INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SUL-RIO-GRANDENSE

CAMPUS PELOTAS - VISCONDE DA GRAÇA

APOSTILA DE FÍSICA EXPERIMENTAL I

PELOTAS, RS
2013/1

1. Instrumentos de medida

Um instrumento de medida é um agente mecânico na execução de qualquer trabalho cujo fim é a medição. Necessariamente qualquer instrumento necessita de um padrão de referência para sua devida calibração. Tome-se, por exemplo, uma régua que você compra em lojas. Essa régua vem com riscos devidamente espaçados de acordo com o padrão existente na fábrica.

Para termos uma medida de 1 metro confiável necessita-se de padrões excelentes – isto é um problema tecnológico. No caso da medida de comprimento usa-se o metro cuja recente definição é a extensão percorrida pela luz no vácuo em 1/299.792.458 segundos. Nesse caso o uso de fontes de luz lasers é essencial à caracterização do padrão e da medida. Em resumo temos:

- Padrões confiáveis com a utilização de alta tecnologia (experimentos complexos)
- Padrões secundários obtidos através de padrões primários previamente aferidos.

Dessa forma, uma régua comprada numa loja possui intrinsecamente uma **incerteza instrumental** ou até mesmo um instrumento de qualidade adquirido em departamentos especializados. O problema da falta de exatidão é crucial em qualquer ciência experimental, citamos alguns:

- **Resolução** é a aptidão de um instrumento em distinguir valores muito próximos da grandeza a ser medida.
- **Limiar ou limiar de sensibilidade** é a menor variação de um estimulo que provoca uma variação perceptível na resposta de um instrumento de medir.
- **Estabilidade** é a aptidão de um instrumento de medição conservar seus padrões metrológicos.
- **Justeza** é a aptidão de um instrumento em apresentar medidas isentas de erros sistemáticos.
- **Fidelidade** é a aptidão de um instrumento, sob condições definidas de utilização, a respostas próximas a um mesmo estímulo.

As medidas são realizadas com instrumentos adequados a cada situação. A necessidade em se medir uma dada grandeza vai depender em geral de muitos parâmetros, e.g. precisão e exatidão do instrumento utilizado. Os instrumentos mais comuns de medida são:

• Régua milimetrada.

• Paquímetro.

• Micrômetro ou pálmer.

• Relógios mecânicos, elétricos, eletrônicos ou atômicos.

• Balança de mola (dinamômetro), de travessão ou eletrônica.

2. Princípios de funcionamento do Nônio ou Vernier

Imagine a seguinte situação: você realiza a medida de um objeto com uma régua milimetrada e o resultado é um número não inteiro de divisões. O que fazer para a determinação da parte fracionária? A resposta a esse problema é o uso do Nônio[1]. Esse dispositivo permite efetuar a leitura dessa parte fracionária (menor divisão da escala principal) através de uma escala auxiliar anexada a escala principal. Esse é o princípio de funcionamento do paquímetro.

[1] Dispositivo de medição inventado pelo matemático português Pedro Nunes. Na França, o conceito foi modificado, por Pierre Vernier, onde foi usado para construir instrumentos de metrologia com escalas de medição muito precisas.

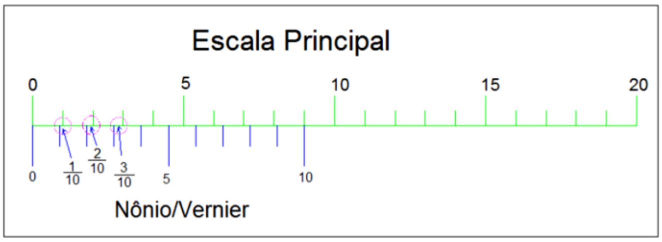


Figura 1. Representação da escala principal (verde) com o Nônio (azul) adaptado a mesma.

Um exemplo é apresentado na Figura 1 com a presença de duas escalas principal e secundária (chamada aqui de Nônio ou Vernier) com zeros coincidentes. A escala principal possui N =10 divisões e a escala do Vernier corresponde a N −1 = 9 divisões da escala principal.

Assim, cada divisão do Nônio é mais curta que 1/*N* da escala principal, em nosso caso 1/10 (conforme é assinalado na figura 1), ou seja, a parte ou divisão que ficou para as escalas serem iguais foi diluída negativamente na escala do Vernier. Na Figura1 podemos observar que a 1a divisão do Nônio é 1/10 mais curta que a 1ª divisão da escala principal. A 2ª divisão do Nônio está 2/10 da 2ª divisão da escala principal e a 3ª divisão do Nônio está 3/10 da 3ª divisão da escala principal. Isso se repete até que a 10ª marca do Nônio coincida com a 9ª marca da escala principal e, obviamente, a distância entre as décimas marcas será 10/10.

Uma escala construída dessa forma, i.e. Vernier, quando a movemos para a direita faz com que haja sempre uma coincidência entre as marcas de ambas as escalas. Quando realizamos uma medida de um objeto o "zero" do Nônio irá marcar a quantidade inteira de divisões deslocadas da escala principal e a parte fracionária da medida será de acordo com a coincidência da escala do Vernier com a escala principal.

Na Figura 2a podemos observar que o deslocamento fracionário da escala principal foi de $7 \times \frac{1}{10}$, i.e. onde a 7ª marca do Nônio coincidiu com uma marca da escala principal. Entretanto, na Figura 2b o deslocamento do Nônio foi de 2 divisões da escala principal adicionado uma parte fracionária de $8 \times \frac{1}{10}$, conforme a coincidência assinalada. Assim, observamos que o Nônio nos dá uma precisão de 1/10 da escala principal.

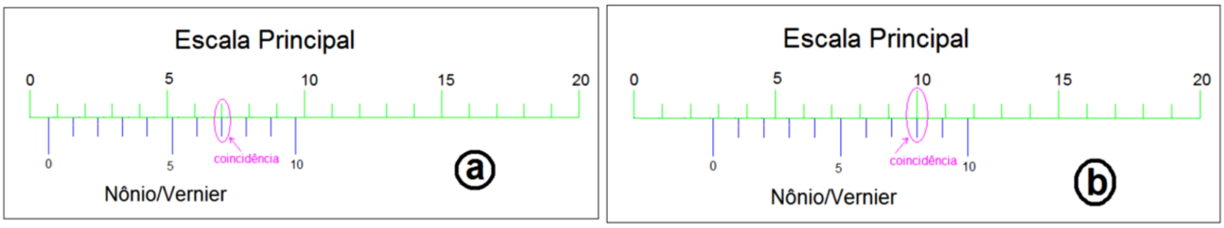


Figura 2. Exemplos de leitura com um Nônio de N = 10 divisões. Na figura 2, o Nônio se deslocou uma fração da 1ª divisão da escala principal e essa fração foi de 7/10. Já na figura 2b, o deslocamento do Vernier foi 2 divisões da escala principal e uma fração cuja leitura no Nônio foi de 8/10, ou seja, a leitura final é de 2,8 divisões da escala principal.

Na Tabela 1 podemos observar os parâmetros da medida feita na Figura 2b. Note que nessa tabela a 8ª marca do vernier coincide exatamente com a 10ª marca na escala principal, ou seja, a parte fracionária da media é 0,8.

Tabela 1. Os valores e erros associados à medida mostrada na Figura 2b.

Marca do Nônio	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Leitura da escala principal	2,8	3,7	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	10	10,9	11,8
Erro a marca mais próxima	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	**0,0**	0,1	0,2
Marca mais próxima da escala principal	3	4	5	?	6	7	8	9	10	11	12

No caso geral a precisão P do Nônio é dada pela seguinte equação:

$$P = \frac{D}{N} \tag{1.1}$$

onde D é a menor divisão da escala principal e N o número de divisões do Nônio ou Vernier.

Numa leitura cujo “zero” do Vernier se deslocou L_0 divisões inteiras da régua principal mais um número *n* de frações de divisões do Vernier, o valor total será:

$$L = L_0 + nP \tag{1.2}$$

Na Tabela 2 apresentamos alguns tipos de Nônio existentes no mercado:

Tabela 2. Parâmetros de alguns Verniers existentes.

N Número de divisões do Vernier	C (mm) Comprimento total do Vernier	D (mm) Comprimento da menor divisão da escala principal	d (mm) Comprimento da menor divisão do Vernier	P (mm) Precisão do dispositivo
10	9	1	$9/10$	0,1
10	19	1	$19/10$	0,1
20	39	1	$39/20$	0,05
50	49	1	$39/50$	0,02

Na tabela anterior a menor leitura possível com um Nônio de 50 divisões é de P = 0,02 mm. Entretanto, isso na pratica é difícil de se obter devido à dilatação térmica do material e uma eventual folga durante a medida. Dessa forma o grande número de divisões do Nônio pode ser um problema na determinação das marcas que há coincidência.

Animação: http://www.stefanelli.eng.br/webpage/metrologia/p-nonio-milimetro.html

3. Algarismos significativos

O número de algarismos significativos resulta da escala do aparelho com que se está a obter a medida.

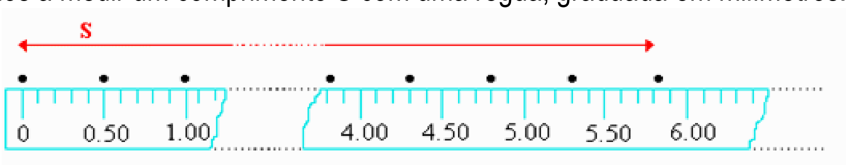
Exemplo: Estamos a medir uma massa numa balança que tem a indicação de sensibilidade d= ± 0,001g.

Obtemos uma massa de 7,978g na nossa pesagem. Então

7,97 → algarismos exatos
8 → algarismo incerto ou duvidoso
7,978g → 4 algarismos significativos

Algarismos Significativos: todos os exatos + primeiro dos incertos.

Exemplo: Estamos a medir um comprimento S com uma régua, graduada em milímetros.



Obtemos um comprimento de 5,84 cm. Então

5,8	$\rightarrow$	algarismos exatos
4	$\rightarrow$	algarismo incerto
5,84	$\rightarrow$	3 algarismos significativos

4. REGRAS DE CONTAGEM DO Nº DE ALGARISMOS SIGNIFICATIVOS (A.S.) DE UM RESULTADO.

A contagem dos algarismos significativos faz-se da esquerda para a direita, começando pelo primeiro algarismo diferente de zero.

1. Qualquer algarismo diferente de zero é significativo. 134g $\rightarrow$ 3 a.s.

2. Zeros entre algarismos diferentes de zero são significativos. 3005m $\rightarrow$ 4 a.s.

3. Zeros à esquerda do primeiro a.s. diferente de zero não são significativos. 0,000456g $\rightarrow$ 3 a.s.

- Zeros à esquerda do número, isto é, zeros que posicionam a vírgula, não são significativos. Elas servem para indicar uma mudança de unidades. O comprimento L=143,8mm (medido na escala em mm) pode ser escrito:

L = 14,38 cm ou L= 0,1438m ou L = 0,0001438km

Todas as leituras anteriores possuem o mesmo número de a.s. que é definido pela escala do instrumento de medida.

4. Para números superiores a 1, os zeros à direita da vírgula contam como a.s. 34,000g $\rightarrow$ 5 a.s

5. Para números sem casas decimais, os zeros podem ou não ser significativos.

- Ao se realizar uma mudança de unidades, deve-se tomar cuidado para não serem escritos zeros que não sejam significativos. Suponha, por exemplo, que queiramos expressar, em metros, uma medida de 8,4 Km. Observe que esta medida possui dois algarismos significativos, sendo duvidoso o algarismo 4. Escrevendo: 8,4 km = 8400 m, o número 4 estaria sendo considerado como um algarismo correto e o último zero acrescentado seria o algarismo duvidoso, o que não estaria certo. Para não cometer esse engano de interpretação, utiliza-se da notação de potência de 10 e escreve-se: $8,4 \times 10^3$ metros. Assim, realizou-se a mudança de unidades e o algarismo 4 continua sendo indicado como o duvidoso.

O número 500 pode ter 1, 2 ou 3 a.s. Deve usar-se a notação científica para eliminar esta ambiguidade.

5×10^2	$\rightarrow$	1 a.s.
$5,0 \times 10^2$	$\rightarrow$	2 a.s.
$5,00 \times 10^2$	$\rightarrow$	3 a.s.

5. Operações com Algarismos Significativos (a.s.).

Quando se efetuam cálculos o resultado deve respeitar o número de algarismos significativos dos dados segundo as seguintes regras para as operações.

a. Adição e Subtração.

O número de casas decimais da soma ou da diferença é o mesmo do dado que tiver o menor número de casas decimais.

34,567g + 2,34g = 36,907 $\Rightarrow$ 36,91 g

b. Multiplicação e Divisão.

No produto final ou no quociente, o número de a.s. é determinado pelo fator que tenha menor número de a.s.

$$3{,}456 \text{ m} \times 34{,}5234 \text{ m} = 119{,}311488 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad 119{,}3 \text{ m}^2.$$

c. Operações em Cadeia.

A x B= C	A = 2,34
C x D = E	B = 5, 58
	D = 3,02

Usa-se um a.s. a mais nos cálculos intermédios e arredonda-se o resultado final para o nº correto de a.s.

2,34 x 5,58 = 13, 06 (arredondar)

$$13{,}06 \times 3{,}02 = 39{,}4412 \quad \Rightarrow \quad 39{,}4$$

- Para números encontrados em fórmulas e que não são resultados de medidas, não faz sentido falar em número de algarismos significativos. Ou seja, na fórmula que fornece a área A de um triângulo de base B e altura H: A = B x H/2. O número 2 não foi obtido através de medida e, assim, não deverá ser levado em consideração para a contagem do número de algarismos significativos do resultado.

A média de 12,31g e 12,44g é:	A massa de 3 objetos iguais é
(12,31g + 12,44g) : ***2*** = 12,38g	***3*** x 3,45g = 10,4g

Os números ***2*** e ***3*** são designados números puros, não afetando o número de algarismos significativos nas regras de cálculo.

6. Regras de Arredondamento

Escolhida a casa decimal até onde se quer fazer a aproximação:

1º. Despreze o algarismo seguinte se for inferior a 5.

1,56849 = 1,568

2º. Acrescente uma unidade à casa decimal, se o algarismo for superior a 5.

2,5698 = 2,57

3º. Se o algarismo seguinte à casa escolhida for igual a 5, tem duas situações:

a. O nº da casa decimal que pretende arredondar é par: fica como está.

1,85=1,8

b. O nº da casa decimal que pretende arredondar é impar: acrescenta-lhe uma unidade.

2,735 = 2,74

7. Notação Científica

A fórmula geral de um número em notação científica é

$A \times 10^n$ Exemplos:

em que $3456{,}45 = 3{,}45645 \times 10^3$

$1 \leq A \geq 10$ $0{,}0024738 = 2{,}4738 \times 10^{-3}$

n- número inteiro.

8. Incertezas na medida com um Instrumento

A incerteza de uma medida é uma fração avaliada da menor divisão da escala utilizada, ou seja, é no algarismo duvidoso que reside a incerteza da medida. A incerteza de uma medida é o intervalo de incerteza fixado pelo operador com o sinal mais ou menos (±). Ela depende da perícia do observador, de sua segurança, de sua facilidade de leitura da escala, além do próprio aparelho ou instrumento utilizado na medição.

Uma forma de apresentar a incerteza de uma medida é utilizar a metade da menor escala. Por exemplo, na Figura 3, a menor divisão da régua é 1 mm e a incerteza poderá ser, então, 0,5 mm. Assim, o resultado desta medida poderá ser escrito como:

152,3 ± 0,5 mm.

Alguns autores adotam como norma uma incerteza correspondente a 10% da menor divisão da escala. No caso do exemplo da figura 3, o resultado poderia ser escrito como: **152,3 ± 0,1 mm**.

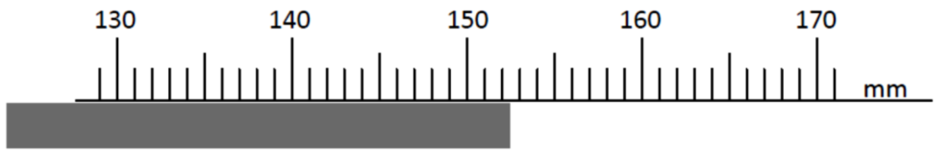


FIGURA 3. Régua milimetrada usada para medir o comprimento de uma barra de madeira.

