

## INTRODUÇÃO

Este trabalho nasceu, além da necessidade de se ter uma fonte de consulta, com finalidade de se reunir, de uma forma bem simples, material que auxiliasse a todas aquelas pessoas envolvidos em atividades voltadas para a Metrologia Dimensional, pois entendemos que a tarefa de medir está presente nas mais variadas atividades, tanto na produção como na comercialização dos produtos

É de nosso interesse que todos, ligados à Metrologia Dimensional, tenham neste a oportunidade de obter informações a respeito da Metrologia em nível nacional e internacional, da rastreabilidade de produtos e serviços, das hierarquias metrológicas, do vocabulário de termos metrológicos, de tabelas e da utilização de instrumentos de medição de uma forma bastante simples, pois nossa intenção, assim como a daqueles que serviram de subsidio para elaboração deste trabalho é mostrar a Metrologia Dimensional e seus recursos instrumentais, tais como eles são, muito simples.

Buscamos, com isso, adequar todos ao novo modelo de desenvolvimento em que se privilegia a eficiência num mercado não mais protegido, o que os levará a adotarem medidas de ajuste a este ambiente mais aberto e competitivo

Acreditamos que, com a utilização destas informações, todos poderão obter grandes benefícios em suas atividades práticas, tanto em nível acadêmico como no profissional.



## O CARÁTER NACIONAL DA METROLOGIA

O Sistema Metrológico Brasileiro se encontra, atualmente, em uma fase de grandes mudanças e expansão, motivado pela recente implantação de Um Novo Modelo de Desenvolvimento do País. Estas mudanças ocorrem, simultaneamente, às grandes mudanças que o Sistema Econômico Mundial vem sofrendo com a Globalização da Economia e a formação de Blocos de Cooperação Econômica que estão se estruturando em várias regiões do nosso planeta.

Essas mudanças criam enormes desafios que envolvem, por um lado, toda a sorte de demandas dos setores que necessitam serviços metrológicos e, por outro, a criação de novos instrumentos institucionais para adaptar o sistema existente às novas situações criadas pelas mudanças internas e externas ao País. Não se pode esquecer, ainda, que a própria Tecnologia Metrológica vem sofrendo grande evolução, necessária para atender novas demandas criadas pelos modernos processos de produção, tanto do ponto de vista das novas tecnologias utilizadas, quanto das novas formas de gestão dos processos de produção.

As mudanças no modelo de desenvolvimento, através da nova Política Industrial e de Comércio Exterior, abrem a economia, introduzem no país os modernos conceitos de Qualidade e Produtividade e criam novas demandas de serviços metrológicos, em quantidade e qualidade muito superiores às exigidas pelo antigo modelo de economia fechada e de reserva de mercado.

As mudanças que vêm ocorrendo no Sistema Econômico Mundial não estão, ainda, consolidadas e geram grandes indefinições sobre os detalhes dos cenários futuros. Esta indefinição e a forma de sua evolução, bem como os caminhos a serem tomados pelo Sistema Produtivo Nacional para enfrentar a nova conjuntura, representa um grande desafio para os planejadores das ações necessárias para tornar o Sistema Metrológico Brasileiro adequado à nova realidade e ao acompanhamento de sua evolução.

O País já conta com um Sistema Metrológico efetivamente implantado, uma Legislação Metrológica baseada em conceitos modernos e, apesar de suas muitas deficiências, constitui uma base sólida para ser adaptado às novas necessidades. As deficiências estão, em grande parte, ligadas a problemas externos ao sistema metrológico em si, refletindo condições intrínsecas do País, que estão sendo atacadas no sentido de Modernizar o País como um todo. Esta modernização envolve melhorias: no nível educacional dos cidadãos, tanto como trabalhadores, quanto como consumidores; na distribuição de renda da população; no sistema de saúde; no sistema judiciário; nos serviços públicos e na operacionalidade dos poderes do governo.

## O CARÁTER INTERNACIONAL DA METROLOGIA

A Metrologia Moderna se caracteriza pela sua dimensão Internacional. Já antes da Convenção do Metro, a necessidade de uma unificação dos sistemas de medida usados nos diferentes países havia sido identificada e o Sistema Métrico Decimal, introduzido inicialmente na França, no fim do século XVIII, começou a ser utilizado em diversos países, inclusive no Brasil, nos meados do século seguinte.

A necessidade de dar uma personalidade mais Internacional ao Sistema levou ao estabelecimento da “Convention du Mètre”, em 1875, que resultou na criação do “Bureau International des Poids et Mesures” (BIPM) que, em conjunto com o “Comité International des Poids et Mesures” (CIPM), com seus “Comités Consultatifs” (CC) (atualmente em número de 9) e as “Conférence Générales des Poids et Mesures” (CGPM), que geram e coordenam as atividades da Metrologia a nível internacional. Este conjunto de organismos é responsável por Definir as Unidades de Base, manter o padrão internacional do quilograma e promover os mecanismos para a Rastreabilidade Internacional dos Padrões Nacionais das Unidades de Base do Sistema Internacional de Unidades (SI) mantidos pelos diferentes países signatários da Convenção do Metro (atualmente 48 países). Estes mecanismos são necessários para manter a compatibilidade entre as medidas das grandezas realizadas nos diferentes países que são rastreados aos respectivos Padrões Nacionais.

O sistema CGPM/CIPM (apoiado nos trabalhos dos CCs, do BIPM e dos Institutos/Bureaus/Laboratórios Nacionais de Metrologia e de outros Centros de Pesquisa e Desenvolvimento Metrológico) constitui a mais alta autoridade mundial em Metrologia e zela pelo funcionamento harmonioso da Metrologia no mundo.

Assim, todos os países signatários da Convenção do metro podem rastrear seus padrões Nacionais aos Internacionais. Na prática, são rastreados aos padrões do BIPM os padrões de massa (kg), de tensão elétrica (V), de resistência elétrica ( $\Omega$ ), padrões das unidades de luz, de radiações ionizantes, frequência de lasers usados como padrões de comprimento e, através dos sistemas de satélites GPS, os diversos laboratórios que mantêm a unidade de tempo podem rastrear, através do BIPM, seus padrões de tempo e frequência.

Em princípio, como nem todos os países são signatários da Convenção do Metro, pode parecer que o sistema não tem abrangência universal. Entretanto, como todos os países com um certo grau de industrialização são signatários, sua abrangência é, de fato e, para todos os efeitos práticos, universal.

Ser signatário da Convenção do Metro e rastrear os padrões nacionais aos internacionais através do BIPM não constitui, entretanto, nenhuma garantia quanto à confiabilidade do Laboratório Nacional que detém o padrão rastreado.

A confiabilidade de um Laboratório Metrológico só pode ser conquistada com a demonstração de que este tem competência para realizar medidas precisas e confiáveis, através de inúmeros exercícios de comparações com medidas realizadas em outros laboratórios. Tal procedimento, envolvendo muitos laboratórios, cada grandeza e, repetido periodicamente, estabelece a base para a Credibilidade e Confiabilidade dos Laboratórios envolvidos. Este parece ser o único mecanismo capaz de garantir a Credibilidade e a Confiabilidade dos Laboratórios Nacionais dos diversos países que integram o Sistema Metrológico Internacional.

## CAMINHOS PARA A EMPRESA GARANTIR A RASTREABILIDADE DE PRODUTOS E SERVIÇOS A PADRÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

As exigências que o mercado consumidor vem impondo aos seus fornecedores estão criando nas empresas a necessidade de serem cada vez mais competitivas, a fim de poderem conquistar e manter este mercado, tanto em nível nacional como internacional.

Esta conquista será alcançada à medida que as empresas produzirem com qualidade e produtividade, buscando, cada vez mais, a satisfação do cliente.

Para garantir a qualidade de seus produtos e serviços, as empresas deverão trabalhar dentro de padrões aceitos internacionalmente.

A ISO (International Organization for Standardization), uma organização internacional que congrega vários países, com o objetivo de criar e normalizar padrões internacionais, desenvolveu a série de normas ISO 9000, que é um conjunto de normas relacionadas com gestão da garantia da qualidade. O objetivo destas normas é assegurar a qualidade dos serviços e produtos desenvolvidos pelas empresas.

Entretanto, todo e qualquer sistema da qualidade só terá sucesso se estiver apoiado na metrologia, que é a base física da qualidade. Por isso, as normas ISO 9000 exigem que as empresas garantam a confirmação metrológica de seus equipamentos de medição, inspeção e ensaios.

Em uma linha de produção é comum que diversos operadores realizem várias medições de uma mesma grandeza. Como operadores e instrumentos são diferentes, os resultados também serão diferentes e podemos afirmar que o número de resultados diferentes aumenta à medida que aumenta o número de medições.

Isto nos leva a admitir que o resultado de todo o processo produtivo é uma variabilidade. Para reduzir e manter sob controle esta variabilidade, são necessários controles que, para serem eficientes, requerem normas e procedimentos adequados, garantindo a confiabilidade do processo, ou seja, a certeza nos resultados de uma medição ou ensaio.

A base de todas as ações metrológicas é a calibração dos instrumentos de medição, inspeção e ensaios que, segundo a norma ISO 10012-1, é o conjunto de operações que estabelecem, sob condições específicas, a relação entre os valores indicados por um instrumento ou por um material de referência e os valores correspondentes de uma quantidade concebida como padrão de referência.

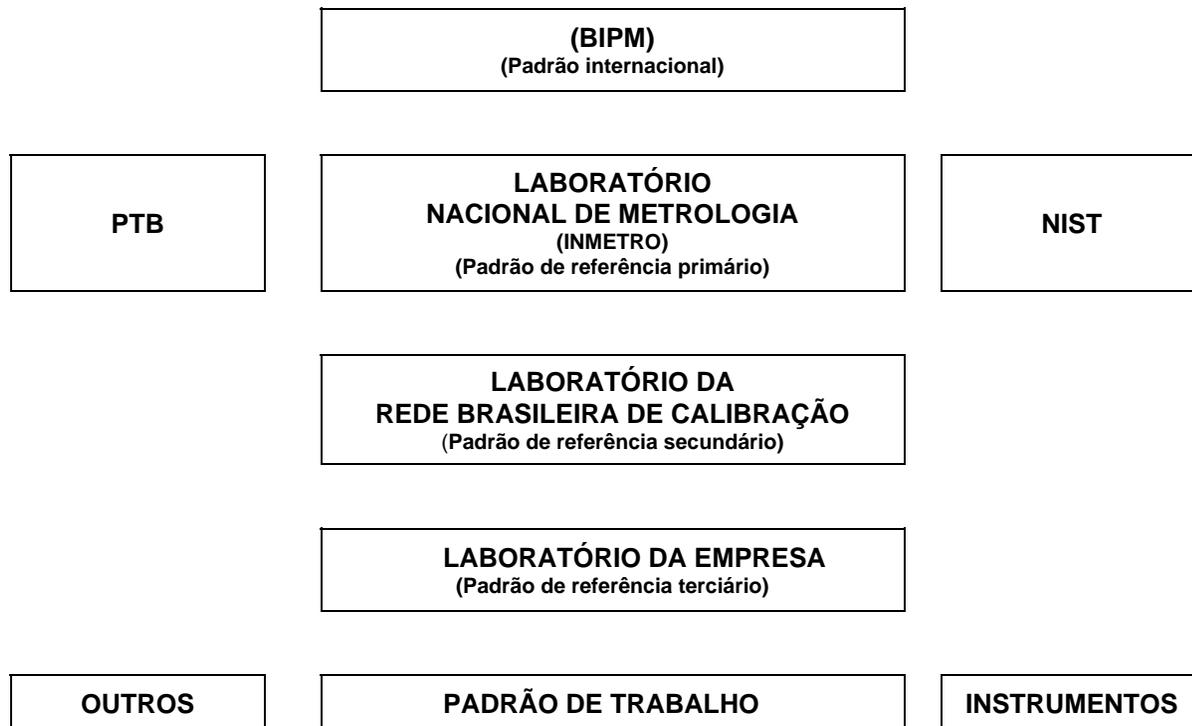
A falta de compatibilidade entre o resultado de várias fontes implicará inúmeros problemas para um processo produtivo. Uma harmonização interna reduzirá parte dos problemas, pois haverá uma base referencial.

Dada a complexidade da harmonização, devido aos diversos campos da metrologia envolvidos e a compatibilização entre clientes e fornecedores, surge a necessidade de uma hierarquia com um laboratório mestre, primário, que indicará (através do credenciamento) os laboratórios secundários compatibilizados com ele.

Estes laboratórios, por sua vez, efetuarão serviços de compatibilização para terceiros, garantindo a referência a valores do laboratório primário. Através dessa hierarquia, obtemos e garantimos a rastreabilidade metrológica.

**EXEMPLO:** O laboratório secundário calibra seus padrões no laboratório primário (INMETRO). A empresa calibra seus padrões no laboratório secundário. Com seus padrões calibrados, a empresa calibrará seus instrumentos de trabalho, formando, desta maneira, a hierarquia metrológica e a garantia da rastreabilidade, conforme esquema a seguir:

## CADEIA METROLÓGICA



Para que seja possível operacionalizar as ações referentes à confirmação metrológica e, conseqüentemente, atender às exigências das normas ISO 9000, nos itens relativos a controle de equipamentos de medição, inspeção e ensaios, é necessária uma infra-estrutura metrológica adequada à universalidade das medições.

Uma infra-estrutura metrológica pressupõe, em nível nacional, uma padronização e disseminação de medidas, o que é obtido através de um laboratório metrológico central (Laboratório Primário), detentor dos padrões metrológicos nacionais, que tem a função de coordenar um conjunto de laboratórios de calibração secundários, calibrando os padrões destes laboratórios, formando, assim, uma rede de laboratórios.

No Brasil encontramos esta estrutura através do, Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) (laboratório primário) que é uma autarquia federal e o órgão executivo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO). As diretrizes de atuação do INMETRO são estabelecidas pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO).

O credenciamento de laboratórios pelo INMETRO consiste no reconhecimento formal da sua competência, avaliada segundo critérios internacionalmente reconhecidos e utilizados.

O objetivo principal do credenciamento é garantir a confiabilidade dos serviços prestados pelos laboratórios que compõem a Rede Brasileira de Calibração (RBC) e a Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios (RLE).

**PTB** - Physikalisch Technische Bundesanstalt (Alemanha)

**NIST** - National Institute of Standards and Technology (EUA)

**NAMAS** - National Measurement Accreditation Service (Inglaterra)

## ORIGEM E DEFINIÇÃO DO METRO

Devido à diversificação de padrões existentes ao redor do mundo, o que dificultava em muito as transações comerciais entre os países, sentiu-se a necessidade da unificação dos sistemas de medidas então utilizados.

Assim, em fins do século XVIII, mais precisamente no ano de 1789, foi criada, na França, uma comissão de homens de ciência, para a determinação e construção de padrões, de tal modo que fossem universais. Esses padrões deveriam reproduzir fenômenos naturais, para que não dependessem de futuras mudanças.

Após estudos e pesquisas, a comissão, que incluía nomes famosos como Borda, Laplace e Laplace, concluiu que a unidade de comprimento deveria pertencer ao sistema decimal, de maior facilidade de utilização e presa a um dos seguintes fenômenos naturais:

a - O comprimento de um pêndulo de período (duas oscilações) igual a 1 segundo, latitude de  $45^\circ$ ;

b - O comprimento de  $\frac{1}{4}$  de meridiano terrestre, medido do Equador a um dos pólos.

Como na primeira proposição, a medida iria depender de grandezas alheias ao comprimento, como o tempo e o peso, foi aceita a proposição do meridiano, pois, além de não apresentar os problemas da anterior, já contava com uma boa comparação. O meridiano que passa por Paris já havia sido medido precisamente (medido através da Toesa, unidade de comprimento da época) e podia ser comparado com a nova determinação.

Então, o metro foi assim definido:

**“METRO É A DÉCIMA MILIONÉSIMA PARTE DE UM QUARTO DO MERIDIANO TERRESTRE”**

medido entre Dunkerke na França e Montguich na Espanha. Esse metro, transformado em uma barra de platina, passou a ser determinado como METRO DOS ARQUIVOS.

Com o desenvolvimento da ciência, verificou-se que uma medida mais precisa do meridiano fatalmente daria um metro um pouco diferente. Assim, a primeira definição foi substituída por uma segunda :

**“METRO É A DISTÂNCIA ENTRE AS DUAS FACES TERMINAIS DA BARRA DE PLATINA CONSERVADA NOS ARQUIVOS DA FRANÇA, DESDE QUE ESSA BARRA ESTEJA A  $0^\circ$  C E QUE REPOUSE SOBRE SEUS PONTOS DE MÍNIMA FLEXÃO”.**

Escolheu-se a temperatura de zero grau Celsius por ser, na época, a mais facilmente obtida com o gelo fundente.

Com o passar do tempo, com as exigências tecnológicas aumentadas, decorrentes do avanço científico, notou-se que o METRO DOS ARQUIVOS não mais satisfazia as necessidades, pois apresentava alguns inconvenientes como: o paralelismo das faces não era tão perfeito, o material era relativamente mole e a barra não era suficientemente rígida.

Para aperfeiçoar o sistema, fez-se um outro padrão, que recebeu seção transversal em X, para ter maior estabilidade, uma adição de 10% de irídio, para tornar-se mais durável e ainda dois traços em seu plano neutro, de forma a tornar a medida mais perfeita.

Assim, em 1889, surgiu a terceira definição :

**“METRO É A DISTÂNCIA, À TEMPERATURA DE ZERO GRAU CELSIUS, DOS EIXOS DE DOIS TRAÇOS MÉDIOS GRAVADOS SOBRE A BARRA DE PLATINA IRIDIADA, ESTANDO SUBMETIDA À PRESSÃO ATMOSFÉRICA NORMAL E SUPOSTADA POR DOIS ROLOS COM UM DIÂMETRO MÍNIMO DE 1 cm, SITUADOS SIMETRICAMENTE NUM MESMO PLANO HORIZONTAL E À DISTÂNCIA DE 571 mm UM DO OUTRO”**

Atualmente, a temperatura de referência para calibração é de  $20^\circ$  C. É nessa temperatura que o metro, utilizado em laboratório de metrologia, tem o mesmo comprimento do padrão que se encontra na França, na temperatura de zero grau Celsius.

Em outubro de 1960, na XI Conferência Geral de Pesos e Medidas, foi adotado e reconhecido o Sistema Internacional de Unidades (SI) e o metro, mais uma vez, acompanhando os avanços da ciência e da tecnologia, foi redefinido :

“METRO É 1.650.763,73 VEZES O COMPRIMENTO DE ONDA DE UMA LUZ EMITIDA PELA TRANSIÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DE ENERGIA  $2p_{10}$  E  $5d_5$  DO ÁTOMO DE CRIPTÔNIO 86 ( $Kr^{86}$ ) NO VÁCUO”.

Desta forma, conseguia-se uma reprodução do metro com um erro de  $\pm 0,010$  micrometro, (10 nm) ou ainda 10 mm a cada 1000 km.

Atualmente, o padrão do metro em vigor e que é o recomendado pelo INMETRO, é baseado na velocidade da luz, de acordo com a decisão da XVII Conferência Geral de Pesos e Medidas. Assim o INMETRO, em sua resolução 3/84, definiu o metro :

“METRO É A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELA LUZ NO VÁCUO, NO INTERVALO DE TEMPO DE  $1/299.792.458$  DO SEGUNDO”.

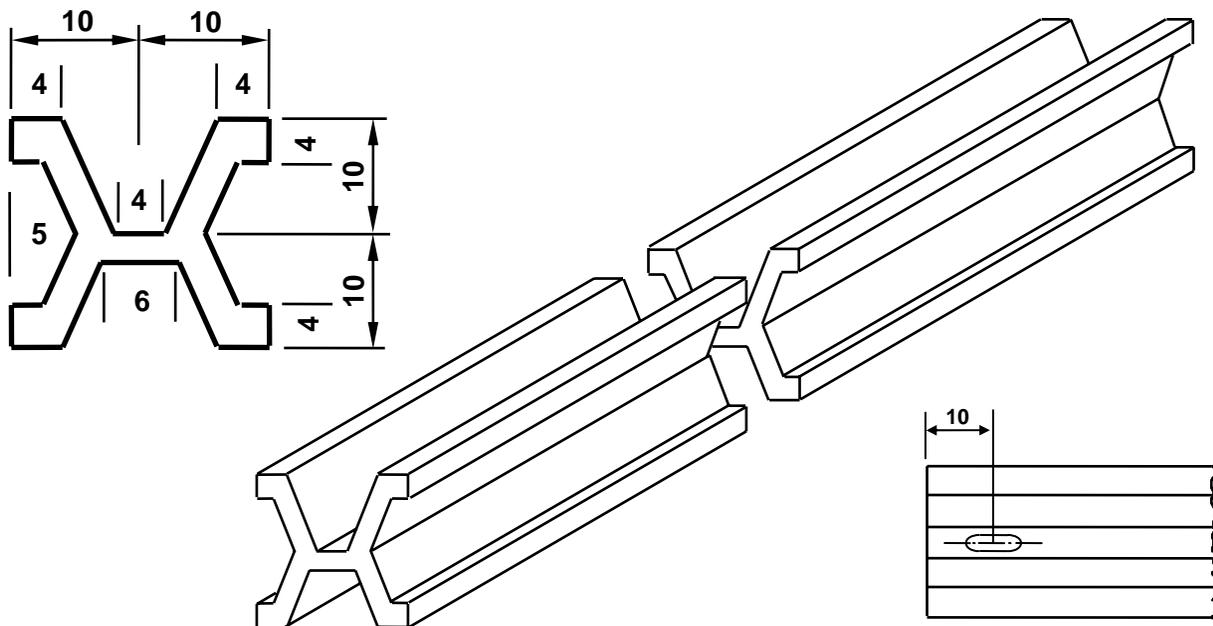
Esta definição é universal e se aplica a todos os tipos de medições, desde o lar até a astronomia.

O metro, em si, não foi alterado, o que ocorreu foi mais uma impressionante melhoria na precisão de sua definição. O erro atual de reprodução do metro por este meio corresponde a  $\pm 0,0013$  micrometro, (1,3 nm) ou ainda, para melhor se entender, 1,3 mm para cada 1000 km.

## PROTÓTIPO DO METRO

### A CÓPIA DO BRASIL

Em 1876, deu-se início à fabricação de um protótipo do metro e sua reprodução para as nações que participaram do tratado. Foram feitas 32 barras com 90% de Platina e 10% de Irídio e, em 1889, determinou-se que a de nº 6 seria o protótipo internacional, também chamada de “METRO DOS ARQUIVOS”. A barra de nº 26 correspondeu ao Brasil. Esta encontra-se no I.P.T., (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) na cidade Universitária, em São Paulo.



## VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE TERMOS FUNDAMENTAIS E GERAIS DE METROLOGIA

O estabelecimento de uma terminologia básica contribuirá grandemente para uma maior compreensão das atividades relativas à metrologia e seus recursos instrumentais. A seguir, serão apresentados alguns termos:

**METROLOGIA:** Ciência da medição.

**METROLOGIA LEGAL:** Parte da metrologia que se refere às exigências legais, técnicas e administrativas, relativas às unidades de medida, aos métodos de medição, aos instrumentos de medir e às medidas materializadas.

**METROLOGIA CIENTÍFICA:** Parte da metrologia relacionada às unidades de medida e seus padrões, estabelecimento, reprodução, conservação e transmissão. Seu objetivo é a padronização das unidades no mais alto nível, pesquisando processos para a medição de grandezas e encarregando-se, também, de sua normatização, sistematização e aprimoramento.

**CALIBRAÇÃO OU AFERIÇÃO:** Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição, ou sistema de medição, ou valores representados por uma medida materializada, ou um material de referência e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

**CONTROLE METROLÓGICO:** Operações que visam assegurar a garantia pública nos principais campos da metrologia legal.

**MEDIR:** É o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (grandeza a medir) é determinado como um múltiplo e/ou fração de uma unidade estabelecida por um padrão.

**MEDIÇÃO:** Conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza.

**GRANDEZA:** Atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

Observações:

1 - O termo "grandeza" pode referir-se a uma grandeza em um sentido geral (comprimento, tempo, massa, temperatura, resistência elétrica), ou a uma grandeza específica (comprimento de uma barra, resistência elétrica de um fio, concentração de etanol em uma amostra de vinho);

2 - Grandezas que podem ser classificadas, uma em relação à outra, em ordem crescente ou decrescente, são denominadas grandezas de mesma natureza;

3 - Grandezas de mesma natureza podem ser agrupadas em conjuntos de categorias de grandezas, por exemplo:

a - Trabalho, calor, energia.

b - Espessura, circunferência, comprimento de onda.

4 - Os símbolos das grandezas são dados na norma ISO 31.

**AJUSTE** (Ajustagem de um instrumento de medição): operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com seu uso.

**REGULAGEM DE UM INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO:** Ajuste, empregando somente os recursos disponíveis no instrumento para o usuário.

**EXATIDÃO DE MEDIÇÃO:** (accuracy of measurement)

Grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

Observações:

- 1 - Exatidão é um conceito qualitativo;
- 2 - O termo precisão não deve ser utilizado como exatidão.

**INCERTEZA DE MEDIÇÃO:** Parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

**ERRO DE MEDIÇÃO:** Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando. Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado, utiliza-se na prática, um valor verdadeiro convencional.

**ERRO ALEATÓRIO:** Resultado de uma medição menos a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade

Observações:

- 1 - O erro aleatório é igual ao erro menos o erro sistemático;
- 2 - Em razão de que, apenas um finito número de medições pode ser feito, é possível apenas determinar uma estimativa do erro aleatório.

**ERRO SISTEMÁTICO:** Média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando.

Observações:

- 1 - O erro sistemático é igual ao erro menos o erro aleatório;
- 2 - Analogamente ao valor verdadeiro o erro sistemático e suas causas não podem ser completamente conhecidos;
- 3) Para um instrumento de medição ver “Tendência de um instrumento de medição”.

**RESOLUÇÃO:** Expressão quantitativa da aptidão de um “instrumento de medir”, de distinguir valores muito próximos da grandeza a medir sem necessidade de interpolação.

**HISTERESE:** É a diferença entre a leitura/medida para um dado valor da grandeza a medir, quando essa grandeza foi atingida por valores crescentes, e a leitura/medida, quando atingida por valores decrescentes da grandeza a medir. O valor poderá ser diferente, conforme o ciclo do carregamento, típico de instrumentos mecânicos, tendo como fonte de erro, principalmente folgas e deformações, associados ao atrito.

**PADRÃO:** Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza, para servir como referência.

**PADRÃO PRIMÁRIO:** Padrão que é designado ou amplamente reconhecido como tendo as mais altas qualidades metrológicas e cujo valor é aceito sem referência a outros padrões de mesma grandeza.

**PADRÃO SECUNDÁRIO:** Padrão cujo valor é estabelecido por comparação a um padrão primário da mesma grandeza.

**PADRÃO INTERNACIONAL:** Padrão reconhecido por um acordo internacional para servir, internacionalmente, como base para estabelecer valores a outros padrões da grandeza a que se refere.

**PADRÃO NACIONAL:** Padrão reconhecido por uma decisão nacional para servir, em um país, como base para estabelecer valores a outros padrões da grandeza a que se refere.

**PADRÃO DE REFERÊNCIA:** Padrão, geralmente tendo a mais alta qualidade metrológica disponível em um dado local, ou em uma dada organização, a partir do qual as medições lá executadas são derivadas.

**PADRÃO DE TRABALHO:** Padrão utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar medidas materializadas, instrumentos de medição ou materiais de referência.

**PADRÃO DE TRANSFERÊNCIA:** Padrão utilizado como intermediário para comparar padrões.

**RASTREABILIDADE:** Propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas.

**INSTRUMENTAÇÃO:** É o conjunto de técnicas e instrumentos usados para observar, medir, registrar, controlar e atuar em fenômenos físicos. A instrumentação preocupa-se com o estudo, desenvolvimento, aplicação e operação dos instrumentos.

**SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES:** Sistema coerente de unidades adotado e recomendado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

Observação: O SI é baseado, atualmente, nas sete unidades de base seguintes:

Grandeza	Nome	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente Elétrica	ampère	A
Temperatura Termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

## HIERARQUIA DE PADRÕES E DE LABORATÓRIOS

Após a conceituação dos vários tipos de padrões apresentados, é importante introduzir o conceito de estruturas metroológicas hierarquizadas, que nos facilitará a aplicação dos vários conceitos apresentados a nossa realidade laboratorial ou industrial, contribuindo para a aplicação correta dos conceitos metroológicos.

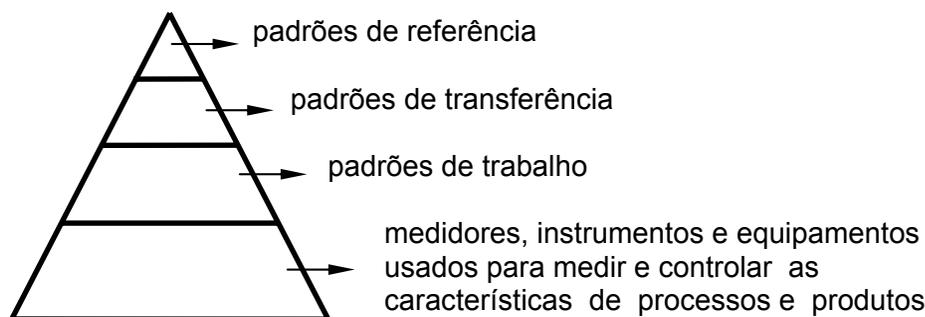
As estruturas metroológicas baseiam-se em hierarquias de acordo com o tipo e o nível de equipamentos utilizados para realizar medições. Esta hierarquia possibilita a otimização dos recursos humanos e materiais, tanto no âmbito de uma indústria como no de um país.

Centralizando em um único local (instituto) os melhores instrumentos de um país, assim como os melhores especialistas, evita-se que esforços e recursos financeiros sejam duplicados.

Estas estruturas metroológicas, fundamentadas nas hierarquias, refletem a exatidão e precisão das medições e instrumentos de medição, permitindo a identificação de vários níveis de exigência para as mais diversas aplicações científicas e industriais. Estas hierarquias podem ser divididas, para efeitos didáticos, em duas categorias: padrões e laboratórios metroológicos.

### HIERARQUIA DE PADRÕES

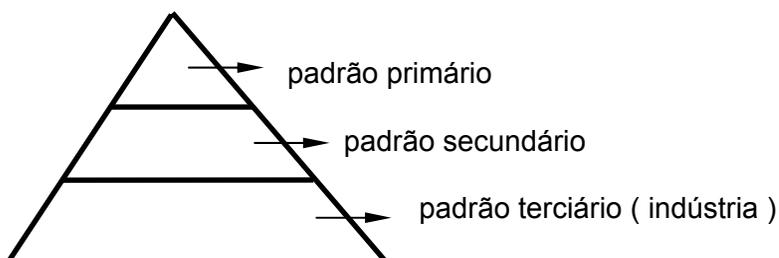
Os padrões, independentemente da organização à qual pertencem, seja um laboratório industrial ou laboratório de um instituto de pesquisa de alta tecnologia, devem, internamente, ser classificados em: padrões de referência, padrões de transferência e padrões de trabalho.



### HIERARQUIA DE LABORATÓRIOS METROLÓGICOS

Esta classificação permite estabelecer uma maneira racional para a disseminação dos valores das grandezas definidas pelo Sistema Internacional de Unidades, desde sua definição, desenvolvimento do fenômeno físico escolhido por acordo internacional, até as mais simples aplicações do processo de medição na cadeia produtiva.

A precisão das medidas, obviamente, difere largamente entre os vários níveis da hierarquia de laboratórios metroológicos. Esta hierarquia possui os seguintes níveis:



Os padrões primários nacionais são calibrados em relação aos padrões primários internacionais. No ápice desta hierarquia, teríamos um impasse, pois não saberíamos quem deveria calibrar os padrões de referência internacionais. Como estes padrões são definidos por acordo internacional, eles são adotados por convenção e porque a realização do fenômeno físico que define a grandeza não está sujeita aos erros comumente identificados nos outros padrões. São realizados, periodicamente, no entanto, programas interlaboratoriais para estabelecer a dispersão com que a grandeza é definida internacionalmente, entre os vários institutos internacionais que participam do Birô Internacional de Pesos e Medidas (BIPM).

