

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:

$$\vec{F} = m\vec{g} = m \frac{dv}{dt}$$

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:

$$\begin{aligned} \vec{v}(t) &= \vec{v}_0 + \vec{g} \cdot t \quad \rightarrow \\ \vec{x}(t) &= \vec{x}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{g}}{2} \cdot t^2 \end{aligned}$$

Experimento

Medir o movimento de queda de um objeto usando:

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

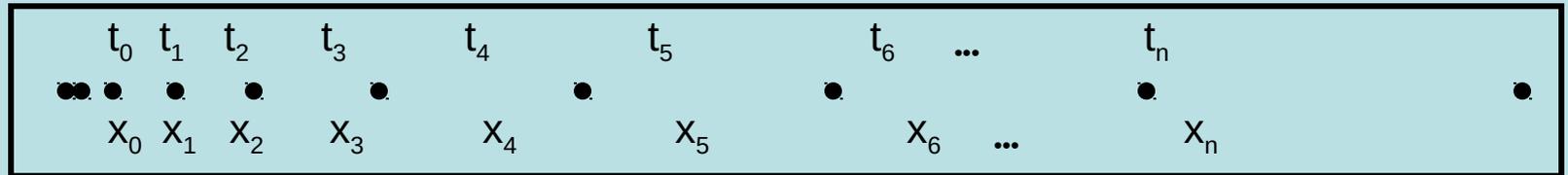
um trilho com dois fios condutores;

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.

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:

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

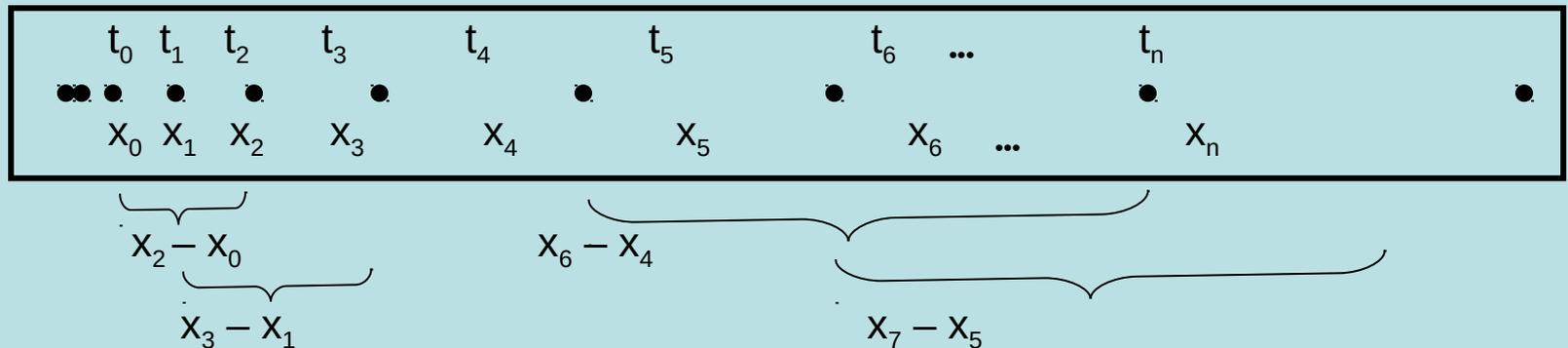
onde Δx é a distância entre esses dois pontos e Δt é o intervalo de tempo que o objeto levou para ir do primeiro para o segundo ponto.

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



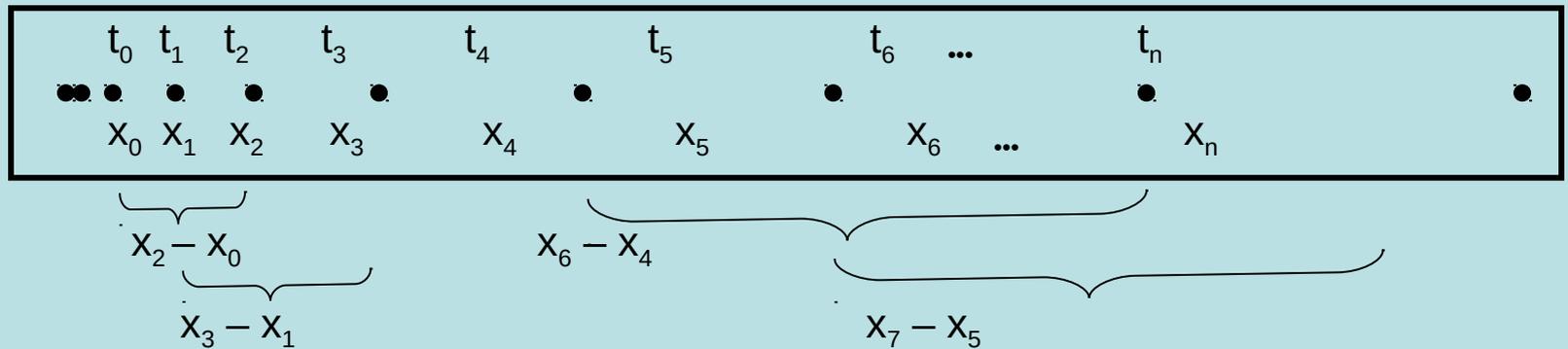
Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):