Veja alguns exemplos a seguir. Note o casamento do número de casas decimais na incerteza e no valor do mensurando. Mais uma vez ressaltamos que **zeros à direita são significativos**.

notação errada	notação correta
$5{,}30 \pm 0{,}0572$	$5{,}30 \pm 0{,}06$
$124{,}5 \pm 11$	125 ± 11
$0{,}0000200 \pm 0{,}0000005$	$(200{,}0 \pm 5{,}0)\text{x}10^{-7}$
$(45 \pm 2{,}6)\text{x}10^1$	$(45 \pm 3) \text{ x } 10^1$ ou $45{,}0 \pm 2{,}0$

9. Erros Aleatórios e Sistemáticos

Em ciência e tecnologia, é fundamental a realização de medidas de grandezas físicas. Estas grandezas podem ser, por exemplo, comprimentos, intervalos de tempo, voltagem entre dois pontos, carga elétrica transportada, intensidade luminosa, e muitas outras. Para se caracterizar o sistema de freios de um automóvel, por exemplo, realiza-se uma medida da distância percorrida após o acionamento dos freios quando o carro se movia a uma certa velocidade. Ao se realizar uma medida, há sempre **fontes de erro** que a afetam. As **fontes de erro** fazem com que toda medida realizada, por mais cuidadosa que seja, esteja afetada por um **erro experimental**. Os **erros experimentais** podem ser classificados em dois grandes grupos: **erros sistemáticos** e **erros aleatórios**.

Os **erros sistemáticos** são causados por fontes identificáveis, e, em princípio, podem ser eliminados ou compensados. **Erros sistemáticos** fazem com que as medidas feitas estejam consistentemente acima ou abaixo do valor real, prejudicando a **exatidão** ("accuracy") da medida (ver Figura 4). **Erros sistemáticos** podem ser causados devido:

· ao instrumento que foi utilizado: por exemplo, erros causados em medidas de intervalos de tempo feitas com um relógio que atrasa;

· ao método de observação utilizado: por exemplo, medir o instante de ocorrência de um relâmpago pelo ruído do trovão associado;

· a efeitos ambientais: por exemplo, a medida de frequência da luz emitida por um laser, que pode depender ligeiramente da temperatura ambiente;

· a simplificações do modelo teórico utilizado: por exemplo, não incluir o efeito da resistência do ar numa medida da aceleração da gravidade baseada na medida do tempo de queda de uma bolinha de ping-pong de uma altura fixa.

Uma das principais tarefas do idealizador ou realizador de medidas é **identificar e eliminar o maior número possível de fontes de erro sistemático**.

Os **erros aleatórios** são flutuações, para cima ou para baixo, que fazem com que aproximadamente a metade das medidas realizadas de uma mesma grandeza numa mesma situação experimental esteja desviada para mais, e a outra metade esteja desviada para menos. Os **erros aleatórios** afetam a **precisão** ("precision") da medida (ver Figura 4). Nem sempre se pode identificar as **fontes de erros aleatórios**. Algumas **fontes típicas de erros aleatórios** são:

· método de observação: erros devidos ao julgamento feito pelo observador ao fazer uma leitura abaixo da menor divisão de uma escala, como por exemplo, medir o comprimento de uma folha de papel com uma régua cuja menor divisão é 1 mm com precisão na medida de 0,5 mm;

· flutuações ambientais: mudanças não previsíveis na temperatura, voltagem da linha, correntes de ar, vibrações (por exemplo causadas por passagem de pessoas perto do aparato experimental ou veículos nas vizinhanças).

Erros aleatórios podem ser tratados quantitativamente através de métodos estatísticos, de maneira que seus efeitos na grandeza física medida podem ser, em geral, determinados.

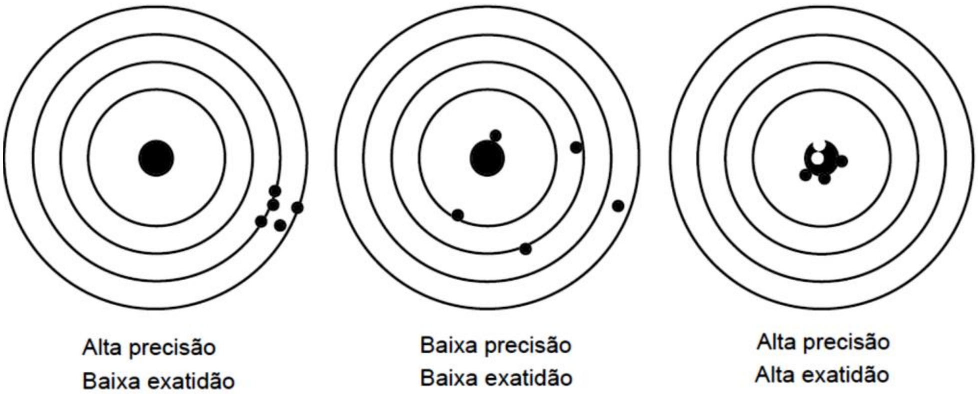
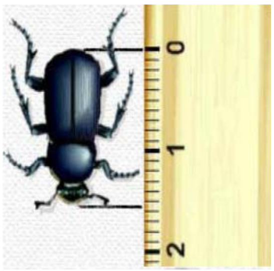


Figura 4. Precisão e exatidão em medidas.

10. Exercícios

1) Uma vez decidido o que caracteriza o tamanho do besouro, qual das alternativas abaixo melhor caracteriza a medida do tamanho do besouro?

a) Entre 0 e 1 cm
b) Entre 1 e 2 cm
c) Entre 1,5 e 1,6 cm
d) Entre 1,54 e 1,56 cm
e) Entre 1,546 e 1,547 cm



2) Qual o diâmetro da moeda?

a) Entre 0 e 2 cm
b) Entre 1 e 2 cm
c) Entre 1,9 e 2,0 cm
d) Entre 1,92 e 1,94 cm
e) Entre 1,935 e 1,945 cm

3) Quantos algarismos significativos existem em cada um dos valores a seguir?

(a)13,5 cm (b) 0,010 kg (c) $1,01 \times 10^{-3}$ s (d) 4,123 g (e) 11,342 g/cm^3

(f) 2002,0 cm/s (g) 978,7 cm/s^2 (h) $6,02 \times 10^{23}$ (i) 3,14159 (j) 3×10^8 m/s

4) Arredonde os valores abaixo, para apenas dois algarismos significativos:

(a) 34,48 m (b) 1,281 m/s (c) $8,563 \times 10^3$ s (d) 4,35 cm^3 (e) $9,97 \times 10^{-6}$ g

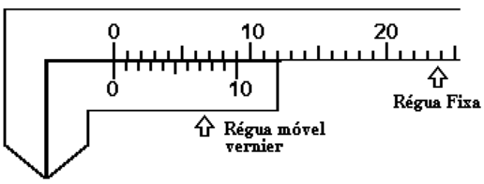
(f) 0,0225 N (g) 2787 m (h) 0,04095 km (i) 143768900 (j) 2,54 cm

5) Escreva os resultados das operações matemáticas a seguir, respeitando o uso de algarismos significativos:

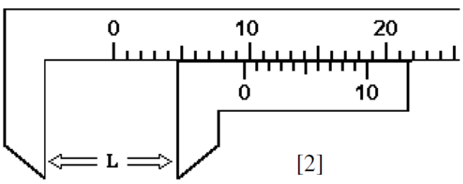
(a) 1,02x105kg ÷ 3,1m^3 (b) 345m + 23,3m + 1,053m (c) 390,5g ÷ 22,4cm^3

(d) $1,89 \times 10^2$g - 2,32g (e) 10,0m ÷ 0,01s (f) 12g × $6,02 \times 10^{23}$

6) As figuras apresentadas abaixo representam um paquímetro em duas posições. Na primeira (1), o instrumento está fechado e na segunda (2), está aberto, medindo a dimensão L de um objeto. Qual é a resolução do paquímetro?

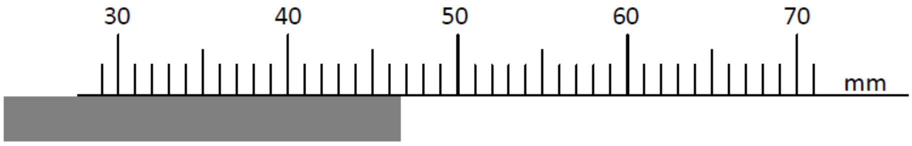


[1]



[2]

7) Considere a Figura abaixo:



a) Como deve ser expresso o comprimento da barra?
b) Quais são os algarismos corretos e o avaliado desta medida?
c) Expresse sua medida também em função da incerteza.

8) Uma pessoa sabe que o resultado de uma medida deve ser expresso apenas com algarismos significativos. Se esta pessoa lhe disser que a velocidade de um carro era de 153 Km/h,

a) Quais são os algarismos que ela leu no velocímetro analógico?
b) Qual foi o algarismo duvidoso avaliado pela pessoa?

11. Medida Direta de uma Grandeza

A medida direta da grandeza, com seu erro estimado, podem ser feita de duas formas distintas:
- medindo-se apenas uma vez a grandeza x, e
- medindo-se várias vezes a mesma grandeza x, mantendo as mesmas condições físicas.

No primeiro caso, a estimativa do erro na medida Δx é feita a partir do equipamento utilizado e o resultado será dado por $(x \pm \Delta x)$. Para o segundo caso, consideremos que tenha sido feita uma série de n medidas para a grandeza x. Descontados os erros grosseiros e sistemáticos, os valores medidos x_1, x_2, ...x_n não são geralmente iguais entre si; as diferenças entre eles são atribuídas a erros acidentais. O valor mais provável da grandeza que se está medindo pode ser obtido pelo cálculo do **valor médio**:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

Denomina-se desvio de uma medida a diferença entre o valor obtido (x_i) nessa medida e o valor médio $\bar{x}$, obtido de diversas medidas.
Os valores de δ_i podem ser positivos ou negativos.

$$\delta_i = x_i - \bar{x}$$

Pode-se definir também o **desvio médio absoluto**, δ, que representa a média aritmética dos valores absolutos dos desvios δ_i.

$$\delta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\delta_i|$$

O desvio médio absoluto é utilizado quando há erros sistemáticos ou quando não temos certeza da minimização dos mesmos. Neste caso, a medida da grandeza x será dada por $\boldsymbol{X = \bar{x} \pm \delta}$.

Para representar o valor de uma grandeza, utiliza-se normalmente a representação

$$x = \bar{x} \pm \Delta x'$$

onde Δ**x**' pode ser tanto o desvio médio absoluto δ, quanto o desvio avaliado no próprio equipamento utilizado para a medida. O valor **Δx'** mais apropriado é o maior dos dois.

Desvio médio relativo de uma série de medidas é o desvio médio absoluto dividido pelo valor médio

$$\delta_r = \frac{\delta}{\bar{x}}$$

Desvio médio relativo percentual de uma série de medidas é igual ao desvio médio relativo multiplicado por 100.

$$\delta\% = \delta_r \, x \, 100$$

Outra forma de representar o desvio é a utilização do **desvio padrão** ou **desvio médio quadrático** que mede a dispersão estatística dos valores da grandeza medida. Quanto maior for o desvio padrão, maior será a dispersão e é definida como:

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(\delta_i)^2}{n-1}}$$

sendo n o número de medidas obtidas. Para n > 20 podemos usar a equação:

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(\delta_i)^2}{n}}$$

O desvio padrão somente pode ser utilizado se os erros sistemáticos forem minimizados ou mesmo eliminados.

Desvio padrão do valor médio de uma série de medidas, $\bar{\sigma}_x$ é o desvio padrão de uma medida dividido pela raiz quadrada do número de medidas na série.

Para n ≤ 20:

$$\bar{\sigma}_x = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(\delta_i)^2}{n(n-1)}}$$

Para n > 20:

$$\bar{\sigma}_x = \pm\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(\delta_i)^2}{n^2}}$$

Da mesma forma que o desvio padrão, só tem sentido utilizar **o desvio padrão do valor médio** se os erros sistemáticos forem minimizados ou mesmo eliminados.

De um conjunto de medidas, obtemos o seu valor médio. Se pudermos repetir esse conjunto de medidas uma grande quantidade de vezes e, em cada caso, obtivermos um valor médio, **o desvio padrão do valor médio** mede a incerteza estatística de cada valor médio. Isto é, mede a dispersão dos valores médios da repetição de um conjunto de medidas.

O *erro percentual* E% entre o valor teórico e o obtido experimentalmente é dada pela equação abaixo:

$$\text{E\%} = \frac{|\text{Valor teórico} - \text{Valor experimental}|}{\text{Valor teórico}} . 100$$

Exemplo: Considere uma série de medidas do diâmetro de um fio φ, feitas com um instrumento cuja precisão era de 0,05 cm:

Tabela 1 - Mostra os valores obtidos nas medidas do diâmetro φ de um fio.

Medida	1	2	3	4	5
φ (cm)	2,05	2,00	2,05	2,10	1,95

Então o valor médio do diâmetro do fio resulta em:

$$\bar{\phi} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\phi_i = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}\phi_i = 2{,}03 \quad cm$$

O desvio em cada medida é, portanto:

$$\delta_i = \phi_i - \bar{\phi}$$

$$\delta_1 = 2{,}05 - 2{,}03 = 0{,}02$$

$$\delta_2 = 2{,}00 - 2{,}03 = -0{,}03$$

" " " "

$$\delta_5 = 1{,}95 - 2{,}03 = -0{,}08$$

Calculando o desvio médio absoluto temos:

$$\delta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\,\delta_i\,| = 0{,}04\ cm$$

Como o desvio médio absoluto é menor que o erro do instrumento, considere o erro estimado na medida como sendo 0,05 cm.
Assim:

$$\varphi = (2{,}03 \pm 0{,}05)\ \text{cm}$$

Caso a precisão do equipamento fosse 0,01, o resultado final da medida seria expresso com o desvio médio absoluto:

$$\varphi = (2{,}03 \pm 0{,}04)\ \text{cm.}$$

Na medição de um comprimento ℓ com um paquímetro de precisão 0,05 mm foram obtidos os dados mostrados na tabela abaixo.

Tabela 2 - Medidas de comprimento realizadas com um paquímetro.

Medida	1	2	3	4	5	6
ℓ(mm)	30,55	30,50	30,45	30,60	30,55	30,40

Segue abaixo os cálculos do valor médio, dos desvios de cada medida, do desvio médio absoluto, do desvio médio padrão e do desvio padrão do valor médio.

(a) Valor médio

$$\overline{\ell} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ell_i = 30{,}508\quad m$$

(b) Valores dos desvios de cada medida.

Tabela 3 - Valores dos desvios da média de cada medida.

Medida	1	2	3	4	5	6
δ_i (mm)	0,04	-0,01	-0,06	0,09	0,04	-0,11

(c) Desvio médio absoluto

$$\delta = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |\,\delta_i\,| = 0{,}06\ mm$$

(d) Desvio padrão:

$$\sigma_l = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\,\delta_i\,)^2} = \sqrt{\frac{0{,}027}{5}} = 0{,}07\ mm$$

(e) Desvio padrão da média:

$$\overline{\sigma}_l = \sqrt{\frac{0,027}{30}} = 0,03\,mm$$

(f) Desvio médio relativo:

$$\delta_r = \frac{\delta}{\overline{\ell}} = \frac{0,06}{30,508} = 2,0.10^{-3}$$

(g) Desvio médio percentual:

$$\delta_{\%} = \delta_r . 100 = 0,2\,\%$$

Então a grandeza l é mais bem representada pelo valor:

$$\ell = (30,51 \pm 0,03)\ \text{mm}$$

O desvio padrão médio representa melhor o valor mais provável, pois representa a dispersão da média de vários subconjuntos das n medidas de uma grandeza e não dos valores individuais, como no caso do desvio médio absoluto.

12. Noções sobre a distribuição dos erros acidentais

Consideremos uma série de medidas feitas para a determinação de uma grandeza física. Descontados os erros grosseiros e sistemáticos, os valores, x_1, x_2, x_3, ..., x_n não são, via de regra, iguais entre si; as diferenças entre eles são atribuídas aos erros acidentais. Examinemos como exemplo, um caso concreto.

As medidas feitas por Baxter Hale, para a determinação da massa atômica do carbono, reproduzidas na Tabela 4.

Sendo todas as medidas feitas com igual cuidado, não há razão para se preferir ou desprezar as demais. O problema consiste em se extrair do conjunto de medidas um **valor representativo** para a massa atômica do carbono.

Tabela 4 - Medidas da massa atômica do carbono em *unidade de massa atômica* (u).

12,0080	12,0101	12,0106
12,0090	12,0101	12,0106
12,0090	12,0102	12,0107
12,0095	12,0102	12,0111
12,0095	12,0102	12,0113
12,0096	12,0105	12,0116
12,0097	12,0106	12,0118
12,0101	12,0106	12,0120
12,0101	12,0106	12,0129

Na Tabela 4, os N valores medidos (N=27) distribuem-se no intervalo compreendido entre 12,0080 e 12,0129. Para se ter uma melhor ideia dessa distribuição, vamos dividir o intervalo em subintervalos iguais e contar quantos valores estão em cada um deles como mostra a Tabela 5:

Tabela 5. Distribuição dos subintervalos das medidas de massa atômica do carbono.

Subintervalo	Freqüência Absoluta (n_i)	Freqüência Relativa (n_i/N)
12,0075 - 12,0084	1	1 / 27
12,0085 - 12,0094	2	2 / 27
12,0095 - 12,0104	11	11 / 27
12,0105 - 12,0114	9	9 / 27
12,0115 - 12,0124	3	3 / 27
12,0125 - 12,0134	1	1 / 27

A frequência relativa, (n_i/N) pode ser representada, em função da massa atômica x_i. O histograma correspondente é apresentado na Figura 5.

