - a **resistência** oferecida ao **escoamento** de fluidos e lubrificantes;
    - a qualidade da **aderência** de **revestimentos**;
    - a **resistência** à **flexão e à fadiga**;
    - a **condução térmica e eléctrica**;
    - a **vedação** estática e dinâmica;
    - a **aparência** (estética).

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

- A importância dos estados de superfície:
  - **A rugosidade pode ter influência em funcionalidades tais como**:
    - a **qualidade do deslizamento** (atritos seco e viscoso);
    - a **resistência à corrosão e ao desgaste**;
    - a materialização dos **ajustamentos** apertados;
    - a **resistência** oferecida ao **escoamento** de fluidos e lubrificantes;
    - a qualidade da **aderência** de **revestimentos**;
    - a **resistência** à **flexão e à fadiga**;
    - a **condução térmica e eléctrica**;
    - a **vedação** estática e dinâmica;
    - a **aparência** (estética).

# Indicação dos estados de superfície na documentação técnica de produtos

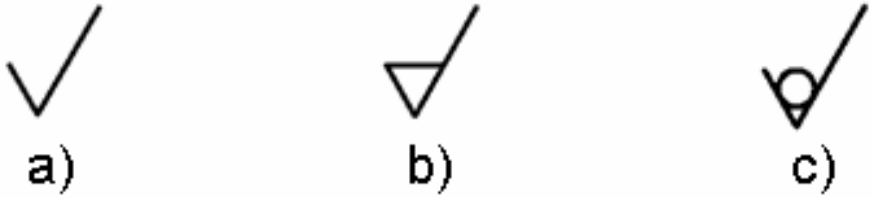
- **Existe**, geralmente, uma **relação estreita entre o estado de superfície e a qualidade das tolerâncias dimensionais**.
- **A prescrição de um estado de superfície implica igualmente que os desvios de forma sejam mantidos dentro de limites admissíveis**.
- As **causas da grandeza, orientação e grau de irregularidade das rugosidades podem ser**, entre outras:
  - **imperfeições em mecanismos** das máquinas-ferramenta;
  - **vibrações** (altas frequências) no sistema peça-ferramenta (da peça, da ferramenta);
  - **desgaste** das ferramentas;
  - **heterogeneidade e plasticidade** do material trabalhado;
  - o próprio **método de obtenção da peça**.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- A norma **ISO 1302** aplica-se na **indicação de requisitos para superfícies através de**:
  - **parâmetros de perfil**, ligados à linha média (ISO 4287), relacionados com o:
    - perfil R (parâmetros de rugosidade),
    - perfil W (parâmetros de ondulação),
    - perfil P (parâmetros estruturais, calculados a partir do perfil primário);
  - **parâmetros, ligados aos motivos do perfil** (ISO 12085):
    - motivos de rugosidade,
    - motivos de ondulação,
  - **parâmetros ligados à curva da taxa do comprimento de sustentação** (ISO 13565-2, ISO 13565-3).

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Símbolos gráficos para a indicação dos estados de superfície**:

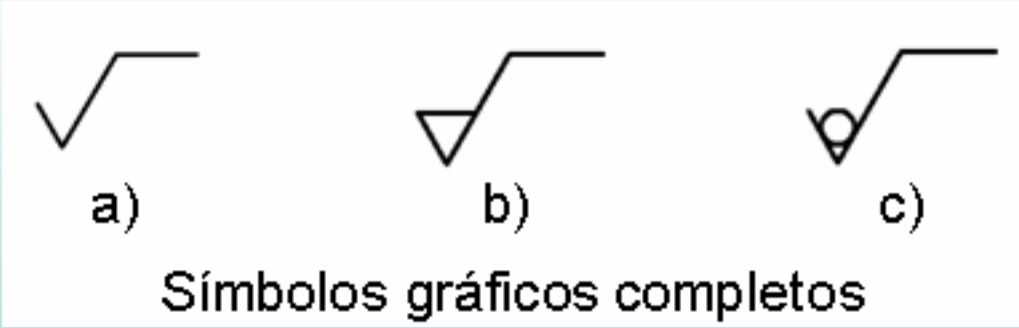



Símbolos gráficos de base e prolongados (linhas ≈ a 60°)

- **Estes símbolos não deverão ser utilizados isolados, sem informações complementares**. Podem servir para proporcionar indicações colectivas.
  a) **Símbolo de base**
  b) **Símbolo prolongado**
  c) **Símbolo prolongado** (Quando utilizado num desenho relativo a um processo de fabricação deve ser interpretado como: "a superfície especificada deve ser deixada no estado resultante de um processo de fabricação anterior, tenha sido essa condição obtida por arranque de material, ou por outros meios".

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Se for necessário **indicar requisitos complementares** para características do estado de superfície, devem ser utilizados os seguintes símbolos:



Símbolos gráficos completos

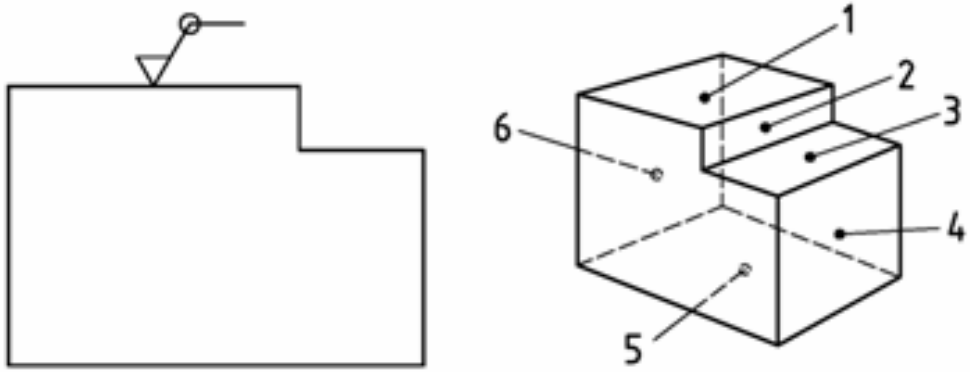
a) **Símbolo completo** permitindo qualquer processo de fabricação;

b) **Símbolo completo** indicando que deve ser removido material;

c) **Símbolo completo** indicando que não deve ser removido material.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Símbolo gráfico para **"todas as superfícies em volta de um contorno da peça"**:

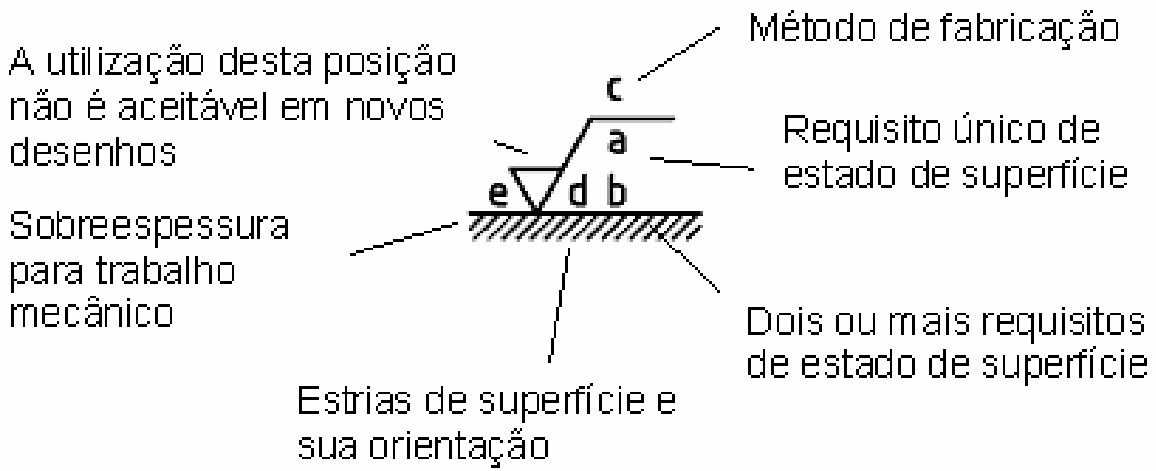



Nota: O contorno no desenho representa as seis superfícies mostradas na representação 3D da peça (as superfícies frontal e traseira não estão incluídas).

**Requisito do estado de superfície para todas as seis superfícies representadas pelo contorno da peça**

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Composição do símbolo gráfico completo para os estados de superfície**:




Posições para a localização de requisitos complementares

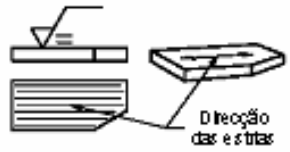
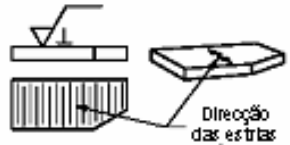
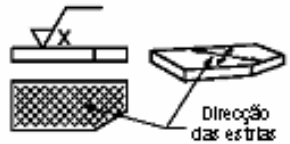
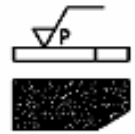
**a) Requisito único de estado de superfície** – Designação do parâmetro de **estado de superfície e seu valor numérico** (em µm), antecedida da banda de transmissão/comprimento de base *lr* (em mm). Inserir um espaço em branco duplo entre a designação do parâmetro e o valor limite.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Composição do símbolo gráfico completo para os estados de superfície (cont.)**:
  - **b) Dois ou mais requisitos de estado de superfície** – O segundo requisito deve ser indicado na posição b). Com mais requisitos, o símbolo gráfico é aumentado, em conformidade, na vertical.
  - **c) Método de fabricação** – indica o método de fabricação, o tratamento, os revestimentos ou outros requisitos de fabricação para produzir a superfície (ex.: torneada, rectificada, galvanizada).
  - **d) Estrias de superfície e sua orientação**.
  - **e) Sobreespessura para trabalho mecânico** – se necessária, indicá-la por um valor numérico em milímetros (mm).

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação das estrias de superfície**:

| Símbolo Gráfico | Interpretação e exemplo | |
|---|---|---|
| = | Paralelas ao plano de projecção da vista na qual o símbolo é utilizado |   |
| ⊥ | Perpendiculares ao plano de projecção da vista na qual o símbolo é utilizado |   |
| X | Cruzadas em duas direcções obliquas relativamente ao plano de projecção da vista na qual o símbolo é utilizado |   |
| M | Multidireccionais |  |
| C | Aproximadamente circulares relativamente ao centro da superfície à qual o símbolo se aplica |  |
| R | Aproximadamente radiais relativamente ao centro da superfície à qual o símbolo se aplica |  |
| P | Estrias particulares, não-direccionais, ou protuberantes |  |
| Se for necessário especificar um padrão de superfície que não é definido claramente através destes símbolos, isso deve ser conseguido pela adição de uma nota adequada no desenho. | | |

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação dos parâmetros de estados de superfície**:
  - A designação do parâmetro e o valor numérico associado, que devem ser indicados, incluem quatro itens de informação essencial para a interpretação do requisito:
    - Qual dos três perfis da superfície (**R, W ou P**) é indicado,
    - Qual a **característica** (**parâmetro**) do perfil que é indicada,
    - Quantos **comprimentos de base**, ***lr***, compõem o comprimento de avaliação, ***ln***,
    - Como deve **ser interpretado** o limite da especificação indicada.

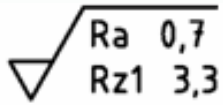
# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação do comprimento de avaliação, ***ln***:
  - ***ln*** é o comprimento, na direcção da linha média, utilizado para o estabelecimento do perfil a avaliar.
  - Exemplo com **Parâmetros de perfil R** (ISO 4287):
    - Por omissão *ln = 5 x lr* (exemplos de designações de parâmetros: *Rz*, *Ra*, *Rp*, etc.).
    - Se $ln \neq 5lr$, por exemplo, *ln = 3 x lr*, tal deve ser indicado na designação do parâmetro (ex.: *Rz3*, *Ra3*, *Rp3*, etc.).
- Indicação de **limites de tolerância**:
  - Existem dois modos diferentes de indicar e interpretar a especificação de limites de estados de superfície:
    - a regra dos 16% (regra por omissão);
    - a regra do valor máximo.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação de **limites de tolerância** (cont.):

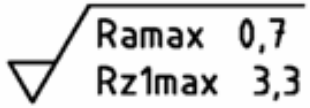
MRR Ra 0,7; Rz1 3,3




a) em texto b) no desenho

Indicação do parâmetro, onde se aplica a regra dos 16%
(c/ banda de transmissão, por omissão)

MRR Ramax 0,7; Rz1max 3,3




a) em texto b) no desenho

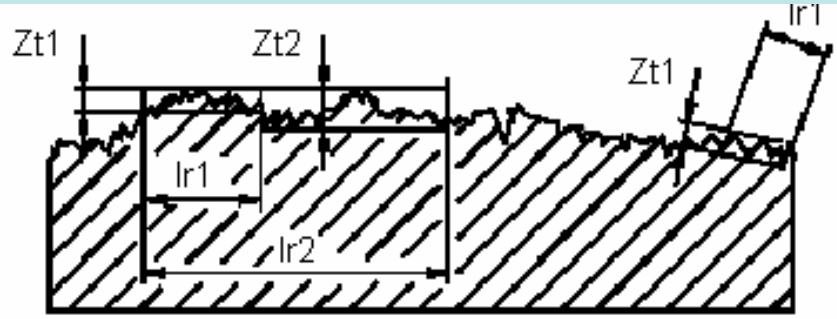
Indicação do parâmetro, onde se aplica a regra do valor máximo
(c/ banda de transmissão, por omissão)

Na **regra dos 16%,** a superfície é considerada aceitável se, no máximo, 16% de todos os valores medidos do parâmetro considerado, baseados num comprimento de avaliação, ultrapassarem o valor especificado.

Na **regra do valor máximo**, nenhum dos valores medidos do parâmetro de rugosidade, em toda a superfície sob inspecção, deve exceder o valor especificado.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação da **banda de transmissão** e do **comprimento de base**:
  - O estado de superfície é definido numa **banda de transmissão** – a gama de comprimentos de onda entre dois filtros definidos. Esta banda é limitada por um filtro que corta os pequenos comprimentos de onda (**filtro de onda-curta**) e por outro que corta os comprimentos de onda longos (**filtro de onda-longa**). O **valor de corte** ("cut-off") do filtro de onda-longa é também designado por **comprimento de base**, ***lr***.



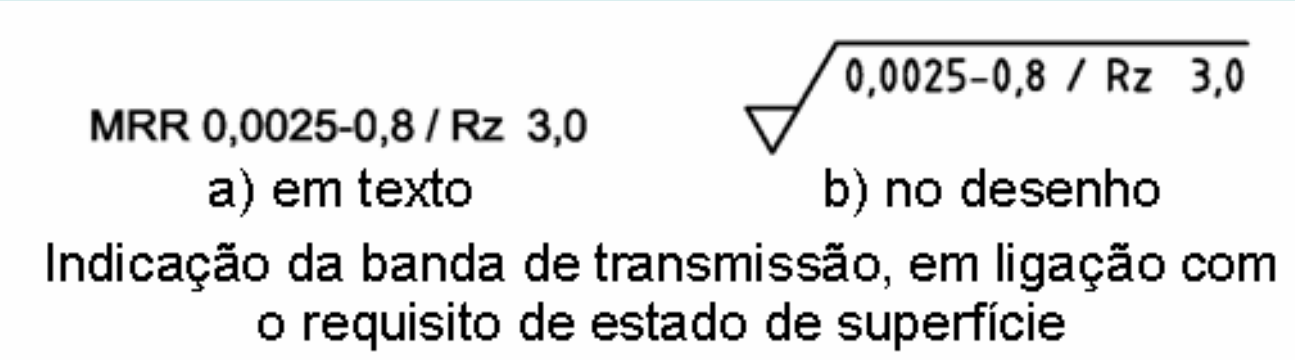

**Valores de $l_r$ normalizados:**
... mm; 0,08 mm; 0,25 mm;
0,8 mm; 2,5 mm; 8,0 mm;
... mm

**A altura *Zt*2 do elemento de perfil é maior, pois *lr*2 incorpora a ondulação.**
**A altura *Zt*1 do elemento de perfil é menor, pois, como *lr*1 é menor, ele filtra a ondulação.**

Rugosidade e ondulação

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Indicação da **banda de transmissão** e do **comprimento de base**:
  - Se não for indicada qualquer banda de transmissão, aplica-se a banda de **transmissão por omissão**. Mas como certos parâmetros de estado de superfície não têm uma banda de transmissão definida, por omissão, **deve especificar-se a banda de transmissão**, o **filtro de onda-curta ou o filtro de onda-longa (comprimento de base)**, para evitar qualquer ambiguidade.

