

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
JOINVILLE



Instrumentos de medidas

FÍSICA EXPERIMENTAL I – FEX1001

Joinville/SC, julho de 2022

I - Instrumentos analógicos

a) Régua e trena

É um instrumento de medida de **comprimento**. Graduado, por sua vez, é aquele ou aquilo que tem um grau (um valor ou estado). A régua graduada (*Figura 1*) é um instrumento que dispõe de uma escala de valores para conhecer o comprimento de algo.

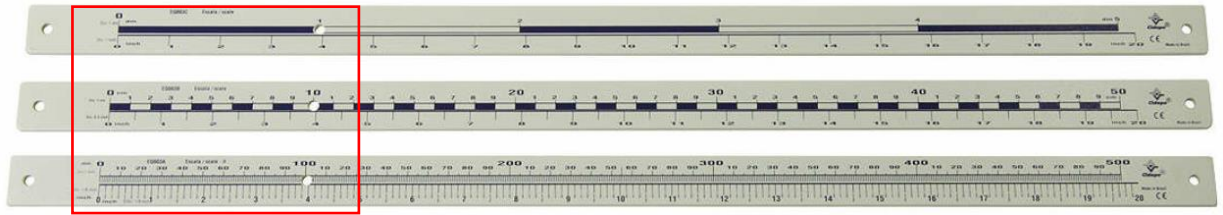


Figura 1: Régua graduada. Ampliação na Figura 2.

A menor escala de valores de uma graduação se refere a uma unidade de uma régua de um valor padrão dividido em N partes iguais, onde N é um número inteiro. A *Figura 2* mostra diferentes escalas de uma régua de 1,0 m.

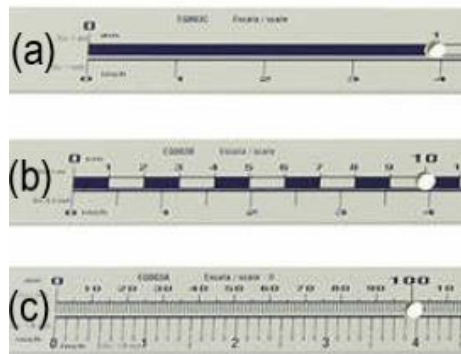


Figura 2: (a) Escala superior em decímetros (1,0 m é dividido em 10 partes iguais) e a escala inferior em 1" (polegada). (b) Escala superior em centímetros (1,0 m é dividido em 100 partes iguais) e a escala inferior em 1/2" (1,0 polegada é dividido em 2 partes iguais). (c) Escala superior em milímetros (1,0 m é dividido em 1000 partes iguais) e a escala inferior em 1/8" (1,0 polegada é dividido em 8 partes iguais).

Em geral, o erro de escala ΔE associado a régua é definido como a metade da menor escala de valor da graduação. O erro de escala por sua vez indica o limite de acuracidade de uma régua. A *Figura 3* mostra uma comparação entre as diferentes escalas e a *Tabela 1* mostra as características das régua apresentadas nas *Figuras 1* e 2.

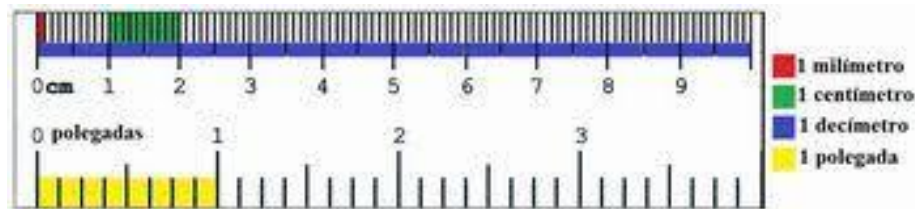


Figura 3: Comparativo de escalas.

Régua (com escala)	Menor escala	Erro de escala: $\Delta E = \frac{\text{Menor escala}}{2}$
Decímetro	$\frac{1,0}{10} m = 1,0 \times 10^{-1} m = 1,0 dm$	0,5 dm
Centímetro	$\frac{1,0}{100} m = 1,0 \times 10^{-2} m = 1,0 cm$	0,5 cm
Milímetro	$\frac{1,0}{1000} m = 1,0 \times 10^{-3} m = 1,0 mm$	0,5 mm

Tabela 1: Menor escala e erro de escala das régua.

Trena ou fita métrica é uma régua flexível geralmente feita por uma fita de metal maleável, plástico ou fibra de vidro. O erro de escala é a mesma da régua apresentada anteriormente. Nas atividades de laboratório são utilizados trenas pequenas que usualmente trazem escala graduada em milímetros e polegadas gravadas na fita de metal maleável, com gancho metálico autoajustável na ponta que permitem leituras de encosto ou fixando o gancho no objeto. A fita é condicionada enrolada em torno de mola espiral que permite recolhimento e travas para manter a fita para medições.



Figura 4: Trena com escala graduada em milímetros e polegadas. Algumas trenas trazem consigo gravada na fita a temperatura (em °C) e tensão (em N) de operação.

A forma de medida e leitura é intuitiva, mas é necessário cuidados no manuseio. Por ser uma fita de metal pode ser cortante quando recolhida e se for dobrado além do limite a fita pode ser avariada. Assim como qualquer tipo de instrumento analógico em que a medida se faz com escala graduada, é necessário cuidados com erro de paralaxe.