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

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

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 (x 10) de
1,2 ou 5

Marcar somente val
de referência nos
eixos

Título

Pontos experimentais

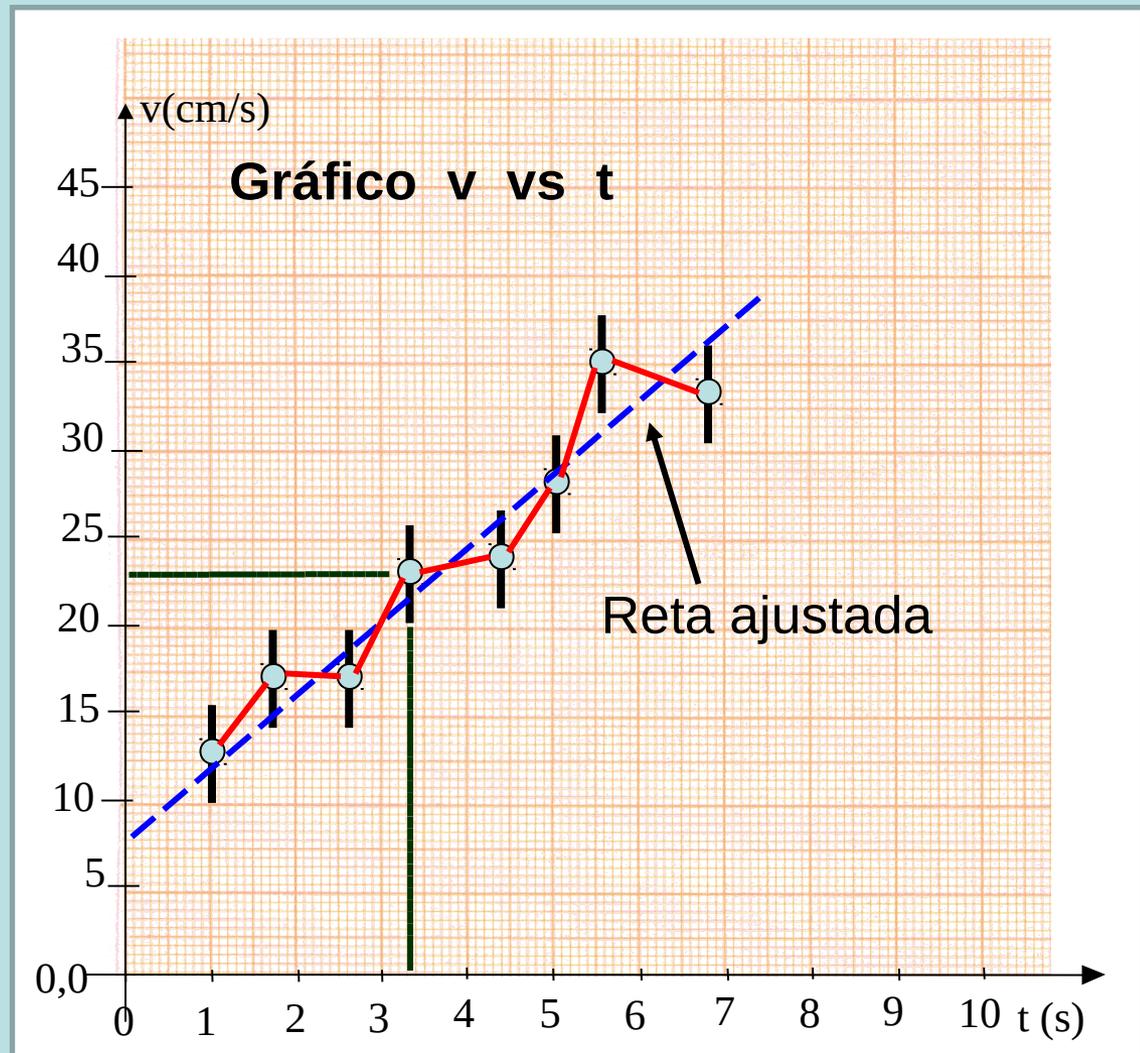
Valor + incerteza

Sem linhas de
conexão

Sem linhas auxiliares

Ajuste de curva

Normalmente reta



Extraindo parâmetros do ajuste