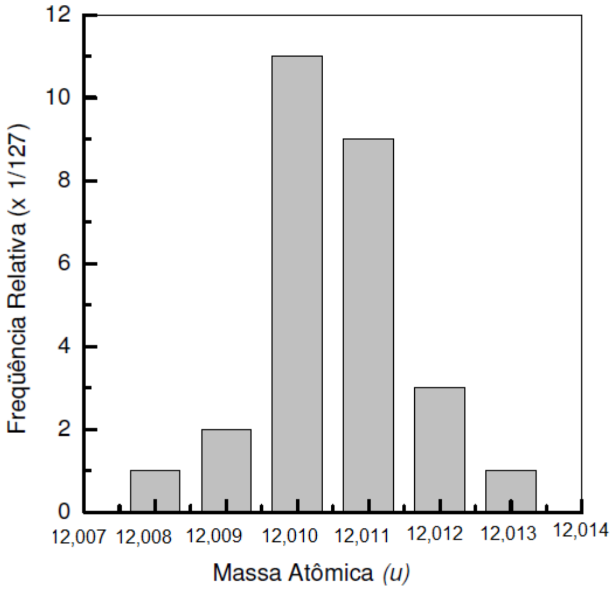


Figura 5. Histograma representando a distribuição da frequência relativa em função da massa atômica do carbono.

Pode-se observar que há maior concentração de valores nas proximidades do ponto médio do intervalo que é aproximadamente 12,0105.

Sendo grande o número de causas dos erros acidentais e sendo eles independentes entre si, deve-se esperar que, numa série de medidas, as frequências relativas dos diversos valores diminuam à medida que eles se afastam de seu valor mais provável. Isto se deve ao cancelamento parcial dos erros acidentais devido ao seu caráter aleatório ou fortuito. Essas considerações nos levam a aceitar à média aritmética dos diversos valores - desde que N seja suficiente grande ($N \rightarrow \infty$) – como o melhor valor representativo de uma grandeza.

13. Regras simplificadas para utilização dos desvios.

Nos trabalhos comuns de laboratório, onde se realiza uma série de 5 medidas, recomenda-se utilizar o desvio médio absoluto (δ). No caso de medidas de alta precisão em que os erros sistemáticos são minimizados, recomenda-se o desvio padrão do valor médio (σ_x).

14. Experimentos sobre Medidas e Erros

14.1. 1º Experimento: Medidas Físicas

1. Objetivos: Medidas lineares usando régua e paquímetro; aplicações de Teoria de Erros e Algarismos Significativos.

2. Introdução

Para efetuarmos a medida do comprimento de um lápis podemos utilizar vários instrumentos. A utilização de uma régua milimetrada, um paquímetro ou até mesmo um pedaço de barbante pré-calibrado. Cabe ao experimentador discernir qual o instrumento mais adequado àquela medida. Essa adequação deve levar em conta a reprodutibilidade da medida efetuada e a precisão que o experimentador necessita ter nessa determinação.

Quando tratamos teoricamente com grandezas numéricas, temos a impressão de lidarmos com valores absolutos, que independem do experimentador ou do instrumento de medida utilizado para obtê-los. Você terá oportunidade de verificar que, quando afirmamos ser uma dada massa igual a 1 grama ou um dado comprimento é de 10 cm estamos fazendo simplificações. Na realidade, quando obtemos experimentalmente uma massa de 1 g ou 1,0 g esses valores descrevem fisicamente a grandeza de forma distinta. A forma de obter e operar com dados experimentais exige um tratamento adequado. Tal procedimento é chamado Teoria de Erros. Elementos desta teoria e o conceito de Algarismos Significativos serão enfocados em nossos experimentos. Os processos de medidas serão o estatístico e o de medida direta, proporcionando tratamento de dados específicos para cada caso.

Em termos de propagação de erros são consideradas as quatro operações matemáticas descritas anteriormente.

3. Experimento

3.1 Materiais Utilizados: São fornecidos os seguintes instrumentos: régua, paquímetro e placa de latão.

3.2 Procedimento Experimental

(a) - Faça três medidas da espessura, largura e comprimento da placa de latão com a régua milimetrada. Organize seus dados em uma tabela contendo: os valores das grandezas, as incertezas e as unidades de medida, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões da placa de alumínio medidas com uma régua milimetrada e os valores médios com suas respectivas incertezas ou desvios.

Medida	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
1			
2			
3			
4			
5			
$\bar{x} \pm \Delta x$ ou $\bar{x} \pm \delta$			

(b) A partir dos valores $\bar{x} \pm \Delta x$ ou $\bar{x} \pm \delta$ da espessura, largura e comprimento, obtidos na Tabela 1, calcule a área total da placa com a respectiva incerteza $\bar{A} \pm \Delta A$.

(c) Faça 5 medidas da espessura, largura e comprimento da placa de latão com o **paquímetro** e apresente-as na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões da placa de alumínio medidas com um paquímetro.

Medida	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
1			
2			
3			
4			
5			
$\bar{x} \pm \bar{\sigma}_x$			

(d) A partir dos valores $\boldsymbol{\bar{x} \pm \bar{\sigma}_x}$ da espessura, largura e comprimento, obtidos na Tabela 2, calcule a área total da placa com a respectiva incerteza $\boldsymbol{\bar{A} \pm \Delta A}$.

(e) Compare e discuta os resultados obtidos nos itens (b) e (d).

(f) Obtenha a área total (A±ΔA) somente com o primeiro valor de cada uma das grandezas da placa de alumínio da Tabela 2 e compare o resultado com aquele obtido no item (d). Calcule o erro percentual **E%** entre **A** e $\boldsymbol{\bar{A}}$ e preencha a Tabela 3.

Tabela 3– Área total da placa de alumínio obtida pela primeira medida A e pelo valor médio $\bar{A}$.

$A \pm \Delta A$ (1^a *medida*)	$\bar{A} \pm \Delta A$	$E\%$

14.2. 2º Experimento: Medidas Físicas

1. Objetivos: Medidas lineares usando micrômetro; aplicações de Teoria de Erros e Algarismos Significativos.

2. Introdução

Nesta parte do experimento "Medidas Físicas" serão realizadas medidas lineares utilizando o micrômetro. Uma balança também será utilizada para medir as massas de alguns objetos. O cálculo da massa específica (densidade) de alguns materiais será determinado levando-se em consideração os algarismos significativos, a Teoria de Erros e a propagação de erros. O valor obtido será comparado com os encontrados na literatura.

2.1 Micrômetro

Quando a precisão desejada em uma medida for maior que a oferecida pelo paquímetro deve-se utilizar um micrômetro. A Figura 1 mostra a nomenclatura de suas principais partes.

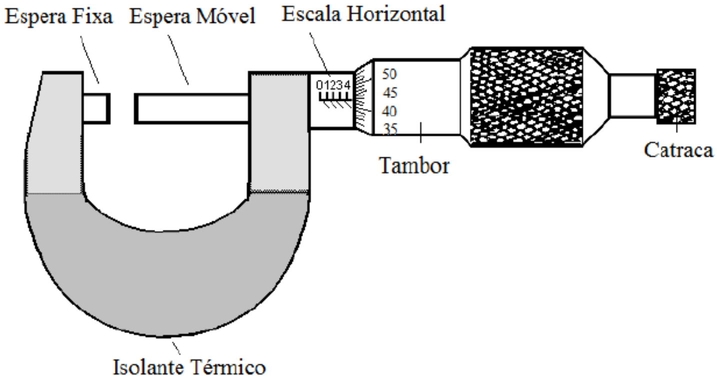


Figura 1 – Esquema de um micrômetro mostrando as principais nomenclaturas.

O princípio de funcionamento do micrômetro assemelha-se a um sistema formado por um parafuso móvel e uma porca fixa. Para cada volta completa o parafuso sofre um deslocamento igual ao passo do parafuso. Podem-se avaliar frações menores que uma volta, dividindo a "cabeça" do parafuso. Veja a ilustração da Figura 2.

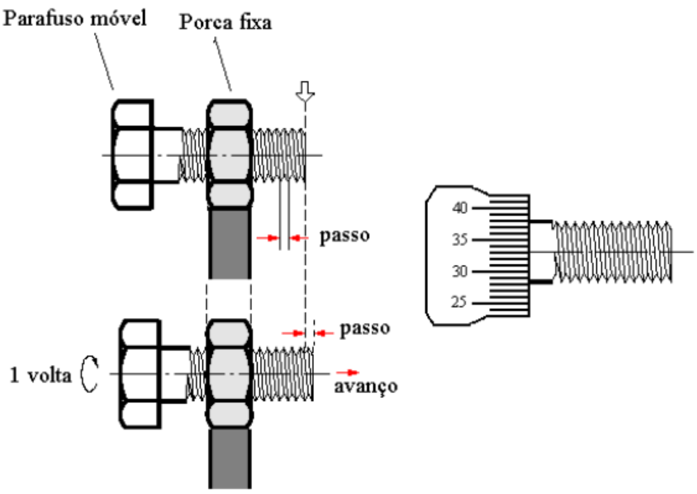


Figura 2 – Esquema de um sistema formado por um parafuso móvel e uma porca fixa.

2.2 - Leitura com o micrômetro

O objeto a ser medido deve ser colocado entre a espera fixa e a espera móvel que será movida até quase tocar o objeto. A partir desta posição, deve-se prosseguir o avanço do parafuso fazendo uso da catraca. A catraca é um dispositivo de segurança, se não se fizer uso deste dispositivo poderão surgir forças consideráveis acarretando na quebra do objeto examinado ou na inutilização do micrômetro.

A Figura 3 apresenta um exemplo de como se processa a leitura quando se utiliza um micrômetro. O traço visível corresponde a uma leitura de 17,0 mm (traço superior) mais 0,5 mm, pois o tambor também ultrapassou o traço inferior. Como o tambor possui 50 traços equivalentes a um passo de 0,5 mm, a leitura efetuada no tambor está entre 0,31 e 0,32 mm.

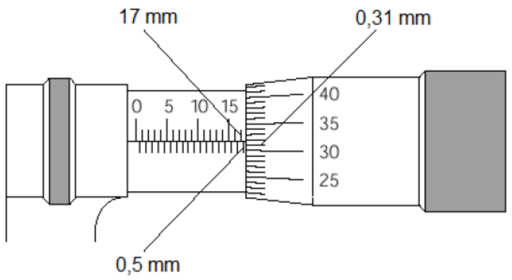
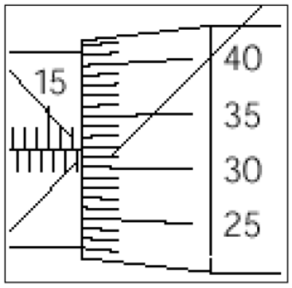


Figura 3 – Exemplo de leitura em um micrômetro.



Estimativa: 0,007

Figura 4 – No tambor a leitura está entre 0,31 e 0,32. Estimativa: 0,007.

Por último, estima-se esse valor intermediário como sendo 0,007 mm, conforme mostra a Figura 4. Assim, a leitura efetuada vale:

L = 17,5 (principal) + 0,31 (tambor) + 0,007 (estimativa) => L = 17,817 mm

Como a incerteza do micrômetro é metade da sua menor divisão (0,01 mm) temos que:

L = (17,817 + 0,005) mm

3. Experimento

3.1 Materiais Utilizados: São fornecidos os seguintes instrumentos: micrômetro e objetos de diferentes geometrias.

3.2 Procedimento Experimental

Organize seus dados em uma tabela contendo: a grandeza medida, o valor médio, a incerteza e a unidade de medida.

a. Faça 5 medidas do diâmetro da esfera metálica com um micrômetro e apresente os dados na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas do diâmetro da esfera metálica realizadas com um micrômetro.

Medida	1	2	3	4	5	$\overline{D} \pm \Delta D$ ou $\overline{D} \pm \delta$
Diâmetro (mm)						

b. Faça 5 medidas da massa da esfera metálica com a balança e apresente os dados na Tabela 2.

Tabela 2 – Medidas da massa da esfera metálica usando uma balança de precisão.

Medida	1	2	3	4	5	$\overline{m} \pm \Delta m$ ou $\overline{m} \pm \delta$
Massa (g)						

c. Faça 5 medidas do diâmetro e da altura do cilindro metálico com o micrômetro e apresente os dados na Tabela 3.

Tabela 3 – Diâmetro e altura do cilindro metálico usando um micrômetro.

Medida	1	2	3	4	5	$\overline{x} \pm \Delta x$ ou $\overline{x} \pm \delta$
Diâmetro (mm)						
Altura (mm)						

d. Faça 5 medidas da massa do cilindro metálico usando uma balança de precisão e apresente os dados na Tabela 4.

Tabela 4 – Massa do cilindro metálico usando uma balança de precisão.

Medida	1	2	3	4	5	$\overline{m} \pm \Delta m$ ou $\overline{m} \pm \delta$
Massa (g)						

e. A partir dos valores médios (com o seus respectivo desvio) obtidos nas Tabelas 1 e 3, calcule o volume da esfera e do cilindro com a respectiva incerteza ($V \pm \Delta V$) e preencha a Tabela 5. Obs: Utilize nos cálculos a propagação de erros (cálculo com desvios).

Tabela 5 – Volume da esfera e do cilindro

Objeto	$V \pm \Delta V\ (cm^3)$
Esfera	
Cilindro	

f. A partir dos valores obtidos nas Tabelas 1 e 2, calcule a massa específica da esfera metálica com a respectiva incerteza **($\rho \pm \Delta\rho$)**. Compare com o valor encontrado na literatura.

g. A partir dos valores obtidos nas Tabelas 3 e 4, calcule a massa específica cilindro metálico com a respectiva incerteza ($\rho \pm \Delta\rho$). Compare com o valor encontrado na literatura.

h. Discuta os resultados obtidos em f e g.

14.3. 3º Experimento: Medidas Físicas

Objetivo: Aplicação da teoria de medidas e erros à situações práticas.

Material: Fita métrica, proveta e corpos diversos.

Procedimentos:

Parte 1: Meça o perímetro da circunferência com a fita métrica do lado centimetrado e o diâmetro com o lado milimetrado, de dois objetos circulares recebidos e anote na tabela.

Tabela A			
Objeto	**Circunferência (C)**	**Diâmetro (2R)**	
A			
	C=	**2R=**	**C/2R=**

Objeto	**Circunferência (C)**	**Diâmetro (2R)**	
B			
	C=	**2R=**	**C/2R=**

Responda:

1. O resultado da relação C/2R deve ser acompanhado de unidade?
2. Considerando o valor C/2R = 3,14, calcule o erro relativo percentual referente as tabelas A e B.

Parte 2. Determine o volume do corpo metálico por imersão em água e preencha a tabela abaixo.

OBS: Varie a quantidade de água em cada medição.

Tabela B				
Medições	**Volume inicial**	**Volume final**	**Dif. De volume**	**Desvio Absoluto**
1				
2				
3				
		Média		

Responda:

1. Qual o valor provável do volume do corpo?

2. Calcule o desvio relativo percentual para o volume com os dados da tabela.

3. Nas medições realizadas do comprimento da circunferência, diâmetro e volume, quais foram feitas por processo direto e quais foram feitas por processo indireto? Justifique.

15. Modelo de relatório

O que segue é um modelo de relatório que deve ser usado como guia para a confecção dos relatórios das práticas. Obviamente, variações são aceitáveis, desde que não fujam essencialmente da estrutura apresentada neste modelo.

Todo relatório deve constar das seguintes partes:

1º. Título: o título da prática que se refere o relatório.

2º. Autores: Deve conter o nome completo de cada integrante do grupo.

3. Resumo: Deve ser objetivo, coerente e curto. Quem lê o resumo tem que ser capaz de compreender o trabalho realizado e saber quais são as principais conclusões.

4º. Introdução

Aqui deve constar todo o conteúdo teórico necessário para dar suporte às conclusões e análises de dados, além de situar o leitor no assunto que está sendo estudado. Aqui se coloca um histórico do que já foi produzido sobre o objeto em estudo, os resultados mais importantes existentes na literatura.

5º. Referencial Teórico

Você deve colocar toda a teoria do assunto que está sendo estudado, ou seja, você deve explicar a Física envolvida para analisar os seus resultados experimentais. Deduza equações e relações matemáticas que serão usadas no relatório.

6º. Objetivos

Deve ser curto e breve; pode ser apenas um parágrafo.

7º. Procedimento experimental

a. Primeiramente os materiais utilizados.

b. Faça um esquema de montagem experimental.

c. Explique os métodos utilizados para obtenção dos dados experimentais, critérios de avaliação de erros (este ponto é muito importante, deve ser explicado qual foi o critério experimental para atribuição de erros). Apresente o método e os cuidados usados para a obtenção dos dados. Lembre-se que seu leitor deve ser capaz de reproduzir o experimento a partir da leitura desta seção.

Na descrição do procedimento experimental, você deve relatar como a montagem foi realizada. Por isso, os verbos devem estar no passado!

8º. Resultados e discussão

Nesta parte, devem ser apresentados os dados coletados, discutir o comportamento deles, resultados das analises (linearização, ajustes, etc.).

