

Medidas Físicas e os Aparelhos de Medida

1 Objetivo

Aprender os padrões de medidas, as medidas físicas e as respectivas incertezas inerentes aos processos científicos. Reconhecer os algarismos significativos de uma medida física, aprender os processos de arredondamento e operacionalização de algarismos significativos. Familiarizar-se com aparelhos, ou instrumentos de medidas, utilizados no Laboratório de Física.

Para uma melhor compreensão dos resultados desta experiência, é importante que o estudante faça uma leitura das duas primeiras partes do texto "*Análise de dados para Laboratório de Física*", disponível na página do Departamento de Física. Neste texto, o estudante se familiarizará com os conceitos fundamentais de medidas e erros, comumente utilizados na apresentação de dados experimentais no laboratório de física. Como exemplo desses conceitos, pode-se destacar: medidas físicas, grandezas físicas, padrões de medida, algarismos significativos, regras de arredondamento, erros, incertezas, precisão, exatidão, amostra, população, valor médio, desvio médio, variância, desvio padrão, desvio padrão da média e incertezas combinada e expandida. *Evite fazer a experiência sem antes fazer essa leitura.*

2 Introdução teórica

A Física é uma ciência cujo objeto de estudo é a Natureza. Assim, ocupa-se das ações fundamentais entre os constituintes elementares da matéria, ou seja, entre os átomos e seus componentes. Particularmente na Mecânica, estuda-se o movimento e suas possíveis causas e origens. Ao estudar um dado fenômeno físico procura-se entender como certas propriedades ou grandezas associadas aos corpos participam desse fenômeno. O procedimento adotado nesse estudo é chamado de *método científico*, e é basicamente composto de 3 etapas: observação, raciocínio (abstração) e experimentação. A primeira etapa é a observação do fenômeno a ser compreendido. Realizam-se experiências para poder repetir a observação e isolar, se necessário, o fenômeno de interesse. Na etapa de abstração, propõe-se um modelo, ou hipótese, com o propósito de explicar e descrever o fenômeno. Finalmente, esta hipótese sugere novas experiências cujos resultados irão, ou não, confirmar a hipótese feita. Se ela se mostra adequada para explicar um grande número de fatos, constitui-se no que se chama de uma *lei física*. Estas leis são quantitativas, ou seja, devem ser expressas por funções matemáticas. Assim, para se estabelecer uma lei física está implícito que se deve avaliar quantitativamente uma ou mais grandezas físicas, e portanto realizar medidas. É importante observar que praticamente todas as teorias físicas conhecidas representam aproximações aplicáveis num certo domínio da experiência. Assim, por exemplo, as leis da mecânica clássica são aplicáveis aos movimentos usuais de objetos macroscópicos, mas deixam de valer em determinadas situações. Por exemplo, quando as velocidades são comparáveis com a da luz, deve-se levar em conta efeitos relativísticos. Já para objetos em escala atômica, é necessário empregar a mecânica quântica. Entretanto, o surgimento de uma nova teoria não inutiliza as teorias precedentes. Desde que se esteja em seu domínio de validade, pode-se continuar utilizando a mecânica newtoniana.

O objetivo do curso de Laboratório de Física I é a familiarização com o método científico e a sua utilização na descrição dos fenômenos mecânicos. Em particular, nesse experimento procura-se estudar as grandezas físicas, bem como os procedimentos e instrumentos, ou aparelhos, necessários para a realização de suas medidas.

Grandeza	Aparelho	Precisão
Comprimento	régua milimetrada	1 mm
	paquímetro	0,1 a 0,01 mm
Massa	balança tri-escala	0,01 g
Tempo	cronômetro	0,01 s

Tab. 1: Algumas grandezas físicas e aparelhos utilizados para medi-las

2.1 Aparelhos de medida

O objetivo aqui é reconhecer os procedimentos de manuseio e determinação da precisão de alguns aparelhos frequentemente utilizados no laboratório de Física. A Tab.1 mostra algumas grandezas físicas e os aparelhos utilizados para medi-las.

