Medidas Físicas e
o Trilho de Ar

1 Objetivo

Familiarização com o trilho de ar e com todos os seus acessórios periféricos, utilizados no Laboratório de Física. Introdução ao estudo do movimento mecânico. Compreensão mais profunda do significado das medidas físicas e as respectivas incertezas estatísticas inerentes aos processos científicos.

Para uma melhor compreensão dos resultados desta experiência, é importante que o estudante faça uma leitura das seções 1 e 2 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 em medidas diretas e indiretas. ***Evite fazer a experiência sem antes fazer essa leitura***.

2 Introdução teórica

O **"*trilho de ar*"** é um dispositivo desenvolvido para estudar o movimento dos corpos na ausência de forças de atrito. Esse dispositivo consiste de um tubo retangular, com diversos orifícios em suas faces. Em cima deste tubo um carrinho pode se movimentar. O funcionamento do trilho de ar se baseia no uso de um gerador de fluxo de ar ligado a sua estrutura por uma mangueira, responsável por proporcionar um jato de ar contínuo. Esse ar, ao sair pelos orifícios, cria uma espécie de "colchão de ar", entre o carrinho e o tubo, reduzindo consideravelmente o contato e, consequentemente, o atrito entre ambos. A Fig.1 mostra uma fotografia do trilho de ar e seus acessórios utilizado em nosso laboratório. Esse trilho possui uma escala graduada de 0 a $1,0000\ m$.

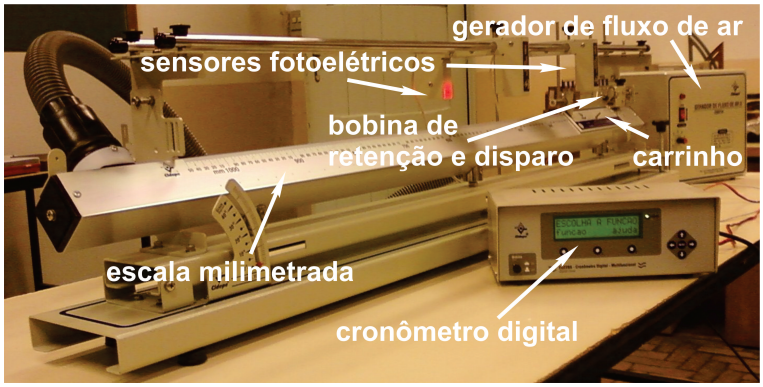

Fig. 1: Esquema do trilho de ar utilizado em nosso laboratório.

O **"*carrinho*"** utilizado no experimento tem um perfil triangular que se encaixa sobre o trilho de ar. Para garantir o registro dos tempos de percurso do carrinho, sobre ele é mantido um padrão periódico de manchas clara e escura, gravado numa placa acrílica transparente. Uma mola é mantida conectada na parte frontal do carrinho para diminuir os impactos do mesmo no final do trajeto sobre o trilho de ar. A Fig.2 mostra todos os dispositivos que compõem o carrinho utilizado no experimento com o trilho de ar. Em uma das

extremidades do carrinho, pode ser instalado um pequeno ímã, ou um pequeno cilindro de ferrite, ambos mostrados na Fig.2.

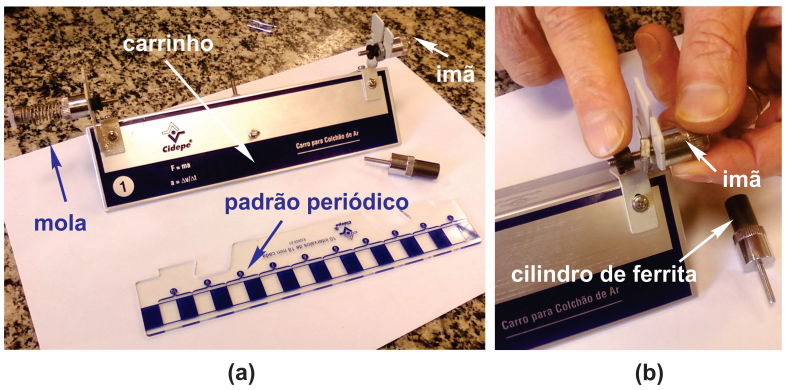

Fig. 2: Carrinho utilizado no trilho de ar.

O sistema de aquisição de dados do trilho de ar é composto por "***sensores fotoelétricos***", um "***cronômetro digital de interface***" e uma "***bobina de retenção e disparo***" ligada a uma fonte disparadora. A função da bobina de retenção e disparo é impulsionar o carrinho no trilho de ar e dar início ao experimento. O cronômetro digital de interface é utilizado para registrar os intervalos de tempo em que o carrinho passa pelos sensores fotoelétricos.