Erro de paralaxe

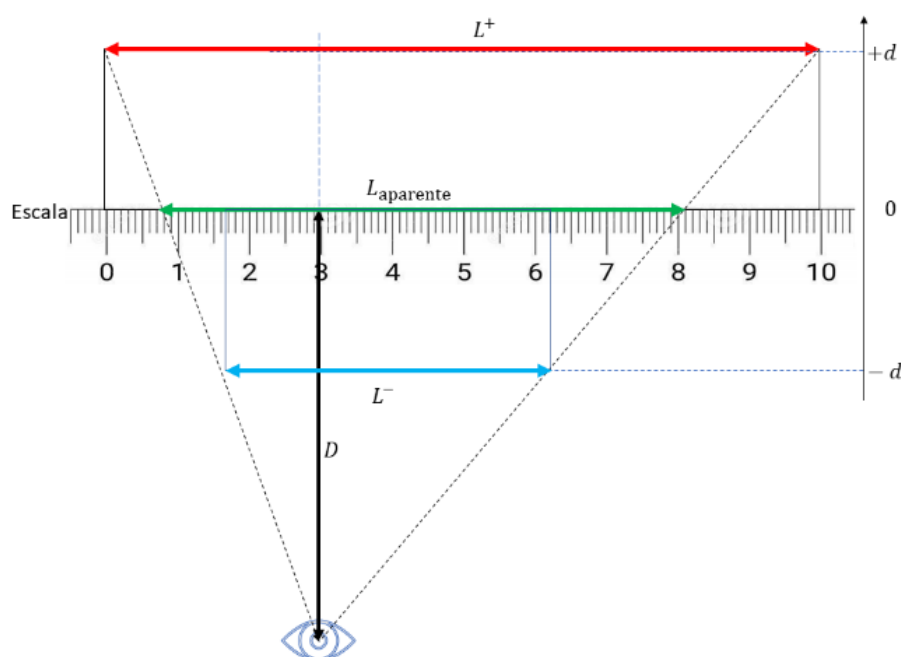


Figura 5: Erro de paralaxe. O objeto na frente da escala parece maior e o objeto atrás da escala parece menor.

Considere na Figura 5 uma escala graduada a distância D do observador, um objeto de comprimento L^+ atrás da escala a uma distância d ($+d$ em relação a escala) e um objeto de comprimento L^- na frente da escala a uma distância d ($-d$ em relação a escala). O comprimento aparente dos objetos lido na escala é $L_{aparente}$.

Pela semelhança de triângulos:

$$\frac{L^\pm}{D \pm d} = \frac{L_{aparente}}{D} \rightarrow L_{aparente} = \left(\frac{D}{D \pm d} \right) L^\pm.$$

Aproximando o erro de paralaxe ΔE_p como a diferença entre o comprimento aparente e o comprimento real:

$$\Delta E_p \approx |L_{aparente} - L^\pm| = \left(\frac{d}{D \pm d} \right) L^\pm.$$

Assim, existem três formas para minimizar o erro de paralaxe: com o objeto encostado na escala ($d \rightarrow 0$), com medida feita frontalmente ($L^\pm \rightarrow 0$) ou feita de uma distância muito afastada ($D \rightarrow \infty$).

b) Paquímetro (do grego *paqui* = espessura e *metro* = medida)

O paquímetro é constituído de uma régua metálica principal (fixa) graduada, geralmente milimetrada, ao longo da qual desliza uma régua móvel graduada secundária chamada de nônio ou Vernier, que permite a leitura de frações da menor divisão da escala da régua, cuja invenção é atribuída a Pierre Vernier. O paquímetro é ajustado entre dois pontos, retirado do local e a medida é lida em sua régua. A *Figura 6* ilustra um paquímetro e suas partes.

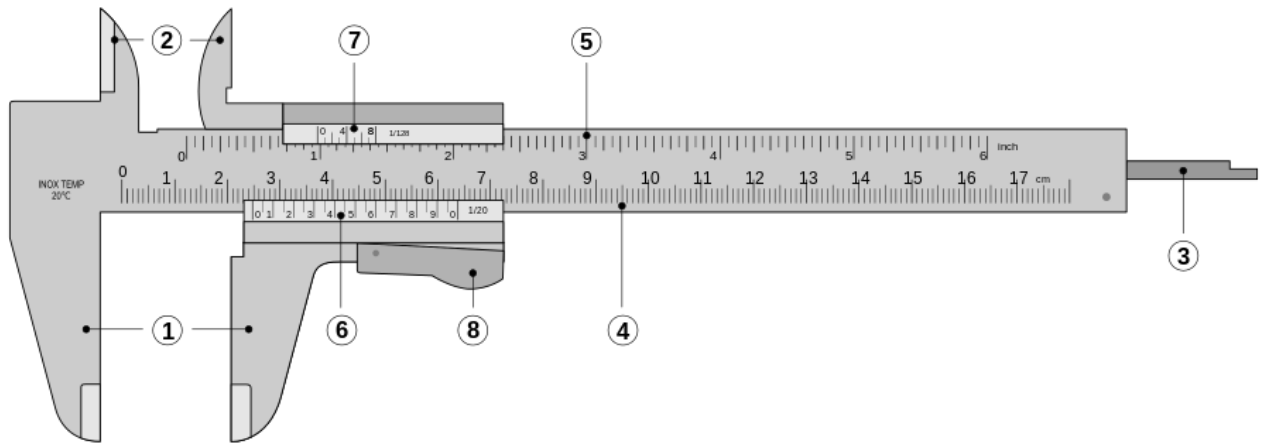


Figura 6: Paquímetro e suas partes. 1: encostos, 2: orelhas, 3: haste de profundidade, 4: escala inferior (graduada em mm), 5: escala superior (graduada em polegadas), 6: nônio ou vernier inferior (mm), 7: nônio ou vernier superior (polegada), 8: trava.