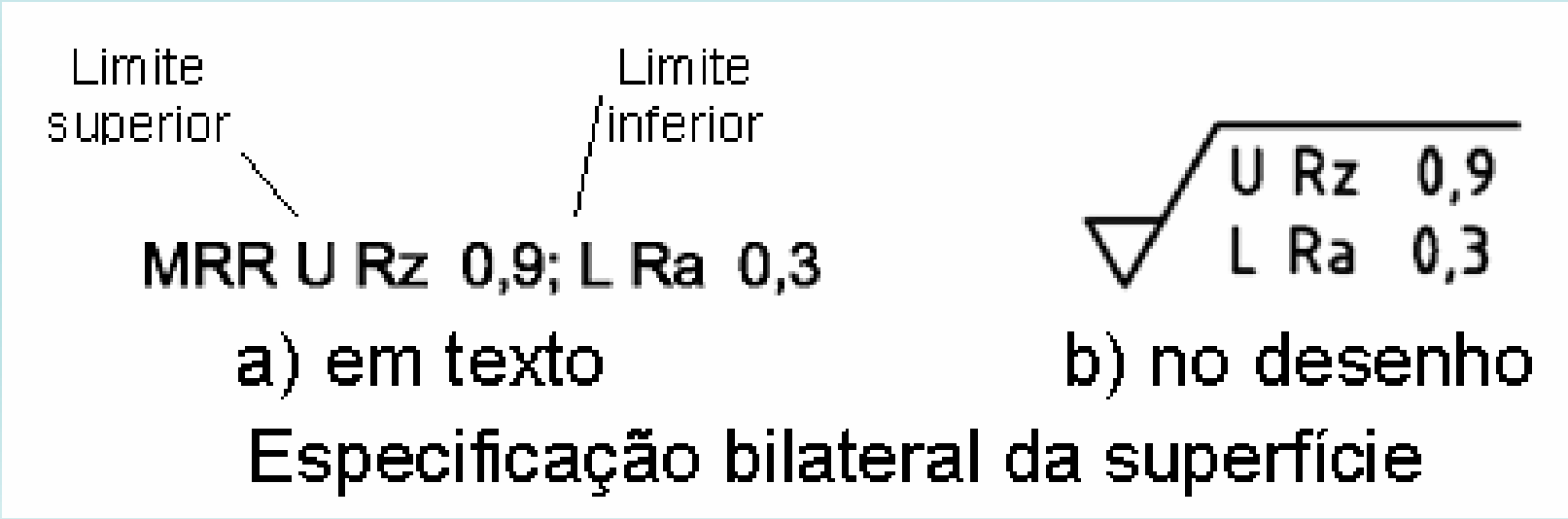



Indicação da banda de transmissão, em ligação com o requisito de estado de superfície

  - **Se for relevante indicar apenas um dos dois filtros da banda de transmissão**, tal como, por exemplo, **0,008-** (indicação apenas do filtro de onda-curta) ou **-0,25** (indicação apenas do filtro de onda-longa). O segundo filtro tem, então, se existir, o seu valor por omissão.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Tipos de tolerância – Unilateral e bilateral**:
  - **Por omissão**, a designação do parâmetro, o valor deste e a banda de transmissão indicados são um **limite de tolerância superior unilateral** do parâmetro em questão. Se o parâmetro for para ser interpretado como sendo um **limite de tolerância inferior unilateral**, a designação do parâmetro deve ser **precedida pela letra L** (ex.: *L Ra 0,32*).



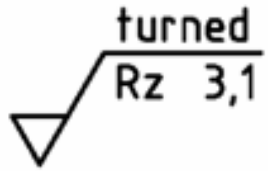
# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação do método de fabricação** ou informação relativa:
  - O valor do parâmetro do estado de superfície de uma superfície real é fortemente influenciado pela forma detalhada da curva do perfil.

(torneada)

MRR turned Rz 3,1

a) em texto

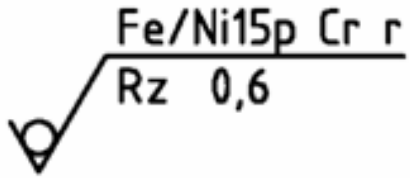



b) no desenho

Indicação do processo de trabalho mecânico (ex.: torneamento) e requisito para rugosidade da superfície resultante

NMR Fe/Ni15p Cr r; Rz 0,6

a) em texto

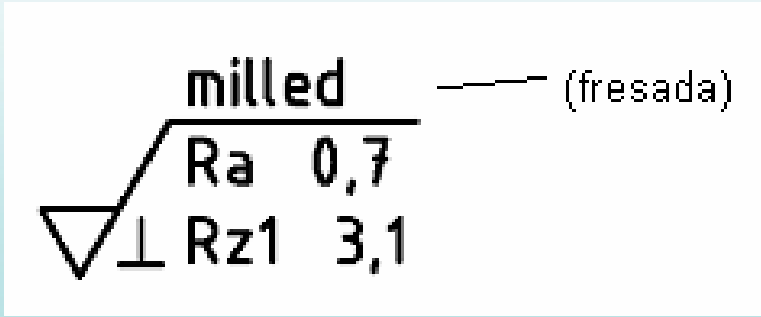



b) no desenho

Indicação do requisito de rugosidade e revestimento

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

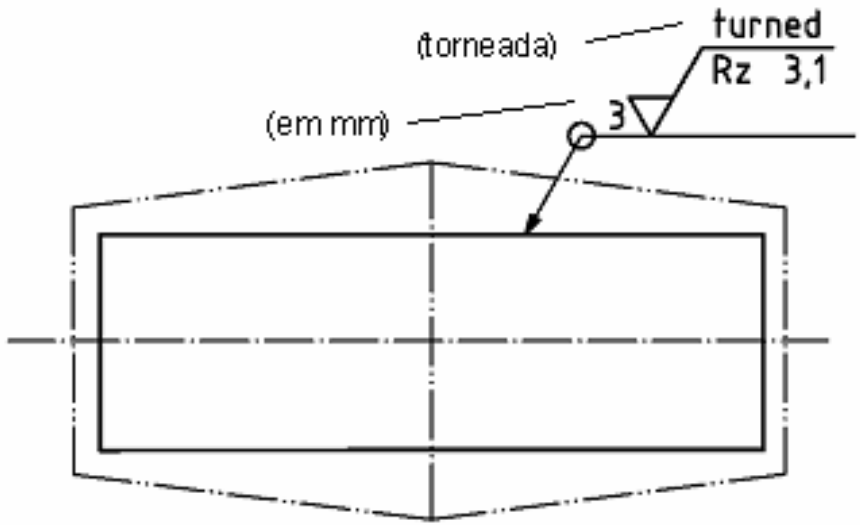
- **Indicação das estrias de superfície**:
  - A orientação das estrias é a **orientação do padrão de superfície prevalecente**, geralmente determinado pelo **processo de fabricação** utilizado.




- **Indicação da sobreespessura** para trabalho mecânico:
  - Geralmente, apenas para os casos em que dois ou mais estádios do processo são mostrados no mesmo desenho (ex.: em desenhos de peças fundidas em bruto ou estampadas, com a **peça final mostrada na peça em bruto**).

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicação da sobreespessura** para trabalho mecânico:



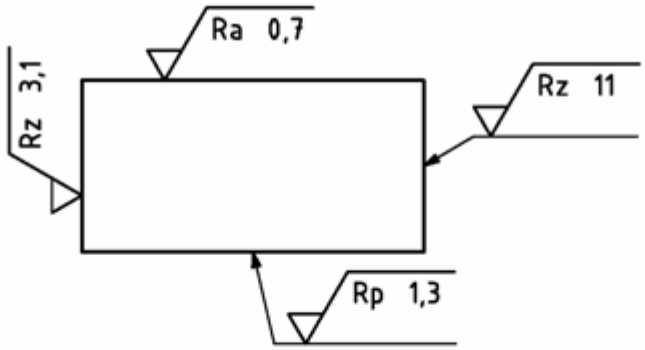

Indicação de requisitos de estado de superfície para a peça "final" (incluindo um requisito de 3 mm de sobreespessura para todas as superfícies)

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

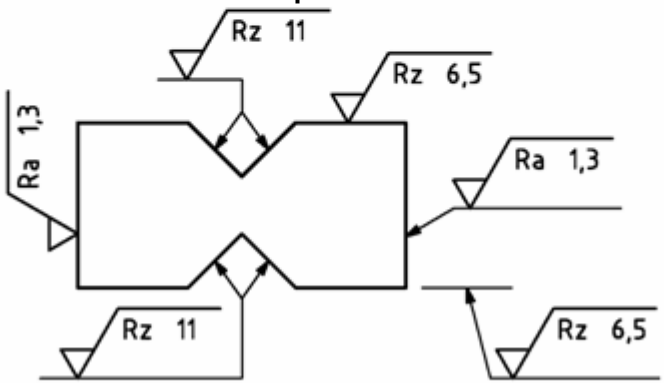
- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos:
  - Como **regra geral**, o símbolo gráfico, ou a **linha de indicação terminando numa seta, deve apontar para a superfície, a partir do lado exterior do material da peça, para o contorno ou para a sua extensão**.
  - **Superfícies cilíndricas ou prismáticas** podem ser especificadas apenas uma vez, se indicadas por uma linha de centro e se cada face da superfície prismática tem o mesmo requisito de estado de superfície.
  - Se o **mesmo estado de superfície é requerido na maioria das superfícies de uma peça**, este requisito deverá ser colocado **junto da legenda do desenho**. O símbolo gráfico geral deve ser seguido de um símbolo de base entre parêntesis sem qualquer outra indicação ou dos requisitos especiais diferentes entre parêntesis.

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos:



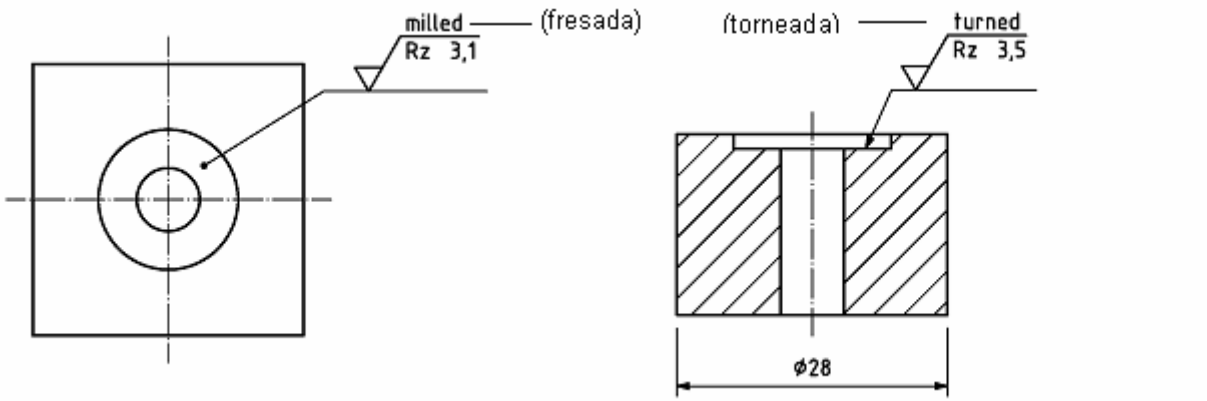

Direcção de leitura dos requisitos de estado de superfície



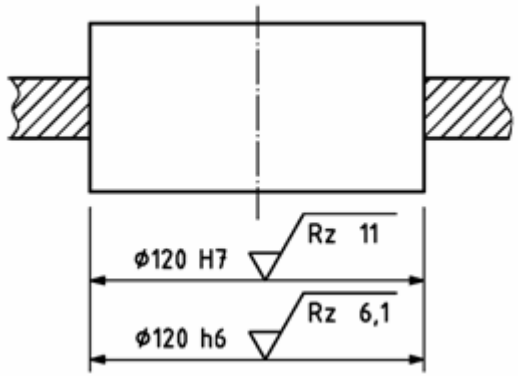

Requisitos de estado de superfície na linha de contorno representando a superfície

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):




Utilização alternativa de linhas de referência e linhas de indicação



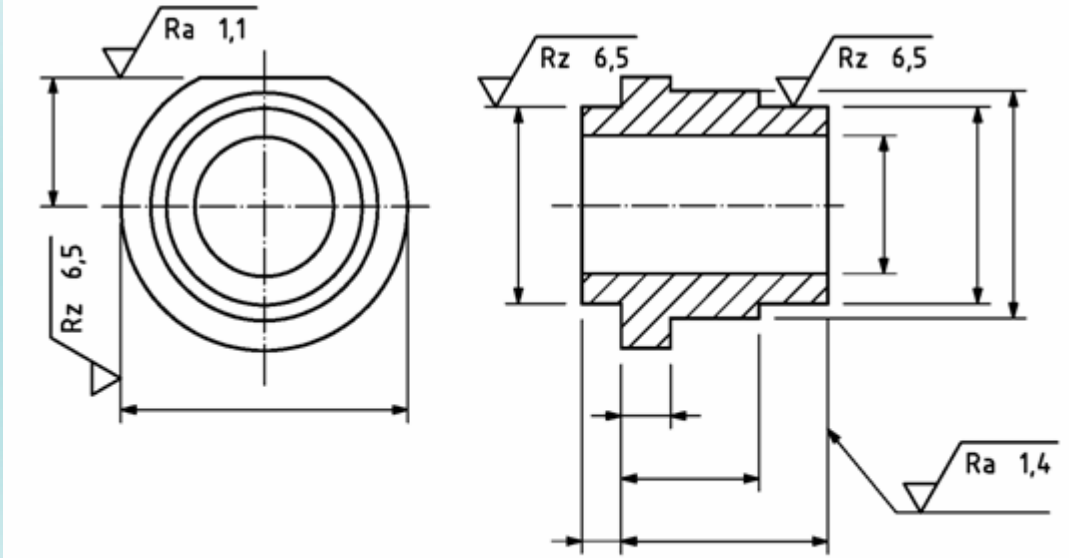

Requisito de estado de superfície – cota de elemento de tamanho

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):



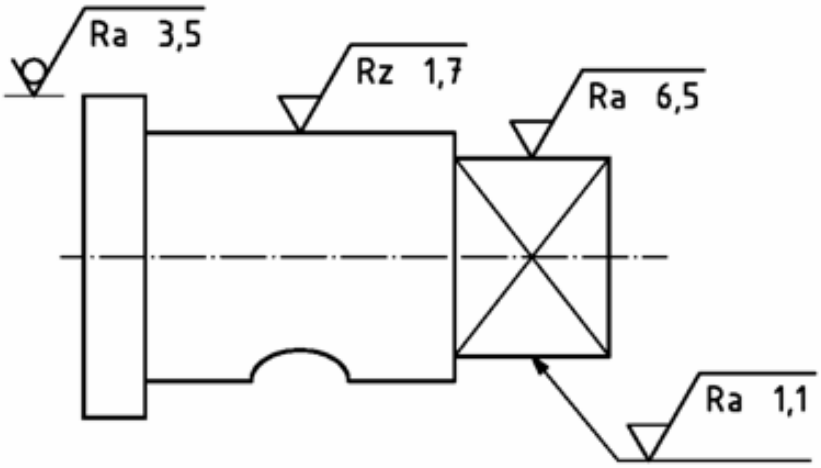

Requisito de estado de superfície – Indicação de tolerâncias geométricas



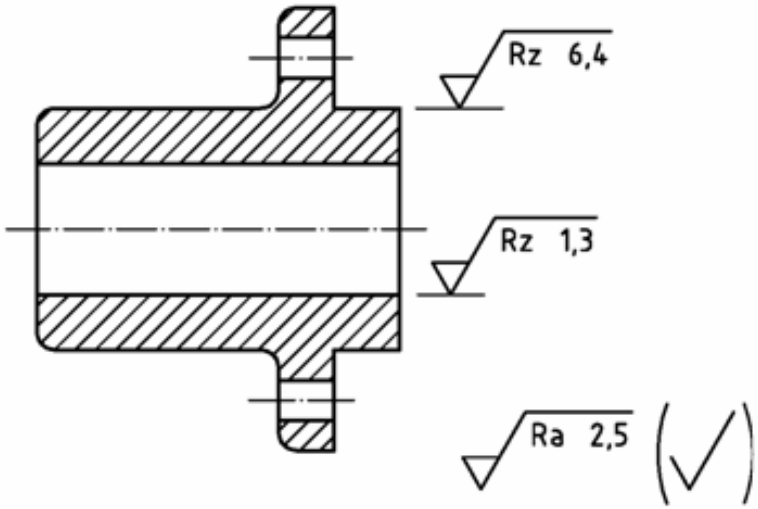

Requisitos de estado de superfície – Linhas de extensão de elementos cilíndricos

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):