9º. Conclusões

Assim como o resumo, a conclusão deve ser um texto independente do resto do relatório. Ou seja, o leitor deve ser capaz de entender, de maneira geral, quais os principais resultados obtidos com o experimento. Aqui pode estar definido se um relatório está aprovado ou não.

Na conclusão, deve ser discutido o objetivo proposto, se foi alcançado ou não. Devem ser enunciados os valores encontrados e comparados novamente com a literatura etc. Se forem utilizados diferentes métodos experimentais para achar a mesma constante, os valores achados devem ser comparados e concluir qual a metodologia experimental mais apropriada ou que proporciona menor erro. Se os dados experimentais não se comportam como esperado, você deve justificar isso.

10. Bibliografia

Não será exigida a formatação das referencias bibliográficas com as normas ABNT. Porém, a bibliografia deve ser apresentada de uma forma clara, que outros leitores potenciais consigam entender. Enumere os livros, apostilas, revistas científicas, sites na internet etc. consultados para a elaboração do relatório (cite-os no texto do relatório).

>Importante: Se algum texto foi extraído de algum livro, deve ser colocado na bibliografia. Não é incorreto. Porém, não mencionar as fontes caracteriza plágio.

>>>Importantíssimo: um relatório é um relato das observações feitas no laboratório. Um relatório nunca manda fazer.

Toda figura e tabela deve ser numerada, ter uma legenda explicativa e ser citada no texto. Nas figuras, a legenda é colocada embaixo e nas tabelas deve usar algoritmos romanos e a legenda deve ser posta acima da mesma.

Toda quantidade determinada a partir das medidas experimentais deve ser enunciadas com as respectivas unidades. Quantidades sem unidades serão consideradas erradas!

16. Experimentos de Física Geral

16.1. Título: Velocidade Média – Erros de Medida

a. Objetivo: Aplicar a teoria de erros no cálculo da velocidade escalar média.

b. Material: Cronômetro, barra rosqueada, suporte, régua e arruelas.

c. Referencial Teórico:

Chamamos velocidade *escalar* média (V_m) à razão entre o caminho percorrido (d) e o tempo gasto (Δt) para percorrê-lo.

$$\boxed{V_m = \frac{d}{\Delta t}}$$

d. Procedimento:

- Coloque a arruela na posição inicial arbitrariamente escolhida.
- Solte a arruela.
- Meça o intervalo de tempo gasto pela arruela para percorrer a distância entre a posição inicial e final escolhida. Anote na tabela abaixo.
- Repita o procedimento cinco vezes, para as mesmas posições inicial e final.

	Posição (cm)	t(s)	$V_{média}$ (cm/s)
1			
2			
2			
4			
5			

e. Analise dos resultados:

1º. Determine o desvio relativo percentual da velocidade escalar média.
2º. Transforme a velocidade média da arruela para m/s e km/h.

16.2. Título: M.R.U

a. Objetivo: Simular experimentalmente o M.R.U analisando as diferenças entre o resultado experimental e o teórico.

b. Material: trilho horizontal
volante
cronômetro
papel milimetrado

c. Procedimento:

* Coloque o volante no mais alto da rampa que está acoplada ao trilho.
* Solte o volante.
* Meça os intervalos de tempo gastos pelo volante para percorrer cada uma das distâncias pedidas. Anote na tabela abaixo.
* Repita o experimento três vezes para cada deslocamento pedido.

Xo (cm)	X (cm)	t_1(s)	t_2(s)	t_3(s)	$t_{méd}$ (s)	$v_{méd}$ (cm/s)
0	0					
0	10					
0	20					
0	30					
0	40					
0	50					
0	60					
0	70					
0	80					
0	90					

d. Analise dos resultados:

i. Construa, usando papel milimetrado um gráfico da posição(x) em função do tempo.
ii. Com base no gráfico, que tempo gastará o móvel pra ir da posição x_o = 20cm até x=70cm.
iii. Construa o gráfico da velocidade média em função do tempo para esse movimento, usando os dados da tabela.
iv. Pela análise do gráfico v_m versus tempo o que você conclui sobre o tipo de movimento descrito pelo volante?

16.3. Título: M.R.U.V

a. Objetivos: Determinar velocidade e aceleração de um M.R.U.V, a partir dos dados experimentais, analisando as diferenças entre os resultados experimentais e teóricos.

b. Referencial teórico: Nos movimentos de aceleração constante a velocidade média pode ser determinada como a média aritmética das velocidades inicial e final $v_m = \frac{vo + v}{2}$. Portanto para um móvel de aceleração constante partindo do repouso sua velocidade instantânea V será igual a $2v_m$.
Aceleração de um móvel é a razão entre a variação de velocidade e o intervalo de tempo durante a qual essa variação ocorre $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.
Com base nesse referencial teórico realize o procedimento abaixo e responda as questões sugeridas.

c. Material: trilho horizontal
volante
cronômetro
papel milimetrado

d. Procedimentos:

1º. Coloque o volante sempre na posição inicial "zero" do trilho.
2º. Solte o volante.
3º. Cronometre o movimento de acordo com a tabela abaixo.
4º. Preencha a tabela.

Xo (cm)	X (cm)	t_1(s)	t_2(s)	t_3(s)	$t_{méd}$ (s)	$v_{méd}$ (cm/s)	a (cm/s²)
0	0						
0	10						
0	20						
0	30						
0	40						
0	50						
0	60						
0	70						
0	80						
0	90						

e. Responda:

1. Faça o gráfico da posição em função do tempo.
2. Construa o gráfico da velocidade em função do tempo.
3. Faça o gráfico $2v_m/t_m$ contra t_m.
4. Analisando os gráficos o que você conclui sobre o tipo de movimento descrito pelo volante? Porquê?
5. No gráfico v x t, determine a velocidade do móvel para t = 5s. Indique no gráfico

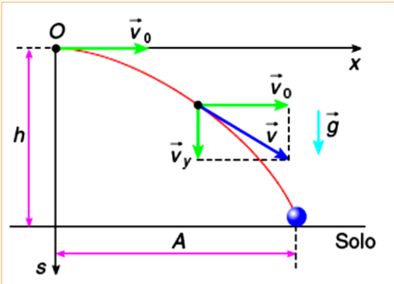
16.4. Título: Lançamento Vertical

a. Objetivos: Determinar experimentalmente a velocidade inicial do lançamento horizontal.

b. Referencial teórico:

O lançamento de um corpo em um campo gravitacional pode ser feito com diferentes velocidades e diferentes inclinações em relação à horizontal. No caso específico do lançamento horizontal de um corpo situado a uma altura **h**, acima do solo, o ângulo de lançamento é 0^0.

Quando um corpo é lançado horizontalmente de uma altura h, acima do solo, ele descreve uma trajetória de forma parabólica até atingir o solo, conforme a figura abaixo.



Na construção da trajetória mostrada na figura, utilizamos a composição de dois movimentos:

- **Movimento horizontal** (eixo Ox). Se o corpo estivesse se deslocando com a velocidade inicial que lhe foi imprimida, mas sem a ação da gravidade, o movimento seria horizontal, retilíneo e uniforme. Nesse movimento, em intervalos de tempos iguais, o corpo tem deslocamentos iguais (L). Nesse eixo, a localização do corpo é dada pela função horária do movimento uniforme (MU).

- **Movimento Vertical** (eixo Oy). Nessa direção, o móvel está em queda livre, a partir do repouso, realizando um movimento acelerado uniformemente. Portanto, podemos usar as mesmas expressões já vistas na queda livre.

Exemplo. Dois corpos, A e B, foram lançados horizontalmente de um mesmo ponto O, com velocidades v_a=20m/s e v_b = 40 m/s, respectivamente, de uma altura de 80m.

Despreze a resistência do ar e considere g = 10 m/s^2.

a) Qual deles chega primeiro ao solo?

b) A que distância da vertical que passa pelo ponto O os corpos atingem o solo?

Resolução

a) Como a velocidade de lançamento dos corpos é horizontal, ela não influi no tempo de queda dos mesmos. Portanto, os dois corpos chegam juntos ao solo.

b) Vamos, inicialmente, calcular o tempo de queda (t_q) dos corpos:

$$y = \frac{gt^2}{2}$$

$$80 = \frac{10tq^2}{2}$$

$$t_q = 4 \text{ s}$$

As distâncias da vertical que passa pelo ponto O ao ponto onde os corpos atingem o solo são dadas por

$x = v_o t$

$$x_a = 20 \,.\, 4 \quad \Rightarrow \quad x_a = 80 \text{ m}$$
$$x_b = 40 \,.\, 4 \quad \Rightarrow \quad x_b = 160 \text{ m}$$

c. Material:

Rampa de lançamento

Esfera de aço

Régua de 100 cm ou fita métrica

Papel jornal

Carbono

Fita adesiva

d. Procedimentos:

1º. Coloque a esfera nas posições indicadas na rampa de lançamento e solte. Faça três lançamentos para cada posição.

2º. Coloque o papel jornal no chão e por cima o carbono. Meça a distância entre o ponto de lançamento e o ponto de impacto que fica marcado no papel jornal. Anote na tabela a abaixo.

3º. Meça a altura de lançamento, distância entre a extremidade horizontal da rampa até o solo. H= ....

Posição 1	Alcance A (m)
1	
2	
3	
Média	

Posição 2	Alcance A (m)
1	
2	
3	
Média	

Posição 3	Alcance A (m)
1	
2	
3	
Média	

e. Responda:

1. Com base nos dados experimentais e usando as equações do lançamento horizontal, determine a velocidade inicial de cada posição.

2. A velocidade com que a esfera abandonada a rampa de lançamento depende da posição de onde é solta? E o alcance? Justifique.

3. O tempo de queda da esfera após abandonar a rampa de lançamento depende da posição de onde ela foi solta? Justifique.

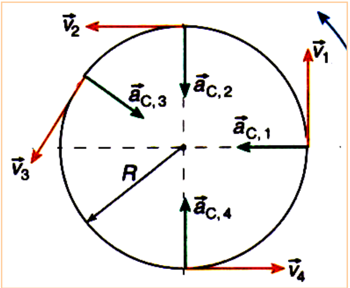
4. As componentes horizontal e vertical da velocidade da esfera, imediatamente antes do impacto com o chão, depende da posição de onde ela foi liberada? Justifique.

16.5. Título: MCU

a. Objetivos: Determinar experimentalmente o período e a frequência de um MCU e comparar as velocidades linear e angular de diferentes pontos.

b. Referencial teórico:

O movimento de um corpo é circular uniforme quando sua trajetória é circular e o módulo do vetor velocidade é constante e diferente de zero.



– o módulo da velocidade permanece constante $(\vec{a}_t = 0)$

– a direção da velocidade se modifica com o tempo $(\vec{a}_c \neq 0)$

Velocidade Tangencial: o móvel percorre o arco Δd no intervalo Δt; sua velocidade tangencial terá módulo igual a:

$$\boxed{V = \frac{\Delta d}{\Delta t}}$$

Velocidade Angular (ω)**:** a reta que une o móvel ao centro da trajetória percorre um ângulo Δφ (radianos), no intervalo do tempo Δt. Sua velocidade angular tem módulo igual a:

$$\boxed{\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}}$$

Período e Freqüência:

a) Período (T): chama-se período, no M.C.U. o tempo gasto pelo móvel para realizar uma volta completa.

$$\boxed{T = \frac{\Delta t}{\text{Nº Voltas}}}$$

b) Freqüência (*f*): é o inverso do período.

$$\boxed{f = \frac{1}{T}} \quad \text{Unidade: } \frac{1}{s} = s^{-1} = Hz$$

Relações Fundamentais: para uma volta completa $\Delta d = 2\pi.R$, $\Delta\varphi = 2\pi\text{rad}$ e $\Delta t = T$, donde:

$$\boxed{V = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R.f} \qquad \boxed{V = \omega.R} \qquad \boxed{\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi.f}$$

Aceleração Centrípeta: a aceleração centrípeta é constante em módulo, mas é variável em direção e sentido.

$$\boxed{a_c = \frac{V^2}{R} = \omega^2.R}$$

Equações Horárias:

a) **Linear:** $\boxed{x = x_0 + V.t}$

b) **Angular:** $\boxed{\varphi = \varphi_0 + \omega.t}$

c. Material: Fonte

Aparelho rotativo

Régua de 100 cm ou fita métrica

Cronômetro

Giz

d. Procedimentos:

1º. Com o giz, faça duas marcas A e B a diferentes distâncias do centro do disco.

2º. Ligue a chave e observe o movimento dos pontos A e B.

3º. Manteha a frequência constante.

4º. Preencha a tabela abaixo

Nº de voltas	t (s)	T_A (s)	f_A (s)	T_B (s)	f_B (s)
5					
10					
15					
	Média				

e. Responda:

1. Determine a velocidade angular dos pontos A e B.
2. Sabendo que o comprimento da circunferência é igual a $2\pi R$, determine a velocidade tangencial dos pontos A e B.
3. Calcule a aceleração centripeta dos pontos A e B.
4. Qual dos pontos apresenta a maior aceleração centripeta? Como você justifica esse fato.

16.6. Título: Cinemática – Movimento Unidimensional

a. Objetivos

Rever os conceitos básicos de movimentos unidimensionais, tais como: posição, velocidade e aceleração utilizando-se o trilho de ar. Obter a dependência da posição em função do tempo para os movimentos MRU e MRUV.

b. Materiais

Trilho de ar retilíneo
Cronômetro digital
Cinco sensores fotoelétricos com suporte fixador
Eletroímã com dois bornes
Chave liga-desliga
Roldana com suporte fixador
Massas aferidas c/ porta pesos
Cabos de ligação c/ 6 pinos banana
Compressor de ar e mangueira flexível
Carrinho e acessórios

c. Introdução Teórica

Nesta prática experimental será investigado o movimento unidimensional de um corpo com o uso do trilho de ar. O trilho de ar foi projetado para diminuir as forças de atrito, fazendo com que um corpo se desloque sobre uma camada de ar, o que elimina o contato direto entre a superfície do trilho e superfície do corpo. Esse corpo será aqui chamado de carrinho. O sistema é construído de tal forma que ao longo de toda extensão do trilho existam pequenos orifícios, os quais são responsáveis pela saída de ar proveniente do compressor. Portanto, existe uma camada de ar que mantém o carrinho "flutuando" e com atrito reduzido. Dessa forma, nesta prática experimental podemos desprezar a perda de energia por atrito entre o trilho e o carrinho.

Para investigar o movimento do carrinho sujeito a uma resultante de forças nula, nivela-se o trilho de ar de forma que a força peso do carrinho é contrabalançado pela força normal. Na direção do deslocamento é dado ao carrinho um impulso o qual estabelece uma velocidade inicial para o mesmo e faz com que o carrinho entre em Movimento Retilíneo Uniforme (MRU). Esse impulso é obtido por meio de cordão com uma das extremidades presa ao carrinho de massa "M", passando por uma polia e com a outra extremidade presa a corpos de massa "m" sob a ação da força gravitacional. Porém neste caso (MRU) este sistema é usado apenas para proporcionar uma velocidade inicial ao carrinho. Em contrapartida o movimento do carrinho sob ação de uma força constante é obtido com o mesmo sistema de corda, porém com a força constante atuando durante todo o percurso do carrinho (MRUV). A figura 1 nos mostra um desenho esquemático da montagem experimental que será usada em nosso estudo.

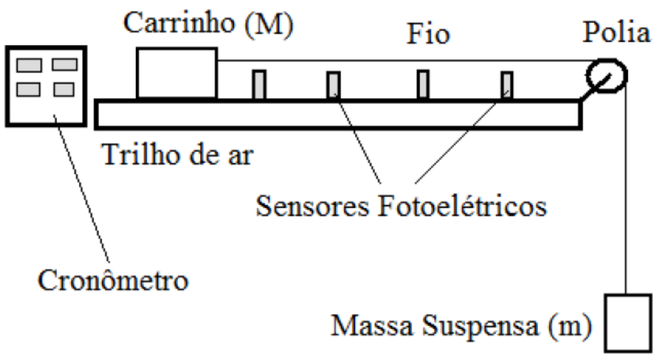


Figura 1- Esquema da montagem experimental do trilho de ar.

A figura 2 apresenta os equipamentos e acessórios que serão usados nesta prática experimental. Note que para marcarmos o tempo de percurso será feito uso de sensores fotoelétricos, os quais são responsáveis por acionar os cronômetros.

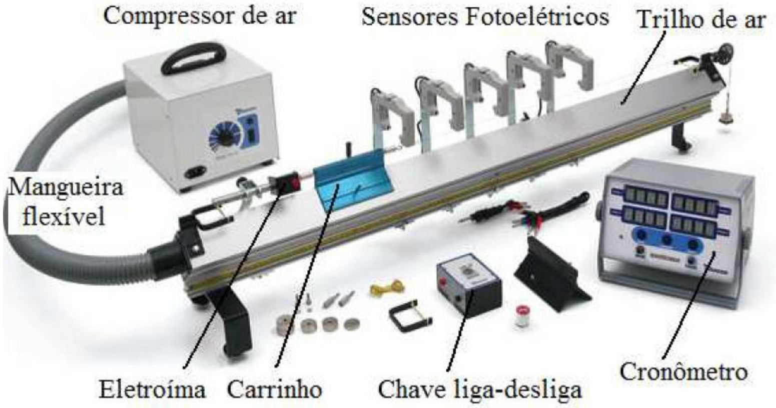


Figura 2 - Fotografia da montagem experimental do trilho de ar, mostrando os equipamentos e acessórios usados na prática experimental.