O paquímetro possibilita diversos tipos de medidas, ilustrado na *Figura 7*

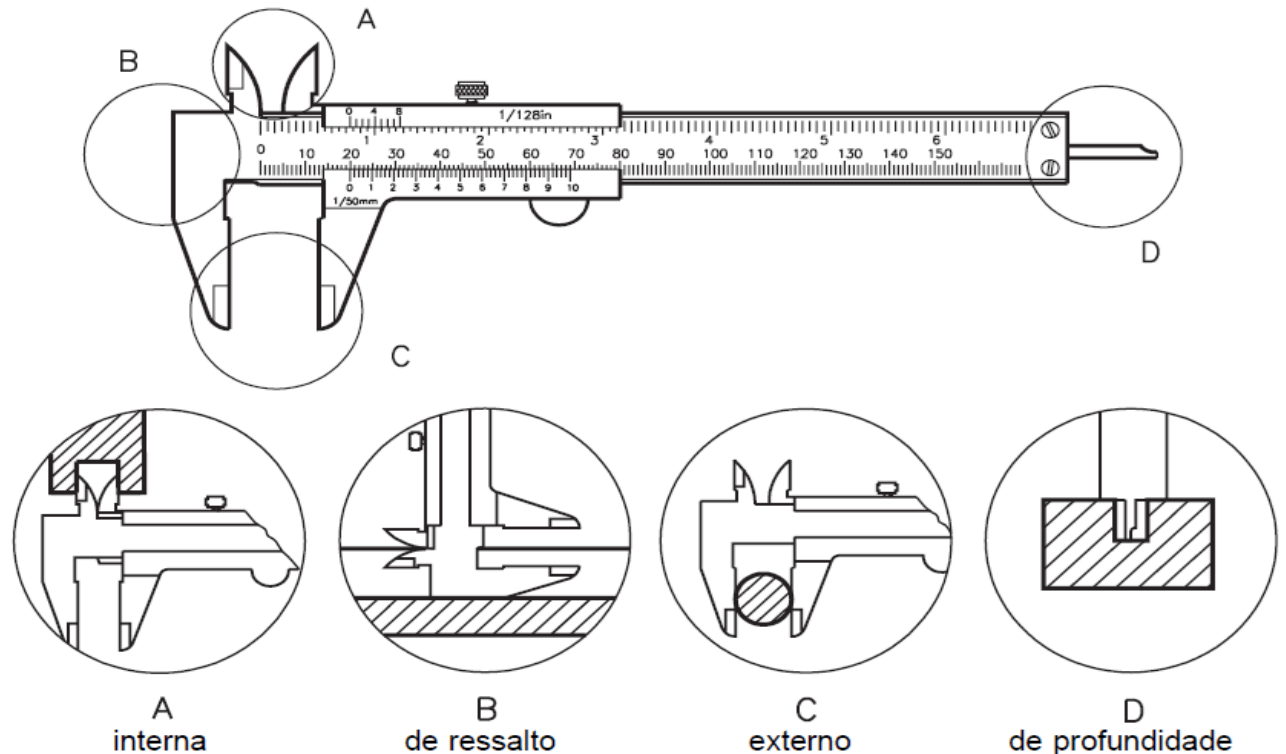


Figura 7: Tipos de medidas em um paquímetro.

O erro de escala de um paquímetro é a menor escala de um nônio, na qual é a razão da menor escala da régua principal pelo número de divisões do nônio. Geralmente é informado no canto inferior direito do nônio.

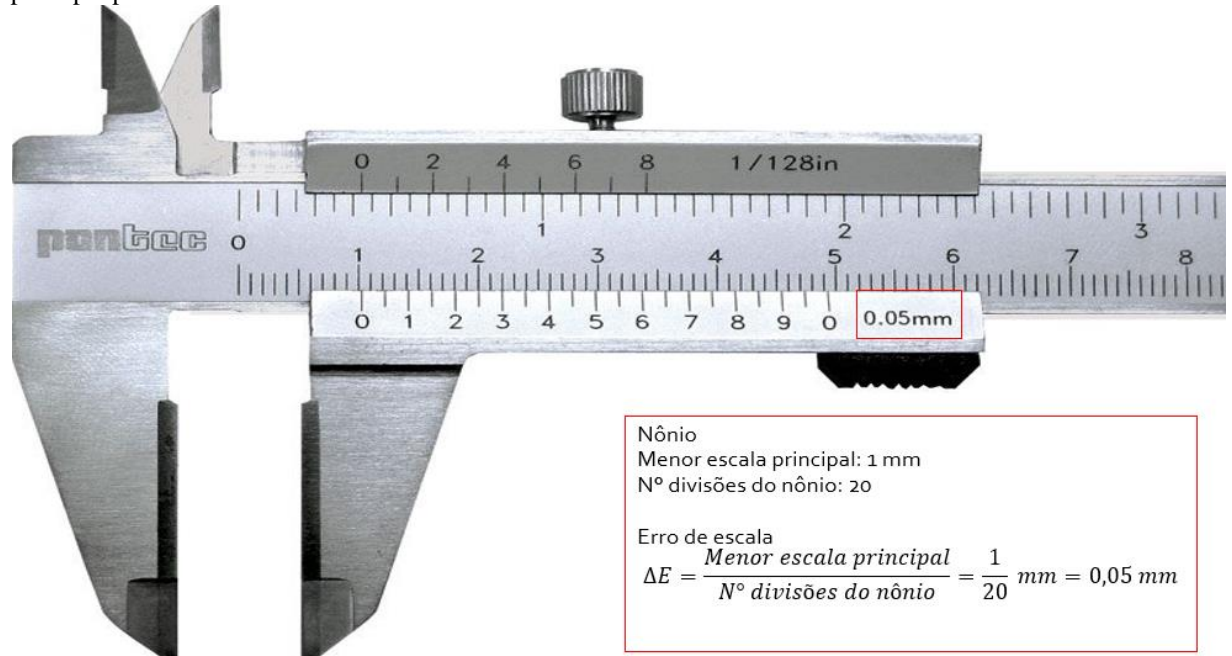


Figura 8: Nônio de um paquímetro e o erro de escala.