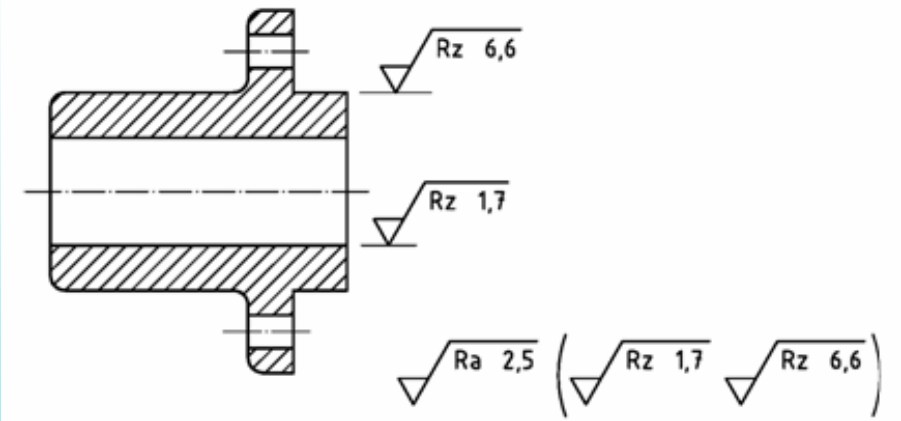

Requisitos de estado de superfície – Superfícies cilíndricas e prismáticas



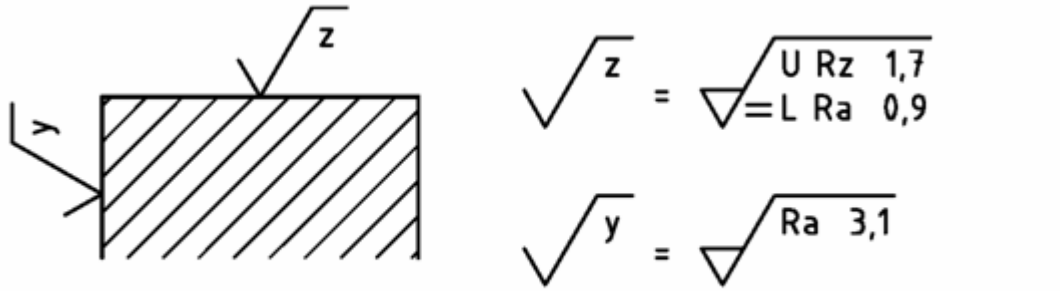

Indicação simplificada – Maioria de superfícies com o mesmo estado de superfície requerido

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Posição em desenhos** e noutra documentação técnica de produtos (cont.):



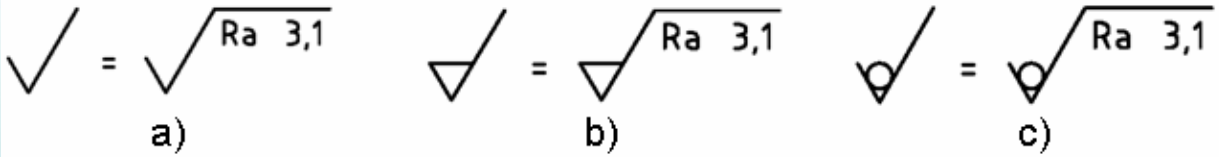

Indicação simplificada – Maioria de superfícies com o mesmo estado de superfície requerido



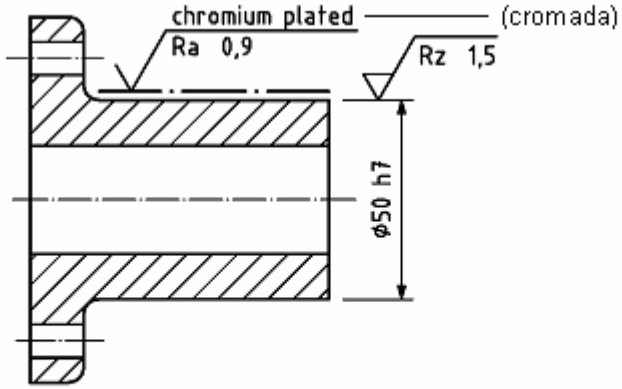

Indicação de referência no caso de espaço limitado no desenho

# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- Os símbolos gráficos de base e prolongados podem ser utilizados na superfície apropriada, sendo o seu significado dado no desenho:



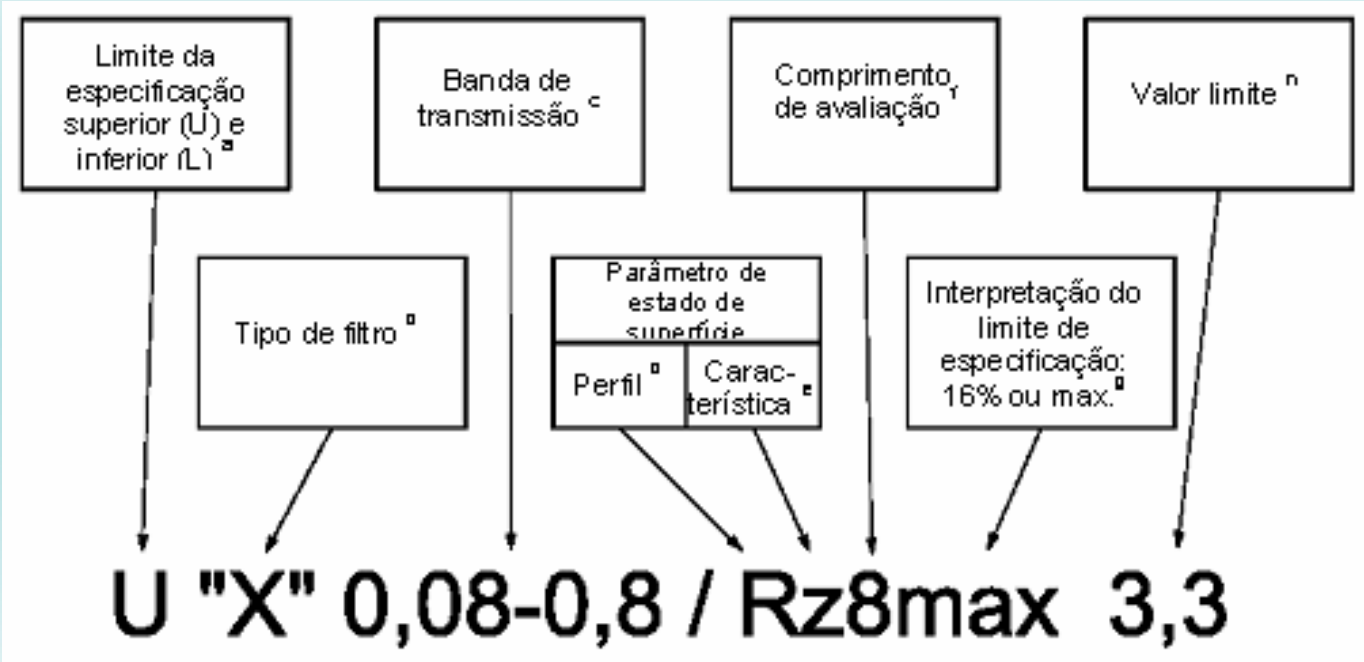

Indicação simplificada de requisitos de estados de superfície: a) processo de fabricação não especificado; b) remoção de material requerida; c) remoção de material não permitida




Indicação de requisito de estado de superfície antes e depois de tratamento (neste caso, revestimento) com utilização de uma **linha a traço longo-ponto grosso**

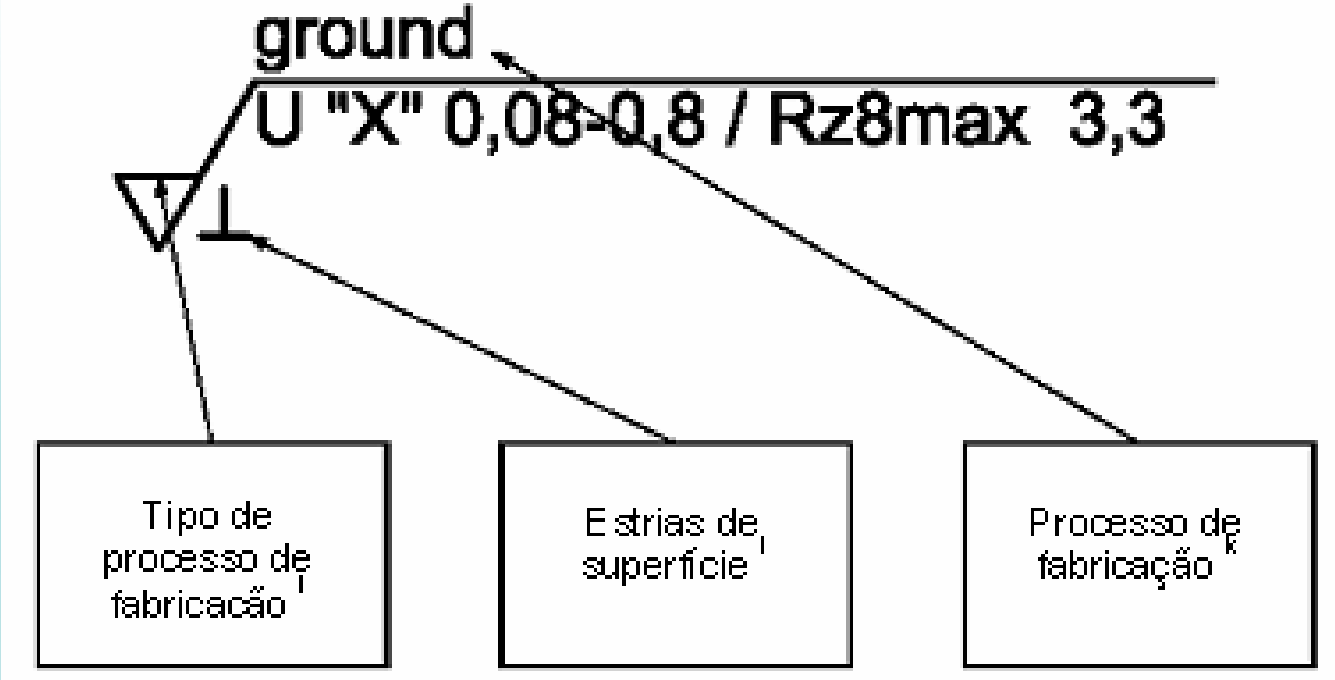
# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicações mínimas para um controlo não ambíguo de funções da superfície**:
  - Um requisito de estado de superfície é **construído a partir de vários elementos de controlo diferentes**, que podem ser parte da indicação no desenho ou da indicação em texto, noutros documentos. Os elementos são os seguintes:



# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicações mínimas para um controlo não ambíguo de funções da superfície** (cont.):



# Generalidades sobre a indicação dos estados de superfície

- **Indicações mínimas para um controlo não ambíguo de funções da superfície** (cont.):

a) Indicação do limite de especificação superior (U) e inferior (L).
b) Filtro tipo "X". O filtro normalizado é o filtro Gaussiano (ISO 11562). O filtro normalizado anterior era o filtro 2RC. No futuro, outros filtros podem ser normalizados. No período de transição, pode ser conveniente para algumas empresas indicar o tipo de filtro nos desenhos. O tipo de filtro pode ser indicado como "Gaussiano" ou"2RC". Isso não é normalizado, mas uma indicação do nome do filtro como a aqui proposta é não ambígua.
c) A banda de transmissão é indicada como filtro de onda-curta e/ou de onda-longa.
d) Perfil (*R*, *W* ou *P*).
e) Característica/parâmetro.
f) Comprimento de avaliação como o número de comprimentos de base. Quando se utilizam parâmetros de motivos, o comprimento de avaliação é indicado entre duas barras oblíquas, antes dos símbolos dos parâmetros de estado de superfície.
g) Interpretação do limite de especificação ("regra dos 16%" ou "regra do máx.").
h) Valor limite em micrometros (µm).
i) Tipo do processo de fabricação.
j) Estrias da superfície.
k) Processo de fabricação.

Elementos de controlo na indicação de requisitos de estado de superfície em desenhos de engenharia

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Existem, fundamentalmente, **três tipos de parâmetros caracterizadores da rugosidade (*R*)**:
  - **os parâmetros do perfil de rugosidade (ISO 4287)**, ligados à linha média e definidos a partir de um perfil obtido através de um processo de filtragem do perfil primário (**sistema da linha média**);
  - **os parâmetros ligados aos motivos do perfil (ISO 12085)**, sendo estes identificados através da aplicação de um algoritmo do tipo "reconhecimento de forma", no perfil primário (**sistema da linha envolvente**);
  - **os parâmetros ligados à curva da taxa do comprimento de sustentação do perfil** (ISO 13565).
- Entre os **parâmetros mais utilizados no controlo do estado de superfície das peças podem destacar-se**:

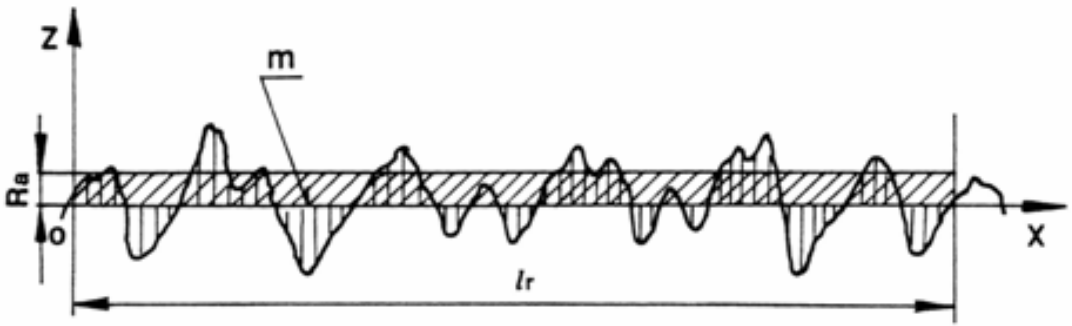
# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

**a) O desvio médio aritmético do perfil de rugosidade - *Ra***

***Ra***, também designado por **rugosidade média aritmética**, é a **média aritmética dos valores absolutos das ordenadas *Z(x)* no interior de um comprimento de base *lr***, (ISO 4287).

$$Ra = 1 / lr \int | Z(x) | dx$$

Na prática e por omissão, **os valores de *Ra* são determinados no interior de um comprimento de avaliação *ln = 5 lr***.




Desvio médio aritmético - *Ra*

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Por definição, ***Ra* não permite diferenciar os perfis inversos**, relativamente à linha média (eixo dos XX), e, portanto, **não fornece nenhuma informação sobre a robustez ou fragilidade de um perfil**, nem sobre a aptidão das peças para exercerem convenientemente a função para que foram projectadas.
- Este critério é relativamente **pouco sensível aos valores acidentais de amplitude máxima**, que não têm nenhuma acção funcional, e também a um pico ou vale atípico, ocultando o defeito, mas **permite diferenciar diversos perfis de rugosidade característicos**.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

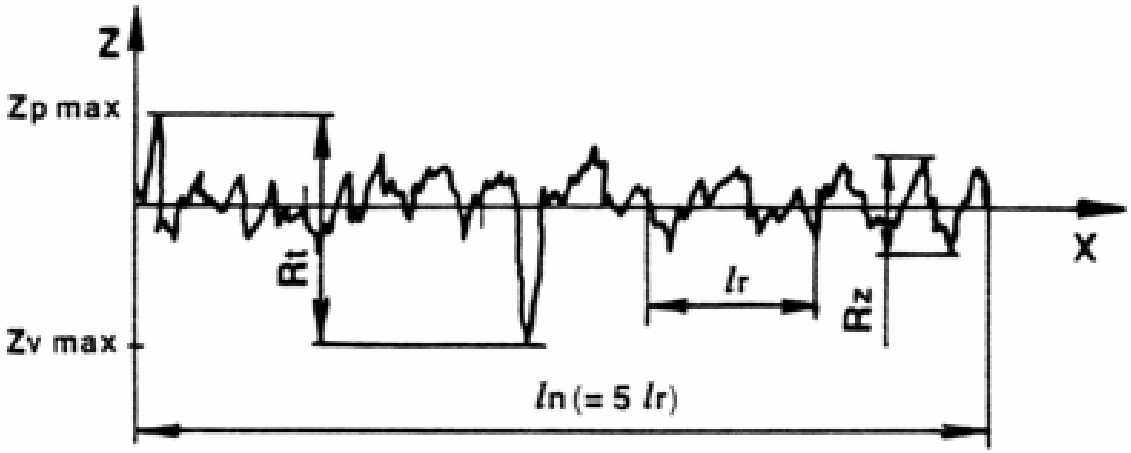
- **O parâmetro *Ra* é o mais utilizado em todo o mundo**, fundamentalmente, nos seguintes casos:
  - no **controlo de um processo produtivo onde podem ocorrer mudanças graduais no acabamento superficial**, resultantes do desgaste da ferramenta de corte;
  - em **superfícies em que o acabamento apresenta sulcos das operações de maquinar bem orientados** (torneamento, fresagem, etc.);
  - em **superfícies de pouca responsabilidade**, como no caso de acabamentos com fins estéticos.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

**b) A altura total do perfil de rugosidade - *Rt***

***Rt* é a soma da maior das alturas de pico do perfil, *Zp*, com a maior das profundidades de vale do perfil, *Zv*, no interior do comprimento de avaliação**, (ISO 4287).