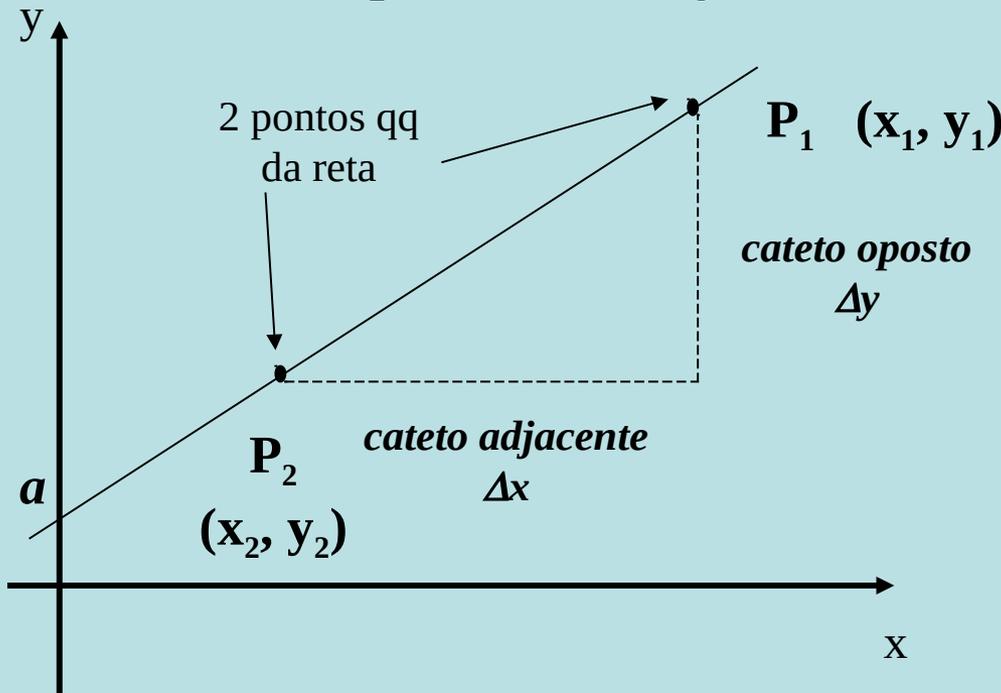
$$y = a + b x$$

Coef linear

Coef angular

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

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



$$y = a + b \cdot x$$

$\updownarrow \quad \updownarrow \quad \updownarrow \quad \updownarrow$

$$v(t) = v_0 + g \cdot t$$

Análise Gráfica

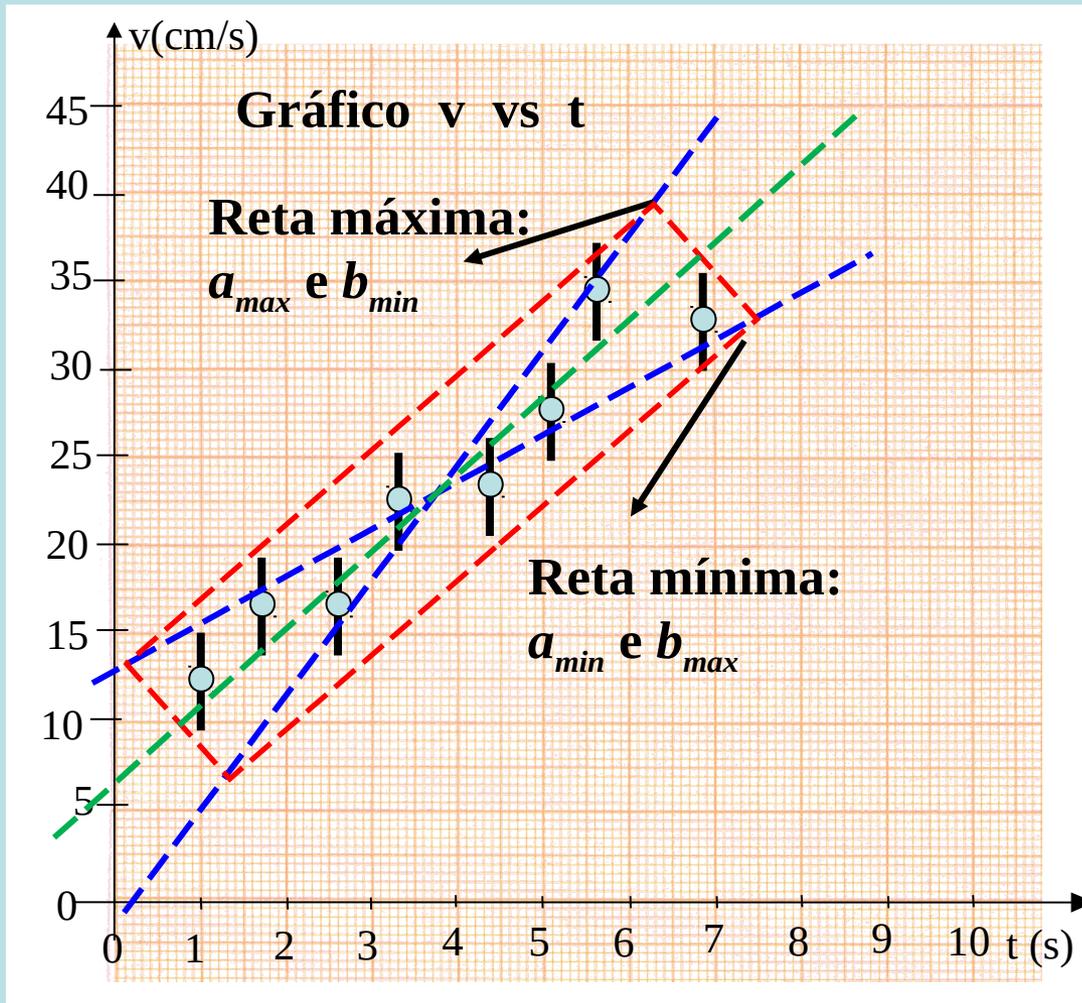
Qual é a incerteza de a (v_0) e b (g)? Como podemos estimá-la?

