

Introdução às Medidas em Física

4300152

7^a Aula

Experiência IV:

Movimento de Queda

Objetivos:

Estudar o movimento de queda de um objeto

Medidas indiretas

Medida da velocidade de um objeto

Análise de dados

Análise Gráfica

Comparação com um modelo

Hipótese sobre o movimento

Um corpo em queda está sob a influência de uma força constante, a força da gravidade, portanto se movimenta com uma aceleração constante:

$$\vec{F} = m \vec{g} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \hat{i}$$

Hipótese sobre o movimento

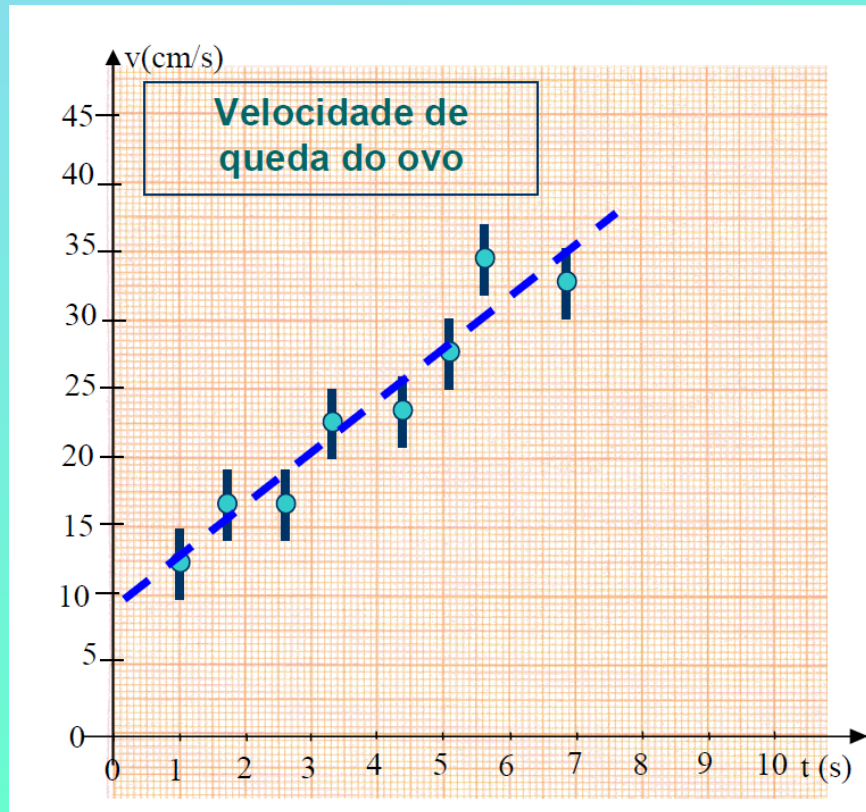
Se essa hipótese estiver correta, o movimento de um corpo caindo livremente (sem outras forças agindo sobre ele além da gravidade) será dado por:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t$$

$$\vec{x}(t) = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{g}}{2} \cdot t^2$$

Representação Gráfica

Representando graficamente a velocidade (eixo-y ou variável dependente) em função do tempo (eixo-x ou variável independente)



Experimento

Medir o movimento de queda de um objeto usando:

um corpo em forma oval com um anel condutor a sua volta;

um trilho com dois fios condutores;

um eletroímã que segura o corpo no topo do trilho;

um faiscador que gera faíscas entre o anel condutor do corpo em queda e os fios do trilho a cada $1/60$ segundos (frequência da rede elétrica);

uma fita que permite registrar as faíscas.

