

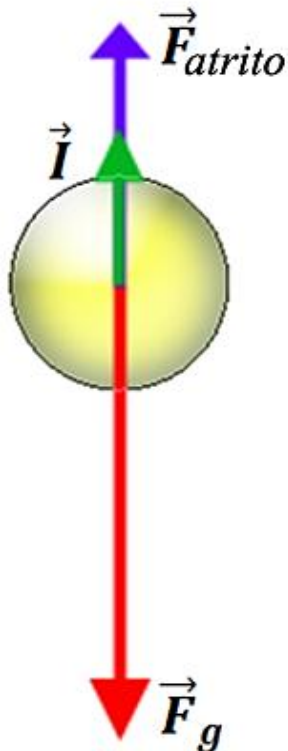
Objetivos

- ▶ Verificar se o coeficiente de restituição elástica, ε , é função da altura de lançamento de uma bola;
- ▶ Encontrar um modelo explicativo dos resultados experimentais.
- ▶ Analisar o potencial didático de dois métodos de aquisição distintos: vídeo-análise e medição de intervalos de tempo;

Enquadramento do trabalho

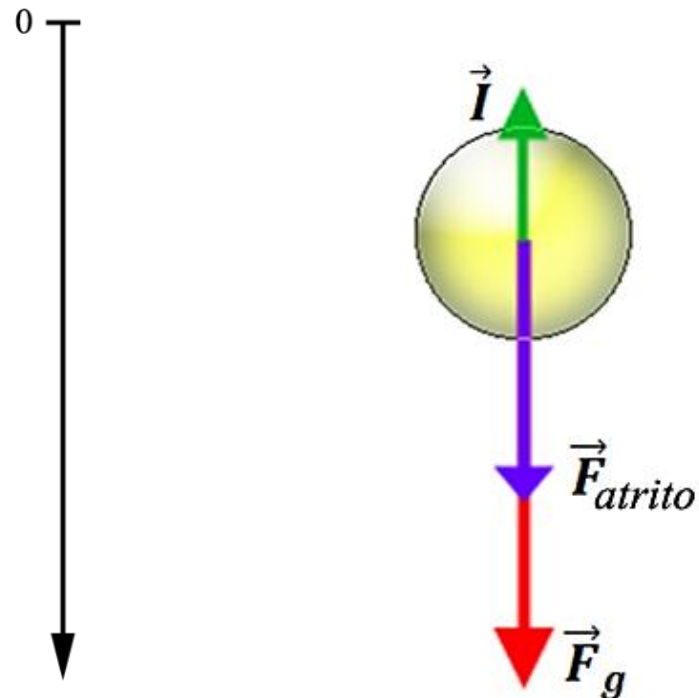
- ▶ Diagrama de movimento de uma bola ao longo da descida e da subida