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



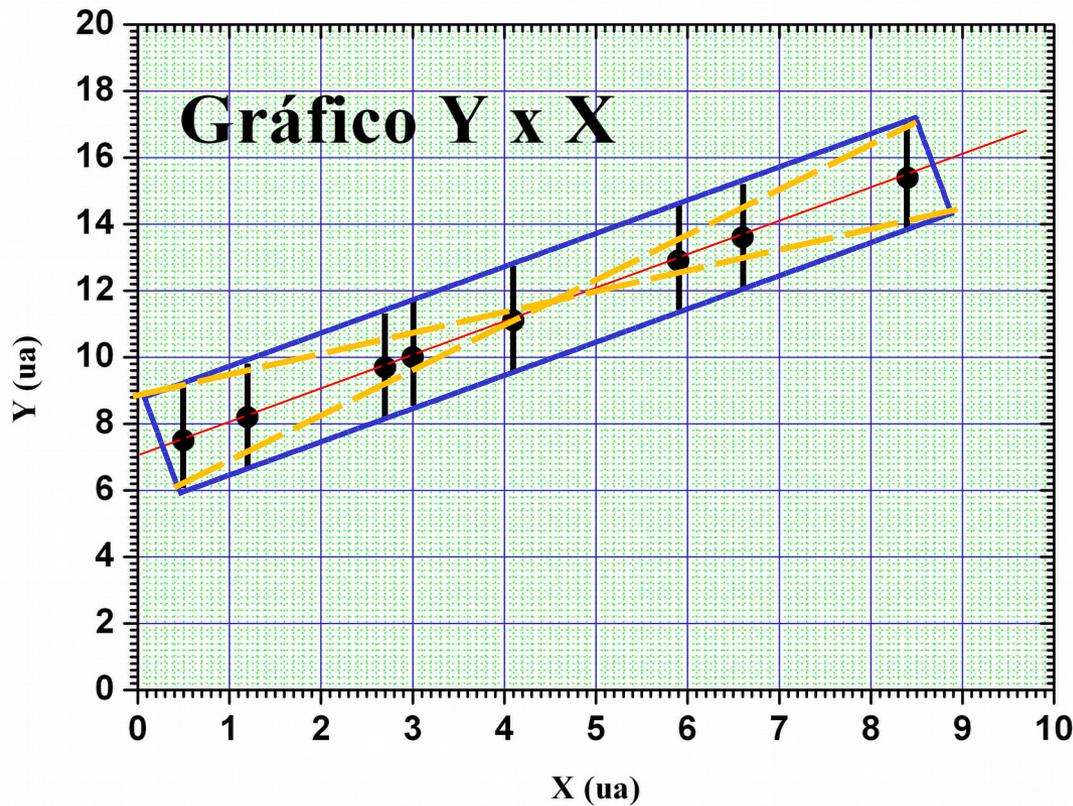
$$a = \frac{(a_{max} + a_{min})}{2}$$

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

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

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

Incerteza dos parâmetros



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