## UNIDADES LEGAIS NO BRASIL

Unidade	Símbolo	Designação
metro *	m	Comprimento
metro quadrado	m <sup>2</sup>	Área
metro cúbico	m <sup>3</sup>	Volume
quilograma *	kg	Massa
litro	L ou l	Volume ou capacidade
mililitro	ml ou mL	Volume ou capacidade
quilômetro	km	Comprimento ( distância )
metro por segundo	m / s	Velocidade
hora	h	Tempo
minuto	min	Tempo
segundo *	s	Tempo
grau Celsius	°C	Temperatura Celsius
kelvin *	K	Temperatura termodinâmica
hertz	Hz	Frequência
newton	N	Força
pascal	Pa	Pressão
watt	W	Potência
ampère *	A	Corrente elétrica
volt	V	Tensão elétrica
candela *	cd	Intensidade luminosa
mol *	mol	Quantidade de matéria

( \* ) Unidades em que o SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES está baseado.

## MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DO METRO

A tabela abaixo está baseada no SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

Unidade	Símbolo	Fator de multiplicação
exametro	Em	10 <sup>18</sup> = 1 000 000 000 000 000 000 m
petmetro	Pm	10 <sup>15</sup> = 1 000 000 000 000 000 m
termetro	Tm	10 <sup>12</sup> = 1 000 000 000 000 m
gigmetro	Gm	10 <sup>9</sup> = 1 000 000 000 m
megmetro	Mm	10 <sup>6</sup> = 1 000 000 m
quilômetro *	km	10 <sup>3</sup> = 1 000 m
hectometro	hm	10 <sup>2</sup> = 100 m
decametro	dam	10 <sup>1</sup> = 10 m
metro	m	1 = 1 m
decímetro *	dm	10 <sup>-1</sup> = 0,1 m
centímetro *	cm	10 <sup>-2</sup> = 0,01 m
milímetro *	mm	10 <sup>-3</sup> = 0,001 m
micrometro	µm	10 <sup>-6</sup> = 0,000 001 m
nanometro	nm	10 <sup>-9</sup> = 0,000 000 001 m
picometro	pm	10 <sup>-12</sup> = 0,000 000 000 001 m
femtometro	fm	10 <sup>-15</sup> = 0,000 000 000 000 001 m
attometro	am	10 <sup>-18</sup> = 0,000 000 000 000 000 001 m

Observações:

1 - Na forma oral, os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades são pronunciados por extenso, prevalecendo a sílaba tônica da unidade.

2 - As unidades assinaladas com ( \* ) como, quilômetro, decímetro, centímetro e milímetro, consagradas pelo uso com o acentoônico deslocado para o prefixo, são as únicas exceções a essa regra; assim sendo, os outros múltiplos e submúltiplos decimais do metro devem ser pronunciados com o acentoônico na penúltima sílaba (me), por exemplo: megametro, micrometro (distinto de micrômetro, instrumento de medição), nanometro etc.

## UNIDADES E PADRÕES

Para a realização de uma medição, é necessária a existência da unidade, estabelecida por um padrão, segundo uma convenção própria, regional, nacional ou internacional.

Estabeleceu-se, em 1960, através do “Bureau Internacional de Pesos e Medidas” (BIPM), um conjunto coerente de unidades: o Sistema Internacional de Unidades (SI), que consta das unidades de base, unidades derivadas e unidades suplementares.

O SI definiu sete grandezas físicas independentes e estabeleceu para cada grandeza um valor unitário realizado através de um padrão.

### UNIDADES DE BASE

Grandeza Fundamental	Definição	Unidade	Símbolo
<b>Comprimento</b>	Metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de 1/299.792.458 de segundo	<b>metro</b>	<b>m</b>
<b>Massa</b>	O quilograma é a massa representada pelo protótipo internacional do quilograma, conservado no BIPM, em Sèvres, França	<b>quilograma</b>	<b>kg</b>
<b>Tempo</b>	O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133	<b>segundo</b>	<b>s</b>
<b>Corrente Elétrica</b>	Corrente elétrica invariável que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível e situados no vácuo a um metro de distância um do outro, produz entre esses condutores uma força igual a $2 \times 10^{-7}$ newton, por metro de comprimento desses condutores	<b>ampère</b>	<b>A</b>
<b>Temperatura termodinâmica</b>	Fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água	<b>kelvin</b>	<b>K</b>
<b>Intensidade luminosa</b>	Intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}$ hertz e cuja intensidade energética naquela direção é 1/683 watt por esferorradiano	<b>candela</b>	<b>cd</b>
<b>Quantidade de matéria</b>	O mol é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilograma de carbono 12.	<b>mol</b>	<b>mol</b>

### UNIDADES DERIVADAS (SIMBOLOGIA COMPOSTA POR UNIDADES DE BASE)

Grandeza	Unidade	Símbolo	Expressão em unidades de base
Área	metro quadrado	$m^2$	$m^2$
Volume	metro cúbico	$m^3$	$m^3$
Massa específica	quilograma / metro cúbico	$kg / m^3$	$kg / m^3$
Vazão	metro cúbico / segundo	$m^3 / s$	$m^3 / s$
Velocidade	metro / segundo	$m / s$	$m / s$
Concentração de substância	mol / metro cúbico	$mol / m^3$	$mol / m^3$
Volume específico	metro cúbico / quilograma	$m^3 / kg$	$m^3 / kg$
Luminância	candela / metro quadrado	$cd / m^2$	$cd / m^2$

**UNIDADES DERIVADAS** (RECEBEM SIMBOLOGIA PRÓPRIA)

Grandeza	Unidade	Símbolo	Expressão em unidades de base
Frequência	hertz	Hz	$s^{-1}$
Força	newton	N	$m.kg.s^2$
Pressão	pascal	Pa	$N / m^2$
Trabalho, Energia, Calor	joule	J	N.m
Fluxo radiante, Potência	watt	W	$J / s$
Carga elétrica	coulomb	C	A.s
Tensão elétrica	volt	V	$W / A$
Capacitância	farad	F	$C / V$
Resistência elétrica	ohm	$\Omega$	$V / A$
Condutância	siemens	S	$A / V$
Fluxo magnético	weber	Wb	V.s
Indução magnética	tesla	T	$Wb / m^2$
Indutância	henry	H	$Wb / A$
Fluxo luminoso	lúmen	lm	cd.sr
Iluminamento	lux	lx	$cd.sr / m^2$
Temperatura Celsius	grau Celsius	$^{\circ}C$	K
Dose absorvida ( radiação )	gray	Gy	$J / kg$
Atividade ( material radioativo )	becquerel	Bq	$s^{-1}$

**UNIDADES DERIVADAS** (SIMBOLOGIA COMPOSTA POR UNIDADES DE BASE E DERIVADAS)

Grandeza	Unidade	Símbolo	Expressão em unidades de base
Viscosidade dinâmica	pascal . segundo	Pa . s	$m^{-1}.kg.s^{-1}$
Momento de uma força	metro . newton	N . m	$m^2 . kg.s^{-2}$
Densidade de fluxo de energia	watt / metro quadrado	$W / m^2$	$kg . s^{-3}$
Capacidade Térmica (entropia)	joule / kelvin	J / K	$m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}$
Energia específica	joule / quilograma	J / kg	$m^2 . s^{-2}$
Condutividade térmica	watt / (metro . kelvin)	$W / (m.K)$	$m.kg.s^{-3}.K^{-1}$
Campo elétrico	volt / metro	V / m	$m.kg.s^{-3}.A^{-1}$
Densidade de carga elétrica	coulomb / metro cúbico	$C / m^3$	$m^{-3} . s . A$
Densidade de corrente	ampère / metro quadrado	$A / m^2$	$A / m^2$
Campo magnético	ampère / metro	A / m	A / m
Energia molar	joule / mol	J / mol	$m^2.kg.s^{-2}.mol^{-1}$

**UNIDADES SUPLEMENTARES**

Grandeza	Unidade	Símbolo
Ângulo plano	radiano	rad
Ângulo sólido	esferorradiano	sr

**UNIDADES NÃO PERTENCENTES AO SI (CONSAGRADAS PELO USO)**

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor
Tempo	minuto	min	60 s
	hora	h	3.600 s
	dia	d	86.400 s
Ângulo plano	grau	°	$\pi / 180$ rad
	minuto	'	$\pi / 10.800$ rad
	segundo	"	$\pi / 648.000$ rad
Volume	litro	L ou l	$10^{-3} \text{ m}^3$
Massa	tonelada	t	1.000 kg
Energia elétrica	elétron-volt	eV	$1,60219 \times 10^{-19} \text{ J}$
Massa atômica	unidade de massa	u	$1,66057 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Comprimento (astronomia)	parsec	pc	$\cong 3,0857 \times 10^{16} \text{ m}$
Distância (astronomia)	unidade astronômica	UA	$149.600 \times 10^6 \text{ m}$

**UNIDADES QUE NÃO CONSTAM NO SI (TEMPORARIAMENTE ADMITIDAS)**

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor
Comprimento	angstrom	Å	$10^{-10} \text{ m}$
Pressão	atmosfera	atm	101325 Pa
Pressão	bar	bar	$10^5 \text{ Pa}$
Pressão	milímetro de mercúrio	mmHg	133,322 Pa
Trabalho; energia; quantidade de calor	caloria	cal	4,1868 J
Potência; fluxo de energia	cavalo vapor	cv	735,5 W
Indução magnética	gauss	Gs	$10^{-4} \text{ T}$
Força	quilograma força	Kgf	9,80665 N

## GRAFIA E PRONÚNCIA DAS UNIDADES

Quando escritos por extenso, os nomes de unidades começam por letra minúscula, mesmo quando têm o nome de um cientista (por exemplo, ampère, kelvin, newton, etc) exceto o grau Celsius.

Na expressão do valor numérico de uma grandeza, a respectiva unidade pode ser escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo (por exemplo, quilovolts por milímetro ou kV/mm), não sendo admitidas combinações de partes escritas por extenso com partes expressas por símbolo.

## PLURAL DOS NOMES DE UNIDADES

Quando os nomes de unidades são escritos ou pronunciados por extenso, a formação do plural obedece às seguintes regras básicas:

a - os prefixos do SI são invariáveis;

b - os nomes das unidades recebem a letra "s" no final de cada palavra, exceto nos casos da alínea "c",

- quando são palavras simples. Por exemplo, ampères, candelas, curies, farads, grays, joules, kelvins, quilogramas, parsecs, roentgens, volts, webers etc;
- quando são palavras compostas em que o elemento complementar de um nome de unidade não é ligado a este por hífen. Por exemplo, metros quadrados, milhas marítimas, unidades astronômicas etc;
- quando são termos compostos por multiplicação, em que os componentes podem variar independentemente um do outro. Por exemplo, ampères-horas, newtons-metros, ohms-metros, pascals-segundos, watts-horas etc;

Nota:

Segundo esta regra, a menos que o nome da unidade entre no uso vulgar, o plural não desfigura o nome que a unidade tem no singular (por exemplo, becquerels, decibels, henrys, mols, pascals etc.), não se aplicando aos nomes de unidades certas regras usuais de formação do plural das palavras.

c) os nomes ou partes dos nomes de unidades não recebem a letra "s" no final,

- quando terminam pelas letras s, x ou z. Por exemplo, siemens, lux, hertz etc.;
- quando correspondem ao denominador de unidades compostas por divisão. Por exemplo, quilômetros por hora, lumens por watt, watts por esferorradiano etc.;
- quando em palavras compostas, são elementos complementares de nomes de unidades e ligados a estes por hífen ou preposição. Por exemplo, anos-luz, elétron-volts, quilogramas-força, unidades (unificadas) de massa atômica etc.

## GRAFIA DOS SÍMBOLOS DE UNIDADES

A grafia dos símbolos de unidades obedece as seguintes regras básicas:

a - os símbolos são invariáveis, não sendo admitido colocar, após os mesmos qualquer sinal, seja ponto de abreviatura, seja "s" de plural, sejam sinais, letras ou índices. Por exemplo, o símbolo do watt é sempre o W, qualquer que seja o tipo de potência a que se refira: mecânica, elétrica, térmica, acústica, etc.;

b - os prefixos SI nunca são justapostos no mesmo símbolo. Por exemplo, unidades como GWh, nm, pF etc., não devem ser substituídas por expressões em que se justaponham, respectivamente, os prefixos mega e quilo, mili e micro, micro e micro etc.,

c) os prefixos do SI podem coexistir num símbolo composto por multiplicação ou divisão. Por exemplo, kN.cm, kW.mA, kV/mm, MW.cm, kV/ms, mW/cm<sup>2</sup> etc.;

d) os símbolos de uma mesma unidade podem coexistir num símbolo composto por divisão. Por exemplo,  $W \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ,  $\text{kWh}/\text{h}$ , etc.,

e) o símbolo é escrito no mesmo alinhamento do número a que se refere, e não como expoente ou índice. São exceções os símbolos das unidades não SI de ângulo plano ( $^{\circ}$ ,  $''$ ), os expoentes dos símbolos que têm expoente, o sinal do símbolo do grau Celsius e os símbolos que têm divisão indicada por traço de fração horizontal;

f) o símbolo de uma unidade composta por multiplicação pode ser formado pela justaposição dos símbolos componentes de modo que não cause ambigüidade ( $\text{VA}$ ,  $\text{kWh}$  etc.), ou mediante a colocação de um ponto entre os símbolos componentes, na base da linha ou a meia altura ( $\text{N} \cdot \text{m}$  ou  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,  $\text{m} \cdot \text{s}$  ou  $\text{m} \cdot \text{s}$  etc.);

g) o símbolo de uma unidade que contém divisão pode ser formado por qualquer uma das três maneiras exemplificadas a seguir:

$$W/(\text{sr} \cdot \text{m}^2) \quad , \quad W \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \quad , \quad \frac{W}{\text{sr} \times \text{m}^2}$$

- esta última forma não deve ser empregada quando o símbolo, escrito em duas linhas diferentes, puder causar confusão.

## SISTEMAS DE MEDIDAS

Apesar de se chegar ao metro como unidade de medida, ainda são usadas outras unidades. Na mecânica, por exemplo, é comum usar o milímetro e a polegada.

O sistema métrico, de fácil entendimento e aplicação por ser baseado no sistema decimal (múltiplos e submúltiplos de dez) é o sistema que é reconhecido pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) e que utiliza como unidade de base o metro.

O sistema inglês ainda muito utilizado na Inglaterra e nos Estados Unidos, e também no Brasil, devido ao grande número de empresas procedentes desses países, é um sistema que está em extinção por não ser reconhecido pelo Sistema Internacional de Unidades. Por isso, este sistema está, aos poucos, sendo substituído pelo sistema métrico.

Como os dois sistemas ainda são usados, as vezes até mesmo de forma simultânea, existe a necessidade da conversão dos sistemas, ora de sistema métrico para sistema inglês, ora de sistema inglês para sistema métrico.

## SISTEMA MÉTRICO

O sistema métrico utiliza como padrão, o metro. Esse termo teve origem na palavra grega "METRON" que significa medir.

No Brasil, o sistema métrico foi implantado pela Lei Imperial nº 1.157, de 26 de junho de 1862. Estabeleceu-se, então, um prazo de dez anos para que os padrões antigos fossem inteiramente substituídos.

O metro a que se refere a Lei foi definido como sendo a distância entre os dois extremos da barra de platina depositada nos arquivos da França e apoiada nos pontos de flexão mínima na temperatura de zero grau Celsius.

## SISTEMA INGLÊS

O sistema inglês tem como padrão a Jarda. Esse termo tem origem na palavra inglesa "yard" que significa vara, em referência ao uso de varas nas medições. Esse padrão foi criado por alfaiates ingleses.

No século XII, em consequência da sua grande utilização, esse padrão foi oficializado pelo rei Henrique I. A jarda teria sido definida, então, como a distância entre a ponta do nariz do rei e a de seu polegar, com o braço esticado.

As relações existentes entre a Jarda, o Pé e a Polegada também foram instituídas por leis, nas quais os reis da Inglaterra fixaram que:

$$1 \text{ jarda} = 3 \text{ pés} = 36 \text{ polegadas} \quad (1 \text{ polegada} = 25,4 \text{ mm})$$

$$1 \text{ pé} = 12 \text{ polegadas}$$

$$1 \text{ milha terrestre} = 1.760 \text{ jardas} = 5.280 \text{ pés}$$

A polegada, unidade adotada pelo sistema inglês, em mecânica, pode ser representada por dois sistemas: o Sistema Binário (fracionário) e o Sistema Decimal.

O sistema binário (fracionário) caracteriza-se pela maneira de sempre dividir por dois a unidade e as suas frações. Assim, obtém-se, da polegada, a seguinte série decrescente:

$$1'' , \frac{1}{2}'' , \frac{1}{4}'' , \frac{1}{8}'' , \frac{1}{16}'' , \frac{1}{32}'' , \frac{1}{64}'' , \frac{1}{128}''$$

O sistema decimal caracteriza-se por ter, sempre, no denominador da fração, uma potência de base dez, como mostra a série

$$\frac{1''}{10^0} = \frac{1''}{1} = 1''$$

$$\frac{1''}{10^1} = \frac{1''}{10} = .1''$$

$$\frac{1''}{10^2} = \frac{1''}{100} = .01''$$

$$\frac{1''}{10^3} = \frac{1''}{1000} = .001''$$

$$\frac{1''}{10^4} = \frac{1''}{10000} = .0001''$$

Os termos grifados, de milésimo e décimo de milésimo de polegada, são os mais utilizados na prática.

Nas medições em que se requer maior exatidão, utiliza-se a divisão de milionésimos de polegada, também chamada de micropolegada. Em inglês, "micro inch". É representado por  $\mu$  inch. Ex:  $.000001" = 1 \mu$  inch

## CONVERSÃO DOS SISTEMAS

Sempre que uma medida estiver em uma unidade diferente daquela que se está utilizando, deve-se convertê-la, ou seja, mudar a unidade da medida. Assim sendo, para converter:

### - de polegada em milímetro

Sabendo-se que uma polegada mede 25,4 mm, a conversão de polegada decimal em milímetro ou de polegada binário em milímetro é feita quando multiplicamos o valor da polegada decimal ou binário por 25,4 mm.

**Exemplos:**  $2" \Rightarrow 2 \times 25,4 \text{ mm} = 50,8 \text{ mm}$

$$\frac{3}{8}" \Rightarrow \frac{3 \times 25,4 \text{ mm}}{8"} = \frac{76,2 \text{ mm}}{8"} = 9,525 \text{ mm}$$

**Exercícios:** Converta polegada binário em milímetro.

a -  $\frac{5}{32}" \Rightarrow$  .....      b -  $\frac{3}{4}" \Rightarrow$  .....      c -  $\frac{5}{16}" \Rightarrow$  .....

d -  $\frac{27}{64}" \Rightarrow$  .....      e -  $\frac{1}{128}" \Rightarrow$  .....      f -  $\frac{33}{128}" \Rightarrow$  .....

**Exercícios:** Converta polegada decimal em milímetro.

a -  $3" \Rightarrow$  .....      b -  $1.345" \Rightarrow$  .....      c -  $.888" \Rightarrow$  .....

d -  $3.110" \Rightarrow$  .....      e -  $2.432" \Rightarrow$  .....      f -  $.750" \Rightarrow$  .....

### - de milímetro em polegada decimal

A conversão de milímetro em polegada decimal é feita dividindo-se o valor da medida em milímetro, por 25,4 mm.

**Exemplos:**  $12,7 \text{ mm} \Rightarrow 12,7 \div 25,4 = .500"$

$$20,240 \text{ mm} \Rightarrow 20,240 \div 25,4 = .797"$$

**Exercícios:** Converta milímetro em polegada decimal.

a - 6,35 mm  $\Rightarrow$  ..... b - 19,905 mm  $\Rightarrow$  ..... c - 1,588 mm  $\Rightarrow$  .....

d - 17 mm  $\Rightarrow$  ..... e - 57,15 mm  $\Rightarrow$  ..... f - 133,56 mm  $\Rightarrow$  .....

### - de milímetro em polegada binário

A conversão de milímetro em polegada binário é feita dividindo-se o valor da medida em milímetro, por 25,4 mm e multiplicando-o por 128. O resultado deve ser escrito como numerador de uma fração cujo denominador é 128. Caso o numerador não dê um número inteiro, deve-se arredondá-lo para o número inteiro mais próximo.

**Exemplos:**  $12,7 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\langle 12,7 \div 25,4 \rangle \times 128}{128''} \Rightarrow \frac{0,5 \times 128}{128''} \Rightarrow \frac{64}{128''} \Rightarrow \frac{1}{2''}$

$$19,8 \text{ mm} \Rightarrow \frac{\langle 19,8 \div 25,4 \rangle \times 128}{128''} \Rightarrow \frac{99,77}{128''} \Rightarrow \frac{100}{128''} \Rightarrow \frac{25}{32''}$$

**Regra prática:** Para se converter milímetro em polegada binário (ordinária), basta multiplicar o valor da medida em milímetro, por 5,04, mantendo-se 128 como denominador da fração, utilizando-se o mesmo critério de arredondamento do numerador, caso este não dê um número inteiro.

**Exemplos:**  $12,7 \text{ mm} \Rightarrow \frac{12,7 \times 5,04}{128''} \Rightarrow \frac{64,008}{128''} \Rightarrow \frac{64}{128''} \Rightarrow \frac{1}{2''}$

$$19,8 \text{ mm} \Rightarrow \frac{19,8 \times 5,04}{128''} \Rightarrow \frac{99,792}{128''} \Rightarrow \frac{100}{128''} \Rightarrow \frac{25}{32''}$$

**Exercícios:** Converta milímetro em polegada binário.

a - 1,5875 mm  $\Rightarrow$  ..... b - 19,05 mm  $\Rightarrow$  ..... c - 31,750 mm  $\Rightarrow$  .....

d - 123,456 mm  $\Rightarrow$  ..... e - 9,9217 mm  $\Rightarrow$  ..... f - 77,777 mm  $\Rightarrow$  .....

### - de polegada binário em polegada decimal

A conversão de polegada binário em polegada decimal é feita dividindo-se o numerador da fração pelo seu denominador.

**Exemplos:**  $3/8'' \Rightarrow 3 \div 8 = .375''$

$$5/16'' \Rightarrow 5 \div 16 = .3125''$$

**Exercícios:** Converta polegada binário em polegada decimal.

a -  $5/8'' \Rightarrow$  ..... b -  $17/32'' \Rightarrow$  .....

c -  $1 \frac{1}{8}'' \Rightarrow$  ..... d -  $2 \frac{3}{16}'' \Rightarrow$  .....

**- de polegada decimal em polegada binário**

A conversão de polegada decimal em polegada binário é feita multiplicando-se a medida expressa em milésimo por uma das divisões da polegada, que passa a ser o denominador da polegada fracionária resultante.

**Exemplos:**  $.750'' \Rightarrow \frac{.750'' \times 128}{128''} \Rightarrow \frac{96}{128''} \Rightarrow \frac{3}{4}''$

$$1.348 \Rightarrow \frac{.348 \times 64}{64''} \Rightarrow \frac{22.272}{64''} \Rightarrow \frac{22}{64''} \Rightarrow \frac{11}{32''} \Rightarrow 1 \frac{11}{32}''$$

**Exercícios:** Converta polegada decimal em polegada binário.

a -  $.625'' \Rightarrow$  ..... b -  $2.1563'' \Rightarrow$  ..... c -  $.3125'' \Rightarrow$  .....

d -  $3.9688'' \Rightarrow$  ..... e -  $4.750'' \Rightarrow$  ..... f -  $1.333'' \Rightarrow$  .....

## MEDIDAS DIRETAS

Uma grandeza é medida pelo método direto, quando esta medição for efetivada por meio de uma comparação direta do que se quer medir com um padrão.

Exemplo: Na medição do comprimento de uma peça, usa-se uma régua graduada e se faz a comparação entre as duas grandezas.

## ESCALAS

Conjunto ordenado de marcas associados a qualquer numeração, que faz parte de um dispositivo indicador.

Escalas ou régua graduadas são lâminas, geralmente de aço usadas para a medição de dimensões lineares, e que apresentam, em geral, graduações nos sistemas métrico (cm e mm) e inglês (polegada e subdivisões).

A utilização de uma Escala se dá quando não há a exigência de grande rigor ou precisão na medição.

As Escalas, por serem de aço, normalmente são gravadas em baixo relevo por máquinas especiais de alta precisão, sendo que as graduações de 0,5 mm e 1/64", de difícil leitura com exatidão, só aparecem em parte das Escalas, pela dificuldade na gravação, sendo que, em função dessa dificuldade, são admitidos erros de execução, também em função da fórmula:  $f = \pm 5 + \frac{L}{50}$ , sendo "f" medido em 0,001 mm (micrometro) e "L" o comprimento da escala, em mm.

A espessura dos traços da Escala está baseada em limites da vista humana, cujo ângulo de visão distinta é da ordem de 1 minuto.

Assim, a uma distância média de 200 mm entre a Escala e o observador, o limite de visão distinta seria de 0,06 mm, portanto, a espessura mínima dos traços também seria de 0,06 mm.

A espessura dos traços dos instrumentos de medição possui um valor consideravelmente constante entre os fabricantes e pode fixar-se entre 80 e 120  $\mu\text{m}$  nos instrumentos de precisão, e entre 120 e 200  $\mu\text{m}$ , nos instrumentos usuais, sendo que o valor mínimo admissível é o de 60  $\mu\text{m}$ .

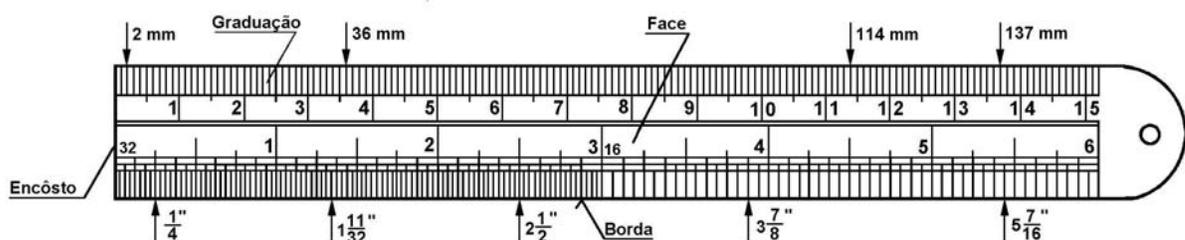
Quanto ao comprimento e espaçamento dos traços, estes são obtidos pela proporção :

$$h : a = 1,6 : 1 \text{ conforme a figura}$$



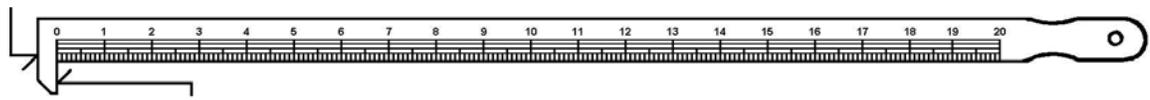
As Escalas apresentam-se nas dimensões de 150, 200, 250, 300, 500, 600, 1.000, 1.500, 2.000 e 3.000 mm, sendo que as mais usadas são as de 150 mm, que correspondem a 6" e as de 300 mm, ou 12".

## NOMENCLATURA

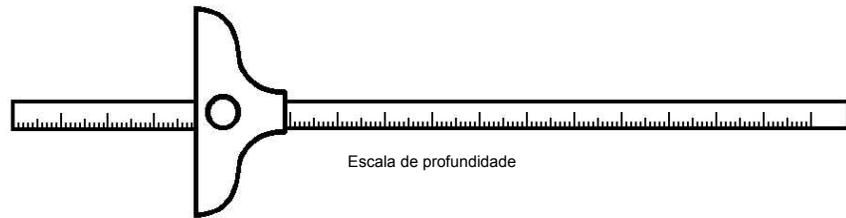


## TIPOS PRINCIPAIS

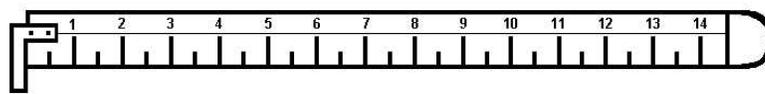
Encosto externo (gradação na face oposta)



Encosto interno



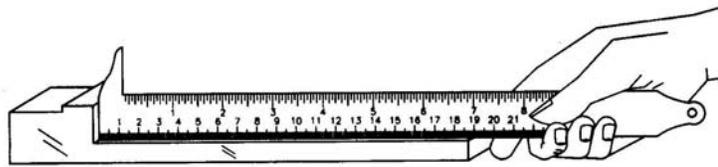
Escala de profundidade



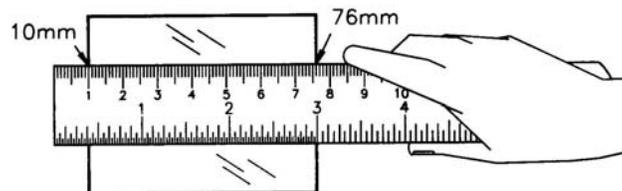
Escala com face interna de referência

## FINALIDADES E APLICAÇÕES

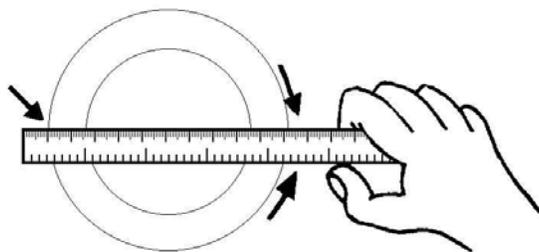
**a** - medição de comprimentos com face de referência:



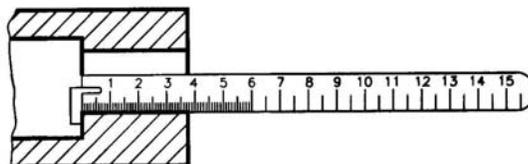
**b** - medição de comprimentos sem encosto de referência:



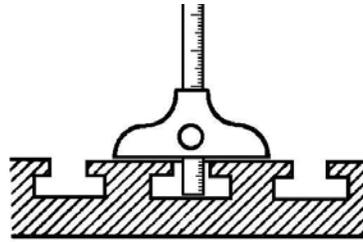
**c** - medição de diâmetros:



**d** - medição de comprimentos com face interna de referência:



e - medição de profundidade:



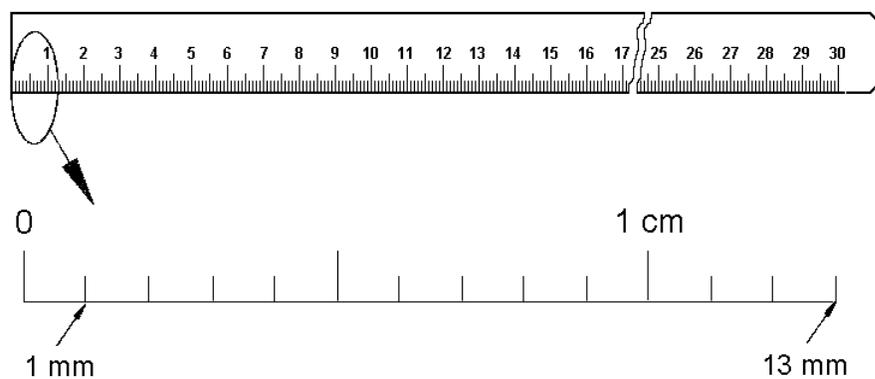
Além dessas aplicações, as Escalas são componentes dos mais importantes, das máquinas operatrizes e das máquinas e aparelhos de medição.

As Escalas usadas como componentes de máquinas são as de maior precisão possível e, dependendo do grau de precisão dessas máquinas, elas devem trabalhar em ambientes com temperatura constante ( $\pm 20^\circ \text{C}$ ), a fim de evitar erros nas medições.

## LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO

Cada centímetro gravado na Escala encontra-se dividido em 10 partes iguais, cabendo a cada parte o equivalente a 1 mm.

Assim, a leitura pode ser feita em milímetro. A figura abaixo mostra, de forma ampliada como isso é feito.

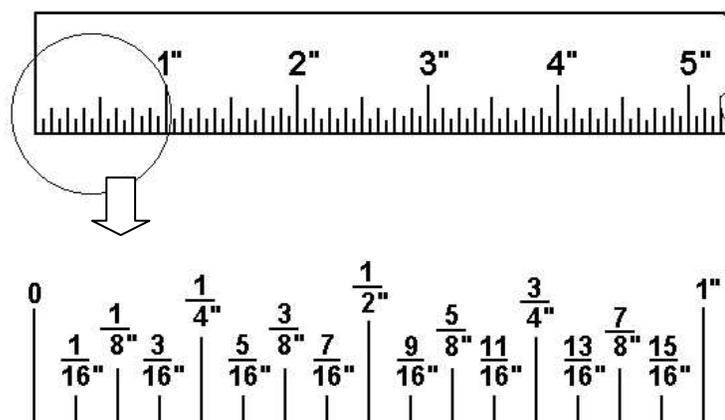


## LEITURA NO SISTEMA INGLÊS

Nesse sistema, a polegada divide-se em 2, 4, 8 e 16 partes iguais.