Para o estudo do MRU, quando o carrinho passar pelo primeiro sensor o cronômetro é acionado e ao passar pelos outros sensores os intervalos de tempos ficam registrados no cronômetro. No entanto, para o estudo do MRUV, o START do cronômetro ocorre ao acionar a chave liga-desliga. Quando a chave for desligada o carrinho será liberado e o cronômetro acionado. O intuito disso é fazer com que no estudo do MRU o primeiro sensor seja acionado com o carrinho já em movimento retilíneo uniforme (MRU). No MRUV o cronômetro é acionado quando da liberação do carrinho para o movimento, ou seja velocidade inicial igual a zero.

Quando do preparo do sistema para iniciar o experimento, se algum objeto passar por um dos sensores e disparar o contador (cronômetro) antes de o experimento ter sido iniciado, aborte a contagem apertando no botão reset.

A montagem utiliza um sistema eletromagnético para segurar o carrinho nos instantes que antecedem a sua liberação. Para utilizá-lo encoste o carrinho na bobina e ligue a chave para energizar o sistema. Para dar início ao movimento, basta desligar a chave cortando a energização do eletroímã. Evite manter a bobina ligada desnecessariamente (por mais de 30 segundos).

d. Atividades I – Estudo do MRUV

a) Monte o sistema conforme a Figura 2 observando suas partes constituintes. Com os sensores fotoelétricos ligados teste o cronômetro (passando o dedo pelos feixes de luz) verifique se os comandos estão sendo acionados normalmente.

b) Coloque uma massa de aproximadamente 28 g (8,0 g do suporte + 20,0 g do bloco) suspensa na extremidade do fio.

c) Neste caso, do MRU, a massa colocada na ponta do fio deve encostar na mesa antes que o carrinho passe pelo primeiro sensor. Assim ajuste uma altura (H) de aproximadamente 0,5 cm da massa em relação ao plano da mesa.

d) Coloque o eletroímã no extremo do trilho e faça um ajuste para que o centro do carrinho fique posicionado em X=15 cm.

e) Posicione o primeiro sensor na posição de aproximadamente 40 cm (posição inicial "X_0") e conectar o cabo ao terminal STOP (S_1) do cronômetro.

f) Posicione os outros sensores em aproximadamente 55 cm, 70 cm, 85 cm e 100 cm. Verifique se os cabos estão respectivamente conectados aos terminais S_2, S_3, S_4 e S_5 do cronômetro.

g) Calcule os deslocamentos do carrinho X (X = X – X_0) e anote os valores na tabela 1 (obs. Os valores obtidos devem vir acompanhados dos respectivos erros).

h) Desligue o eletroímã para liberar o carrinho e anote os intervalos de tempo indicados no cronômetro.

i) Coloque uma massa de 38,0 g (8,0 g do suporte + 30,0 g do bloco) suspensa na extremidade do fio. Zere o cronômetro e repita os mesmos procedimentos anteriores, anotando os valores na tabela 2.

j) Ajuste a altura (H) da massa suspensa para aproximadamente 4,0 cm em relação ao plano da mesa, coloque uma massa de 28g e repita o procedimento de medição adotado, completando a tabela 3.

k) Construa em papel milimetrado os gráficos de X = f(t) (posição final em função do intervalo de tempo) usando os dados das tabelas 1, 2 e 3. É possível fazer um ajuste linear aos pontos experimentais. Caso seja possível, ache o coeficiente angular e coeficiente linear do ajuste à reta. Quais são os significados físicos dos coeficientes linear e angular do referido ajuste.

l) Calcule a velocidade média desenvolvida pelo carrinho para os deslocamentos correspondentes. Podemos afirma que a velocidade permaneceu constante?

m) Comente a influências das variações de massa suspensa e altura (H) com base nos valores de coeficiente linear dos gráficos.

Tabela 1. Dados experimentais obtidos com massa suspensa de 28g numa altura de 0,5cm.

Massa(28g)	Nº	Xo (m)	X (m)	ΔX (m)	t(s)	V (m/s)
	1					
	2					
	3					
H=0,5cm	4					
					Média	

Tabela 2. Dados experimentais obtidos com massa suspensa de 38g numa altura de 0,5cm.

Massa(38g)	Nº	Xo (m)	X (m)	ΔX (m)	t(s)	V (m/s)
	1					
	2					
	3					
H=0,5cm	4					
					Média	

Tabela 3. Dados experimentais obtidos com massa suspensa de 28g numa altura de 4,0cm.

Massa(28g)	Nº	Xo (m)	X (m)	ΔX (m)	t(s)	V (m/s)
	1					
	2					
	3					
H=4,0cm	4					
					Média	

e. Atividades II – Estudo do MRUV

a) A montagem experimental é basicamente a mesma usada no estudo do MRU. No entanto, com um cabo apropriado devemos conectar a chave liga-desliga ao cronômetro (chave). Comparando a montagem do equipamento para MRU com a montagem do equipamento para o MRUV, neste caso o START do cronômetro ocorre na chave liga-desliga. Quando a chave for desligada o carrinho será liberado e o cronômetro acionado.

b) Posicione o centro do carrinho em X = 24 cm aproximadamente (posição inicial "X_0").

c) Posicione o primeiro sensor na posição de aproximadamente 43 cm.

d) Posicione os outros três sensores ao longo do trilho nas posições de aproximadamente 62 cm, 81cm e 100 cm. (Para esta montagem, um sensor ficará sobressalente).

e) Coloque suspensa uma massa de 38g (8,0 g do suporte + 30,0 g do bloco). Neste experimento, a massa suspensa não deve tocar ao piso.

f) Zerar o cronômetro e desligar o eletroímã liberando o carrinho e anotar na tabela 4 os intervalos de tempo indicados no cronômetro. Obs.: Os valores obtidos devem vir acompanhados dos respectivos erros.

Tabela 4. Dados experimentais obtidos com massa suspensa de 0,38g para o estudo do MRUV.

Massa	Nº	Xo (m)	X (m)	ΔX (m)	t(s)	t^2 (s^2)	a(m/s^2)	V (m/s)
	1							
	2							
	3							
0,38g	4							
						Média		

g) Podemos afirmar que a aceleração permaneceu constante?

h) Construa em papel milimetrado o gráfico de X=f(t) (posição final em função do intervalo de tempo) usando dos dados da tabela 4. Qual a sua forma?

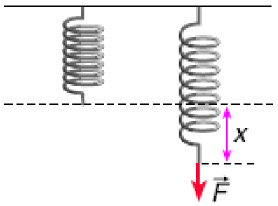
i) Linearize o resultado obtido no gráfico anterior, fazendo outro gráfico de X=f(t^2), ou seja, posição final em função do tempo ao quadrado t^2(s^2). Determine os coeficientes angular e linear para esse gráfico. Compare o valor do coeficiente linear com o valor da posição inicial. Como podemos obter o valor da aceleração do carrinho com base neste gráfico?

j) Faça um gráfico de velocidade média em função do tempo v x t. O ajuste passa pela origem?

16.7. Título: Comprovação experimental da Lei de Hooke

a. Objetivos: Interpretar um gráfico **Força deformante** x **Elongação**

b. Referencial teórico: em regime de deformação elástica a intensidade de força $\vec{F}_{el}$ é proporcional a deformação x provocada. A constante **K** é uma propriedade característica do corpo denominada constante elástica.

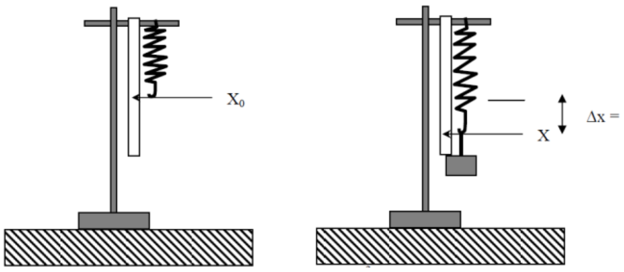


$$\boxed{F_{el} = K.X}$$

c. Material:

Tripé
Haste para fixação das molas
Duas molas helicoidais
Conjunto de três pesos
Escala milimetrada
Gancho para acoplamento
Régua.

d. Procedimentos: coloque a massa “m” na extremidade da mola e determine a variação de seu comprimento. Repita o procedimento para pesos diferentes.



Mola I	Força (Peso) N	Deslocamento (X) m	k
		Média	

Mola II	Força (Peso) N	Deslocamento (X) m	k
		Média	

e. Responda:

- faça o gráfico Força x deslocamento, para cada tabela.
- que você conclui da relação entre força e deslocamento.

16.8. Título: Força de Atrito

a. Objetivo:

Comprovar experimentalmente a relação entre a força resultante e a aceleração.

Observar o comportamento da força de atrito estático e da força de atrito cinético entre duas superfícies rígidas.

Medir estas forças com a utilização do dinamômetro e

Determinar os coeficientes de atrito correspondentes.

b. Referencial Teórico:

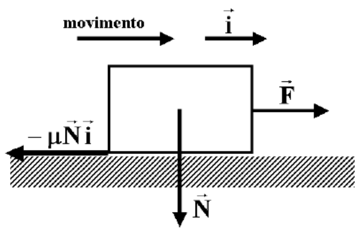
O atrito é um fenômeno físico presente nas diversas atividades do cotidiano. É percebido como uma dificuldade ao movimento relativo de duas superfícies em contato, cujas rugosidades produzem pontos de encaixe e soldas entre ambas. Essa dificuldade significa que o atrito pode impedir ou reduzir o movimento, desgastando as superfícies e liberando energia sob as formas de som, luz e calor.

Para se estudar esse fenômeno é preciso medir alguma grandeza física associada. Na área de contato de duas superfícies age uma força oposta e com mesma intensidade da força resultante responsável pelo contato. Na decomposição dessa força nas direções perpendicular ou normal e paralela à área de contato, tem-se nessa última, a que se opõe ao movimento ou à tendência deste. Medir o atrito é então, medir o componente da força de contato entre duas superfícies, paralela às mesmas.

Quando há movimento relativo a força de atrito pode variar com a velocidade ou devido a outros fatores tal como o desgaste das superfícies. Por outro lado, não havendo o deslocamento relativo das superfícies, a força de atrito é obtida da condição de repouso.

A componente normal da força de contato é responsável pelo encaixe das rugosidades das superfícies. Quanto maior sua intensidade maior a resistência ao movimento. Um aspecto interessante para investigação é a relação existente entre a intensidade máxima da força de atrito e do componente normal da força de contato.

Podemos verificar experimentalmente que o módulo da força de atrito, para a maioria dos casos práticos, pode ser considerado como proporcional à força normal que pressiona um corpo ao outro. A constante de proporcionalidade é chamada coeficiente de atrito, e é designada por μ, isto é, em módulo: $f = \mu N$

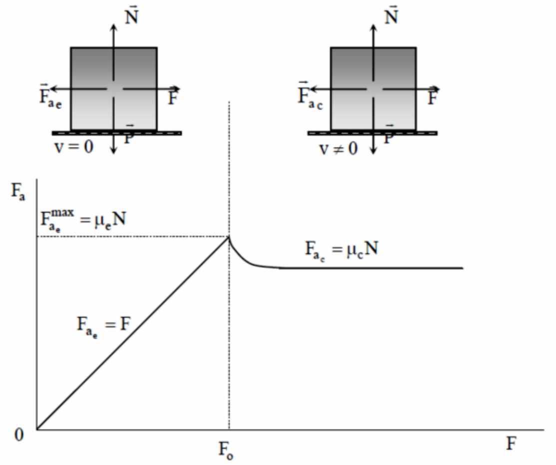


A força de atrito de deslizamento opõe-se sempre ao movimento do corpo tendo assim direção oposta à velocidade. Podemos escrever a equação em forma vetorial observando que um vetor unitário no sentido do movimento é obtido pela divisão do vetor velocidade pelo módulo da velocidade, $\vec{\imath} = \frac{\vec{V}}{V}$. Isso permite escrever a equação na forma vetorial: $f = -\vec{\imath}\mu N$.

Por exemplo, se F é a força aplicada movendo o corpo para a direita a força horizontal resultante para a direita é: $F = -\mu N\vec{\imath}$ e a equação do movimento do corpo é: $ma = F - \mu N\vec{\imath}$

Há em geral duas espécies de coeficientes de atrito: o estático μ_S, quando multiplicado pela força normal, da a força mínima necessária para iniciar o movimento relativo dos dois corpos inicialmente em contato e em repouso relativo. O coeficiente de atrito cinético, μ_C, quando multiplicado pela força normal, dá a força necessária para manter os dois corpos em movimento relativo uniforme. Para todos os materiais já testados experimentalmente, verifica-se que $\mu_S \geq \mu_C$.

O atrito é um conceito estatístico, porquanto f representa a soma de um grande número de interações entre as moléculas dos dois corpos em contato, sendo, naturalmente, impossível levar em conta as interações moleculares individuais; elas são determinadas de modo coletivo por métodos experimentais e representadas aproximadamente pelo coeficiente de atrito.

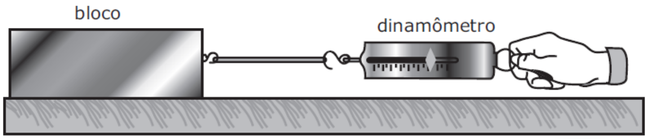


c. Material:

Tabua horizontal
Bloco de madeira
Cronômetro
Roldana
Cordão
Massa
Suporte para massa
Anteparo
Dinamômetro

d. Procedimento 1:

i. Execute a montagem conforme a figura abaixo, deixando a face revestida do corpo de prova em contato com a tabua horizontal.



ii. Com o corpo de prova sobre a tabua, mantendo o dinamômetro paralelo a superfície, aplique uma força sobre o corpo, de forma que ele ainda permaneça em repouso e vá aumentado a força aplicada lentamente até que o corpo de prova entre em movimento. Registre na tabela abaixo.

Superfícies em contato: tabua e lado revestido	
Força aplicada em (N)	**Ocorre movimento?**
F_1 =	
F_2 =	
F_3 =	
F_4 =	
F_5 =	
F_6 =	
F_7 =	
F_8 =	

iii. Qual o valor **aproximado** da menor força aplicada capaz de iniciar o movimento do corpo de prova?
iv. Vire o corpo de prova (superfície sem revestimento) e repita o procedimento, preenchendo a tabela abaixo.

Superfícies em contato: tabua e lado sem revestimento	
Força aplicada em (N)	**Ocorre movimento?**
F_1 =	
F_2 =	
F_3 =	
F_4 =	
F_5 =	
F_6 =	
F_7 =	
F_8 =	

v. Qual o valor **aproximado** da menor força aplicada capaz de iniciar o movimento do corpo de prova?

e. Procedimento 2:
i. Coloque o bloco de madeira com a parte da frente coincidindo com a posição 10 cm. A frente do bloco será nossa referência.
ii. Libere o bloco, com o lado sem lixa em contato com a tabua. Meça o tempo gasto pelo bloco para ir da posição inicial 10 cm até a posição final 90 cm. Repita o procedimento cinco vezes completando a tabela abaixo
iii. Repita o procedimento 2, agora com o lado da lixa em contato com a tábua.

Face sem lixa						
Posição (cm)	**t_1 (s)**	**t_2 (s)**	**t_3 (s)**	**t_4 (s)**	**t_5 (s)**	**$t_{médio}$ (s)**
10 - 90						
Face com lixa						
Posição (cm)	**t_1 (s)**	**t_2 (s)**	**t_3 (s)**	**t_4 (s)**	**t_5 (s)**	**$t_{médio}$ (s)**
10 - 90						

iv. Usando o tempo médio obtido e a equação de x = f(t) do MRUV, calcule a aceleração do bloco em cada situação (com e sem fita).

Aceleração sem lixa = ... m/s^2
Aceleração com lixa = ... m/s^2

v. Desenhe esquematicamente o experimento, representando todas as forças atuantes.
vi. Utilizando a 2º lei de Newton, determine a força de atrito entre o bloco e a tabua, a tensão no fio e o coeficiente de atrito nas duas situações
vii. O coeficiente de atrito depende das superfícies em contato? O coeficiente de atrito é acompanhado de unidade?

16.9. Título: Conservação da Energia Mecânica

a. Objetivo: Verificar o princípio de conservação de energia.

b. Referencial Teórico:

Um sistema mecânico, no qual atuem apenas forças conservativas, tem sua energia mecânica (E) conservada. Associa-se uma energia potencial (E_P) a cada força conservativa, de modo que a soma de suas variações seja igual a uma variação oposta da energia cinética (E_C).

