



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**PMR 3203**

Laboratório 2

**Metrologia**

**2023.1**



## Fundamentos de metrologia



One accurate  
measurement is worth  
a thousand  
expert opinions  
Grace Hopper

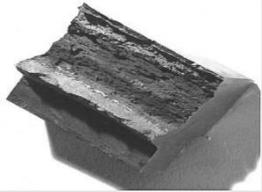


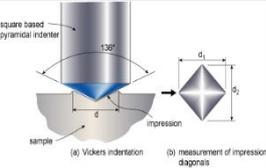


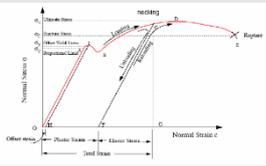
## Testes e medições dentro da metrologia industrial

### Testes de Materiais

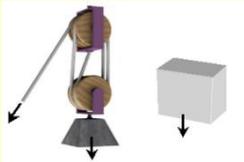
 Textura

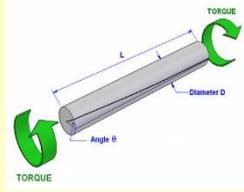
 Fratura

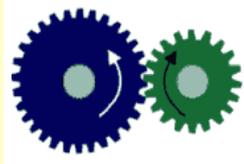
 Dureza

 E, G,  $\sigma$

### Testes operacionais

 Força

 Momento

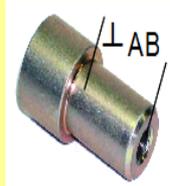
 Rotação

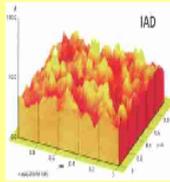
 Ruído

### Teste geométricos

 Formas

 Dimensões

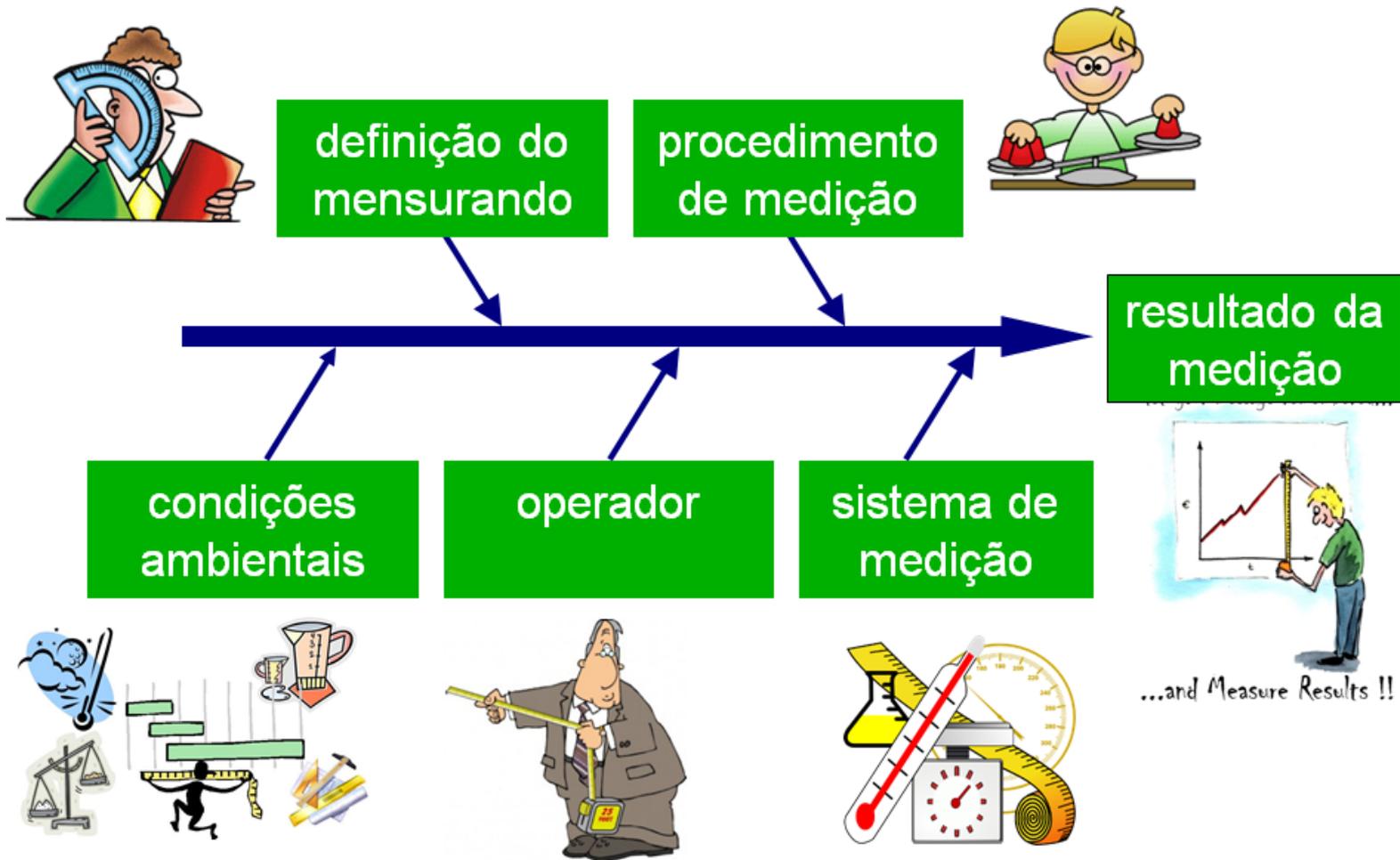
 Localização

 Rugosidade

**90%** dos testes realizados dentro da Metrologia Industrial são Testes Geométricos

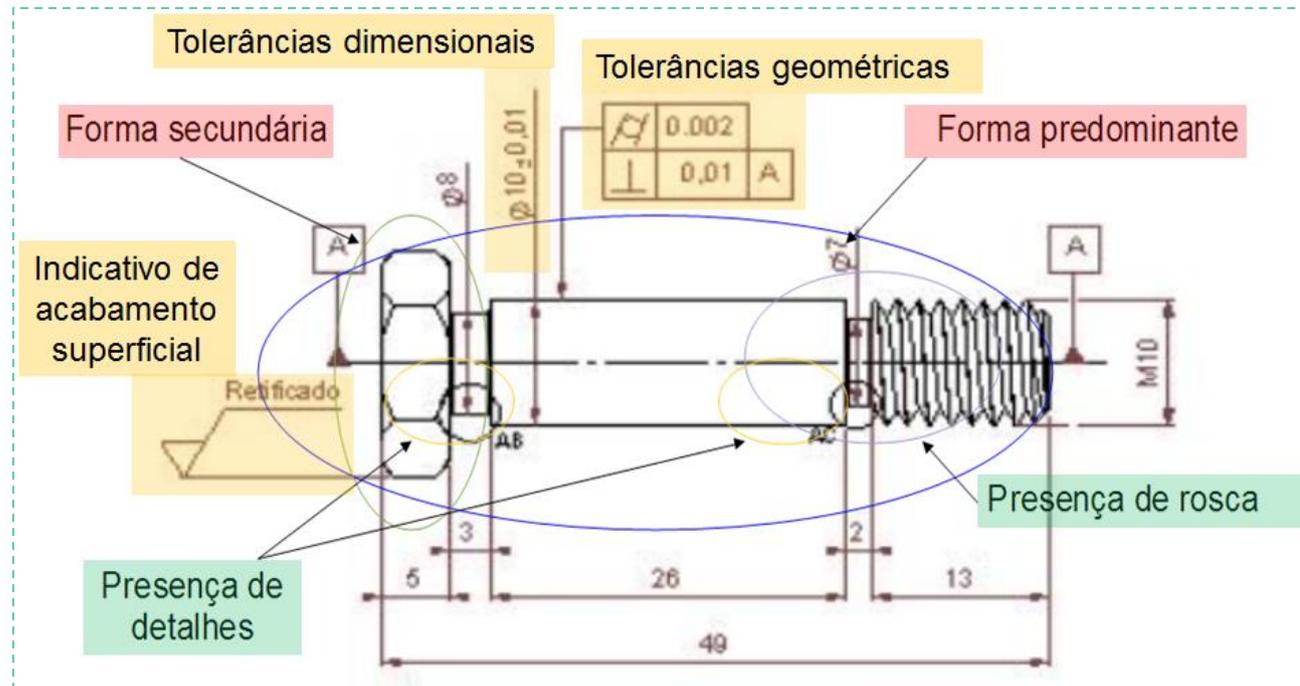


## Relações que envolvem a qualidade de medição de uma peça





## Medições mais comuns na indústria metal mecânica



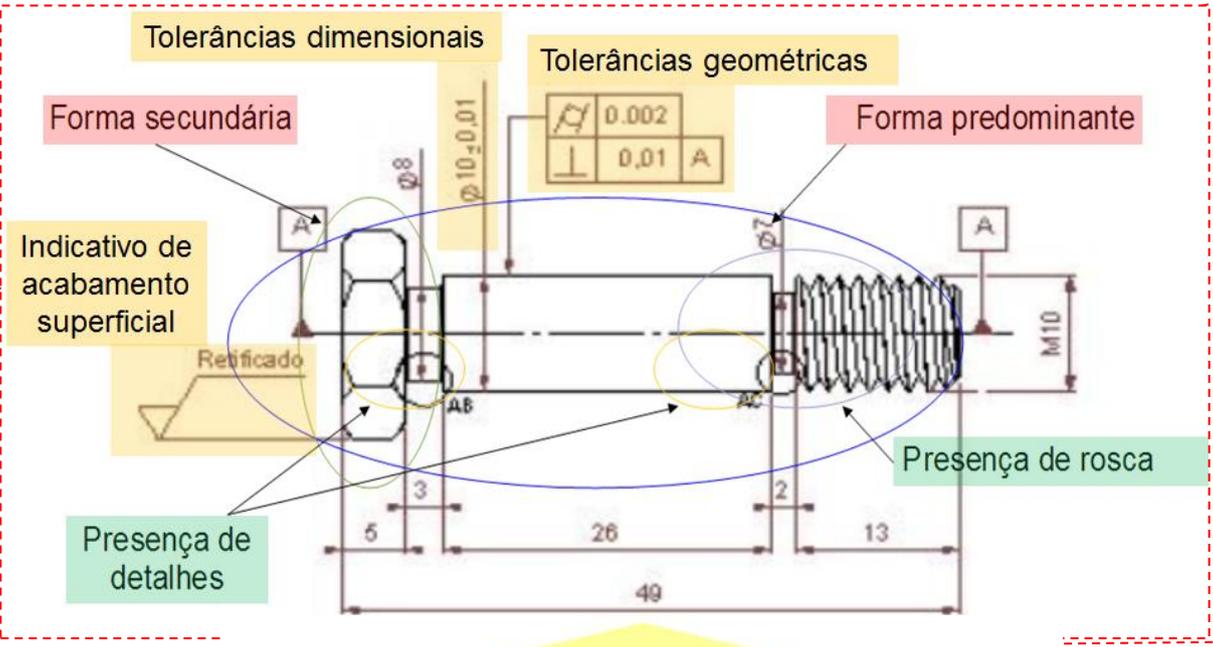
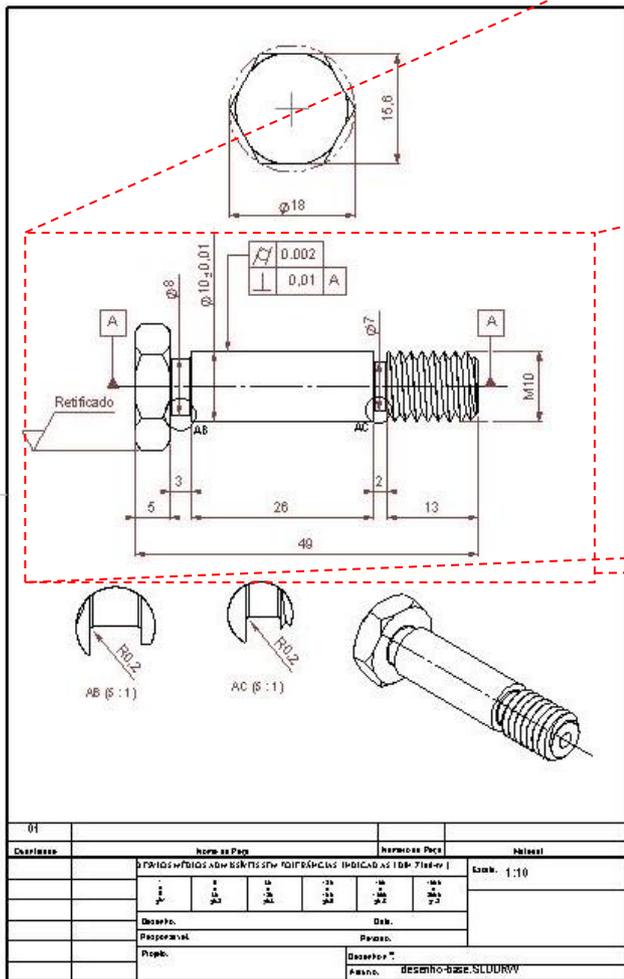
**Dimensões**

**Rugosidade**

**Formas**



# Informações em um desenho de fabricação

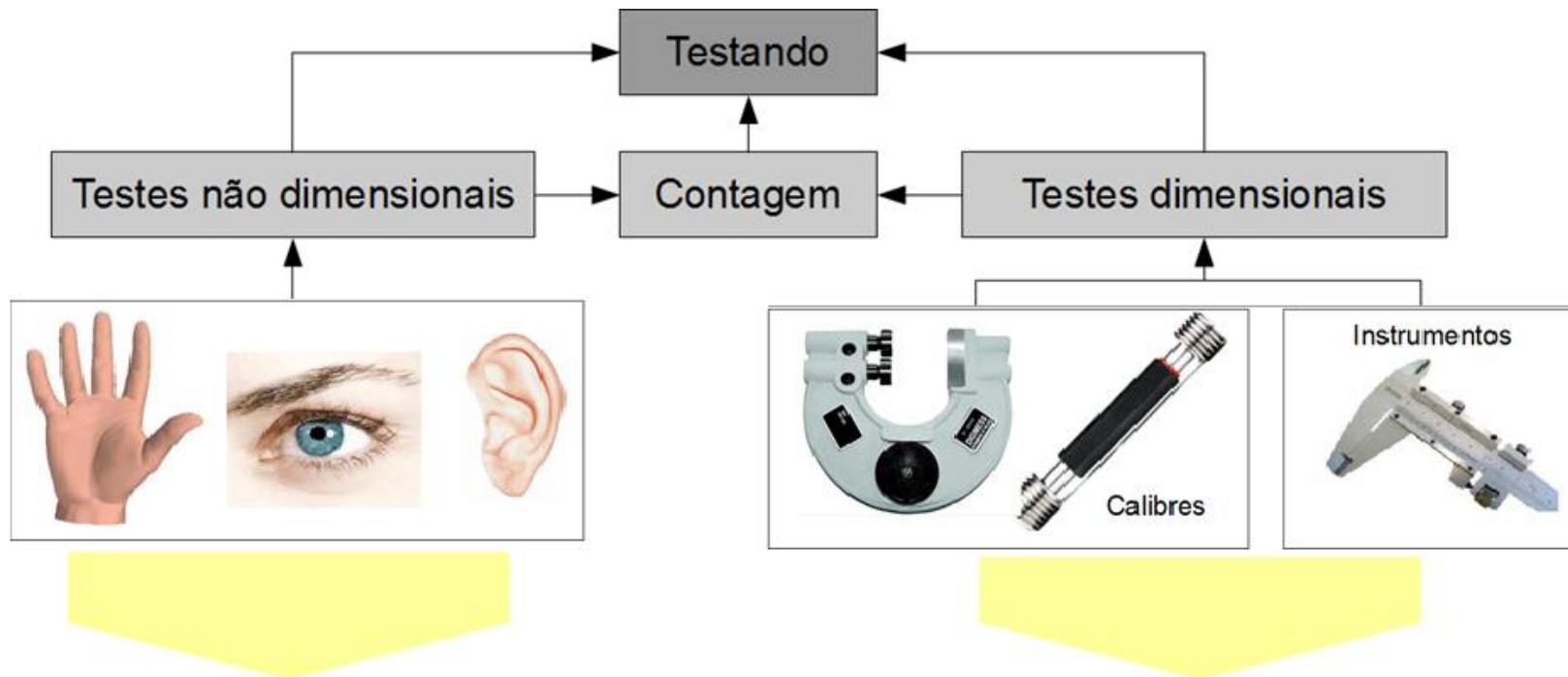


**Teste geométricos**

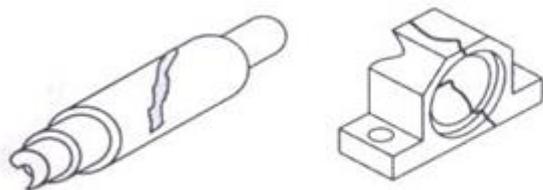
- Formas**: Represented by colorful geometric shapes (cone, sphere, cylinder).
- Dimensões**: Represented by a cylinder with dimension lines.
- Localização**: Represented by a cylinder with a feature control frame (L-AB).
- Rugosidade**: Represented by a 3D surface plot showing surface texture.