As Escalas de precisão chegam a apresentar 32 e até 64 divisões por polegada, enquanto as demais só apresentam frações de até  $1/16''$ .

A ilustração a seguir mostra essa divisão, representando a polegada em tamanho ampliado.



Observe que, na ilustração anterior, estão indicadas somente frações de numerador ímpar. Isso acontece porque, sempre que houver numeradores pares, a fração será simplificada.

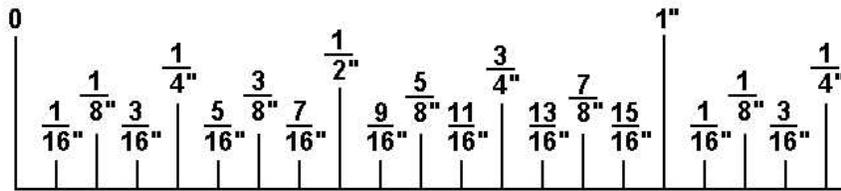
Exemplos:

$$1/16'' \Rightarrow 1/16''$$

$$1/16'' + 1/16'' = 2/16'' \Rightarrow 1/8''$$

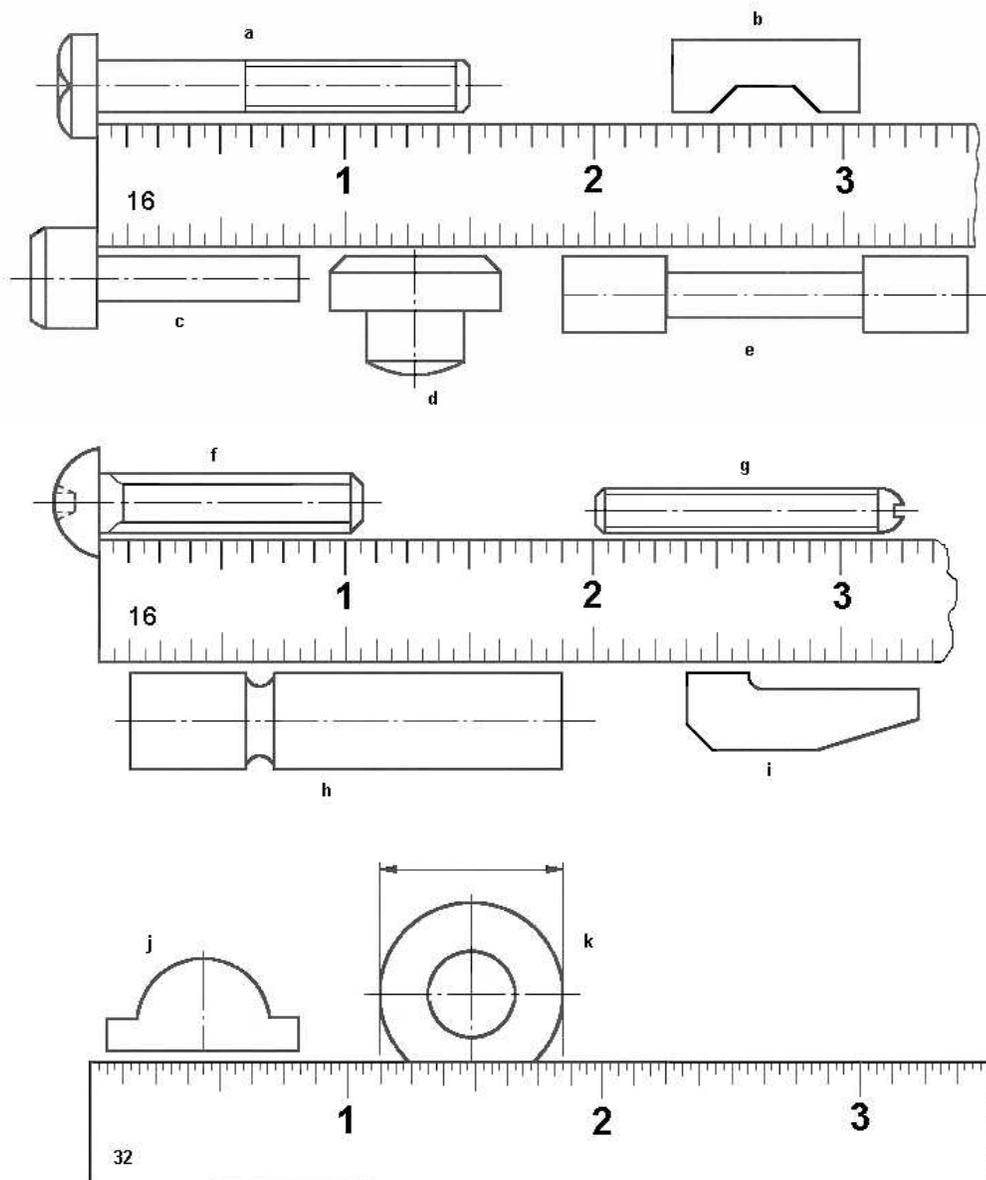
$$1/16'' + 1/16'' + 1/16'' + 1/16'' = 4/16'' = 2/8'' \Rightarrow 1/4'' \text{ e assim por diante}$$

A leitura na Escala consiste em observar qual traço coincide com a extremidade do objeto. Na leitura, deve-se sempre observar a altura do traço, pois ele facilita a identificação das partes em que a polegada foi dividida.



## EXERCÍCIOS

Determine os valores das dimensões de "a" a "k", em frações de polegadas.



Resultados:

**a** = ..... **b** = ..... **c** = ..... **d** = .....

**e** = ..... **f** = ..... **g** = ..... **h** = .....

**i** = ..... **j** = ..... **k** = .....

### CONSERVAÇÃO DAS ESCALAS

- a - Deve ser manejada com cuidado, evitando-se quedas e choques;
- b - Deve-se evitar sua utilização junto a ferramentas de trabalho;
- c - Não se deve flexioná-la, pois isso poderá empená-la ou quebrá-la;
- d - Deve-se evitar riscos ou entalhes, para não prejudicar sua leitura;
- e - Deve ser feita uma limpeza completa, após o uso, aplicando uma fina camada de óleo fino ou vaselina sólida em suas faces.

## PAQUÍMETROS

O Paquímetro é um instrumento de medição que utiliza normalmente o princípio do “NÔNIO OU VERNIER”, e é utilizado para efetuar medições lineares externas, internas, de ressaltos e de profundidade das peças.

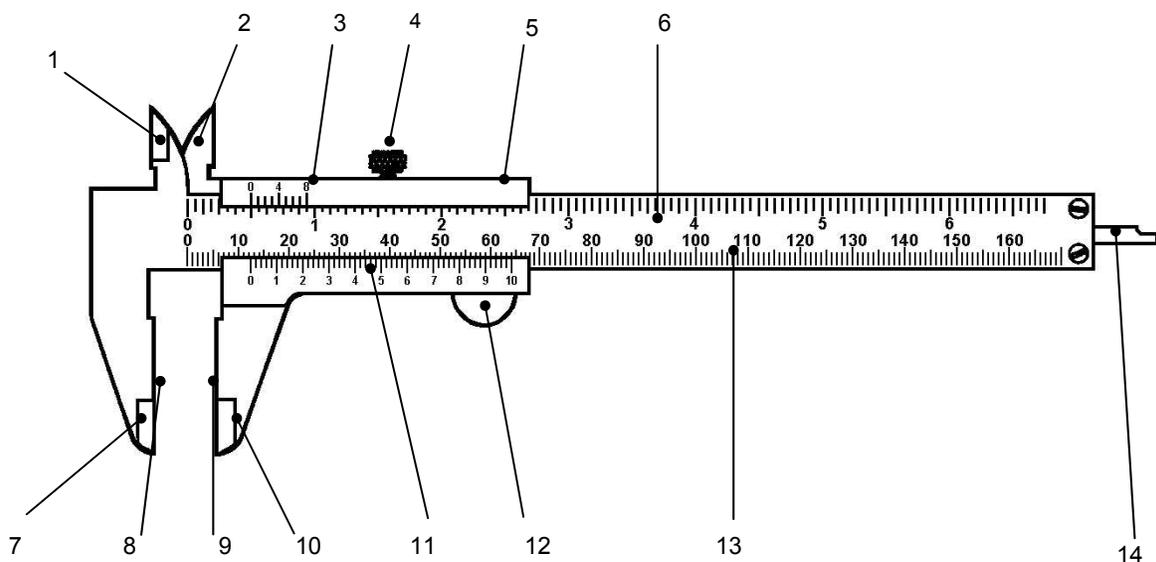
A palavra “NÔNIO” teve origem no nome do matemático português PEDRO NUNES (1492 - 1577), professor da Universidade de Coimbra, que desenvolveu um dispositivo para ser adaptado a uma escala angular, que permitia a leitura de frações das menores divisões desta escala.

Quanto à palavra “VERNIER”, esta originou-se do nome do geômetra francês PIERRE VERNIER (1580 - 1637), que, meio século depois, aplicou o mesmo princípio do NÔNIO a uma escala linear que foi denominada de VERNIER, a qual divide a escala fixa em frações menores que a divisão desta escala, sendo esta muito utilizada nos Paquímetros.

O Paquímetro consiste em uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor. Este cursor ajusta-se à régua, permitindo sua livre movimentação, com um mínimo de folga. Ele é dotado de uma escala auxiliar, chamada “NÔNIO” ou “VERNIER”. Essa escala permite a leitura de frações da menor divisão da escala fixa.

O Paquímetro, dependendo de sua aplicação, poderá se apresentar das mais variadas formas, atendendo, assim, as mais diversas necessidades de trabalho.

## NOMENCLATURA



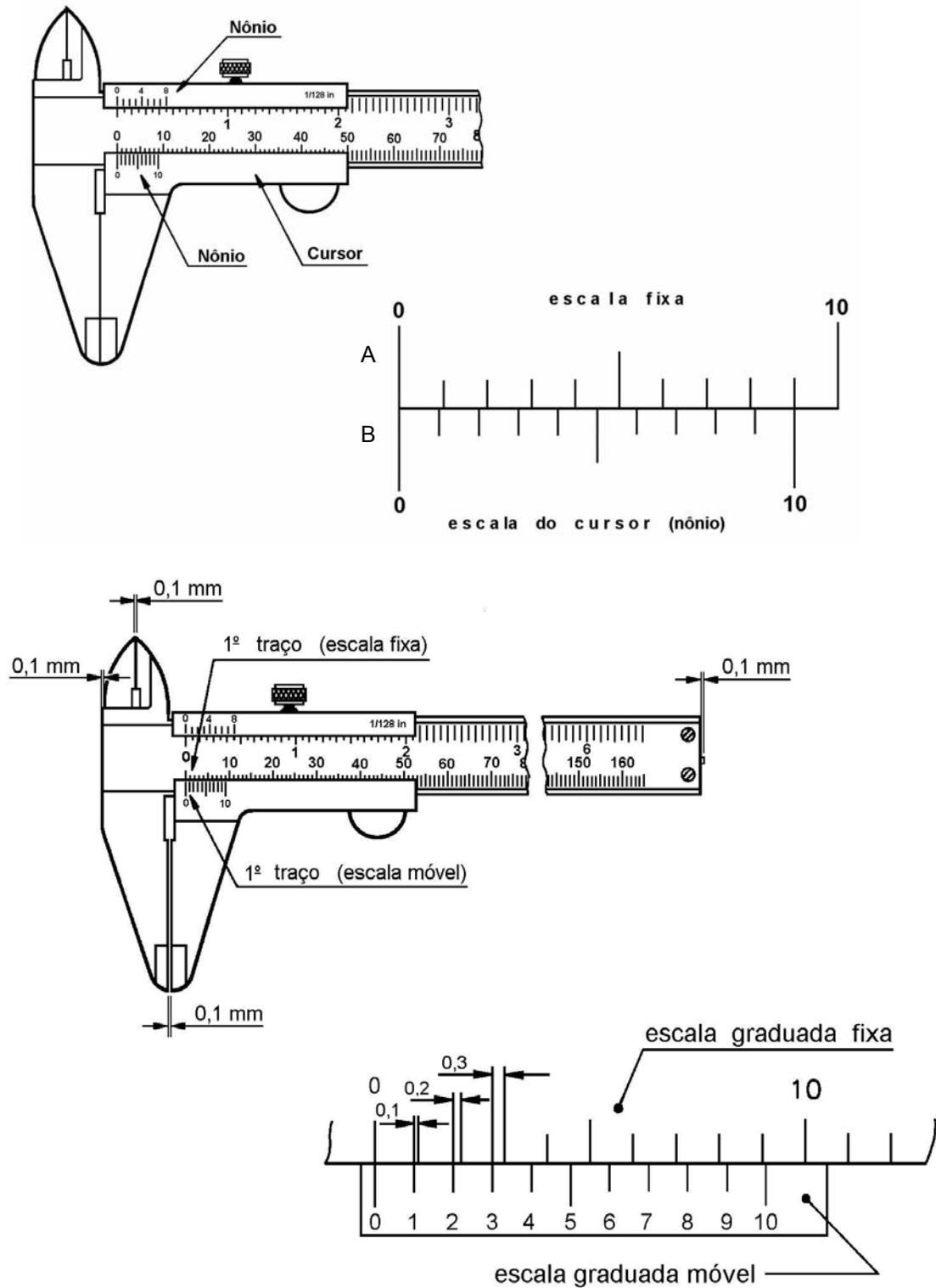
- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 01 - orelha fixa                 | 08 – encosto fixo                 |
| 02 – orelha móvel                | 09 – encosto móvel                |
| 03 – nônio ou vernier (polegada) | 10 – bico móvel                   |
| 04 – parafuso de trava           | 11 – nônio ou vernier (milímetro) |
| 05 – cursor                      | 12 – impulsor                     |
| 06 – escala fixa em polegada     | 13 – escala fixa em milímetros    |
| 07 – bico fixo                   | 14 – haste de profundidade        |

## FUNCIÓNAMENTO (princípio do nônio)

Suponhamos duas réguas **A** e **B**, sendo a régua **A** com comprimento de 10 mm, dividida em 10 partes iguais, e a régua **B**, com comprimento de 9 mm, dividida também em 10 partes iguais. Cada divisão da régua **A** mede 1 mm e, da régua **B**, mede 0,9 mm. A régua **A** corresponde à escala do Paquímetro (principal) e a régua **B** corresponde ao nônio.

Quando os zeros das duas réguas estiverem juntos, a distância entre as primeiras linhas será de 0,1 mm, entre as segundas linhas será de 0,2 mm e assim sucessivamente.

Se as primeiras linhas coincidirem, a distância entre os zeros será de 0,1 mm; se a coincidência for das segundas linhas, a distância entre os zeros será de 0,2 mm e assim por diante.



## LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO

Na escala fixa ou principal do Paquímetro, a leitura feita antes do zero do nônio corresponde à leitura em milímetro.

Em seguida, deve-se contar os traços do nônio até o ponto em que um deles coincida com um traço da escala fixa.

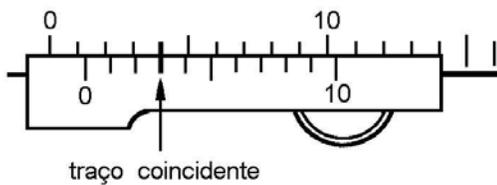
Depois soma-se o número lido na escala fixa ao número lido no nônio.

Para entender melhor o processo de leitura no Paquímetro, serão apresentados, a seguir, dois exemplos de leitura.

### ESCALA EM MILÍMETRO COM NÔNIO DIVIDIDO EM 10 PARTES

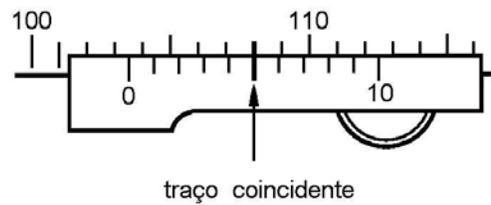
$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}} = \frac{1 \text{ mm}}{10 \text{ divisões}} = 0,1 \text{ mm}$$

#### EXEMPLOS:



#### Leitura

1,0 mm  $\Rightarrow$  escala fixa  
 + 0,3 mm  $\Rightarrow$  nônio (3º traço coincide)  
 1,3 mm  $\Rightarrow$  total (leitura final)

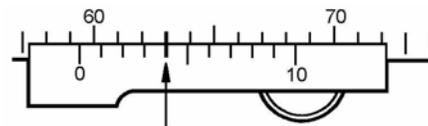


#### Leitura

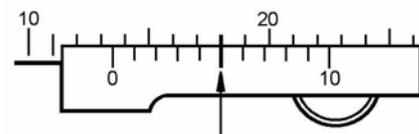
103,0 mm  $\Rightarrow$  escala fixa  
 + 0,5 mm  $\Rightarrow$  nônio (5º traço coincide)  
 103,5 mm  $\Rightarrow$  total (leitura final)

**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Paquímetros abaixo representadas (resolução de 0,1 mm).

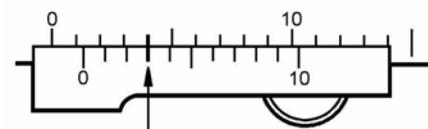
Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....



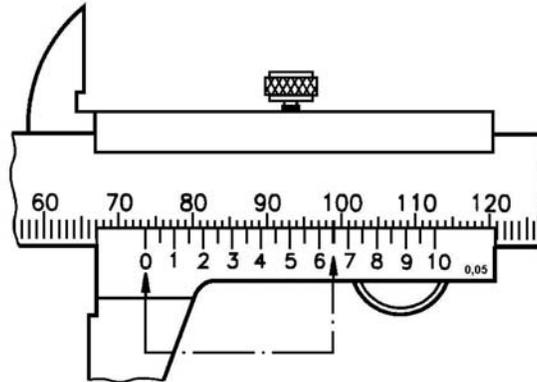
## ESCALA EM MILÍMETRO COM NÔNIO DIVIDIDO EM 20 PARTES

$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{1 \text{ mm}}{20} = 0,05 \text{ mm}$$

**EXEMPLO:**

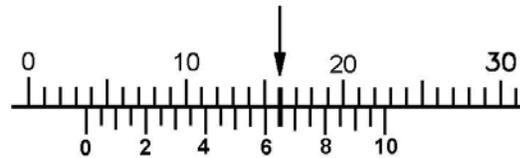
**Leitura**

$$\begin{array}{r} 73,00 \text{ mm} \Rightarrow \text{escala fixa} \\ + \underline{0,65 \text{ mm}} \Rightarrow \text{nônio} \\ \hline 73,65 \text{ mm} \Rightarrow \text{total} \end{array}$$

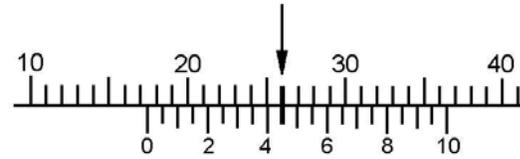


**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Paquímetros abaixo representadas (resolução de 0,05 mm).

Leitura = .....



Leitura = .....



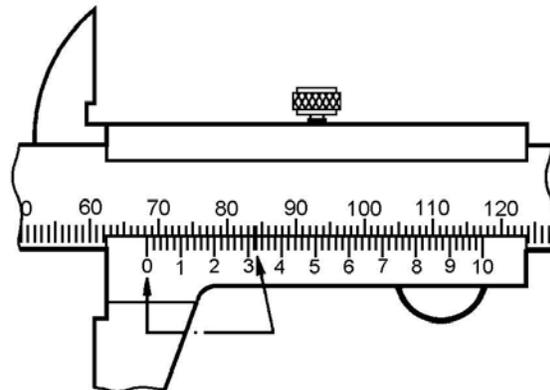
## ESCALA EM MILÍMETRO COM NÔNIO DIVIDIDO EM 50 PARTES

$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{1 \text{ mm}}{50} = 0,02 \text{ mm}$$

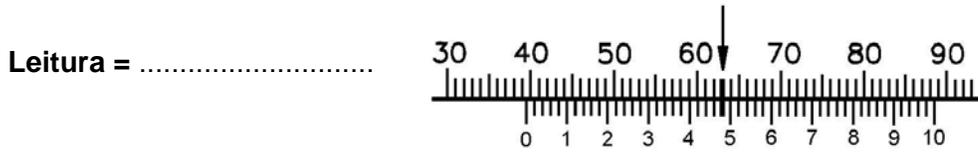
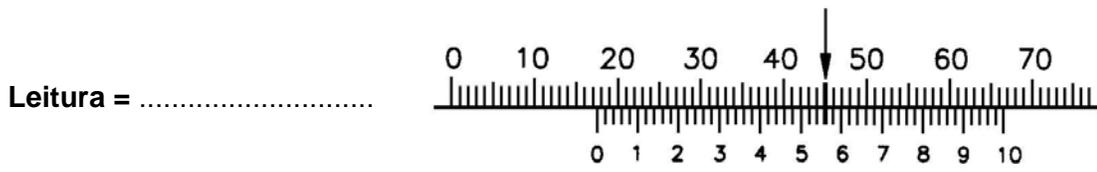
**EXEMPLO:**

**Leitura**

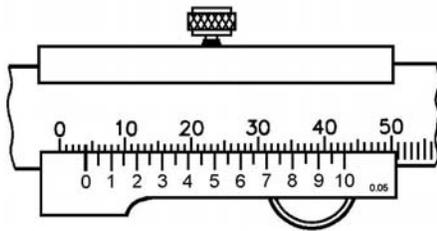
$$\begin{array}{r} 68,00 \text{ mm} \Rightarrow \text{escala fixa} \\ + \underline{0,32 \text{ mm}} \Rightarrow \text{nônio} \\ \hline 68,32 \text{ mm} \Rightarrow \text{total} \end{array}$$



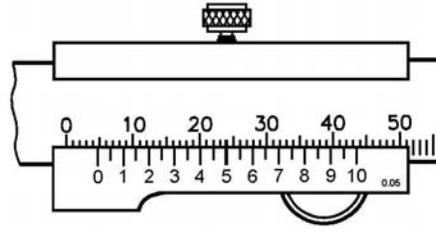
**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Paquímetros abaixo representadas (resolução de 0,02 mm).



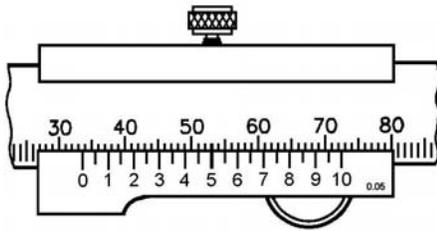
**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Paquímetros abaixo representadas (resoluções de 0,05 mm e 0,02 mm).



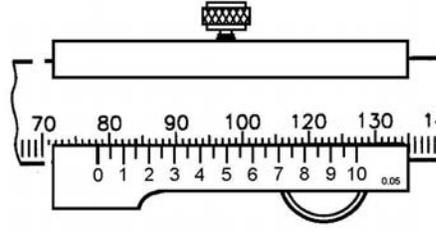
Leitura = .....



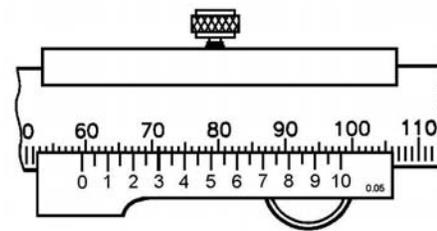
Leitura = .....



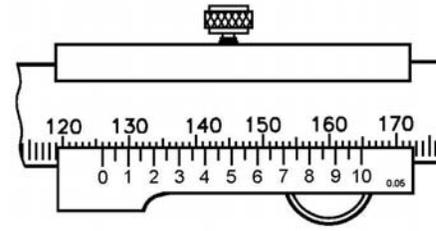
Leitura = .....



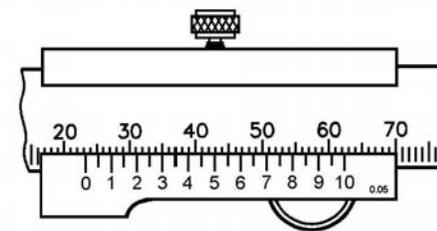
Leitura = .....



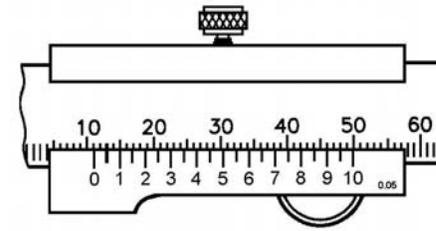
Leitura = .....



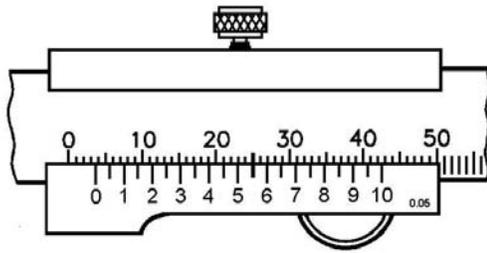
Leitura = .....



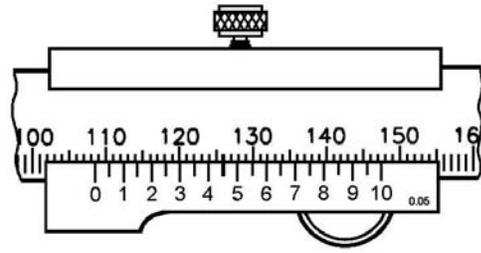
Leitura = .....



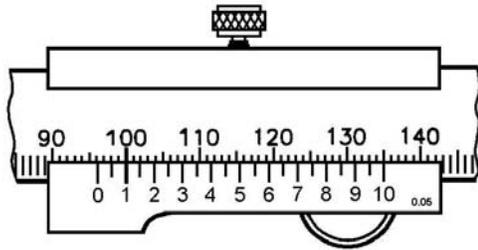
Leitura = .....



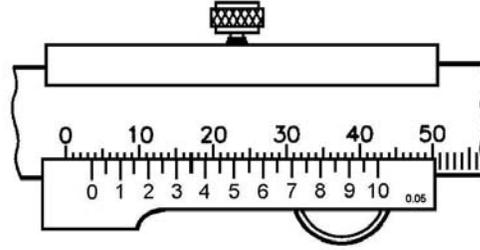
Leitura = .....



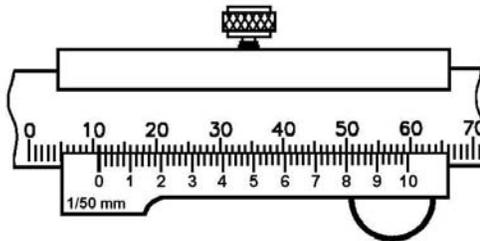
Leitura = .....



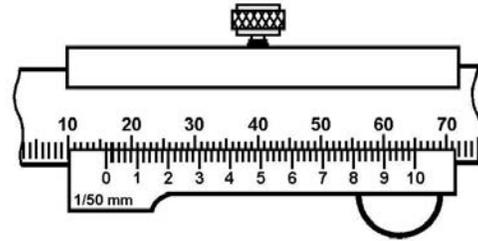
Leitura = .....



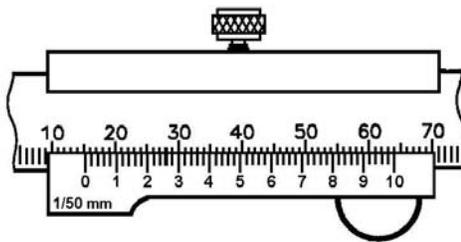
Leitura = .....



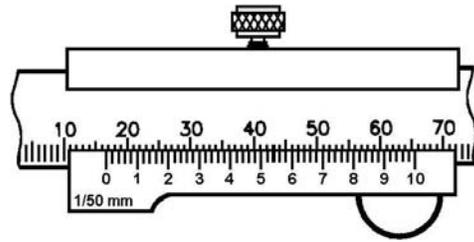
Leitura = .....



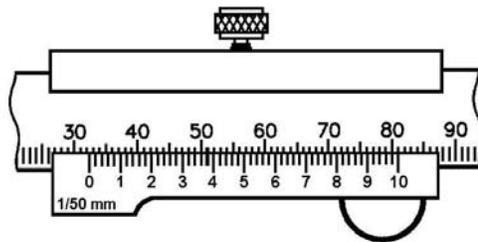
Leitura = .....



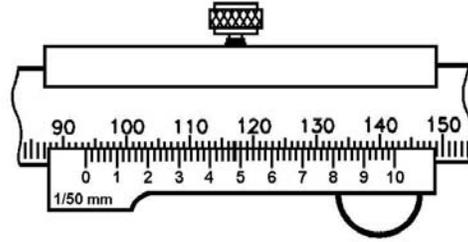
Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....

## LEITURA NO SISTEMA INGLÊS (decimal)

No Paquímetro em que se adota o sistema inglês, cada polegada da escala fixa divide-se em 40 partes iguais. Cada divisão corresponde a  $(1" \div 40) = .025"$  e, como o nônio tem 25 divisões, a resolução desse Paquímetro é :

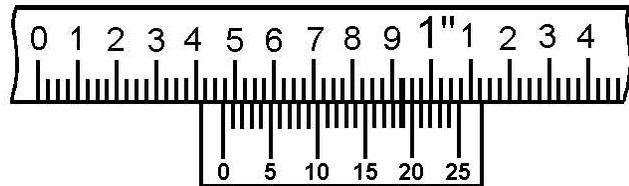
$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}} = \frac{.025"}{25} = .001"$$

O procedimento para leitura é o mesmo utilizado para a escala em milímetro. Contam-se as unidades de  $.025"$  que estão à esquerda do zero do nônio e, a seguir, somam-se os milésimos de polegada indicados pelo ponto em que um dos traços do nônio coincide com o traço da escala fixa.

### EXEMPLOS:

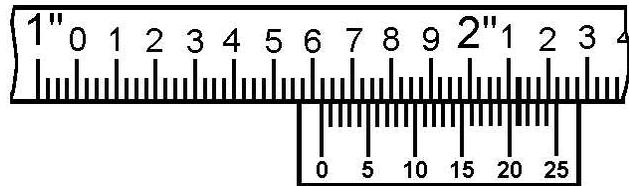
#### Leitura

$$\begin{array}{r} .400" \Rightarrow \text{escala fixa} \\ .050" \Rightarrow \text{escala fixa} \\ + .019" \Rightarrow \text{nônio} \\ \hline .469" \Rightarrow \text{total} \end{array}$$



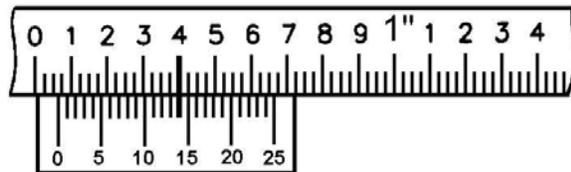
#### Leitura

$$\begin{array}{r} 1.000" \Rightarrow \text{escala fixa} \\ .600" \Rightarrow \text{escala fixa} \\ + .021" \Rightarrow \text{nônio} \\ \hline 1.621" \Rightarrow \text{total} \end{array}$$

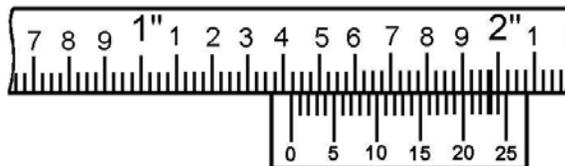


**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Paquímetros abaixo representadas (resolução de  $0.001"$ ).

Leitura = .....



Leitura = .....



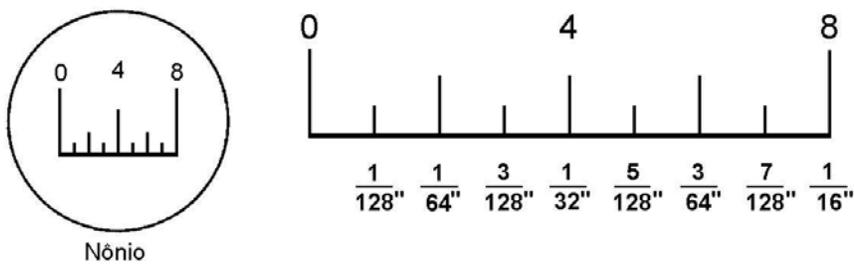
## LEITURA NO SISTEMA INGLÊS (binário)

No sistema inglês (binário), a escala fixa do Paquímetro é graduada em polegada e frações de polegada. Esses valores fracionários da polegada são complementares com o uso do nônio.

Para utilizar o nônio, precisamos saber calcular sua resolução

$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{\text{UEF}}{\text{NDN}} = \frac{1/16''}{8} = \frac{1}{16''} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{128''}$$

Assim, cada divisão do nônio vale  $1/128''$ , duas divisões corresponderão a  $2/128''$  que, simplificado, dá  $1/64''$  e assim por diante.



