

---

# PÊNULO BALÍSTICO\*

---

*Isabel Bianchi<sup>1</sup>*

*Jose de Pinho Alves Filho*

Departamento de Física – UFSC

Florianópolis – SC

## **Resumo**

*O pêndulo balístico é um problema bastante comum entre os tratados no item “quantidade de movimento”. Sua abordagem é teórica e idealizada. Neste trabalho, é apresentada a construção alternativa de um pêndulo balístico extremamente simples, que possibilita discussões relativas à conservação de quantidade de movimento, colisões, limites experimentais e suas correções e aproximações.*

**Palavras-chave:** *Pêndulo balístico, quantidade de movimento, colisões.*

## **I. Introdução**

O pêndulo balístico foi inventado em 1742, com o objetivo de medir velocidades de projéteis por meio de colisões inelásticas com um corpo de massa muito maior. Sua maior aplicação foi em indústrias de armamentos, onde era medida a velocidade com que os projéteis lançados atingiam o alvo. Para se determinar essa velocidade, usa-se a conservação do momento linear e da energia mecânica.

Tendo em mente o ensino de choques no ensino médio, pensou-se em construir um equipamento que permitisse ao estudante um entendimento maior sobre o princípio da conservação do momento linear, tópico este que é ligado ao assunto acima mencionado.

Foi então que, ao depararmos com a sugestão de se construir o pêndulo balístico, resolvemos aceitá-la buscando uma melhor maneira de construí-lo. Apresentamos, do original, apenas a disposição dos mecanismos.

## **II. Material necessário**

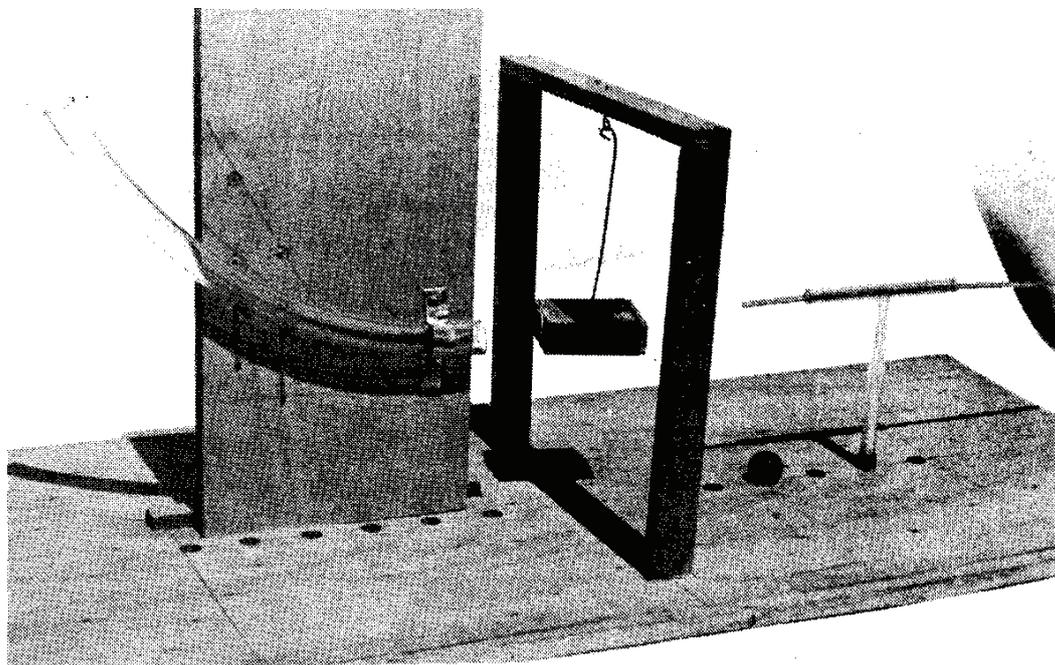
- uma chapa de madeira de (40,00 x 30,00 x 1,00) cm;

---

\* Publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 2, n. 3, dez. 1985.

<sup>1</sup> Aluna de graduação do curso de Licenciatura em Física – UFSC

- uma chapa de madeira de (30,00 x 15,00 x 2,00) cm;
- três pedaços de madeira de (20,00 x 2,00 x 1,00) cm;
- um pedaço de mangueira cristal de 20,00 cm e com 1,20 cm de diâmetro;
- uma esfera de aço com 0,95 cm de diâmetro (e 3,50 g de massa);
- dois tubos de caneta de plástico (do tipo esferográfica descartável);
- um canudinho de plástico (de refrigerante);
- uma presilha de alumínio;
- uma haste de aço (arame) de 11,00 cm de comprimento com 0,10 cm de diâmetro;
- uma haste de aço (arame) de 3,00 cm de comprimento e 0,10 cm de diâmetro;
- uma caixa de fósforos;
- um pedaço de cartolina de (5,00 x 10,00) cm;
- fita adesiva;
- um tubo de cola super-bonder;
- dois pregos médios.