Rt = Zp max + Zv max




Altura total do perfil de rugosidade - *Rt*

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

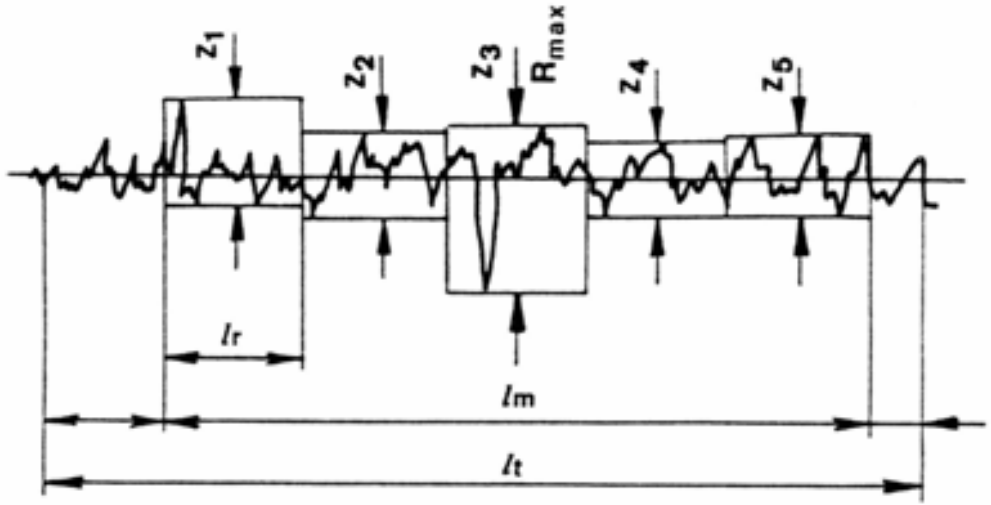
- **O parâmetro *Rt*, muito aplicado na maioria dos países e de fácil obtenção no equipamento de medição actual**, pode ser **utilizado nos seguintes casos**:
  - em **superfícies de vedação**;
  - em **superfícies de alojamento de juntas de vedação**;
  - em **superfícies sujeitas a acções dinâmicas**;
  - em **tampões**, em geral;
  - em **parafusos fortemente solicitados**;
  - em **superfícies de deslizamento**, em que o perfil efectivo é periódico.
- A norma ISO 4287 define também o **parâmetro *Rz*** (**altura máxima do perfil**) como sendo a soma de *Zp* com *Zv*, **no interior de um comprimento de base**. Logo, a relação $\boldsymbol{Rt \geq Rz}$ terá que ser sempre respeitada para qualquer perfil.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

**c) A média das alturas máximas do perfil de rugosidade - *Rz***

*Rz* (DIN 4768) **é a média aritmética das alturas máximas do perfil *Zi*** (iguais a *Rz*, ISO 4287), **medidas em cinco comprimentos de base consecutivos**. A maior das alturas máximas de perfil *Zi*, verificada no interior do comprimento de avaliação *lm*, designa-se por *Rmax*.

$$Rz = 1 / 5 \, ( Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 )$$




Média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade - *Rz* (DIN)

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- ***Rz*(DIN)** é geralmente **mais sensível às mudanças no acabamento superficial do que *Ra***, sendo **um critério útil no controlo de um processo produtivo**. Na prática, o parâmetro *Rz* (ISO 4287) acaba por ser equivalente a *Rz*(DIN) e em alguma documentação técnica **sugere-se a aplicação da seguinte relação aproximada: *Rz(ISO)* ≈ 6 *Ra***.
- O parâmetro *Rz(ISO)* ⇔ *Rz(DIN)*, de fácil obtenção em equipamentos de medição actuais, **pode ser utilizado nos seguintes casos**:
  - em **superfícies onde defeitos isolados não têm influência na função da peça a ser controlada** (ex: em superfícies de apoio e de deslizamento, em ajustamentos apertados, etc.);
  - em **superfícies onde o perfil é periódico e conhecido**.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Este parâmetro fornece indicação sobre a deterioração vertical média das superfícies e define muito bem as superfícies, em perfis periódicos, mas não dá informações suficientes sobre as formas dos perfis e seus comprimentos de onda.

**f) A taxa do comprimento de sustentação - *Rmr(c)***

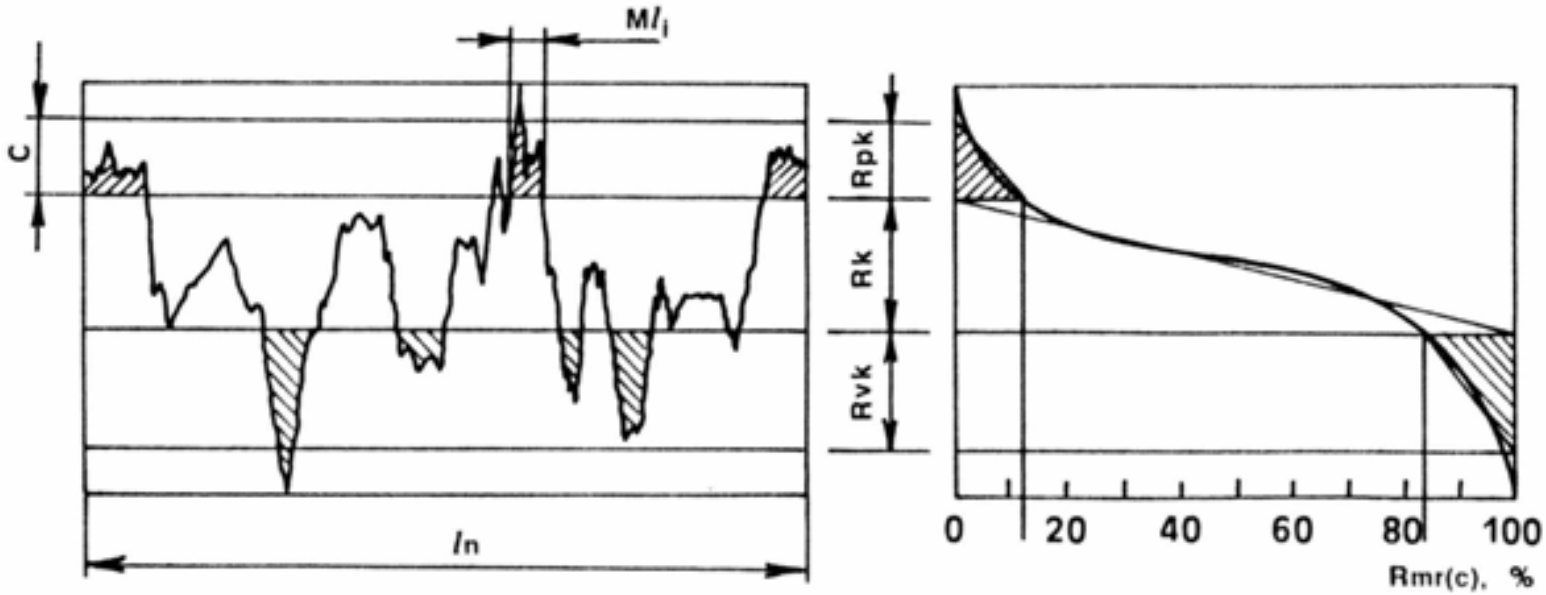
*Rmr(c)* **é a razão entre o comprimento de sustentação do perfil de rugosidade a um dado nível de corte c**, *Ml(c)*, **e o comprimento de avaliação**, (ISO 4287).

$$Rmr(c) = Ml(c) / ln \quad (\%)$$

O comprimento de sustentação do perfil a um nível *c*, *Ml(c)*, **é igual à soma dos comprimentos dos segmentos resultantes do corte do perfil por uma linha paralela à linha média** (eixo dos *XX*), **a um dado nível *c***:

$$Ml(c) = Ml_1 + Ml_2 + \ldots + Ml_n$$

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)




Curva da taxa do comprimento de sustentação (curva de Abbott - Firestone). Esta curva pode ser interpretada como **a função de distribuição acumulada das ordenadas *Z(x)*** no interior do comprimento de avaliação.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **A partir da curva da taxa do comprimento de sustentação do perfil**, **pode definir-se**, também, um conjunto de **parâmetros (ISO 13565-2)** que descrevem as características funcionais da rugosidade de superfície, **relevantes em superfícies de contacto fortemente carregadas**, merecendo particular referência:
  - ***Rk*** - **profundidade do perfil reduzido** (sem os picos salientes e os vales profundos);
  - ***Rpk*** - **altura dos picos eliminados**;
  - ***Rvk*** - **profundidade dos vales eliminados**.
- **Estes parâmetros permitem descrever a configuração da curva da taxa do comprimento de sustentação**, através da subdivisão da profundidade total do **perfil em três zonas**:

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **zona dos picos**, ligada a comportamentos iniciais em serviço, tais como rodagem e desgaste;
- **zona do perfil reduzido**, ligada com a capacidade de carga, o comportamento funcional, etc.;
- **zona dos vales**, ligada à lubrificação, à retenção de óleo, etc.

- A comparação entre curvas da taxa do comprimento de sustentação de diferentes perfis de rugosidade pode dar alguma indicação sobre como essas curvas podem ser utilizadas na estimativa da resistência relativa de uma dada superfície face a avarias. No entanto, **a informação proporcionada pelos parâmetros da curva da taxa do comprimento de sustentação não está ainda suficientemente desenvolvida para uso corrente em muitos domínios técnicos**.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Por outro lado, **em França**, **sob o impulso da indústria automóvel** (CNOMO – Comité de Normalization des Moyens de Production), **desenvolveu-se o Sistema da linha envolvente**, englobando os parâmetros ligados aos motivos do perfil, actualmente objecto da norma ISO 12085.
- Nesta norma, **um motivo** é definido como sendo **uma porção do perfil primário compreendida entre os pontos mais elevados de dois picos locais do perfil**, consecutivos ou não.
- A identificação dos motivos, no perfil primário, é realizada através da aplicação de **um algoritmo do tipo "reconhecimento de forma"**. De entre os principais parâmetros merece destaque **a profundidade média dos motivos de rugosidade – *R***.

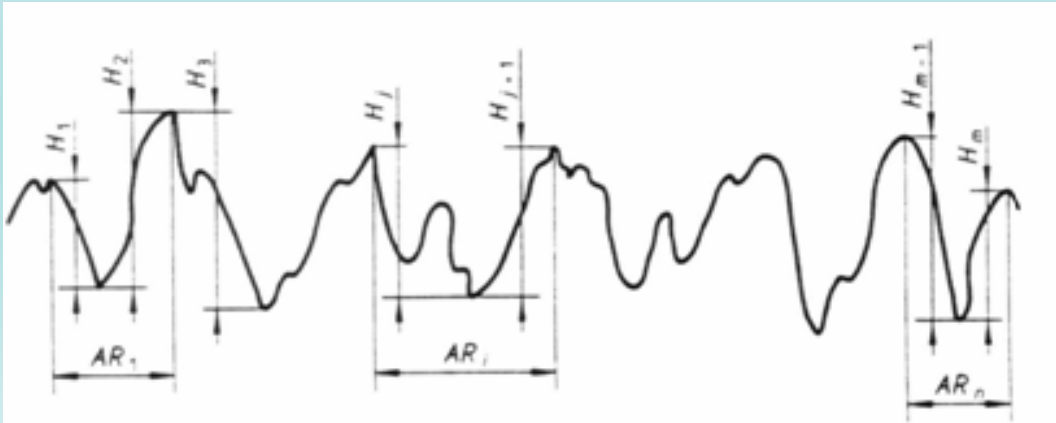
# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

**g) A profundidade média dos motivos de rugosidade - *R***

*R* **é a média aritmética das profundidades *Hj* dos motivos de rugosidade, no interior do comprimento de avaliação**, ou seja:

$$R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} H_j$$

em que *m* é o número de valores *Hj*. Nota: o número de valores *Hj* é o dobro do número de valores *ARi* (comprimentos dos motivos de rugosidade, *m*=2*n*).



Parâmetros de rugosidade

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- Os **parâmetros ligados aos motivos podem ser calculados graficamente traçando a linha envolvente superior e a linha envolvente inferior**, não indo aos vales com passo inferior a 500 µm. O parâmetro *R* representa a distância média entre as duas linhas envolventes do perfil.

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **Parâmetros do estado de superfície (ISO 4287: 1997):**

| Parâmetros | Ed. 1997 | Determinado no | |
|---|---|---|---|
| | | Comprimento de avaliação *ln* | Comprimento de base [1] |
| Altura máxima de pico do perfil<br>Maximum profile peak height<br>Hauteur maximale de saillie du profil | ***Rp*** [2] | | X |
| Profundidade máxima de vale do perfil<br>Maximum profile valley depth<br>Profondeur maximale de creux du profil | *Rv* [2] | | X |
| Altura máxima do perfil<br>Maximum height of the profile<br>Hauteur maximale de profil | ***Rz*** [2] | | X |
| Altura média dos elementos do perfil<br>Mean heigth of the profile<br>Hauteur moyenne des éléments du profil | *Rc* [2] | | X |
| Altura total do perfil<br>Total heigth of the profile<br>Hauteur total du profil | ***Rt*** [2] | X | |
| Desvio médio aritmético do perfil avaliado<br>Arthmetical mean deviation of the assessed profile<br>Écart moyen arithmétique du profil évalué | ***Ra*** [2] | | X |
| Desvio médio quadrático do perfil avaliado<br>Root mean aquare deviation of the assessed profile<br>Écart moyen quadratique du profil évalué | ***Rq*** [2] | | X |

# Parâmetros caracterizadores do estado de superfície (rugosidade)

- **Parâmetros do estado de superfície (ISO 4287: 1997) (cont.):**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Factor de assimetria do perfil avaliado<br>Skewness of the assessed profil<br>Facteur d' asymétrie du profil évalué | *Rsk* [2] | | X |
| Kurtose do perfil avaliado<br>Kurtosis of the assessed profil<br>Facteur d' aplatissement du profil évalué | *Rku* [2] | | X |
| Largura média dos elementos do perfil<br>Mean width of the profile elements<br>Largeur moyenne des éléments du profil | *RSm* [2] | | X |
| Inclinação média quadrática do perfil avaliado<br>Root mean square slope of the assessed profile<br>Pente quadratique moyenne du profil évalué | *RΔq* [2] | | X |
| Taxa do comprimento de sustentação<br>Material ratio of the profil<br>Taux de longeur portante | ***Rmr*(c)** [2] | X | |
| Diferença da altura de corte do perfil<br>Profile section heigth difference<br>Différence de hauteur de coupe du profil | *R&c* [2] | X | |
| Taxa do comprimento de sustentação relativa<br>Relative material ratio<br>Taux de longeur portante relatif | *Rmr* [2] | X | |
| Altura sobre dez pontos (*Rz*)<br>Ten point heigth (suprimido como parâmetro ISO)<br>Hauteur sur dix point | --- | | X |

[1] Este comprimento de base é *lr*, *lw* e *lp*, respectivamente, para os parâmetros *R*-, *W*- e *P*-; *lp* é igual a *ln*.