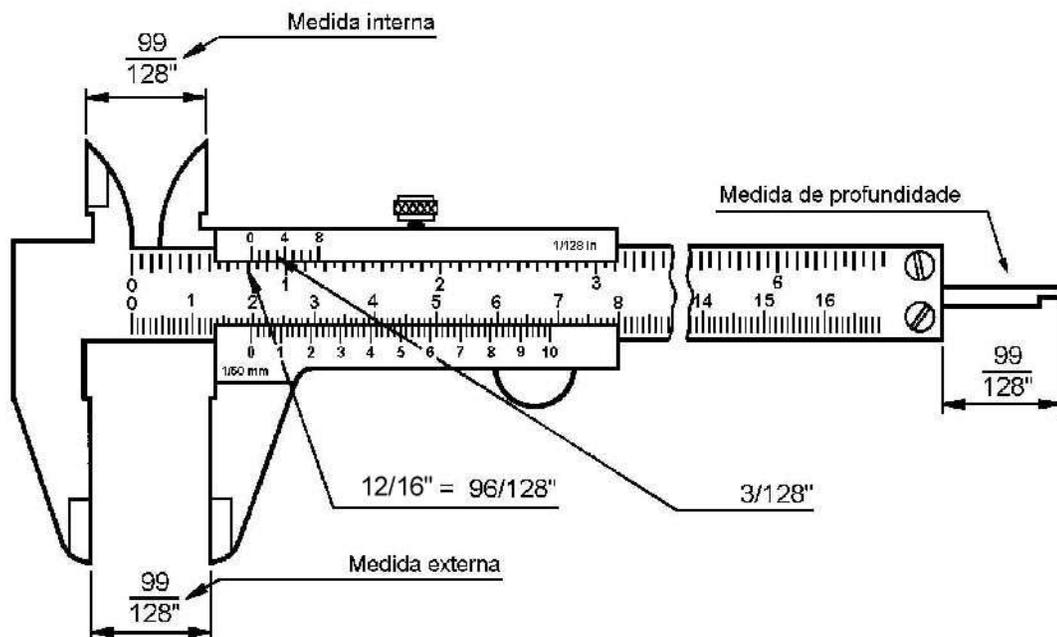
A partir daí, vale a explicação dada no item anterior: adicionar à leitura da escala fixa à do nônio.

### EXEMPLO:

Na figura a seguir, podemos ler  $12/16''$ , na escala fixa, e  $3/128''$ , na escala do nônio.

A medida total corresponderá à soma dessas duas leituras, ou seja,

$$\text{SOLUÇÃO: } \frac{12}{16''} + \frac{3}{128''} \Rightarrow \frac{96}{128''} + \frac{3}{128''} = \frac{99}{128''}$$





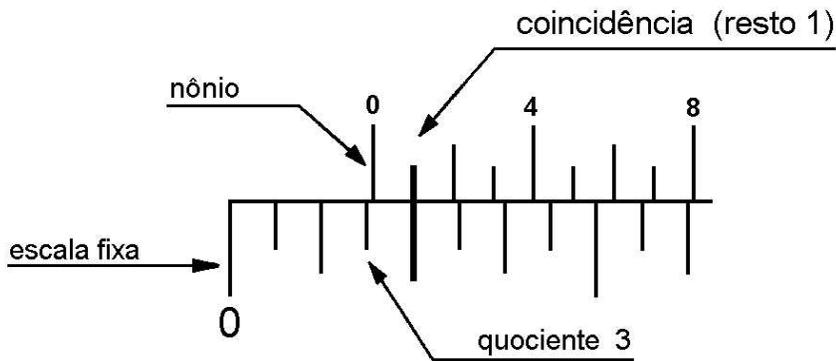
**OUTRO EXEMPLO** - Abrir o Paquímetro na medida  $\frac{25}{128}$ "

A fração já possui denominador 128, neste caso, divide-se 25 por 8

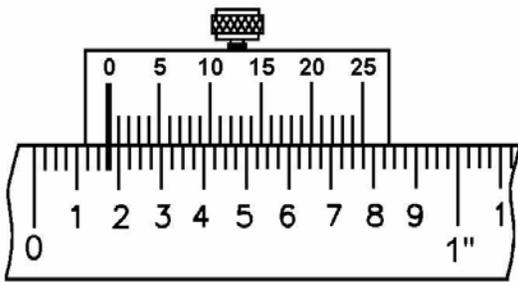
$$\begin{array}{r} 25 \\ 8 \overline{) 3} \\ \underline{24} \\ 1 \end{array}$$

resto      quociente

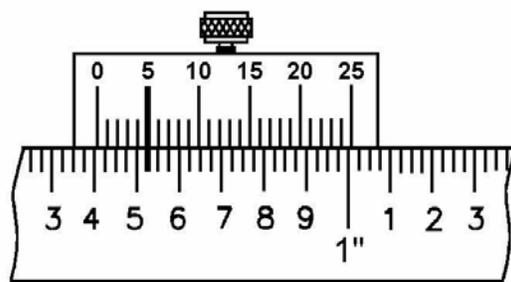
O Paquímetro deverá indicar o 3º traço da escala fixa e apresentar o 1º traço da escala do nônio coincidindo com um traço da escala fixa.



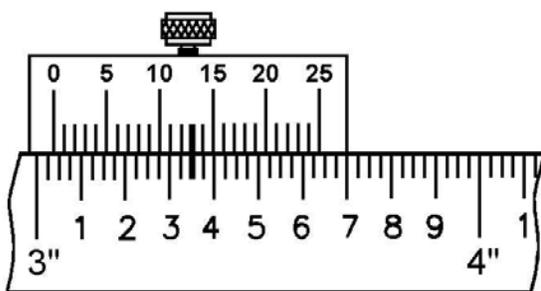
**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Paquímetros abaixo representados (resoluções de .001" e 1/128").



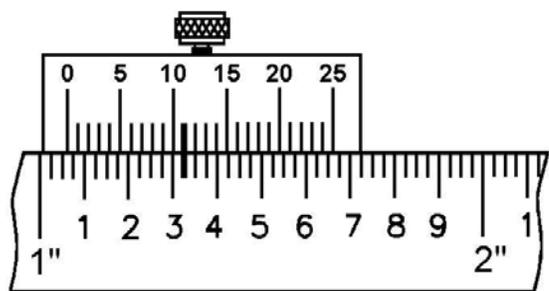
Leitura = .....



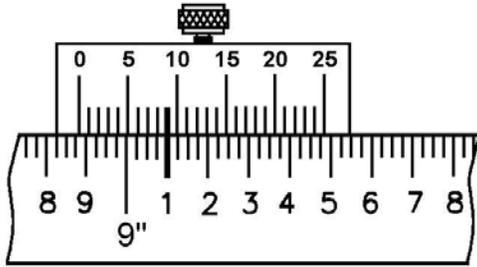
Leitura = .....



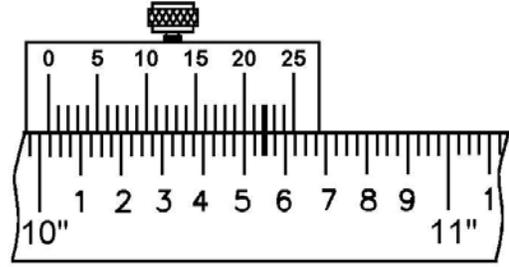
Leitura = .....



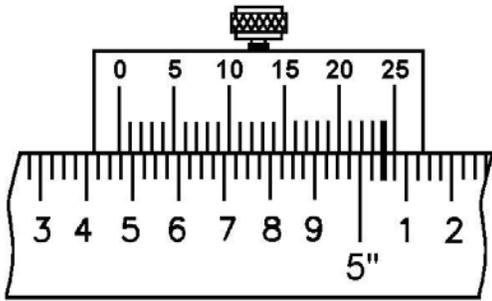
Leitura = .....



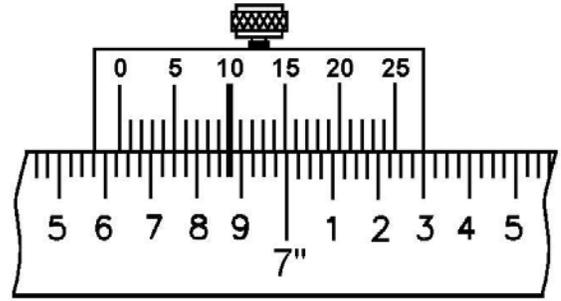
Leitura = .....



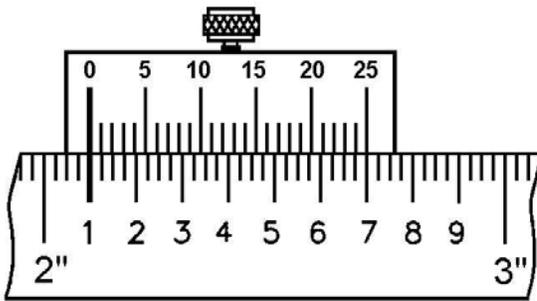
Leitura = .....



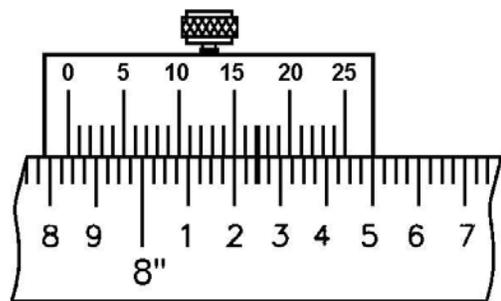
Leitura = .....



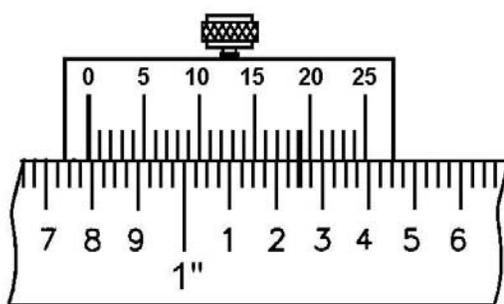
Leitura = .....



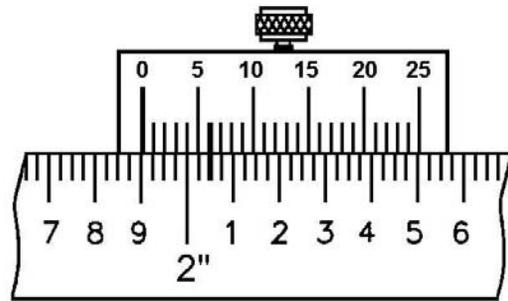
Leitura = .....



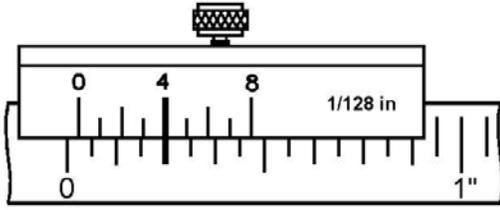
Leitura = .....



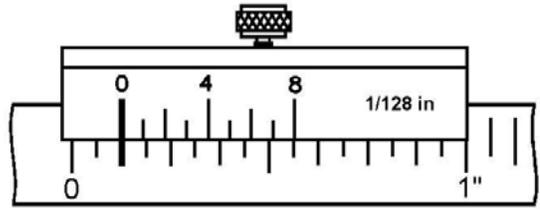
Leitura = .....



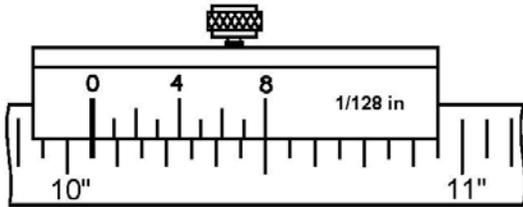
Leitura = .....



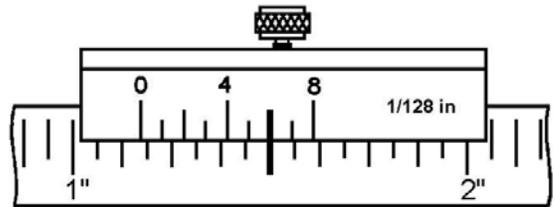
Leitura = .....



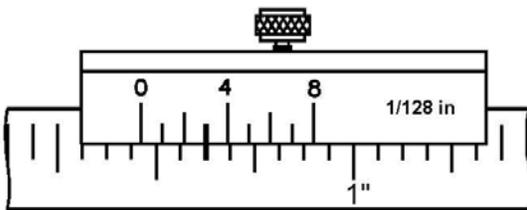
Leitura = .....



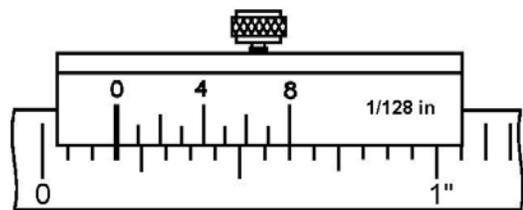
Leitura = .....



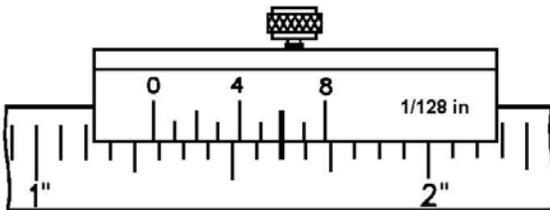
Leitura = .....



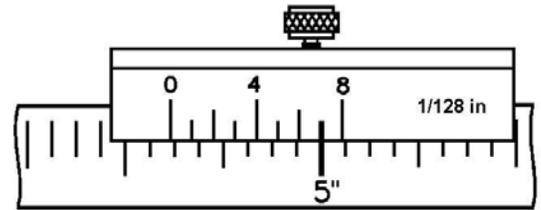
Leitura = .....



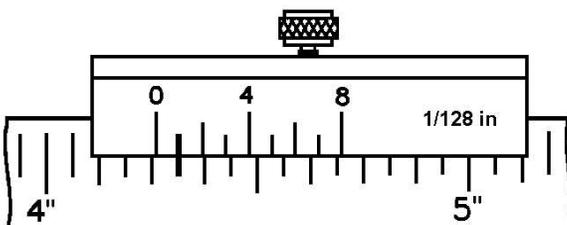
Leitura = .....



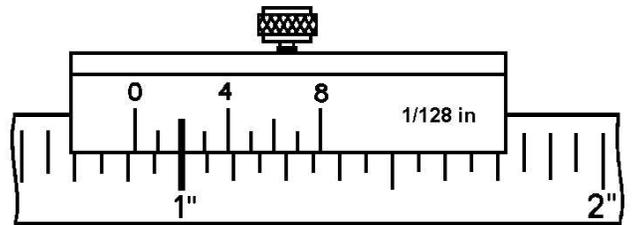
Leitura = .....



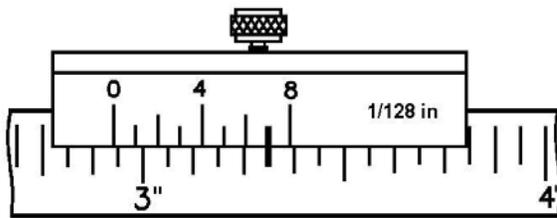
Leitura = .....



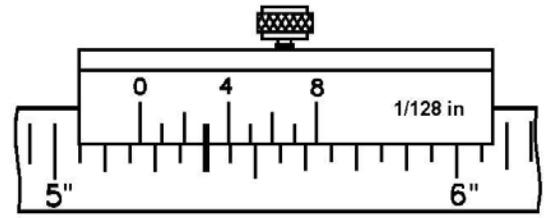
Leitura = .....



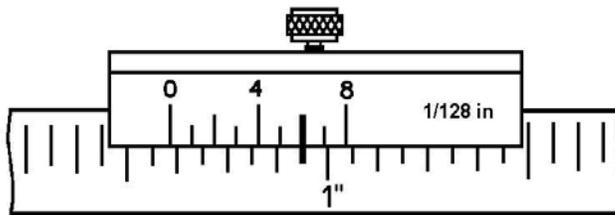
Leitura = .....



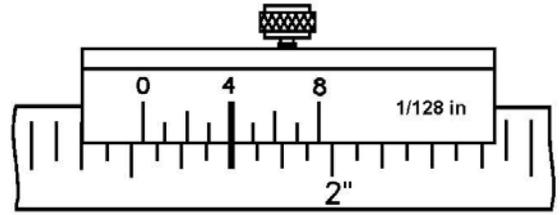
Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....

## ERROS DE MEDIÇÃO COM O PAQUÍMETRO

Para obtermos o máximo de rendimento em termos de medição com os Paquímetros, devemos ter sempre em mente que, para uma medição precisa e confiável, são necessárias certas condições, tanto para o instrumento como para o operador, para que a medição seja o mais fiel possível. Estas condições são, basicamente, qualidade do instrumento e preparo do operador, evitando-se, assim, erros de influências objetivas (erros do instrumento) e erros de influências subjetivas (erros do operador).

### ERROS DE INFLUÊNCIAS OBJETIVAS

(erros do instrumento)

#### a - ERRO DE PLANIDADE DAS SUPERFÍCIES DE MEDIÇÃO

Ocorre quando as superfícies de medição não estão absolutamente planas, admitindo-se uma tolerância de, no máximo, 2  $\mu\text{m}$  na retificação destas superfícies.

#### b - ERRO DE PARALELISMO DAS SUPERFÍCIES DE MEDIÇÃO

Ocorre quando as superfícies de medição não se apresentam perfeitamente paralelas, considerando-se satisfatório um erro de até 3  $\mu\text{m}$ .

#### c - ERRO DE DIVISÃO DA RÉGUA (ESCALA PRINCIPAL)

A precisão das divisões é obtida por métodos especiais de trabalho, tendo em vista a elevada dureza do material com que é confeccionado o instrumento. Admite-se um erro de execução em função da fórmula :  $f = \pm 5 + (L/50)$ .

#### d - ERRO DE DIVISÃO DA RÉGUA (NÔNIO)

Pelos mesmos motivos da anterior e, ainda pelo fato de ser uma escala menor, são admitidos erros de  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

#### e - ERRO DE COLOCAÇÃO EM ZERO

Ocorre quando os zeros das escalas principal e do nônio não coincidem, devido à deposição de impurezas nas faces de medição, ou pelo desgaste das mesmas, pelo uso frequente. Pode apresentar um erro de, no máximo,  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

## ERROS DE INFLUÊNCIAS SUBJETIVAS

(erros do operador)

### a - ERRO POR DIFERENÇA DE PRESSÃO DE MEDIÇÃO

Pressão de medição é a pressão necessária para vencer o atrito do cursor sobre a régua, mais a pressão de contato com a peça a ser medida. É tolerável um erro de até  $\pm 2 \mu\text{m}$ .

### b - ERRO DE LEITURA

É influenciado pelo **PARALAXE**, que ocorre pelo fato de a escala da régua e a escala do nônio estarem em planos diferentes, além de depender do ângulo de visão do operador. Este erro, dependendo da posição do operador em relação ao instrumento e do valor da diferença de planos das escalas, poderá ser de, no máximo,  $15 \mu\text{m}$ .

Pelo que foi exposto, pode-se calcular o erro máximo de medição pela soma de todos os erros, na possibilidade de um mesmo instrumento e operador assim se apresentarem.

ERROS		$\mu\text{m}$ (micrometro)
objetivos	planidade das superfícies de medição	$\pm 2$
	paralelismo das superfícies de medição	$\pm 3$
	divisão da régua principal	$\pm 5 + L/50$
	divisão da régua do nônio	$\pm 5$
	colocação em zero	$\pm 5$
subjetivos	diferença de pressão de medição	$\pm 2$
	leitura	$\pm 15$
<b>TOTAL</b>		<b><math>\pm 37 + L/50</math></b>

Na prática, tal erro não se deverá verificar, pois é improvável a ocorrência simultânea de cada erro, em seus limites máximos. Deve-se, então, considerar a probabilidade de erro máximo em Paquímetros com resolução de  $0,02 \text{ mm}$  pela fórmula:

$$\pm \frac{2}{3} \times 37 + \frac{L}{50} \mu\text{m} \Rightarrow \pm 25 + \frac{L}{50} \mu\text{m}$$

Nos Paquímetros com resolução de  $0,05 \text{ mm}$ , utiliza-se a fórmula:

$$\pm 50 + \frac{L}{20} \mu\text{m}$$

Nos Paquímetros com resolução de  $0,1 \text{ mm}$ , utiliza-se a fórmula:

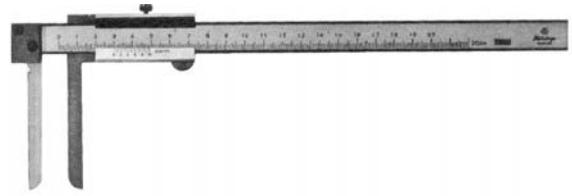
$$\pm 75 + \frac{L}{20} \mu\text{m}$$

## CARACTERÍSTICAS DE UM BOM PAQUÍMETRO

- a - ser de aço inoxidável;
- b - possuir graduação uniforme;
- c - apresentar traços bem finos e profundos, salientados em preto;
- d - ter o cursor bem ajustado, deslizando suavemente ao longo da haste;
- e - ter as faces de encosto bem ajustadas, quando juntas não deverá passar luz.

## TIPOS DE PAQUÍMETROS

Paquímetro com bicos de medição finos e compridos para medições internas



Paquímetro com bicos de medição com gancho, próprio para medição de ranhuras internas



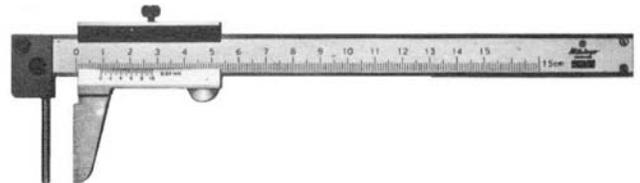
Paquímetro com bicos de medição com gancho, próprio para medição de ranhuras externas



Paquímetro com bicos de medição com pontas cônicas, para medição externa



Paquímetro com um bico de medição em forma cilíndrica, para medir superfícies curvas



Paquímetro com bicos em lâmina de metal duro, para medições externas



Paquímetro quadrimensional, sem erro de paralaxe



Paquímetro com bico de medição externa móvel ( $\pm 90^\circ$ )



Paquímetro com bico de medição ajustável em posição vertical



Paquímetro com bicos de medição cônicos, para medição da distância entre centros de furos



Paquímetro com bicos de medição finos



Paquímetro com bicos de medição externa, paralelos



## UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS PAQUÍMETROS

QUANDO DA UTILIZAÇÃO DE UM PAQUÍMETRO, ESCOLHA O MAIS ADEQUADO, PARA ATENDER PLENAMENTE AS NECESSIDADES DE MEDIÇÃO. LEVE EM CONTA OS SEGUINTE ASPECTOS :

- Tipo (normal ou especial) para ter acesso ao ponto que será medido na peça;
- Leitura, de acordo com o campo de tolerância especificado;
- Capacidade de medição, etc.

UMA VEZ FEITA A ESCOLHA DO PAQUÍMETRO, PROCEDA DE ACORDO COM AS INSTRUÇÕES ABAIXO, GARANTINDO, ASSIM, UMA MAIOR VIDA ÚTIL AO INSTRUMENTO.

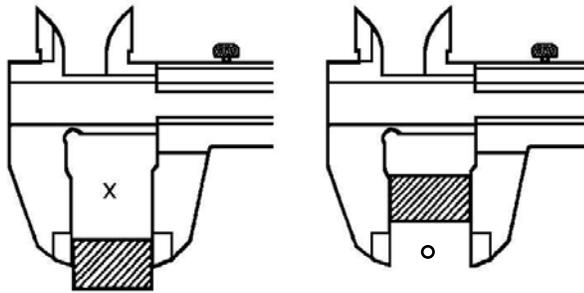
- Deve ser manejado com cuidado, evitando-se quedas e choques;
- Evitar riscos ou entalhes que possam prejudicar as graduações;
- Evitar sua utilização junto a ferramentas comuns de trabalho;
- Não utilizá-lo para bater em objetos;
- Não pressionar o cursor, quando estiver com o parafuso de fixação apertado;
- Aferi-lo, com freqüência, com medidas padrão;
- Não expô-lo diretamente à luz do sol, etc.

APÓS SUA UTILIZAÇÃO, OBSERVE AS SEGUINTE RECOMENDAÇÕES AO GUARDAR O PAQUÍMETRO:

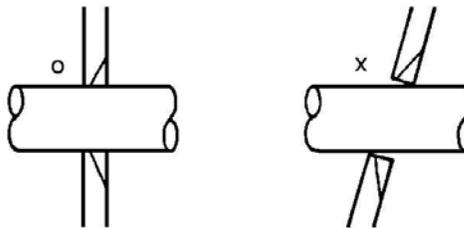
- Limpá-lo com um pano macio, aplicando uma leve camada de vaselina sólida ou óleo fino;
- Guardá-lo sempre em ambientes de baixa umidade, boa ventilação, livre de poeira e afastado de campos magnéticos;
- Sempre que possível, guardá-lo em capa ou estojo adequado;
- Não guardá-lo com o cursor travado;
- Guardá-lo com as faces de medição ligeiramente afastadas, um espaço entre 0,2 e 2 mm, etc.

## OUTROS CUIDADOS QUANDO DA UTILIZAÇÃO

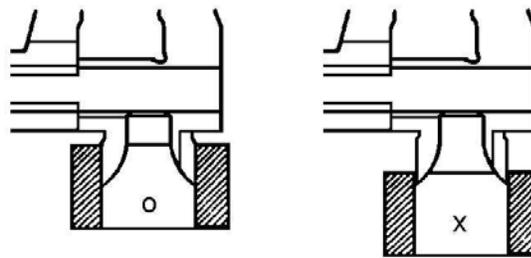
- Aproximar o máximo possível a peça da escala graduada. Isso evitará erros por folga do cursor e o desgaste prematuro das pontas, onde a área de contato é menor;



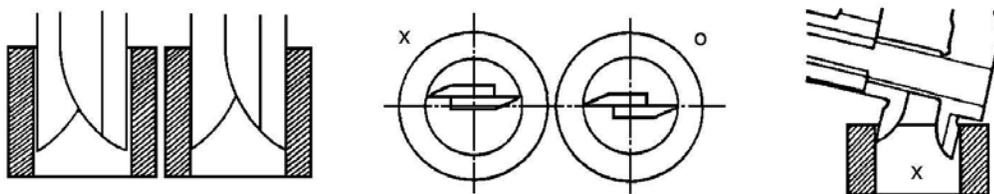
- Cuide para que o apoio das faces de medição seja o mais perfeito possível;



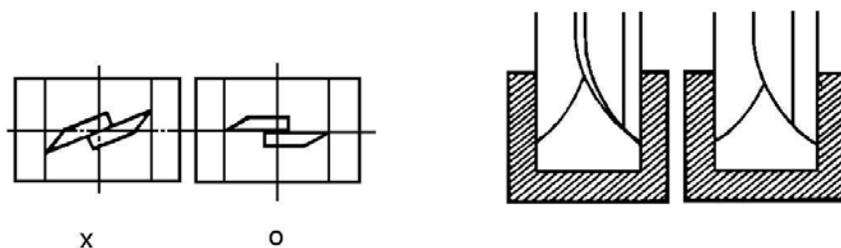
- Procure introduzir, o máximo possível, as orelhas no furo ou ranhura, mantendo o Paquímetro sempre paralelo à peça que está sendo medida;



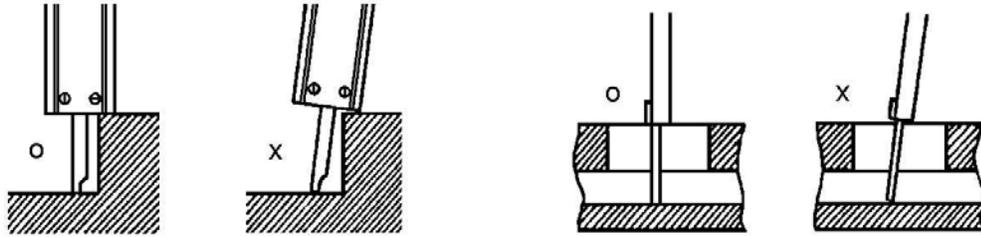
- Ao medir um diâmetro, tome a máxima leitura;



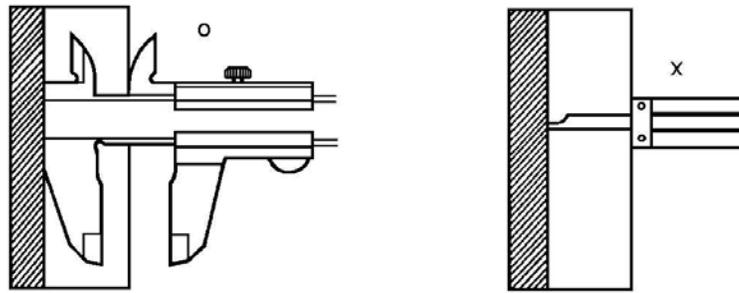
- Ao medir ranhuras, tome a mínima leitura;



- Posicione corretamente a vareta de profundidade;



- Posicione corretamente as faces para a medição de ressalto.



## MICRÔMETROS

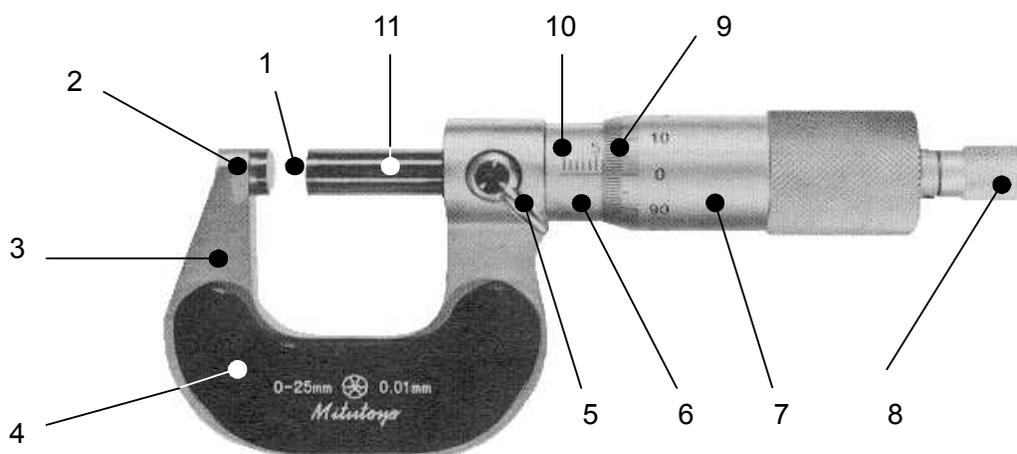
Em 7 de setembro de 1848, o parisiense **JEAN LOUIS PALMER** requereu o registro para um instrumento que permitia a leitura de 0,01 mm de uma maneira muito simples. Durante o decorrer dos anos, este instrumento foi sendo aperfeiçoado, possibilitando medições mais rigorosas e precisas do que o Paquímetro. Atualmente, esse instrumento é conhecido pelo nome de Micrômetro (na França, em homenagem ao nome de seu inventor, o Micrômetro é denominado de "PALMER").

Na indústria suíça de relojoaria, um outro instrumento já fora utilizado anteriormente sem que tivesse sido patenteado. **ANTOINE LE COUTER**, no **VALÉE DE JOUX**, confeccionou, no ano de 1844, um instrumento muito semelhante ao Micrômetro, combinado com um relógio indicador, com divisões de 0,001 mm.

Atualmente, os Micrômetros apresentam-se com capacidade de medição normalmente de 25 mm, ou 1", variando o tamanho do arco de 25 em 25 mm ou de 1 em 1", podendo chegar a 2000 mm ou 80".

Quanto às resoluções dos Micrômetros, estas podem ser de 0,01 mm; 0,001 mm; 0,002 mm; .001" ou .0001".

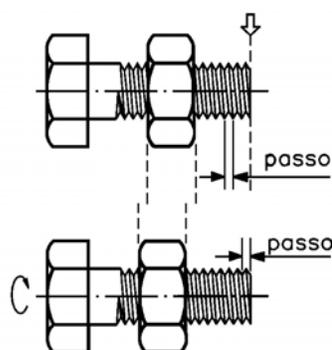
### NOMENCLATURA



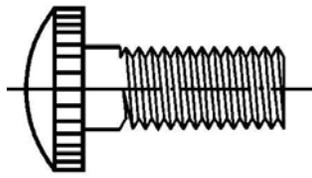
- 1- Faces de medição    2 - Batente    3 - Arco    4 - Isolante térmico    5 - Trava    6 - Bainha  
7 - Tambor    8 - Catraca    9 - Escala circular    10 - Escala da bainha    11 - Fuso

### FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento do Micrômetro assemelha-se ao do sistema parafuso e porca. Assim, há uma porca fixa e um parafuso móvel que, se dermos uma volta completa, provocará um deslocamento igual ao seu passo.



