



# *Introdução à Física Experimental*

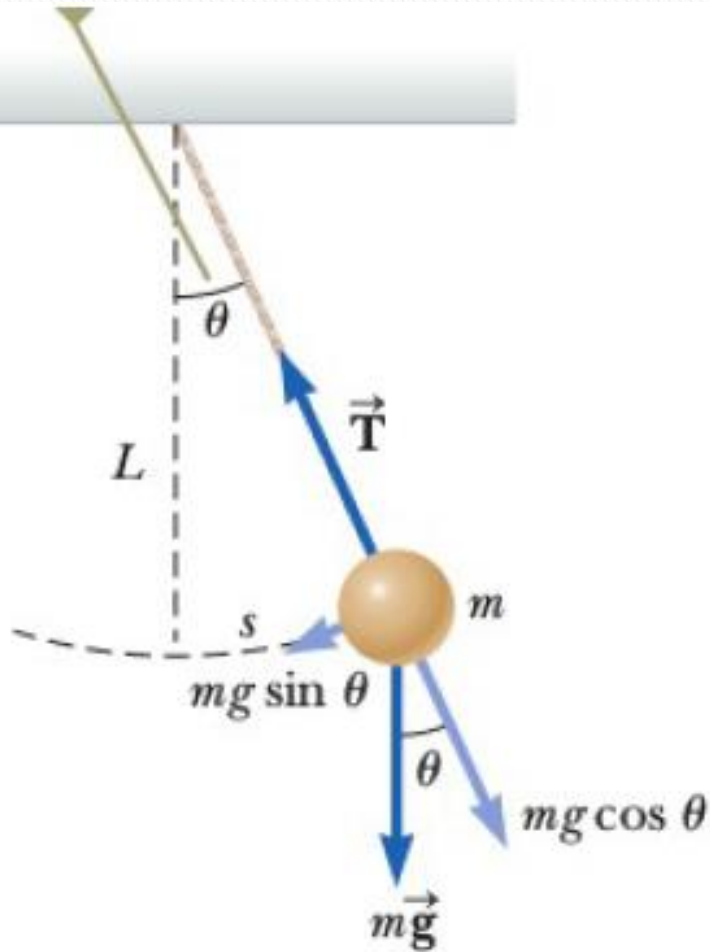
Licenciatura em Física  
1º período

Aula 7: Determinação de  $g$  através do estudo de um Pêndulo simples

*Profa Marcia Saito*

[marcia.saito@ifpr.edu.br](mailto:marcia.saito@ifpr.edu.br)

# Pêndulo simples



- ▶ Aplicando as Leis de Newton, é possível deduzir que (para ângulos pequenos):
- ▶  $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$
- ▶ Não é uma função linear
- ▶ Como encontrar  $g$  experimentalmente?

# Linearização de funções

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

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

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

$\blacktriangleright L \times T^2$  é uma função linear

$$\blacktriangleright a = \frac{g}{4\pi^2} \text{ (coef. Angular)}$$

**Temos que  
medir L e T**

# Experiência

- ▶ Construir pêndulos de diferentes  $L$  (10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm e 30 cm)
- ▶ Aproximação teórica: promover oscilações de ângulos pequenos ( $<15^\circ$ ) – explicar na Introdução teórica porquê
- ▶ Medir o tempo de 10 oscilações ( $10T$ ) – explicar nos procedimentos porquê
- ▶ Medir  $10T$  3 vezes e fazer uma média aritmética – explicar nos procedimentos porquê
- ▶ Nesse caso, podemos desprezar a incerteza em  $T$  – justificar nos procedimentos porquê

# Exemplos de resultados

1) Medida direta com instrumento de medida:

$$(2,74 \pm 0,05) \text{ cm} \quad \text{Unidade de medida}$$

Resultado da  
medição

Precisão do  
instrumento



Mesmo nº de casas decimais

2) Resultado de uma série de medidas:

$$(4,53 \pm 0,15) \text{ mm} \quad \text{Unidade de medida}$$

Média aritmética

$$\sigma = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_{inst}^2} \quad (\text{c/ 2 alg. Signif.})$$



Mesmo nº de casas decimais

# Exemplos de resultados

3) Resultado de um cálculo envolvendo medidas diretas:

$$(9,7 \pm 2,5) \text{ mm}^3 \quad \text{Unidade de medida}$$

Resultado do cálculo

$$\sigma_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2}$$

(c/ 2 alg. Signif.)