Descida



$$F_g - I - F_{atrito} = ma$$

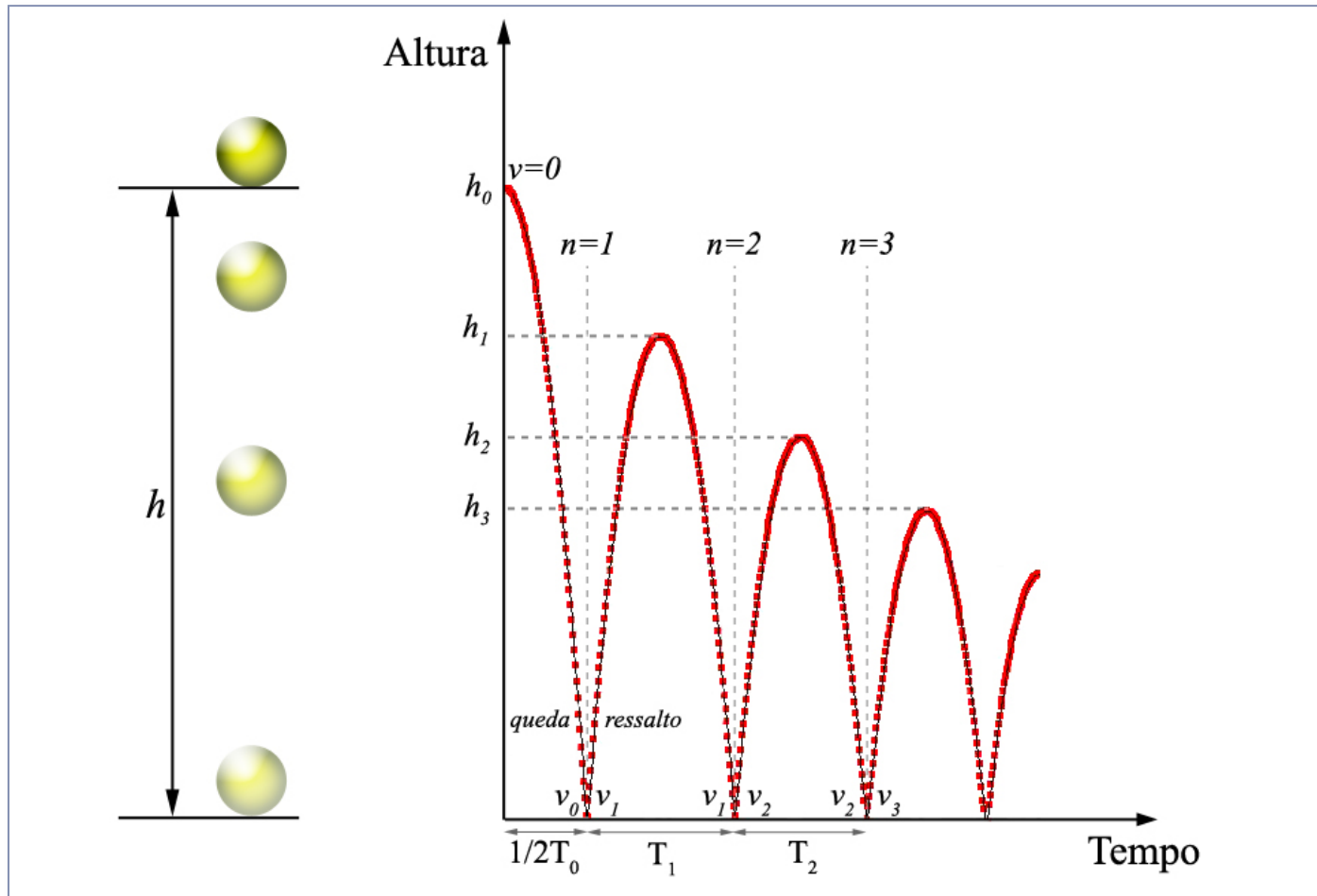
Subida



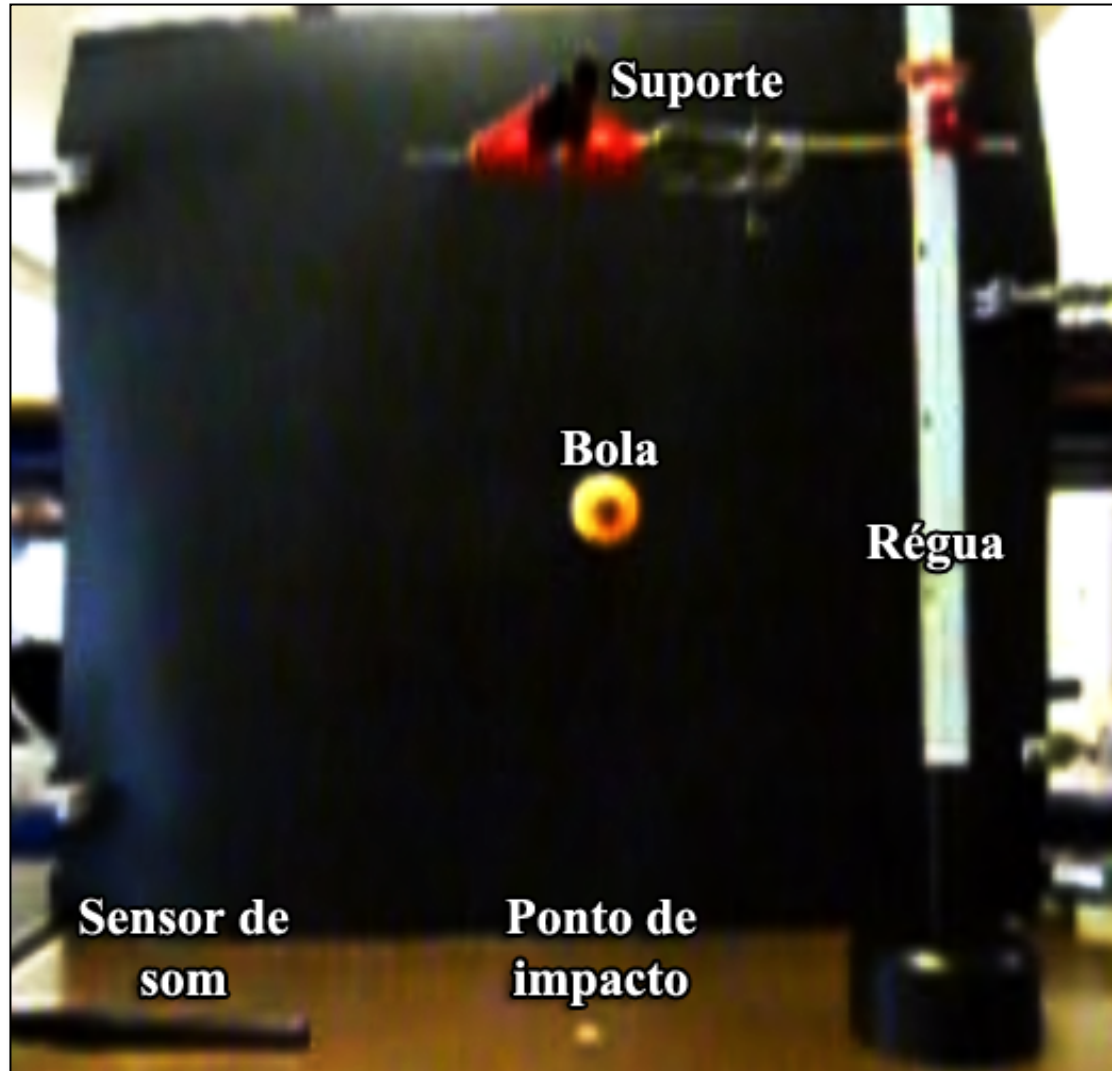
$$F_g - I + F_{atrito} = ma$$

Enquadramento do trabalho

- ▶ Representação do movimento de uma bola de ping-pong