Como medir:

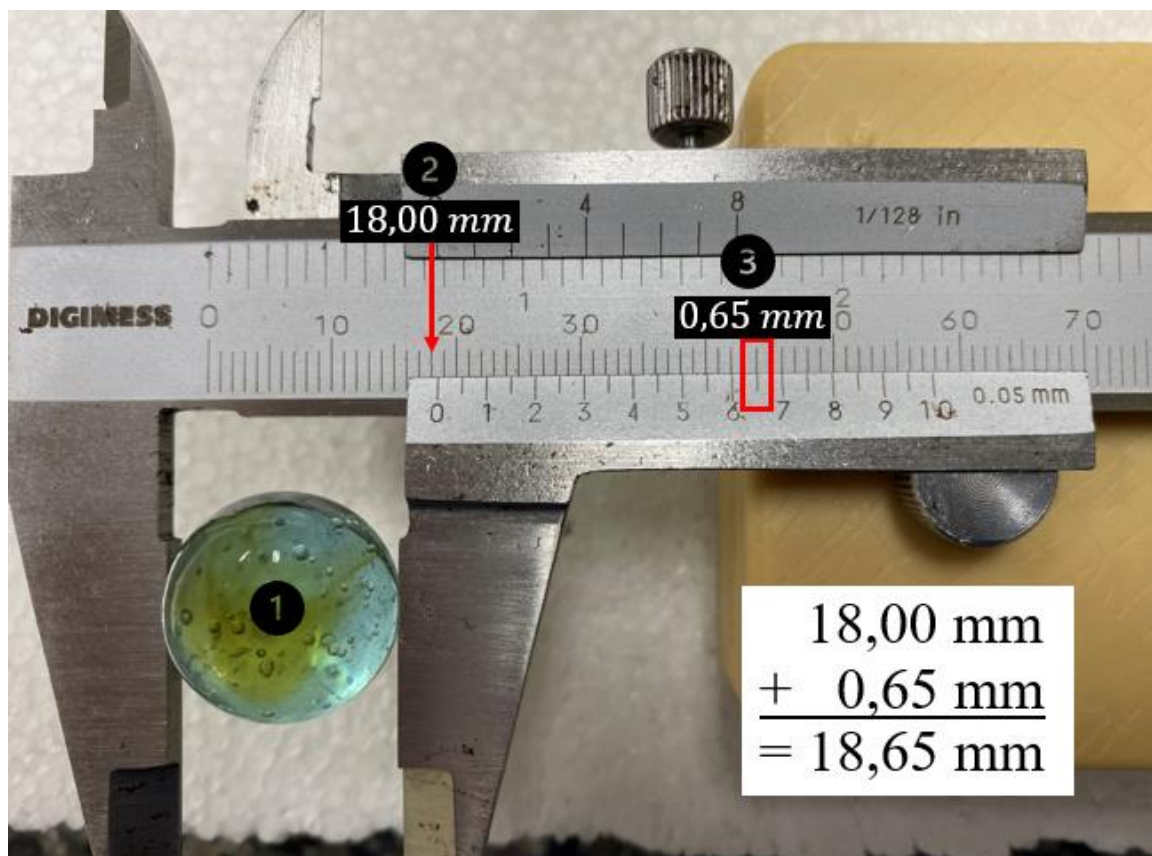


Figura 9: 1. Posicione a peça segundo o tipo de medida a ser executada. 2. leia diretamente na régua fixa (escala principal) a medida em milímetros onde está a numeração “0” do nônio. 3. procure o primeiro traço da escala do nônio que coincide com um traço qualquer da escala da régua móvel, esse é o valor da subdivisão do milímetro, que completa a leitura da medida. Por exemplo, para um nônio de 0,05 mm, todas as medidas devem ser do tipo: 4,00 mm; 6,05 mm; 110,15 mm; 1,20 mm; etc. (observe que o último algarismo termina em zero ou em cinco).

Na *Figura 10* estão indicados alguns cuidados que devem ser tomados ao medir com o paquímetro. Por exemplo, as escalas devem ser lidas perpendicularmente ao instrumento, e de frente, evitando-se o *erro de paralaxe*.

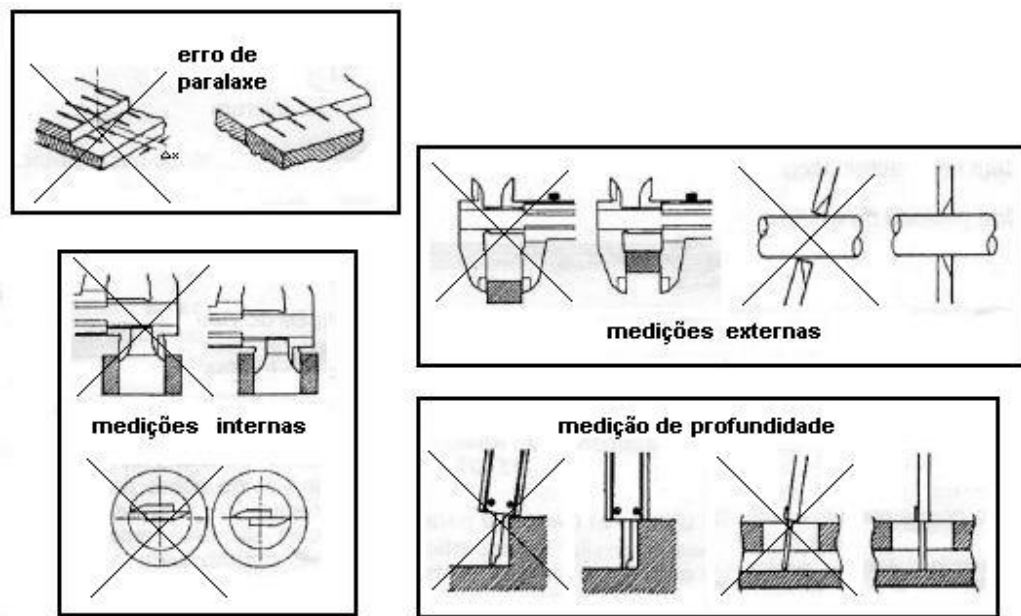


Figura 10: Precauções ao medir com o paquímetro.

c) Micrômetro

É um instrumento que permite executar medições de até milésimos de milímetro ($\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). É constituído de um parafuso especial chamado de parafuso micrométrico, cujo passo é de 0,5 mm por volta completa. No corpo do instrumento há uma escala graduada em 0,5 mm (escala fixa) e uma escala circular graduada em 0,01 mm, a leitura dos micrômetros pode ser “lida a olho”, ou, se houver um nônio, pode ser lida diretamente na coincidência dos traços (*Figura 11 e 12*).