A precisão de um aparelho de medida corresponde à quantidade mínima da grandeza física que ele é capaz de diferenciar. Por exemplo, numa régua milimetrada, a precisão é de 1 mm. O cálculo da *incerteza aleatória ou estatística*, denominada de *incerteza de Tipo A*, utilizando, por exemplo, o conceito de *desvio padrão da média* σ_m , depende do número de medidas e das operações envolvidas na obtenção de uma grandeza física x . O cálculo da *incerteza intrínseca do aparelho* σ_{ap} , denominada de *incerteza de Tipo B*, depende do aparelho utilizado e existem diversos critérios para determiná-los. O resultado final da incerteza deve ser apresentado na forma de uma combinação de incertezas *de Tipo A e de Tipo B* denominada de *incerteza combinada*. Todos esses tipos de incerteza foram extensamente discutido no texto "*Análise de dados para Laboratório de Física*". Nesse sentido, é oportuno classificar o aparelho, de acordo com sua escala, em *analógicos* e *não analógicos*. O aparelho *não analógicos* pode ser com escala auxiliar ou digital.

2.2 Aparelhos analógicos

Os aparelhos analógicos são aqueles cujas escalas permitem que o algarismo duvidoso da medida seja avaliado. Neste caso, é usual adotar a incerteza da escala como sendo a *metade da precisão*, isto é,

$$\sigma_{ap} = 1/2 \times (\text{precisão do aparelho})$$

Alguns exemplos são: régua milimetrada, balança, termômetro. Contudo, alguns aparelhos que apresenta escala semelhante à da régua não permitem essa avaliação. É o caso de um *paquímetro* não digital que é considerado um aparelho *não-analógico*.

2.2.1 Régua graduada

Aparelhos capazes de medir comprimentos com a precisão máxima de milímetros, centímetros, decímetro, etc... A precisão da régua graduada é definida como sendo a *menor divisão* da escala graduada. A Fig.1 mostra um exemplo de medida usando uma régua milimetrada, onde a menor divisão vale 1,0 mm. Logo, a incerteza de escala da régua milimetrada é

$$\sigma_{ap} = 1/2 \times (\text{precisão da régua milimetrada}) = 0,5\text{mm}$$

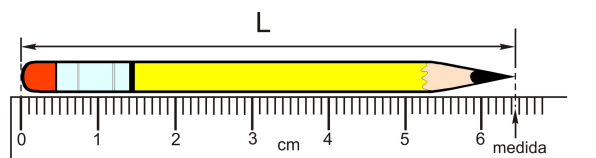


Fig. 1: Exemplo de medida usando uma régua milimetrada.

Obviamente, no caso das réguas centimetrada e decimetrada, as incertezas de escalas são 0,5 cm e 0,5 dm, respectivamente. Para entender a origem deste critério, considere por exemplo, a medida do comprimento do lápis com uma régua milimetrada mostrada na Fig. 1. Com o olho bem treinado ou com o auxílio

de uma lupa, e se os traços de marcação dos milímetros inteiros da régua forem suficientemente estreitos, pode-se avaliar até décimos de milímetro. Contudo, este procedimento pode não ser válido. Se uma régua é graduada em milímetros é porque o material com que é feita pode resultar em variações do comprimento total comparáveis com a sua menor divisão ou, então, o próprio processo de fabricação pode não ser seguro, dando variações comparáveis com a menor divisão. Nestes casos, supor a régua exata e avaliar décimos de milímetro não é garantia de uma boa medida. Por outro lado, arredondando até o milímetro inteiro mais próximo pode implicar em perda de informação. Assim, avaliar a incerteza em metade da precisão é um meio termo aceitável. É importante observar que esta incerteza corresponde na verdade a incerteza máxima que pode ser obtida com a régua milimetrada. O comprimento do lápis na Fig.1 é de $64,5 \text{ mm}$, sendo que os algarismos 6 e 4 são exatos e o 5 é o algarismo duvidoso, ou estimado. Portanto, o resultado final da medida deve ser $l = (64,5 \pm 0,5) \text{ mm}$.