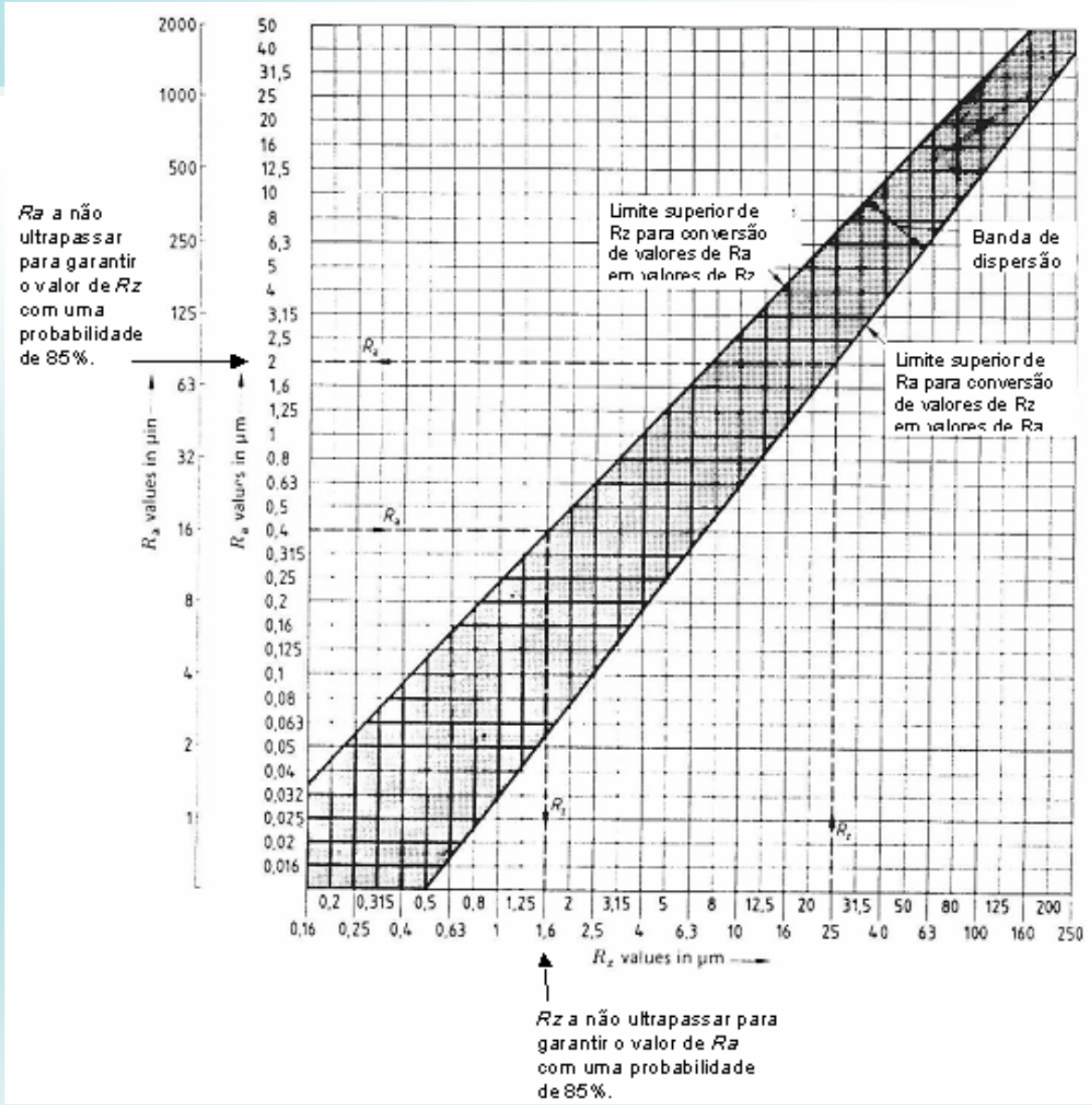
[2] Parâmetros definidos para três perfis: perfil primário, perfil de ondulação e perfil de rugosidade. Apenas o parâmetro do perfil de rugosidade está indicado na tabela. Como exemplo, os três parâmetros são escritos *Pa* (perfil primário), *Wa* (perfil de ondulação) e *Ra* (perfil de rugosidade).

# Relações práticas entre diferentes parâmetros de rugosidade

- Quando não for possível **utilizar os parâmetros indicados** no desenho, deverá, excepcionalmente, ser negociada com os serviços competentes, caso a caso, a **utilização de outros parâmetros alternativos**.
- Não existem bases teóricas nem resultados empíricos que sustentem quaisquer relações exactas entre a generalidade dos diferentes parâmetros, podendo encontrar-se, na literatura da especialidade, **algumas relações práticas**.

# Relações práticas entre diferentes parâmetros de rugosidade

- **Conversão do parâmetro *Rz* em *Ra* e vice-versa:**



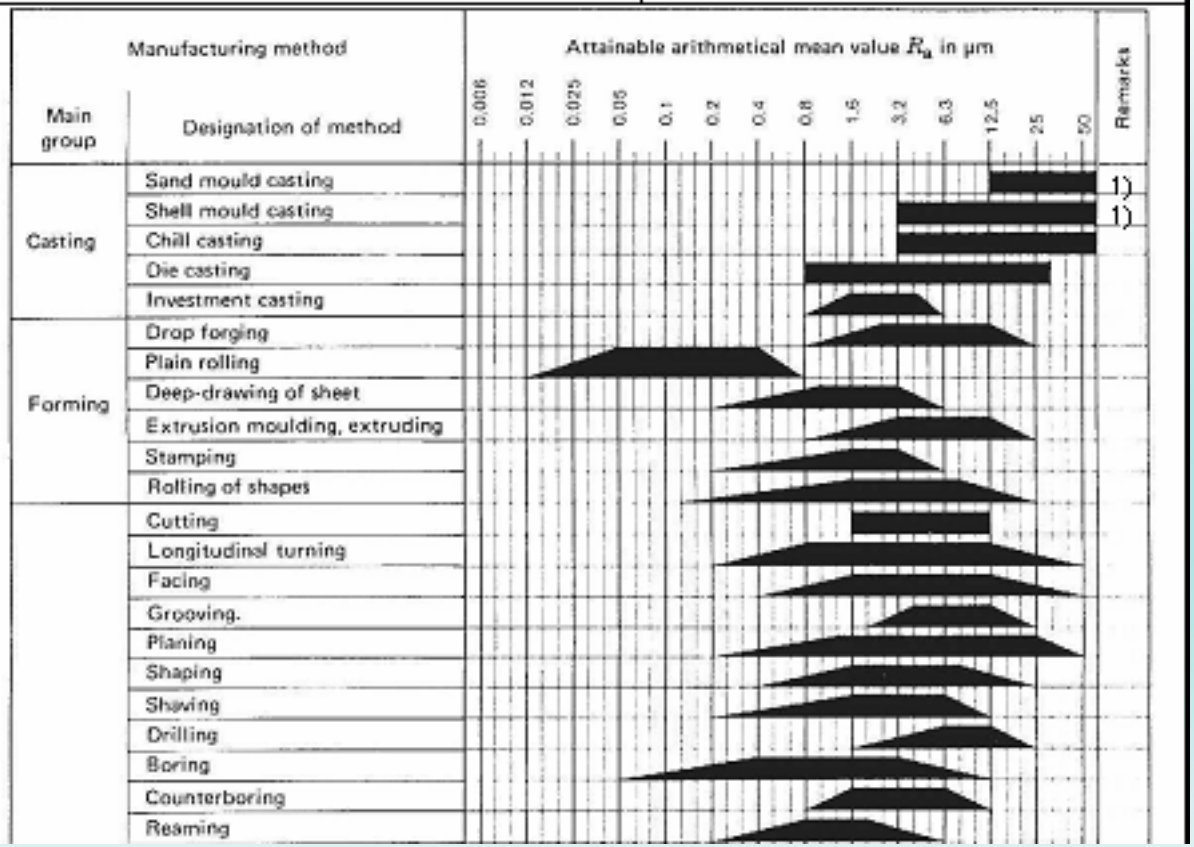
# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- A **selecção dos valores dos parâmetros caracterizadores da rugosidade baseia-se, fundamentalmente, na experiência** anterior **e em indicações existentes na literatura** da especialidade.
- **A especificação dos valores a atribuir aos diferentes parâmetros da rugosidade das superfícies pode fazer-se tendo em conta**:
  - A rugosidade das superfícies associada aos diferentes tipos de **métodos de fabricação** utilizados na sua obtenção.
  - A **relação entre os valores de rugosidade e a função das superfícies**.
  - Os **valores de rugosidade considerados adequados para diferentes tipos de aplicações correntes**.
  - As **relações práticas existentes entre valores de diferentes parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais**.

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Rugosidade média aritmética associada com diferentes tipos de métodos de fabricação:**

| **Métodos de fabricação** | **Valores possíveis de rugosidade média aritmética *Ra*** | DIN 4766: 1981 Parte 2 |
|---|---|---|
| Designação do método | | |

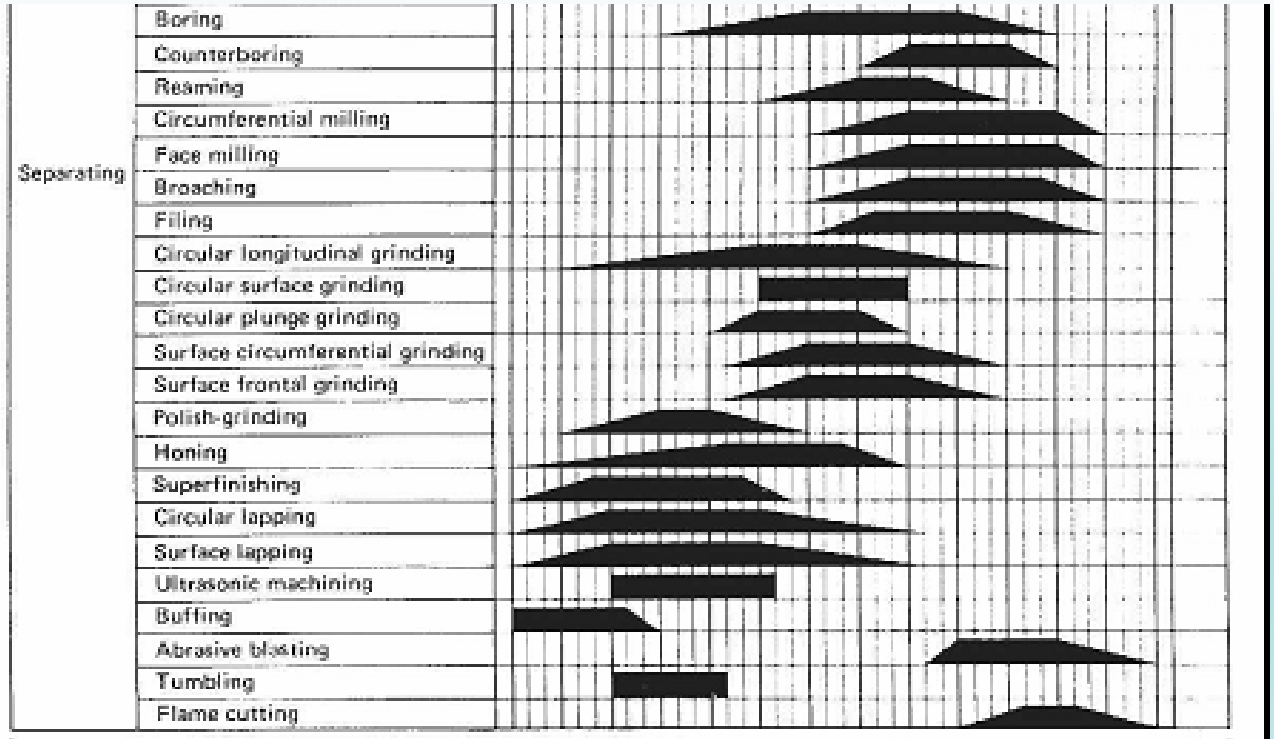



| Designação do método |
|---|
| Fundição em areia |
| Fundição em carapaça |
| Fundição em coquilha |
| Fundição injectada |
| Fundição em cera perdida |
| Forjamento c/ matriz |
| Laminagem de chapas |
| Embutidura profunda |
| Extrusão dir./inv. - extrusão |
| Estampagem |
| Laminagem de perfis |
| Corte |
| Torneamento - cilíndrico |
| Torneamento - facejar |
| Torneamento - ranhurar |
| Aplainamento c/ plaina mecânica |
| Aplainamento c/ limador |
| Acabamento shaving p/ engrenagens |
| Furagem |
| Mandrilagem |
| Escariar / rebaixar |
| Alargamento de furos (c/ mandril) |

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Rugosidade média aritmética associada com diferentes tipos de métodos de fabricação (cont.):**

| | | |
|---|---|---|
| Mandrilagem | | |
| Escariar / rebaixar | | |
| Alargamento de furos (c/ mandril) | | |
| Fresagem cilíndrica | | |
| Fresagem frontal | | |
| Brochagem | | |
| Limagem | | |
| Rectificação cilíndrica | mov. de rotação da peça | |
| Rectificação de face | | |
| Rectificação mergulhante | | |
| Rectificação tangencial | de superfícies planas | |
| Rectificação frontal | | |
| Polimento | | |
| Rectificação de cilindros | | |
| Superacabamento | | |
| Rodagem cilíndrica | | |
| Rodagem plana | | |
| Ultra-sons | | |
| Lapidagem | | |
| Granalhagem | | |
| Rebarbagem por vibrador | | |
| Oxicorte | | |

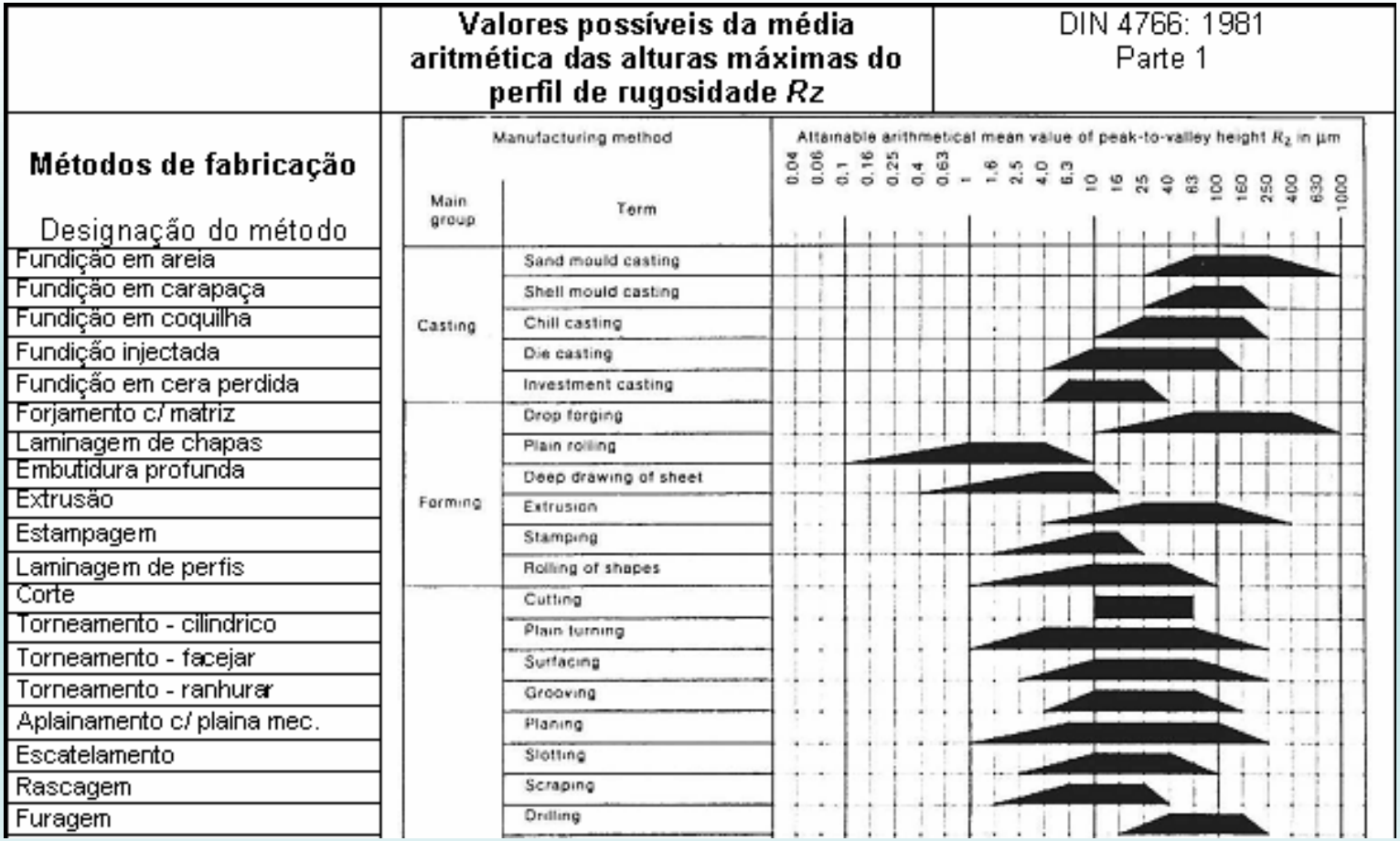



1) c/ este método de fundição podem ser esperados valores de Ra até 125 µm, no caso de peças com uma massa unitária até 250 kg.