*Fig. 1*

### **III. Montagem**

#### **1. Construção da base**

Na chapa de madeira maior, faça cinco orifícios com diâmetro 0,10 cm maior que o diâmetro do tubo da caneta, espaçados de 2,50 em 2,50 cm, começando a partir de 6,00 cm do meio da chapa.

## 2. Suporte do pêndulo

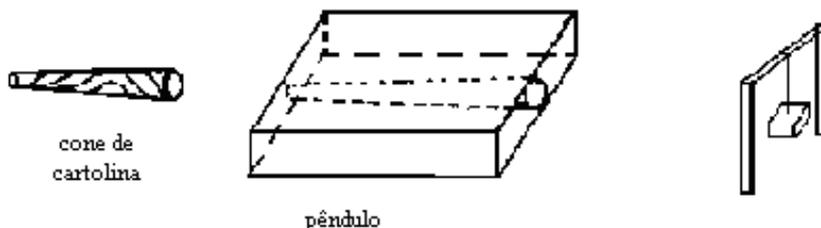
Cole ou pregue os três pedaços de madeira, de modo a formar um U. Este será o suporte para o pêndulo oscilar.

No centro da base do U, faça um orifício com diâmetro de 0,15 cm. Prenda então a haste de 3,00 cm nesse orifício e entorte a parte maior, que deve ficar para dentro do U, formando um gancho pequeno. A haste de 11,00 cm deverá ter uma de suas extremidades moldada em forma de círculo, para que possa girar livremente no gancho preso no suporte.

Pregue o U bem no centro da placa de madeira maior.

## 3. Construção do pêndulo

Com a cartolina, faça um cone cuja base deve ter um diâmetro que se ajuste perfeitamente ao interior da caixa de fósforos. Para que o cone não desenrole, passe fita adesiva ao seu redor. Cole, então, o cone dentro da caixa.



*Fig. 2*

Cole o pêndulo na haste de 11,00 cm ( $\lambda$ ), sendo que esta deve encaixar exatamente no centro da caixa.

## 4. Suporte da mangueira

Na chapa de madeira menor, marque a altura em que está o centro do cone. Exatamente nessa altura deve ficar o centro da mangueira.

A partir dessa linha, marque ângulos de 30°, 45° e 60°.

Com a presilha de alumínio, fixe a extremidade da mangueira que ficará voltada para o pêndulo.

Nas marcas dos ângulos, faça orifícios (dois ao longo de cada linha) que não perfurem a chapa. Nestes orifícios, serão introduzidos os pregos de modo a fixarem a mangueira no ângulo desejado.

Pregue, então, a chapa de madeira na base a 0,50 cm do centro desta.

## 5. Suporte do canudinho

Corte os tubos de caneta, raspando bem as extremidades interiores, e cole-os em forma de T. Fixe então o suporte em um dos orifícios da base de modo que, ao colocar o canudinho no seu interior, este fique encostado na parte superior do pêndulo. O canudinho deve ser graduado em milímetros. Para marcar a escala, utilize tinta nanquim.

## IV. Procedimento experimental

Solte a esfera na extremidade superior da mangueira. Ela vai deslizar, indo acoplar-se ao pêndulo que, então, ao movimentar-se, empurrará o canudinho graduado. É um procedimento fácil de ser executado e o aluno pode ver com clareza tudo que acontece no experimento.

De que maneira podemos então mostrar ao aluno como se conserva o movimento linear?

Começemos partindo das equações que descrevem esse tipo de choque. Inicialmente, com uma balança, determine as massas:

$m_p$  = massa do pêndulo

$m_e$  = massa da esfera

A equação de conservação diz que:

$$m_p v_p^i + m_e v_e^i = (m_p + m_e) v^i$$

na qual:

$v_p^i$  = velocidade do pêndulo

$v_e^i$  = velocidade da esfera

$(m_p + m_e)$  = massa do conjunto pêndulo-esfera

$v^i$  = velocidade com que o conjunto pêndulo-esfera se move após o choque.