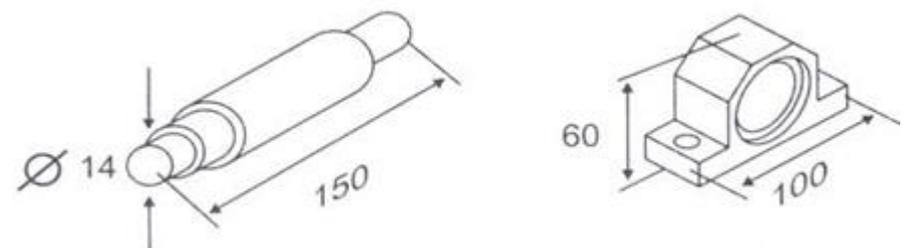
## Formas de avaliação e quantificação dos erros de uma peça



Considerações qualitativas

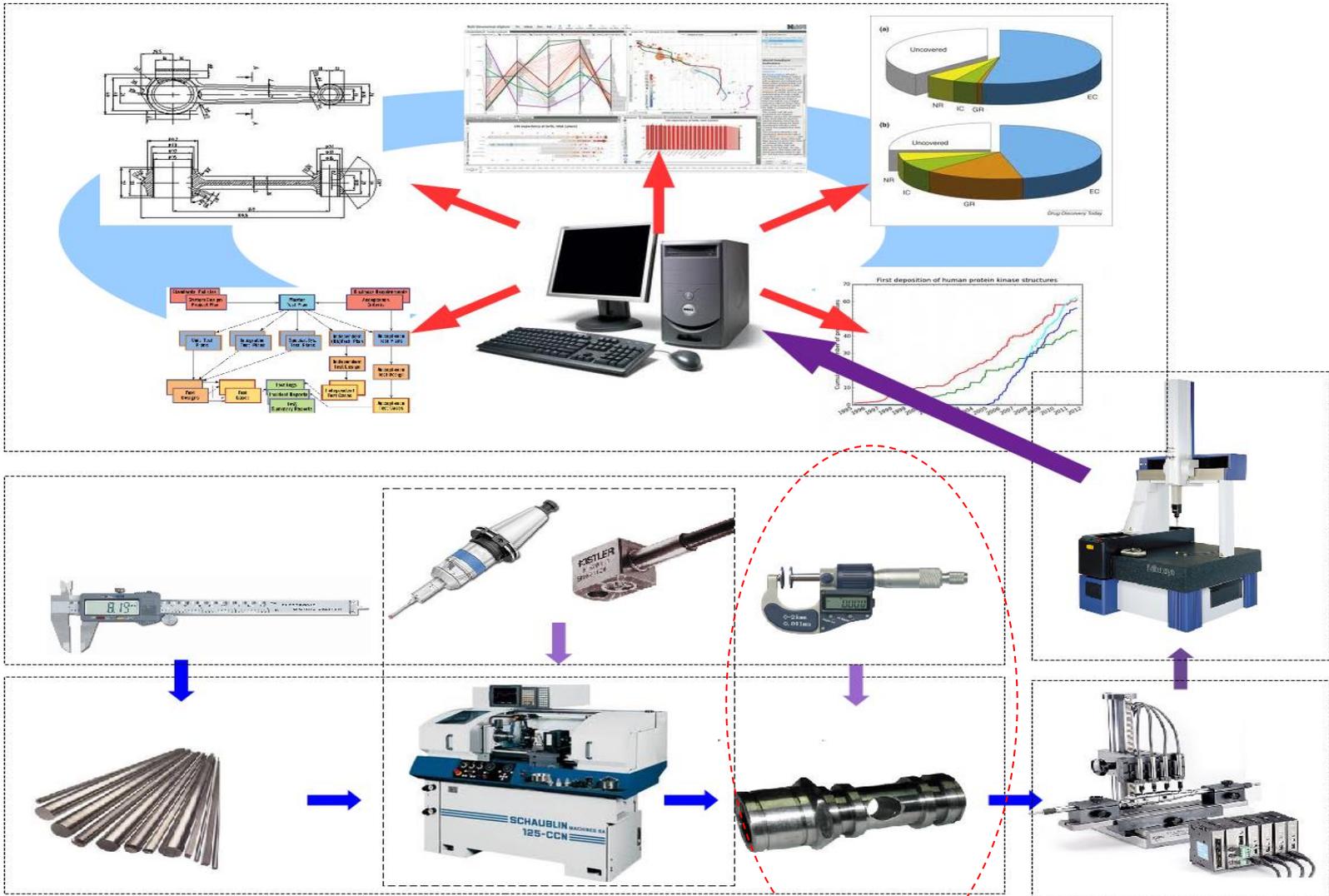


Considerações quantitativas





# Níveis de medição





## Definições

- **Resultado de medição:** refere-se ao valor estimado do valor verdadeiro do mensurado, o qual é obtido das medições
- **Elemento de medição:** é um instrumento ou sistema de medição o qual se destina a medir o mensurado.
- **Calibração:** refere-se a determinação da relação entre o mensurado ou valor esperado fornecido pela medição e o valor verdadeiro, ou valor correto apropriado a grandeza a medir existente.
- **Ajustagem:** é a operação realizar para alinhar ou posicionar o sistema de medição de forma a eliminar o máximo possível os desvios sistemáticos da medição.



## Definições

- **Princípio de medição:** constitui-se da forma física da medição
- **Método de medição:** é um procedimento especificado para a medição e independe do princípio de medição
- **Procedimento de medição:** define a aplicação prática dos princípios de medição
- **Estratégias de medições:** A seleção dos métodos e procedimentos de medição devem ser feitas de formas a minimizar a influência dos erros, flexibilidade, tempo e custos.



## Método de medição

### Método direto

Neste a quantidade a ser medida é diretamente comparada com um padrão que tem as mesmas dimensões físicas



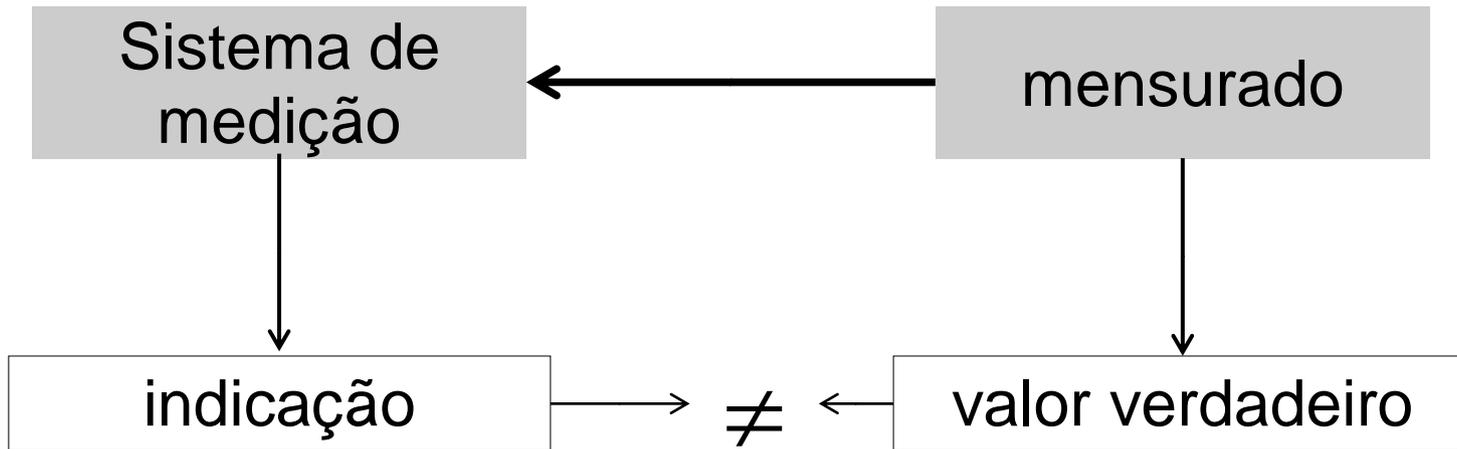
### Método indireto

Neste a quantidade a ser medida não é quantificada de forma direta, mas é obtida por uma quantidade intermediária proporcional a grandeza a ser medida





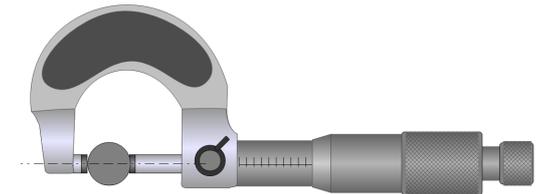
## Erros de medição



**erro de medição**



## Fontes de Erros na de medição





## Incerteza e erros de medições

- **Erro máximo** - é o maior valor em módulo do erro que pode ser cometido pelo sistema de medição nas condições em que foi avaliado.
- **Erro de medição** - é o número que resulta da diferença entre a indicação de um sistema de medição e o valor verdadeiro do mensurando.
- **Incerteza de medição** - é o parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a faixa dos valores que podem fundamentadamente ser atribuídos ao mensurando.
- **Erro sistemático**: é a parcela previsível do erro. Corresponde ao erro médio.
- **Erro aleatório**: é a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a distintas indicações.



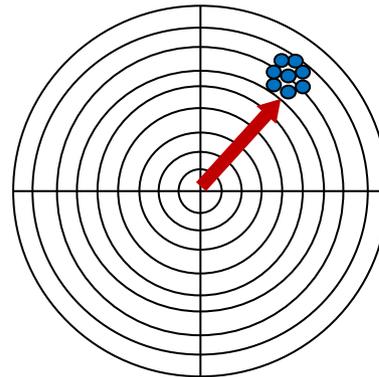
## Exatidão e precisão

- São parâmetros qualitativos associados ao desempenho de um sistema.
- Um sistema com ótica precisão repete bem, com pequena dispersão.
- Um sistema com excelente exatidão praticamente não apresenta erros.



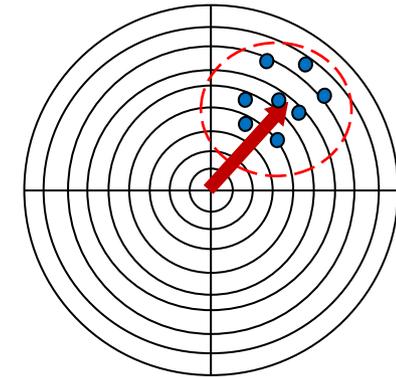
$E_a \downarrow$

$E_s \uparrow$



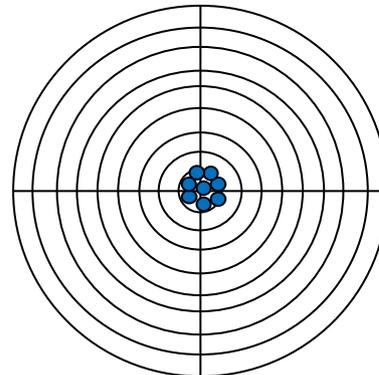
$E_a \uparrow$

$E_s \uparrow$



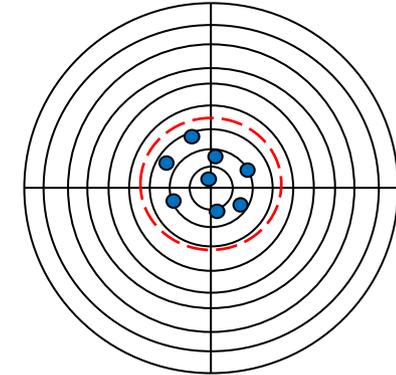
$E_a \downarrow$

$E_s \downarrow$



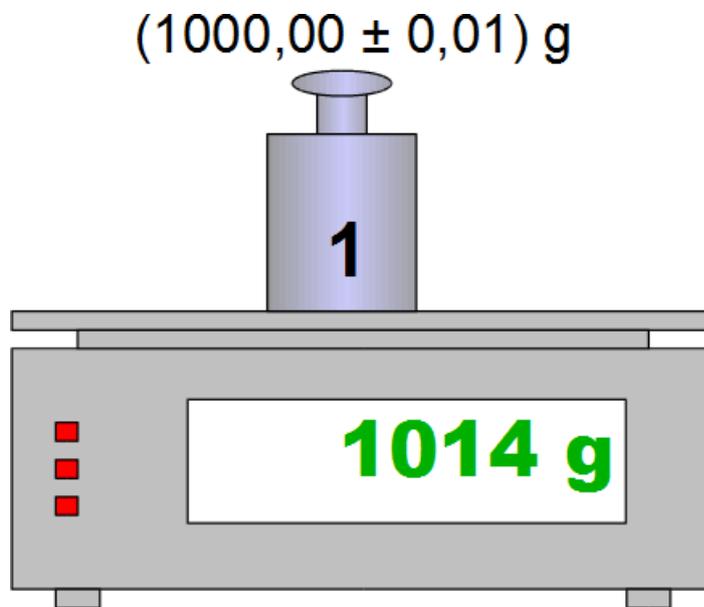
$E_a \uparrow$

$E_s \downarrow$





## Erros de medição



$$E = I - VVC$$

$$E = 1014 - 1000$$

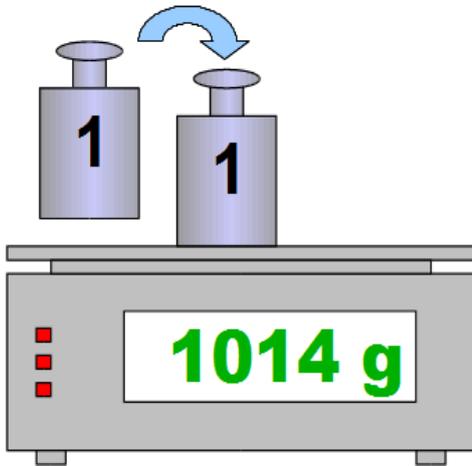
$$E = + 14 \text{ g}$$

O sistema de  
Medição (balança)  
Indica a mais do que  
deveria!



## Erros de medição

$(1000,00 \pm 0,01) \text{ g}$



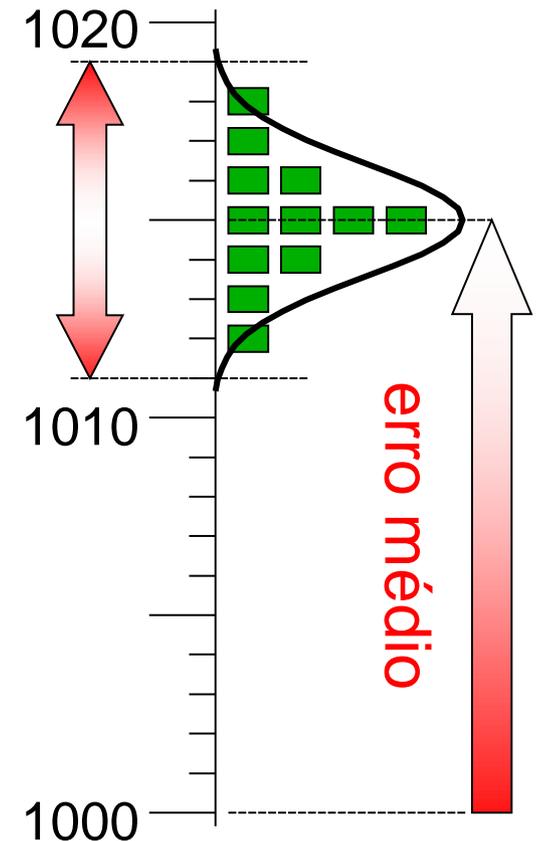
$$E = I - VVC$$

$$E = 1014 - 1000$$

$$E = +14 \text{ g}$$

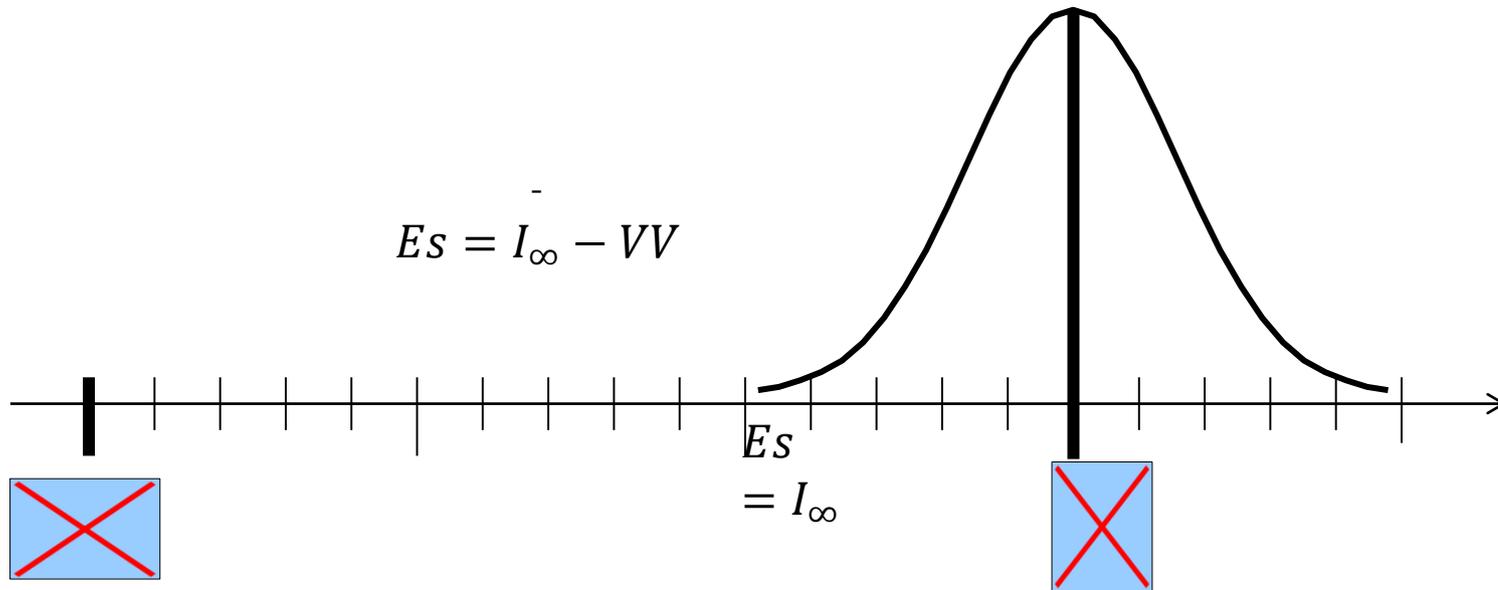
O sistema de Medição (balança) Indica a mais do que deveria!