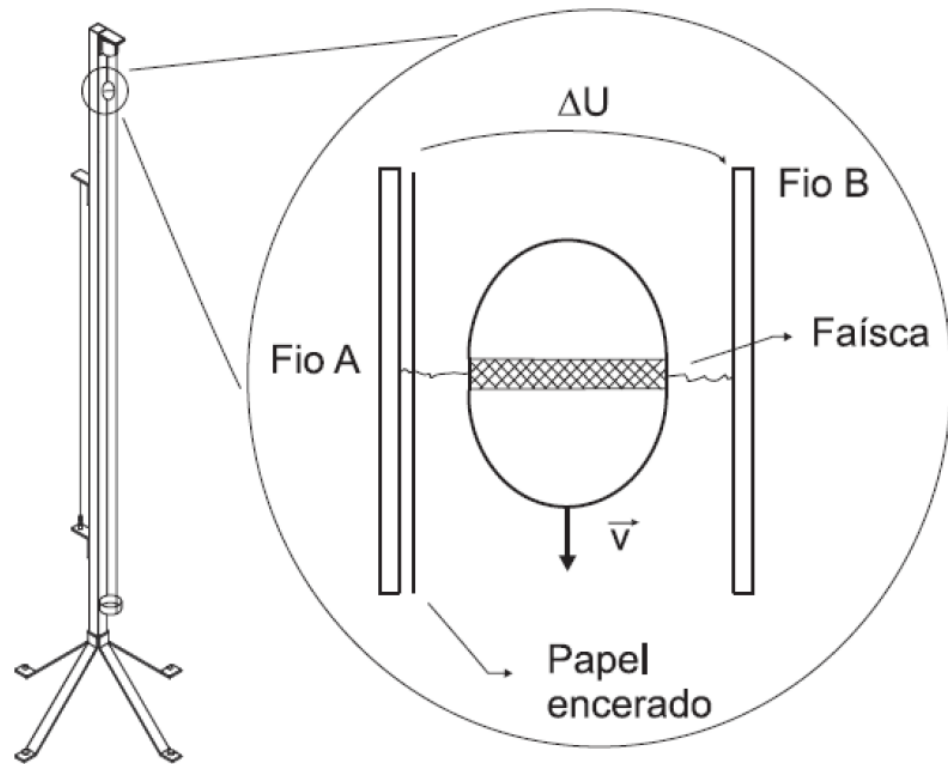
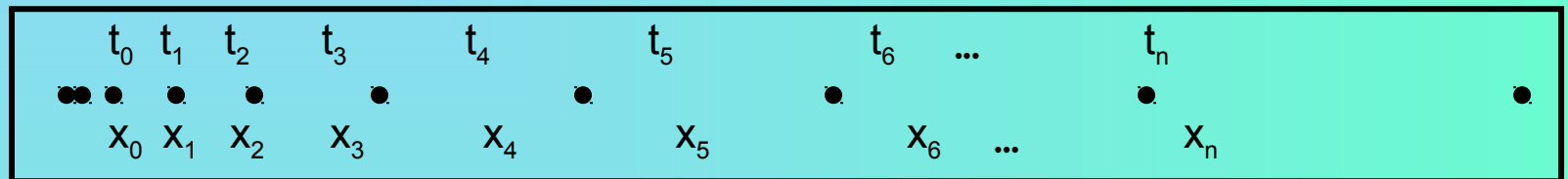


Figura 5.1: equipamento utilizado para o estudo da queda do corpo. As faíscas provocadas pelos pulsos de alta tensão entre os dois fios marcam um papel encerado.

Resultado do Experimento



Que dados obtivemos?

Posição em função do tempo.

Como determinar o tempo (ou instante) de cada posição?

Escolher $t=0$ e usar a frequência da rede (1/60 s).

Como podemos calcular a velocidade do objeto em cada instante (t_n)?

A velocidade média entre dois pontos é dada por:

$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

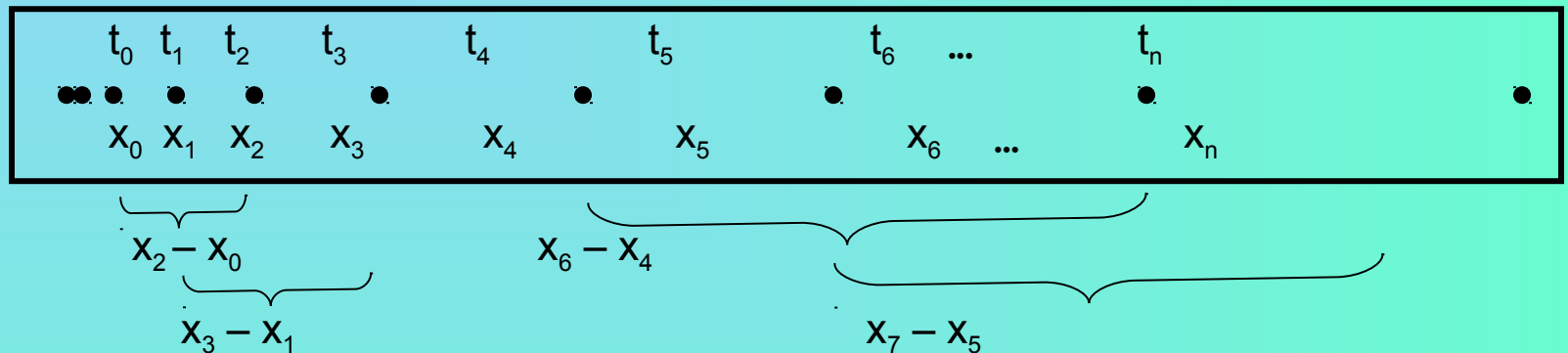
onde Δx é a distância entre esses dois pontos e Δt é o intervalo de tempo que o objeto levou para ir do primeiro para o segundo ponto.