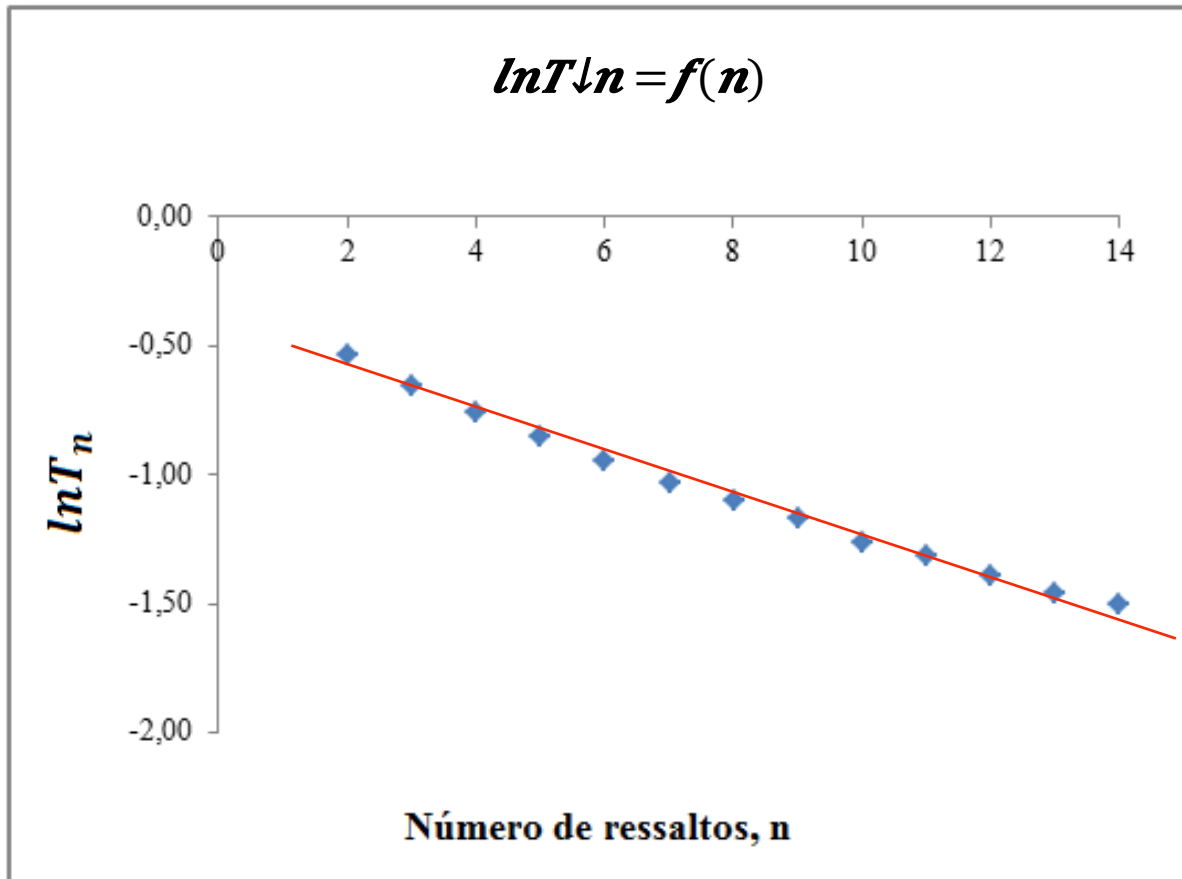


Esquema de montagem



Resultados Experimentais

- ▶ *Medição de intervalos de tempo com o sensor de som*



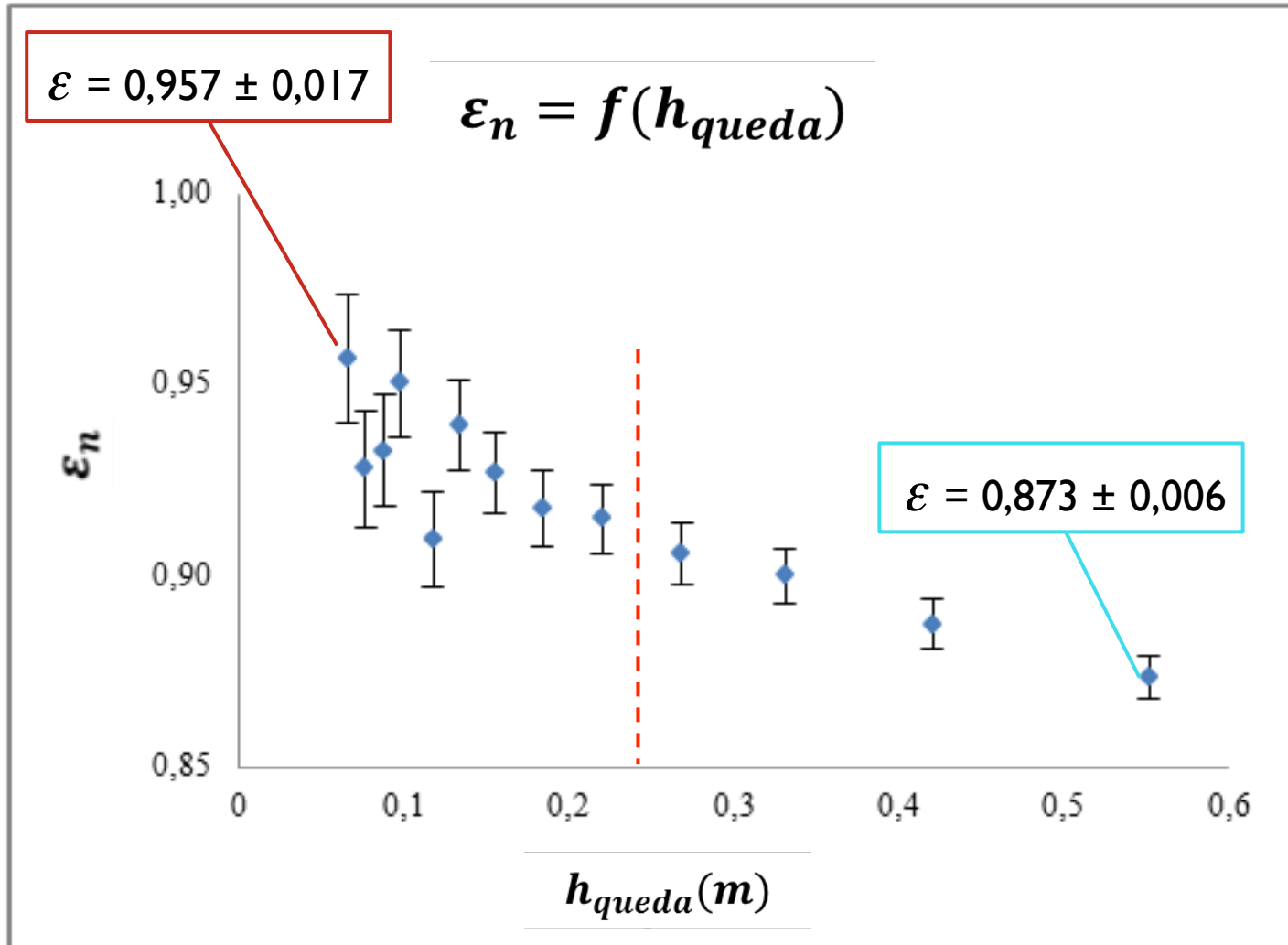
No modelo teórico que despreza a força de