1014 g
1015 g
1017 g
1012 g
1015 g
1018 g
1014 g
1015 g
1016 g
1013 g
1016 g
1015 g





## Determinação do erro sistemático



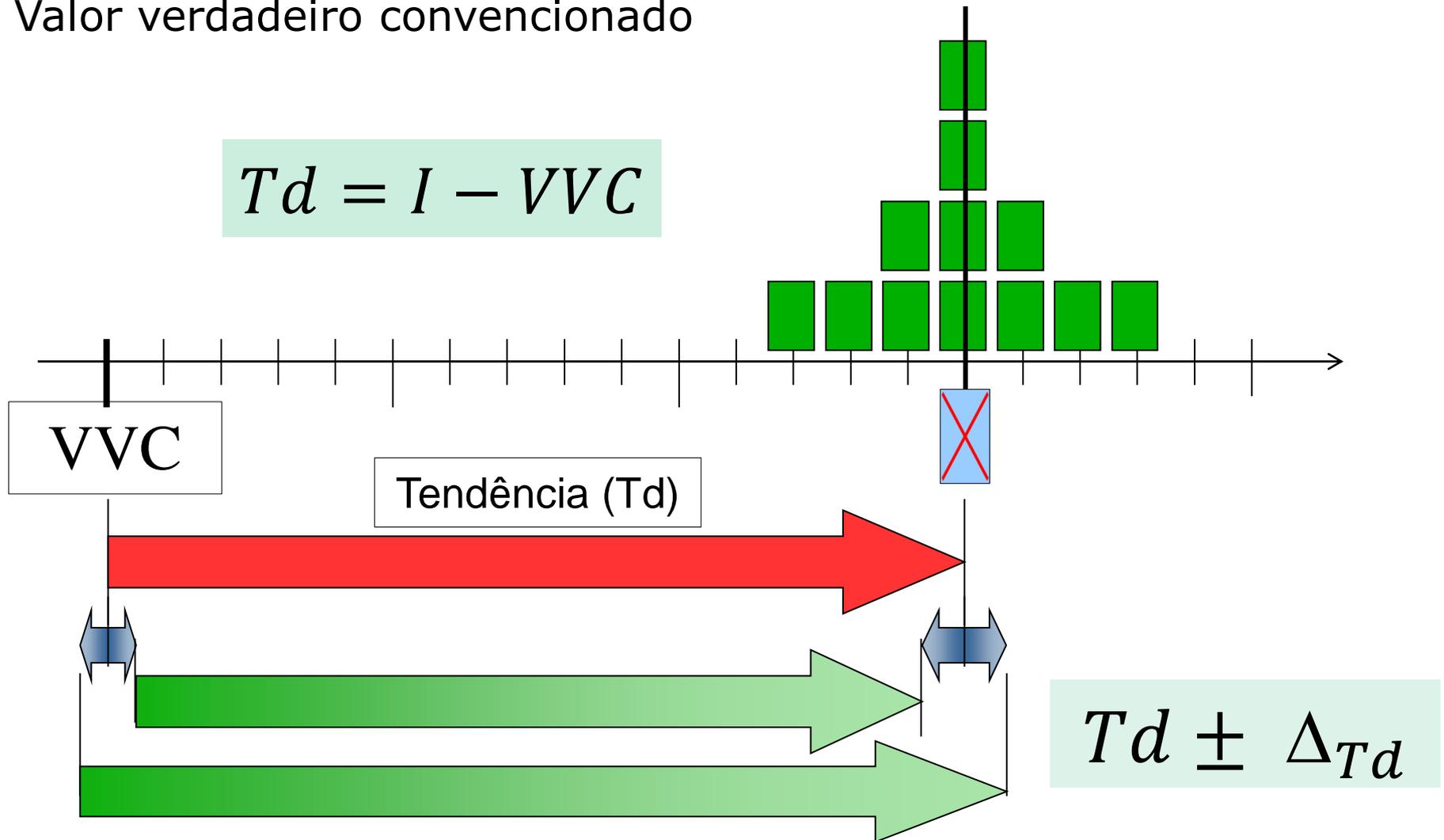
condições: {  
média de infinitas indicações  
valor verdadeiro conhecido exatamente



## Determinação do erro sistemático

VVC = Valor verdadeiro convencional

$$Td = I - VVC$$





## Erro sistemático, tendências e correções

### Definições

#### → Tendência ( $T_d$ )

- é uma estimativa do Erro Sistemático

#### → Valor Verdadeiro Convencional (VVC)

- é uma estimativa do valor verdadeiro

#### → Correção (C)

- é a constante que, ao ser adicionada à indicação, compensa os erros sistemáticos
- é igual à tendência com sinal trocado



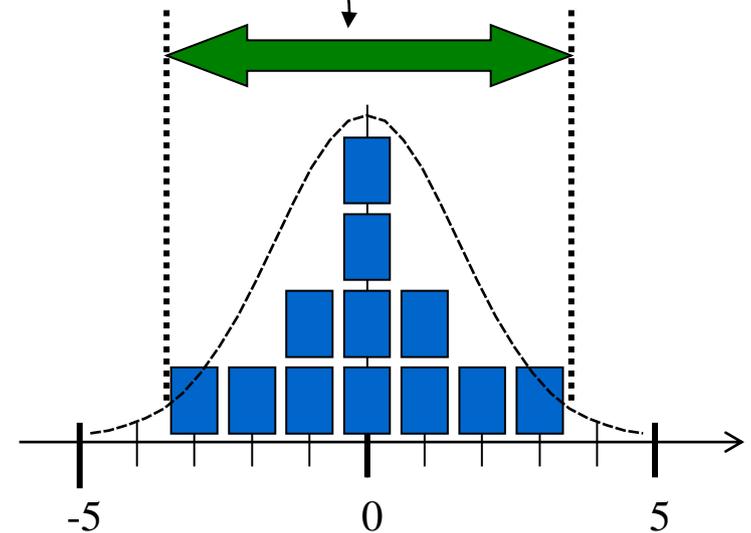
## Erro aleatório, incerteza padrão e repetitividade

- Erro aleatório ( $Ea_i$ ) e repetitividade
- A repetitividade define a faixa dentro da qual espera-se que o erro aleatório esteja contido
- O valor do erro aleatório é imprevisível.

$$Ea_i = I_i - I$$

$I_i = \text{Inceterza}_i$

$I = \text{Inceterza}_{\text{padrão}}$





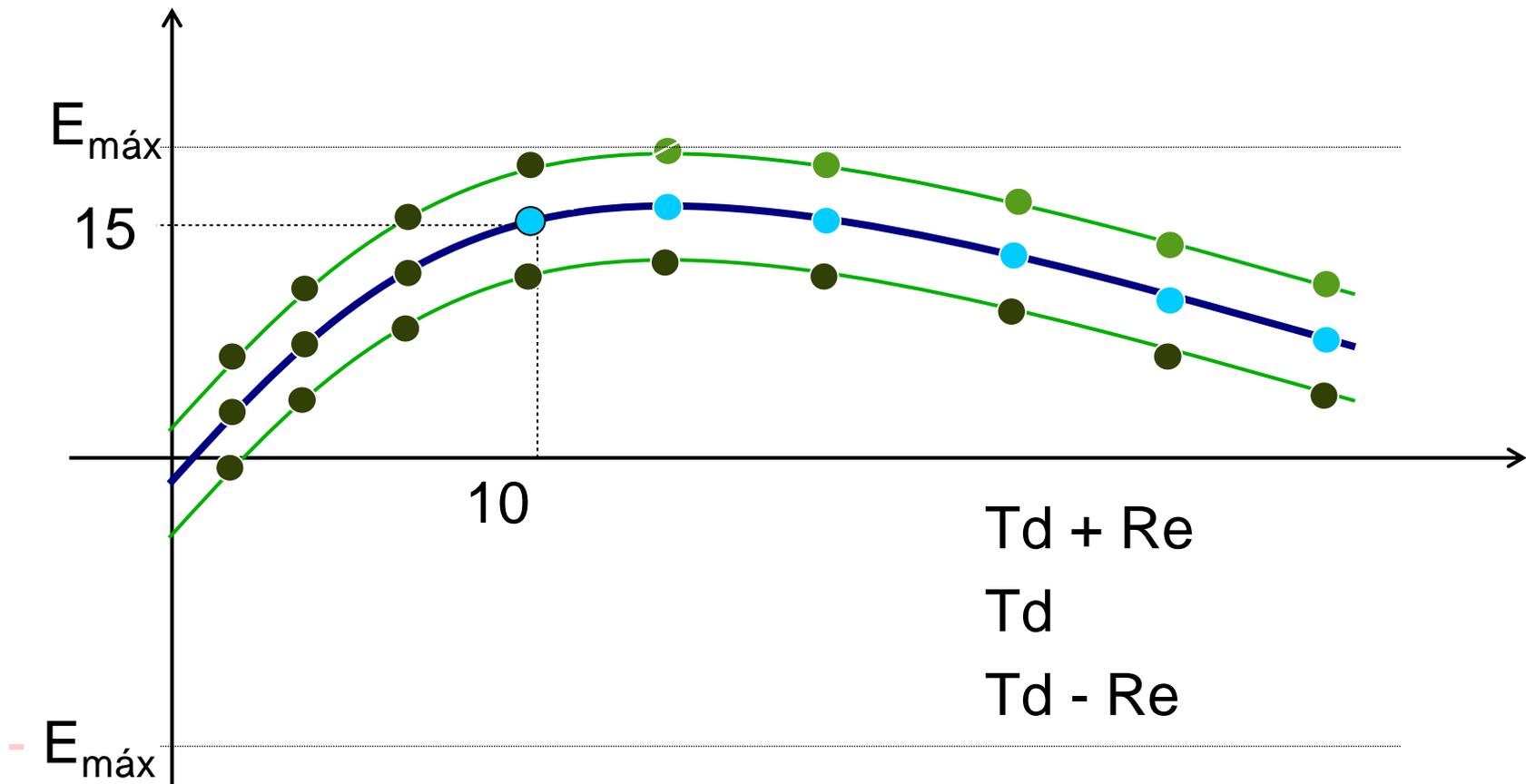
## Efeitos da quantidade de medições repetidas sobre o erro

- **Efeito sobre os erros sistemáticos:** Como o erro sistemático já é o erro médio, nenhum efeito é observado.
- **Efeitos sobre os erros aleatórios:** A média reduz a intensidade dos erros aleatórios, da repetitividade e da incerteza padrão



## Curva de erros

→ É o gráfico que representa a distribuição dos erros sistemáticos e aleatórios ao longo da faixa de medição.

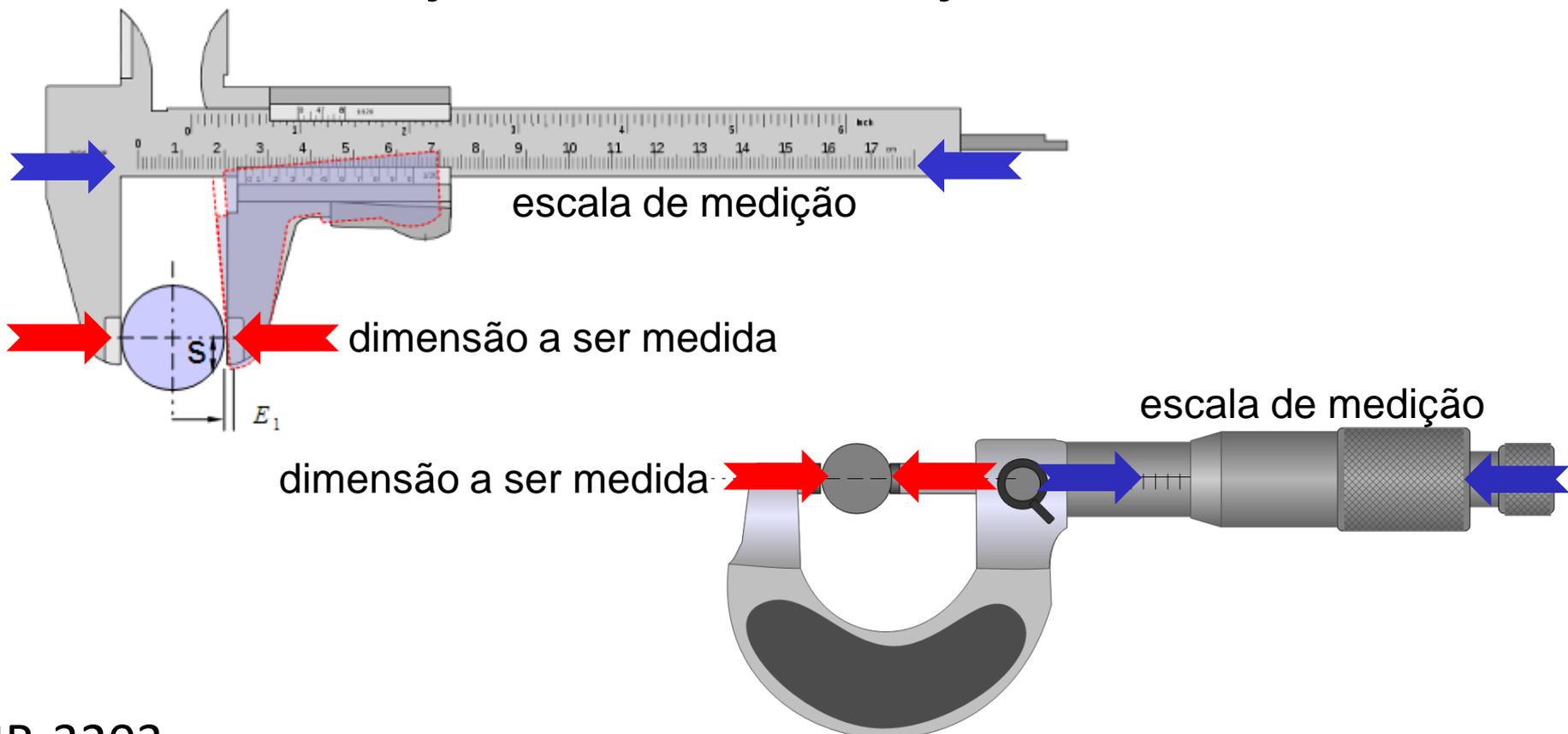




## Princípios de Abbe



**Princípio Abbe:** Para atingir alta precisão em sistema de medição de comprimento, a dimensão a ser medida deve estar alinhada e na mesma direção da escala de medição.





## Equipamentos básicos de medição

→ Instrumentos manuais

PAQUÍMETRO



MEDIDORES DE ÂNGULOS

MICRÔMETRO



Equipamentos básicos de inspeção



MEDIDORES DE ÂNGULOS

COMPARADORES



INSTRUMENTOS ANALÓGICOS



## Equipamentos básicos de medição

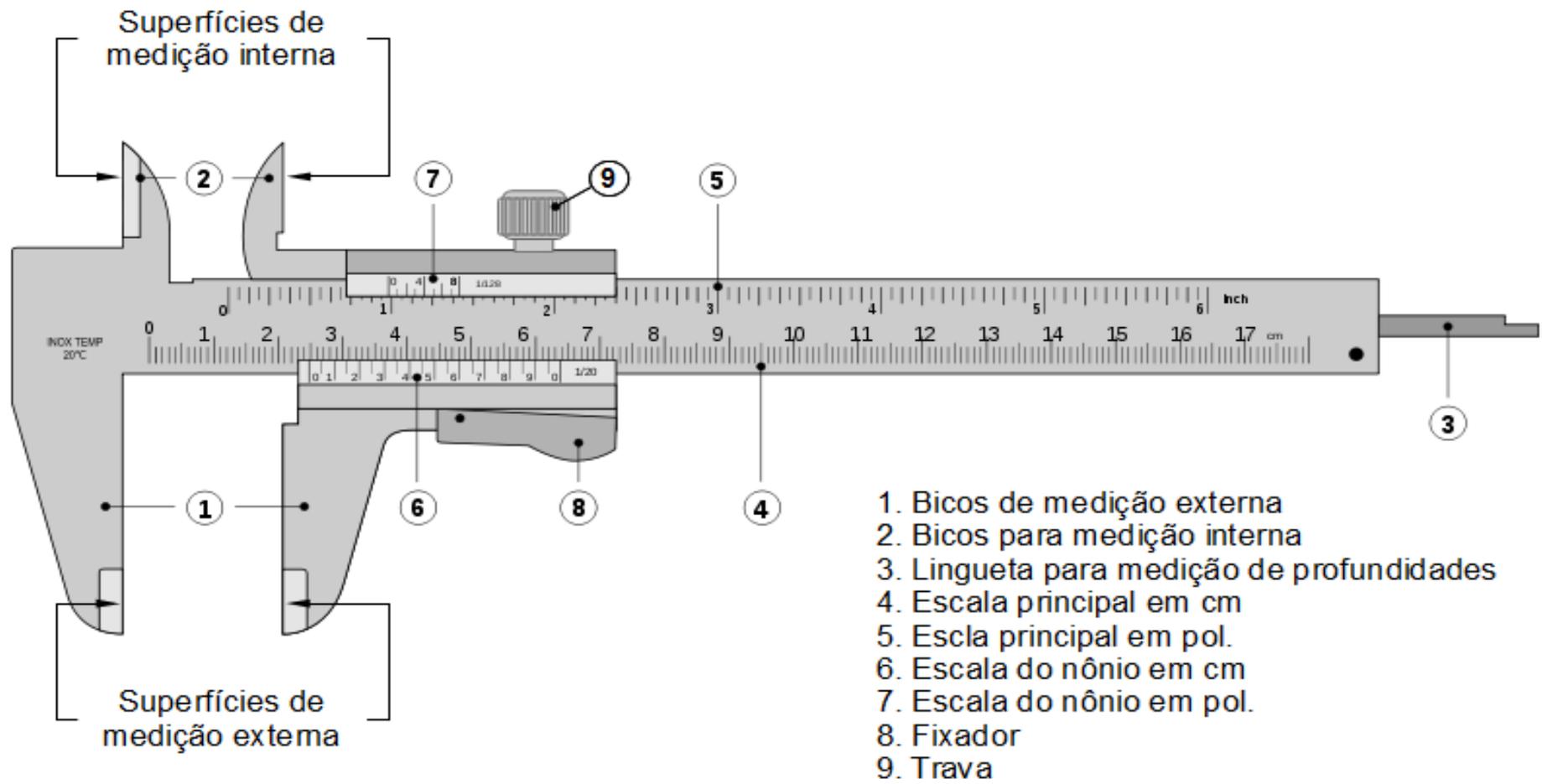
### Paquímetros

- Paquímetros são instrumentos de medição resultante da combinação de uma escala, que serve de padrão de comprimento; dois bicos de medição, como meios de transferência do mensurando, onde um dos bicos está ligado à escala e outro ao cursor; apresentando ainda um interpolador mecânico denominado de nônio, para a indicação entre traços