2.2.2 Balança Tri-escala

A balança tri-escala é assim denominada porque possui três escalas: uma graduada em dezenas de grama, outra em grama, outra em centésimos de grama. Em algumas balanças a escala de centésimos é apresentada numa escala móvel denominada de "Vernier", a qual será apresentada mais adiante. Assim o resultado de uma medida com a balança tri-escala pode ser apresentado com algarismo na casa do milésimo do grama, sendo este algarismo duvidoso. A precisão da balança está na casa do centésimo de grama e, portanto, a incerteza do aparelho, $\sigma_{ap} = 1/2 \times 0,01 \text{ g} = 0,005 \text{ g}$, está na casa do milésimo de grama. Antes de fazer uma medida com a balança, deve-se verificar se está zerada. Para isto, sem nenhum objeto no prato da balança, deve ser verificado se, ao colocar os marcadores das escalas nos zeros das mesmas, o ponteiro situado na extremidade do braço da balança está apontado para o zero de uma escala vertical. A inclinação do braço da balança pode ser ajustada girando um parafuso situado na base da balança ou girando um contra peso situada no braço da balança no lado oposto à escala vertical. A balança deve ser zerada para evitar erros sistemáticos nas medidas. Ao medir a massa de um objeto colocando-o no prato da balança, o braço desta ficará levantado, sendo necessário posicionar os marcadores das escalas de forma que o ponteiro volte para o zero da escala vertical. Assim feito, o valor da massa fica indicada pelas posições dos marcadores nas escalas da balança. Por exemplo, a leitura feita na Fig.2, indicada pelas setas, incluindo a incerteza na medida, é $m = (165,345 \pm 0,005) \text{ g}$.

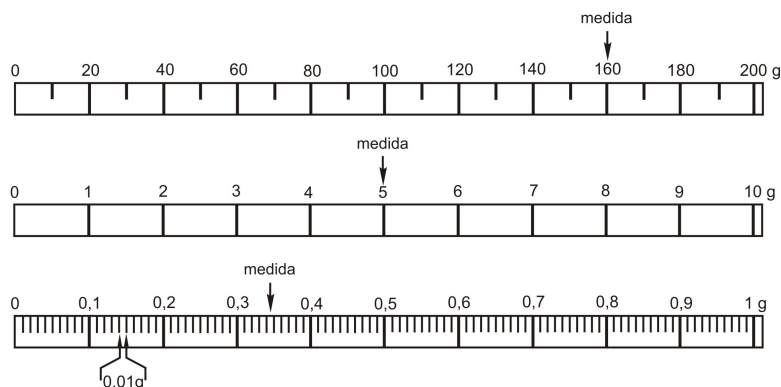


Fig. 2: Exemplo de leitura usando uma balança tri-escala.

%beginable

2.3 Aparelhos não analógicos - O Paquímetro

Para muitas medidas com escalas graduadas é desejável estimar uma fração da menor divisão das mesmas. Existe uma escala auxiliar, denominada Nônio ou Vernier, que determina a fração da menor divisão. Esta escala especial foi criada por Pierre Vernier (1580 - 1637), para obter medidas lineares (ou angulares) menores que a menor divisão de uma escala graduada. O paquímetro é um exemplo de aparelho não analógico, dotado com essa escala especial, e que é muito útil no laboratório de Física.

O Nônio é constituído de uma pequena escala com N divisões igualmente espaçadas, que se move ao longo da escala principal. As divisões do Nônio possuem dimensões diferentes daquelas da escala principal porém relacionam-se entre si de uma maneira simples. Por exemplo, o paquímetro mostrado na Fig.3, possui

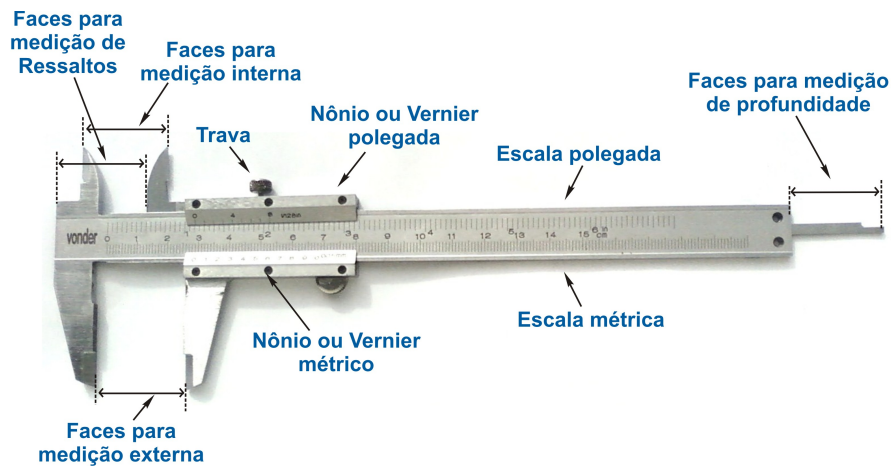


Fig. 3: Fotografia que mostra as partes de um paquímetro comum.