atrito, o valor de ε seria calculado a partir do declive da reta de ajuste:

$$\ln T \downarrow n = n \ln \varepsilon + \ln T \downarrow 0$$

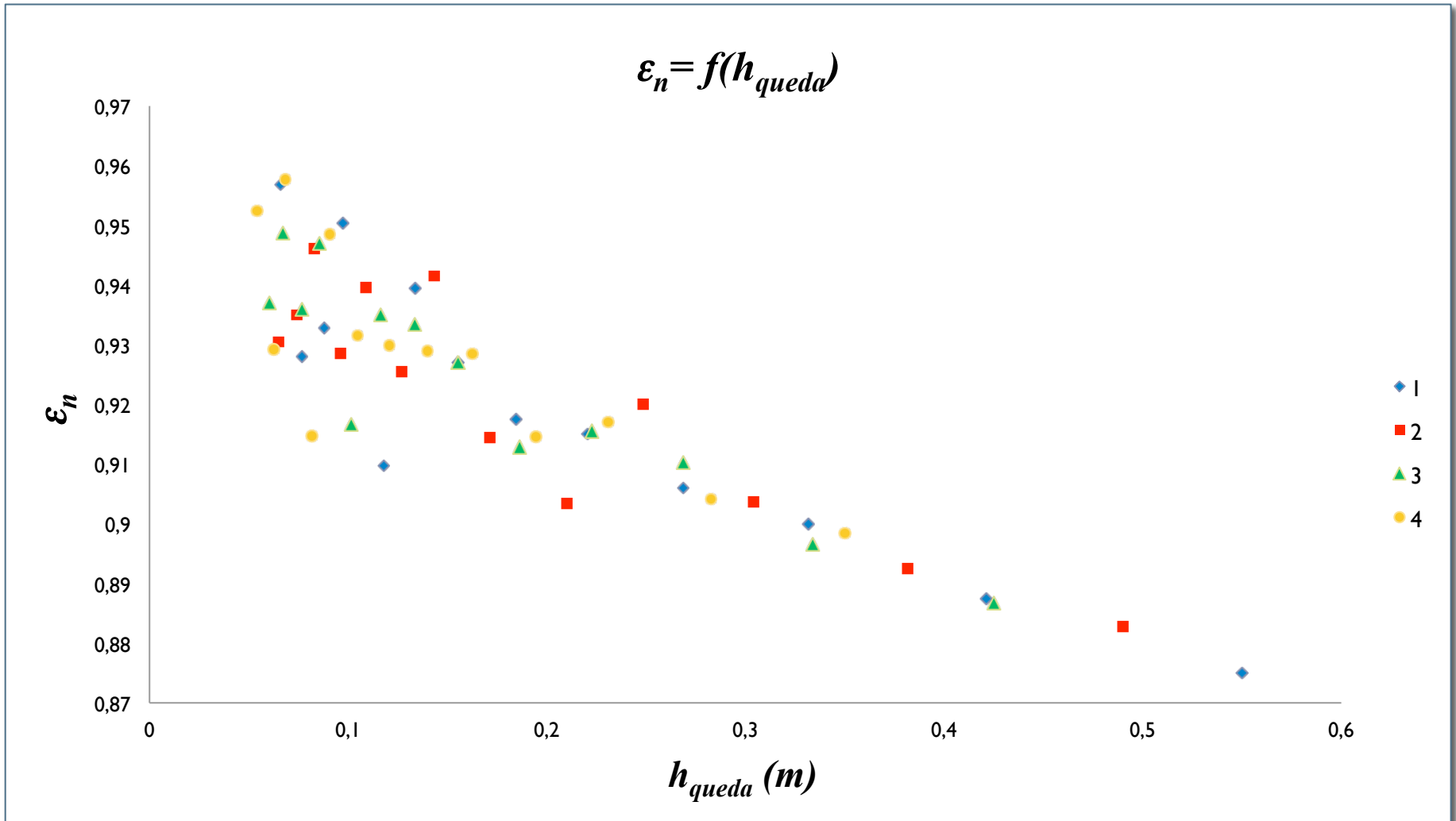
Dispersão de pontos sequencial, acima e abaixo da reta de ajuste