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade associada com diferentes tipos de métodos de fabricação:**

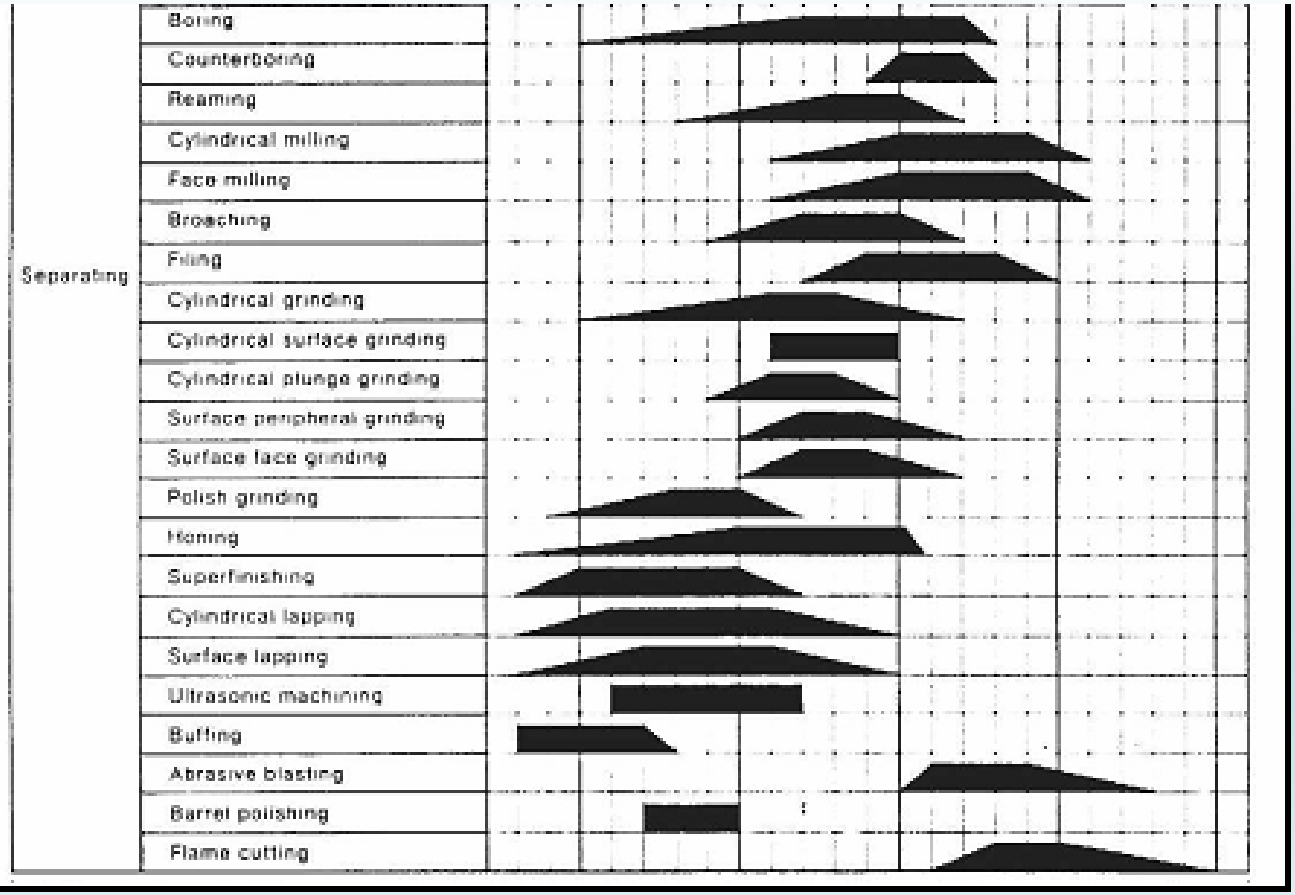
| | **Valores possíveis da média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade *Rz*** | DIN 4766: 1981 Parte 1 |
|---|---|---|



# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Média aritmética das alturas máximas do perfil de rugosidade associada com diferentes tipos de métodos de fabricação (cont.):**

| | |
|---|---|
| Mandrilagem | |
| Escariar / rebaixar | |
| Alargamento de furos (c/ mandril) | |
| Fresagem cilíndrica | |
| Fresagem frontal | |
| Brochagem | |
| Limagem | |
| Rectificação cilíndrica | mov. de rotação da peça |
| Rectificação de face | mov. de rotação da peça |
| Rectificação mergulhante | mov. de rotação da peça |
| Rectificação tangencial | de superfícies planas |
| Rectificação frontal | de superfícies planas |
| Polimento | |
| Rectificação de cilindros | |
| Superacabamento | |
| Rodagem cilíndrica | |
| Rodagem plana | |
| Ultra-sons | |
| Lapidagem | |
| Granalhagem | |
| Rebarbagem por vibrador | |
| Oxicorte | |

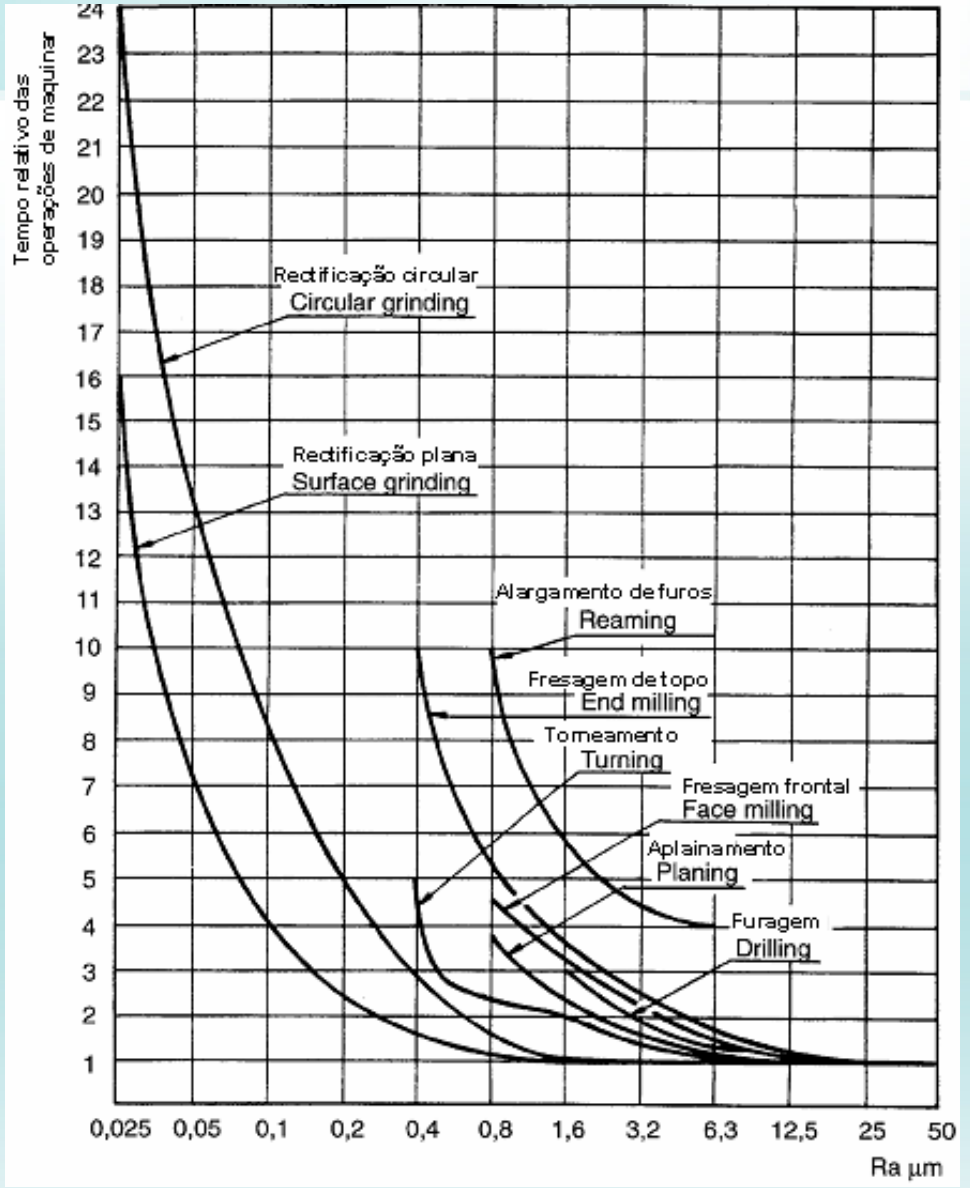


# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Um mesmo grau de acabamento** pode ser obtido através de diferentes métodos de fabricação e cada **método de fabricação** permite obter vários graus de acabamento.
- Logo, a obtenção de uma dada rugosidade não deve estar vinculada a um determinado método de fabricação. Estabelecida a função da superfície, através das especificações inscritas no desenho, o **departamento de métodos de fabrico da empresa** deve ter condições para **escolher o método mais adequado, face aos meios de produção disponíveis**.

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Relação entre tempos relativos de operações de maquinar para a obtenção de diferentes valores de *Ra* (SAAB STD 28):**



# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Relação entre os valores de rugosidade e a função das superfícies:**

| Super-fície | | Funções aplicadas à superfície | | Exemplos de aplicação [1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Designações | Símbolo | Condições normais | *Ra* | Condições difíceis | *Ra* |
| Duas peças em contacto | com deslocamento relativo | Escorregamento (lubrificado) | **FG** | Chumaceiras – moentes de veios | 0,8<br>1,6 | Corrediça de máq.-ferramenta | 0,4<br>0,8 |
| | | Atrito seco | **FS** | | | | |
| | | Rolamento | **FR** | Corpos rolantes | 0,2<br>0,4 | Caminho de rolamento de esferas | 0,05<br>0,1 |
| | | Resistência ao encalque | **RM** | Cames de tornos automáticos | 0,1<br>0,4 | Extremidades de impulsores | 0,05<br>0,1 |
| | | Atrito fluído | **FF** | Condutas de alimentação | 0,8<br>6,3 | Difusores (gicleurs) injectores | 0,2 |
| | | Vedação dinâmica com junta / sem junta | **ED** | Superfícies para juntas toroidais ("O" rings) | 0,4<br>0,8 | Superfícies para juntas com lábios | 0,3<br>0,4 |
| | sem deslocamento | Vedação estática com junta / sem junta | **ES** | Superfícies de vedação com junta plana | 0,8<br>1,6 | Superfícies de vedação polidas sem junta | 0,05<br>0,1 |
| | | Ligação fixa (tensões fracas) | **AF** | Suportes e centragens de peças fixas desmontáveis | 1,6<br>3,2 | Suportes e centragens com exactidão | 0,8<br>1,6 |
| | | Ligação sem deslocamento, com tensões | **AC** | Alojamentos de chumaceiras | 0,8<br>1,6 | Alojamentos de rolamentos | 0,4<br>0,8 |
| | | Aderência (colagem) | **AD** | Construções coladas | 1,6 a 3,2 | | |

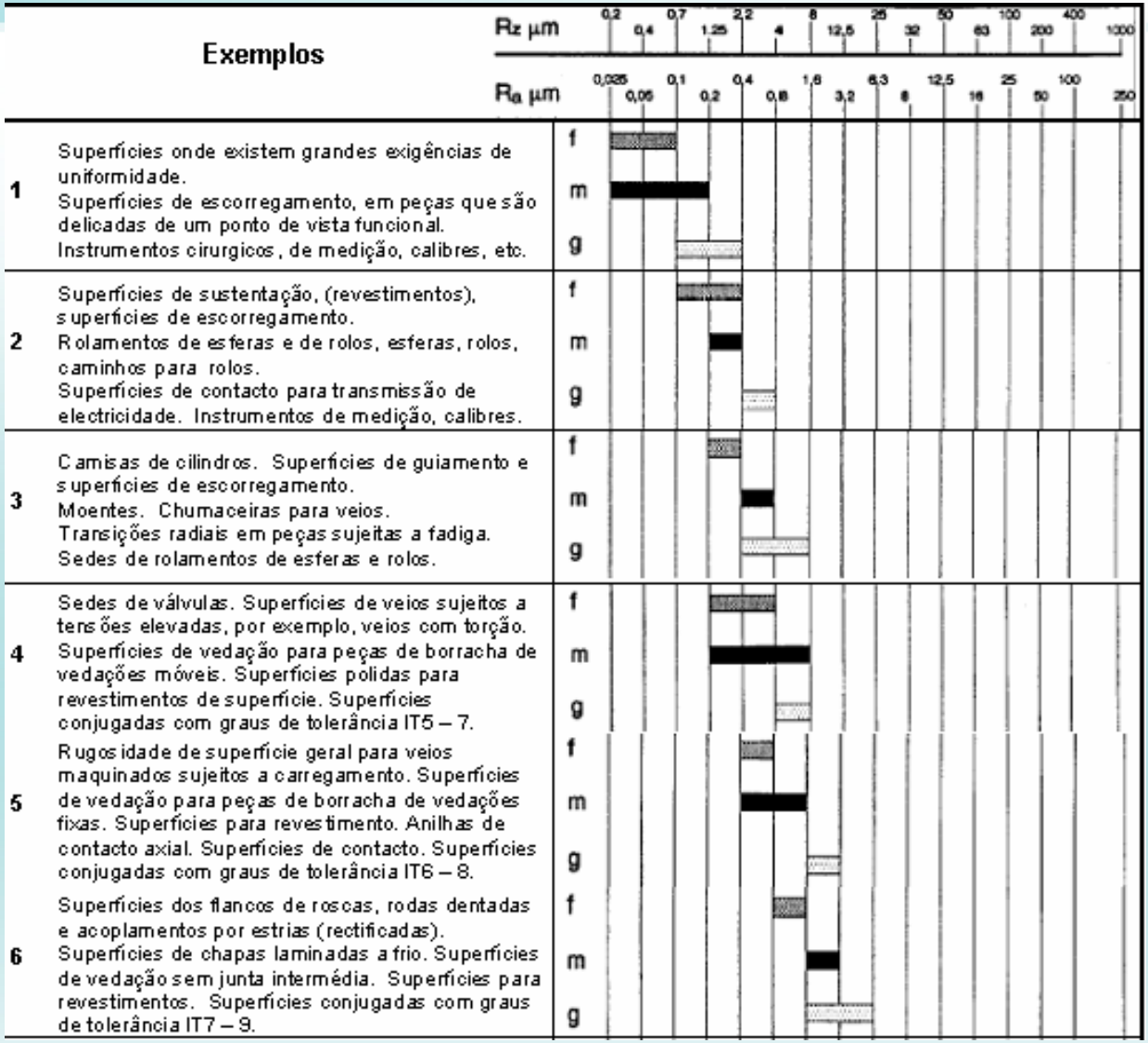
# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Relação entre os valores de rugosidade e a função das superfícies (cont.):**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Superfície independente | c/ tensões | Ferramentas de corte (superfície de corte) | **OC** | Ferramentas de aço rápido | 0,4 | Ferramentas de carboneto duro | 0,2 |
| | | Tensões de fadiga | **EA** | Furos de forquilhas de cilindros | 1,6 | Barras de torção | 0,8 |
| | sem tensões | Resistência à corrosão | **RC** | | | | |
| | | Revestimento (pintura) | **RE** | Carroçarias de automóveis | ≥ 3,2 | | |
| | | Revestimento electrolítico | **DE** | Indicar a rugosidade exigida pela função, após deposição | 0,1 a 3,2 | | |
| | | Medições | **ME** | Faces de calibres de oficina | 0,1 | | |
| | | Aparência (aspecto) | **AS** | | | | |
| | [1] Valores de *Ra* dados a título indicativo. | | | | | | |