Desse modo, dividindo-se a cabeça do parafuso, pode-se avaliar frações menores que uma volta e, com isso, medir comprimentos menores do que o passo do parafuso.



No Micrômetro, no prolongamento da haste móvel, há um parafuso micrométrico preso ao tambor, que se move através de uma porca ligada à bainha. Quando se gira o tambor, sua graduação circular desloca-se em torno da bainha e, ao mesmo tempo, conforme o sentido do movimento, a face da haste móvel se aproxima ou se afasta da face da haste fixa, no sentido longitudinal. As roscas do parafuso micrométrico e de sua porca são de grande precisão, evitando-se, assim, erros de primeira ordem.

No Micrômetro com resolução de 0,01 mm, o passo das roscas é de 0,5 mm; na bainha, as divisões são de milímetros e meios milímetros e, no tambor, a graduação circular possui 50 divisões.

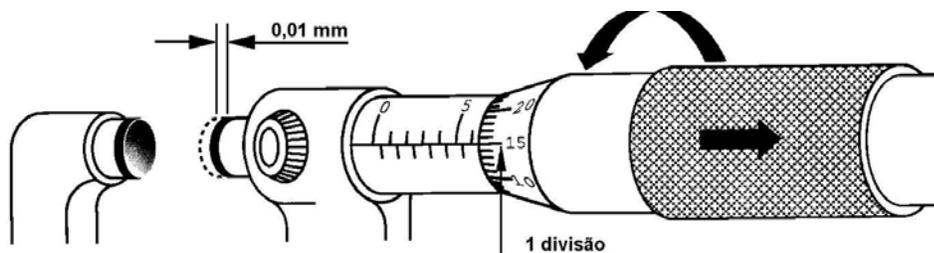
Quando as faces das hastes fixa e móvel estão juntas, a borda do tambor coincide com o traço zero da graduação da bainha, ao mesmo tempo em que a reta longitudinal gravada na bainha (entre as escalas de mm e meio mm) coincide com o zero da graduação circular do tambor. Como o passo do parafuso é de 0,5 mm, uma volta completa do tambor levará sua borda ao primeiro traço de meio milímetro, duas voltas completas, ao primeiro traço de milímetro, e assim por diante. Baseado nisso, o deslocamento de apenas uma divisão da graduação circular do tambor dá a aproximação de 0,01 mm, duas divisões, 0,02 mm, e assim sucessivamente.

## LEITURA NO SISTEMA MÉTRICO

A resolução de uma medida tomada em um Micrômetro corresponde ao menor deslocamento do seu fuso (parafuso micrométrico). Para se obter a medida, divide-se o passo do fuso pelo número de divisões do tambor.

$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{\text{passo da rosca do fuso}}{\text{número de divisões do tambor}} = \frac{0,5 \text{ mm}}{50} = 0,01 \text{ mm}$$

Assim, girando o tambor, cada divisão provocará um deslocamento de 0,01 mm no fuso.



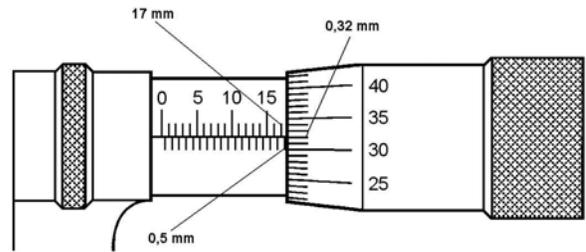
Para entender melhor o processo de leitura no Micrômetro, serão apresentados, a seguir, dois exemplos de leitura.

### ESCALA EM MILÍMETRO COM TAMBOR DIVIDIDO EM 50 PARTES

**EXEMPLOS:**

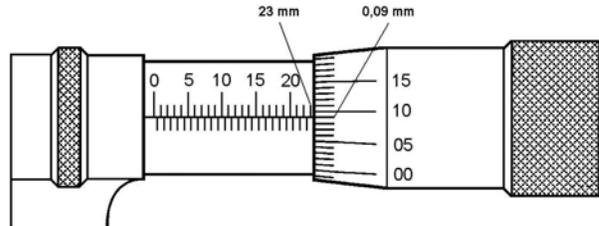
**Leitura**

17,00 mm ⇒ escala dos mm da bainha  
 0,50 mm ⇒ escala dos meios mm da bainha  
 + 0,32 mm ⇒ escala centesimal do tambor  
 17,82 mm ⇒ leitura total



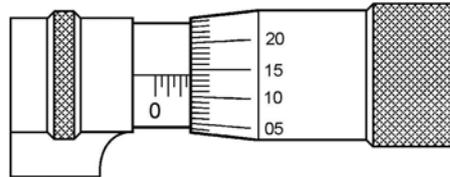
**Leitura**

23,00 mm ⇒ escala dos mm da bainha  
 + 0,09 mm ⇒ escala centesimal do tambor  
 23,09 mm ⇒ leitura total

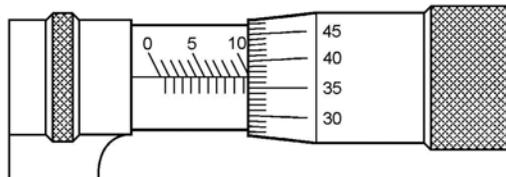


**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Micrômetros abaixo representadas (resolução de 0,01 mm).

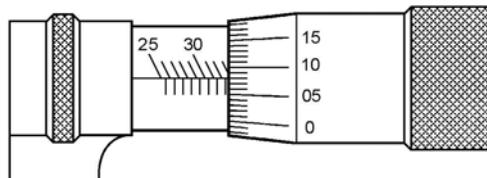
Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....



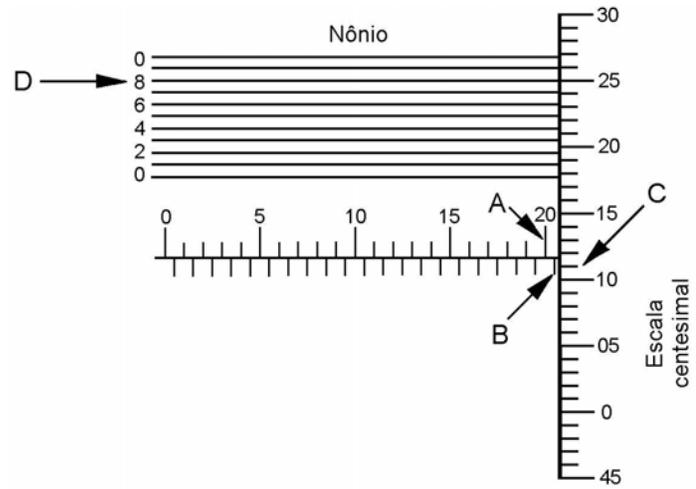
### ESCALA EM MILÍMETRO COM RESOLUÇÃO DE 0,001 mm

Quando no Micrômetro houver nônio, ele indica o valor a ser acrescentado à leitura obtida na bainha. A medida indicada pelo nônio é igual à leitura do tambor, dividida pelo número de divisões do nônio.

Se o nônio tiver dez divisões marcadas na bainha, sua resolução será:

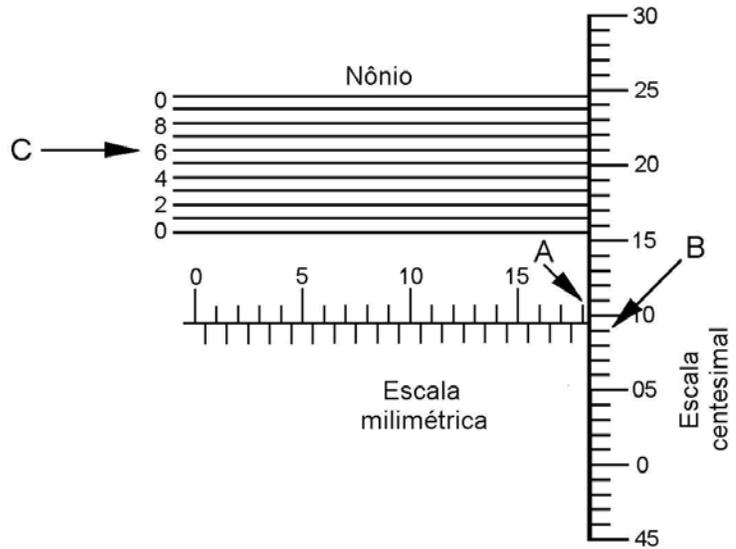
$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{0,01}{10} = 0,001 \text{ mm}$$

**EXEMPLOS:**



**Leitura**

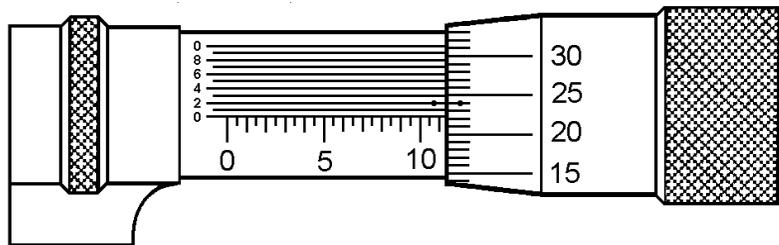
20,000 mm ⇒ A  
 0,500 mm ⇒ B  
 0,110 mm ⇒ C  
 + 0,008 mm ⇒ D  
 20,618 mm ⇒ total



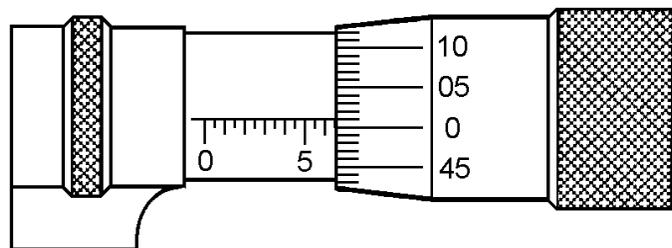
**Leitura**

18,000 mm ⇒ A  
 0,090 mm ⇒ B  
 + 0,006 mm ⇒ C  
 18,096 mm ⇒ total

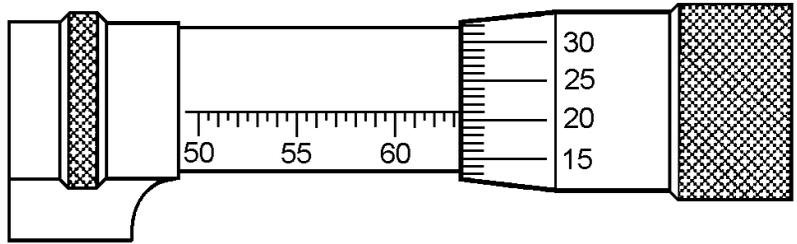
**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Micrômetros abaixo representadas (resoluções de 0,01 mm e 0,001 mm).



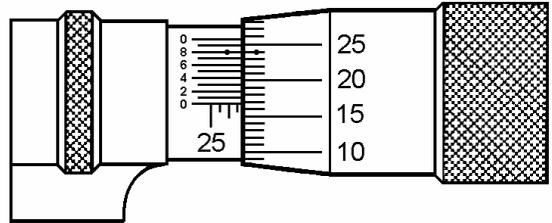
Leitura = .....



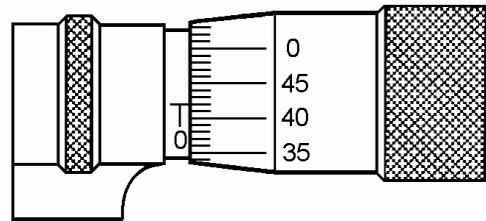
Leitura = .....



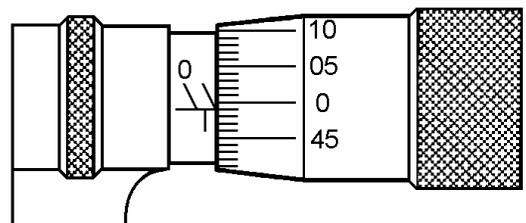
Leitura = .....



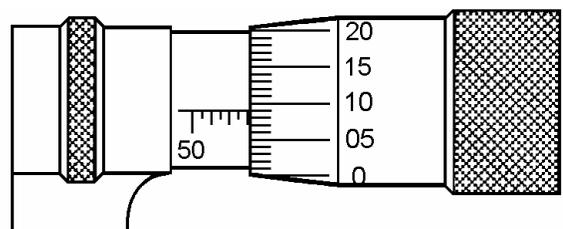
Leitura = .....



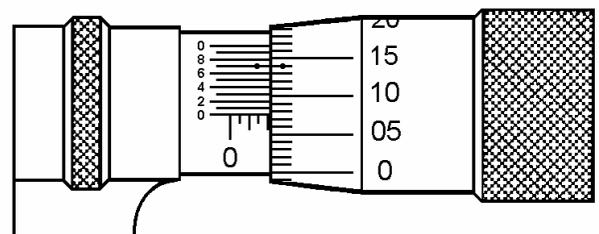
Leitura = .....



Leitura = .....

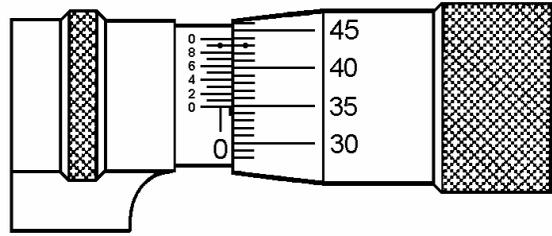


Leitura = .....

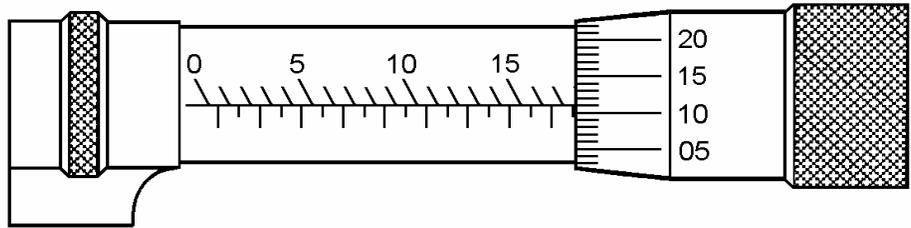


Leitura = .....

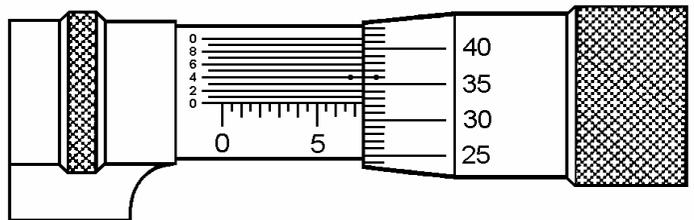
Leitura = .....



Leitura = .....



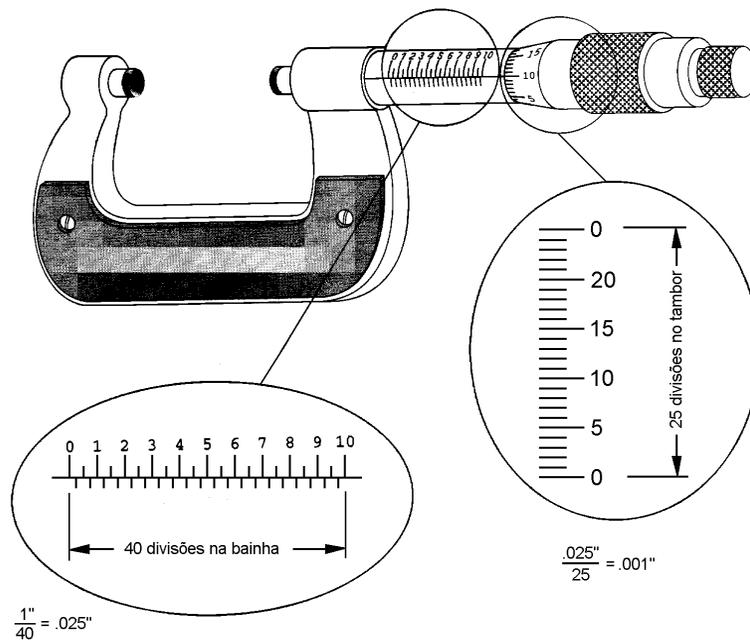
Leitura = .....



### LEITURA NO SISTEMA INGLÊS

No sistema inglês, o Micrômetro apresenta as seguintes características:

- na bainha está gravado o comprimento de uma polegada, dividida em 40 partes iguais. Assim, cada divisão equivale a  $1'' \div 40 = .025''$ ;
- o tambor, com resolução de  $.001''$ , possui 25 divisões.

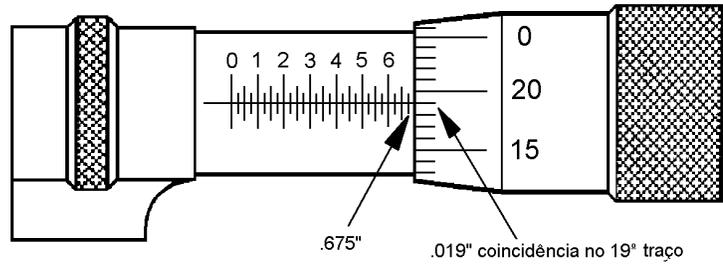


## ESCALA EM POLEGADA COM RESOLUÇÃO DE .001"

Para medir com Micrômetro de resolução de .001", lê-se primeiro a indicação da bainha. Depois, soma-se essa medida ao ponto de leitura do tambor que coincide com o traço de referência da bainha.

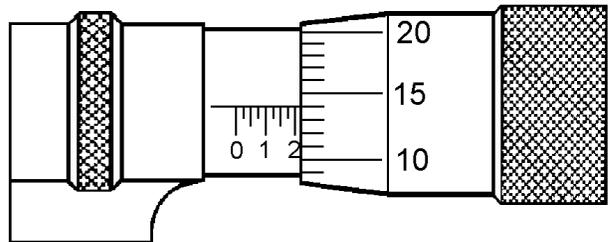
### Leitura

$$\begin{aligned} .675'' &\Rightarrow \text{bainha} \\ + .019'' &\Rightarrow \text{tambor} \\ .694'' &\Rightarrow \text{total} \end{aligned}$$

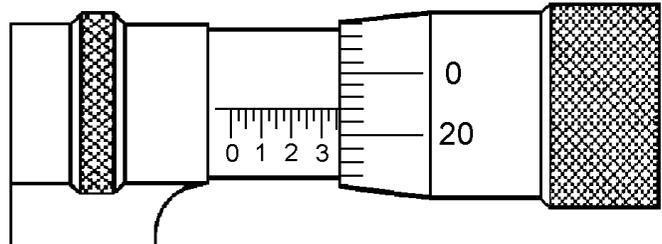


**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Micrômetros abaixo representadas (resolução de .001").

Leitura = .....



Leitura = .....



## ESCALA EM POLEGADA COM RESOLUÇÃO DE .0001"

Para medir com Micrômetro de resolução de .0001", além das graduações normais que existem na bainha (40 divisões), e o tambor que divide-se em 25 partes há ainda um nônio com dez divisões.

### RESOLUÇÃO EM MICRÔMETRO:

$$\text{Sem Nônio: } \frac{\text{passo da rosca}}{\text{número de divisões do tambor}} = \frac{.025''}{25} = .001''$$

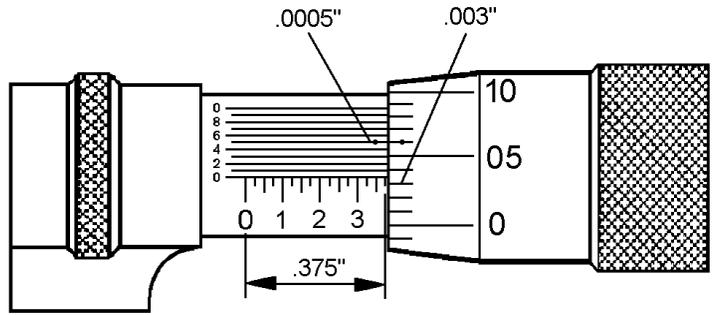
$$\text{Com Nônio: } \frac{\text{resolução do tambor}}{\text{número de divisões do nônio}} = \frac{.001''}{10} = .0001''$$

Para medir, basta adicionar as leituras da bainha, do tambor e do nônio.

**EXEMPLO:**

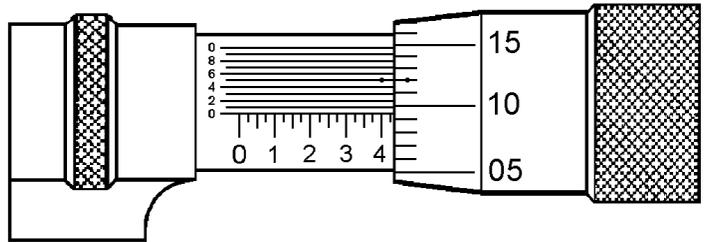
**Leitura**

.3750" ⇒ bainha  
 .0030" ⇒ tambor  
 + .0005" ⇒ nônio  
 .3785" ⇒ leitura total

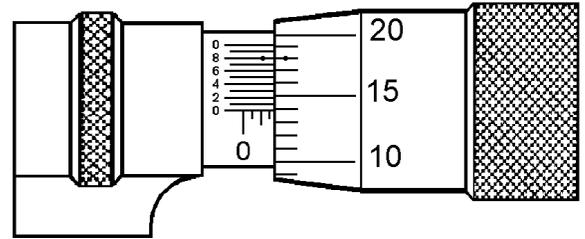


**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Micrômetros abaixo representadas (resolução de .0001").

Leitura = .....

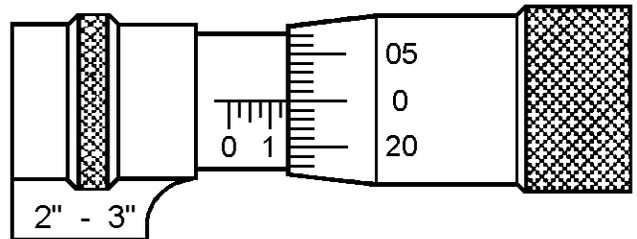


Leitura = .....

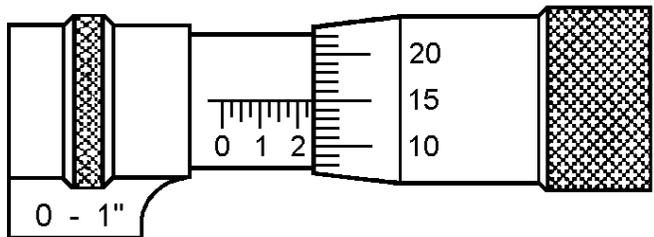


**EXERCÍCIO:** Faça as leituras nas escalas de Micrômetros abaixo representadas (resoluções de .001" e .0001").

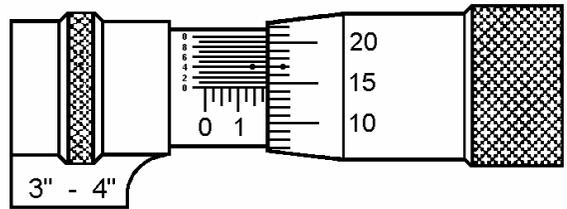
Leitura = .....



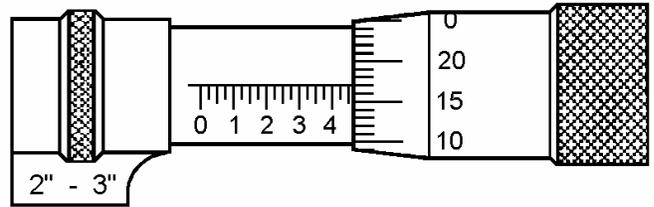
Leitura = .....



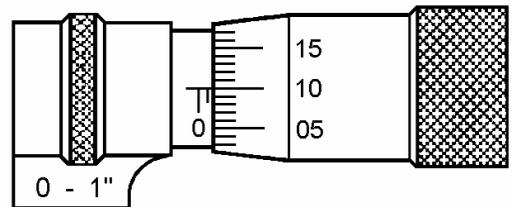
Leitura = .....



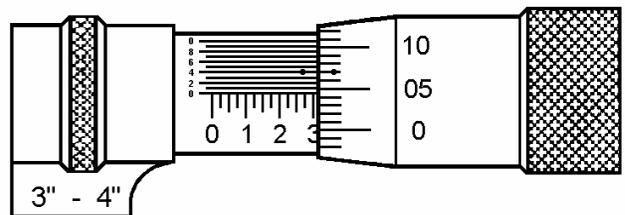
Leitura = .....



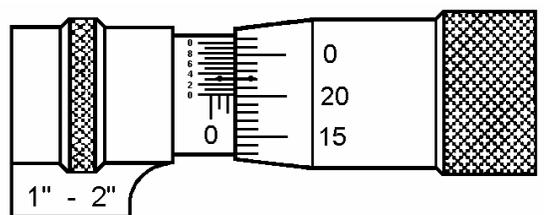
Leitura = .....



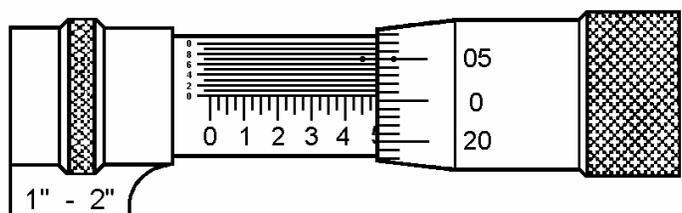
Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....



## LEITURA NO MICRÔMETRO INTERNO

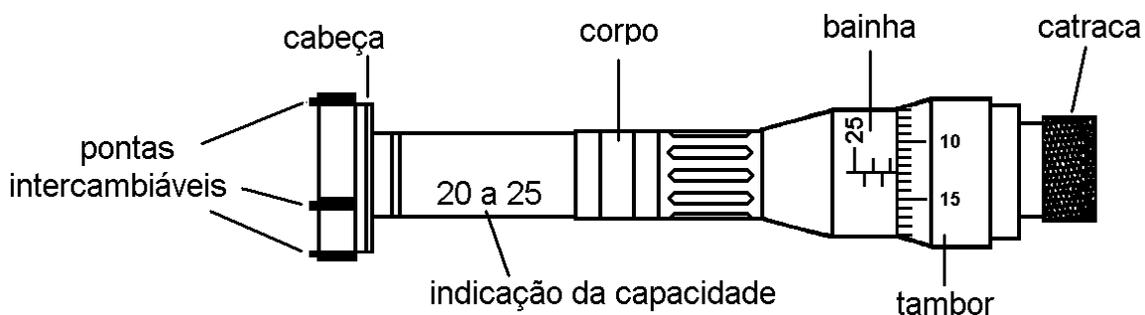
Para medições internas, empregam-se dois tipos de Micrômetros: Micrômetro interno de três contatos (Imicro) e Micrômetro interno de dois contatos (tubular e do tipo Paquímetro).

### MICRÔMETRO INTERNO DE TRÊS CONTATOS (IMICRO)

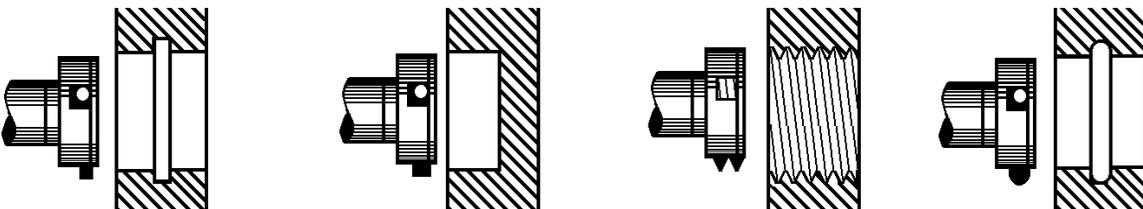
Este tipo de Micrômetro é usado exclusivamente na medição de superfícies cilíndricas internas, permitindo leitura rápida e direta. Sua característica principal é ser auto-centrante, devido à forma e à disposição de suas pontas de contato, que formam entre si um ângulo de 120°.

Esse Micrômetro é apropriado para a medição de furos roscados, canais e furos sem saída, pois suas pontas de contato podem ser trocadas de acordo com a peça que será medida.

### NOMENCLATURA



### EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO



Para obtermos a resolução, basta dividirmos o passo do fuso micrométrico pelo número de divisões do tambor.

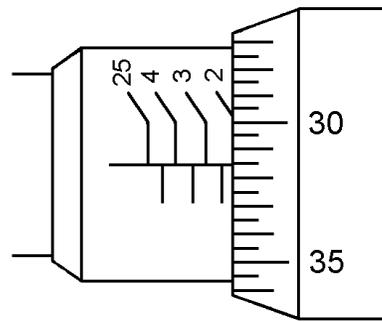
$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{\text{passo do fuso micrométrico}}{\text{número de divisões do tambor}} = \frac{0,5}{100} = 0,005 \text{ mm}$$

A leitura, nestes Micrômetros, é realizada da seguinte maneira :

- no sentido contrário à do Micrômetro externo;
- o tambor encobre a divisão da bainha;
- a esse valor soma-se aquele fornecido pelo tambor;

**EXEMPLO:****Leitura**

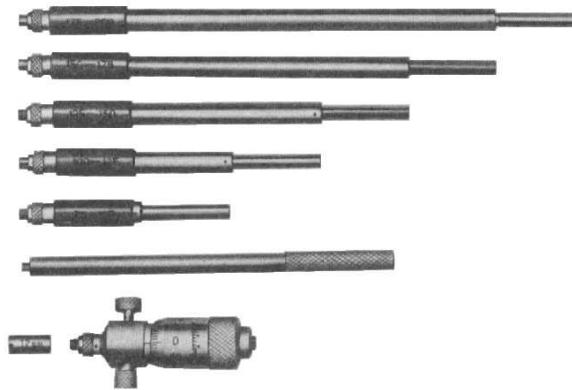
$$\begin{array}{rcl}
 22,000 \text{ mm} & \Rightarrow & \text{bainha} \\
 + \underline{0,315 \text{ mm}} & \Rightarrow & \text{tambor} \\
 \hline
 22,315 \text{ mm} & \Rightarrow & \text{leitura total}
 \end{array}$$



**Observação:** Deve-se respeitar, rigorosamente, os limites máximo e mínimo da capacidade de medição, para evitar danos irreparáveis ao instrumento.

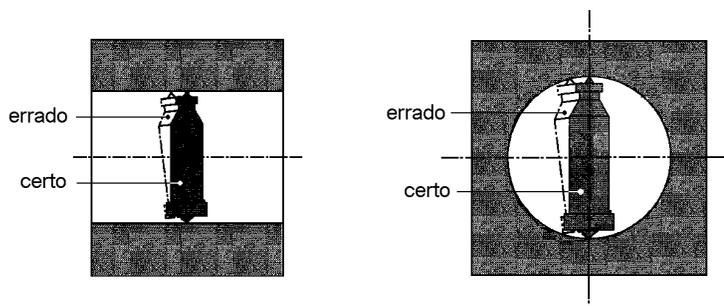
**MICRÔMETRO INTERNO DE DOIS CONTATOS (TUBULAR)**

O Micrômetro tubular é empregado para medições internas acima de 30 mm. Devido ao uso em grande escala do Micrômetro interno de três contatos, pela sua versatilidade, o Micrômetro tubular atende quase que somente a casos especiais, principalmente as grandes dimensões.



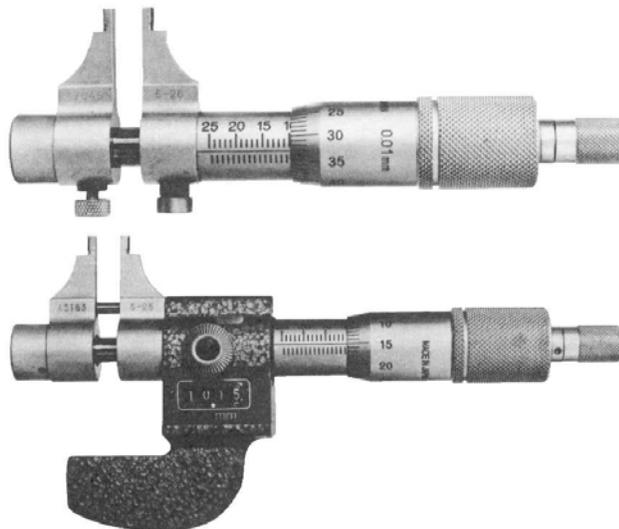
O Micrômetro tubular utiliza hastes de extensão com dimensões de 25 a 2.000 mm. As hastes podem ser acopladas umas às outras. Nesse caso, há uma variação de 25 mm em relação a cada haste acoplada.

As figuras, a seguir, ilustram o posicionamento para a medição.