Sabendo que a velocidade do pêndulo antes do choque é zero, então:

$$m_e v_e^i = (m_p + m_e) v^i,$$

$$v_e^i = \frac{(m_p + m_e) v^i}{m_e}.$$

As massas do pêndulo e da esfera são conhecidas; resta-nos determinar a velocidade do conjunto. Essa velocidade pode ser calculada da seguinte maneira:

– Sabemos que a energia cinética do conjunto pêndulo-esfera, logo após o choque, é igual à energia potencial gravitacional desse conjunto no final do movimento, ou seja, no momento em que o pêndulo chega à sua altura máxima.

Assim:

$$(m_p + m_e) g h = (m_p + m_e) \frac{v^2}{2} .$$

$$v = \sqrt{2 g h} .$$

A velocidade da esfera será:

$$v_e = \frac{(m_e + m_p)}{m_e} \sqrt{2 g h} .$$

Ao observarmos o experimento, percebemos que a determinação de  $h$  é muito difícil. Porém, se usarmos um pouco de matemática e contarmos com a ajuda do Teorema de Pitágoras, encontraremos a solução para nosso problema.

Se observarmos a Fig. 3, na qual temos a representação do instante em que o pêndulo atinge  $h$ , veremos que:

$$l^2 = d^2 + (l - h)^2$$

$$l^2 = d^2 + l^2 - 2lh + h^2$$

$$2lh = d^2 + h^2$$

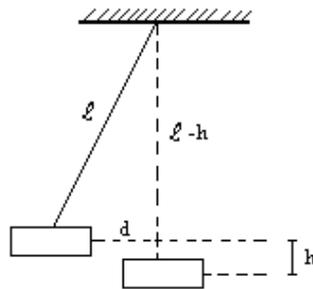


Fig. 3

Para pequenas oscilações, que é o que acontece neste caso,  $h$  é pequeno comparado com  $l$  e  $d$ , e podemos desprezar  $h^2$ .

Logo,

$$h = \frac{d^2}{2l} .$$

A velocidade do projétil será, então:

$$v_e = \frac{(m_e + m_p)}{m_e} d \sqrt{\frac{g}{l}} .$$

Podemos verificar então a Conservação do Momento Linear no choque:

$$v_e m_e = (m_e + m_p) d \sqrt{\frac{g}{l}} .$$

Os dados obtidos, através da realização da experiência, foram:

$$m_e = 3,51 \text{ g}$$

$$m_p = 3,94 \text{ g}$$

$$l = 11,00 \text{ cm}$$

e os demais se encontram na tabela abaixo. O valor de  $g$  utilizado nos cálculos foi

$$9,80 \frac{m}{s^2}.$$

$\theta$	Valores Teóricos			Valores Experimentais			
	$h'(m)$	$v_e(m/s)$	$p(kg.m/s)$	$\bar{d} (m)$	$v_e(m/s)$	$p(kg.m/s)$	E(%)
30°	$12,50 \times 10^{-2}$	1,565	$5,49 \times 10^{-3}$	$6,20 \times 10^{-2}$	1,240	$4,34 \times 10^{-3}$	21
45°	$15,20 \times 10^{-2}$	1,726	$6,06 \times 10^{-3}$	$7,30 \times 10^{-2}$	1,456	$5,11 \times 10^{-3}$	16
60°	$18,40 \times 10^{-2}$	1,899	$6,67 \times 10^{-3}$	$9,50 \times 10^{-2}$	1,895	$6,65 \times 10^{-3}$	0,30

Os valores teóricos da velocidade, indicados na tabela acima, foram obtidos utilizando-se a expressão da conservação da energia mecânica para a esfera:

$$m g h' = \frac{1}{2} m v_e^2$$

$$v_e = \sqrt{2 g h'},$$

na qual  $h'$  é a altura de lançamento da esfera em relação à posição do pêndulo. A partir dessa expressão, determinou-se o valor teórico da quantidade de movimento da esfera antes de chocar-se com o pêndulo.

A última coluna indica o erro percentual relativo. Como se observa, para ângulos maiores o erro cai consideravelmente, permitindo a obtenção de resultados excelentes. Como sugestão, fica a discussão do elevado erro para ângulos maiores.

## Referências Bibliográficas

GRUPO de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física. **Física: 2º grau/GETEF**. São Paulo: Saraiva, 1979. v. 1.

SEARS, Z. **Física mecânica: Hidrodinâmica**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.

PROJECTO Física: unidade 3 – Triunfo da Mecânica. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1978.