Mesmo nº de casas decimais

# Exemplos de resultados

4) Resultado obtido através de um gráfico linear:

$(5,8) \pm (1,6) \text{ m/s}^2$  Unidade de medida

Coeficiente angular da reta média (a)  $\sigma_a = \frac{|a_{max} - a_{min}|}{2}$   
(c/ 2 alg. Signif.)



Mesmo nº de casas decimais

# Regras gerais para confecção de gráficos

- ▶ Todo gráfico é composto dos seguintes itens:
  - Título e legenda do gráfico;
  - Eixos das variáveis com os nomes das variáveis, escalas e unidades;
  - Dados experimentais e incertezas;
  - Funções teóricas ou curvas médias (esse último item é opcional e, dependendo das circunstâncias, pode ser omitido);



# Regras gerais para confecção de gráficos

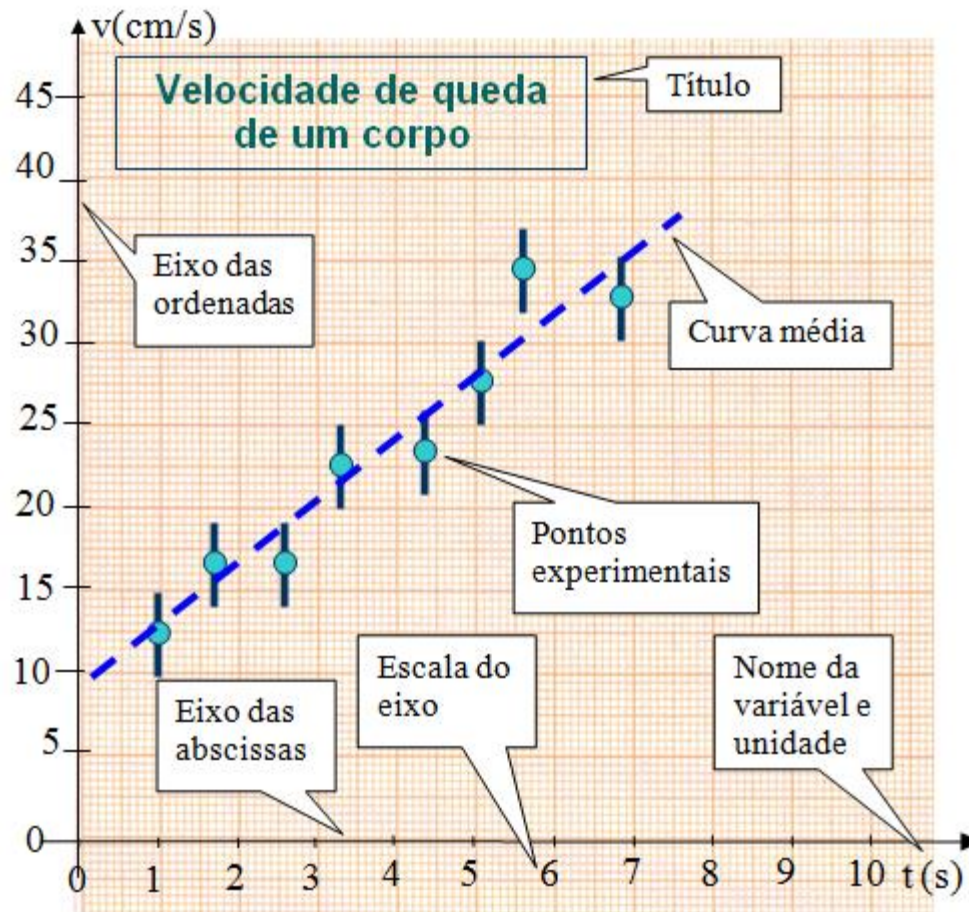


Figura 3.1. Componentes típicos de um gráfico científico padrão.