$$R^2 = 0,9896$$

Resultados Experimentais



Discussão



Discussão

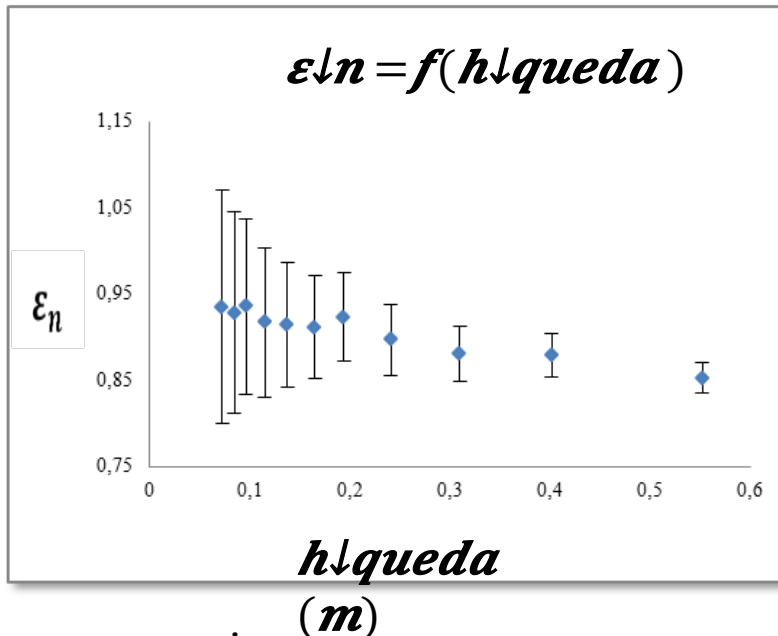
O valor da força de arrasto e da impulsão do ar relativamente ao valor da força gravítica são desprezáveis?

n	h_{queda} (m)	ϵ_n	$\frac{F_a}{F_g}$ (%)
1	0,55210	0,87333	12,94
2	0,42109	0,88737	9,87
3	0,33158	0,90000	7,77
4	0,26858	0,90598	6,29
5	0,22045	0,91509	5,17
6	0,18460	0,91753	4,33
7	0,15541	0,92697	3,64
8	0,13354	0,93939	3,13
9	0,11784	0,90968	2,76
10	0,09752	0,95035	2,29
11	0,08807	0,93284	2,06
12	0,07664	0,92800	1,80
13	0,06600	0,95690	1,55