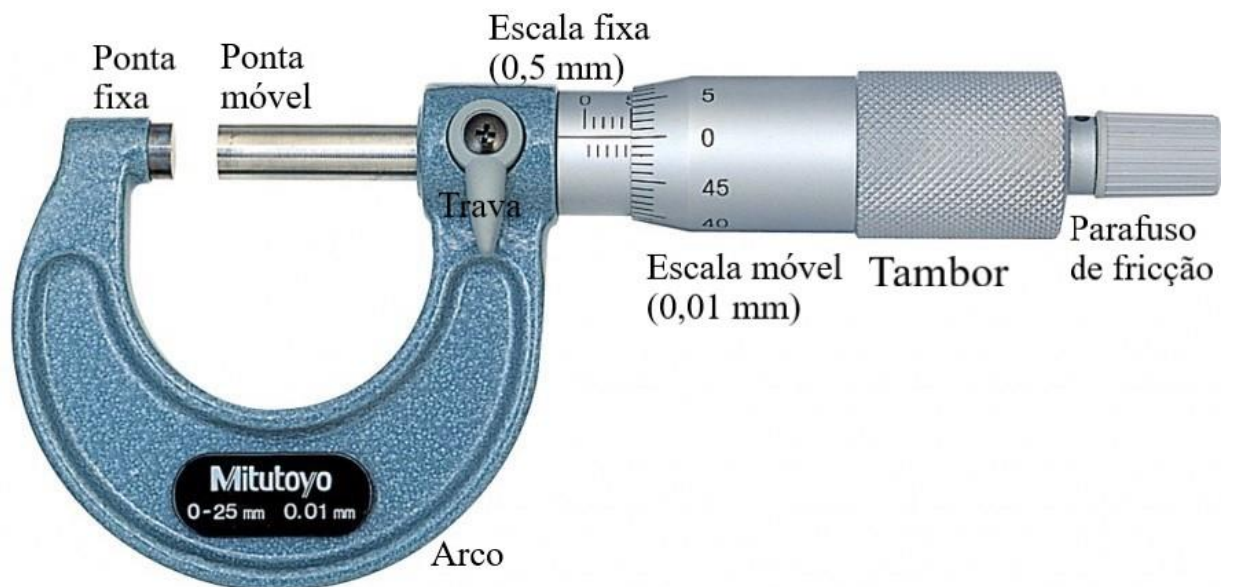


Figura 11: Micrômetro sem nônio e suas partes.

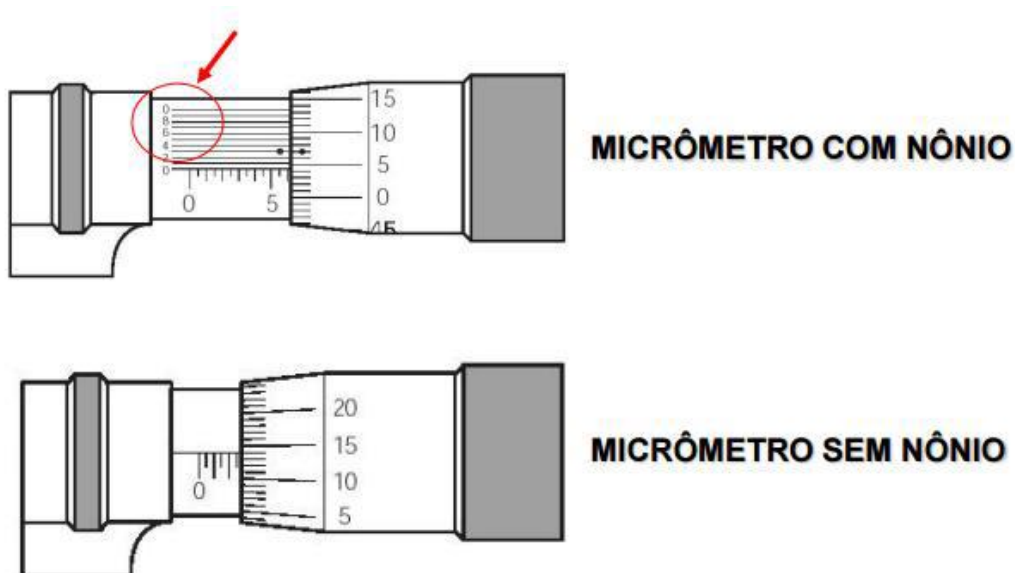


Figura 12: Micrômetro com nônio e micrômetro sem nônio.

Como medir com o micrômetro:

- (a) posicione a peça entre as faces da ponta fixa e da ponta móvel;
- (b) gire o tambor até que as faces se encostem à peça delicadamente, para tanto pode-se fazer uso do parafuso de fricção (tambor com catraca);
- (c) leia o valor do traço da escala fixa (0,5 mm) anterior ao tambor com escala;
- (d) leia o traço da escala móvel (0,01 mm) no tambor, localizado logo abaixo da linha horizontal da escala fixa;
- (e) se o micrômetro possuir nônio, o último algarismo significativo a ser lido será aquele que representa o milésimo de milímetro e este é lido diretamente no nônio.
- (d) Caso o micrômetro não apresente nônio, o algarismo significativo correspondente ao milésimo de milímetro poderá ser estimado e, neste caso, será um algarismo duvidoso.