A velocidade instantânea para um corpo que se move a aceleração constante é dada por

onde,

$$v_i(t') = v_{\text{media}} \quad t' = (t_i + t_f) / 2 = t_{\text{medio}}$$

Análise de dados



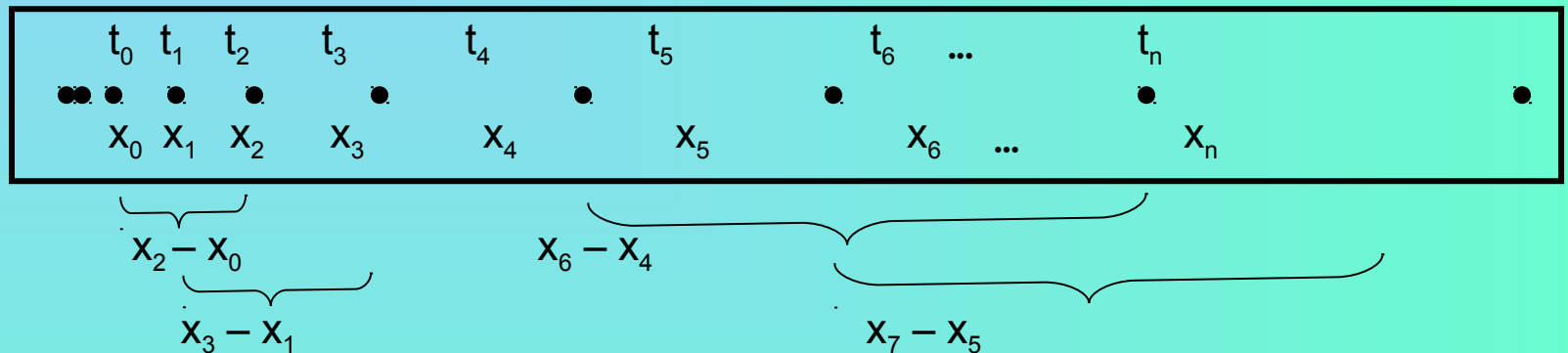
Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):

$$\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$$

$$t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$$

que leva a $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$ no instante $t_{\text{médio}}$

Análise de dados



Qual é a incerteza em Δx ?

Devemos considerar uma incerteza no instante t ?

Qual é a incerteza na velocidade?

Análise de dados

Como podemos verificar se o modelo da queda livre descreve o nosso experimento?

Propostas:

Checar dependência linear entre velocidade ($v(t)$) e tempo (t)