$$\overline{\epsilon} = 0,933 \pm 0,016$$

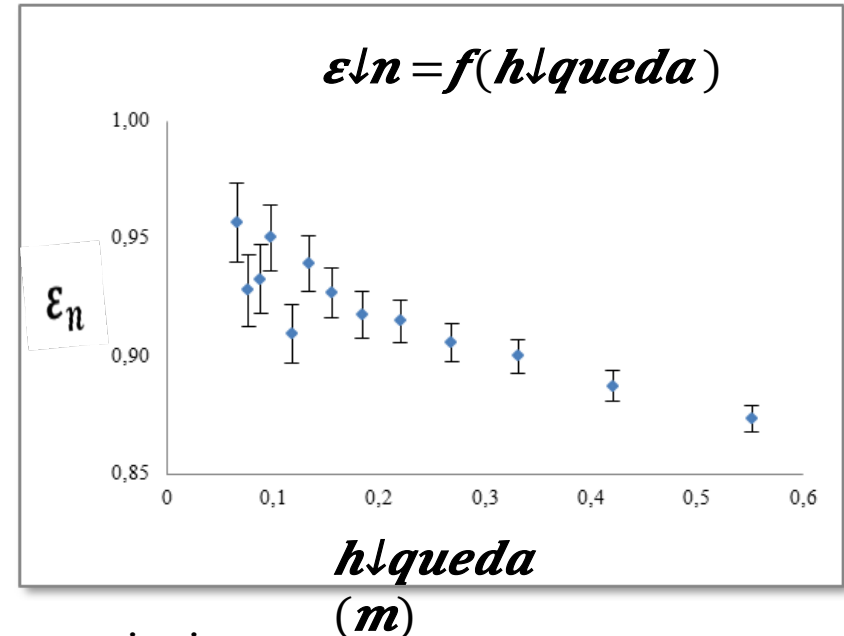
Discussão

Análise vídeo



- ▶ menos rigoroso
- ▶ inconclusivo relativamente à força de atrito
- ▶ menores custos com equipamento
- ▶ análise mais simples
- ▶ adequado a nível de 10º ano

Medição de intervalos de tempo



- ▶ mais rigoroso
- ▶ permite explorar efeito da força de atrito
- ▶ maiores custos com equipamento
- ▶ análise mais complexa
- ▶ adequado para trabalho projeto

Conclusões

- ▶ Determinou-se experimentalmente o valor do coeficiente de restituição de uma bola de ping-pong que ressalta numa superfície de madeira maciça.
- ▶ Mediu-se a altura de queda e de ressalto por análise vídeo do movimento; o intervalo de tempo entre dois impactos sucessivos foi medido na sequência do registo da intensidade sonora de cada impacto.
- ▶ Observou-se que o valor do coeficiente de restituição diminuía com o aumento da altura de queda para valores superiores a 20 cm.
- ▶ Concluiu-se que a aparente diminuição do coeficiente de restituição em função da altura de queda pode ser uma deficiência do modelo utilizado que não considera o efeito da força de atrito do ar.
- ▶ Concluiu-se que o método da análise vídeo pode constituir uma alternativa ao método que utiliza o sensor de movimento, ao nível de 10º ano; o método da medição dos intervalos de tempo é mais adequado para trabalho projeto.

Obrigada



Referências

- [1] D.Amarani, In: Eur. J. Phys. 31, IOP Publishing. Ed, 717-725 (2010).
- [2] M. Nagurka, Int. J. Engng Ed, 19 (4), 623-630 (2003).
- [3] M. Nagurka, A Simple Dynamics Experiment Based On Acoustic Emission, Mechatronics, 12 (2), 229-239 (2002).
- [4] Ministério da Educação / Departamento do Ensino Secundário (2003) – Programa de Física e Química A - 10º Ano.

Enquadramento do trabalho

Supondo que durante a queda e ascensão da bola a energia mecânica se conserva:

Método Tracker

- ▶ Determinação de ε com base na reta de ajuste do gráfico $h \downarrow \text{ressalto} = f(h \downarrow \text{queda})$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{h_{\text{ressalto}}}{h_{\text{queda}}}}$$