# Regras gerais para confecção de gráficos

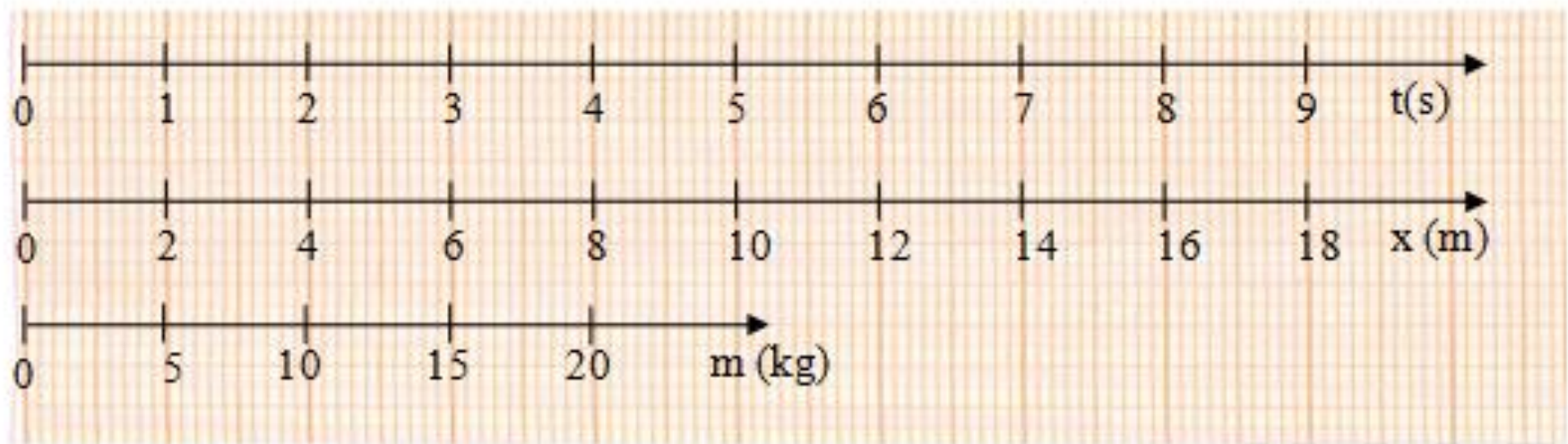


Figura 3.2. Alguns exemplos de formas CORRETAS de desenhar eixos em um gráfico.