Representação gráfica

Obter g a partir de ajustes de reta

Calcular valores esperados para g obtido

Compatibilidade entre x_0 e v_0 esperados

Representação gráfica

Legendas

Variáveis + unidades

Escalas

Múltiplos

(x10) de 1,2 ou 5

Marcar

Somente

valores de

Referência

nos eixos

Título

Pontos experimentais

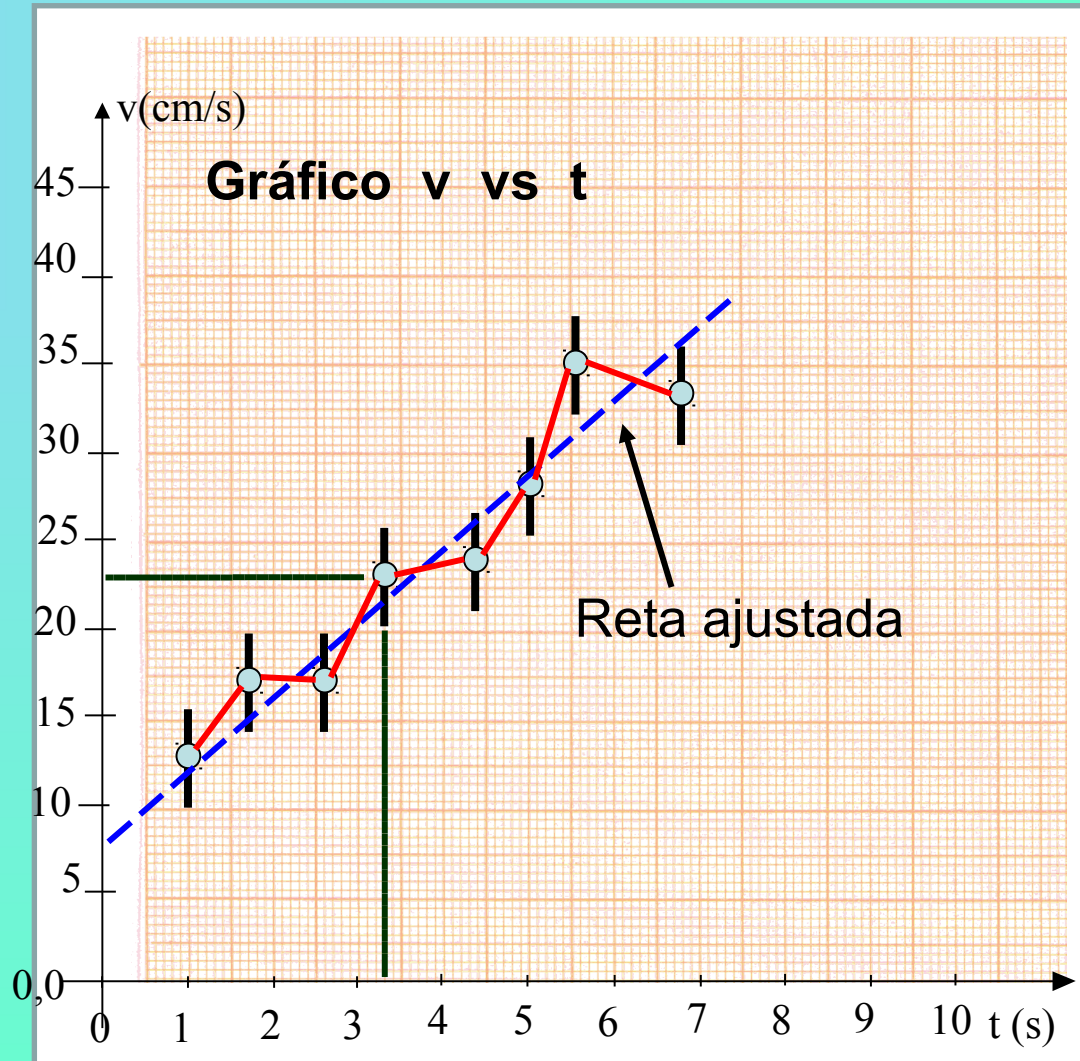
Valor + incerteza

Sem linhas de conexão

Sem linhas auxiliares

Ajuste de curva