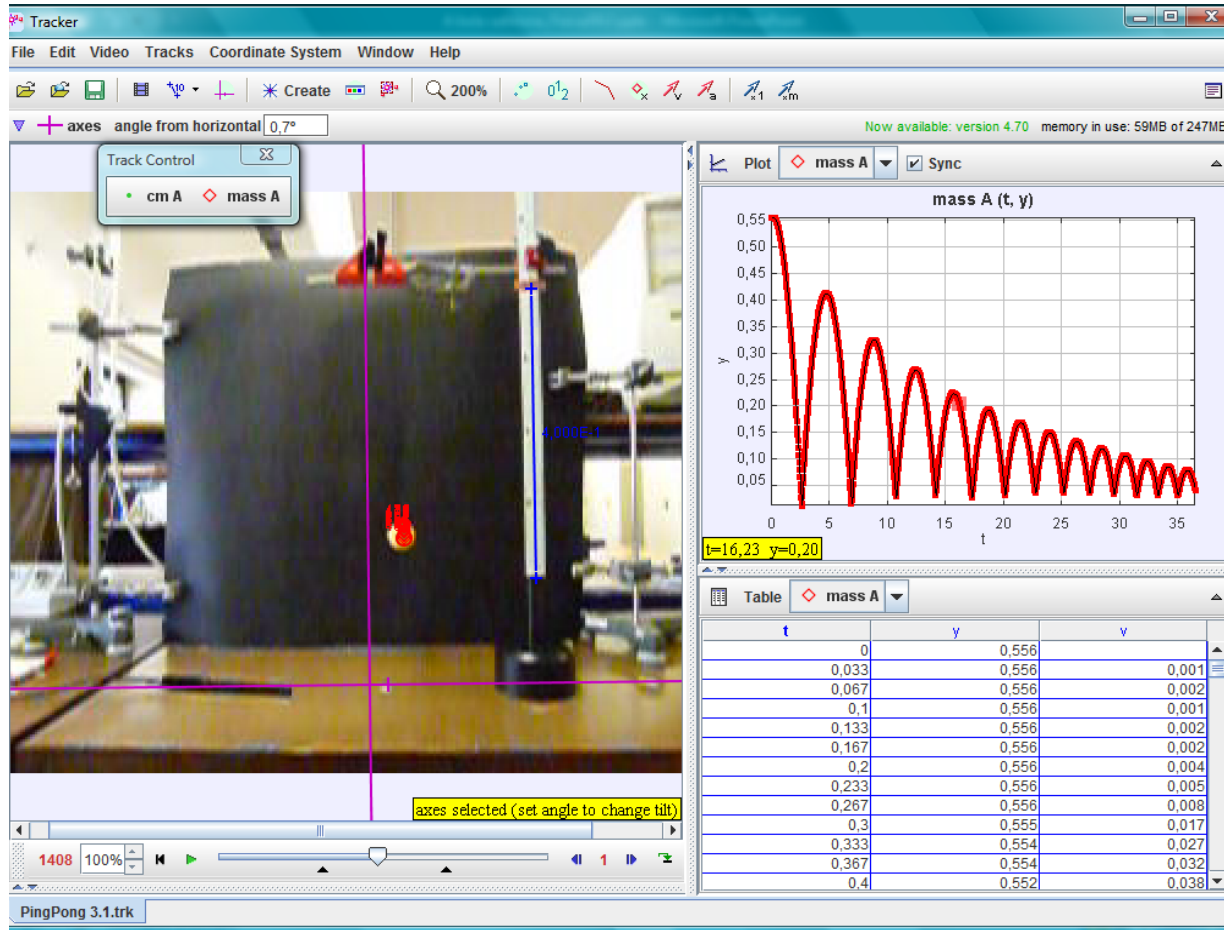
Método LoggerPro

- ▶ Determinação de ε com base na reta de ajuste do gráfico $\ln T \downarrow n = f(n)$

$$\ln T_n = n \ln \varepsilon + \ln T_0, \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