Havendo forças dissipativas, o trabalho (W) realizado por elas é igual à variação da energia mecânica. Tem-se então, o princípio físico da conservação da energia, expresso pelas equações:

$$\Delta E = \Delta E_C + \Sigma\ \Delta E_P \text{ e } \Delta E = W$$

Para um sistema conservativo tem-se: $\Delta E = 0$ e $\Delta E_C = -\Sigma\ \Delta E_P$, ou seja, qualquer aumento da energia cinética corresponde a uma igual diminuição da energia potencial e vice-versa.

c. Material:

Rampa de lançamento

Esfera de aço

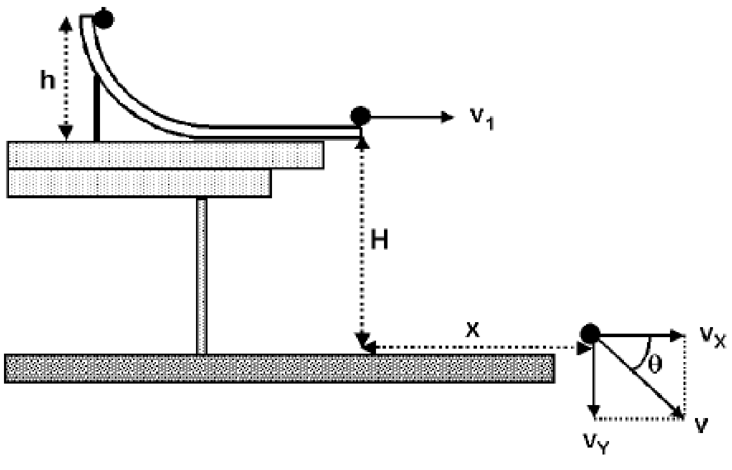
Régua de 100 cm ou fita métrica

Papel jornal

Carbono

Fita adesiva

d. Procedimento:



para a figura temos:

na direção X: $V_{1x} = V_x = constante\ \ e\ x = V_x.t$

na direção Y: $V_{1y} = 0, V_y = g.t, V_y = \sqrt{2gh}\ e\ h = \frac{gt^2}{2}$

pela composição do movimento nas direções X e Y temos que o módulo da velocidade num instante t qualquer é $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ e a sua direção $\theta = arct\frac{V_y}{V_x}$.

- Determinar a massa da esfera.
- Determinar as alturas h e H.
- Soltar a esfera e cronometrar o tempo que a mesma leva pra percorrer a canaleta.
- Calcular a velocidade v_1.
- Repetir o procedimento determinando o tempo do percurso total de queda da esfera bem como o espaço atingido (x).
- Calcular a velocidade com que a esfera atinge o piso.
- Verificar o princípio de conservação de energia: $E_1 = E_2$, onde $E_1 = E_P + E_C$ e $E_2 = E_P + E_C$

16.10. Título: Massa Específica

a. Objetivo: Identifica a substância que constitui o corpo metálico a partir da massa específica.

b. Referencial Teórico:

Massa específica ou densidade absoluta de um corpo é a razão da massa desse corpo para seu volume. É portanto, a massa por unidade de volume. Designa-se pela letra grega ρ. Tomando-se como unidade de volume o centímetro cúbico, podemos dizer que a densidade absoluta de um corpo é a massa por cm3 deste corpo.

Como exemplo consideremos um cubo de 2 cm de aresta, feito de alumínio o qual tem a massa de 21,6 g e o volume de 8 cm^3 então: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{21,6}{8}\ g/cm^3$.

A massa específica da água destilada e isenta de ar, na temperatura de 4°C é considerada como valendo 1 $g.cm^{-3}$. Para definir massa específica num ponto a massa Δm de um fluido num volume ΔV circundando o ponto é dividida por ΔV e toma-se o limite para ΔV tendendo a E^3 onde e é ainda grande quando comparada com a distância média entre as moléculas: $\rho = \lim_{\Delta V \to E^3} \frac{\Delta m}{\Delta V}$.

c. Material:

Corpos metálicos

Proveta

Água

Balança

d. Procedimento:

i. Determine a massa de cada objeto.
ii. Determine o volume de cada objeto, mergulhando-os (totalmente submerso) três vezes na proveta alterando o volume inicial, completando as tabelas abaixo.

Objeto 1 – Material: ___________________________

	massa	V_I	V_f	ΔV	$\rho = \frac{m}{\Delta V}$
1					
2					
3					
				média	

Objeto 2 – Material: ___________________________

	massa	V_I	V_f	ΔV	$\rho = \frac{m}{\Delta V}$
1					
2					
3					
				média	

Objeto 3 – Material: ___________________________

	massa	V_I	V_f	ΔV	$\rho = \frac{m}{\Delta V}$
1					
2					
3					
				média	

e. Responda:

Compare os resultados obtidos com os valores da tabelados, determinando o material mais provável e o erro relativo percentual cometido na determinação da massa específica de cada substância.

METAL	DENSIDADE ($g.cm^{-3}$)
Alumínio	2,70
Bário	3,59
Berílio	1,85
Bismuto	8,90
Cádmio	8,65
Cálcio	1,53
Césio	1,87
Crômio	7,19
Cobalto	8,80
Cobre	8,93
Gálio	5,91
Ouro	19,28
Ferro	7,87
Chumbo	11,34
Lítio	0,53

METAL	DENSIDADE ($g.cm^{-3}$)
Magnésio	1,74
Manganês	7,47
Níquel	8,91
Estanho	7,29
Platina	21,45
Paládio	12,00
Mercúrio	13,55
Prata	10,50
Titânio	4,55
Tungstênio	19,30
Urânio	18,95
Zinco	7,14

16.11. Título: Princípio de Arquimedes - Empuxo

a. Objetivo:

Verificar experimentalmente o princípio de Arquimedes.
Analisar se o empuxo sofrido por um corpo totalmente submerso varia com a profundidade.
Analisar se o empuxo sofrido por um corpo totalmente submerso é diferente na água e no álcool.

b. Referencial Teórico:

O empuxo é algo bastante familiar de descrevermos com base na nossa experiência cotidiana. Podemos dizer, de maneira simples, que qualquer corpo que está imerso na água parece possuir um peso bem menor do que se estivesse fora dela. Isto nós mesmos podemos verificar com o nosso corpo, quando estamos em uma piscina ou na praia. Isto nos faz pensar que existe alguma força sendo exercida de baixo para cima, em sentido contrário ao da força peso. E de fato é isto que acontece.

A força de empuxo, ou simplesmente empuxo, ou ainda força de flutuação, como alguns preferem chamar, é uma força exercida para cima sobre um corpo qualquer pelo fluido existente ao seu redor. Sendo uma força, a unidade do empuxo é o Newton (N). O empuxo serve para justificar as situações descritas no início da seção e também para explicar o porquê de um barco não afundar na água, de um balão flutuar no ar, entre tantas outras aplicações conhecidas. A natureza do empuxo foi descoberta por Arquimedes (287-212 a.C.), um dos maiores gênios da antiguidade, nascido em Siracusa (hoje Sicília, Itália).

O princípio de Arquimedes nos diz que:

"Quando um corpo está completa ou parcialmente imerso num fluido ele sofrerá uma força de empuxo, a qual estará dirigida para cima e tem intensidade igual ao peso do volume do fluido que foi deslocado por este corpo".

Podemos dizer então que o empuxo exercido por um fluido sobre um corpo pode ser calculado como:

$$E = m_{fluido} g = \rho g v$$

O princípio de Arquimedes pode ser empregado para determinar a densidade de líquidos e de sólidos, em procedimentos muito simples. A seguir sugerimos algumas aplicações para o princípio de Arquimedes.

i. Seja P o peso real de um objeto no ar e P' o peso aparente quando imerso num líquido, podemos escrever:

$$P' = P - \rho g V$$

Observe que o peso aparente varia linearmente com o volume imerso. Como seria o gráfico P' em função de V? Qual o significado da inclinação desse gráfico? A construção desse gráfico permitirá obter a densidade do líquido?

ii. A razão entre os empuxos exercidos por dois líquidos diferentes sobre um mesmo sólido totalmente imerso é igual à razão entre as densidades dos dois líquidos. Seja um líquido A, de densidade ρ_A e outro líquido B de densidade ρ_B. Um sólido de volume V, totalmente imerso em cada um desses líquidos fica sujeito aos empuxos exercidos por A e por B,

$$E_A = \rho_A g V \quad \text{e} \quad E_B = \rho_B g V$$

iii. Se um sólido flutua num líquido, podemos afirmar que o empuxo exercido pelo líquido tem a mesma medida do peso do corpo. Nesse caso, a fração do volume imerso é igual à razão entre as densidades do sólido e do líquido, isto é,

$$\frac{V_{imerso}}{V_{sólido}} = \frac{\rho_{sólido}}{\rho_{líquido}}$$

iv. Um mesmo corpo pode flutuar parcialmente imerso em líquidos diferentes. A comparação entre os volumes imersos permite determinar a relação entre as densidades dos dois líquidos. Considere um corpo que flutua em um líquido I, mantendo um volume V_I imerso. O mesmo corpo flutua em um líquido II, mantendo um volume imerso V_{II} (diferente de V_I). Os volumes imersos VI e VII são inversamente proporcionais às densidades dos líquidos I e II, ou seja

$$\frac{\rho_I}{\rho_{II}} = \frac{V_{II}}{V_I}$$

c. Material:

Dinamômetro
Becker com água
Becker com álcool
Corpo cilíndrico
Sal

d. Procedimento:

i. Medir o peso dos cilindros no ar (peso real).
ii. Medir o peso dos cilindros na água quando totalmente mergulhados (peso aparente).
iii. Mergulhe o cilindro na água (totalmente submerso) em várias profundidades diferentes e observe a escala do dinamômetro.
iv. Refaça as medições colocando sal na água.
v. Repita os procedimentos anteriores utilizando o Becker com álcool.

Peso do cilindro no ar (P)	**Peso do cilindro na água (P_1)**	**Peso do cilindro na água com sal (P_2)**	**Peso do cilindro no álcool (P_1)**

e. Responda:

i. O que significa a diferença $P - P_1$ observada no dinamômetro quando o corpo é mergulhado na água?
ii. Existe diferença na leitura do dinamômetro quando o corpo se encontra totalmente submerso a profundidades diferentes?
iii. Explique as diferentes leituras observadas no dinamômetro quando usamos líquidos diferentes.
iv. Sugira uma maneira de determinar a massa específica de um corpo de um objeto.

16.12. Título: Princípio de Arquimedes - Empuxo

a. Objetivo: Verificar experimentalmente o princípio de Arquimedes.

b. Referencial Teórico: Mesmo do experimento **16.11**

c. Material:

Dinamômetro
2 Becker
Água
Empuxômetro
Haste com tripé e garras

d. Procedimento:

i. Pendure o cilindro interno no externo do empuxômetro e o conjunto no dinamômetro. Anote o peso do conjunto. P= ______ N
ii. Mergulhe totalmente o cilindro inferior (interno) na água, e sem retirá-lo da água, vá colocando água no recipiente cilíndrico (externo) até reestabelecer a leitura inicial do dinamômetro.

e. Responda

i. Ao mergulhar totalmente na água o cilindro interno, o que ocorreu com a indicação do dinamômetro?
ii. Compare o volume da água que reestabeleceu a leitura inicial do dinamômetro com o volume do cilindro interno? Qual o significado desse volume?
iii. Qual a relação entre o peso do volume da água colocada no cilindro e o empuxo?
iv. Discuta os procedimentos anteriores para o caso de mergulharmos parcialmente o cilindro interno na água.

16.13. Título: Pêndulo Simples

a. Objetivo: Encontrar o valor da aceleração da gravidade local.

b. Referencial Teórico:

O pêndulo simples é um sistema mecânico ideal constituído de uma partícula de massa *m* suspensa por um fio inextensível e sem massa de comprimento *L*, conforme mostrado na Figura 1. Quando o pêndulo está em repouso (Fig. 1a), as duas forcas que agem sobre a partícula, o seu peso (*mg*) e a tensão aplicada pelo fio (τ), se equilibram. Porém, se o pendulo for afastado de sua posição de equilíbrio (Fig. 1b), de modo que a direção do fio faça um ˆangulo θ com a vertical, o componente do peso perpendicular ao fio, de intensidade $P_\perp = mg \sin\theta$, agirá no sentido de restaurar o equilíbrio, fazendo o pendulo oscilar, sob a ação da gravidade.

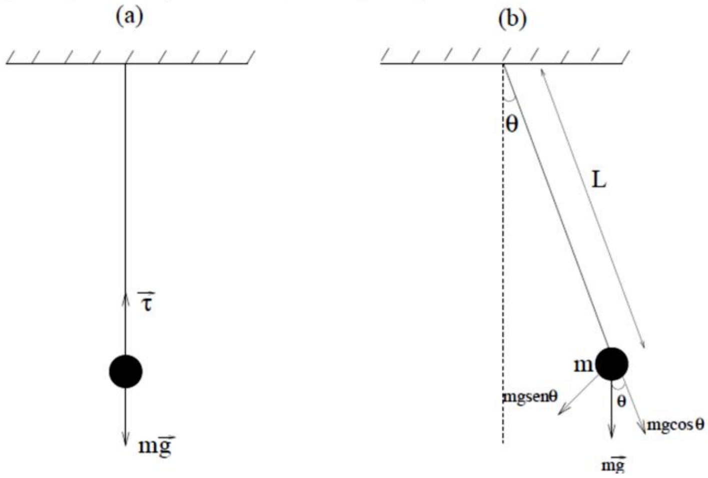


Figura 1: (a) Pêndulo simples em repouso. (b) Pêndulo simples em pequenas oscilações.

Todo movimento oscilatório ´e caracterizado por um período *T*, que é o tempo necessário para se executar uma oscilação completa. Para pequenas amplitudes de oscilação, tais que $\sin\theta \approx \theta$ ($\theta < 5°$), o período de oscilação do pendulo simples não depende do ângulo θ, e é dado pela equação:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

onde *g* é a aceleração da gravidade. A demonstração desse resultado requer conhecimento de Matemática de nível superior ao exigido nesta disciplina, mas, experimentalmente, é simples ser verificado.

Elevando ao quadrado os dois lados desta equação, obtemos a seguinte expressão:

$$T^2 = 4\pi^2\frac{L}{g}$$

O pendulo simples é um sistema mecânico caracterizado pelo seu período T, e este, por sua vez, depende apenas dos parâmetros *L* e *g*, para pequenas oscilações. Além disso, outro fator que pode afetar o período do pendulou é a amplitude (*A*) de sua oscilação. Esse último fator determina a condição inicial imposta `a dinâmica do sistema mecânico, não sendo uma de suas características intrínsecas.

c. Material:

Fio fino
Haste de metal
Cronômetro
Régua

d. Procedimento:

i. Ajuste o comprimento do fio para um valor de aproximadamente L = 1 m. Para este comprimento do pêndulo, desloque ($\pm$5 cm) a massa suspensa pelo fio, como na figura 1b. *Atenção*: Certifique-se de que ângulo θ, entre o fio e a vertical, seja pequeno, $\theta < 5°$!!!

Em seguida solte a massa suspensa fazendo o pêndulo oscilar. Meça o tempo gasto para que o mesmo efetue 5 oscilações. Repita a medida quatro vezes. Com essa medida, determine o valor mais provável do período do pêndulo, *T*.

L= 1 m = 100 cm						
	Medição 1	**Medição 2**	**Medição 3**	**Medição 4**	**Tempo médio**	**Período T**
Tempo para 5 oscilações						

ii. Em sua opinião, porque se pede para calcular o período de 5 oscilações para depois obter o período ao invés de medir diretamente o tempo gasto em uma única oscilação?

iii. Diminua o comprimento L do fio em 5 cm, enrolando-o na haste ou através do regulador de comprimento. Para este novo valor do comprimento L, repita o procedimento anterior até que você obtenha medidas de período para mais 3 valores diferentes de L.

L= 95 cm						
	Medição 1	**Medição 2**	**Medição 3**	**Medição 4**	**Tempo médio**	**Período T**
Tempo para 5 oscilações						

L= 90 cm						
	Medição 1	**Medição 2**	**Medição 3**	**Medição 4**	**Tempo médio**	**Período T**
Tempo para 5 oscilações						

L= 85 cm						
	Medição 1	**Medição 2**	**Medição 3**	**Medição 4**	**Tempo médio**	**Período T**
Tempo para 5 oscilações						

iv. Coloque seus dados de T e de L corretamente em uma tabela.

L (cm)	**100**	**95**	**90**	**85**
T (s)				

v. Usando papel milimetrado, construa um gráfico T^2 versus L.

vi. Trace, no gráfico, a reta que melhor se ajusta visualmente aos pontos. Essa reta deve ser do tipo: y = ax + b.

v. Considerando a fórmula para o período do pêndulo simples e utilizando o período para o comprimento do fio L=1 m, determine o valor da aceleração da gravidade.

vi. Considerando g=9,8 m/s^2, determine o erro relativo percentual da medida encontrada.

16.14. Título: Dilatação de sólidos

a. Objetivo: Determinar o coeficiente de dilatação linear dos corpos

b. Referencial Teórico:

No caso de corpos sólidos, pode acontecer que desejamos calcular apenas a variação de uma de suas dimensões. É o que acontece, por exemplo, na dilatação de uma barra (trilho de trem) e nos fios. Embora o seu volume aumente com o aumento da temperatura, tem maior importância a variação de seu comprimento.