um Nônio com $N = 20$ divisões que correspondem a 39 divisões da escala principal. Cada divisão do Nônio é $\frac{1}{N} = \frac{1}{20}$ mais curta que 2 divisões da escala principal. Esse paquímetro possui uma precisão de $\frac{1}{20} = 0,05 \text{ mm}$, isto é, cinco centésimos de milímetro.

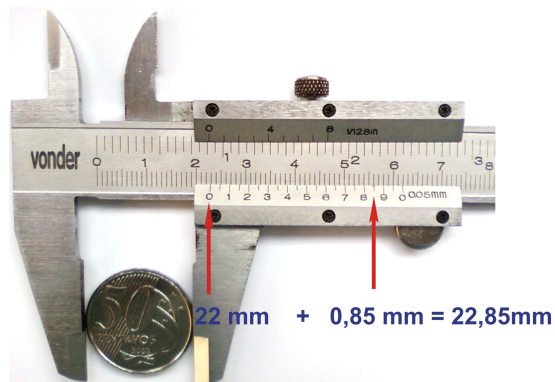


Fig. 4: Fotografia que mostra detalhes do nônio ou Vernier e um exemplo de medida com um paquímetro comum.

A Fig.4 mostra a medida do diâmetro de uma moeda de cinquenta centavos. Observa-se que o "zero" do Vernier se deslocou 22 mm do "zero" da escala principal. Os centésimos da medida são obtidos definindo qual a marca do Vernier que melhor coincide com uma marca da escala principal. No caso da medida mostrada na Fig.4, observa-se que a melhor coincidência ocorre para $0,85 \text{ mm}$. Portanto, o valor correto da medida do diâmetro da moeda é $(22,85 \pm 0,05 \text{ mm})$, onde a incerteza do aparelho corresponde à precisão do mesmo, isto é,

$$\sigma_{ap} = \text{precisão} = 0,05 \text{ mm}$$

Para se obter boas medidas das dimensões de um objeto com o paquímetro, deve-se ficar atento as seguintes orientações:

1. O paquímetro deve ser mantido junto ao objeto durante a execução da medida.
2. O contato dos encostos com as superfícies do objeto deve ser suave. Exageros na pressão do impulsor pode danificar o objeto e o aparelho resultando em medidas falsas.
3. Manter a posição correta do paquímetro relativamente ao objeto. Inclinações no aparelho alteram as medições.
4. Antes de efetuar as medições, limpar as superfícies dos encostos e as faces de contato do objeto.

5. Medir o objeto a temperatura ambiente. As possíveis dilatações térmicas acarretam erros sistemáticos.
6. Para evitar erros de paralaxe, ao se fazer a leitura, orientar a visão na direção dos traços e perpendicular a linha longitudinal do aparelho.

2.4 Aparelhos digitais

Nos aparelhos digitais o algarismo duvidoso não é avaliado pelo experimentador e sim indicado diretamente no *display* do aparelho, ou conforme especificado pelo fabricante. Usualmente, a incerteza corresponde ao **menor valor que o aparelho pode medir**. Alguns exemplos de aparelhos digitais são o cronômetro digital, termômetro digital, multímetro digital, paquímetro digital, etc.

2.4.1 Cronômetro digital

Cronômetros digitais são aparelhos que medem intervalos de tempo e cuja precisão depende do fabricante. Nesses aparelhos, as medidas são apresentadas em um display digital. A Fig.5 mostra um exemplo de cronômetro digital de mão comumente utilizado no laboratório de Física.



Fig. 5: Fotografia de um cronômetro digital de mão.

Para este cronômetro digital, o último dígito de precisão encontra-se na casa dos *centésimo de segundo*. Assim, a incerteza de escala deste aparelho corresponde à menor medida que o mesmo pode fazer, isto é, $\sigma_{ap} = 0,01 \text{ s}$. Então, como um minuto é igual a sessenta segundos, a leitura com display indicado na Fig.5 significa $(66,18 \pm 0,01) \text{ s}$.