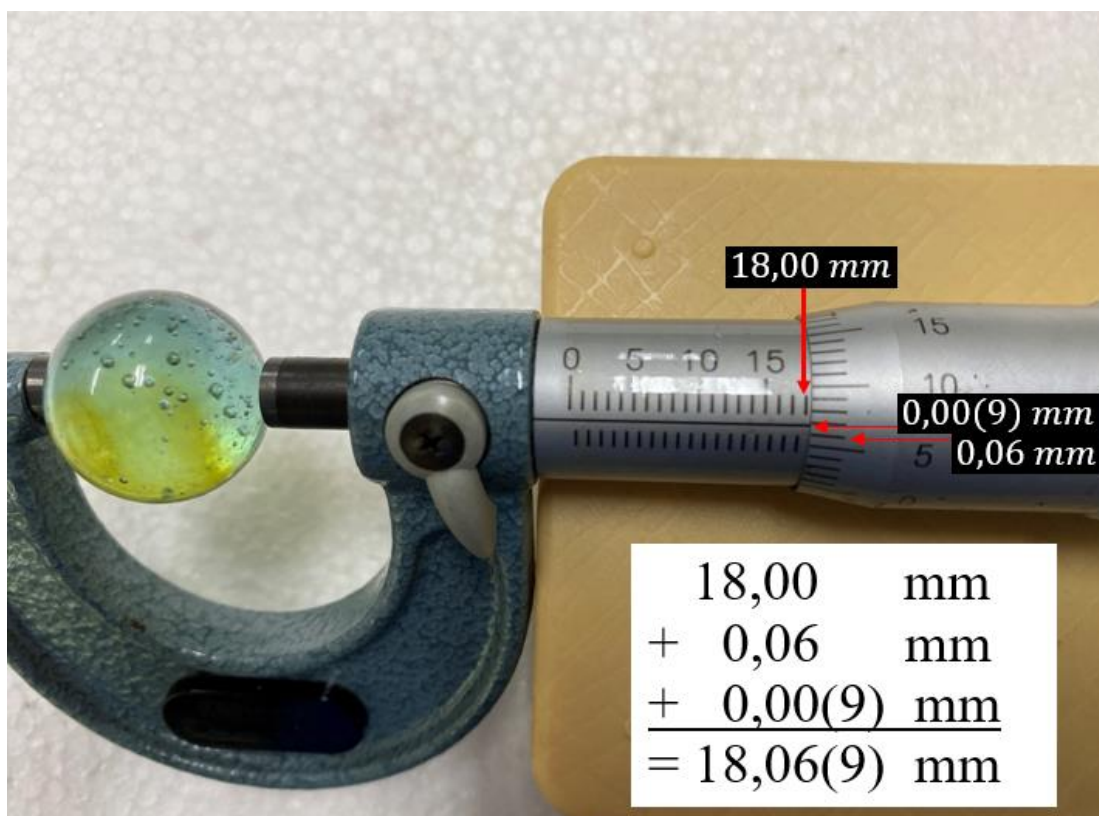


Figura 13: Medida com micrômetro sem nônio.

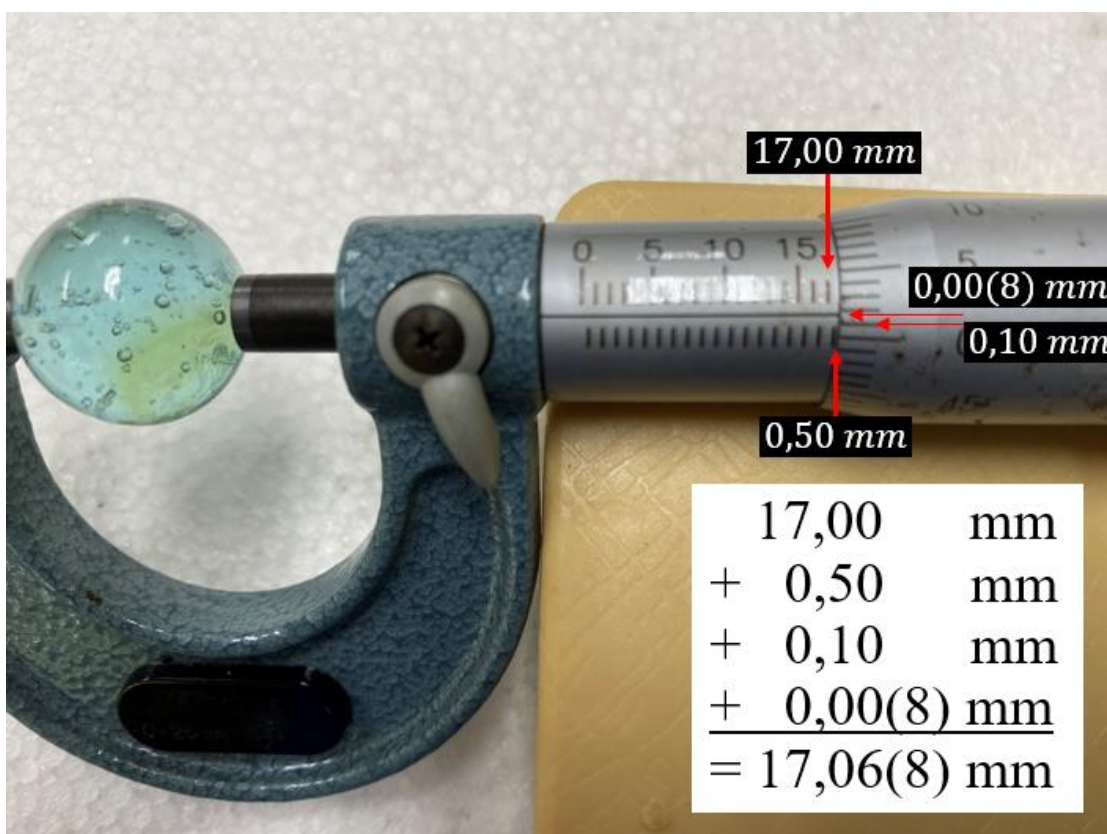


Figura 14: Medida com micrômetro sem nônio.

d) Dinamômetro

É um instrumento de medida de **força**. Consiste numa mola calibrada em um tubo transparente com escala graduada na unidade de Newton ou unidade de massa m equivalente ($m = P/g$ onde P é a força peso do objeto de massa m e g é a aceleração da gravidade local). Ao aplicarmos uma força na extremidade da mola, esticando-a, associamos uma força a deformação produzida na mola. A medida de uma força está diretamente relacionada a variação do tamanho da mola, conforme a *Lei de Hooke*. Dependendo da escala do dinamômetro, poderemos ter leituras de décimos ou de centésimos de Newton. A medida é feita comparando o índice (peça vermelha) em relação a escala graduada do tubo.