## Equipamentos básicos de medição

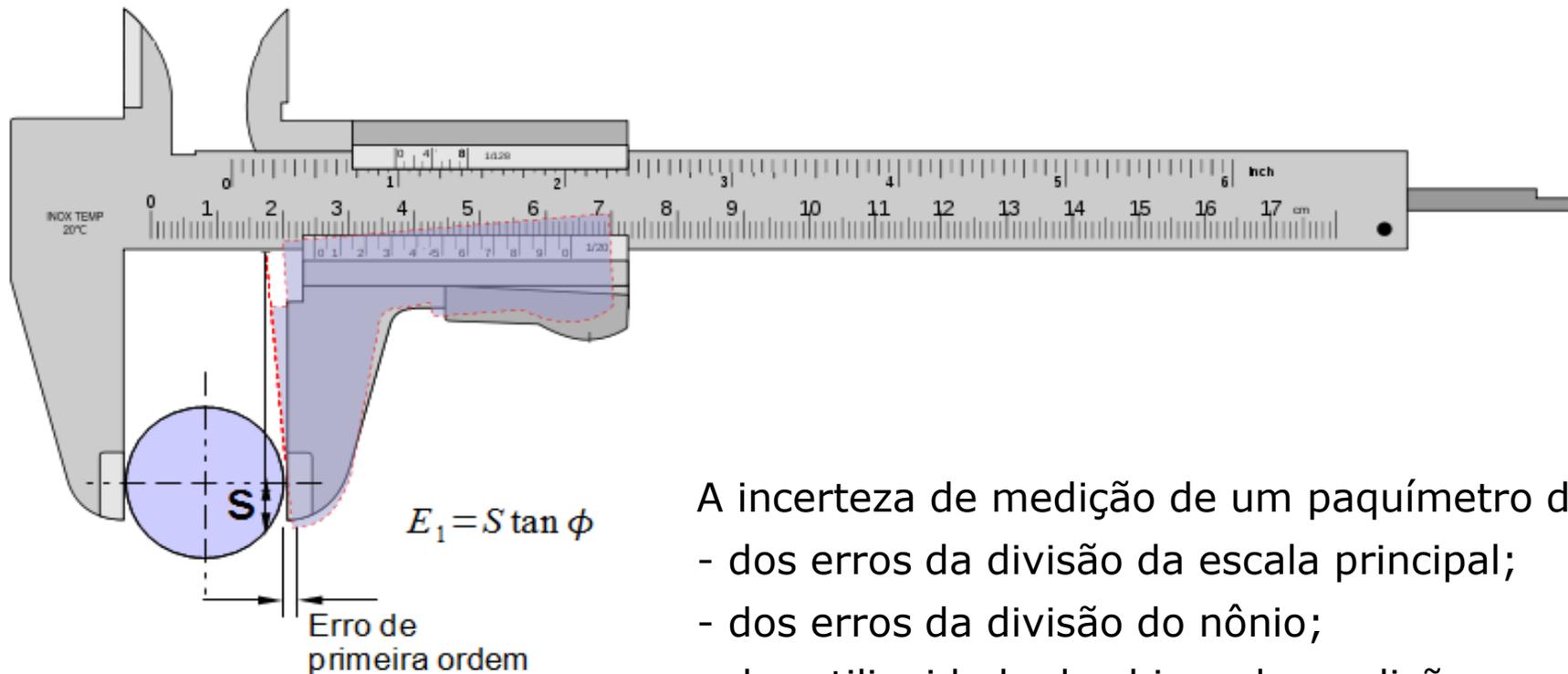
### Paquímetros - Características construtivas





## Equipamentos básicos de medição

### Paquímetros - Erros em paquímetros



A incerteza de medição de um paquímetro depende:

- dos erros da divisão da escala principal;
- dos erros da divisão do nônio;
- da retilineidade dos bicos de medição;
- da perpendicularidade dos bicos de medição em relação à haste e paralelismo entre si;
- dos erros da guia do cursor



## Equipamentos básicos de medição

### Paquímetros





## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### → Paquímetros - Tipos



1. Paquímetro universal com trava superior
2. Paquímetro universal com trava
3. Paquímetro de bico longo
4. Paquímetro para medição de chapas com ajuste
5. Paquímetro para medição de chapas
6. Paquímetro de bicos planos.
7. Paquímetro com 45º estrutura aberta
8. Paquímetro para dentes
9. Paquímetro tipo faca para ranhuras internas
10. Paquímetro para profundidade
11. Paquímetro para ranhuras internas



## Instrumentos básicos da metrologia industrial





## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Micrômetros





## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Micrômetros

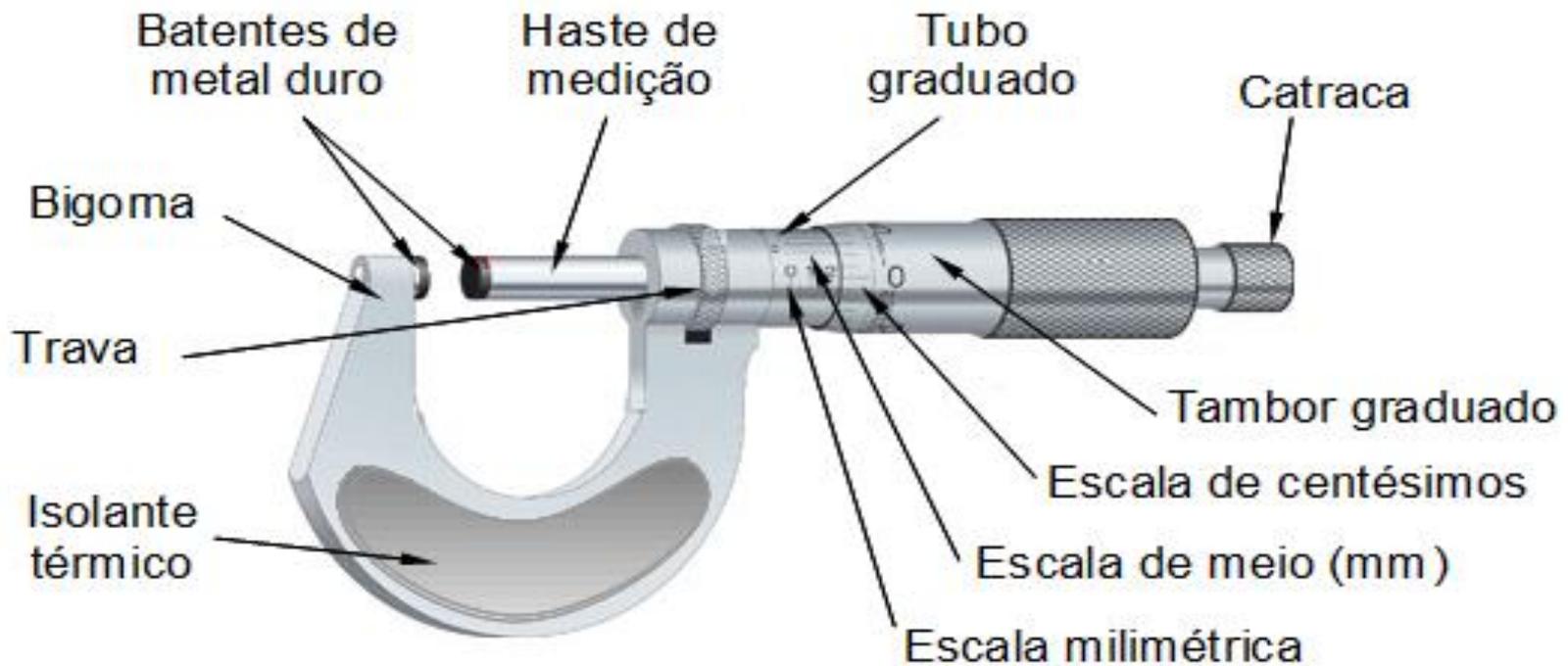
- Micrômetros são instrumentos onde a portabilidade da medida é relacionada a um fuso roscado, cujo passo deve corresponder em precisão e grandeza, aos objetivos da medição. Os micrômetros tem em geral um passo de 0,5 mm para uma rotação completa.



## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Micrômetros

#### Características construtivas

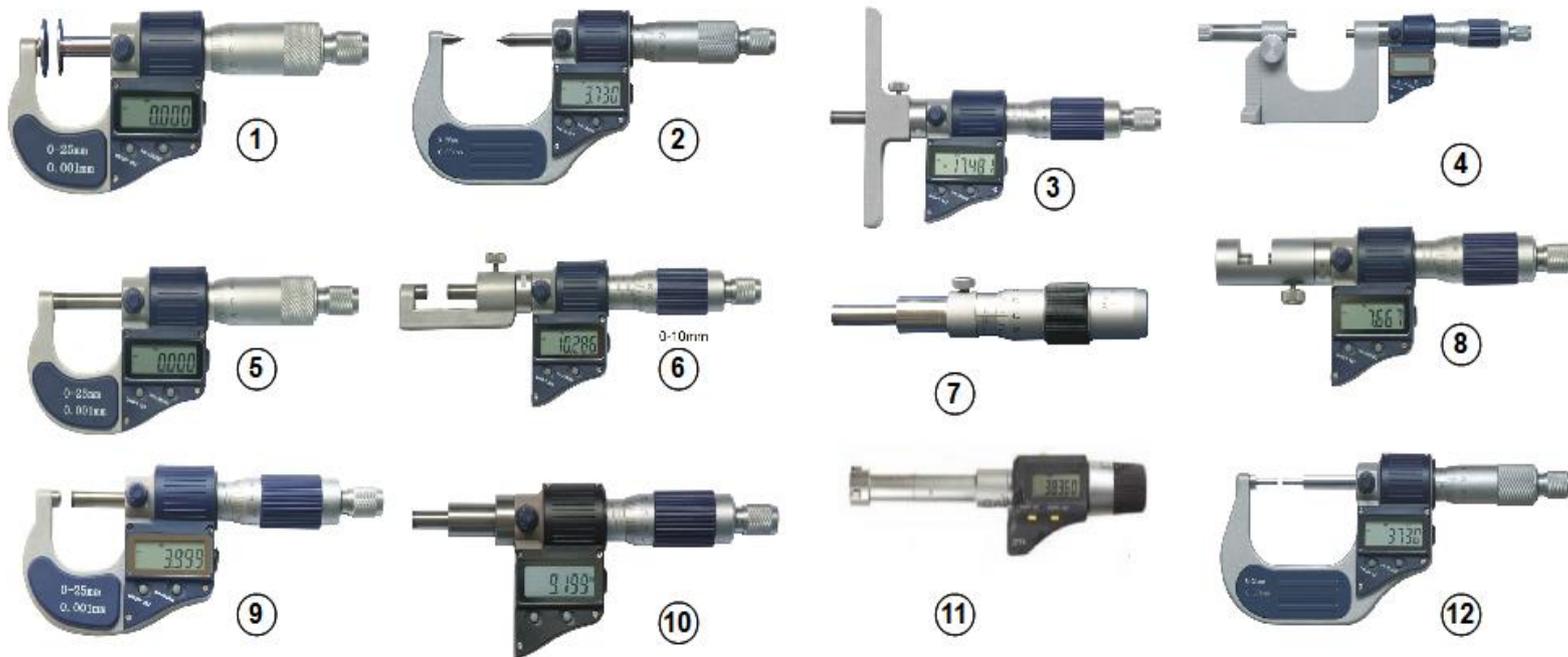




## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Micrômetros

#### Tipos



1. Micrômetro para módulo de engrenagens
2. Micrômetro com pontas
3. Micrômetro para profundidade
4. Micrômetro com ajuste da faixa de operação
5. Micrômetro universal
6. Micrômetro para mancais

7. Parafuso micrométrico
8. Micrômetro para medição de fios
9. Micrômetro para tubos
10. Parafuso micrométrico digital
11. Micrômetro interno
12. Micrômetro para peças frágeis



## Instrumentos básicos da metrologia industrial

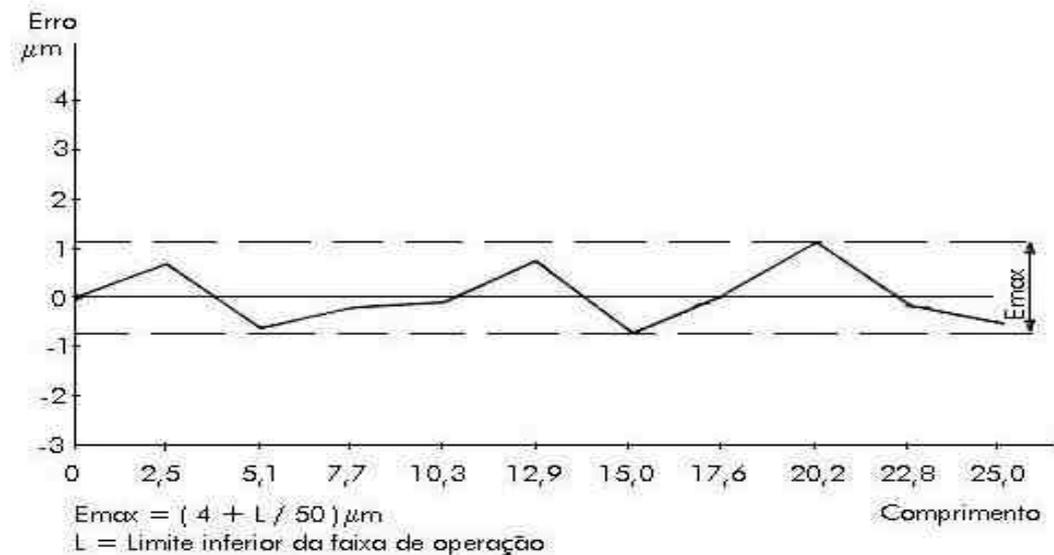
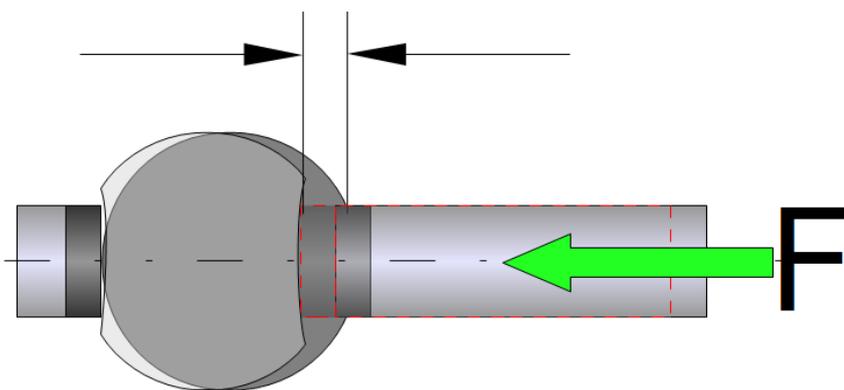
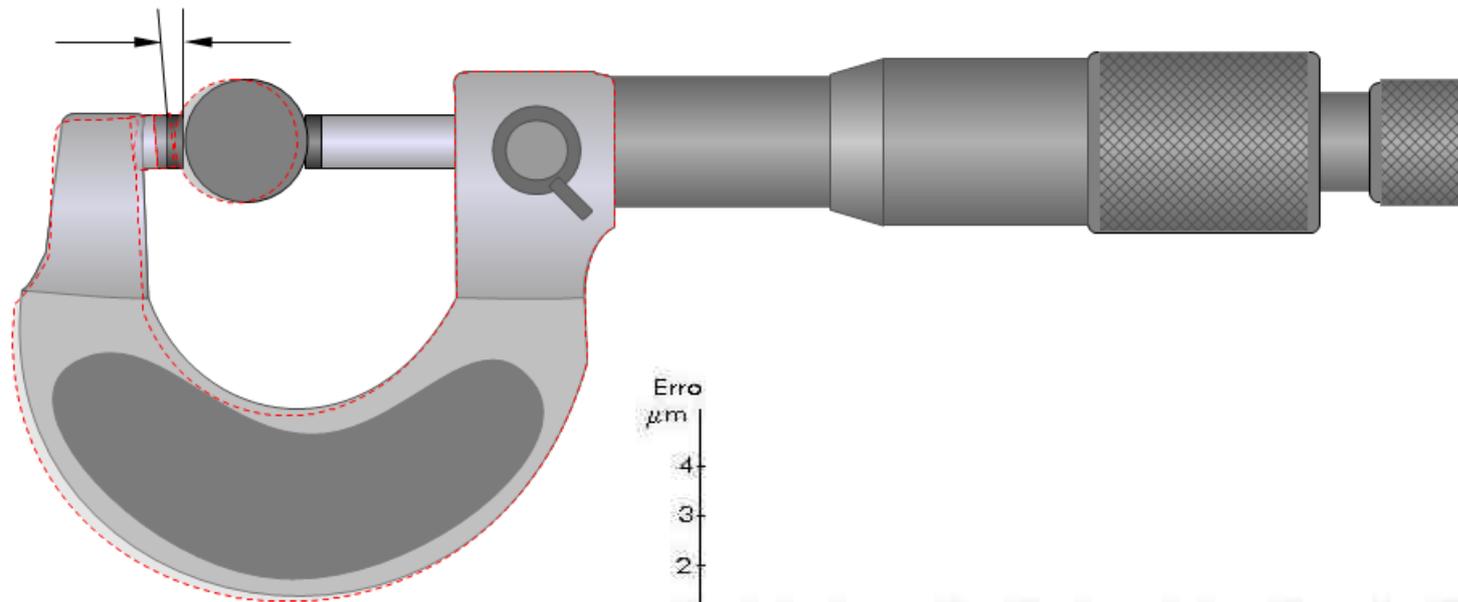
### Micrômetros





## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Erros em Micrômetros





## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Relógios comparadores

São instrumentos capazes de medir deslocamentos lineares.