2.4.2 Paquímetro digital

O paquímetro digital é utilizado para fazer medidas rápidas, livre de erro de paralaxe, sendo ideal para controles estatísticos. Como mostrado na Fig.6, o paquímetro digital possui uma haste deslizante ou cursor, dotada de um display com uma escala métrica ou polegada, que funciona como o Vernier ou Nônio deste paquímetro. O paquímetro digital tem uma precisão igual, ou até maior para alguns casos especiais, do que os paquímetros convencionais. O cursor ajusta-se à escala principal e permite sua livre movimentação, com um mínimo de folga.

Com os paquímetros digitais é possível zerar o display em qualquer ponto ao longo da escala principal, permitindo que se faça mais de uma medida a partir de um único ponto de referência no objeto. Mesmo com todos esses benefícios, o paquímetro digital, de modo algum, substitui o paquímetro convencional. O Vernier analógico de um paquímetro não digital não tem repetibilidade e precisão para um usuário amador. Isso às vezes é importante para se fazer um bom tratamento estatístico de uma medida experimental.

Alguns paquímetros digitais oferecem uma saída serial de dados para serem conectados a um computador pessoal. A interface digital diminui significativamente o tempo para fazer e registrar uma série de medidas, e também melhora a confiabilidade dos registros. Um dispositivo adequado para converter a saída de dados serial para interfaces de computador comum ou sem fio pode ser construído ou adquirido. Com tal conversor, as medições podem ser inseridas numa planilha, num programa de controle estatístico, ou software similar.



Fig. 6: Fotografia que mostra as partes e um exemplo de leitura de um paquímetro digital do laboratório.

3 Material Necessário

Tarugo de madeira, Régua decimetrada de 5 *dm*, régua centimetrada de 50 *cm*, régua milimetrada de 500 *mm*, paquímetro, paquímetro digital.

4 Procedimento experimental

Cada estudante deve verificar e anotar na Tab.2 a precisão e a incerteza intrínseca de escala dos aparelhos usados nesta e nas próximas experiências.

Aparelho	Precisão	Incerteza intrínseca de escala
régua decimetrada		
régua centimetrada		
régua milimetrada		
paquímetro		
paquímetro digital		
balança tri-escala		
cronômetro		
cronômetro digital utilizado no trilho ar		

Tab. 2: Identificação da precisão e incerteza intrínseca de escala dos aparelhos

4.1 Medida das dimensões e massa do tarugo de madeira

1. Utilizando a régua milimetrada, meça e anote no caderno de laboratório, o comprimento l do tarugo de madeira. Nessa anotação, deve-se levar em conta o número de algarismos significativos da medida.
2. Adotando a incerteza da medida como sendo a incerteza intrínseca de escala do aparelho de medida σ_{ap} , apresente a medida do comprimento do tarugo na forma $\langle l \rangle \pm \sigma_{ap}$ para a régua milimetrada.
3. Repita os passos 1 e 2, usando agora a régua centimetrada.
4. Discuta os resultados da medida do comprimento l do tarugo de madeira obtidos com os dois aparelhos.
5. Utilizando o paquímetro não digital, meça e anote no caderno de laboratório, o diâmetro d do tarugo de madeira. Nessa anotação, deve-se levar em conta o número de algarismos significativos da medida.
6. Adotando a incerteza da medida como sendo a incerteza intrínseca de escala do aparelho de medida σ_{ap} , apresente a medida do diâmetro do tarugo na forma $\langle d \rangle \pm \sigma_{ap}$ para o paquímetro.

7. Repita os passos 5 e 6, usando agora o paquímetro digital.
8. Discuta os resultados da medida do diâmetro d do tarugo de madeira obtidos com os dois aparelhos.
9. Utilizando a balança disponível na sua bancada, meça e anote no caderno de laboratório, a massa m do tarugo de madeira, identificando o tipo de balança: ***Tri-escala ou com Vernier***. Nessa anotação, deve-se levar em conta o número de algarismos significativos da medida.
10. Adotando a incerteza da medida como sendo a incerteza intrínseca de escala do aparelho de medida σ_{ap} , apresente a medida da massa do tarugo na forma $\langle m \rangle \pm \sigma_{ap}$ para a balança tri-escala.