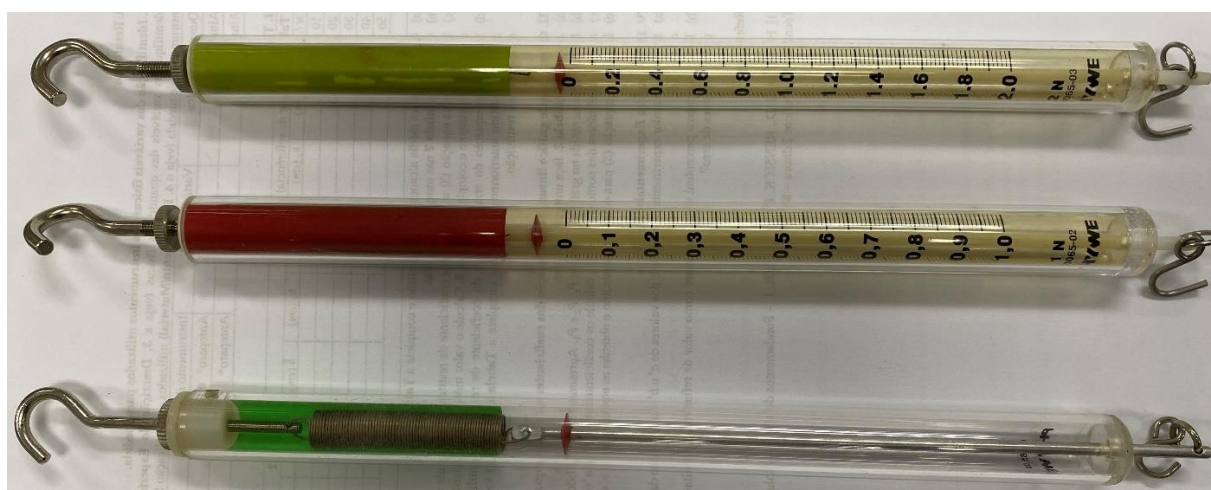


Figura 15: Dinamômetros de escalas diferentes. De baixo para cima: dinamômetro sem escala graduada, dinamômetro vermelho com escala de 1,0 N dividido em 100 partes iguais e dinamômetro verde com escala de 2,0 N dividido em 100 partes.

O erro de escala do dinamômetro é análogo a régua é definido como a metade da menor escala de valor da graduação.

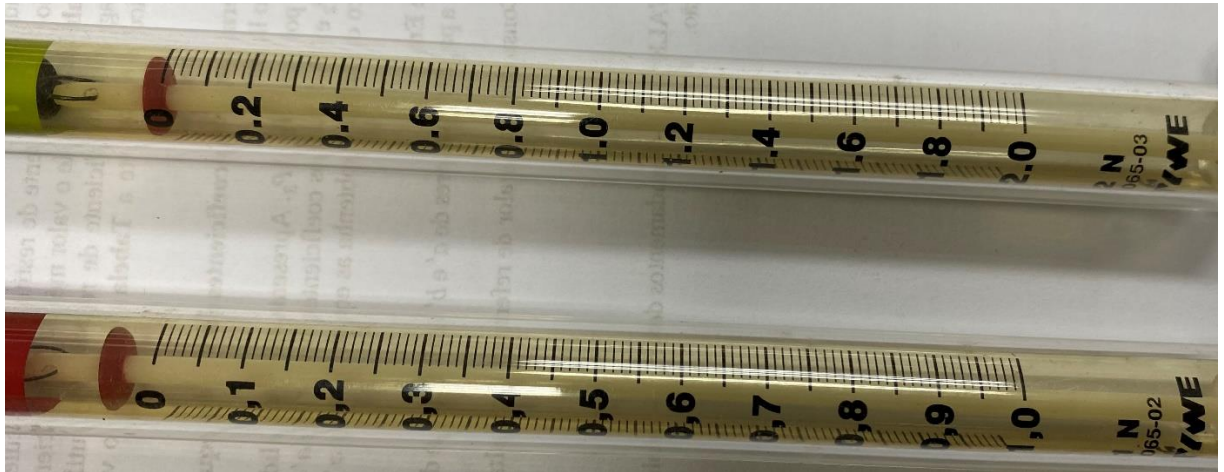


Figura 16: Ampliação da Figura 15.

Dinamômetro	Menor escala	Erro de escala: $\Delta E = \frac{\text{Menor escala}}{2}$
Vermelha	$\frac{1,0}{100} N = 1,0 \times 10^{-2} N = 0,010 N$	0,005 N
Verde	$\frac{2,0}{100} N = 2,0 \times 10^{-2} N = 0,020 N$	0,010 N

Tabela 2: Menor escala e erro de escala dos dinamômetros.

O dinamômetro apresenta ganchos nas extremidades, geralmente o dinamômetro é colocado na vertical e o gancho superior é fixo em um suporte e no gancho inferior é suspenso o corpo de prova ou aplicado uma força, mas o dinamômetro também pode ser orientado na horizontal ou diagonal, conforme a experiência. Antes de qualquer medida é necessário verificar a calibração na orientação desejada, conferindo se o índice (peça vermelha) está no zero. A calibração é feita rosqueando o gancho superior e ajustando com a porca no tubo.



Figura 17: Calibração do dinamômetro.

e) Clinômetro

É um instrumento utilizado para medir o **ângulo de uma inclinação**. O princípio é baseado em prumo de uma pequena massa pendurada em um fio que é comparado em uma escala de um transferidor, um instrumento feito para medir ângulos composto por uma escala circular ou de seções de círculo dividida e marcada em ângulos espaçados regularmente em graus ($^{\circ}$), tal qual numa régua. A menor divisão de escala é $1,0^{\circ}$ e o erro de escala é $0,5^{\circ}$. No Sistema Internacional de unidades é em radianos (rad) e a relação entre graus é $2\pi rad = 360^{\circ}$, desta forma no Sistema Internacional a menor divisão de escala é $1,0^{\circ} = 0,017 rad$ e o erro de escala é $0,5^{\circ} = 9 \times 10^{-3} rad$.