Normalmente reta



Extraindo parâmetros do ajuste

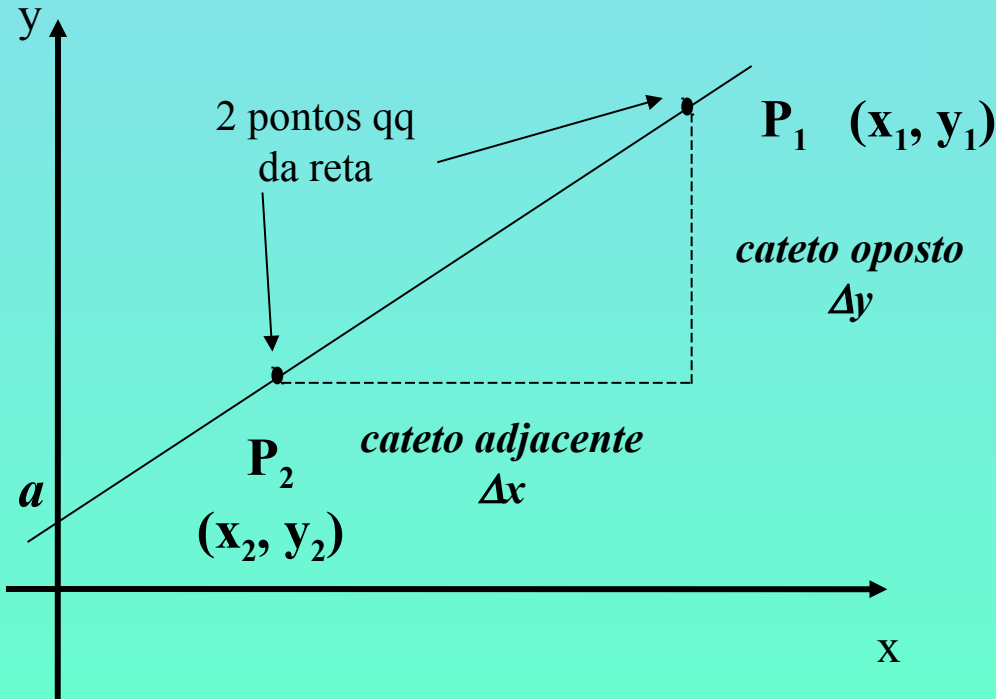
$$y = a + b x$$

Coef linear

Coef angular

$$b = \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)}$$

$b = \text{cateto oposto} / \text{cateto adjacente}$



$$y = a + b \cdot x$$
$$v(t) = v_0 + g \cdot t$$

Análise Gráfica

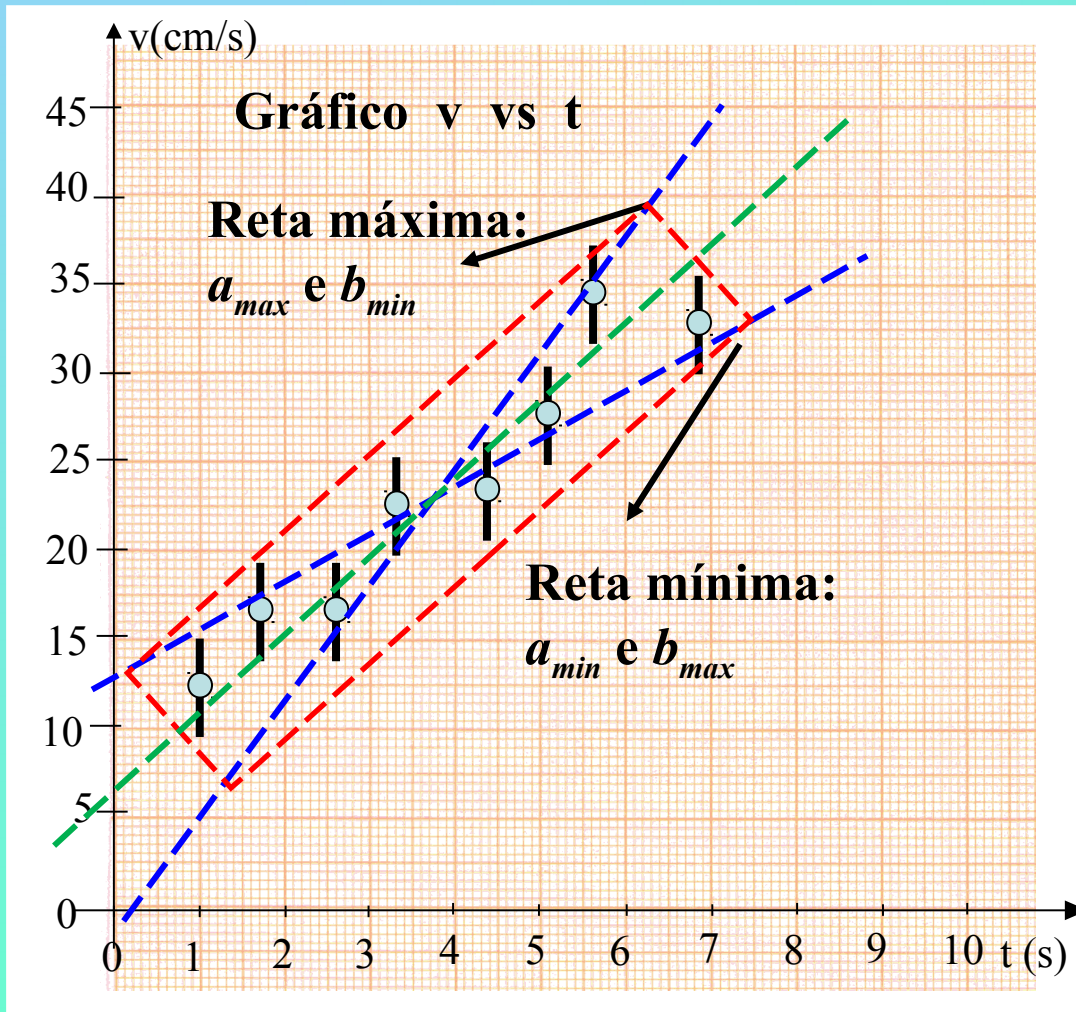
Qual é a incerteza de a (v_0) e b (g)? Como podemos estimá-la?