Características construtivas

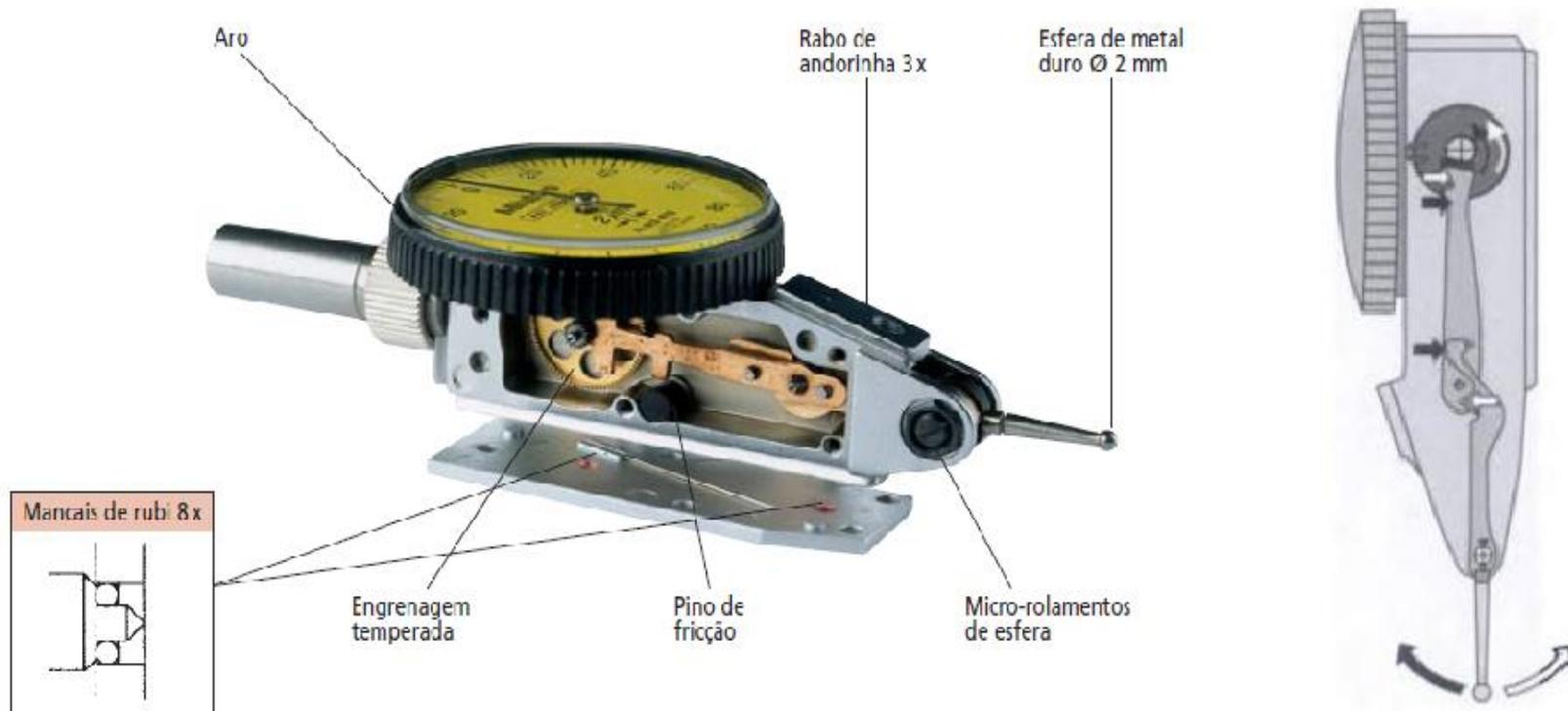




## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Relógios comparadores

#### Características construtivas

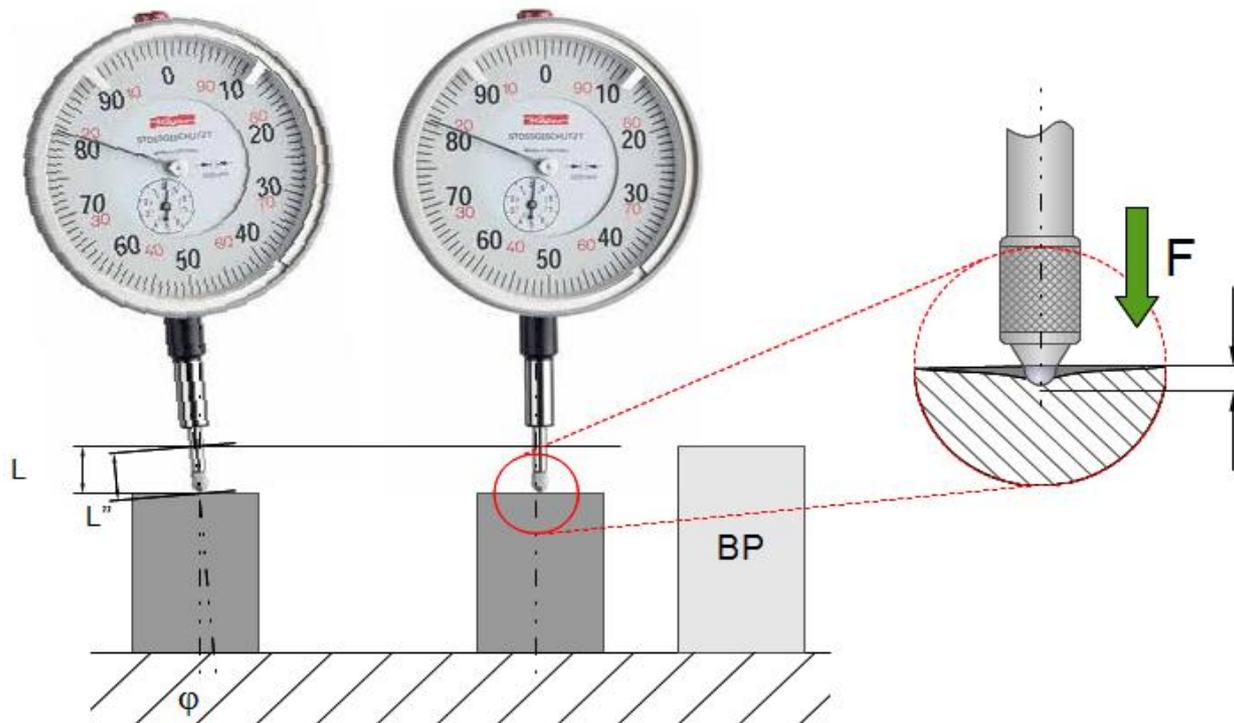




## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Relógios comparadores

→ Erros em relógios comparadores



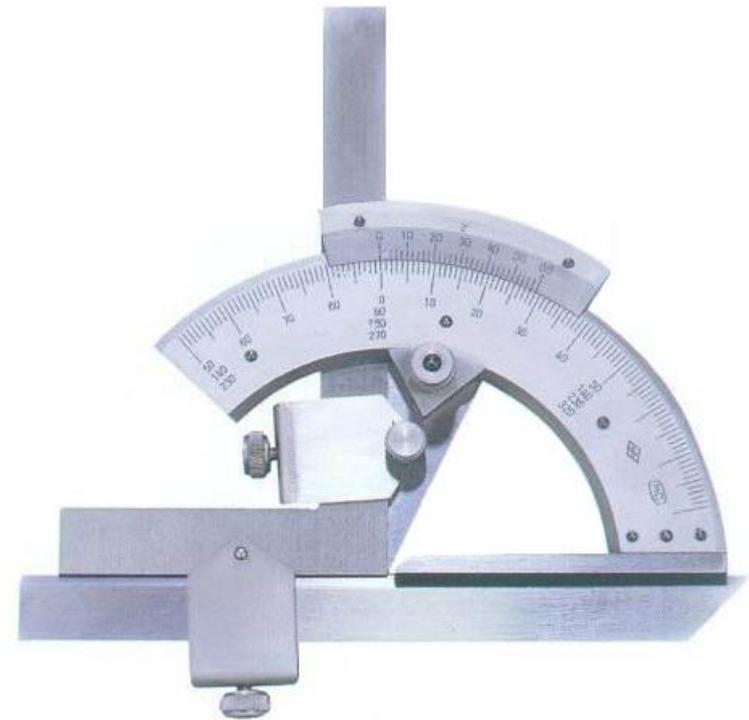
$$\Delta L = L' - L = \frac{\phi}{2}$$





## Instrumentos básicos da metrologia industrial

### Medidores de ângulos





## Seleção dos equipamentos de medição

### REQUISITOS

- faixa de operação
- Incerteza de medição
- aplicabilidade
- capacidade
- adaptabilidade a produção
- custo
- outros

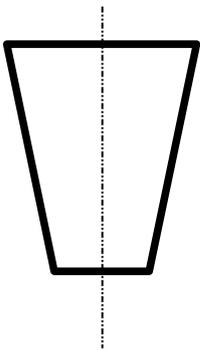


SELEÇÃO

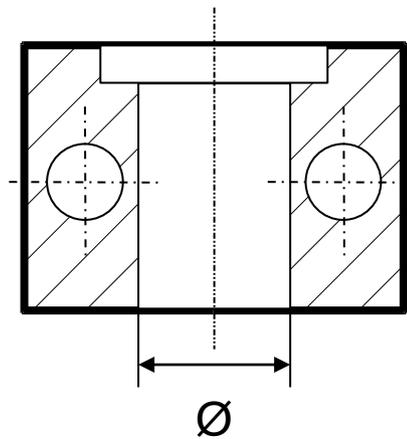


## Análise Geométrica

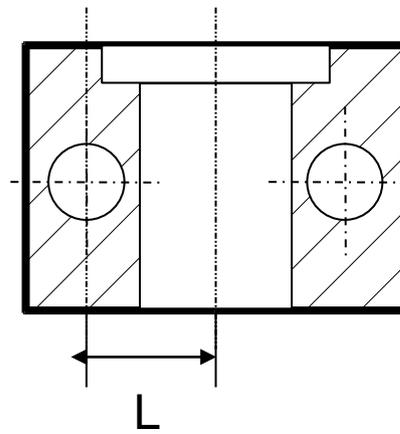
FORMA



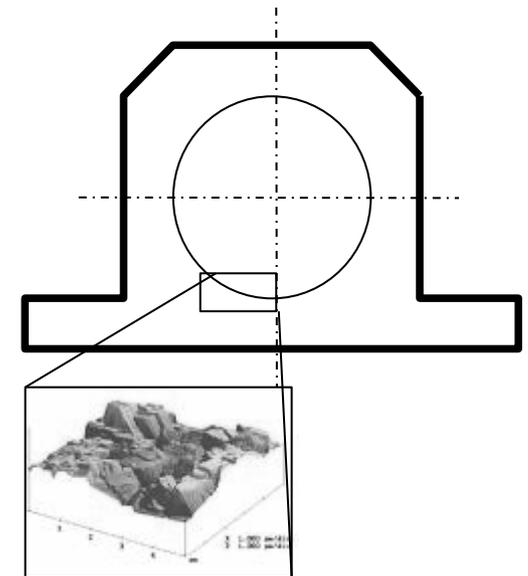
DIMENSÃO



POSIÇÃO

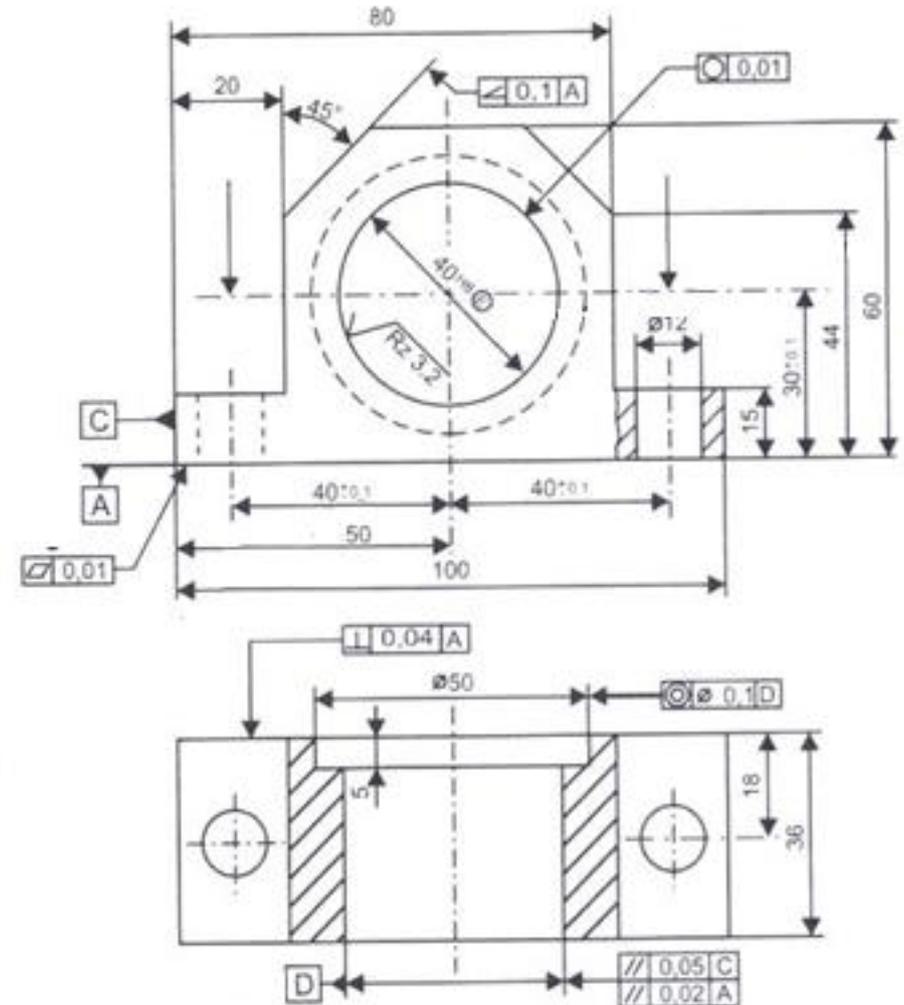
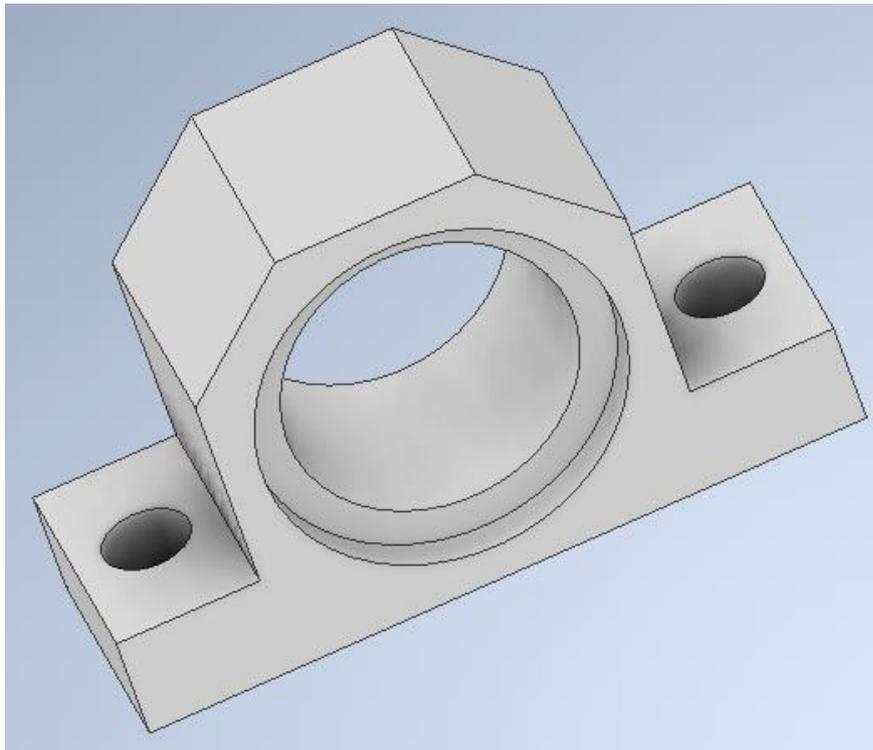