**MICRÔMETRO INTERNO DE DOIS CONTATOS (TIPO PAQUÍMETRO)**

Esse Micrômetro serve para medidas acima de 5 mm e, a partir daí, varia de 25 mm em 25 mm.

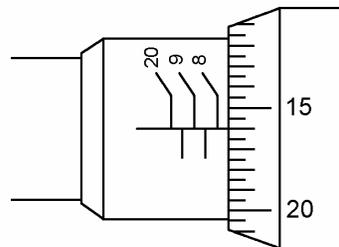
A leitura em Micrômetro tubular e Micrômetro tipo Paquímetro é igual à leitura em Micrômetro externo.



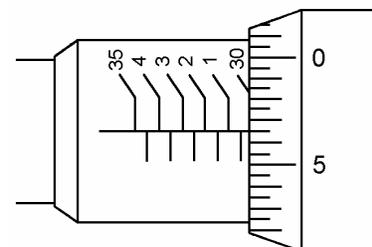
**Observação:** A calibração de Micrômetros internos, tipo paquímetro e tubular, é feita por meio de anéis de referência, dispositivos com blocos padrão ou com Micrômetro externo. Os Micrômetros internos de três contatos são calibrados com anéis de referência.

**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Micrômetros abaixo representadas (resolução de 0,001 mm e 0,005 mm).

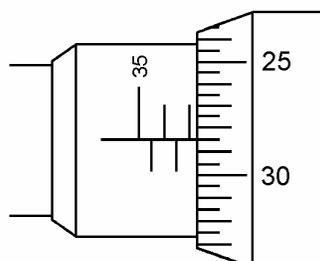
Leitura = .....



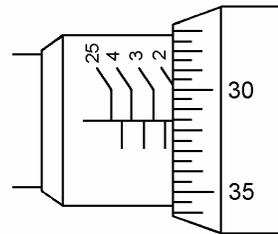
Leitura = .....



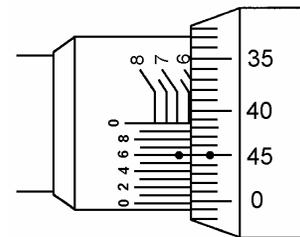
Leitura = .....



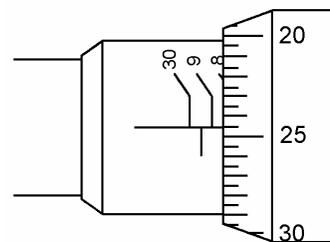
Leitura = .....



Leitura = .....



Leitura = .....



## ERROS DE MEDIÇÃO COM O MICRÔMETRO

Como já observamos no capítulo anterior, para que se tenha uma medição confiável, é necessário que instrumento e operador estejam afinados num mesmo propósito, ou seja, a busca de uma medição o mais fiel possível, sendo imprescindível a qualidade do instrumento e o preparo do operador, evitando-se, assim, alguns tipos de erros, tais como:

### ERROS DE INFLUÊNCIAS OBJETIVAS

(erros do instrumento)

A precisão instrumental é o desvio máximo entre a medição real e aquela fornecida pelo instrumento com suas características técnicas, independentemente de qualquer fator externo.

Referindo-se ao Micrômetro, a sua estrutura e funcionalidade, podemos afirmar que suas principais fontes de erro são:

#### a - ERRO DE PLANEZA DAS SUPERFÍCIES DE MEDIÇÃO

Admite-se um erro de, no máximo,  $\pm 1 \mu\text{m}$ .

#### b - ERRO DE PARALELISMO DAS SUPERF. DE MEDIÇÃO

Admite-se um erro de, no máximo,  $\pm (2 + L/50) \mu\text{m}$ .

#### c - ERRO DE PASSO DAS ROSCAS MICROMÉTRICAS

Admite-se um erro de, no máximo,  $\pm 3 \mu\text{m}$ .

#### d - ERRO DE AJUSTE DO ZERO

Admite-se um erro de, no máximo,  $\pm (2 + L/50) \mu\text{m}$ .

#### e - ERRO DE FLEXÃO DO ARCO (PRESSÃO DE MEDIÇÃO)

Os valores da flexão permissível no arco foram definidos considerando a força exercida pela catraca ou fricção do Micrômetro, que deve ser de 5 a 10N (510 a 1020 gf).

A tabela a seguir, baseada na norma ABNT-EB-1164/79, similar à norma DIN-863, mostra os valores admissíveis para os Micrômetros de acordo com a sua capacidade. Esta norma considera uma cabeça micrométrica de 25 mm.

Capacidade de Medição (mm)	Erro máximo F max ( $\mu\text{m}$ )	Flexão de arco admissível ( $\mu\text{m}$ )	Erro de leitura ajuste do zero $\pm$ ( $\mu\text{m}$ )	Paralelismo das superf. de med. $\pm$ ( $\mu\text{m}$ )
0 - 25	4	2	2	2
25 - 50	4	2	2	2
50 - 75	5	3	3	3
75 - 100	5	3	3	3
100 - 125	6	4	4	4
125 - 150	6	5	4	4
150 - 175	7	6	5	5
175 - 200	7	6	5	5
200 - 225	8	7	6	6
225 - 250	8	8	6	6
250 - 275	9	8	7	7
275 - 300	9	9	7	7
300 - 325	10	10	8	8
325 - 350	10	10	8	8
350 - 375	11	11	9	9
375 - 400	11	12	9	9

## ERROS DE INFLUÊNCIAS SUBJETIVAS

(erros do operador)

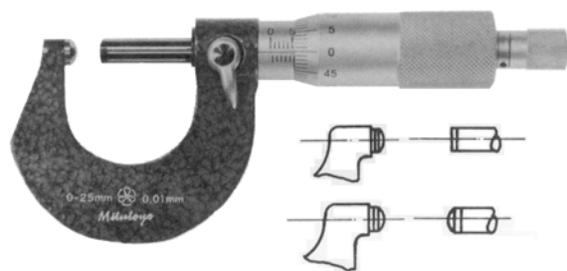
### a - EXCLUSIVAMENTE POR DESATENÇÃO NA LEITURA

## CARACTERÍSTICAS DE UM BOM MICRÔMETRO

- a - ser de aço inoxidável;
- b - possuir graduação uniforme;
- c - apresentar traços bem finos e profundos, salientados em preto;
- d - ter os extremos das hastes fixa e móvel bem ajustados (quando juntas não deverá passar luz);
- e - não deverá apresentar folgas nos mecanismos;
- f - possuir dispositivo de fricção ou catraca.

## TIPOS DE MICRÔMETROS

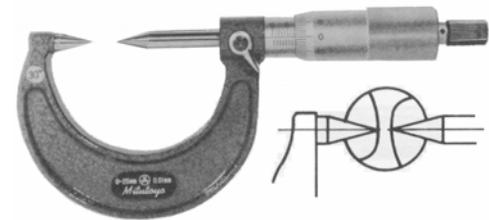
Micrômetro externo com pontas esféricas



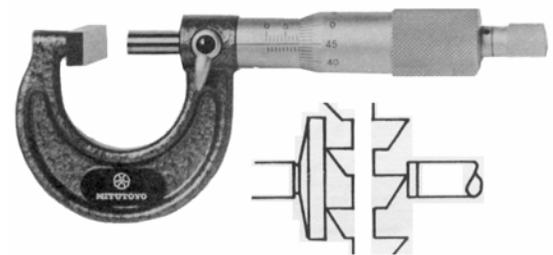
Micrômetro externo com pontas finas



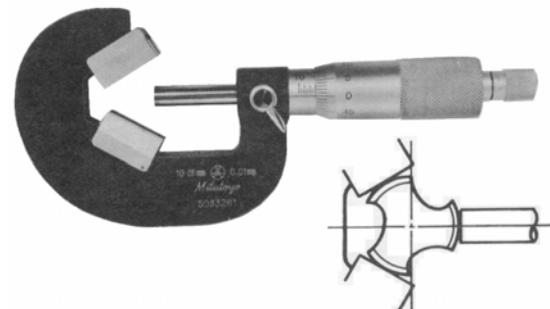
Micrômetro externo com pontas cônicas



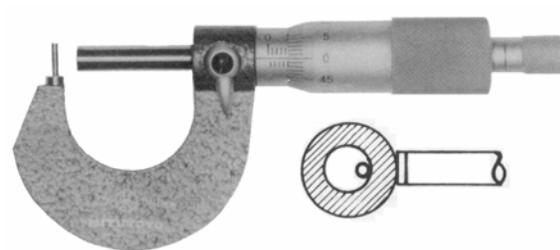
Micrômetro externo com batente retangular para medir espessuras de serras



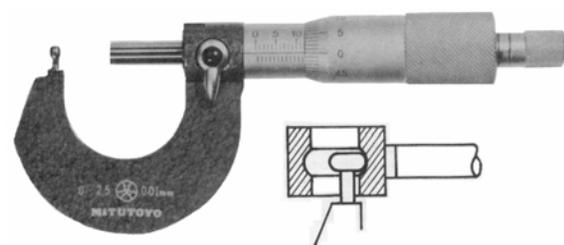
Micrômetro externo para medir peças com número ímpar de lados



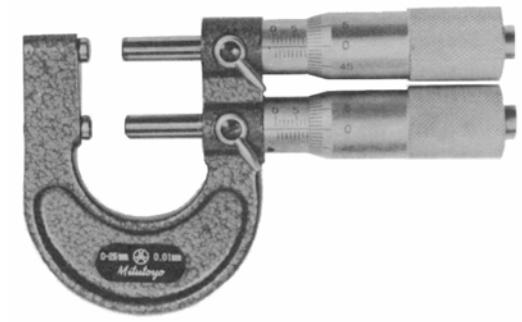
Micrômetro externo para medir paredes de tubos



Micrômetro externo com batente abaulado



Micrômetro externo do tipo  
passa-não-passa



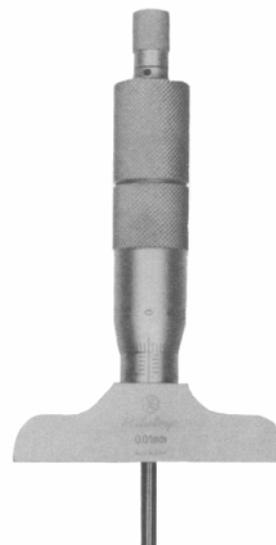
Micrômetro externo com  
pontas tipo lâmina



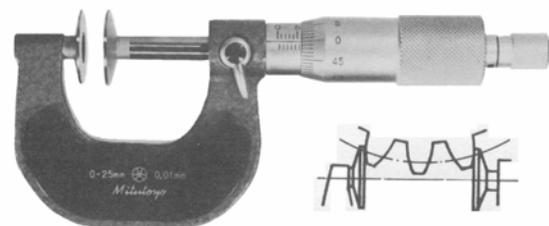
Micrômetro externo para  
medir roscas



Micrômetro de profundidade



Micrômetro externo para  
medir engrenagens



## UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS MICRÔMETROS

QUANDO DA UTILIZAÇÃO DE UM MICRÔMETRO, SELECIONE O MAIS ADEQUADO PARA ATENDER PLENAMENTE A NECESSIDADE DE MEDIÇÃO. LEVE EM CONTA OS SEGUINTE ASPECTOS :

- Tipo (normal ou especial), para ter acesso ao lugar que será medido na peça;
- Leitura, de acordo com o campo de tolerância especificado;
- Capacidade de medição etc.

UMA VEZ FEITA A ESCOLHA DO MICRÔMETRO, PROCEDA DE ACORDO COM AS INSTRUÇÕES ABAIXO, GARANTINDO, ASSIM, UMA MAIOR VIDA ÚTIL AO INSTRUMENTO.

- Deve ser manejado com cuidado, evitando-se quedas e choques;
- Não fazê-lo girar violentamente. Essa prática poderá acarretar, tanto o desgaste prematuro, como acidentes;
- Evitar sua utilização junto a ferramentas comuns de trabalho;
- Não utilizá-lo para bater em objetos;
- Evitar girá-lo, quando estiver travado;
- Aferi-lo com freqüência com medidas padrão;
- Não expô-lo diretamente à luz do sol etc.

APÓS SUA UTILIZAÇÃO, OBSERVE AS SEGUINTE RECOMENDAÇÕES AO GUARDAR O MICRÔMETRO:

- Limpá-lo com um pano macio, aplicando uma leve camada de vaselina sólida ou óleo fino;
- Guardá-lo sempre em ambientes de baixa umidade, boa ventilação, livre de poeira e afastado de campos magnéticos;
- Sempre que possível, guardá-lo em capa ou estojo adequado;
- Evitar guardá-lo travado;
- Guardá-lo com as faces de medição ligeiramente afastadas, um espaço entre 0,2 e 2 mm, etc.

## MEDIDAS INDIRETAS

Uma grandeza é medida pelo método indireto, quando esta medição for efetuada pela utilização de transdutores (elementos que fazem a aferição de uma grandeza e a transformam numa outra grandeza, sendo esta última comparada com um padrão), isto é, determina-se a dimensão desejada pela medida de grandezas relacionadas com a grandeza requerida. Estas grandezas podem ser mecânicas, eletrônicas, óticas, pneumáticas e etc ...

Dimensão da peça = Dimensão do padrão  $\pm$  diferença

Também se pode tomar como padrão, uma peça original de dimensões conhecidas, que será utilizada como referência.

## RELÓGIOS COMPARADORES

Os Relógios comparadores, também chamados de Comparador de quadrante ou Amplificador, são instrumentos largamente utilizados com a finalidade de se fazer medidas lineares por meio de comparação. Estes instrumentos são apresentados em forma de relógio, com um apalpador, de modo que para um pequeno deslocamento linear do apalpador, obtém-se um deslocamento circular (fortemente amplificado) do ponteiro, na maioria dos casos, graças ao seu mecanismo de engrenagem e cremalheira.

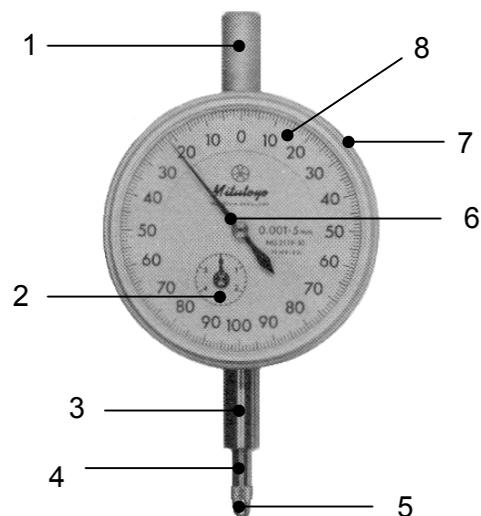
Os Relógios comparadores podem apresentar no seu mostrador leitura para a direita, leitura para a esquerda ou leitura balanceada, sendo estes mostradores sempre móveis para que se possa zerar, isto é, fazer a coincidência do zero com o ponteiro.

Em alguns modelos, a escala dos relógios se apresenta perpendicularmente em relação à ponta de contato (vertical). E, caso apresentem curso que implique mais que uma volta, os Relógios comparadores também possuem, além do ponteiro normal, outro menor, denominado contador de voltas do ponteiro principal.

Os Relógios em sua maioria, apresentam-se com limitadores de tolerância (fiéis). Esses limitadores são móveis, podendo ser ajustados nos valores máximo e mínimo permitidos para a peça que será medida.

## NOMENCLATURA

- 01 - Capa do fuso
- 02 – Contador de voltas
- 03 - Canhão
- 04 - Fuso
- 05 – Ponta de contato
- 06 – Ponteiro principal
- 07 - Aro
- 08 – Mostrador



## FUNCIONAMENTO

O mecanismo do Relógio comparador é de grande sensibilidade, devendo-se, portanto, trabalhar em condições que exijam o mínimo possível de deslocamento do apalpador.

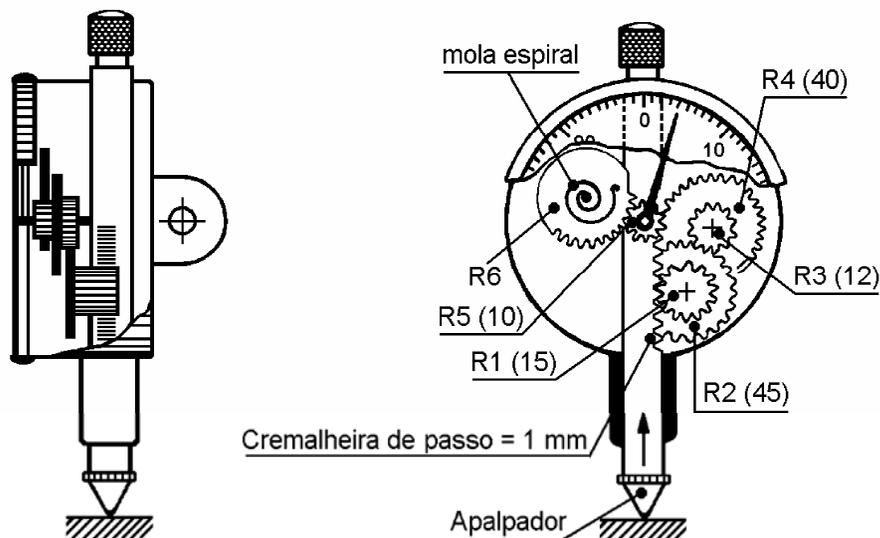
Uma pressão no apalpador, por mais leve que seja, faz o ponteiro girar no sentido horário (positivo). Cessada a pressão no apalpador, o ponteiro gira no sentido anti-horário (negativo). (Relógios com leitura à direita)

## AMPLIFICAÇÃO POR ENGRENAGEM

Nos Relógios comparadores com mecanismo simples de engrenagem e cremalheira, com curso total de 10 mm, mostrador dividido em 100 partes e passo da cremalheira do fuso igual a 1 mm, quando o apalpador se desloca de 1 mm, resulta:

- O pinhão R1 (de 15 dentes), avança 1 dente; a roda R2 (de 45 dentes), avança 3 dentes; o pinhão R3 (de 12 dentes), dá  $\frac{1}{4}$  de volta; a roda R4 (de 40 dentes), avança 10 dentes; o pinhão R5 (de 10 dentes), dá uma volta completa e também o ponteiro que a ele está preso; a roda R6 (de 100 dentes), avança  $\frac{1}{10}$  de volta, fazendo com que o ponteiro do contador de voltas avance uma divisão, indicando assim, o deslocamento de 1 mm do apalpador.
- A mola espiral presa à roda R6, mantém todo o mecanismo sob tensão, fazendo com que os ponteiros e o apalpador voltem às suas posições primitivas, uma vez cessada a pressão sob a ponta do apalpador.

Vê-se que, se o apalpador se deslocar de 0,01 mm, o ponteiro só avançará uma divisão no mostrador.



## AMPLIFICAÇÃO POR ALAVANCA

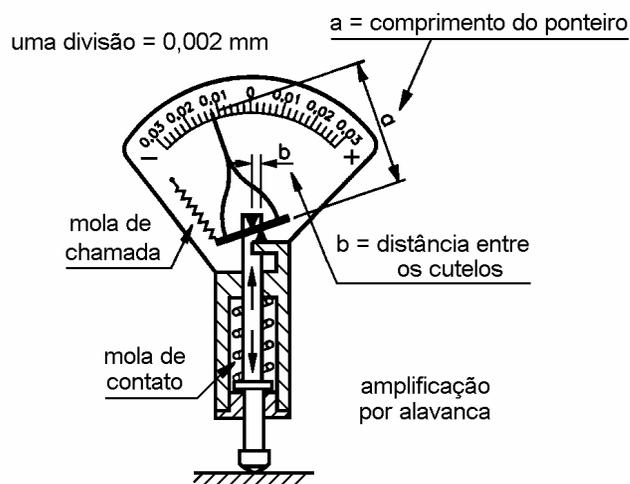
O princípio de alavanca aplica-se a aparelhos simples, chamados indicadores com alavancas, cuja capacidade de medição é limitada pela pequena amplitude do sistema basculante.

Assim, temos :

$$\text{relação de amplificação} = \frac{\text{comprimento do ponteiro}}{\text{distância entre os cutelos}} = \frac{(a)}{(b)}$$

Durante a medição, a haste que suporta o cutelo móvel desliza, a despeito do esforço em contrário produzido pela mola de contato. O ponteiro-alavanca, mantido em contato com os dois cutelos pela mola de chamada, gira em frente à graduação.

A figura a seguir, representa a montagem clássica de um aparelho com capacidade de  $\pm 0,06$  mm e leitura de 0,002 mm por divisão.



## AMPLIFICAÇÃO MISTA

É o resultado da combinação entre alavanca e engrenagem. Permite levar a sensibilidade até 0,001 mm, sem reduzir a capacidade de medição.

## CONDIÇÕES DE USO

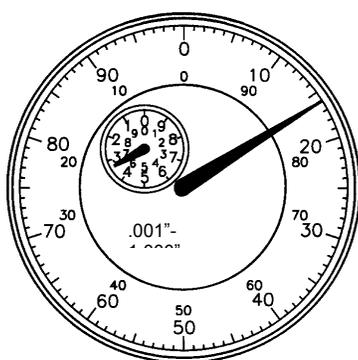
Antes de medir uma peça, devemos nos certificar de que o Relógio se encontra em boas condições de uso.

A verificação de possíveis erros, é feita da seguinte maneira: com o auxílio de um suporte de Relógio, tomam-se as diversas medidas nos blocos-padrão. Em seguida, deve-se observar se as medidas obtidas no Relógio, correspondem às dos blocos. São encontrados também calibradores específicos para Relógios comparadores

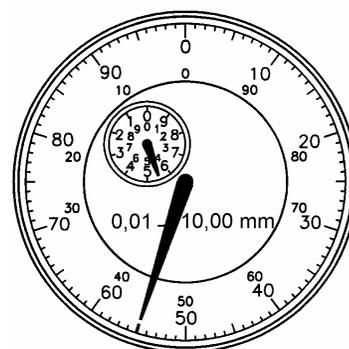
Colocar o Relógio sempre numa posição perpendicular em relação à peça, para não incorrer em erros de medida.

**Observação:** Antes de tocar na peça, o ponteiro do Relógio comparador deverá ficar em uma posição anterior a zero. Assim, ao iniciar uma medida, deve-se dar uma pré-carga para o ajuste da medida.

## EXEMPLOS DE LEITURAS

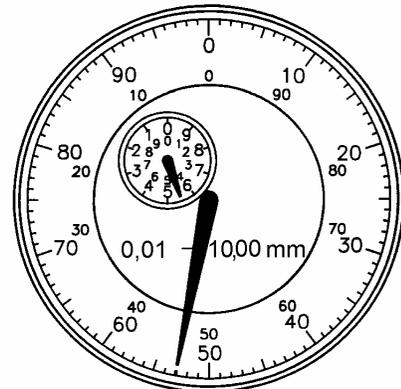
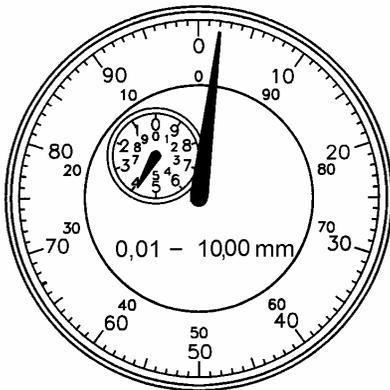
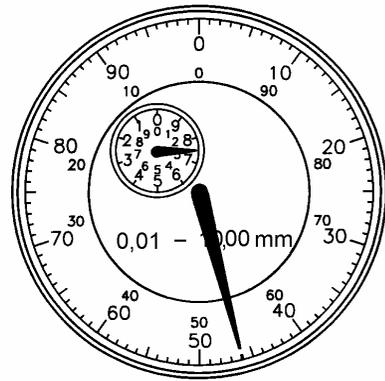
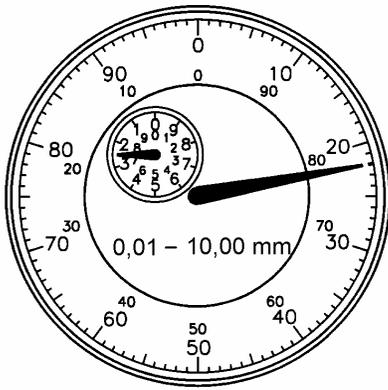


$$\begin{array}{r} .300 \Rightarrow \text{leitura no dial} \\ + .016 \Rightarrow \text{leit. no mostrador} \\ \hline .316 \Rightarrow \text{leitura total} \end{array}$$



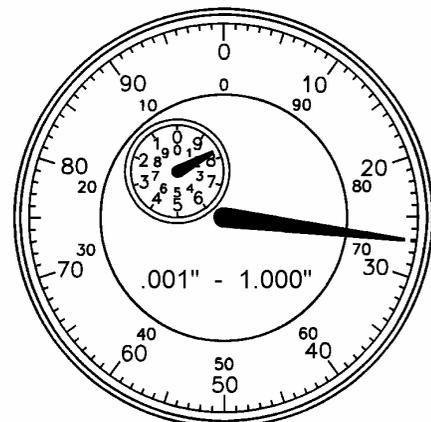
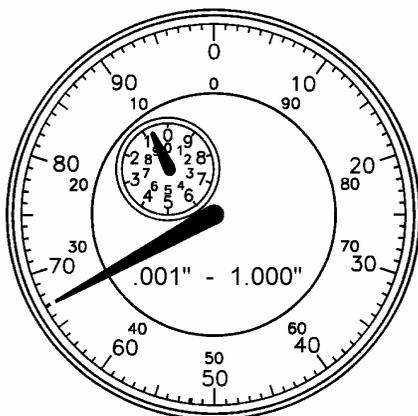
$$\begin{array}{r} 5 \Rightarrow \text{leitura no dial} \\ + 0,55 \Rightarrow \text{leit. no mostrador} \\ \hline 5,55 \Rightarrow \text{leitura total} \end{array}$$

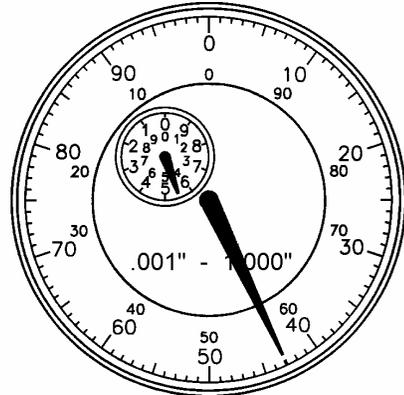
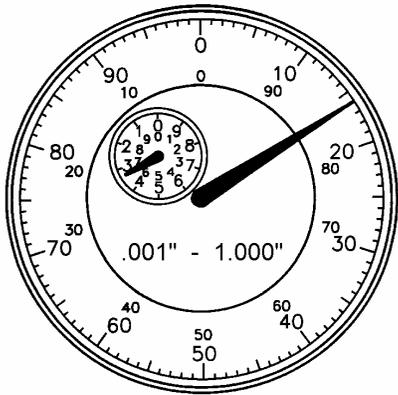
**EXERCÍCIOS:** Determine os valores deslocados pelos apalpadores (pontas de contato) dos Relógios comparadores abaixo representados (resolução de 0,01 mm).



	<b>Leitura</b>				
Deslocamento com origem em:	0,00				
	5,00				
	10,00				

**EXERCÍCIOS:** Determine os valores deslocados pelos apalpadores (pontas de contato) dos Relógios comparadores abaixo representados (resolução de .001").



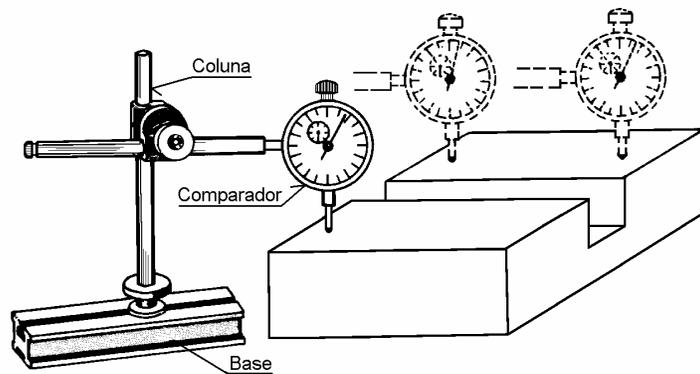


	Leitura				
Deslocamento com origem em:	.000				
	.500				
	1.000				

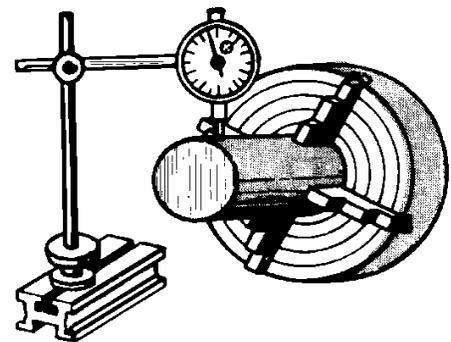
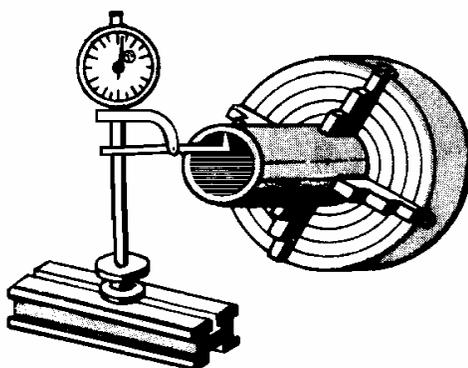
## FINALIDADES E APLICAÇÕES

Os Relógios comparadores são utilizados no controle de desvios com relação a um ponto determinado, aplicando-se às seguintes situações :

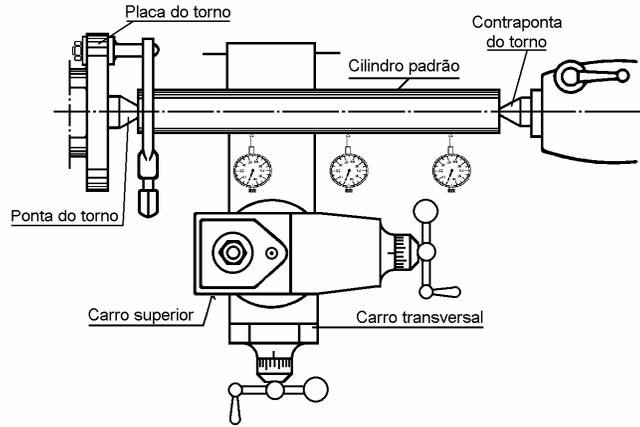
a - Verificar paralelismo das faces planas de uma peça;



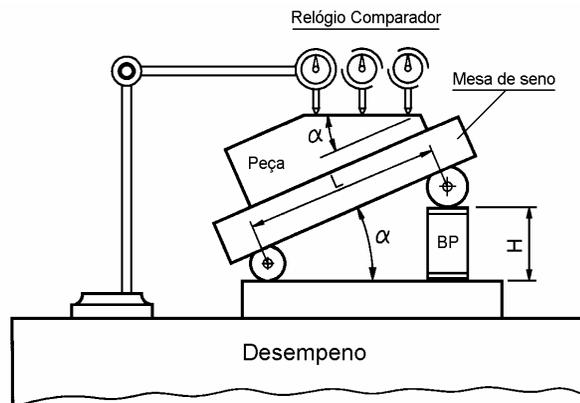
b – Verificar a excentricidade interna e externa de peças presas na placa de um torno;



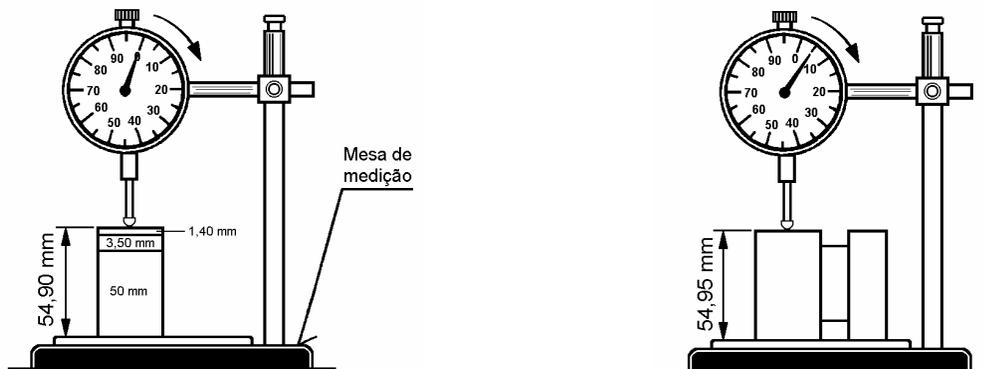
c - Verificar alinhamento das pontas de um torno;



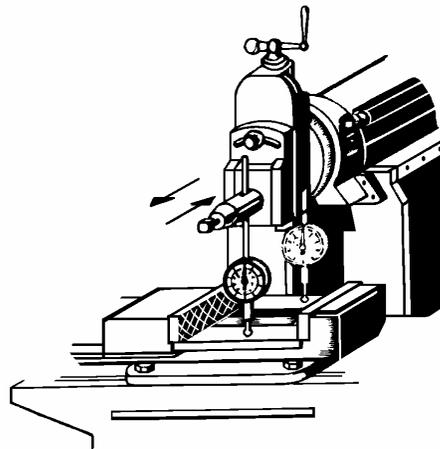
d - Auxiliar na medição de ângulos em réguas e mesas de seno;



e - Dimensionar peças a partir de uma medida padrão;



f - Tornar mais preciso o deslocamento de carros e mesas das máquinas operatrizes;



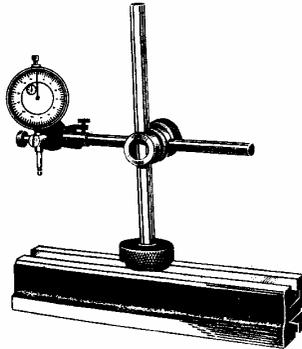
## TIPOS DE RELÓGIOS COMPARADORES



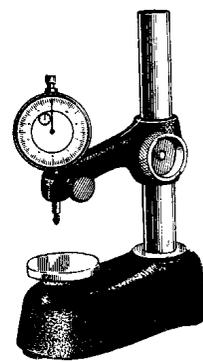
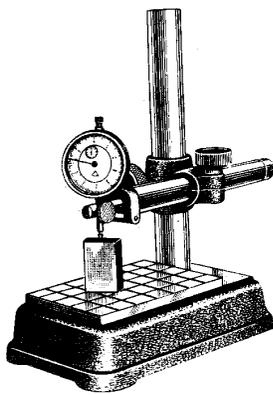
## MONTAGENS USUAIS DOS RELÓGIOS COMPARADORES

Os Relógios comparadores podem ser utilizados de diversas maneiras, sempre presos a suportes adequados, conforme a necessidade da medição ou controle. Estes suportes classificam-se em :

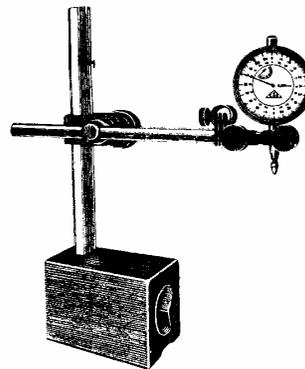
a - Suporte comum



b - Mesas de medição de alta precisão



c - Suporte com fixação magnética



## UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS RELÓGIOS COMPARADORES

QUANDO DA UTILIZAÇÃO DE UM RELÓGIO COMPARADOR, ESCOLHA O MAIS ADEQUADO PARA ATENDER PLENAMENTE AS EXIGÊNCIAS DA MEDIÇÃO. LEVE EM CONTA OS SEGUINTE ASPECTOS:

**TAMANHO:** Existem Relógios com dimensões diferentes o que poderá facilitar na adaptação em máquinas, instrumentos ou dispositivos de medição (geralmente 4 tamanhos).