Também o faremos graficamente:

tomando a reta de maior inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros máximo a_{max} e mínimo b_{min} ;

e a reta de menor inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros mínimo a_{min} e máximo b_{max} ;

Incerteza dos parâmetros



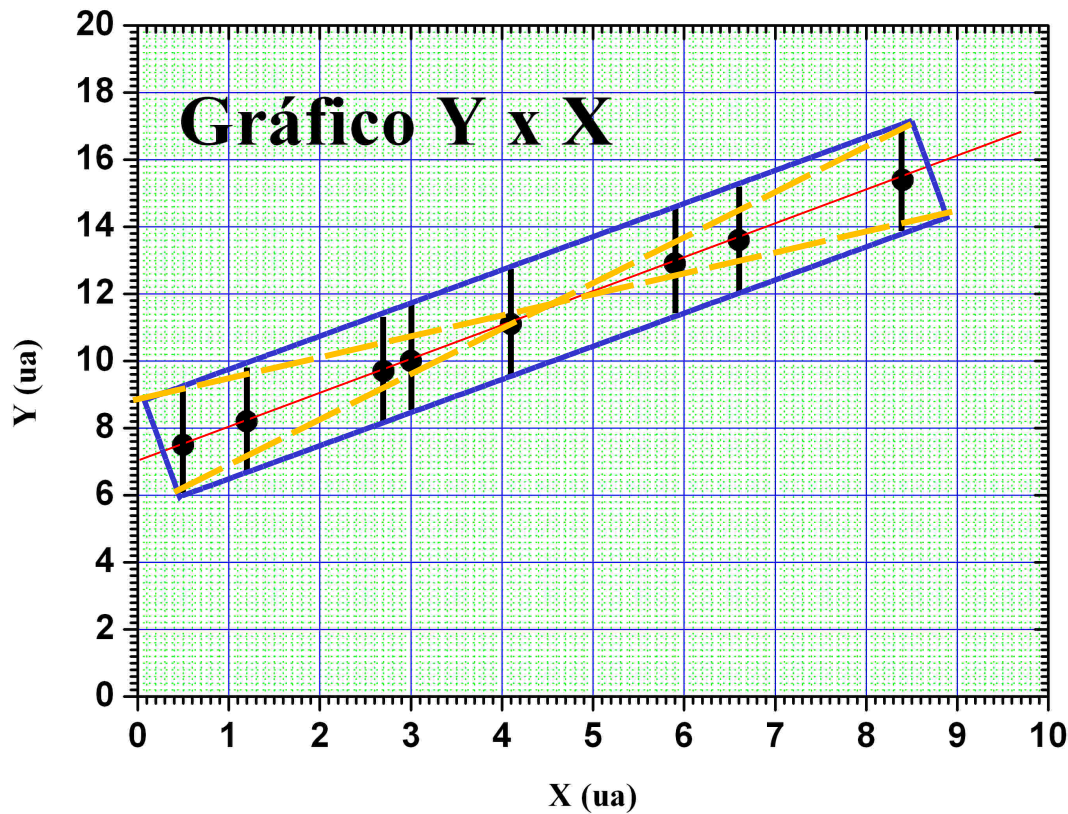
$$a = \frac{(a_{\max} + a_{\min})}{2}$$

$$b = \frac{(b_{\max} + b_{\min})}{2}$$

$$\Delta a = \frac{(a_{\max} - a_{\min})}{2}$$

$$\Delta b = \frac{(b_{\max} - b_{\min})}{2}$$