TEXTURA





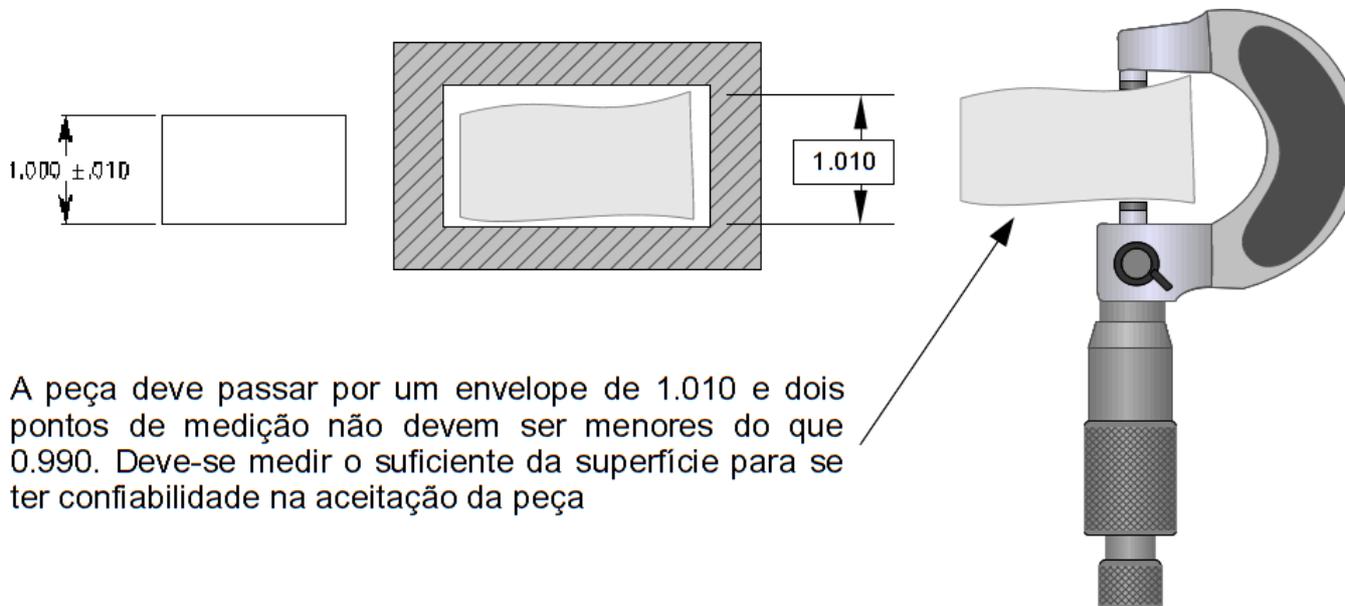
## Análise Geométrica





## Inspeção geométrica

- Inspeção geométrica é uma relação de trabalho e risco
- É comum pessoas ligadas a produção acharem que os testes devem ser realizados toda vez que são definidas tolerâncias a uma peça. O que não acontece.
- Inspeção geométrica é uma relação de trabalho e risco



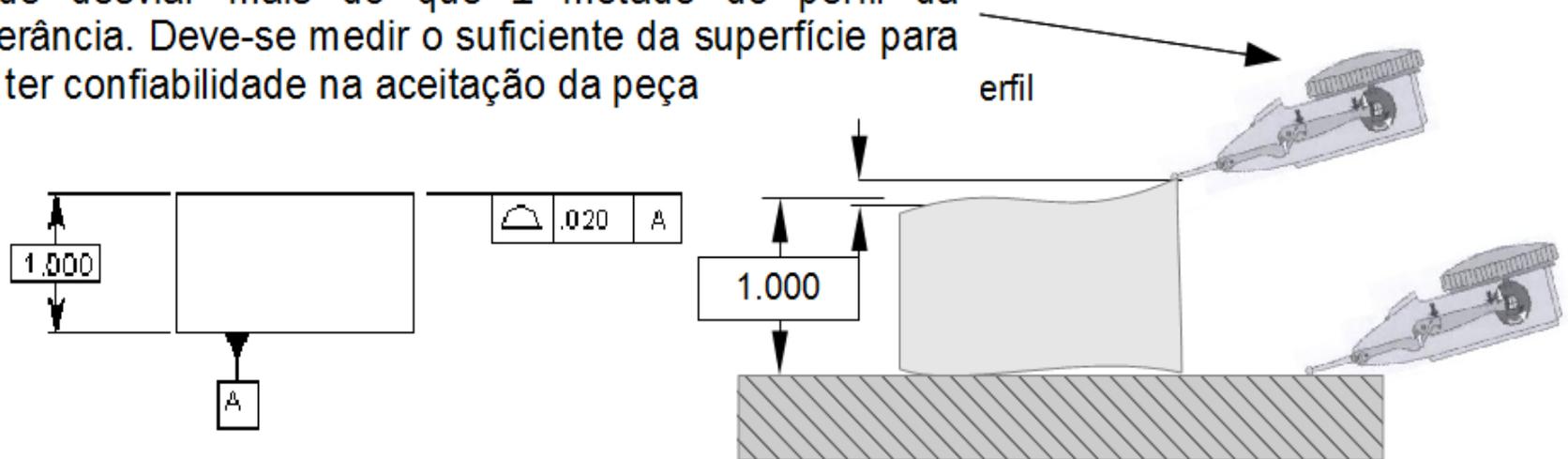


## Inspeção geométrica

Inspeção geométrica é uma relação de trabalho e risco.

Exemplo:

A indicação Zero na referência base. O indicador não pode desviar mais do que  $\pm$  metade do perfil da tolerância. Deve-se medir o suficiente da superfície para se ter confiabilidade na aceitação da peça





## Tolerâncias geométricas mais comuns

	TIPO DE TOLERÂNCIA	CARACTERÍSTICA	SIMBOLO
<b>FEATURES INDIVIDUAIS</b>	<b>FORMA</b>	Linearidade	
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	
<b>FEATURES RELATIVAS</b>	<b>PERFIL</b>	Perfil de uma linha	
		Perfil de uma superfície	
<b>FEATURES RELACIONADAS</b>	<b>ORIENTAÇÃO</b>	Inclinação	
		Perpendicularismo	
		Paralelismo	
	<b>BATI-MENTO</b>	Batimento circular	
		Batimento total	
	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	Posição	
		Concentricidade	
		Simetria	



## Tolerâncias geométricas mais comuns

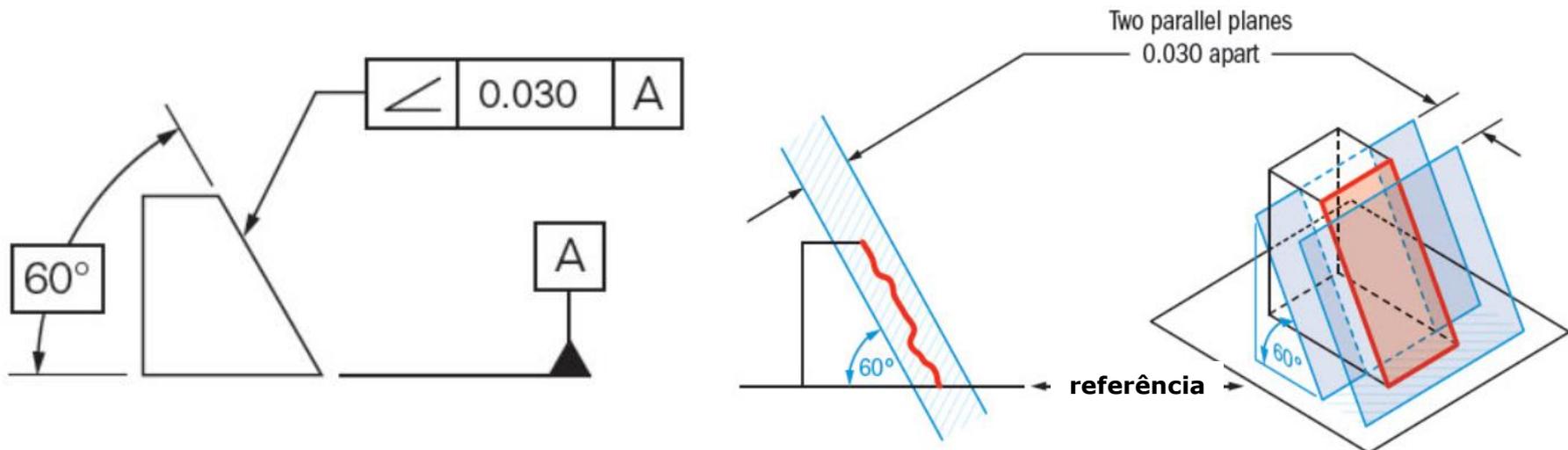
<b>FEATURES RELACIONADAS</b>	<b>ORIENTAÇÃO</b>	Inclinação	
		Perpendicularismo	
		Paralelismo	
	<b>BATI- MENTO</b>	Batimento circular	
		<b>Batimento total</b>	
	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	Posição	
		Concentricidade	
		Simetria	



## Desvios de forma

### Tolerância de inclinação

- A medição da inclinação é determinada por dois planos paralelos ou linhas que são orientadas no ângulo especificado em relação a uma referência. Todos os pontos na superfície referenciada devem cair nesta zona de tolerância.

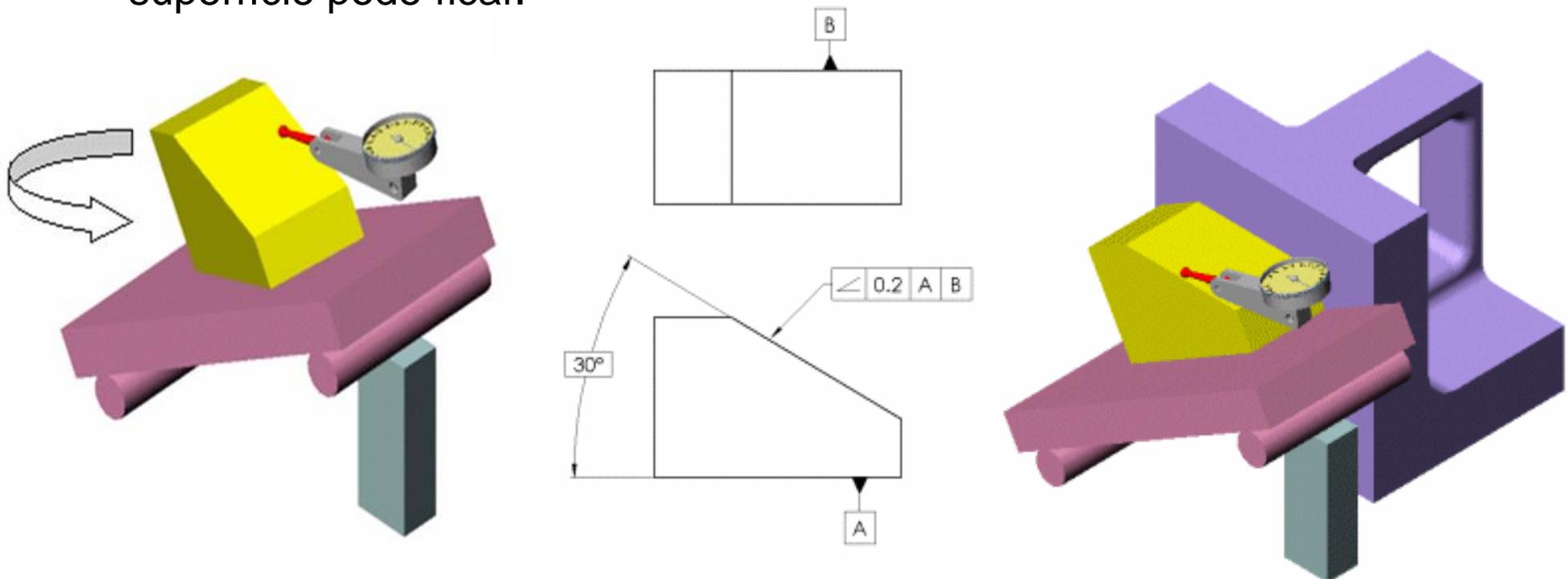




## Desvios de forma

### Tolerância de inclinação

**Atenção:** a inclinação não controla diretamente o ângulo da superfície referenciada. Ele controla o envelope (como o nivelamento) que toda a superfície pode ficar.



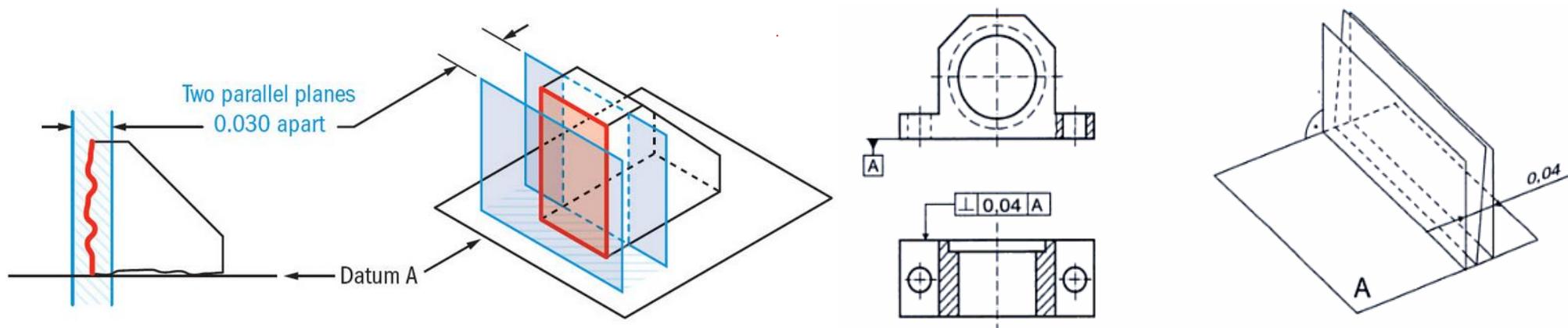


## Desvios de forma

### Tolerância de Perpendicularidade



- A perpendicularidade é medida utilizando dois planos ou linhas paralelas orientadas perpendicularmente ao recurso ou superfície de referência. Os planos são mantidos perpendiculares a referência, mas garantem apenas que todo o recurso caia na zona de tolerância.

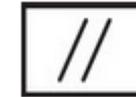


<https://www.gdandtbasics.com/perpendicularity/>

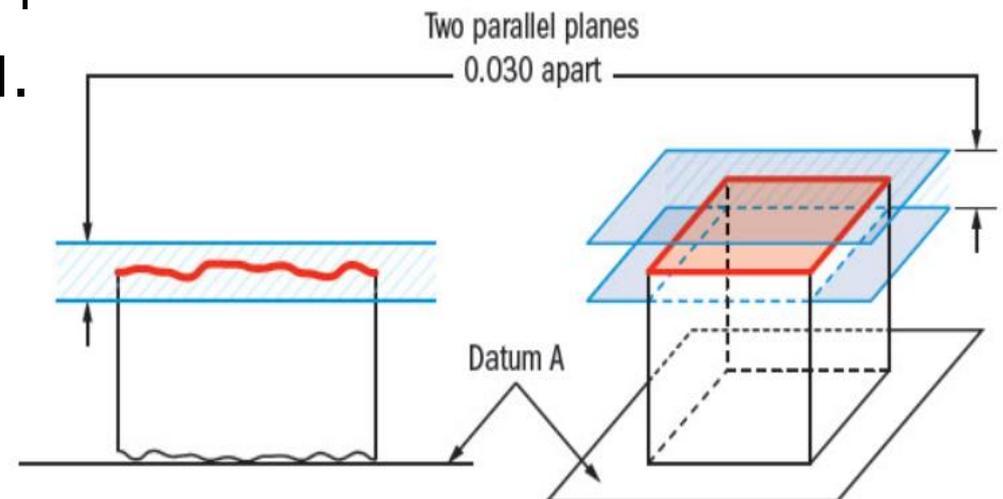
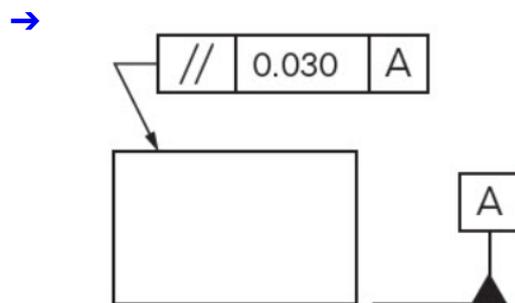


## Desvios de forma

### Tolerância de Paralelismo



- O Paralelismo é medido por meio de dois planos ou linhas paralelas que são orientadas paralelamente ao recurso ou superfície de referência. Todos os pontos que estão no recurso referenciado devem estar na zona de tolerância.
- É mais comumente relacionada a orientação de um plano de superfície paralelo a outro plano de referência em uma zona de tolerância tridimensional.





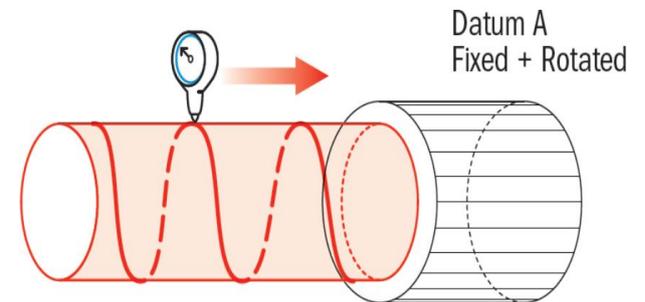
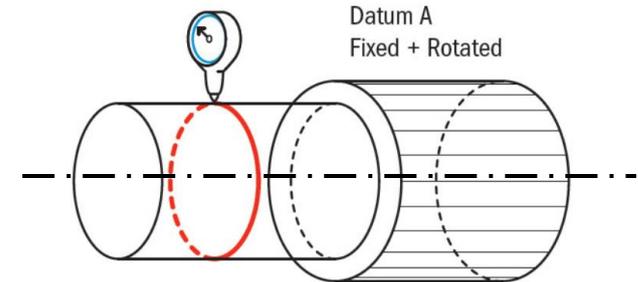
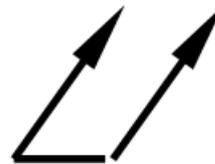
## Tolerâncias de movimentação

Tolerâncias de movimentação

Bstimento circular



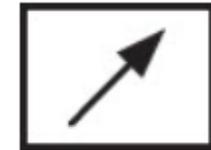
Batimento total



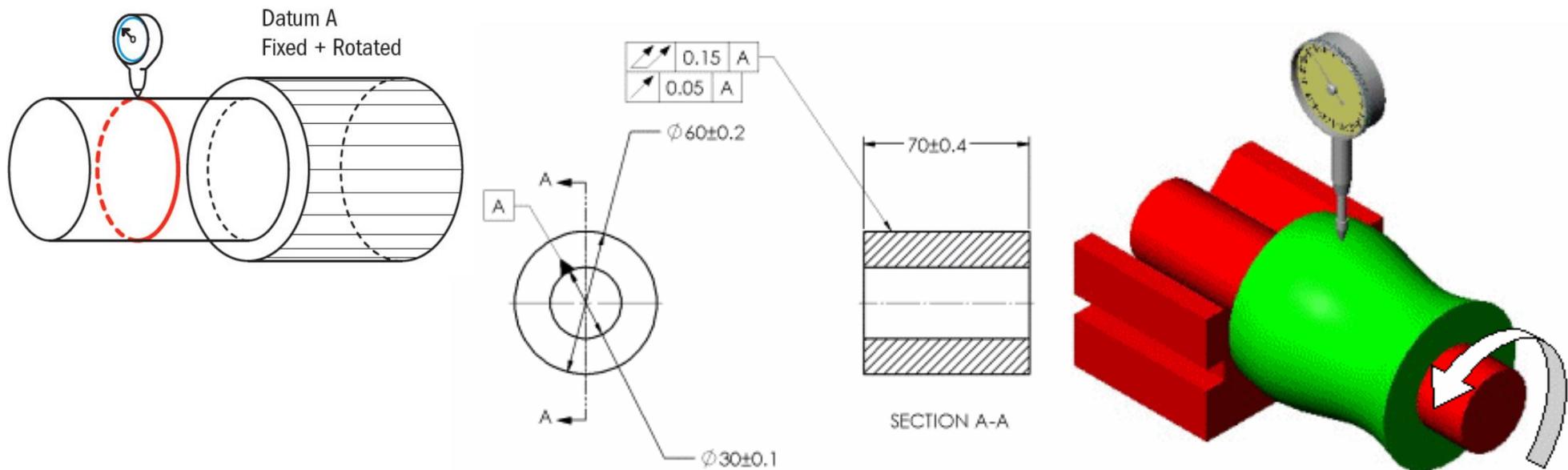


## Desvios de forma

### Tolerância de Batimento circular



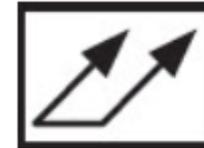
- O Batimento ou *runout* é o quanto um determinado recurso ou recursos de interesse variam em relação a uma outro quando a peça é girada 360 ° em torno do eixo de referência.