Quando se aquece uma barra de alumínio de 1 metro de comprimento, aumentando sua temperatura de 1 ºC, ela se dilata de 22 milionésimos de metro. O coeficiente de dilatação linear do alumínio é então 22 milionésimos por grau Celsius. O coeficiente de dilatação linear de uma substância é a variação do comprimento sofrido por um comprimento unitário quando a sua temperatura varia de uma unidade. Podemos calcular o aumento do comprimento de uma barra qualquer, multiplicando seu coeficiente de dilatação por seu comprimento e pelo aumento de sua temperatura.

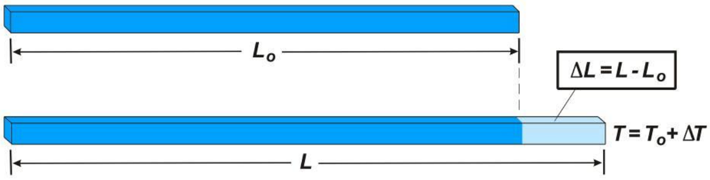


Figura: A figura representa a dilatação linear de uma barra metálica.

Dilatação (ΔL) = coeficiente de dilatação (α) X comprimento inicial (L_0) X aumento de temperatura (ΔT).

$$\Delta L = \alpha . L_0 . \Delta T \text{ ou } L = L_0 \left[1 + \alpha . \Delta T \right]$$

Exemplo: De quanto se dilata um trilho de ferro de 10 m de comprimento, quando aquecido de 0ºC a 30 ºC?
Dado: α_{Ferro} = 0,00012/ºC.
$\Delta L = \alpha . L_0 . \Delta T$ = 0,00012/ºC.10 m . (30ºC – 0ºC) = 0,0036 m = 3,6 mm.

c. Material:

Dilatômetro linear com relógio comparador.

d. Procedimento:

i. Determinar o comprimento inicial da haste em estudo (Lo).

ii. Determinar a temperatura ambiente (To).

iii. Aquecer o sistema (ajustar o ponteiro no zero da escala ao iniciar o aquecimento)

iv. Determinar a temperatura da ebulição (T)

v. Aguardar o ponteiro indicador da dilatação cessar o movimento e verificar o valor do ΔL.

vi. Calcule o valor do coeficiente de dilatação α do material e compare com o valor tabelado, determinando o material mais provável e o erro relativo percentual cometido.

vii. Calcule o comprimento final da barra.

16.15. Título: Capacidade térmica

a. Objetivo: Determinar a capacidade calorífica do calorímetro

b. Referencial Teórico:

Equivalente em água de um corpo é a massa de água que, se substituísse o corpo, sofreria a mesma variação de temperatura que o corpo ao receber ou ceder a mesma quantidade de calor.

Suponhamos que um amostra A de massa m_A de uma substância de calor específico c_A, aquecida a uma temperatura T_o, é mergulhada dentro de uma massa m de água, de calor específico c, contida num recipiente de paredes adiabáticas e de capacidade térmica C e a água e o recipiente estão inicialmente à temperatura $T_1<T_0$.

Após estabelecer-se o equilíbrio térmico, o sistema atinge a temperatura T_F. Como as paredes adiabáticas não permitem trocas de calor com o exterior, a quantidade de calor Q_A perdida pela amostra é inteiramente cedida à água (Q_1) e ao recipiente (Q_2).

$$Q_A = m_A c_A (T_0 - T_F)$$

$$Q_1 = mc (T_F - T_1)$$

$$Q_2 = C (T_F - T_1)$$

$$m_A c_A (T_0 - T_F) = mc(T_F - T_1) + C(T_F - T_1)$$

Como a capacidade térmica do corpo é igual à massa da água, e é chamada de equivalente em água do corpo, representado por E do exposto tem-se que:

$$E = \frac{m_A c_A (T_A - T_F) - mc(T_F - T_1)}{(T_F - T_1)}$$

Calorímetro: qualquer dispositivo destinado a medir quantidade de calor.

c. Material:

Becker
Calorímetro
Água
Termômetro
Fonte térmica
Garrafa térmica

d. Procedimento:

i. Introduzir no vaso do calorímetro uma certa massa (m_1) de água a temperatura (T_0) abaixo da ambiente. Após equilíbrio lê-se a temperatura inicial do calorímetro (T_1).

ii. A seguir, outra quantidade de água de massa $m_2>m_1$ é introduzida rapidamente no calorímetro a uma temperatura (T_2) acima da temperatura ambiente.

iii. Estabelecido o equilíbrio térmico lê-se a nova temperatura de equilíbrio térmico (T_3)

iv. Repetir o procedimento várias vezes, calculando o valor médio da capacidade calorífica do calorímetro:

$$Q_C = m_2 c(T_2 - T_3)$$

$$Q_R = m_1 c(T_3 - T_1) + E(T_3 - T_1)$$

$$Q_C = Q_R$$

$$m_2 c(T_2 - T_3) = m_1 c(T_3 - T_1) + E(T_3 - T_1)$$

$$E = \frac{m_2 c(T_2 - T_3) - m_1 c(T_3 - T_1)}{(T_3 - T_1)}, \text{ com c= 1 cal/g.°C}$$

$$E = \frac{m_2 (T_2 - T_3) - m_1 (T_3 - T_1)}{(T_3 - T_1)}$$

v. Completar a tabela

m_1 (g)	**m_2** (g)	**T_1** (°C)	**T_2** (°C)	**T_3** (°C)	**E** (cal/°C)

vi. Determinar o equivalente e água do calorímetro por: $E = m_C c$

16.16. Título: Calor Específico

a. Objetivos:

i. Observar o fenômeno de troca de calor
ii. Determinar o calor específico de um sólido

b. Referencial Teórico:

A quantidade de calor necessária para elevar de 1 °C a temperatura de 1 g de uma substância.

Representado por c é medido em cal/g.°C. varia geralmente com a temperatura assim, no intervalo entre 0 °C e 1 °C o calor específico da água é 1,008 cal/g.°C. Na prática tal variação de temperatura é desprezada.

Para que o calor específico esteja bem definido, é preciso especificar ainda em que condição ocorre a variação de temperatura. Se a pressão é mantida constante, obtém-se um valor diferente daquele que se obtém quando é mantido constante o volume da substância.

O calor específico a pressão constante (c_P) e a volume constante (c_V), são chamados principais. Para os sólidos e líquidos é pequena a diferença entre c_P e c_V. Geralmente o calor específico é medido a pressão atmosférica, ou seja, trata-se de c_P.

Calcula-se o calor específico de um corpo pela razão entre a quantidade de calor (Q) e o produto massa do corpo (m), variação de temperatura (ΔT): $c = \frac{Q}{m\Delta T}$.

Um dos métodos mais simples para se determinar calor específico é o das misturas, baseado no princípio do equilíbrio térmico: $Q_C = Q_R$ para $Q_C = m_C c_C(T_C - T_E)$ e $Q_R = mc(T_E - T_0) + E(T_E - T_0)$

c. Material:

Becker
Calorímetro
Água
Termômetro
Fonte térmica
Garrafa térmica

d. Procedimento:

i. Coloque 50 mL de água no interior do calorímetro e anote a temperatura.
ii. Aqueça água na térmica.
iii. Coloque 50 mL de água quente no Becker.
iv. Meça a temperatura da água quente e acrescente esta água no calorímetro.
v. Agite o conteúdo do sistema.
vi. Espere o sistema atingir a temperatura de equilíbrio.
vii. Calcule a capacidade térmica do calorímetro.

	m	**c**	**T_i**	**T_f**	**ΔT**
Calorímetro					
Água fria					
Água quente					

viii. Mergulhe o corpo metálico rapidamente no calorímetro.

ix. Preencha a tabela abaixo.

	m	**c**	**T_i**	**T_f**	**ΔT**
Calorímetro					
Água fria					
Água quente					

e. Responda:

i. Calcule o calor específico do corpo metálico.
ii. A variação de temperatura é sempre igual para todas as substâncias que trocam energia na forma de calor entre si?

16.17. Título: Lei de Boyle

a. Objetivo: Determinar experimentalmente a relação entre a pressão e o volume de uma amostra de ar à temperatura constante.

b. Referencial Teórico:

As primeiras medidas quantitativas do comportamento da pressão dos gases em função da variação do volume foram feitas por Robert Boyle em 1662 e por E. Mariotte em 1676. Seus resultados indicavam que o volume é inversamente proporcional à pressão: $V = k / p$, onde p é a pressão, V é o volume e k é uma constante. A figura 1 mostra *V* em função de *p*. A lei de Boyle pode ser escrita na forma:

$$p.V = k$$

e se aplica apenas a uma massa na temperatura constante.

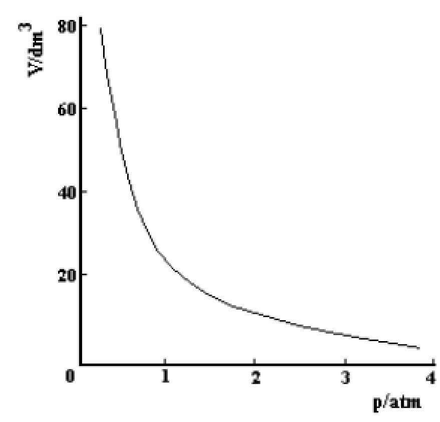


Figura 1. Volume como uma função da pressão, Lei de Boyle ($t_{constante}$ = 25 °C)

Para gases, cujo comportamento se aproxima da idealidade é válida a equação a seguir, conhecida como lei de Boyle.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = k$$

Considere o sistema apresentado na figura 2. A pressão no interior de um gás no interior de um recipiente é medida com um manômetro. Na sua versão mais simples, um manômetro é um tubo em U cheio com um líquido pouco volátil. Se uma boca do tubo for aberta, a pressão, *p*, da amostra gasosa equilibra com a soma das pressões exercidas pela coluna do líquido, que é igual a ρgh, mais a pressão externa, p_{ext}.

$$p = p_{ext} + \rho gh$$

onde ρ é a densidade do líquido, *g* a aceleração da gravidade e *h* é a altura do líquido no tubo em U.

c. Material:

Manômetro aberto
Seringa de vidro de 50,0 mL
Béquer de 100,0 mL
Mangueira de silicone
Suporte universal com garras metálicas
Água
Anilina

d. Procedimento:

i. Posicione a seringa (e êmbolo) horizontalmente com auxílio das garras metálicas e do suporte universal, conforme indicado na figura abaixo.
ii. Conecte a seringa na mangueira. Antes de conectar a seringa, certifique que a leitura na seringa seja de 50,0 mL, ou seja, o êmbolo se encontra na posição inicial. *Atenção para não variar a posição do êmbolo quando a conexão com a mangueira for feita.*

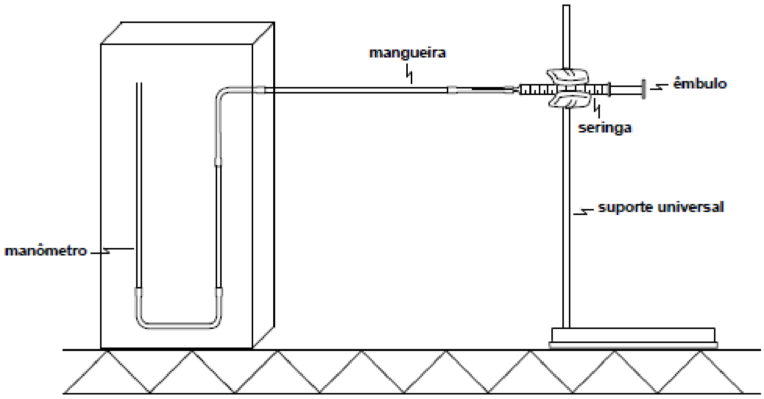


Figura 2. Representação esquemática do aparelho utilizado para verificação experimental da lei de Boyle – manômetro aberto.

iii. Faça a leitura do nível da água nas duas pipetas do manômetro. Faça a marca de referência com caneta de ponta porosa em uma das pipetas. Assim, 50,0 mL corresponde a 1,0 atm.
iv. Gentilmente, empurre o êmbolo para dentro da seringa até completar a variação de 5,0 mL (V). Anote o valor da leitura, feita na seringa, na tabela I.
iv. Faça a leitura do desnivelamento, h, do líquido nas pipetas, conforme mostra a Figura 3. Anote este valor na tabela correspondente ao valor da leitura feita na seringa.
v. Repita os itens 2 e 3 e faça as anotações correspondentes até o êmbolo completar todo o percurso, ou seja, leitura de zero mL.
vi. Para cada valor de h (desnível do líquido) calcule o valor da pressão manométrica utilizando a equação 1. Considere p_{ext} = 1,00 atm.

Tabela I. Altura, volume e pressão.											
V (mL)	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
h (m)											
p (atm)											

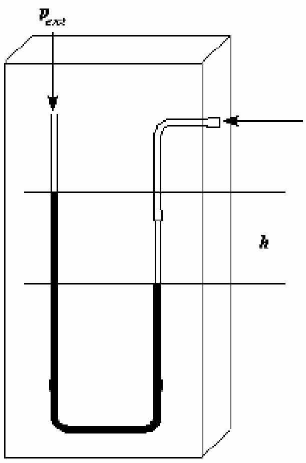


Figura 3. Manômetro diferencial aberto.

16.18. Título:Superfície Equipotencial

a. Objetivo: Observar o comportamento do campo eletrostático a partir da determinação experimental de linhas equipotenciais em meios condutores de líquidos.

b. Referencial Teórico:

Uma maneira conveniente de introduzir a configuração dos campos elétricos é dada pelas linhas de força. Este conceito foi introduzido no século XIX por Michael Faraday (1791–1867), que imaginava o espaço ao redor de um corpo carregado como sendo preenchido por linhas de força. Embora não tenham significado físico real, tais linhas, atualmente denominadas Linhas de Campos Elétricos, fornece um modo conveniente de se visualizar a configuração dos campos elétricos.

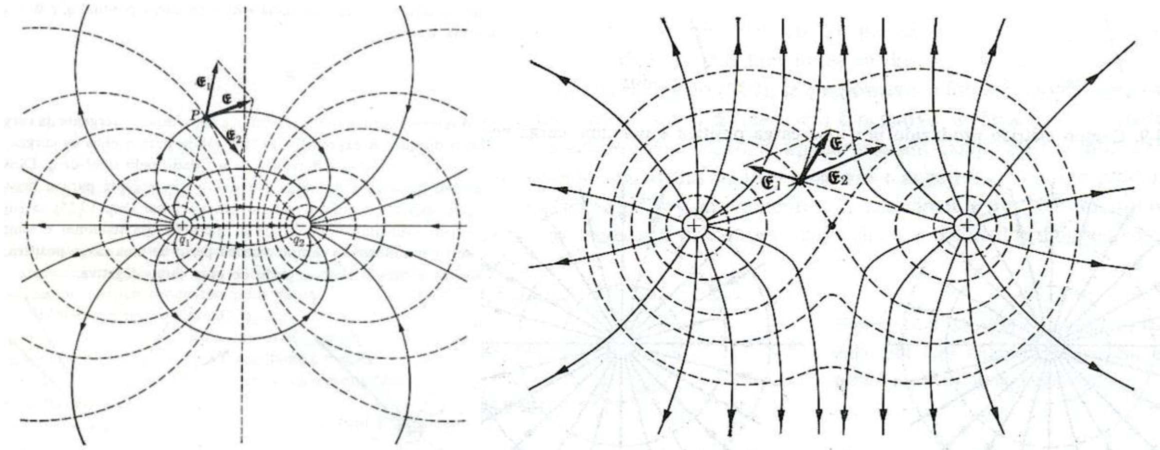


FIGURA1. Linhas de força (contínuas) e superfícies equipotenciais (pontilhadas) do campo elétrico de duas cargas iguais, mas de sinais contrários e de mesmo sinais.

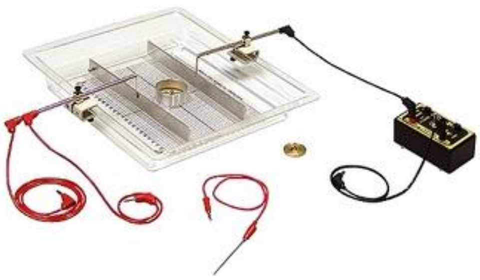
Entre dois pontos de uma mesma linha de campo elétrico, existe sempre uma diferença de potencial elétrico (ddp). Mas pode-se ter dois ou mais pontos, cada um em linhas diferentes, que estejam ao mesmo potencial elétrico. O conjunto destes pontos forma uma linha equipotencial. A "família" das linhas equipotenciais constitui uma superfície equipotencial, que é o lugar geométrico dos pontos que possuem o mesmo potencial elétrico. Através da propriedade do perpendicularismo entre as linhas de campo e as linhas equipotenciais (Fig.1), as quais se obtêm em laboratório, pode-se chegar a uma visualização geral do campo elétrico num plano de uma região do espaço.

c. Material:

Cuba de acrílica
Becker
Dois fios com "pino banana"
Água de torneiro (comum)
Sal
Anel metálico
Eletrodos Planos
Fonte de tensão contínua de 12 V.
Multímetro
Papel milimetrado

d. Procedimento:

i. Coloque a solução de água com sal na cuba, o suficiente para definir os contornos dos eletrodos.



ii. Ligue a fonte.
iii. Coloque a ponteira do voltímetro (multímetro) entre os eletrodos e localize um ponto que se encontre a 5 V. Refaça essa operação para mais 5 pontos.
iv. Procure manter o ponteiro do voltímetro sobre a marca dos 5 V e desloque-o pelo eletrólito com várias profundidades.
v. Coloque entre os eletrodos paralelos o anel metálico e verifique o potencial no seu interior.
vi. Escolha dois pontos A e B e meça o potencial elétrico em cada ponto. Repita para outro conjunto de pontos A e B, diferente do primeiro.