**CURSO:** Verifique qual será o campo de variação da medida a ser realizada e selecione um Relógio com curso um pouco maior. Isso poderá evitar inclusive acidentes.

**LEITURA:** Em relação ao campo de tolerância especificado na peça que se pretende medir.

**TIPO:** Verifique qual será o ambiente de trabalho, a frequência das medições etc. e selecione o tipo de construção mais adequado.

UMA VEZ FEITA A ESCOLHA DO RELÓGIO COMPARADOR, PROCEDA DE ACORDO COM AS INSTRUÇÕES ABAIXO, GARANTINDO ASSIM UMA MAIOR VIDA ÚTIL AO INSTRUMENTO.

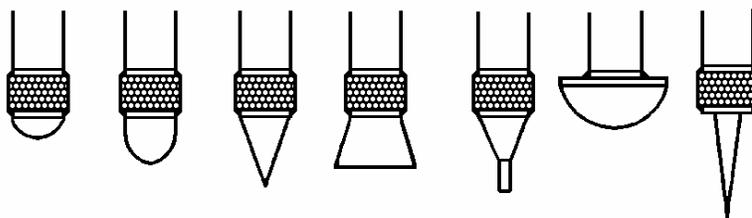
- Evitar que o instrumento sofra choques e quedas;
- Evitar sua utilização junto a ferramentas comuns de trabalho;
- Ao montá-lo em suportes, verificar o aperto e todos os fixadores;
- Evitar sempre os fins de curso;
- Aferi-lo com frequência com medidas padrão (blocos padrão);
- Observar as instruções do fabricante quanto a lubrificação;
- Não expô-lo diretamente à luz do sol, etc.

APÓS SUA UTILIZAÇÃO, OBSERVE AS SEGUINTE RECOMENDAÇÕES AO GUARDAR O RELÓGIO COMPARADOR:

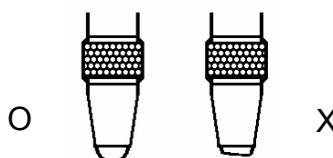
- Limpá-lo com um pano macio, retirando sujeiras e marcas deixadas pelos dedos;
- Guardá-lo sempre em ambientes de baixa umidade, boa ventilação, livre de poeira e afastado de campos magnéticos;
- Sempre que possível, guardá-lo em capa ou estojo adequado;
- Não guardá-lo com o mecanismo tensionado etc.

### CUIDADOS QUANDO DO MANUSEIO

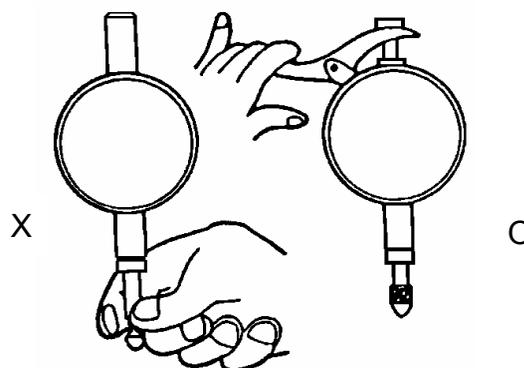
- Selecione a ponta de contato que melhor se adapte ao lugar da medição;



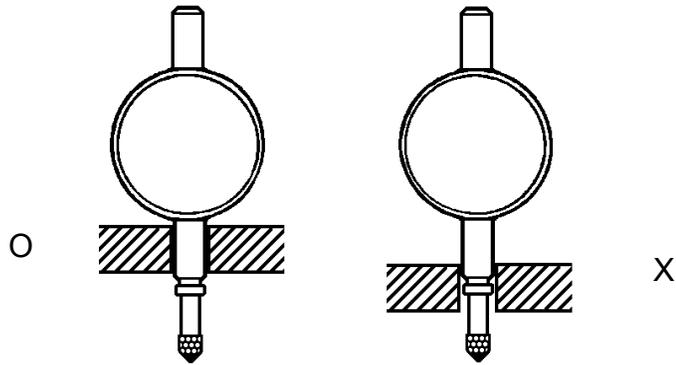
- Substitua oportunamente a ponta gasta;



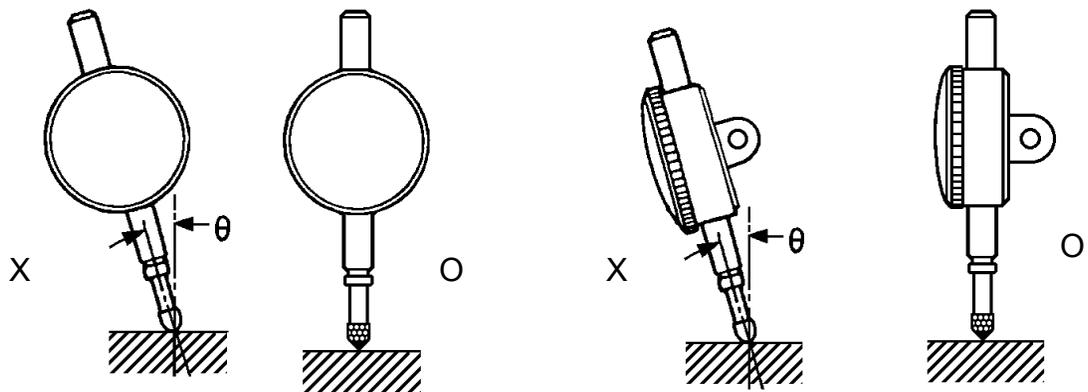
- Não acione o fuso com a mão, use alavanca apropriada;



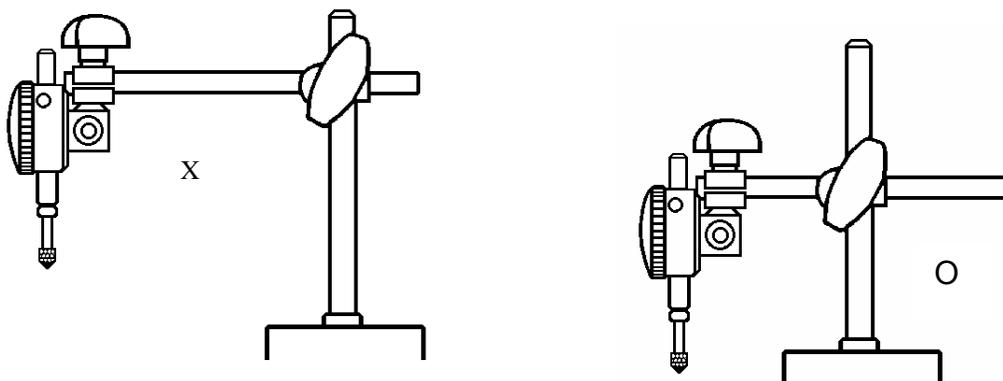
- Para fixar o Relógio pelo canhão, introduza-o tanto quanto possível;



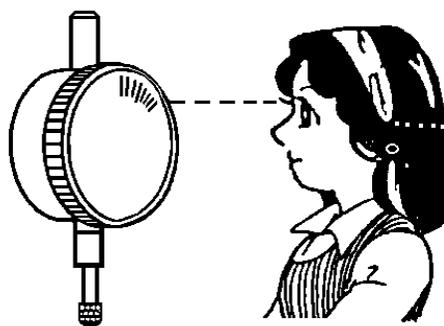
- Monte o Relógio sempre em posição perpendicular à base de referência;



- Use sempre base rígida para montar o Relógio, deixando-o o mais próximo possível da coluna e da base;



- Evite o erro de paralaxe, olhando o mostrador do Relógio sempre em posição frontal.



## BLOCOS PADRÃO

Em 1898, o mecânico ferramenteiro **CARL EDVARD JOHANSSON**, sueco, solicitou registro para o primeiro jogo de Blocos padrão que, dada a importância da invenção, fez com que a indústria mecânica de precisão, já nos anos seguintes, tivesse um grande impulso tecnológico.

Em 1908, o senhor Johansson, forneceu um jogo de Blocos padrão, com medidas em polegadas, ao Laboratório Nacional de Física da Inglaterra, que permitia executar 80.000 diferentes dimensões, em passos de décimo de milésimo de polegada.

O diretor daquela instituição, de vontade própria, forneceu um certificado sobre a grande utilidade destes Blocos, fazendo o seguinte comentário : “se poderia dispensar antes o teto de um laboratório que os Blocos padrão Johansson”.

Hoje em dia, devido a sua construção simples e prática, em conexão com elevada precisão dos mesmos, os Blocos padrão são universalmente usados no âmbito industrial.

Os Blocos padrão de um modo geral, são fornecidos em estojos padronizados, de diferentes tamanhos de acordo com a necessidade. Cada jogo é composto de blocos de diferentes espessuras, tendo as faces paralelas e a distância entre as mesmas indicadas em cada bloco. As faces dos blocos são executadas com um cuidado extraordinário e um acabamento tal, que sendo juntos de forma adequada dois ou mais blocos, será necessária uma força de até 40 kg/cm<sup>2</sup> para separá-los.

Os Blocos padrão devem ser montados em suportes especiais, formando-se, desta maneira, qualquer dimensão para calibres fixos ou reguláveis, atendendo as mais variadas necessidades de trabalho.

Os Blocos padrão podem ser adquiridos em estojos de diferentes quantidades de peças. Não devemos, porém, adquiri-los apenas por sua quantidade de peças, mas pela variação de valores existentes em seus blocos fracionários, o que permite um maior número de combinações.



### RELAÇÃO DE BLOCOS PADRÃO (em mm)

Dimensão do bloco	Passo ( razão )	Nº de peças
1,0005		01
1,001 - 1,009	0,001	09
1,01 - 1,49	0,01	49
0,50 - 9,50	0,50	19
10 - 100	10	10

<b>total de peças</b>	<b>88</b>
-----------------------	-----------

## FORMAÇÃO DE COMBINAÇÕES

Para formarmos uma determinada dimensão, seleciona-se primeiro o bloco com a menor fração da medida, subtraindo-o do total da medida; a seguir, escolhe-se o bloco com a fração imediatamente maior, subtraindo-o, também, do total restante da medida e assim por diante, até obtermos o valor zero. A soma desses blocos será a dimensão desejada.

**EXEMPLO 1:**

$$\begin{array}{r}
 83,7945 \text{ mm} \\
 \underline{-1,0005} \\
 82,794 \text{ mm} \\
 \underline{-1,0040} \\
 81,7900 \text{ mm} \\
 \underline{-1,2900} \\
 80,5000 \text{ mm} \\
 \underline{-0,5000} \\
 80,0000 \text{ mm} \\
 \underline{-80,0000} \\
 0
 \end{array}$$

**EXEMPLO 2:**

$$\begin{array}{r}
 61,6668 \text{ mm} \\
 \underline{-1,0070} \\
 60,6600 \text{ mm} \\
 \underline{-1,1600} \\
 59,5000 \text{ mm} \\
 \underline{-9,5000} \\
 50,0000 \text{ mm} \\
 \underline{-50,0000} \\
 0
 \end{array}$$

### OBSERVAÇÕES:

a - Nas montagens das combinações devemos sempre utilizar a menor quantidade de blocos possível, pois o uso de muitos blocos acarretará em erro;

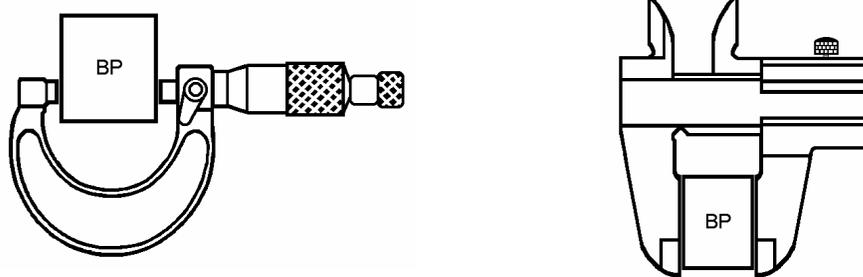
b - Sempre que possível, deveremos utilizar blocos protetores de metal duro nos extremos das montagens, pois sua finalidade é a de proteger os Blocos padrão quanto ao desgaste, no momento de sua utilização;

c - Na impossibilidade de se utilizar blocos protetores de metal duro, recomenda-se que os blocos maiores sejam colocados no meio das combinações, para que o desgaste seja verificado nos blocos menores colocados nos extremos, pois estes blocos são mais baratos, o que torna a sua substituição mais econômica.

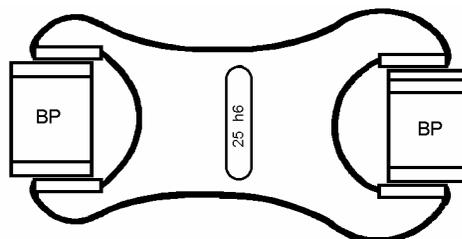
## FINALIDADES E APLICAÇÕES

Os Blocos padrão constituem a base para a maioria das medições de precisão realizadas desde os laboratórios metrológicos e de pesquisas, até as oficinas. Os Blocos padrão são calibradores de referência para comparações de medidas lineares e podem ser utilizados em :

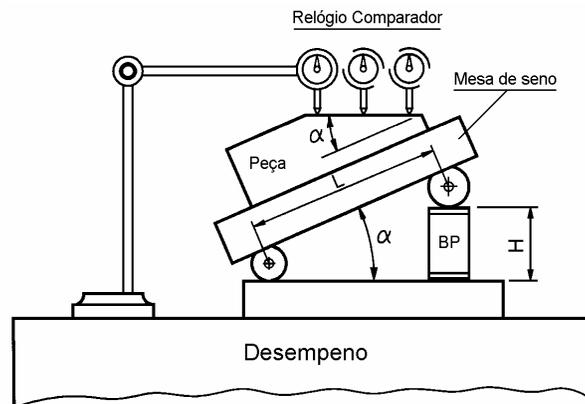
a - Calibração de instrumentos de medição como Paquímetros, Micrômetros, Relógios comparadores etc;



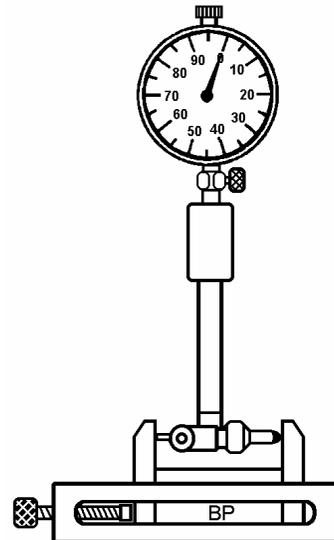
b - Controle de calibres do tipo passa-não-passa;



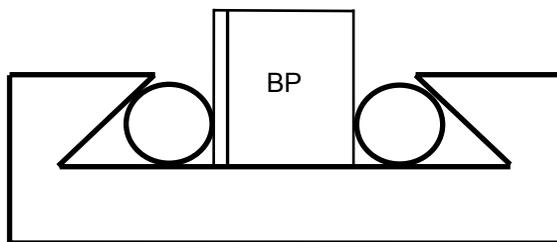
c – Auxilia na medição de ângulos em réguas e mesas de seno;



d - Máquinas e dispositivos de medição;



e - Dimensionamento de encaixes do tipo rabo-de-andorinha;



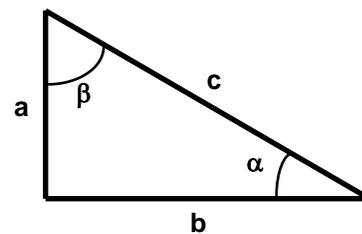
## ENCAIXES DO TIPO RABO-DE-ANDORINHA

Para a medição de encaixes do tipo rabo-de-andorinha, é utilizado o processo de medição com peças complementares (cilindros calibrados). Para isso, são empregados os seguintes dados:

Num triângulo retângulo em que  $\alpha$  é um dos ângulos agudos, teremos:

$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto oposto a } \alpha}{\text{hipotenusa}} \Rightarrow \text{sen } \alpha = \frac{a}{c}$$

$$\text{tan } \alpha = \frac{\text{cateto oposto a } \alpha}{\text{cateto adjacente a } \alpha} \Rightarrow \text{tan } \alpha = \frac{a}{b}$$



Considerando o triângulo retângulo dado, podemos usar, também, as seguintes fórmulas:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta$$

**Exemplo:** Observe o triângulo acima, sabendo que:  $a = 20 \text{ mm}$  e que  $b = 40 \text{ mm}$ , calcule:  $c$ ,  $\text{sen } \alpha$  e  $\text{tg } \alpha$ :

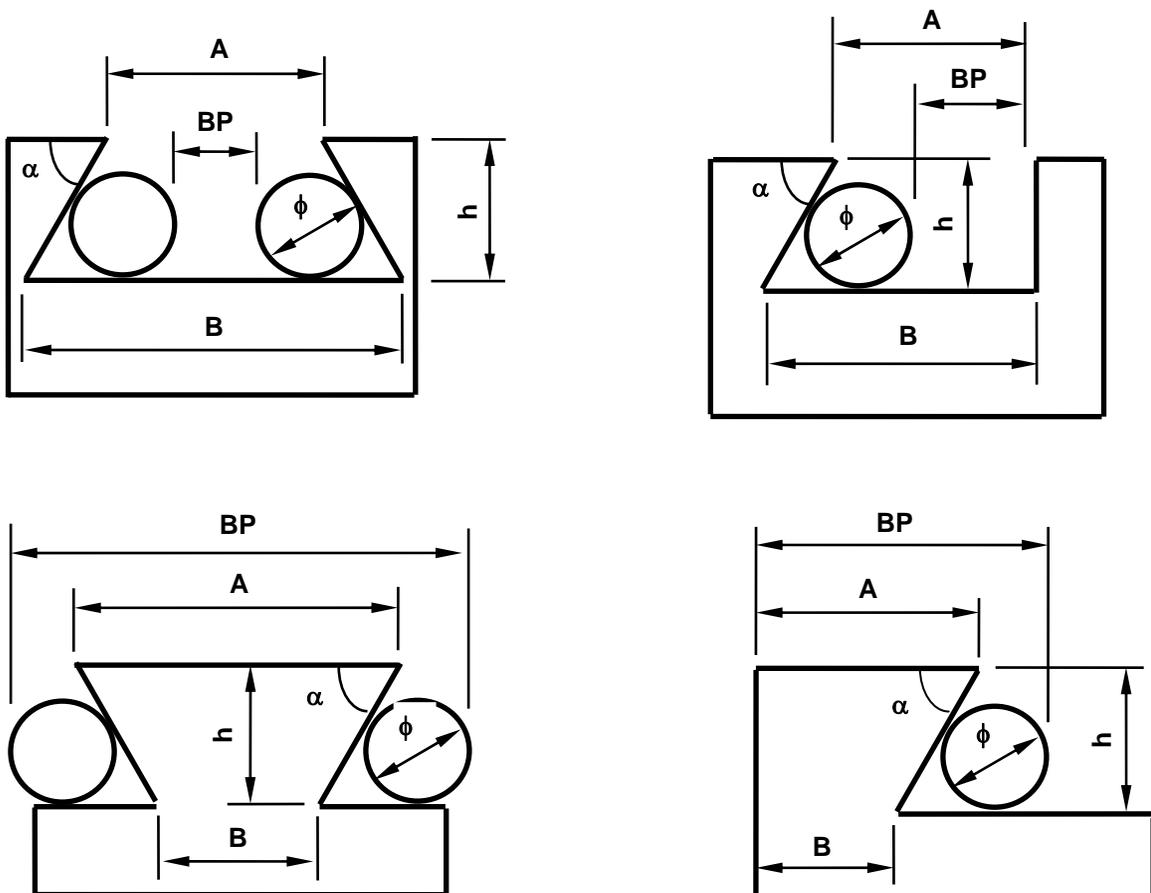
**Solução:**

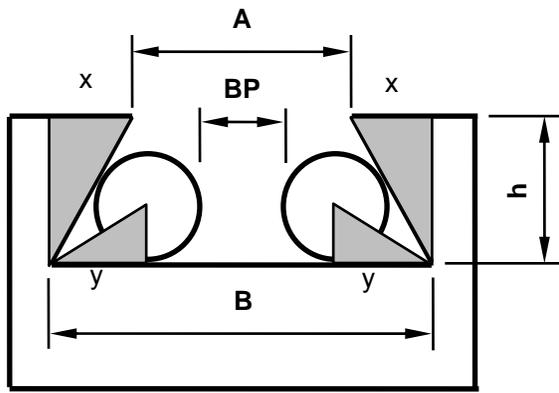
$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \Rightarrow c = \sqrt{20^2 + 40^2} \Rightarrow c = \sqrt{400 + 1600} \Rightarrow c = \sqrt{2000} \Rightarrow c = 44,7 \text{ mm}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{a}{c} \quad \therefore \quad \text{sen } \alpha = \frac{20}{44,7} \quad \therefore \quad \text{sen } \alpha = 0,4472$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{a}{b} \quad \therefore \quad \text{tg } \alpha = \frac{20}{40} \quad \therefore \quad \text{tg } \alpha = 0,5000$$

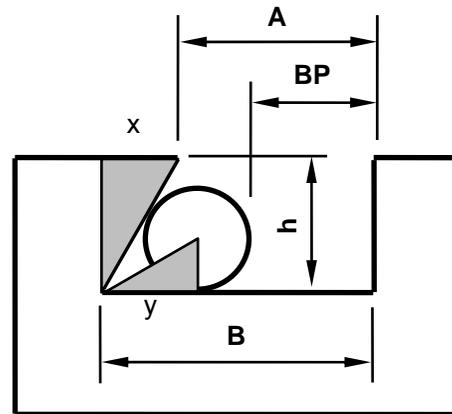
Na medição propriamente de encaixes rabo-de-andorinha, usaremos cilindros calibrados mais as fórmulas acima citadas, bem como fórmulas decorrentes das mesmas, como segue:





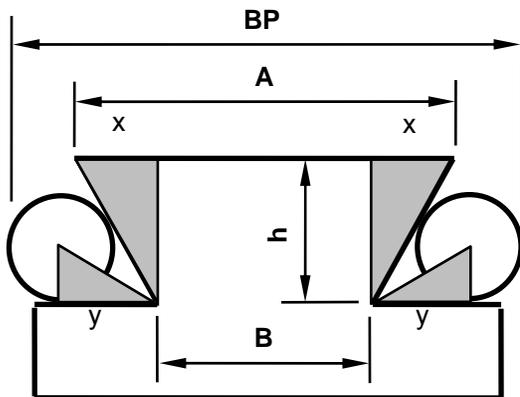
$$B = A + 2x$$

$$BP = B - (2y + D)$$



$$B = A + x$$

$$BP = B - (y + r)$$

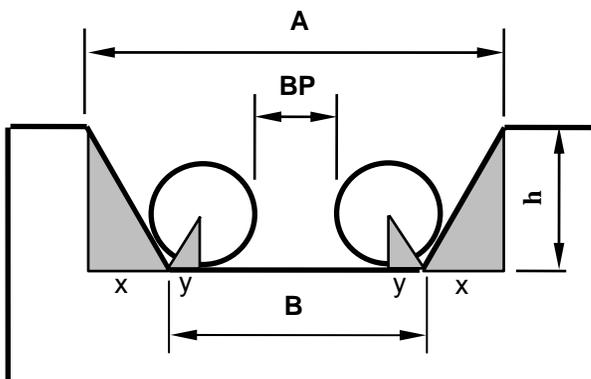
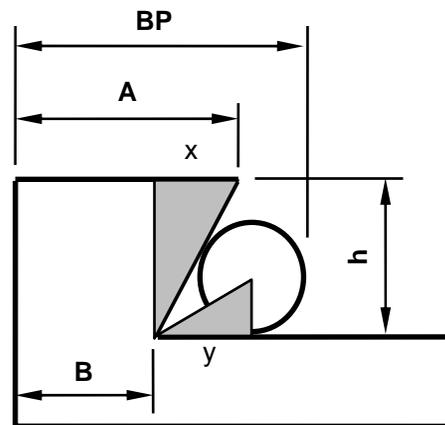


$$B = A - 2x$$

$$BP = B + (2y + D)$$

$$B = A - x$$

$$BP = B + y + r$$

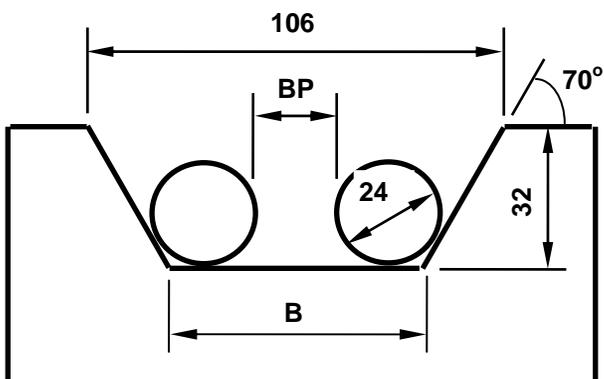
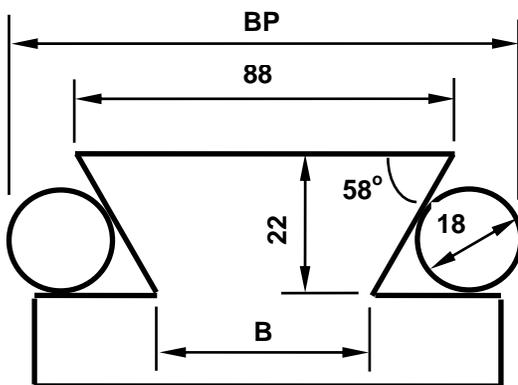
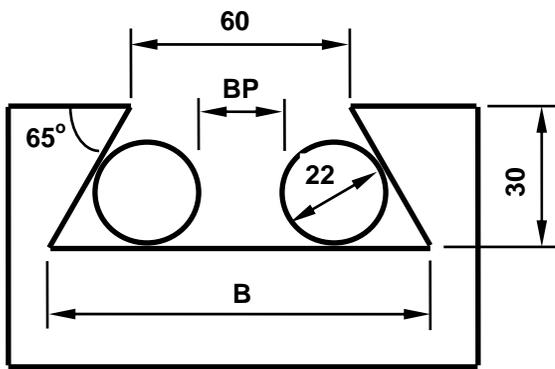


$$B = A - 2x$$

$$BP = B - (2y + D)$$

**EXERCÍCIOS:**

Calcule o que se pede:

**NORMAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS BLOCOS PADRÃO**

Existem várias normas de classificação para os Blocos padrão, sendo as mais usadas:

a - (Norma DIN 861), que classifica os Blocos em 0, 1, 2 e 3 e ainda uma classe especial  $\frac{1}{2} 0$  no caso de exigências elevadíssimas de precisão;

b - (Norma Britânica), que classifica em 00, 0, 1 e 2 e com uma classe adicional que é a classe de calibração;

c - (Normas de fabricantes), que usam as letras AA, A, B e C como é o caso dos Blocos padrão Johansson;

d - (Outras normas) especificam as classes como “referência”, “calibração”, “inspeção” e “oficina”.

Embora não exista uma equivalência entre as classes e os fabricantes de Blocos, o quadro abaixo mostra uma pequena relação entre eles.

DIN 861	BS 4311	JOHANSSON	Outras normas
$\frac{1}{2}$ 0	00	AA	Referência
C a l i b r a ç ã o			
0	0	A	Inspeção
1	1	B	Oficina
2 e 3	2	C	

### CLASSES DE BLOCOS PADRÃO SEGUNDO A NORMA DIN 861 SUAS CARACTERÍSTICAS APLICAÇÕES

Os Blocos padrão são normalmente produzidos em classes de precisão, cada classe sendo escolhida para se adaptar ao tipo de trabalho para o qual os Blocos padrão serão requisitados.

#### CLASSES:

a) ( $\frac{1}{2}$  0) (meio zero): Exigências elevadíssimas de precisão: É utilizado como referência em pesquisas e para calibrar comparadores na medição de Blocos padrão de grau de Calibração;

b) Calibração: Mesma precisão de planidade e paralelismo que “a”, porém, com maior tolerância nas cotas, implicando em acentuada redução de custo: É utilizado como referência em laboratórios de metrologia, para calibrar comparadores ou máquinas de medir por coordenadas e para calibrar blocos de graus 0, 1 e 2;

c) (0) (zero): Custo menor que “a” e “b” devido a pequeno acréscimo na tolerância da cota: É utilizado na calibração de instrumentos e na medição de calibradores com pequenas tolerâncias;

d) (1) (um): Tolerância ligeiramente superior que “c”, mas com custo menor que “c”: É utilizado na inspeção em geral, em ferramentarias e em oficinas onde é exigido alto grau de precisão;

e) (2 e 3) (dois e três): Possuem tolerância de planidade, paralelismo e cota maiores que as classes anteriores: É utilizado de modo geral em oficinas onde não é exigido um alto grau de precisão.

## CÁLCULO DO CAMPO DE TOLERÂNCIA DOS BLOCOS PADRÃO EM FUNÇÃO DA CLASSE DE PRECISÃO (Norma DIN 861)

Classe	Tolerância
$\frac{1}{2} 0$	$\pm ( 0,0001 + M/500.000 )$ mm
0	$\pm ( 0,0002 + M/200.000 )$ mm
1	$\pm ( 0,0005 + M/ 100.000 )$ mm
2	$\pm ( 0,001 + M/50.000 )$ mm

**M** = dimensão do Bloco

### EXERCÍCIOS:

1 - Calcule as dimensões máxima e mínima e a tolerância de um Bloco padrão de 8 mm, que será utilizado como referência em um laboratório de metrologia.

2 - Calcule o campo de tolerância de um Bloco padrão de 20 mm que será utilizado em uma ferramentaria de alto grau de precisão.

### Observação:

As normas internacionais estabelecem os erros dimensionais e de planeza nas superfícies dos Blocos padrão. A tabela abaixo apresenta os erros permissíveis para os Blocos padrão de até 200 mm.