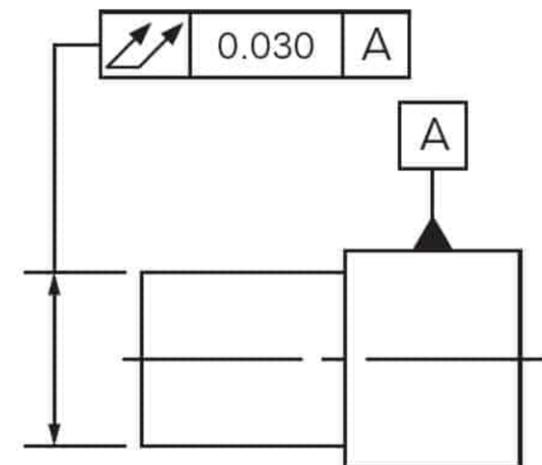
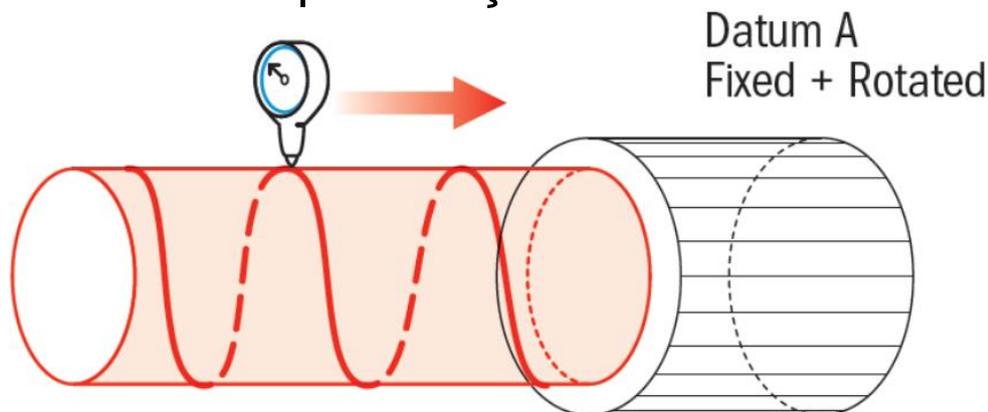


## Desvios de forma

### Tolerância de Batimento Total



- O batimento total é definido como sendo um recurso ou superfície inteira varia em relação a um referência quando a peça é girada 360 ° em torno do eixo.
- O batimento total é geralmente observado em uma peça que é girada em torno de um eixo onde toda a superfície é crítica para estar dentro das especificações



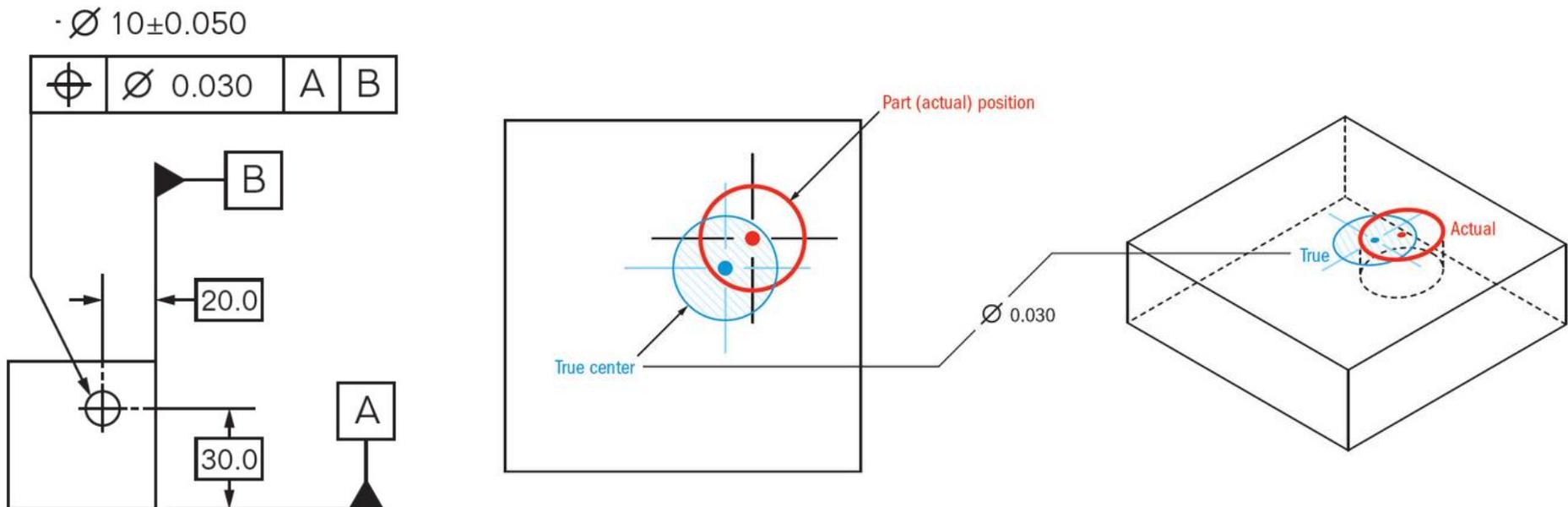


## Desvios de forma

### Tolerância de posicionamento



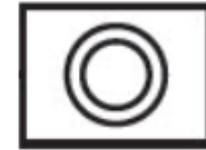
- A tolerância posição é uma zona de tolerância bi ou tri-dimensional que circunda o verdadeiro local onde um recurso deve estar. Normalmente, ao especificar a posição verdadeira, uma referência é estabelecida com coordenadas X e Y que são dimensões básicas.



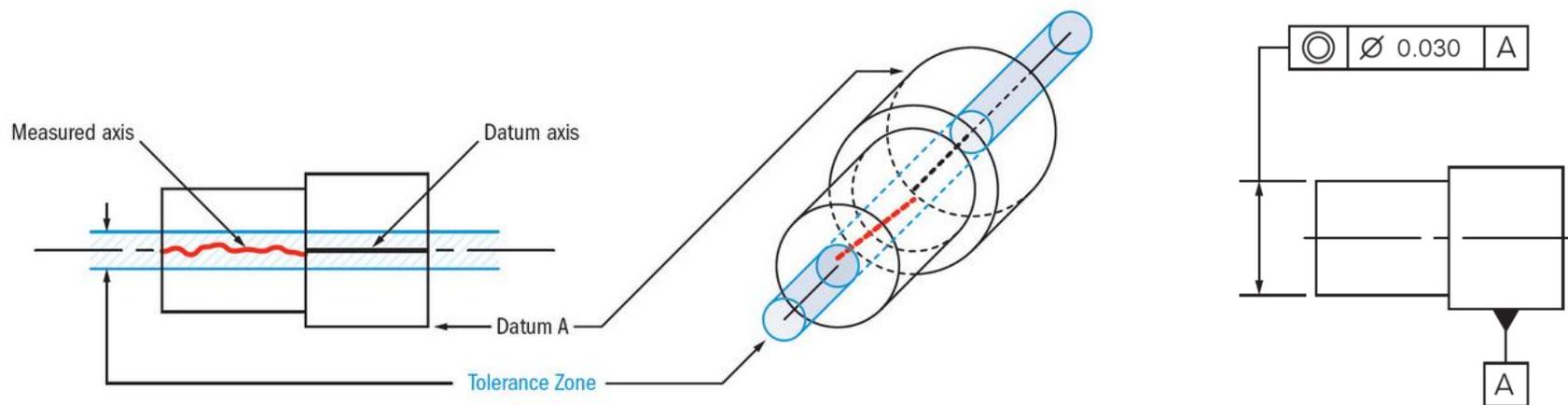


## Desvios de forma

### Tolerância de concentricidade



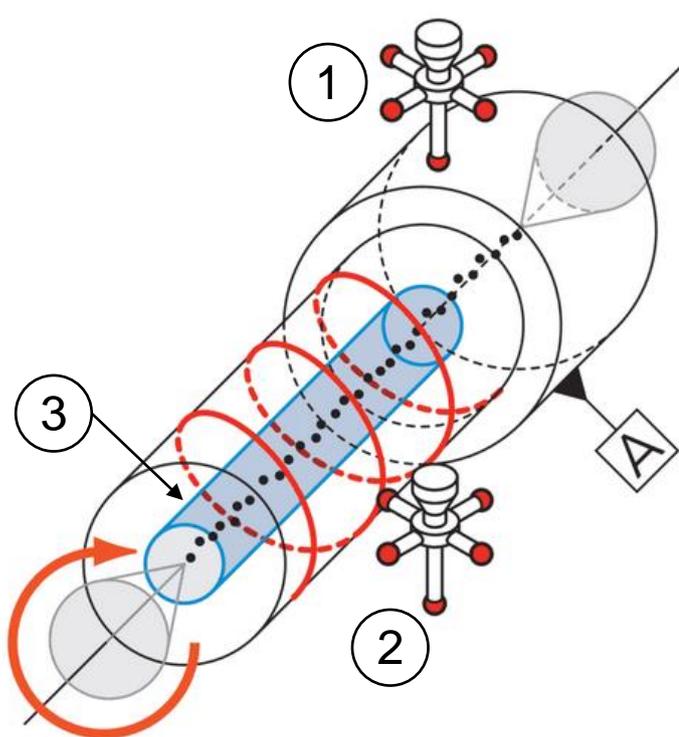
Concentricidade, às vezes chamada coaxialidade, é uma tolerância que controla o desvio do eixo central medido com relação a um eixo de referência. Os eixos medidos e de referência são derivados dos pontos medianos da peça ou de um padrão.





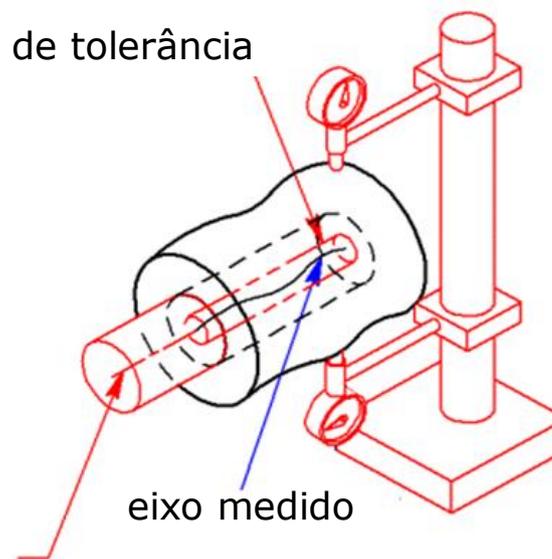
## Desvios de forma

### Tolerância de concentricidade



- A** ➤ Superfície (cilindro) de referência
- 1** ➤ Medição para determinar o eixo de referência de **A**
- 2** ➤ Medição da região de interesse
- 3** ➤ Determinação do desvio com relação ao eixo de referência

Campo de tolerância



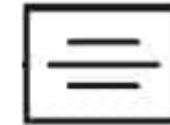
eixo de referência

eixo medido

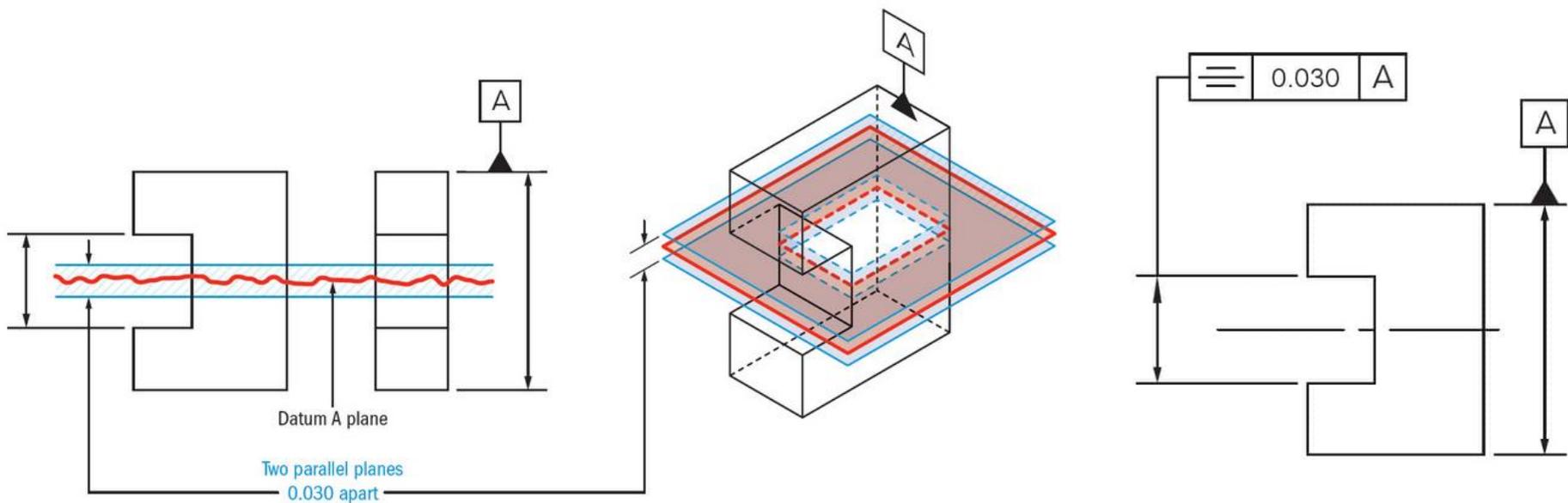


## Desvios de forma

### *Tolerância de simetria*



- Planos paralelos em lados iguais de um plano de referência central. Os pontos medianos das superfícies simétricas devem estar todos dentro desta zona





## Tolerâncias geométricas mais comuns

FEATURES INDIVIDUAIS	FORMA	Linearidade	
		Planeza	
		Circularidade	
		Cilindricidade	

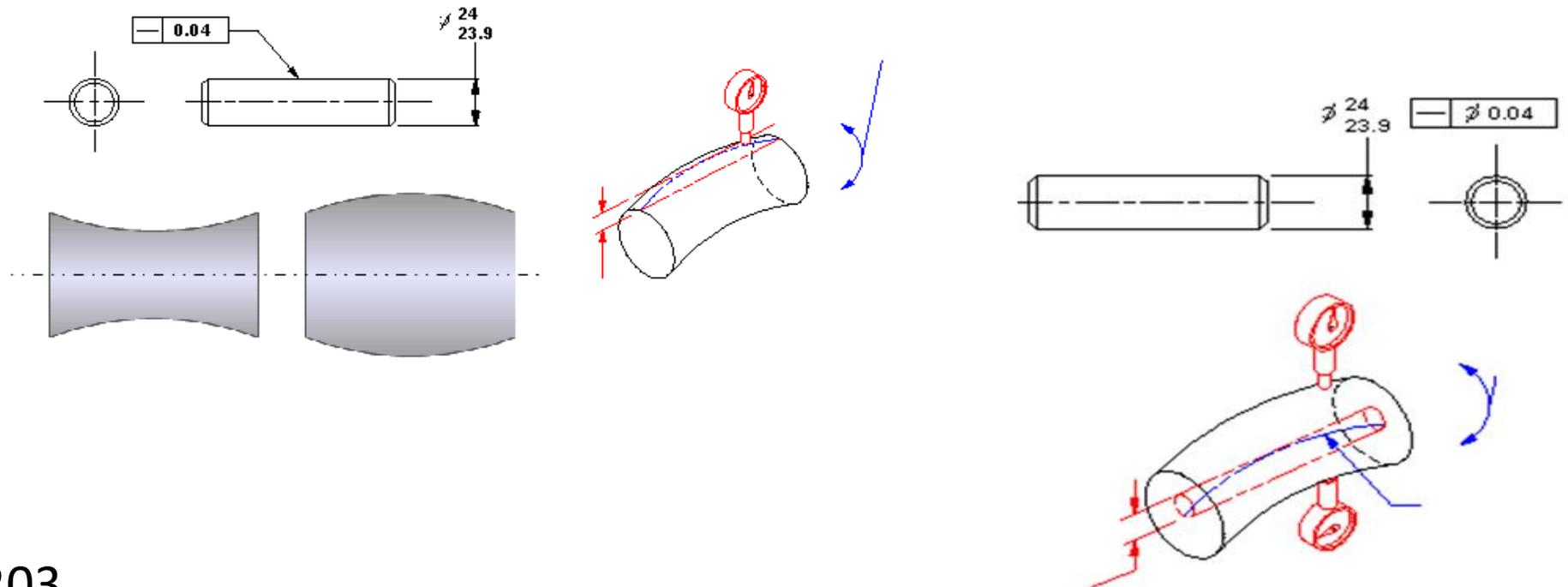


## Desvios de forma

### Tolerância de retilidade

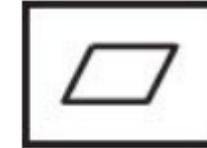


- A retilidade ou retidão do eixo é uma tolerância que controla a quantidade de desvio de curva permitida no eixo de referência da peça. Esta tolerância especifica o quão reto é o eixo de uma peça (geralmente um cilindro)..