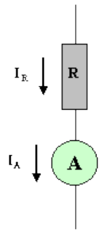
e. Responda

i. No item **iii**, você acha que é possível localizar outros pontos com essa mesma ddp?
ii. A profundidade com que a ponteira penetra no eletrólito no item **iv** causa alguma alteração no potencial elétrico? Explique.
iii. Como denominamos um campo elétrico com as características do obtido entre as placas paralelas, desprezando as proximidades das bordas?
iv. Segundo o item **v** o que podemos afirmar sobre o potencial elétrico no interior do anel?
v. Para cada conjunto de dois pontos do item **vi** determine a intensidade do campo elétrico. Repita para o segundo conjunto de pontos e compare os resultados.

17. Instrumentos de medição elétrica

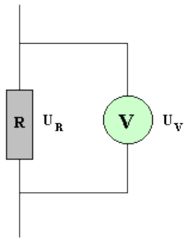
17.1. Amperímetro

Mede a corrente, logo não deve alterar seu valor final, portanto a resistência interna deve ser pequena. *Ideal que seja nula*. Por isso a resistência interna deve estar em paralelo e ter um valor baixo. O amperímetro deve ser sempre colocado em *série no circuito*.



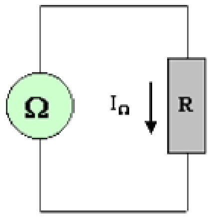
17.2. Voltímetro

Mede a d.d.p. (tensão ou voltagem) entre dois pontos. Para evitar o equilíbrio entre a d.d.p. (nula) o instrumento deve ter uma *resistência interna elevada* e que esteja ligada em série para eliminar ao máximo a perda de potencial entre os pontos. **Ideal que tenha resistência infinita**. O voltímetro deve ser *ligado em paralelo* no circuito.



17.3. Ohmímetro

Um ohmímetro mede a resistência de um resistor aplicando uma diferença de potencial sobre o resistor e medindo a corrente que o percorre. O resistor precisa ser desconectado do circuito ao qual está ligado para ter sua resistência medida por um ohmímetro. A resistência também pode ser determinada através das medidas da tensão e da corrente no resistor, calculando-se a razão entre as duas medidas.



17.4. Multímetro

É um aparelho destinado a medir e avaliar grandezas elétricas. Os mais simples medem resistência, corrente e tensão. Outros mais sofisticados podem medir tensão (volts), corrente, (amperes), resistência (ohms), capacitância (farads), frequencia (hertz) e temperatura. Este aparelho tem ampla utilização entre os técnicos em eletrônica e eletrotécnica, pois são os instrumentos mais usados na pesquisa de defeitos em aparelhos eletro-eletrônicos devido a sua simplicidade de uso e, normalmente, portabilidade. Em Segurança do Trabalho, é usado, em geral, na indústria para medidas de aferição de circuitos e instalações.

Digital

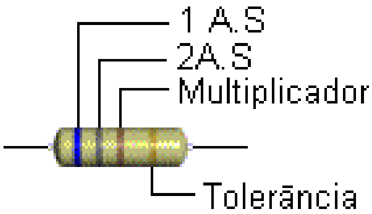
Analógico

18. Resistores - Código de Cores

O código de cores é a convenção utilizada para identificação de resistores de uso geral.

Cores	Valores			Multiplicadores	Tolerência
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3		
Prata	-	-	-	0,01	10%
Ouro	-	-	-	0,1	5%
Preto	0	0	0	1	-
Marrom	1	1	1	10	1%
Vermelho	2	2	2	100	2%
Laranja	3	3	3	1000	-
Amarelo	4	4	4	10000	-
Verde	5	5	5	100000	-
Azul	6	6	6	1000000	-
Violeta	7	7	7	-	-
Cinza	8	8	8	-	-
Branco	9	9	9	-	-
Nenhuma	-	-	-	-	20%

Como deveremos ler o código de um resistor?



i. Identidicar a cor do primeiro anel, e verificar através da tabela de cores o algarismo correspondente à cor. Este algarismo será o primeiro dígito do valor do resistor.
ii. Identificar a cor do segundo anel. Determinar o algarismo correspondente ao segundo dígito do valor da resistência.
iii. Identificar a cor do terceiro anel. Determinar o valor para multiplicar o número formado pelos itens 1 e 2. Efetuar a operação e obter o valor da resistência.
iv. Identificar a cor do quarto anel e verificar a porcentagem de tolerância do valor nominal da resistência do resistor.

Exemplo 1:

1º Faixa Vermelha = 2
2º Faixa Vermelha = 2
3º Faixa Vermelha = 2
4º Faixa Prata = 10%

R = 22.10^2 ±10% = 2200 Ω ± 220. Ou seja, o valor exato da resistência para qualquer elemento com esta especificação estará entre 1980 Ω e 2420 Ω.

Exemplo 2:

1º Faixa Vermelha = 2
2º Faixa Violeta = 7
3º Faixa Marrom = 1
4º Faixa Ouro = 5%

R = 27.10^1 ±10% = 270 Ω ± 13,5. Ou seja, o valor exato da resistência para qualquer elemento com esta especificação estará entre 256,5W e 283,5W.

Importante

- A primeira faixa nunca é preta.
- O processo de fabricação em massa de resistores não consegue garantir para estes componentes um valor exato de resistência. Assim, pode haver variação dentro do valor especificado de tolerância. É importante notar que quanto menor a tolerância, mais caro o resistor, pois o processo de fabricação deve ser mais refinado para reduzir a variação em torno do valor nominal.

19. Experimentos de Eletrodinâmica

19.1. Leis de Ohm - 1º lei de Ohm

a. Objetivo: verificar experimentalmente a primeira lei de OHM.

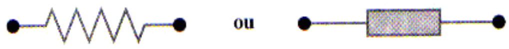
b. Material

Fonte de tensão variável CC
Resistor
Amperímetro
Voltímetro

c. Referencial Teórico:

i. Resistor

É todo elemento do circuito cuja função exclusiva é efetuar a conversão de energia elétrica em energia térmica (efeito Joule). Nos circuitos elétricos, um resistor pode ser representado, esquematicamente, pelos símbolos mostrados a seguir.



Resistor

ii. Conceito de resistência

É a propriedade que os materiais possuem, de apresentar oposição à passagem da corrente elétrica. Define-se a resistência elétrica R de um resistor o quociente da tensão (U) entre seus terminais pela corrente i que o atravessa.

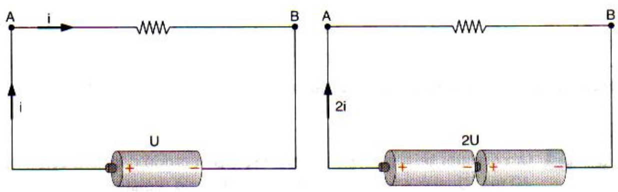
$$\boxed{R = \frac{U}{i}}$$

Unidade: ohm (Ω)

Reostato: resistor de resistência variável

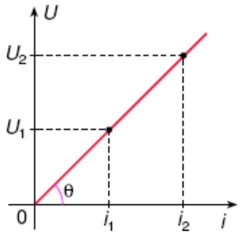
iii. Lei de Ohm

Mantendo a temperatura constante, a intensidade da corrente elétrica que percorre um resistor é diretamente proporcional à ddp entre seus terminais.



$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \ldots = \frac{U_n}{i_n} = R = CTE \Rightarrow \textbf{resistor ôhmico}$$

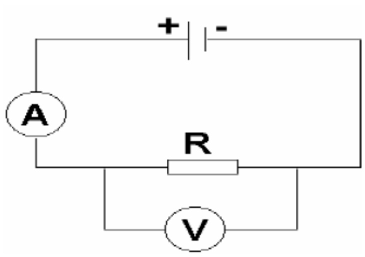
Como a resistência é constante, a relação entre a tensão e a intensidade de corrente (U = R . i) é uma função do primeiro grau, cuja representação gráfica é uma reta que passa pela origem.



$\boxed{tg\theta \overset{N}{=} R}$

d. Procedimento:

i. Montar o circuito da figura:



ii. Determinar a intensidade da corrente I. Repetir o procedimento 4 vezes, variando a tensão da fonte.
iii. Determinar a d.d.p. nos extremos de R.

	V (volts)	I (a)	R (Ω)
1			
2			
3			
4			

iv. Com os valores tabelados construir o gráfico de V = f(I).
v. Calcular o valor de R pelo coeficiente angular da reta.
vi. Calcular o erro em relação ao valor encontrado com o ohmímetro.

19.2. Leis de Ohm - 2º lei de Ohm (Resistividade)

a. Objetivo: verificar experimentalmente a segunda lei de OHM.

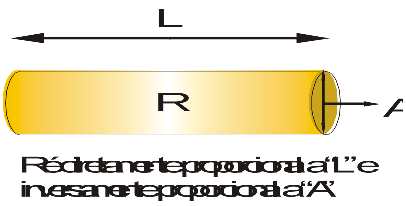
b. Material

Fonte de tensão variável CC
Fio
Régua
Dois isoladores
Amperímetro
Voltímetro

c. Referencial Teórico:

Resistividade

A resistência elétrica de um condutor é função da substância que o constitui e de suas características geométricas. Dado um condutor homogêneo, de comprimento L e área da secção transversal A, a resistência elétrica entre seus extremos é calculada por:



$$\boxed{R = \rho \frac{L}{A}}$$

Nessa expressão, ρ representa uma característica de cada material, chamada resistividade elétrica.

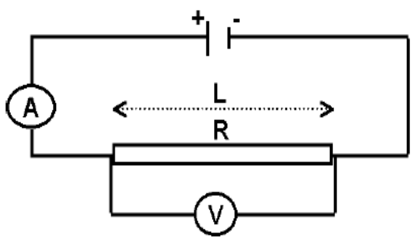
Obs.: A resistividade varia de um material para outro e, para um mesmo material pode variar com a temperatura (resistores ôhmicos a resistividade é praticamente constante).

Existe também uma grandeza característica de cada material, chamada condutividade elétrica (σ), que corresponde ao inverso da resistividade:

$$\boxed{\sigma = \frac{1}{\rho}}$$

d. Procedimento:

i. Montar o circuito da figura:



ii. Medir o diâmetro do fio com auxílio do paquímetro e calcular a área de secção transversal do condutor.
iii. Varie o comprimento do fio de 10 em 10 cm.
iv. Anote na tabela os valores da ddp e da intensidade de corrente indicado pelo voltímetro e pelo amperímetro, para cada comprinento do fio.

v. Calcular o valor de $R = \frac{V}{I}$

vi. Calcular o valor da resistividade $\rho = \frac{R.A}{L}$

vii. Calcular o valor de $R = \rho \frac{L}{A}$

d = cm	**r =** cm	**r =** m	**A =** m^2

L (cm)	**L** (m)	**V** (volts)	**I** (A)	$\mathbf{R} = \frac{V}{I}$ (Ω)	$\boldsymbol{\rho} = \frac{\mathbf{R.A}}{\mathbf{L}}$ (Ω.m)	$\boldsymbol{R} = \boldsymbol{\rho}\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{A}}$ **(Ω)**
10						
20						
30						
40						
50						

19.3. Associação de Resistores

a. Objetivos

- Determinar a resistência equivalente de um circuito paralelo.
- Constatar, experimentalmente, as propriedades relativas à tensão e corrente da associação.

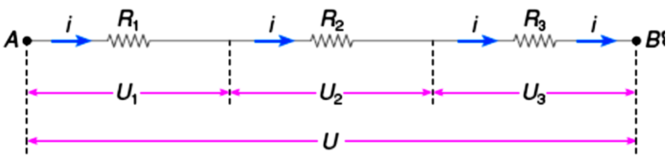
b. Material

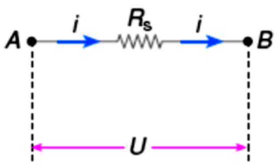
Fonte de 12 V
Lâmpadas incandescente de 12 V
Amperímetro
Voltímetro
Fios de ligação
Suportes para lâmpadas

c. Referencial Teórico:

i. Associação em Série

Na associação em série, os resistores são ligados um em seguida do outro, de modo a serem percorridos pela mesma corrente elétrica. As lâmpadas de árvore de natal são um exemplo de associação em série.



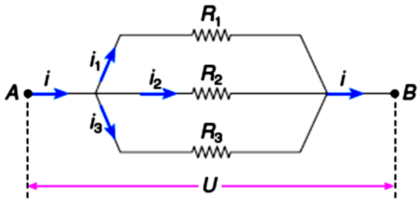


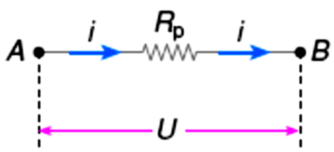
- Todos os resistores são percorridos pela mesma corrente i. **$i = i_1 = i_2 = i_3$**
- A tensão total (ddp) U aplicada a associação é a soma das tensões em cada resistor. **$U = U_1 + U_2 + U_3$**
- Para obter a resistência do resistor equivalente, somam-se as resistências de cada resistor.

$$\boxed{R_S = R_1 + R_2 + R_3}$$

ii. Associação em Paralelo

Na associação em paralelo, os resistores são ligados de tal maneira, que todos ficam submetidos à mesma diferença de potencial. A corrente total fornecida pelo gerador é a soma das correntes em cada um dos resistores. A instalação residencial é um exemplo de associação em paralelo.





- Todos os resistores são submetidos a ddp U. **$U = U_1 = U_2 = U_3$**
- A corrente total de intensidade i é a soma das correntes em cada resistor associado. **$i = i_1 + i_2 + i_3$**
- O inverso da resistência equivalente é a soma dos inversos das resistências associadas:

$$\boxed{\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

- Para dois resistores $\boxed{R_P = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}}$

- Para resistores iguais $\boxed{R_p = \frac{R}{n}}$ onde n é o número de resistores iguais.

d. Procedimento:

i. Associar 3 lâmpadas de forma a formar uma associação em série.
ii. Ligar o conjunto a uma fonte de 12 V.
iii. Ligar o amperímetro ao circuito e verificar a intensidade de corrente em cada lâmpada e na fonte. Anote na tabela.
iv. Ligar o voltímetro ao circuito e verificar a ddp em cada lâmpada e na fonte. Anote na tabela.
v. Repetir o procedimento para uma associação de 3 lâmpas em paralelo.

Associação em Série				
	L_1	L_2	L_3	**Fonte**
I (A)				
V (volts)				

Associação em Paralelo				
	L_1	L_2	L_3	**Fonte**
I (A)				
V (volts)				

e. Responda

i. No circuito em série as ddp e as intensidades de corrente são iguais em cada lâmpada? Justifique.
ii. No circuito em paralelo as ddp e as intensidades de corrente são iguais em cada lâmpada? Justifique.
iii. O que ocorre se você desligar uma lâmpada:
a) no circuito em série?
b) no circuito em paralelo?
iv. Em uma casa as lâmpadas são ligadas en série ou paralelo? Justifique

Referências:

SOUZA, P. C. *Apostila de Física Experimental*. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul.

CRUZ, C. H. e FRAGNITO, H. L. *Guia para Física Experimental Caderno de Laboratório, Gráficos e Erros*. Instituto de Física, Unicamp.

NAGASHIMA, H. N. *Laboratório de Física I*. Universidade Estadual Paulista (UNESP) - *Campus* de Ilha Solteira – 2011.

TABACNIKS M. H. *Conceitos básicos da teoria de erros***.** São Paulo, 2003. Instituto de Física da USP.

CAVALCANTE, M. A. e TAVOLARO, C. R. C.(2007). *Física Moderna Experimental*. 2 ed. São Paulo: Manole.

GASPAR, A. *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental*. 1 ed. São Paulo: Ática, 2009.

AXT, R. e ALVES, V.M. *Física para Secundaristas: fenômenos mecânicos e térmicos*. Porto Alegre, IF –UFRGS.

RESNIK, R, HALLIDAY, D e WALKER, J. (2008). *Fundamentos de Física* – vol 1, 2 e 3. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC.

RUTZ DA SILVA, S. L. *Física Experimental II*. UEPG, 2006.

SEARS, F e ZEMANSKY, M. W. (2004). *Física I, II e III*. 12º. Ed. São Paulo: Adisson Wesley.