# Regras gerais para confecção de gráficos

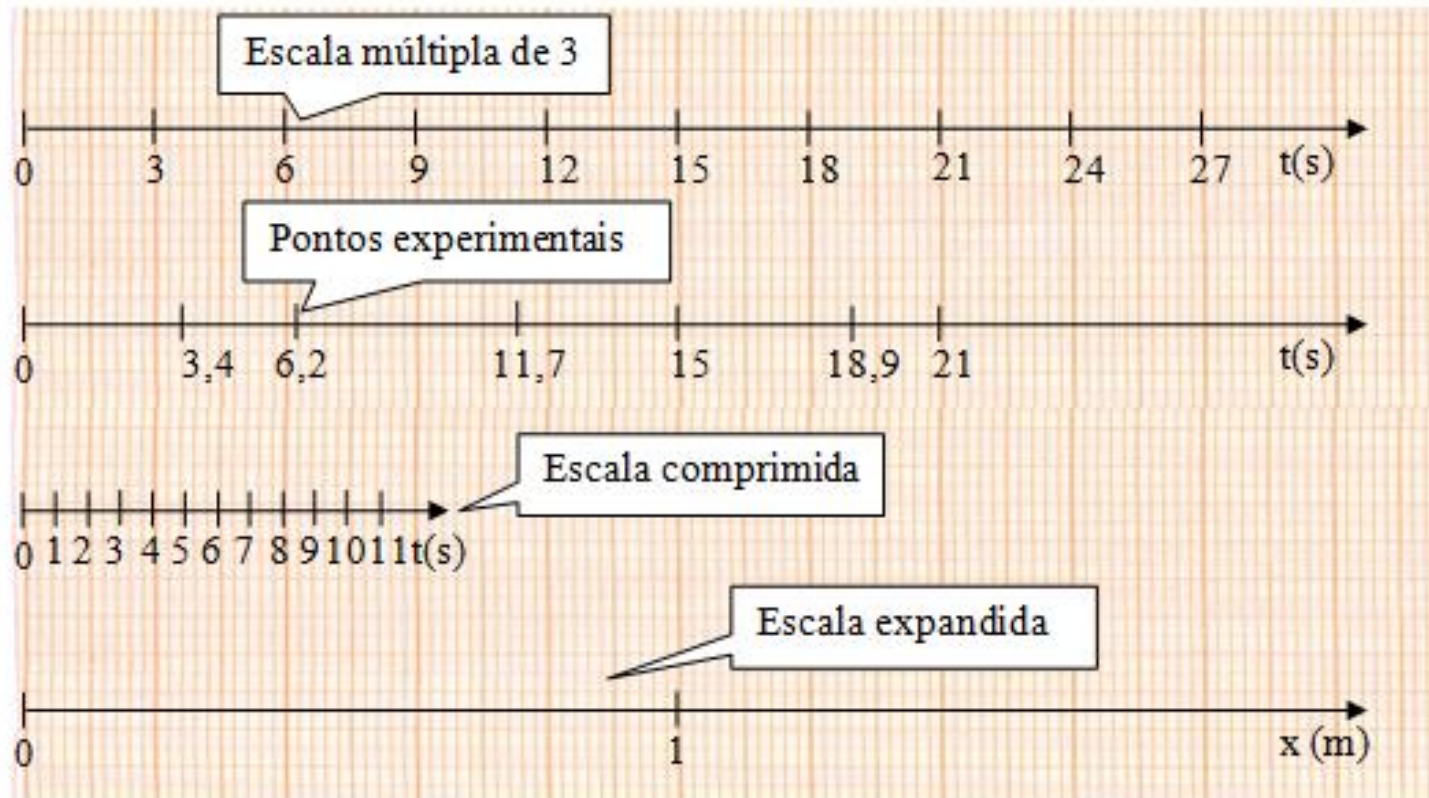


Figura 3.3. Algumas formas INCORRETAS de desenhar eixo em um gráfico.