Incerteza dos parâmetros



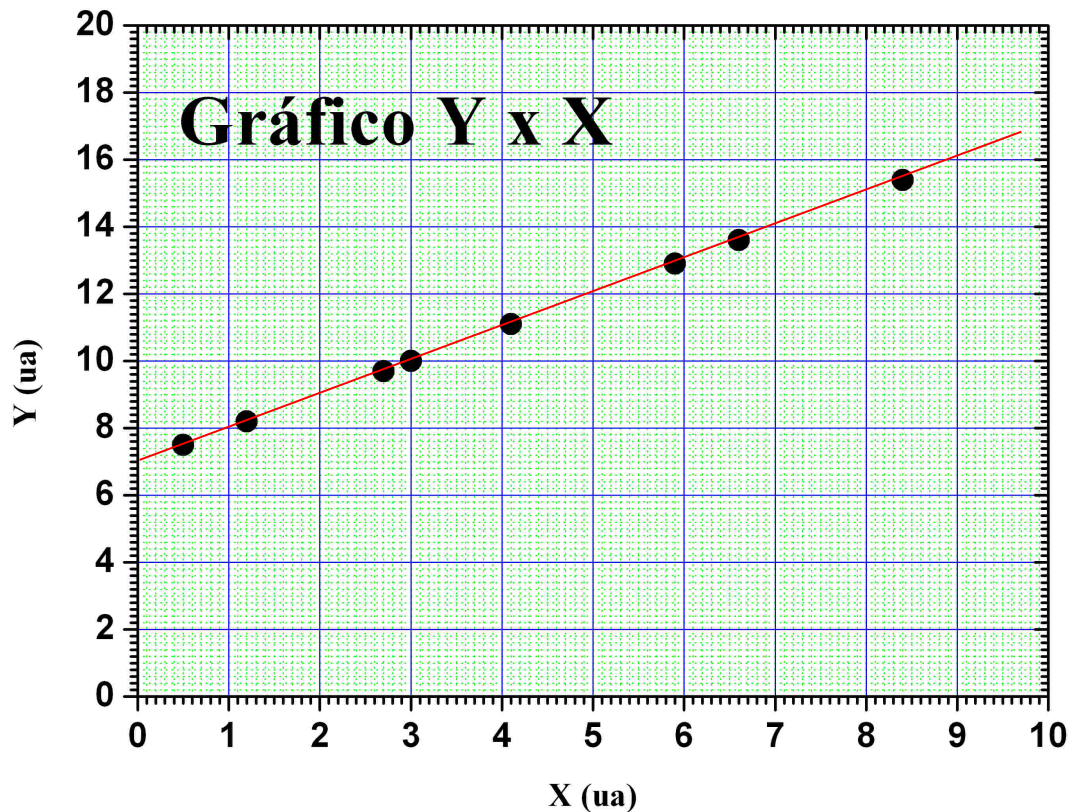
$$a = \frac{(a_{\max} + a_{\min})}{2}$$

$$b = \frac{(b_{\max} + b_{\min})}{2}$$

$$\Delta a = \frac{(a_{\max} - a_{\min})}{2}$$

$$\Delta b = \frac{(b_{\max} - b_{\min})}{2}$$

Incerteza dos parâmetros



Usar precisão na leitura
Se não for possível traçar
um retângulo

$\frac{1}{2}$ menor divisão da
escala

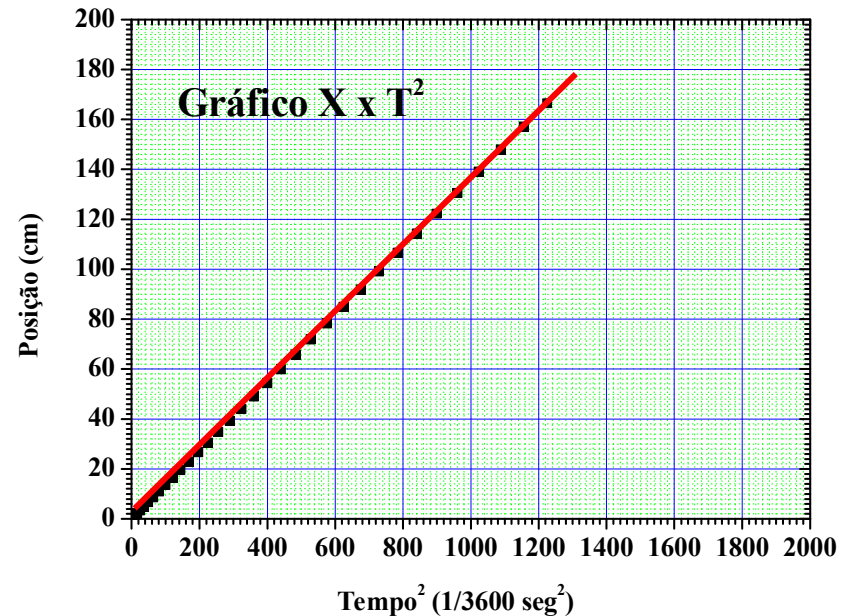
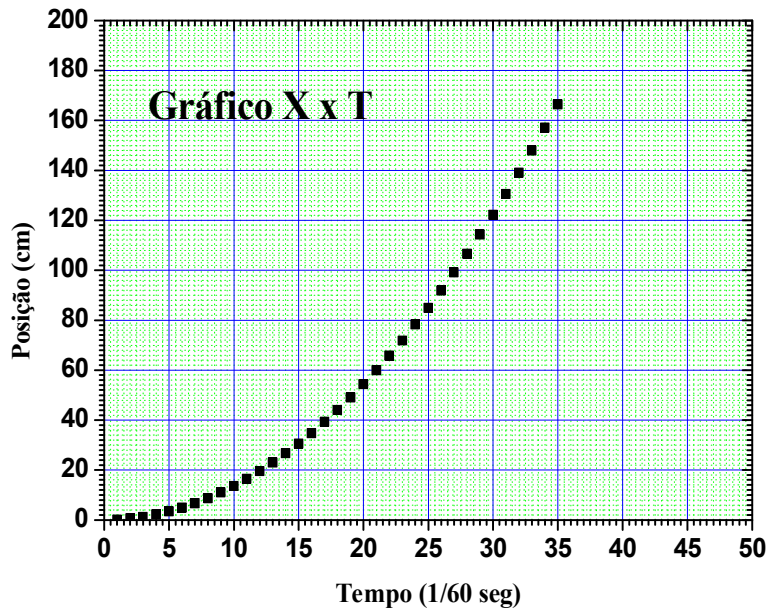
Escala em x - 0,05
Escala em y - 0,1