Dimensão (mM)	Exatidão a 20 ° C ( $\mu$ m )			
	Classe 00	Classe 0	Classe 1	Classe 2
até 10	$\pm 0.06$	$\pm 0.12$	$\pm 0.20$	$\pm 0.45$
10 - 25	$\pm 0.07$	$\pm 0.14$	$\pm 0.30$	$\pm 0.60$
25 - 50	$\pm 0.10$	$\pm 0.20$	$\pm 0.40$	$\pm 0.80$
50 - 75	$\pm 0.12$	$\pm 0.25$	$\pm 0.50$	$\pm 1.00$
75 - 100	$\pm 0.14$	$\pm 0.30$	$\pm 0.60$	$\pm 1.20$
100 - 150	$\pm 0.20$	$\pm 0.40$	$\pm 0.80$	$\pm 1.60$
150 - 200	$\pm 0.25$	$\pm 0.50$	$\pm 1.00$	$\pm 2.00$

## MANUSEIO E CONSERVAÇÃO DOS BLOCOS PADRÃO

Com a finalidade de se obter uma maior vida útil para os Blocos padrão, é necessário que os mesmos sejam utilizados convenientemente obedecendo a rigorosas condições de trabalho e conservação.

Quando não estiverem sendo utilizados, os Blocos devem ser untados em vaselina neutra ou óleo equivalente, como proteção anti-corrosiva por ataque atmosférico.

Quando em uso, os Blocos devem estar livres de restos abrasivos, sujeiras etc.

Para se proceder a adesão, os Blocos padrão devem estar com as superfícies limpas e secas, utilizando-se para isto, um pedaço de algodão embebido em éter ou benzina. Depois de retirada toda a impureza, aplica-se uma fina camada de vaselina neutra que é espalhada com outro pano limpo formando, desta maneira, um filme mínimo, quase invisível de vaselina.

O conjunto de dois ou mais Blocos mais o filme de adesão, será menor que 0,00001 mm, maior que os Blocos combinados sem o filme.

Após as superfícies estarem preparadas, a adesão dos blocos é feita unindo-se as duas faces dos blocos, de forma cruzada, formando um ângulo reto, com uma leve pressão e girando os Blocos lentamente, até que as faces estejam perfeitamente ajustadas e alinhadas. Para a montagem de mais blocos, procede-se da mesma forma, até atingir a dimensão desejada.

## MEDIDAS ANGULARES

As peças e ferramentas normalmente apresentam um grande número de ângulos que precisam ser medidos ou controlados dimensionalmente. Este controle, no caso dos ângulos planos, deve ser feito usando-se um Transferidor, que é um instrumento de medição mais simples, ou um Goniômetro, que é um instrumento com maior grau de precisão.

## GONIÔMETRO

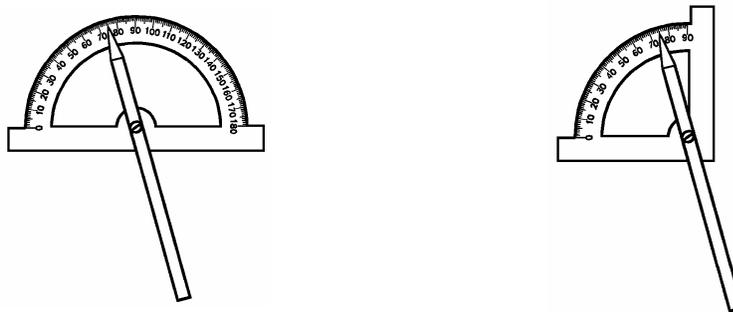
O Goniômetro é um instrumento utilizado para a medição ou verificação de ângulos em peças e ferramentas, a fim de se determinar com rigor os valores das medidas a estas determinados.

A medição ou verificação de um ângulo qualquer numa peça, por exemplo, se faz ajustando-a entre a régua e a base do Goniômetro. Este instrumento possui graduações adequadas, que indicam a medida do ângulo formado pela régua e pela base e, portanto, a medida do ângulo da peça.

A unidade prática de medida angular utilizada em mecânica é o grau.

Dividindo-se um círculo qualquer em 360 partes iguais, o ângulo central correspondente a uma parte, é o ângulo de um grau, este podendo ser dividido em 60 minutos e cada minuto ainda dividido em 60 segundos.

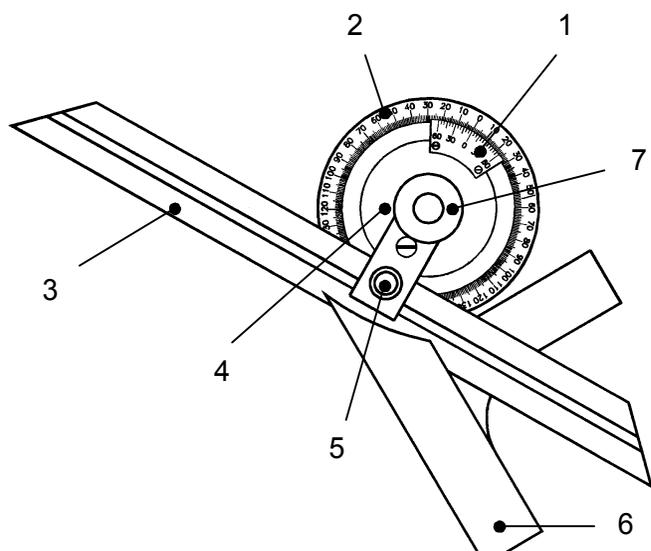
Em geral o Goniômetro pode apresentar-se na forma de um círculo graduado de  $360^\circ$ , ou de um semi-círculo graduado de  $180^\circ$ , ou ainda de um quadrante graduado de  $90^\circ$ .



Normalmente, 1 grau é a menor divisão apresentada diretamente na graduação do Goniômetro, sendo que, se este possuir Vernier, poderá dar aproximação de 5 minutos, chegando até 1 minuto no caso de Goniômetros de alta precisão.

## NOMENCLATURA

- 01 – vernier
- 02 – disco graduado
- 03 – régua
- 04 – articulador
- 05 – fixador da régua
- 06 – esquadro
- 07 – fixador do articulador



## FUNCIONAMENTO

A resolução do nônio é dada pela fórmula geral, a mesma utilizada em outros instrumentos de medida com nônio, ou seja: divide-se um intervalo da escala do disco graduado (escala principal) pelo número de divisões do nônio.

$$\text{RESOLUÇÃO: } \frac{\text{um intervalo da escala}}{\text{número de divisões do nônio}} = \frac{1^\circ}{12} = \frac{60'}{12} = 5'$$

Outra forma de se chegar a leitura mínima ou resolução dos Goniômetros, é:

Considerando-se que a medida total do Vernier de cada lado do zero é igual a medida de  $23^\circ$  do disco graduado e que o Vernier apresenta 12 divisões iguais, possuindo cada divisão  $115'$ , pois  $23^\circ \div 12 = (23^\circ \times 60') \div 12 = 1380' \div 12 = 115'$ . conclui-se que, se  $2^\circ$  correspondem em minutos a  $2^\circ \times 60' = 120'$ , resulta que cada divisão do Vernier tem  $5'$  a menos do que duas divisões do disco graduado. A partir, portanto, de traços em coincidência, a primeira divisão do Vernier dá a diferença de  $5'$ , a segunda divisão do Vernier dá a diferença de  $10'$ , a terceira  $15'$  e assim por diante.

## EXEMPLOS DE LEITURAS

Os graus inteiros são lidos na graduação do disco, com o traço zero do nônio. Na escala fixa, a leitura pode ser feita tanto no sentido horário quanto no sentido anti-horário.

A leitura dos minutos, por sua vez, é realizada a partir do zero do nônio, seguindo a mesma direção da leitura dos graus.

Assim, nas figuras abaixo, as medidas são respectivamente:

Leituras "A"

$$A_1 = 64^\circ$$

$$A_2 = 42^\circ$$

$$A_3 = 9^\circ$$

Leituras "B"

$$B_1 = 30'$$

$$B_2 = 20'$$

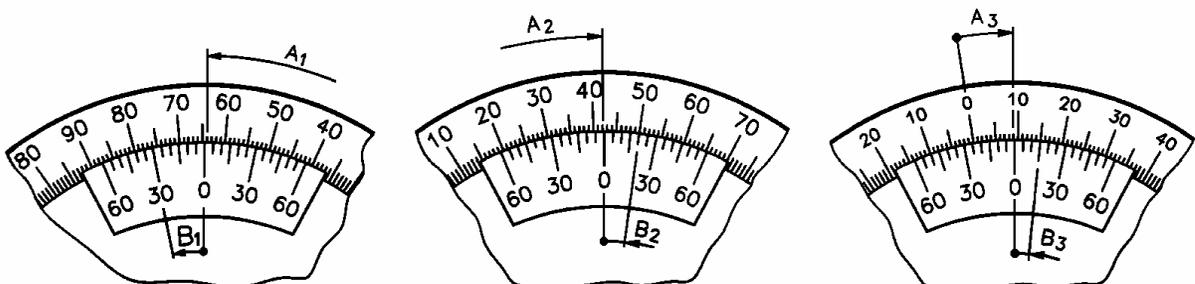
$$B_3 = 15'$$

Leitura total

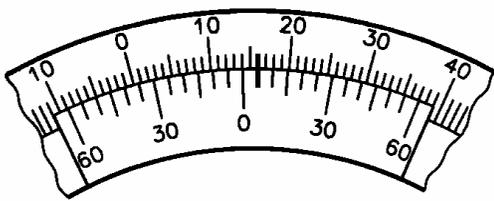
$$64^\circ 30'$$

$$42^\circ 20'$$

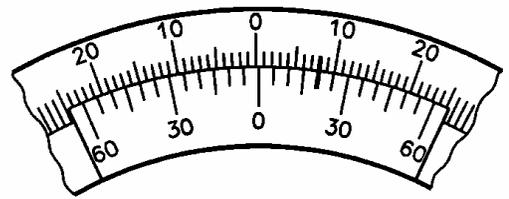
$$9^\circ 15'$$



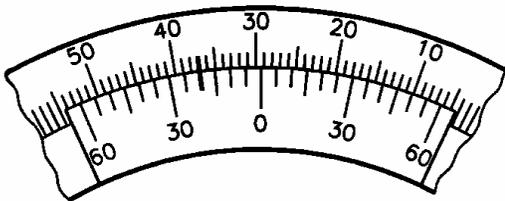
**EXERCÍCIOS:** Faça as leituras nas escalas de Goniômetros a seguir representadas (resolução de 5').



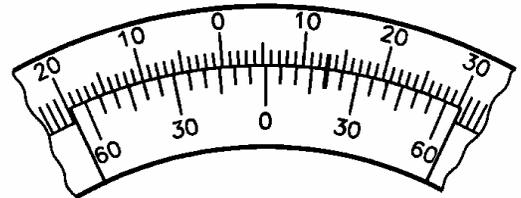
Leitura = .....



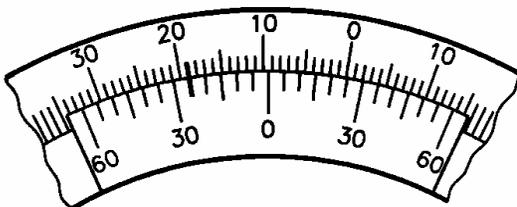
Leitura = .....



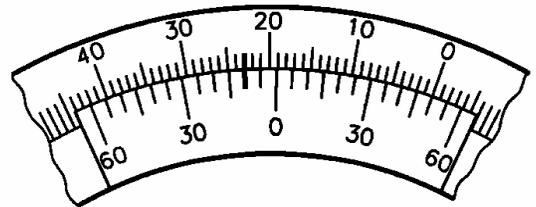
Leitura = .....



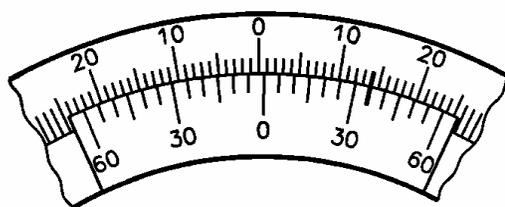
Leitura = .....



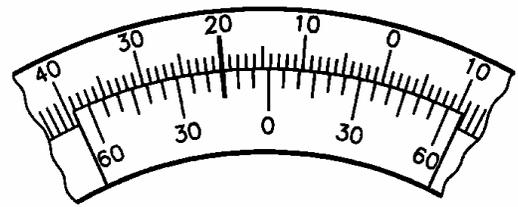
Leitura = .....



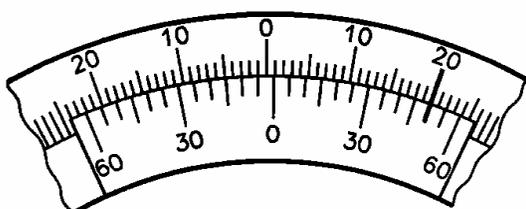
Leitura = .....



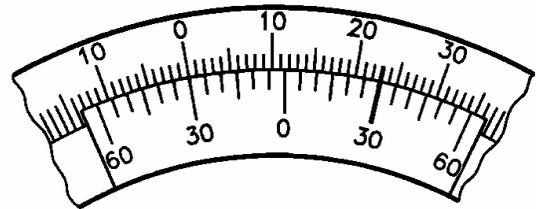
Leitura = .....



Leitura = .....

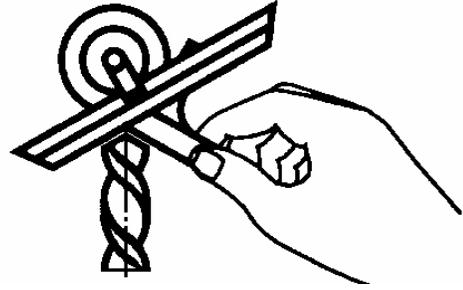
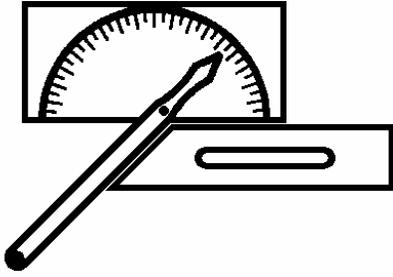


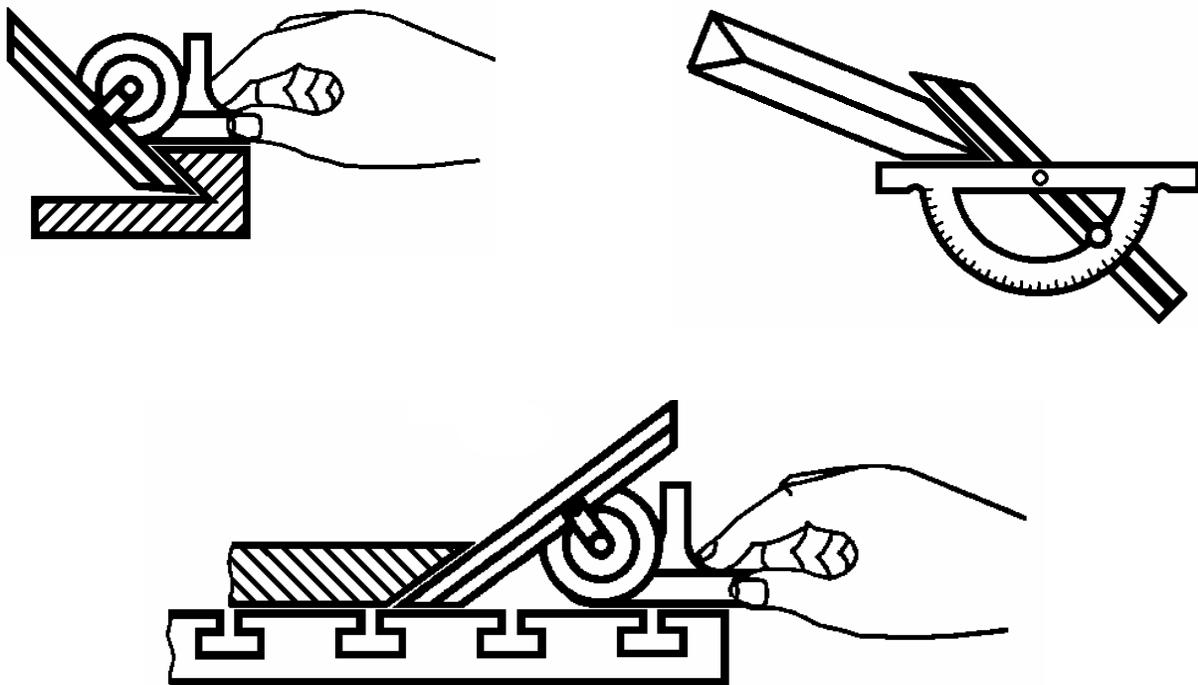
Leitura = .....



Leitura = .....

## FINALIDADES E APLICAÇÕES





### UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS GONIÔMETROS

QUANDO DA UTILIZAÇÃO DE UM GONIÔMETRO, ESCOLHA O MAIS ADEQUADO PARA ATENDER PLENAMENTE AS NECESSIDADES DE MEDIÇÃO. LEVE EM CONTA OS SEGUINTE ASPECTOS:

- Tipo (normal ou especial) para ter acesso ao lugar que será medido na peça;
- Leitura de acordo com o campo de tolerância especificado;
- Capacidade de medição etc.

UMA VEZ FEITA A ESCOLHA DO GONIÔMETRO, PROCEDA DE ACORDO COM AS INSTRUÇÕES ABAIXO, GARANTINDO, ASSIM, UMA MAIOR VIDA ÚTIL AO INSTRUMENTO.

- Manejar com cuidado, evitando-se quedas e choques;
- Evitar sua utilização junto a ferramentas comuns de trabalho;
- Não utilizá-lo para bater em objetos;
- Não deve ser articulado quando estiver com o fixador apertado;
- Deve ser aferido com frequência com ângulos padrão;
- Não deve ser exposto diretamente à luz do sol, etc.

APÓS SUA UTILIZAÇÃO, OBSERVE AS SEGUINTE RECOMENDAÇÕES AO GUARDAR O GONIÔMETRO:

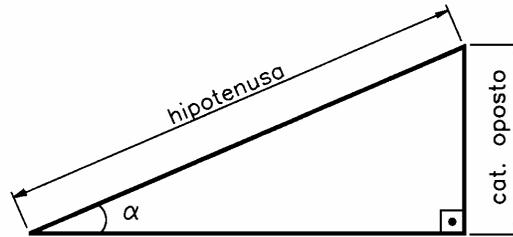
- Limpá-lo com um pano macio, aplicando uma leve camada de vaselina sólida ou óleo fino;
- Guardá-lo sempre que possível em ambientes de baixa umidade, boa ventilação, livre de poeira e afastado de campos magnéticos;
- Sempre que possível, guardá-lo em capa ou estojo adequado;
- Não guardá-lo com o fixador do articulador apertado etc.

## RÉGUA DE SENO

O estudo da determinação de ângulos no controle dimensional assume um aspecto de real importância pelo que ele representa nas medições, possuindo características particulares.

A medição de ângulos pode ser feita através de instrumentos que determinam uma função trigonométrica, indicando, assim, de forma indireta o valor de um determinado ângulo.

$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto oposto a } \alpha}{\text{hipotenusa}}$$



Estes instrumentos são a Régua e a Mesa de seno.

A Régua de seno é uma barra de aço temperado, estabilizada, apoiada sobre um par de cilindros de diâmetros iguais, com uma distância entre eixos que caracteriza o comprimento da Régua, possuindo toda a régua, grande precisão de forma e de dimensão além de esmerado acabamento superficial, garantindo, assim, sua precisão quando utilizada com Blocos padrão.

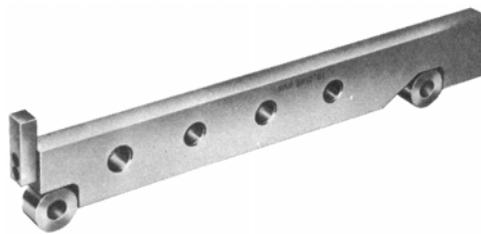
As Réguas de seno, assim como as Mesas de seno são utilizadas para a medição de ângulos com resolução de segundos e, para que se obtenha maior precisão nas medidas de ângulos, é preciso que a Régua atenda as seguintes condições:

a - os cilindros devem ter exatamente o mesmo diâmetro e serem geometricamente perfeitos;

b - a distância entre os centros dos cilindros deve ser precisa e conhecida (comprimento da Régua) e seus eixos devem estar mutuamente paralelos;

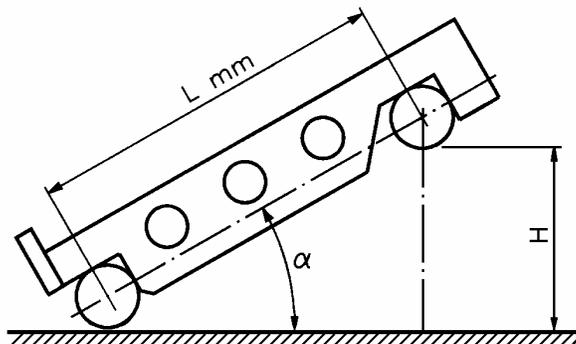
c - a superfície superior da Régua deverá ser plana e paralela ao eixo dos cilindros e equidistante de cada um deles.

Os furos existentes no corpo das Réguas, além de reduzirem o seu peso, possibilitam sua fixação em suportes rígidos (cantoneiras de precisão), quando da verificação de ângulos.



### FUNCIONAMENTO

Quando os cilindros das Réguas são colocados sobre uma superfície plana de referência (desempeno), a superfície superior da Régua de seno estará paralela àquela superfície. Partindo-se desta posição, se, por exemplo, um bloco padrão de dimensão conhecida for colocado sob um dos cilindros, o ângulo formado entre a superfície de referência e a Régua de seno será determinado pela equação abaixo conforme a figura:



Assim, para uma Régua de seno cuja distância entre cilindros é igual a 250 mm e a altura dos blocos padrão colocados sob um dos cilindros é de 10,500 mm, o ângulo formado entre a Régua de seno e a superfície plana de referência será de:

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{B_p}{cR} \quad \text{sendo: } B_p = 10,500 \text{ mm e } cR = 250 \text{ mm}$$

$$\operatorname{sen} \alpha = \frac{10,500}{250} \quad \therefore \operatorname{sen} \alpha = 0,042 \quad \therefore \alpha = 2^\circ 24' 25''.$$

Para se efetuar corretamente as medições, deve-se proceder da seguinte maneira:

a - colocar sobre a Régua de seno a peça de trabalho, de modo que a superfície de trabalho fique aproximadamente paralela à superfície de referência;

b - fazer a verificação do paralelismo através de Relógio comparador, anotando a diferença encontrada, observando o lado mais baixo;

c - fazer a correção da diferença da altura por meio de mais ou menos bloco padrão, cuja medida deverá ser igual a diferença registrada no Relógio comparador, multiplicada pela razão entre o comprimento da régua de seno e o comprimento medido na peça.

Desta maneira, se uma extremidade da peça de trabalho estiver com um desnível de 0,01 mm em relação à outra extremidade, se a Régua de seno tiver 250 mm entre os cilindros, e a peça tiver um comprimento de 100 mm, o incremento requerido na altura dos blocos padrão para

fazer o nivelamento será de 0,025 mm, pois  $0,01 \text{ mm} \times \frac{250}{100} = 0,025 \text{ mm}$

**EXERCÍCIOS :** Calcule o que se pede em cada uma das situações abaixo.

a - Comprimento da Régua = 200 mm  
ângulo  $\alpha = 15^\circ 15'$

Blocos padrão = .....

b - Comprimento da Régua = 10"  
Blocos padrão = 65,667 mm

ângulo  $\alpha = \dots\dots\dots$

c - Blocos padrão = 32,311 mm  
ângulo  $\alpha = 12^\circ 26' 21''$

Comprimento da Régua = .....

## MESA DE SENO

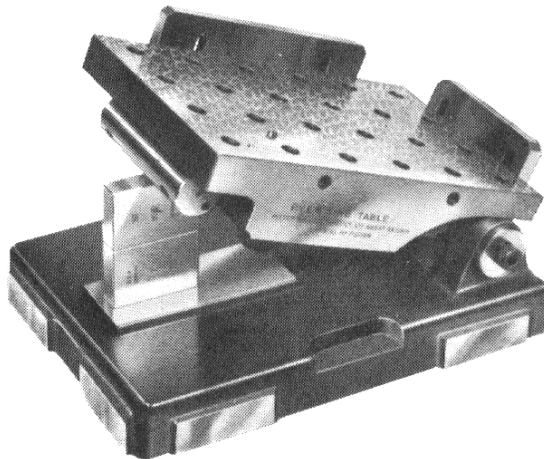
As Mesas de seno, são instrumentos evoluídos das Régua de seno e que possuem o mesmo princípio de funcionamento.

A Mesa de seno é construída para permitir a medição em peças de maior peso e volume, sendo, portanto, mais robusta que a Régua de seno que é apropriada para medições de ângulos em peças menores.

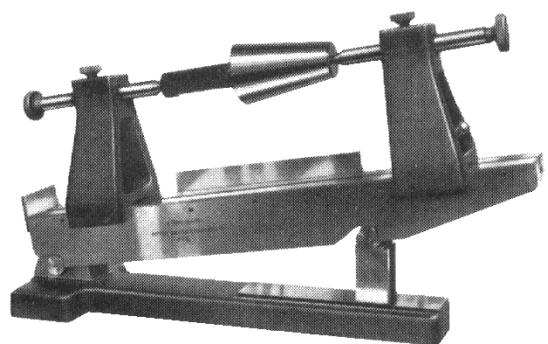
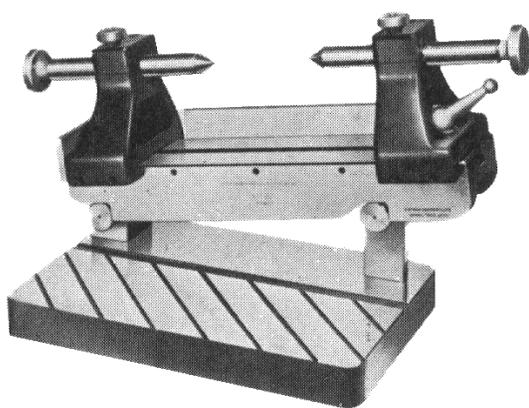
A Mesa de seno, ou bloco de seno, possui uma base, na qual se encaixa um dos cilindros, o que facilita sua inclinação. A Mesa assim como a Régua de seno, é construída em aço temperado e retificado, apoiada em cilindros de diâmetros iguais colocados paralelamente, com a distância entre seus centros rigorosamente controlada, garantindo, desta forma, sua precisão quando utilizada com Blocos padrão.

### TIPOS DE MESAS DE SENO

a - Mesa de seno para a verificação de ângulos em peças com a geratriz paralela a base.



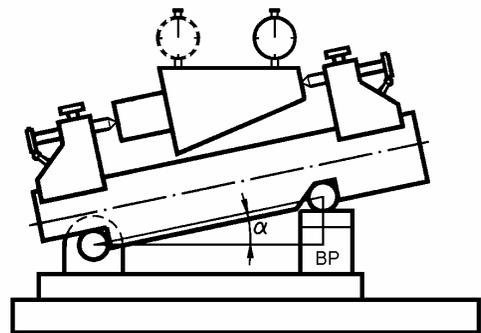
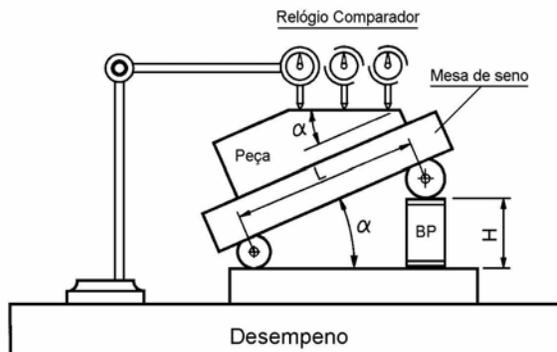
b - Mesa de seno para a verificação de ângulos em peças com a bissetriz paralela a base (medição de ângulos em peças cilíndricas ou cônicas apoiadas entre pontas).



## FUNCIONAMENTO

Para se efetuar a medição de um ângulo numa peça, coloca-se esta sobre a Mesa de seno, que deverá estar colocada sobre uma superfície plana de referência (desempeno), levanta-se a sua extremidade livre colocando-se Blocos padrão sob o cilindro, até se constatar o paralelismo da superfície superior da peça com a superfície da base, utilizando-se para isto, Relógio comparador. Quando as leituras no Relógio comparador forem as mesmas ao longo da superfície da peça, significa que o ângulo da peça será o mesmo da Mesa, e poderá ser determinado pela fórmula:

mula:  $\text{sen } \alpha = \frac{Bp}{cM}$  para o caso das Mesas de geratriz paralela e:  $\text{sen } \frac{\alpha}{2} = \frac{Bp}{cM}$  para o caso das Mesas de bissetriz paralela.



## MEDIÇÃO DE PEQUENOS ÂNGULOS

Neste tipo de medição, as Mesas de seno possuem uma diferença de plano (dp) entre o cilindro fixo e o cilindro livre. Essa diferença de plano varia de acordo com o fabricante, sendo que as alturas mais comuns são as de 5, 10 e 15 mm. Para se obter igualdade de plano, colocam-se Blocos padrão que correspondam à diferença de altura entre a base e o cilindro. Com esse recurso, podemos fazer qualquer inclinação, por menor que seja, e ainda usar blocos protetores de metal duro.

**EXERCÍCIOS:** Calcule o que se pede em cada uma das situações abaixo.

a - Determine o ângulo de uma peça com o auxílio de uma Mesa de seno de geratriz paralela, sabendo que:

$$Bp = 48,480 \text{ mm}$$

$$cM = 8''$$

$$\text{ângulo } \alpha = \dots\dots\dots$$

b - Determine quais Blocos padrão serão utilizados na medição do ângulo de uma peça, em uma Mesa de bissetriz paralela, sabendo:

$$\text{ângulo } \alpha = 35^{\circ} 35'$$

$$cM = 200 \text{ mm}$$

$$Bp = \dots\dots\dots$$

# ÍNDICE

	Página
- Introdução .....	01
- O caráter nacional da Metrologia .....	03
- O caráter internacional da Metrologia .....	04
- Caminhos para a empresa garantir a rastreabilidade de seus produtos e serviços a padrões nacionais e internacionais .....	05
- Cadeia metrológica .....	06
- Origem e definição do metro .....	07
- Protótipo do Metro .....	08
- Vocabulário de termos fundamentais e gerais de Metrologia .....	08
- Hierarquia de padrões e de laboratórios .....	12
- Unidades legais no Brasil .....	13
- Múltiplos e submúltiplos do metro .....	13
- Unidades e padrões.....	14
- Grafia e pronúncia das unidades .....	17
- SISTEMAS DE MEDIDAS .....	19
- Sistema métrico .....	20
- Sistema inglês .....	20
- Conversão dos sistemas .....	21
- MEDIDAS DIRETAS .....	23
- Escalas .....	23
- Paquímetros .....	28
- Micrômetros .....	46
- MEDIDAS INDIRETAS .....	63
- Relógios comparadores .....	63
- Blocos padrão .....	73
- MEDIDAS ANGULARES .....	81
- Goniômetros .....	81
- Réguas de seno .....	85
- Mesas de seno .....	87

---

## **BIBLIOGRAFIA**

**ABNT. NBR 6388/1983:** Relógios comparadores com leitura de 0,01 mm S/i.

**ABNT. NBR 6393/1980:** Paquímetros com leitura de 0,1 mm e 0,05 mm S/i.

**ABNT NBR 66/70/1981:** Micrômetros externos com leitura de 0,01 mm S/i.

**ABNT. NBR 7264/1982:** Régua plana em aço de face paralela. S/i.

**ABNT. NBR 9972/1993:** Esquadros de aço 90 graus. S/i.

**INMETRO.** Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de Metrologia. Duque de Caxias, RJ., 1995.

**CATÁLOGO MITUTOYO 20.000-3/90:** Instrumentos para Metrologia dimensional.

**APOSTILA LABELO/PUCRS:** Laboratórios especializados em eletro-eletrônica - Metrologia aplicada ao processo de certificação ISO 9000 - Porto Alegre, RS., 1997.

**APOSTILA - SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA PARA O CONTROLE DA QUALIDADE: Si - MpCQ - 95.** Florianópolis, SC..

**APOSTILA - TELECURSO 2000 CURSO PROFISSIONALIZANTE DE MECÂNICA:** Metrologia, 1996.

**APOSTILA - CENTRO NACIONAL DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL PARA A FORMAÇÃO ESPECIAL - (CENAFOR):** Associação Joseense de Ensino, 1973

---