# Traçando curvas médias

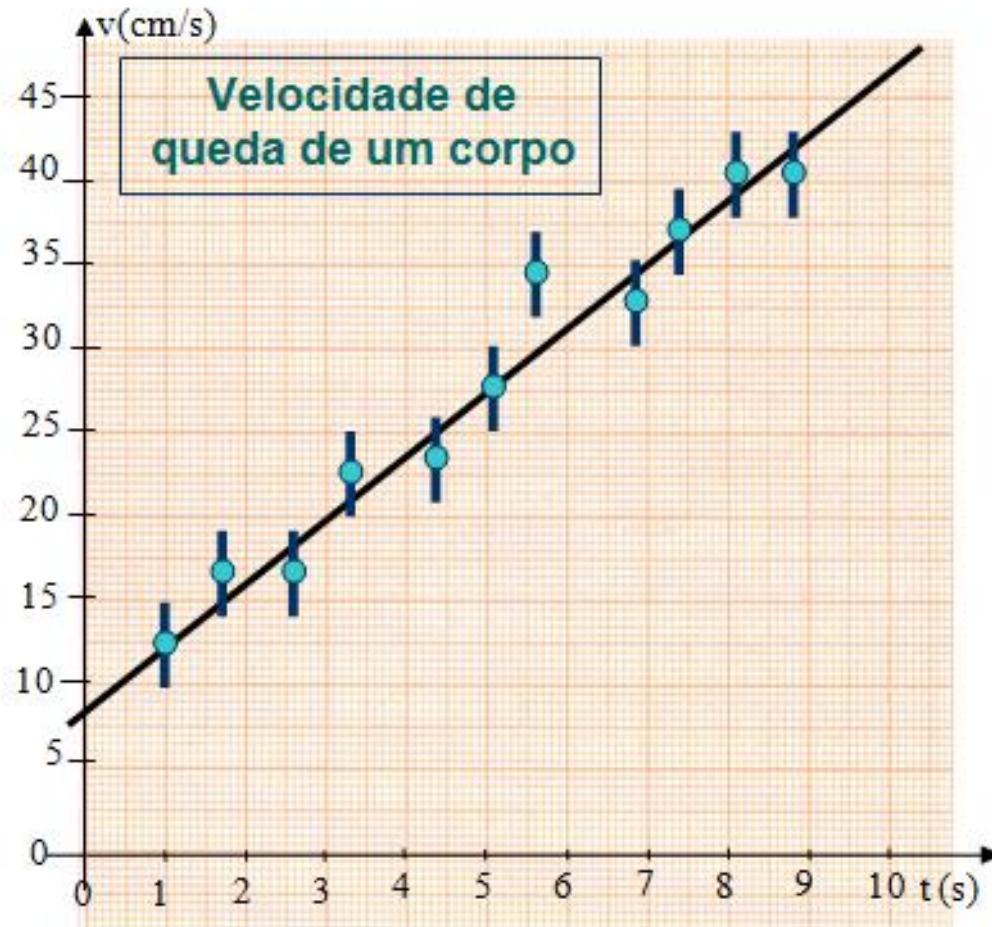


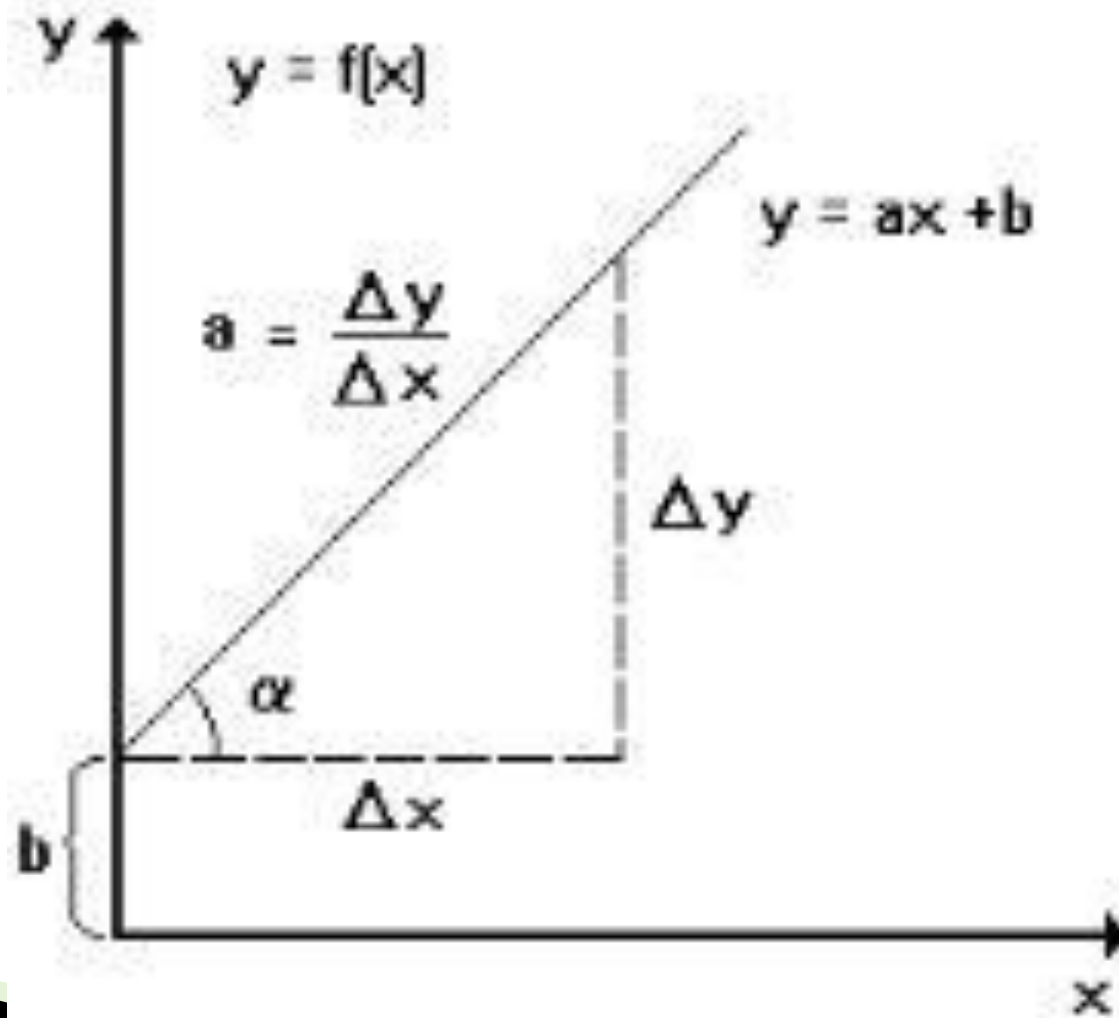
Figura 4.6. Velocidade de queda de um ovo com a sua respectiva reta média que é utilizada para extrair informações numéricas a respeito do movimento de queda.