O "***cronômetro digital de interface***", mostrado em detalhes na fotografia da Fig.3 (a) e (b), tem a função de medir intervalos de tempo de passagem consecutivas de um móvel entre diferentes pontos de referência no espaço, como por exemplo pontos de referência sobre o trilho de ar. Pode ainda ser programado para análise de diversos tipos de movimentos mecânicos tais como, movimentos retilíneos, movimentos curvilíneos, movimentos oscilatórios e colisões. A partir dessas programações, o cronômetro digital de interface pode registrar diretamente valores de grandezas físicas como velocidades médias, velocidades instantâneas, frequências e períodos. Os pontos de referência no espaço podem ser previamente demarcados por meio de até 5 sensores fotoelétricos, conectados ao cronômetro digital de interface. O "***sensor fotoelétrico***" é um dispositivo que possui um diodo emissor de luz vermelha e um sensor apropriado para essa emissão eletromagnética. Esse dispositivo é dotado de um circuito eletrônico que é alimentado e controlado pelo cronômetro digital de interface. O cronômetro digital de interface é capaz de registrar até 10 intervalos de tempo de passagem para cada deslocamento linear de um objeto em movimento.

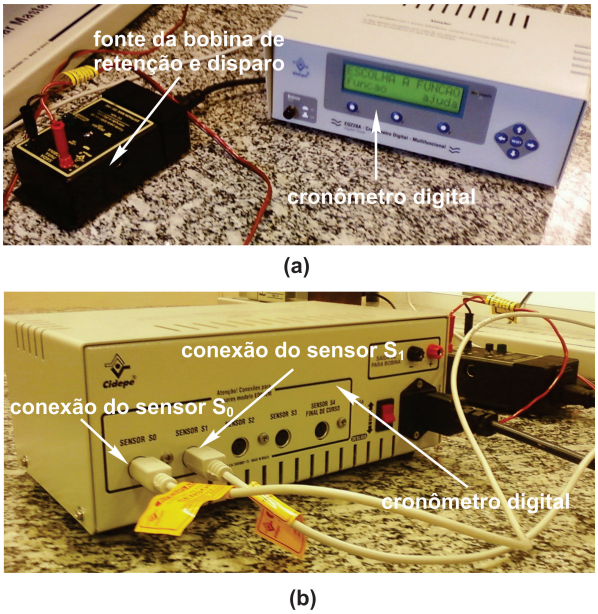

Fig. 3: Conexões e detalhes do cronômetro digital de interface.

3 Material Necessário

Trilho de ar, cronômetro digital de interface com disparador eletrônico, carrinho e sensores fotoelétricos.

4 Procedimento experimental

4.1 Cronometragem do tempo de percurso do carrinho no trilho de ar

.

1. Coloque a intensidade do gerador de fluxo de ar do trilho de ar numa posição entre 2 e 3 e ligue-o. ***Atenção! nunca mova o carrinho sobre o trilho de ar sem que o gerador de fluxo de ar esteja ligado. Isso pode riscar e danificar definitivamente a escala do trilho de ar***. Neste experimento, o pequeno ímã deverá ser instalado no carrinho e sua função será prender o carrinho no início do trilho de ar e, ao mesmo tempo, possibilitar o movimento do mesmo quando a bobina de retenção e disparo for acionada. O pequeno cilindro de ferrite será utilizado oportunamente em outros experimentos.

2. Neste experimento, dois sensores S_0 e S_1 serão mantidos em duas posições diferentes no trilho de ar. A Fig.3 (b) mostra que o sensor S_0 deve ser conectado na entrada S_0 e o sensor S_1 deve ser conectado na entrada S_1 do cronômetro digital de interface. Após fazer essas conexões, ligue o cronômetro digital de interface e observe que, para cada sensor fotoelétrico, os feixes luminosos de cor vermelha incidem sobre fotodetectores localizados em pequenos furos da estrutura metálica do dispositivo.

3. A fotografia na Fig.4 mostra os detalhes de como se pode determinar as posições fixas dos sensores. Com o *carrinho desconectado da bobina de retenção e disparo*, a posição fixa do sensor S_0 é definida colocando o início da base do carrinho na posição $x_0 = 0,2700\ m$. Este início da base é o lado do carrinho que indica o sentido do movimento do mesmo sobre o trilho de ar. Com o carrinho parado nessa posição, mova o sensor S_0 de modo que o seu orifício seja encoberto pela sombra da primeira mancha escura do padrão periódico que está sobre o carrinho. Assim que o orifício for inteiramente encoberto por esta sombra, como mostra a fotografia na Fig.4, o sensor S_0 deve ser fixado. Usando essa mesma orientação, coloque também o sensor S_1 na posição $x = 0,9500\ m$. Calcule e anote na Tab.1, o valor do deslocamento $\Delta x = x - x_0$.