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

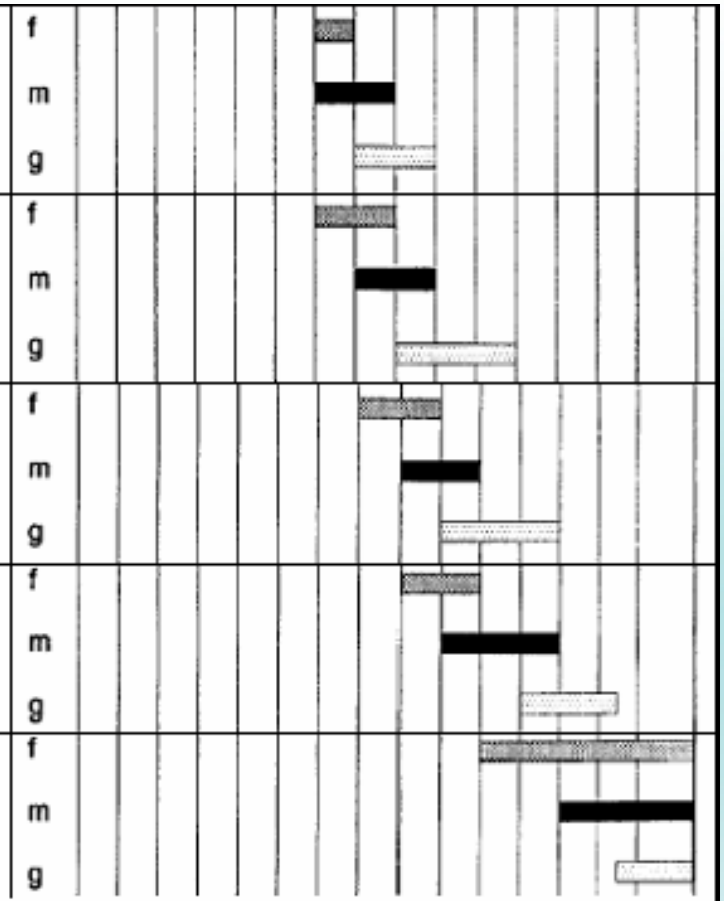
- **Valores de referência (SAAB) para a escolha dos parâmetros *Ra* e *Rz*:**



# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Valores de referência (SAAB) para a escolha dos parâmetros *Ra* e *Rz* (cont.):**

| | | |
|---|---|---|
| 7 | Superfícies dos flancos de roscas, rodas dentadas e acoplamentos por estrias (fresadas ou alargadas). Superfícies de vedação com junta intermédia. Escatéis. Superfícies de apoio (gornes) de correias em polias. Superfícies conjugadas com graus de tolerância IT8 – 10. | f<br>m<br>g |
| 8 | Superfícies de contacto. Escatéis. Superfícies livres. Orelhas de guiamento. Superfícies onde o aspecto é importante mas que não têm uma função particular. Superfícies conjugadas com graus de tolerância IT9 – 13. | f<br>m<br>g |
| 9 | Superfícies separadas. Furos resultantes de furagem. Zonas desafogadas (ranhuras livres) que não estão sujeitas a fadiga. Superfícies extremas sem uma função particular. Superfícies com graus de tolerância IT10 ou piores. | f<br>m<br>g |
| 10 | Outras superfícies sem qualquer função particular. | f<br>m<br>g |
| 11 | Superfícies torneadas grosseiras em peças em bruto, etc. | f<br>m<br>g |



f = classe fina para fabricação com exactidão e engenharia fina.
m = classe média para concepções de mecânica geral.
g = classe grosseira para concepções com menos qualidade.

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Valores de rugosidade média aritmética (*Ra*) para diferentes tipos de aplicações:**

| **RUGOSIDADE** *Ra* (µm) | **APLICAÇÕES (a título indicativo)** Valores recomendados da série Renard R' 10/3 |
|---|---|
| **0,025** | Faces de medição de micrómetros<br>Espelhos<br>Faces de medição de blocos-padrão. Blocos de apoio de exactidão |
| **0,05** | Faces de calibres de oficina. Planos de apoio para comparadores<br>Injectores de combustível |
| (0,08)<br>**0,1 (▽▽▽▽)** (símbolo antigo) | Faces de calibradores de cursor<br>Eixos de articulação<br>Ferramentas de exactidão<br>Chumaceiras (casquilhos) superacabadas<br>Acoplamentos estanques a alta pressão, em movimento altemado<br>Superfícies acopladas de peças, com movimento alternado, de retenção de líquido sob pressão<br>Superfícies de retenção polidas, sem junta |
| (0,125)<br>(0,16)<br>**0,2** | Suportes bipartidos de veios e árvores de cames. Superfícies de cames<br>Mancal de biela<br>Haste de válvula<br>Cilindros de bombas hidráulicas. Cilindros hidráulicos<br>Chumaceiras (casquilhos) polidas. Alojamentos da chumaceiras de alta velocidade<br>Veios de turbinas<br>Acoplamentos estanques, com movimentação manual<br>Guias de máquinas de máquinas-ferramenta<br>Mancais (suportes) de veios de rotores de turbinas, de redutores, etc. |

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Valores de rugosidade média aritmética (*Ra*) para diferentes tipos de aplicações (cont.):**

| | |
|---|---|
| (0,25)<br>(0,32)<br>**0,4** | Veios estriados<br>Chumaceiras de veios motores<br>Superfície externa de pistões<br>Superfícies internas de cilindros de motores<br>Veios de grandes máquinas eléctricas<br>Acoplamentos apertados<br>Sedes de válvulas. Superfícies de fecho e obturadores de válvulas, etc.<br>Faces de medição de exteriores de paquímetros<br>Mancais bipartidos de veios<br>Chumaceiras de metal branco (liga de estanho, antimónio e cobre c/ zinco ou chumbo)<br>Superfícies de peças deslizantes, tais como patins e respectivas guias |
| (0,5)<br>(0,63)<br>**0,8 (▽▽▽)** | Tambores de freios<br>Furos polidos. Peças de exactidão<br>Chumaceiras (casquilhos) de bronze e casquilhos rectificados<br>Dentes de engrenagens<br>Superfícies de retenção de flanges sem juntas<br>Mancais bipartidos de veios<br>Casquilhos em metal branco (liga de estanho, antimónio e cobre c/ zinco ou chumbo)<br>Superfícies de peças deslizantes, tais como patins e respectivas guias |
| (1,0)<br>(1,25)<br>**1,6** | Faces de referência de rodas dentadas<br>Veios e furos de rodas dentadas<br>Cabeças de cilindros<br>Superfícies em contacto de caixas de engrenagens em ferro fundido<br>Faces de pistões<br>Superfícies de retenção de flange com juntas |
| (2,0)<br>(2,5)<br>**3,2 (▽▽)** | Veios e casquilhos para transmissões manuais<br>Superfícies de acoplamento de peças fixas desmontáveis (flanges de uniões, batentes de centragem, etc.) |
| (4,0)<br>(5,0)<br>**6,3** | Superfícies de retenção de flanges, com juntas comuns<br>Faces de montagem do corpo de uma caixa de engrenagens |
| 8,0)<br>(10,0)<br>**12,5 (▽)** | Superfícies de ligação de flanges de tubagens com junta macia |
| (...) - Valores recomendados de segunda escolha (série Renard R' 10) | |

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Até 1992**, os **valores do parâmetro *Ra* eram escolhidos a partir da série de valores da série Renard R' 10/3**.
- Nos desenhos antigos, a rugosidade *Ra* podia também ser indicada pelos números dos graus de rugosidade.
- A utilização desta progressão geométrica de razão 2 era justificada pelo facto de, com a **utilização dos padrões de rugosidade**, mesmo o pessoal do controlo mais experiente **só conseguir distinguir claramente duas rugosidades diferentes, se uma delas tivesse um valor que fosse o dobro ou metade do valor da outra**.

Comparação entre o desvio médio aritmético (*Ra*) e os números dos graus de rugosidade

| N 12 | N 11 | N 10 | N 9 | N 8 | N 7 | N 6 | N 5 | N 4 | N 3 | N 2 | N 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,025 | µm |

# Critérios para a especificação de valores para os parâmetros de rugosidade

- **Com a utilização de rugosímetros passou a ser possível verificar a especificação de qualquer valor numérico para os diferentes parâmetros de rugosidade**, embora seja corrente recorrer-se aos valores, recomendados para os parâmetros de rugosidade (em μm), constantes da série Renard R' 10.

**Símbolos de rugosidade utilizados em desenhos antigos**

Conversão dos antigos símbolos de rugosidade em valores de *Ra* e *Rz*

| Símbolos de superfície | ∇ | | | | ∇∇ | | | | ∇∇∇ | | | | ∇∇∇∇ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Séries | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| *Rz* em μm | 160 | 100 | 63 | 25 | 40 | 25 | 16 | 10 | 16 | 6,3 | 4 | 2,5 | - | 1 | 1 | 0,4 |
| *Ra* em μm | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | - | 0,1 | 0,1 | 0,025 |
| Grau de rugosidade | N11 | N10 | N9 | N8 | N9 | N8 | N7 | N7 | N7 | N6 | N5 | N4 | - | N3 | N3 | N1 |

O **documento I-976** propunha uma correspondência dos símbolos baseada na série 2 do quadro 15, com a utilização do símbolo ~ para valores de *Ra* ≥ 25 μm e uma ausência de qualquer símbolo para valores de *Ra* ≥ 50 μm.

# Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

- **A representação do estado de acabamento das superfícies não fornece qualquer indicação sobre a qualidade (grau de tolerância) das dimensões das peças**.
- No entanto, **é evidente que uma qualidade dimensional elevada não se pode conciliar com superfícies grosseiramente trabalhadas**.
- Existem várias **relações práticas** que **relacionam as rugosidades adequadas com as tolerâncias dimensionais especificadas**.
- A aplicação rígida de uma dessas relações pode conduzir à exigência de estados de superfície que não são indispensáveis ao bom comportamento mecânico ou à duração de vida das peças em serviço, o que, não sendo necessário, aumenta inutilmente o preço das peças.

# Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

**Ra ≈ IT / 30** (AFPA – Memento des conventions de Dessin en Mecanique, 1976)

Valores máximos de *Ra* compatíveis com as tolerâncias ISO, na falta de prescrições particulares (*Ra* ≈ IT / 30).

| VALORES DE RUGOSIDADE MÁXIMA Ra COMPATÍVEIS COM AS TOLERÂNCIAS ISO (μ m) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tolerâncias ISO | Grupos de dimensões (mm) | | | | | | | | | |
| | ≤ 3 | | > 3 ≤ 18 | | > 18 ≤ 80 | | > 8 ≤ 250 | | > 250 | |
| | Tol. | Ra | Tol. | Ra | Tol. | Ra | Tol. | Ra | Tol. | Ra |
| IT 6 | 6 | 0,2 | 8 ÷ 11 | 0,3 | 13 ÷ 19 | 0,5 | 22 ÷ 29 | 0,8 | 32 ÷ 40 | 1,2 |
| IT 7 | 10 | 0,3 | 12 ÷ 18 | 0,5 | 21 ÷ 30 | 0,8 | 35 ÷ 46 | 1,2 | 52 ÷ 63 | 2 |
| IT 8 | 14 | 0,5 | 18 ÷ 27 | 0,8 | 33 ÷ 46 | 1,2 | 54 ÷ 72 | 2 | 81 ÷ 97 | 3 |
| IT 9 | 25 | 0,8 | 30 ÷ 43 | 1,2 | 52 ÷ 74 | 2 | 87 ÷ 115 | 3 | 130 ÷ 155 | 5 |
| IT 10 | 40 | 1,2 | 48 ÷ 70 | 2 | 84 ÷ 120 | 3 | 140 ÷ 185 | 5 | 210 ÷ 250 | 8 |
| IT 11 | 60 | 2 | 75 ÷ 110 | 3 | 130 ÷ 190 | 5 | 220 ÷ 290 | 8 | 320 ÷ 400 | 12 |
| IT 12 | 100 | 3 | 120 ÷ 180 | 5 | 210 ÷ 300 | 8 | 350 ÷ 460 | 12 | 520 ÷ 630 | 20 |
| IT 13 | 140 | 5 | 180 ÷ 270 | 8 | 330 ÷ 460 | 12 | 540 ÷ 720 | 20 | 810 ÷ 970 | — |
| IT 14 | 250 | 8 | 300 ÷ 430 | 12 | 520 ÷ 740 | 20 | 870 ÷ 1150 | — | 1300 ÷ 1550 | — |

# Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

**Selecção de valores máximos de *Ra* e *Rz* compatíveis com as tolerâncias ISO, na falta de prescrições particulares.**

| Nominal size in mm | 1 -6 | | 6 -10 | | 10 -18 | | 18 -80 | | 80 -250 | | 250 -500 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ISO-Accuracy class | Recommended $R_a$ and $R_{z(DIN)}$ values µm | | | | | | | | | | | |
| | $R_a$ | $R_z$ | $R_a$ | Rz | $R_a$ | Rz | $R_a$ | Rz | $R_a$ | Rz | $R_a$ | Rz |
| 5 | 0.4 | 2.5 | 0.4 | 2.5 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 6.3 | 0.8 | 6.3 |
| 6 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 4 | 0.8 | 6.3 | 1.6 | 10 | 1.6 | 10 |
| 7 | 0.8 | 6,3 | 0.8 | 6.3 | 0.8 | 6.3 | 1.6 | 10 | 1.6 | 16 | 1.6 | 16 |
| 8 | 1.6 | 6.3 | 1.6 | 10 | 1.6 | 10 | 3.2 | 16 | 3.2 | 25 | 3.2 | 25 |
| 9 | 1.6 | 10 | 3.2 | 16 | 3.2 | 16 | 3.2 | 16 | 3.2 | 25 | 6.3 | 40 |
| 10 | 3.2 | 16 | 6.3 | 25 | 6.3 | 25 | 6.3 | 40 | 6.3 | 40 | 12.5 | 63 |
| 11 | 6.3 | 25 | 12.5 | 40 | 12.5 | 40 | 12.5 | 63 | 12.5 | 63 | 25 | 100 |

$IT / 20 \leq Ra \leq IT / 8$ (L. MUMMERY – Surface Texture Analysis. The Handbook. 1990, p. 94)

$Rz(DIN) < IT / 2$

# Relações práticas entre parâmetros de rugosidade e as tolerâncias dimensionais

Valores máximos de *Ra* (μm) recomendados para as superfícies de contacto, em função das dimensões e da qualidade dimensional (CETIM – Informations, nº 60, p. 54).

| Diamètre nominal Ø (mm) | Qualité ISO | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 5-6 (*) | 6-7 (*) | 7-8 (*) | 8-9 (*) | 9-10 (*) |
| 1-3 | 0,20-0,32 | 0,32-0,63 | 0,50-0,80 | 0,63-1,00 | 1,25-2,00 |
| 3-6 | 0,25-0.40 | 0,40-0.63 | 0.63-1,00 | 0,80-1,25 | 1,6 -2,5 |
| 6-10 | 0,32-0,50 | 0.50-0,80 | 0.80-1,25 | 1,00-1,0 | 2,0 -3,2 |
| 10-18 | 0,40-0,63 | 0,63-1,00 | 1,00-1,60 | 1,25-2,0 | 2,5 -4,0 |
| 18-30 | 0,40-0,80 | 0,80-1,25 | 1,25-2,00 | 1,6 -2,5 | 3,2 -5,0 |
| 30-50 | 0,50-0,80 | 1,00-1,60 | 1,25-2,00 | 1,6 -2,5 | 4,0 -5,0 |
| 50-80 | 0,63-1,00 | 1,00-1,60 | 1,6 -2,5 | 2,0 -3,2 | 4,0 -6,3 |
| 80-120 | 0,63-1,00 | 1,25-2,00 | 2,0 -3,2 | 2,5 -4,0 | 5,0 -6,3 |
| 120-180 | 0,80-1,25 | 1,25-2,00 | 2,5 -3,2 | 2,5 -4,0 | 6,3 -8,0 |
| 180-260 | 1,00-1,60 | 1,6 -2,5 | 2,5 -4,0 | 3,2 -5,0 | 6,3 -10 |
| 260-360 | 1,00-1,60 | 1,6 -2,5 | 3,2 -5,0 | 3,2 -5,0 | 8,0 -12,5 |
| 360-500 | 1,25-2,00 | 2,0 -3,2 | 3,2 -5,0 | 4,0 -6,3 | 10,0-12,5 |

(*) Le premier nombre correspond à la qualité des arbres, le deuxième à la qualité des alésages (furos). (veios)