# Gráficos lineares

- ▶ Equação da reta:
  - $y$ : variável dependente
  - $X$ : variável independente
  - $a$ : coeficiente angular
  - $b$ : coeficiente linear.

$$y = ax + b$$

# Gráficos lineares



# Avaliação de incertezas nos coeficientes angular e linear

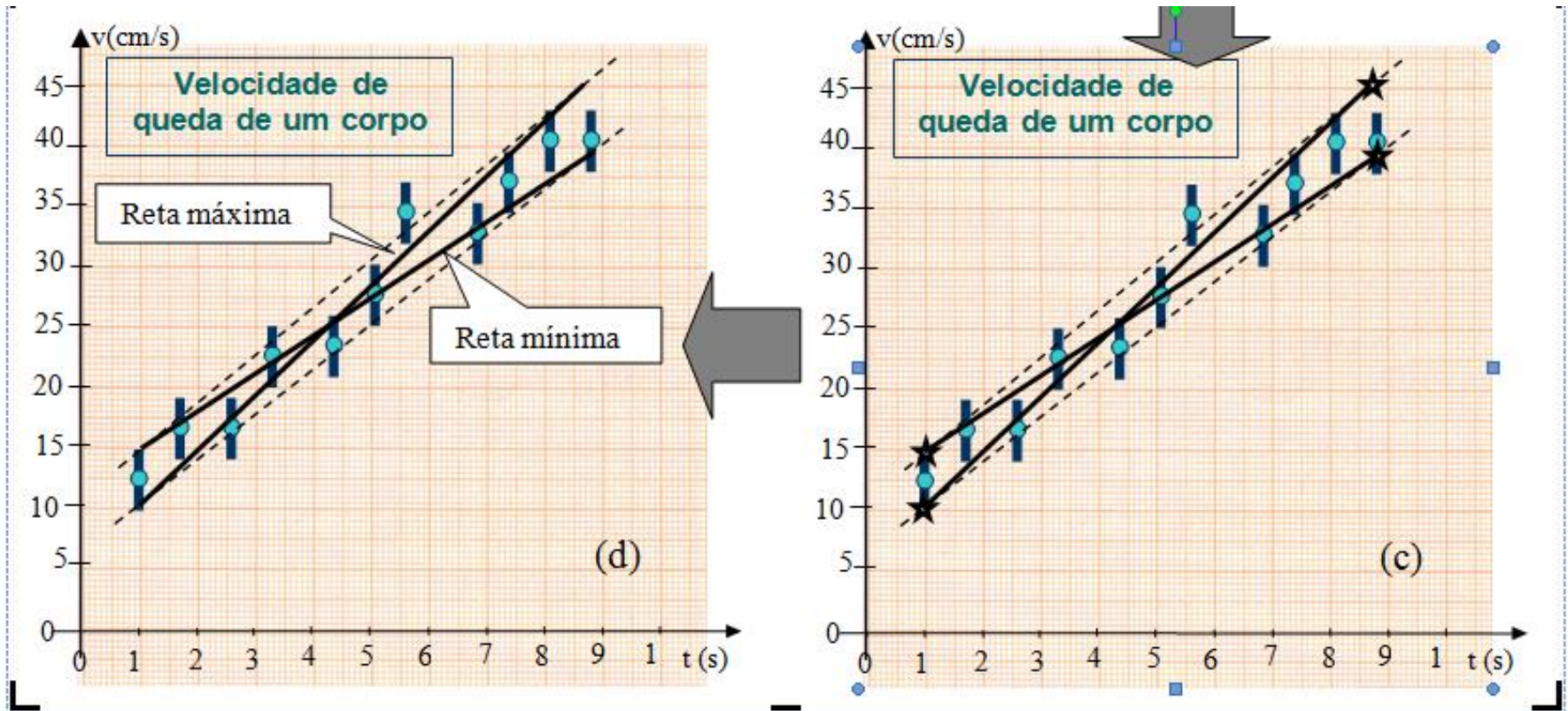
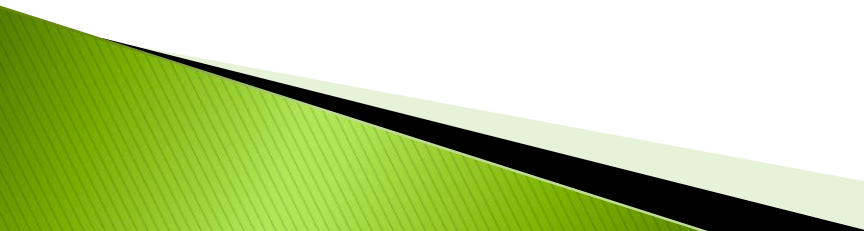