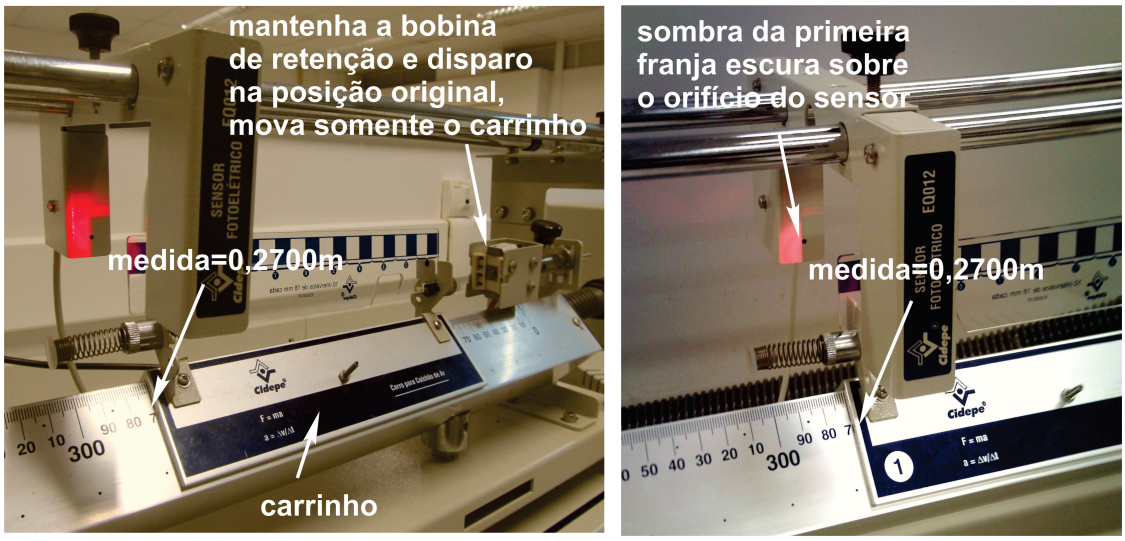

Fig. 4: Detalhes de como se pode determinar a posição fixa dos sensores S_0 e S_1. Nessa operação, mantenha a bobina de retenção e disparo na posição original, mova somente o carrinho.

deslocamento $\Delta x = x - x_0 =$			
n	t	$\langle t \rangle$	δt
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Tab. 1: Tabela de dados e cálculos para o tempo de percurso do carrinho no trilho de ar.

4. Para um teste de treinamento do uso do cronômetro digital de interface, siga os passos abaixo cuidadosamente e meça um intervalo de tempo de percurso do carrinho entre o sensor 1 e o sensor 2 no trilho de ar:

   (a) Ligar o cronômetro. Aparece na tela **Escolha a Função**.

   (b) Escolha a opção **função**, clicando a tecla 1.

   (c) Escolha a opção **OK**, clicando a tecla 2, para definir o número de sensores utilizados na experiência.

   (d) Escolha a opção $N^o 2$, clicando a tecla 1, para definir o uso de 2 sensores.

   (e) Aparece na tela **Inserir Distância**. Note que no cronômetro digital a distancia é simbolizada pela letra S. Escolha a opção **Não**, clicando a tecla 1. Nesse momento o cronômetro está preparado para o ***início da experiência***.

5. Aperte o botão disparador da fonte da bobina de retenção e disparo para impulsionar o carrinho no trilho de ar e dar início ao experimento.

6. Aparece na tela do cronômetro **Exp. Finalizado**. Escolha a opção **Ver**, clicando a tecla 1, para ver o resultado da medida. Aparece na tela do cronômetro **Resultados**. Escolha a opção **t**, clicando a tecla 1, para ver e anotar o intervalo de tempo que o carrinho gasta para percorrer a distância entre os dois sensores. Escolha a opção **OK**, clicando a tecla 2 e, em seguida, a opção **Sair**, clicando a tecla 3, para retornar aos recursos anteriores.

7. Escolha a opção **Repetir**, clicando a tecla 2 para novamente dar início a experiência. Repita a experiência e agora anote o valor do intervalo de tempo correspondente a primeira medida $n = 1$ na primeira linha da Tab.1.

8. Escolha novamente a opção **Repetir**, clicando a tecla 2, repita a experiência para todos os valores $n = 2, 3, 4, ..., 20$ apresentados na Tab.1 e anote cada uma das medidas nas respectivas linhas da mesma tabela.

9. Para cada número n de medidas dos tempos de percurso t do carrinho no trilho de ar, calcule e anote, nas respectivas linhas da Tab.1, os valores médios

$$\langle t \rangle = \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{n}$$

e as incertezas δt correspondentes, admitindo somente as incertezas aleatórias dadas na forma do *desvio padrão da média*,

$$\delta t = \sigma_m = \frac{1}{\sqrt{n(n-1)}} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} t_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} t_i\right)^2}$$

A formulação do conceito de *desvio padrão da média* é discutida em detalhes na seção 2.8 do texto ***"Análise de dados para Laboratório de Física"***.

10. Observando a primeira coluna da Tab.1, identifique a incerteza σ_{ap} do cronômetro digital de interface. Qual o significado da incerteza aleatória δt obtida na primeira linha da Tab.1? De um modo geral, o que acontece com os valores médios e as incertezas na medida do tempo de percurso do carrinho no trilho de ar quando se aumenta o número de medidas? Discuta o que foi observado e conclua os resultados.