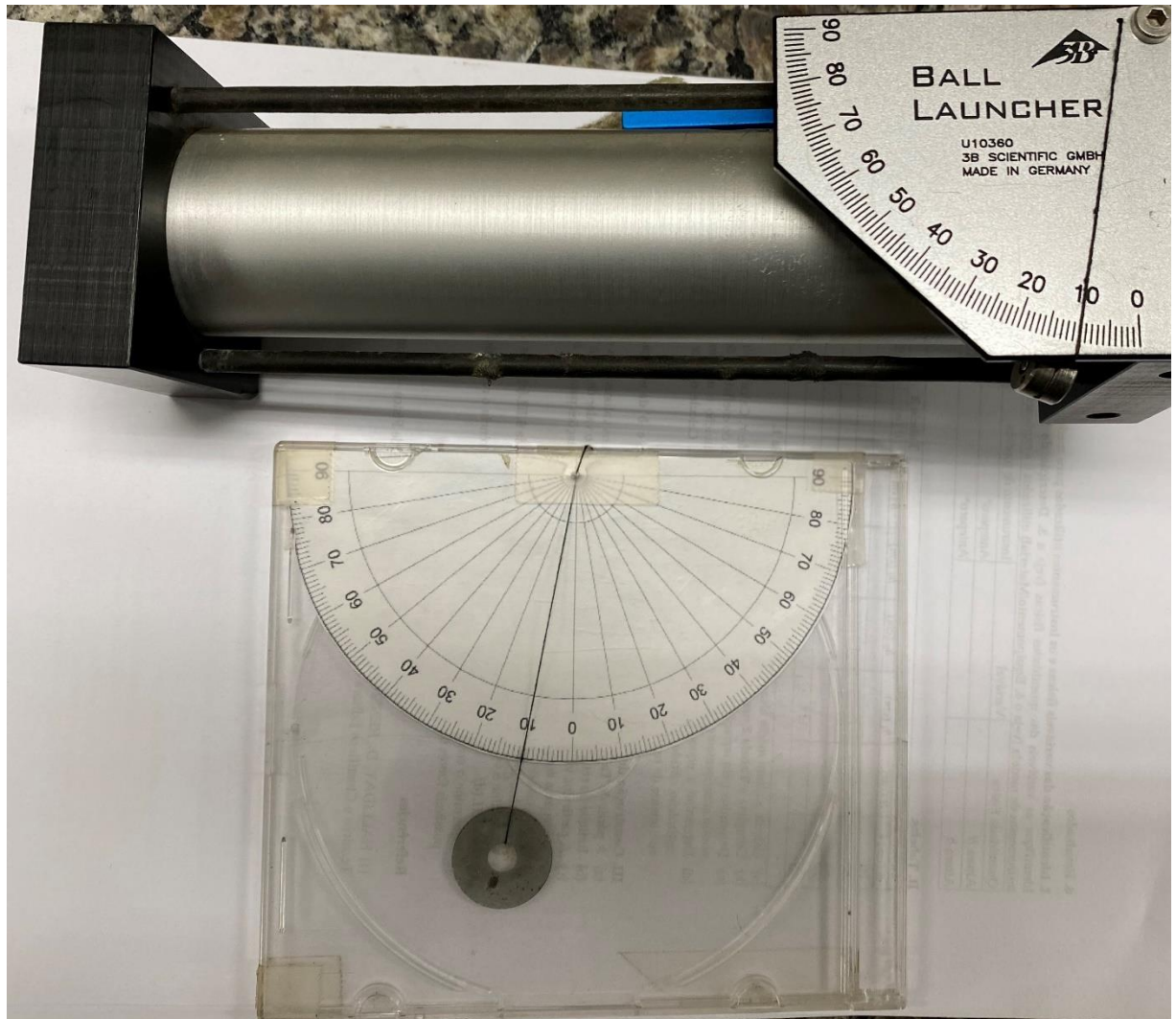


Figura 18: Clinômetro em um lançador de projétil e um clinômetro artesanal.

Clinômetro	Menor escala	Erro de escala: $\Delta E = \frac{\text{Menor escala}}{2}$
Grau ($^{\circ}$)	1,0	0,5
Radiano (rad)	0,017	9×10^{-3}

Tabela 3: Menor escala e erro de escala do clinômetro.

II - Instrumentos digitais

a) Cronômetro digital

É um instrumento utilizado para medir o **tempo**. O erro de escala do cronômetro é de um centésimo de segundo ($\Delta E = 0,01\text{ s}$) e a operação é simples, intuitiva e manual. Como a operação é manual, deve se levar em conta o tempo de reação t_R [1], o tempo que o cérebro necessita para processar as informações que está recebendo e definir uma ação. Para operação de medida do tempo, é iniciado pressionando botão “START” e finalizado pressionando “STOP” e cada ação de pressionar o botão se contabiliza o tempo de reação. Dessa forma o erro na operação manual é aproximadamente $\Delta E_{\text{manual}} \approx 2t_R$.



Figura 19: Cronômetro digital.

Erro de escala	$\Delta E = 0,01\text{ s}$
Erro na operação manual	$\Delta E_{\text{manual}} \approx 2t_R$
Tempo de reação t_R	Medido na Experiência 1 [1]

b) Contador digital com barreira luminosa

É um instrumento utilizado para medir o tempo na ordem de milissegundos. Em geral o erro de escala pode ser alterado conforme a necessidade e o erro de escala pode ser 1 ms ou $0,1\text{ ms}$. O contador é acionado quando um objeto passa pelas barreiras luminosa.



Figura 20: Contador digital com barreira luminosa.

Erro de escala	$\Delta E = 1\text{ ms}$ ou $0,1\text{ ms}$
----------------	---

c) **Balança digital**

É um instrumento digital utilizado para medir a **massa** na ordem de centésimo ou milésimo de grama.



Figura 21: Balança digital.

O erro de escala e a faixa de operação é descrita no manual ou etiqueta com informações técnicas.

Erro de escala	$\Delta E = 0,01 \text{ g}$
----------------	-----------------------------

Referências

[1] Experiência 1 – Medidas e Algarismos significativos. Erros. FEX1001, UDESC/CCT, Joinville, 2022.