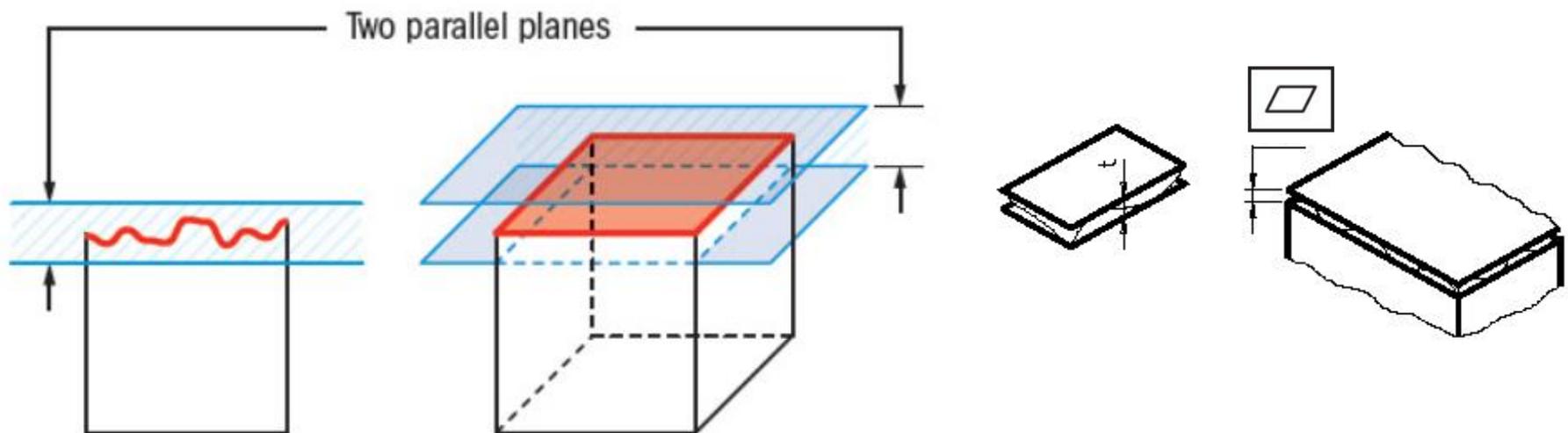




## Desvios de forma Tolerância de planeza



- A Planeza faz referência ao quão plana uma superfície é, independentemente de quaisquer outras referências ou recursos. A tolerância de planeza faz referência a dois planos paralelos (paralelos à superfície em que é chamada) que definem uma zona onde toda a superfície de referência deve estar.

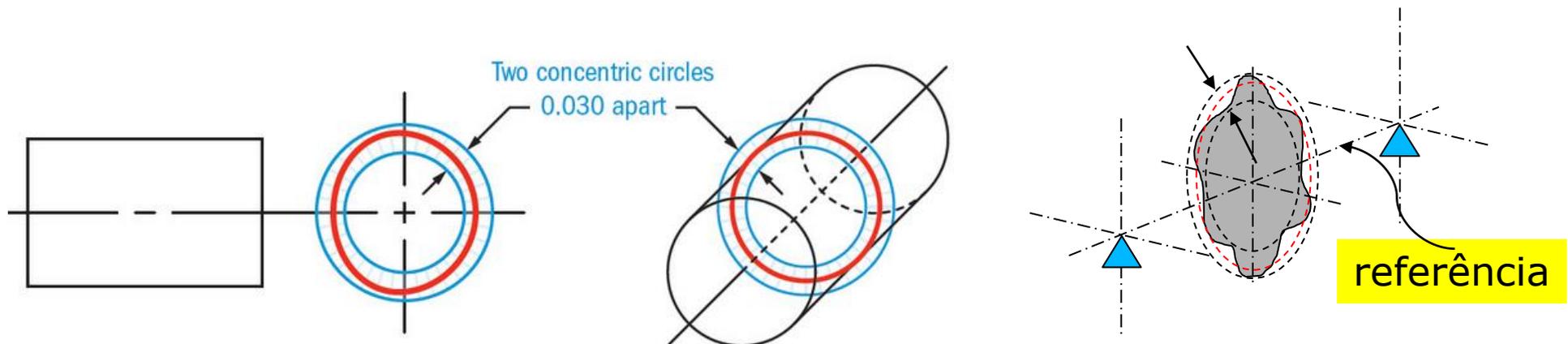




## Desvios de forma Circularidade



- A Tolerância de circularidade é definida como sendo os desvios que qualquer círculo deve apresentar, desde que estejam dentro de uma faixa definida por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância especificada



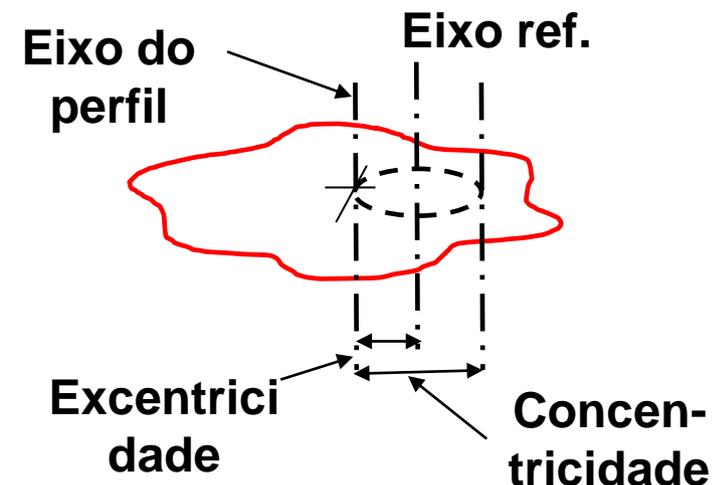
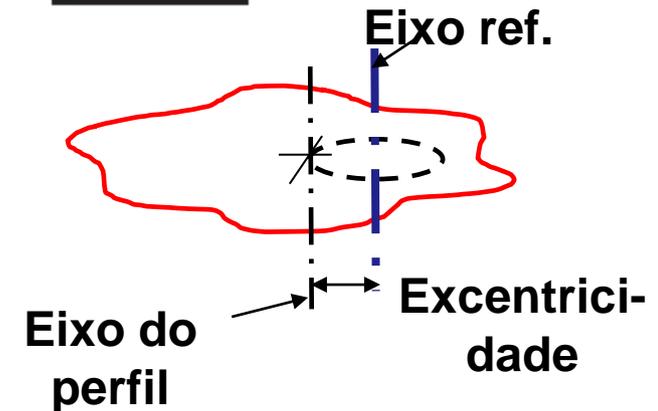
- A medição da circularidade necessita da definição de um eixo de referência, geralmente provido por um sistema rotacional.



## Desvios de forma Circularidade

- **Excentricidade** – é definida com o desvio do centro de um perfil com relação ao eixo de referência. É um vetor, com módulo, direção (ângulo) e sentido.
- **Concentricidade** – é o desvio dos eixos de cada seção de uma superfície de revolução com relação ao eixo de referência. É a órbita do eixo de perfil com relação ao eixo de referência.

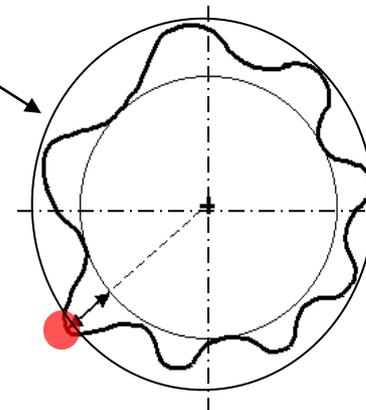
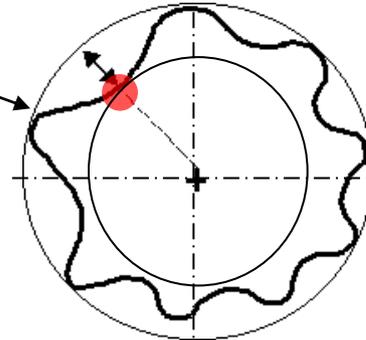
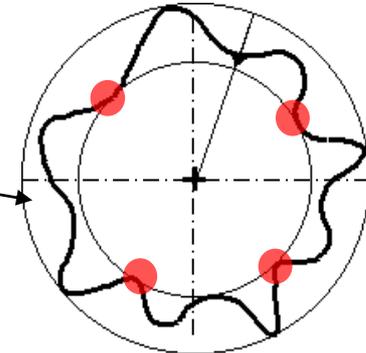
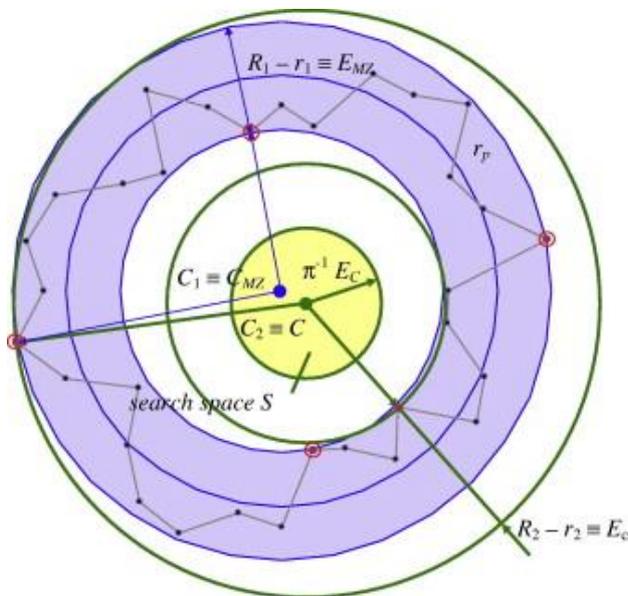
A concentricidade é 2X a excentricidade





## Desvios de forma Circularidade

- Círculo de mínima zona MZC
- Mínimo círculo circunscrito
- Máximo círculo inscrito



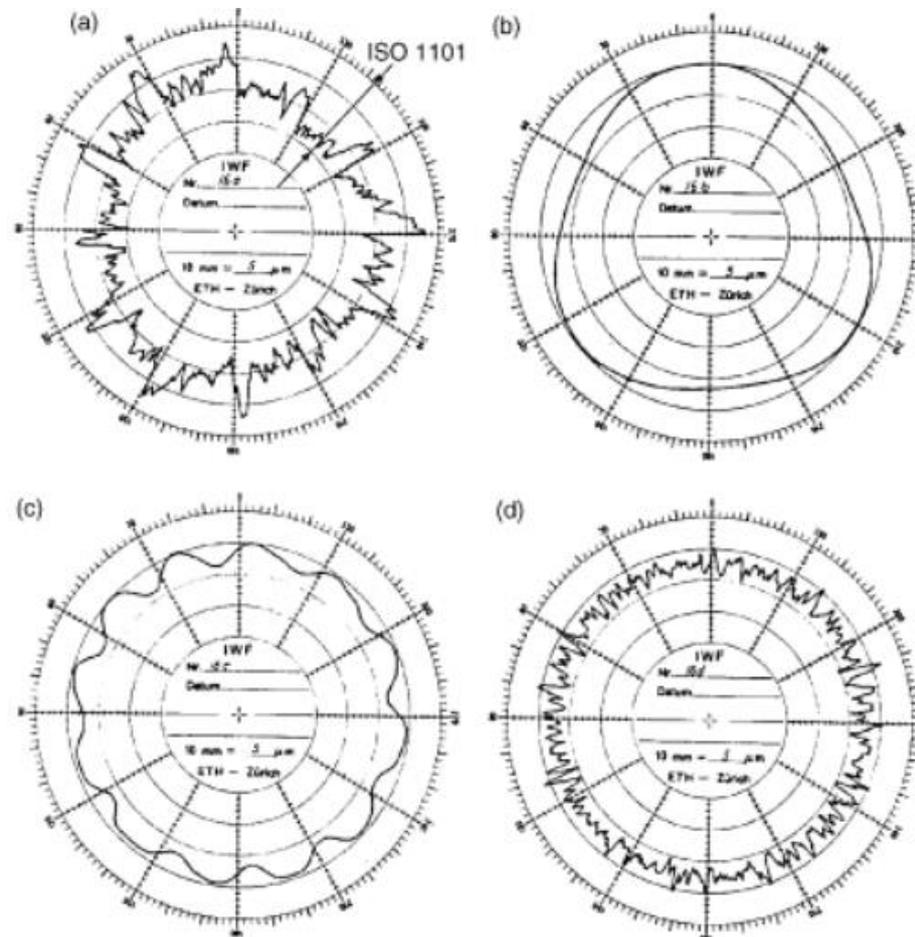


## Desvios de forma

### Circularidade

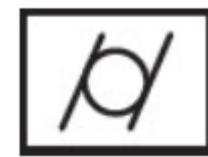


- Medição de alta precisão por Múltiplos Perfis com diferentes filtros

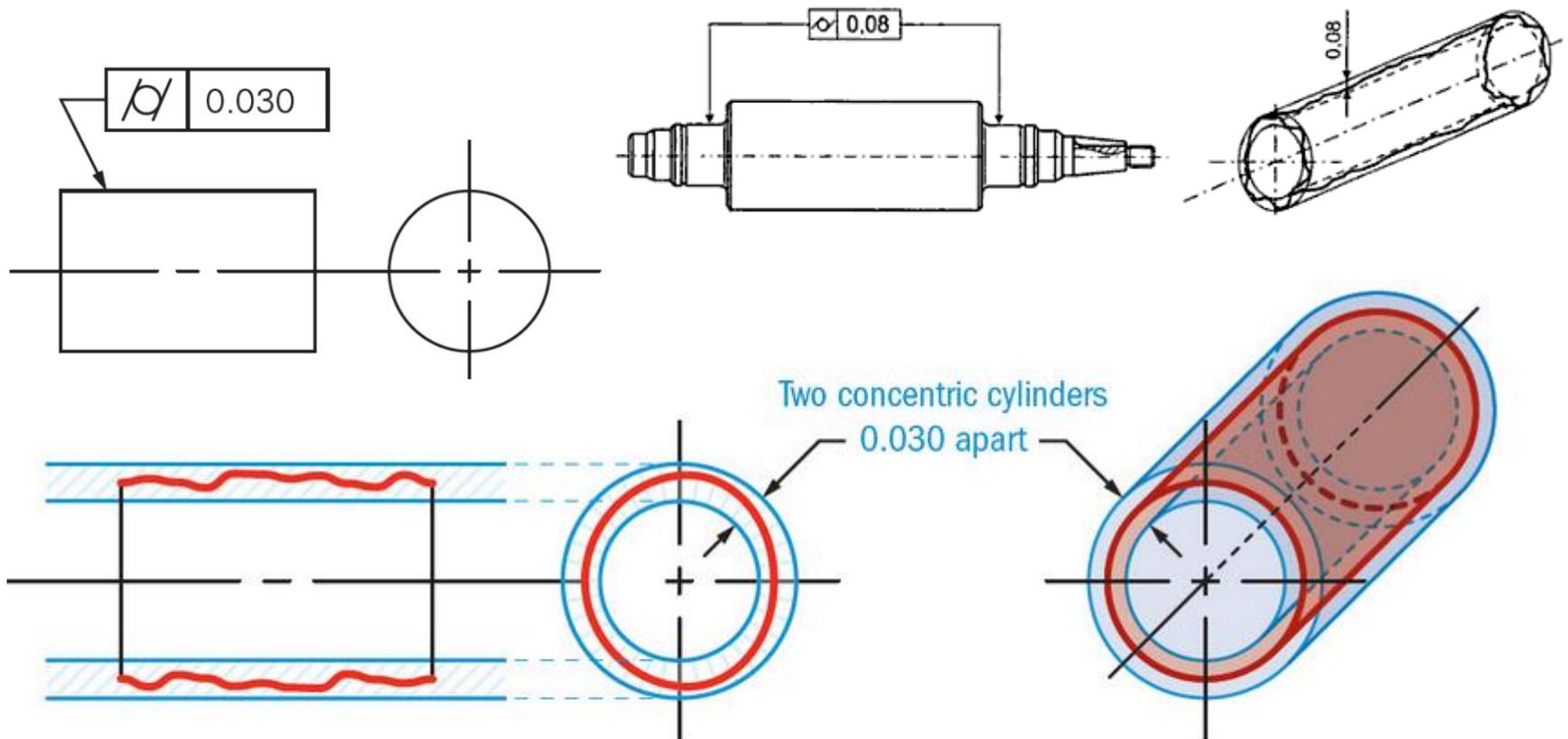




## Desvios de forma Cilindricidade

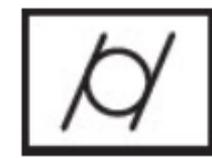


- A Tolerância de cilindridade é a condição pela qual a zona de tolerância especificada é a distância radial entre dois cilindros coaxiais.





## Desvios de forma Cilindricidade



- De acordo com a norma ISO 1101, o desvio de cilindridade é a soma das máximas distâncias radiais da superfície da peça com relação a um cilindro de referência