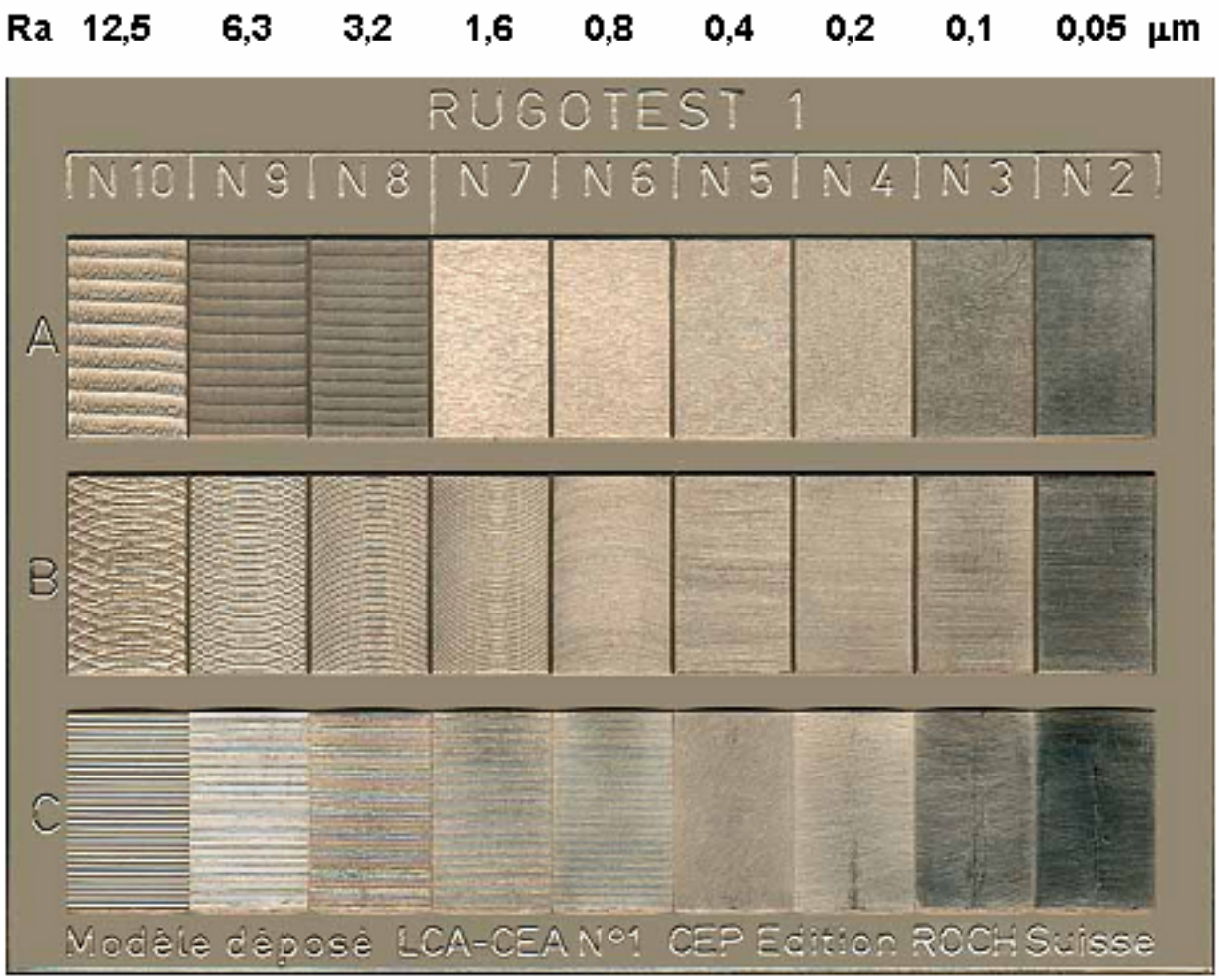
TABLEAU II. *Rugosité* Ra (μm) *recommandée pour les surfaces de contact en fonction des dimensions et de la précision dimensionnelle.* (D'après S. Enache. — *La qualité des surfaces usinées,* Dunod 1972).

*Remarque :* Dans le cas des faibles diamètres, la rugosité moyenne conseillée dans le tableau est inférieure au μm (exemple 10 h 6). Dans la pratique, la rugosité demandée par les bureaux d'études et couramment réalisée est supérieure à cette valeur.

# Processos de avaliação do estado de superfície

- A **medição da rugosidade superficial das peças efectua-se**, geralmente, **por palpação** ao longo de uma secção, com exploração bidimensional da superfície. De acordo com as dimensões das peças a controlar, **podem utilizar-se instrumentos de medição** (**rugosímetros**) fixos ou portáteis.
- **Inspecção visual através da utilização de padrões de rugosidade (escantilhões de comparação viso-táctil)**:
  - A utilização dos **padrões de rugosidade** (placas de "RUGOTEST"), na inspecção visual de superfícies das peças, facilita o controlo da produção, permitindo efectuar uma rápida selecção das superfícies onde deverão ser efectuadas medições complementares.

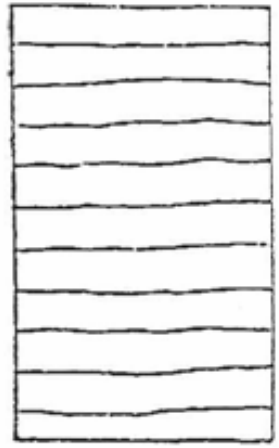
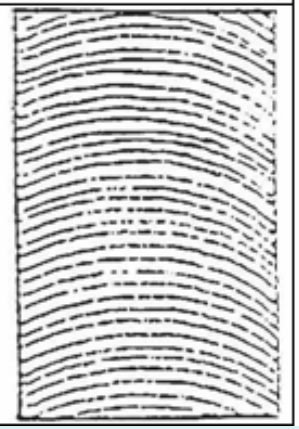
# Processos de avaliação do estado de superfície




Exemplo de padrões rugosidade - placas "RUGOTEST" nº1

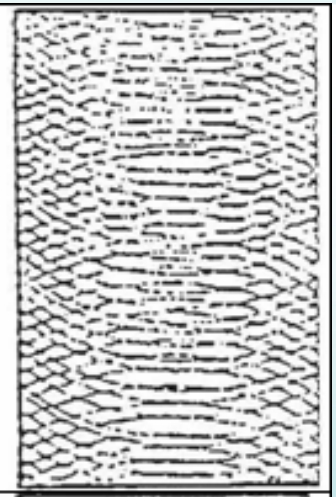
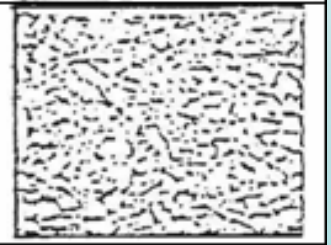
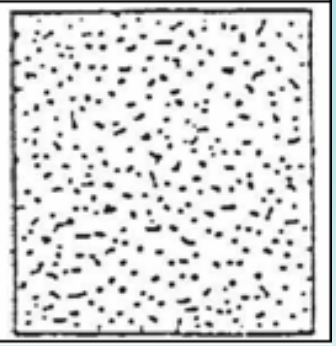
# Processos de avaliação do estado de superfície

**Características das estrias dos padrões de rugosidade (escantilhões de comparação viso-táctil)**

| MOTIVOS GEOMÉTRICOS DE SUPERFÍCIE | MODO DE ELABORAÇAO REPRESENTADO | FORMA DO ESCANTILHÃO | REPRESENTAÇAO ESTILIZADA DOS MOTIVOS |
|---|---|---|---|
| Estrias rectilíneas<br>ou semelhantes | Aplainamento<br>Torneamento<br>Furagem<br>Fresagem cilíndrica<br>Rectificação tangencial e cilíndrica<br>Polimento | Plana<br>Cilíndrica convexa<br>Cilíndrica côncava<br>Plana<br>Plana<br>Cilíndrica convexa<br>Plana<br>Cilíndrica convexa |  |
| Estrias<br>em forma de arco | Torneamento – facejar<br>Fresagem frontal | Plana<br>Plana |  |

# Processos de avaliação do estado de superfície

(cont.)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Estrias em forma<br><br>de arco, cruzadas | Fresagem frontal<br><br>Rectificação frontal<br><br>Rectificação com mó de prato | Plana<br><br>Plana<br><br>Plana |  |
| Estrias<br><br>multidireccionais | Polimento | Plana<br>Cilíndrica convexa |  |
| Sem orientação | Electroerosão<br>Granalhagem esférica e angular<br>Preparação de superfícies por projecção de abrasivos<br>Polimento<br><br>Fundição | Plana<br>Plana<br><br>Plana<br><br>Plana<br>Cilíndrica convexa<br>Plana<br>Cilíndrica |  |

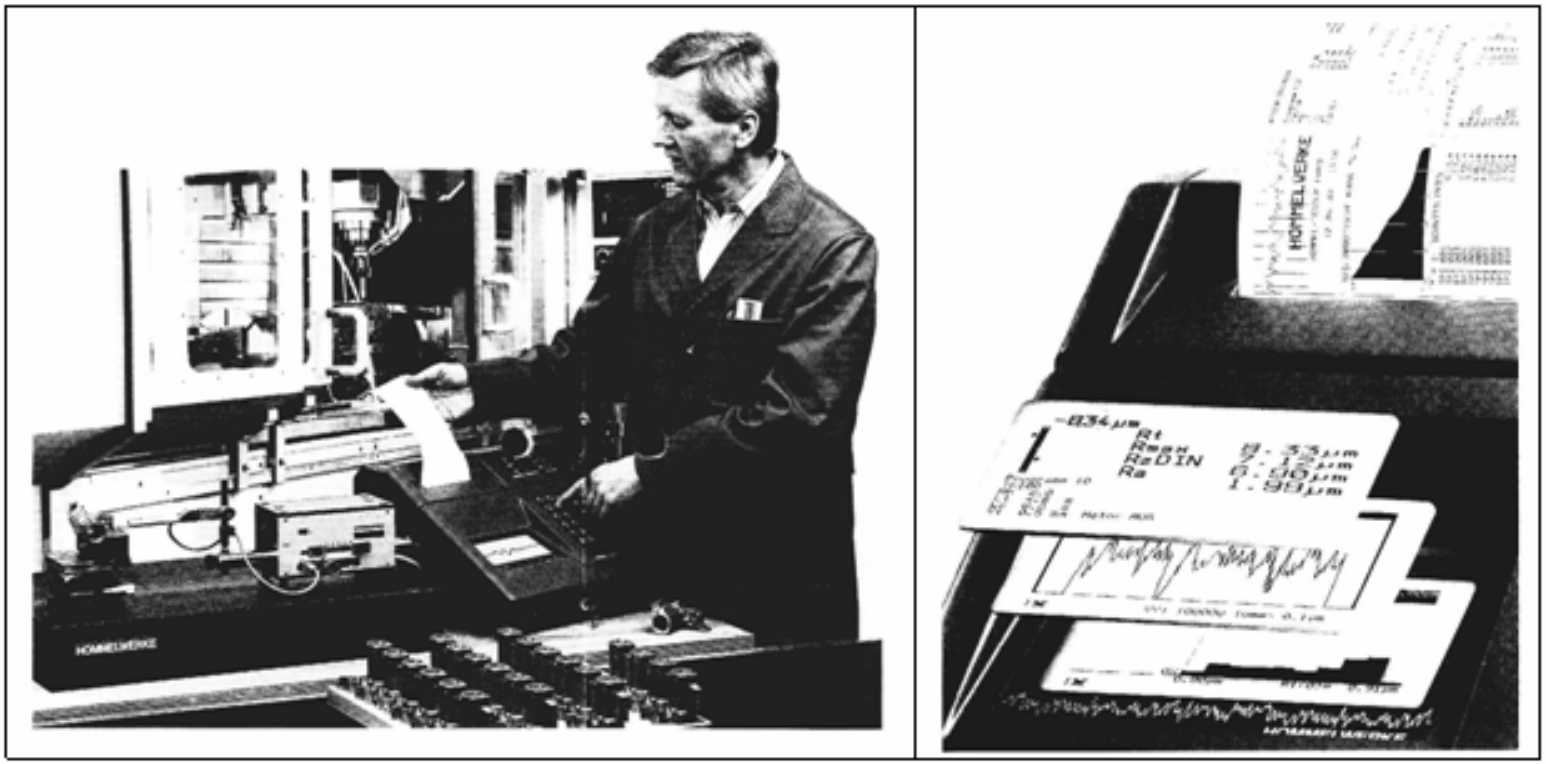
# Processos de avaliação do estado de superfície

- **Medição do perfil de rugosidade através de rugosímetros ou perfilómetros de contacto:**



Exemplo de perfilómetro de contacto (ou rugosímetro) para trabalho laboratorial de controlo de qualidade

# Processos de avaliação do estado de superfície



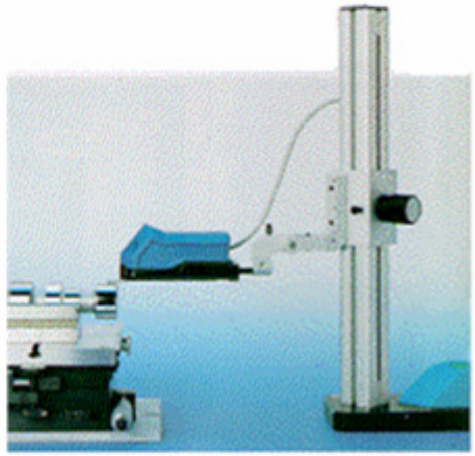
a) b)

Exemplo de perfilómetro de contacto com microprocessador: a) em trabalho oficinal; b) com edição de resultados das medições

# Processos de avaliação do estado de superfície




a)

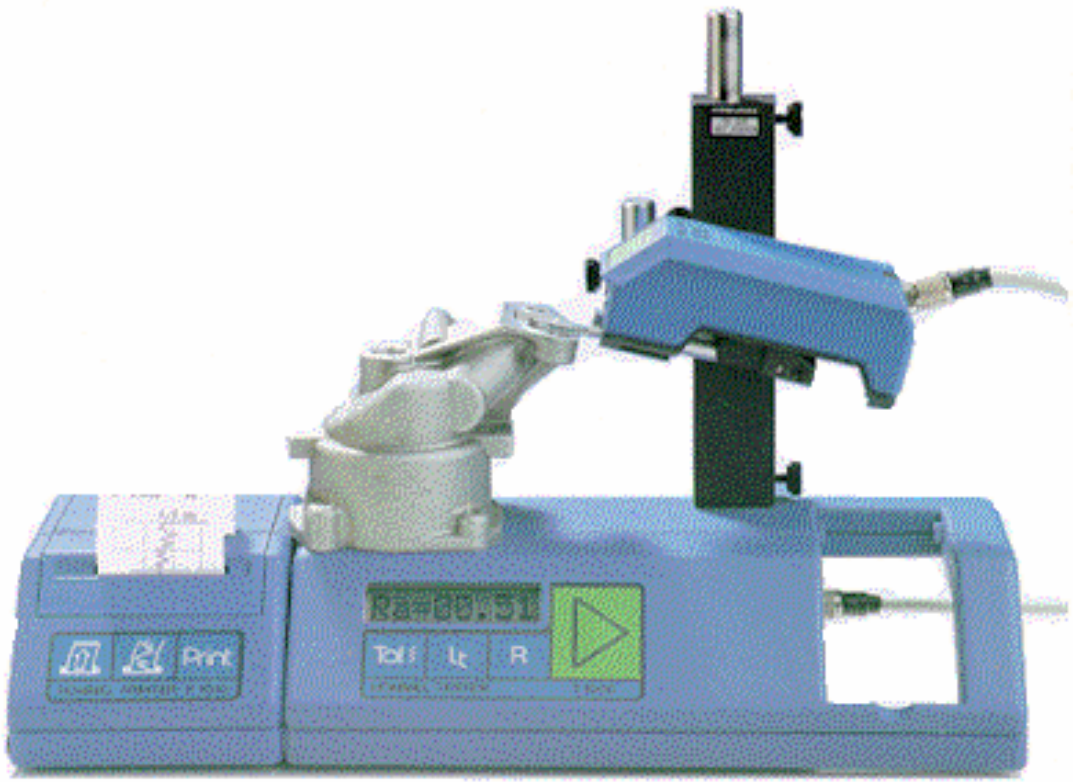




b)

Exemplo de perfilómetro de contacto portátil, que pode também ser utilizado numa unidade estacionária ou na medição de uma peça directamente na máquina-ferramenta

# Processos de avaliação do estado de superfície




Exemplo de perfilómetro de contacto portátil utilizado numa unidade estacionária