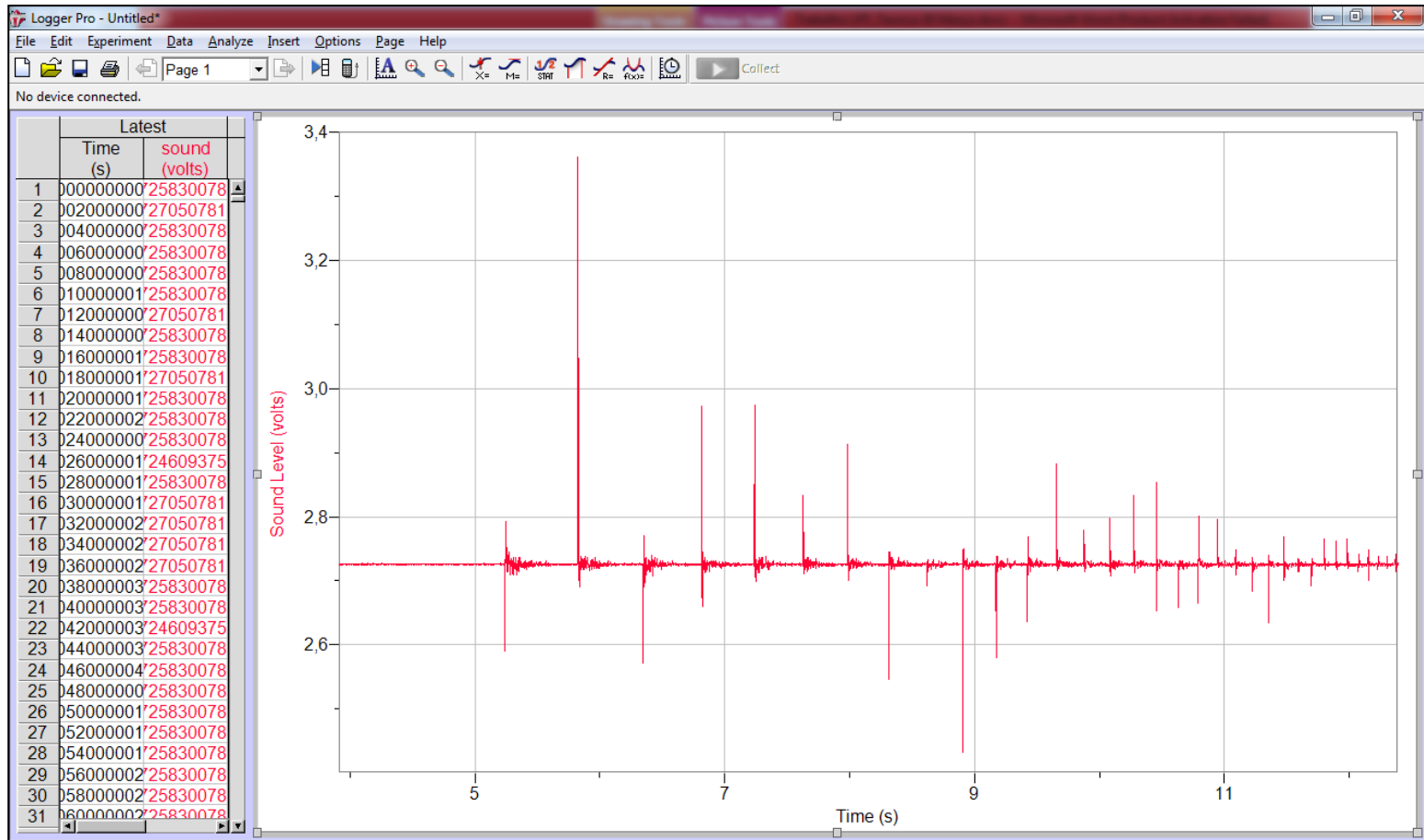
Metodologia

▶ Medição de alturas – Software Tracker 4.60

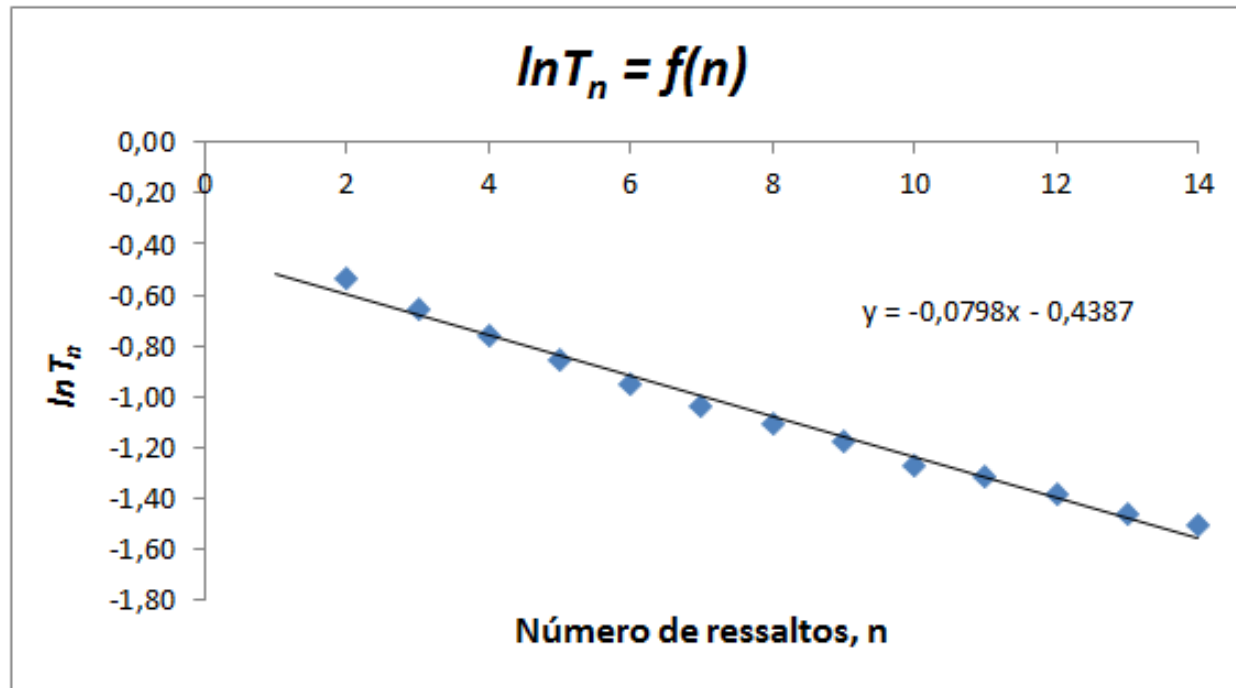


- ▶ Máquina fotográfica da marca Panasonic Lumix DMC-FZ100
- ▶ Capacidade de registo de 220 frames / s
- ▶ Software de uso livre Tracker 4.60
- ▶ Sensor de som da Vernier.
- ▶ Capacidade de aquisição de 500 amostras / s
- ▶ Software LoggerPro 3.5.

► Medição de intervalos de tempo - Software LoggerPro 3.5



Discussão



m	-0,07978
b	-0,43868

ε	0,923319
T_0	0,322443

m	-0,07978	-0,43868	b
Δm	0,002464	0,021762	Δb
r^2	0,989616	0,033242	Desvio padrão

Análise de erros

- ▶ **Majoração de incerteza dos dados recolhidos com o programa Logger Pro**

$$\varepsilon_n = \frac{T_n}{T_{n-1}} \Rightarrow \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta T_n}{T_n} + \frac{\Delta T_{n-1}}{T_{n-1}} \Rightarrow \Delta\varepsilon = \varepsilon \left(\frac{\Delta T_n}{T_n} + \frac{\Delta T_{n-1}}{T_{n-1}} \right), \quad n > 1$$

- ▶ **Majoração de incerteza dos dados recolhidos com o programa Tracker**

$$\varepsilon_n = \sqrt{\frac{h_n}{h_{n-1}}} \Rightarrow \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta h_n}{h_n} + \frac{\Delta h_{n-1}}{h_{n-1}} \right) \Rightarrow \Delta\varepsilon = \varepsilon \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta h_n}{h_n} + \frac{\Delta h_{n-1}}{h_{n-1}} \right)$$

O valor da força de arrasto e da impulsão do ar relativamente ao valor da força gravítica são desprezáveis?

- ▶ Cálculo aproximado por majoração dos valores da velocidade:

$$I = \rho_{\text{ar}} \times g \times V_{\text{esfera}} \Leftrightarrow I/F_g \times 100 = 1,5\%$$

$$F_{\text{arrasto}} = \frac{1}{2} \rho A C_D v^2 \Leftrightarrow F_{\text{arrasto}} / F_g \times 100$$

Esquema de montagem – Filme