Linearização de eixo

Ajuste coeficiente angular

$$\frac{1}{2} g$$

(estimar t_0 do gráfico $v \times t$)



$$x = \frac{1}{2} g t^2 : \text{parábola}$$

redefinindo $q = t^2$

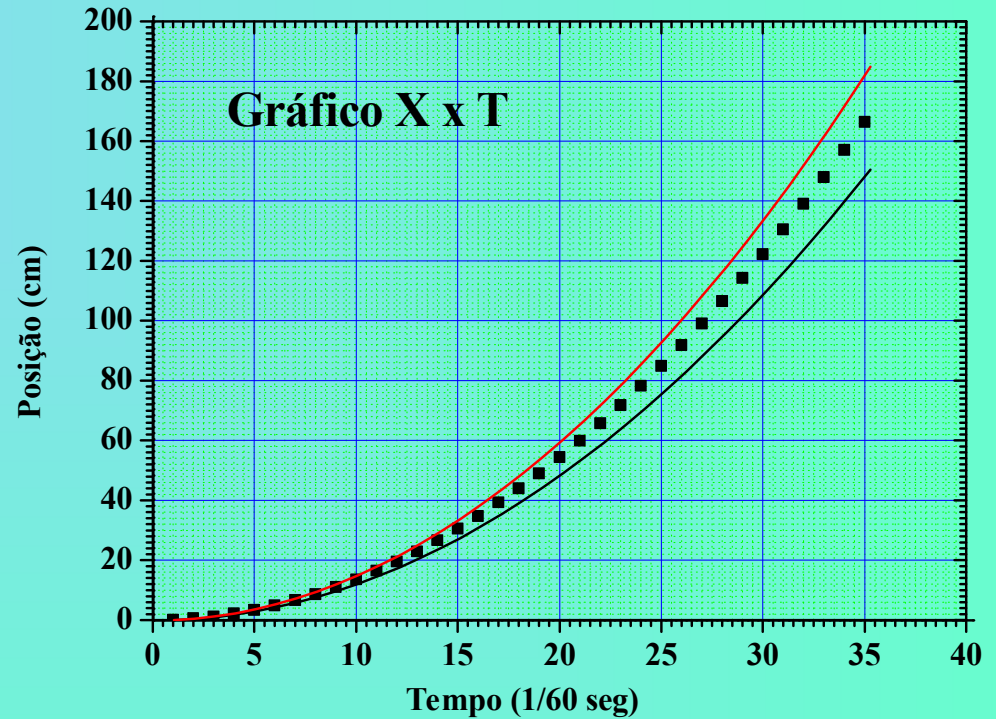
$$x = \frac{1}{2} g q : \text{reta}$$

Simulação

Usar fórmula esperada

Estimar valores esperados para x de acordo com g obtido do ajuste

$$\begin{aligned} \text{Cálculos: } x_+ &= \frac{1}{2} (g + \sigma_g) t^2 \\ x_- &= \frac{1}{2} (g - \sigma_g) t^2 \end{aligned}$$



Análise de dados

O parâmetro a (v_0) é coerente com um movimento que se iniciou no repouso? Quantas faíscas você desprezou para iniciar a escala de tempo ($t=0$)? Como avaliar se v_0 está dentro do esperado?

E b é compatível com o valor da aceleração da gravidade? O IAG obteve o valor de $978,622 \text{ cm/s}^2$ para a aceleração da gravidade fazendo uma medida bastante precisa.