Figura 4.8. Procedimento para estimar as incertezas nos coeficientes da reta média.

# Discussão dos gráficos

- ▶ Após a confecção dos gráficos, os mesmos devem ser discutidos:
  - ▶ Os pontos ficaram bem distribuídos em torno da reta média?
  - ▶ A função que rege o fenômeno pode ser de fato considerada linear?
  - ▶ Houve algum ponto que ficou muito destoante dos outros? O que pode ter ocorrido? Erro de medição? Interferência experimental?
- 



# Avaliação de incertezas nos coeficientes angular e linear

- ▶ Retas máxima e mínima
- ▶ Para cada reta, calcula-se os coeficientes angulares e lineares

$a_{max}$ ,  $b_{max}$ ,  $a_{min}$ ,  $b_{min}$ .

# Avaliação de incertezas nos coeficientes angular e linear

- ▶ As incertezas nos coeficientes da reta média podem ser obtidas através das expressões:

$$\sigma_a = \frac{|a_{\max} - a_{\min}|}{2} \quad \text{e} \quad \sigma_b = \frac{|b_{\max} - b_{\min}|}{2}$$

# Resultados a partir da linearização

- A partir da linearização será obtido:

$$a = (a \pm \sigma_a) \text{ m/s}^2$$

- Para obter  $g$ :

- $a = \frac{g}{4\pi^2}$

- $g = 4\pi^2 a$

- $g = (g \pm \sigma_g) \text{ m/s}^2$

- $\sigma_g$ : através da propagação dos erros

# Resultados a partir da linearização

- Comparar  $g = (g \pm \sigma_g)$  m/s<sup>2</sup> com  $g$  teórico através do E%:

$$E\% = \left| \frac{g_{teo} - g_{exp}}{g_{teo}} \right| \cdot 100$$

- O E% também deve ser apresentado com apenas **2 algarismos significativos!!**

# Relatório completo (entrega: 09/05)

1. Objetivo
2. Materiais utilizados
3. Introdução teórica (Dedução da expressão do  $T$  do pêndulo simples, pela aplicação das Leis de Newton)
4. Procedimento experimental (relatar os cuidados tomados para diminuir as interferências e incertezas)
5. Resultados e discussão (dados obtidos, tabelas, cálculos, gráficos, etc., discussão dos gráficos, comparação e discussão com o valor teórico)
6. Conclusões
7. Bibliografia