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

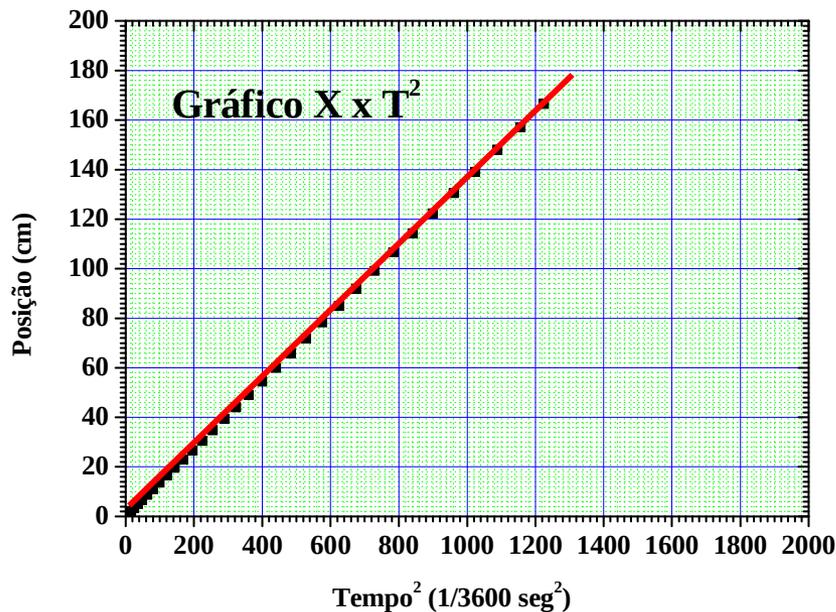
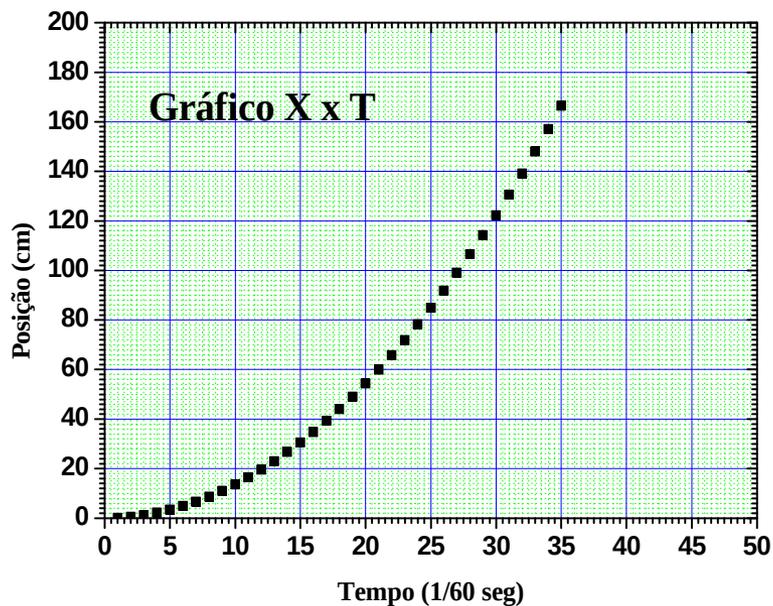
$$\Delta a = \frac{(a_{\max} - a_{\min})}{2}$$

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

Linearização de eixo

Ajuste coeficiente angular

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



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

redefinindo $q = t^2$

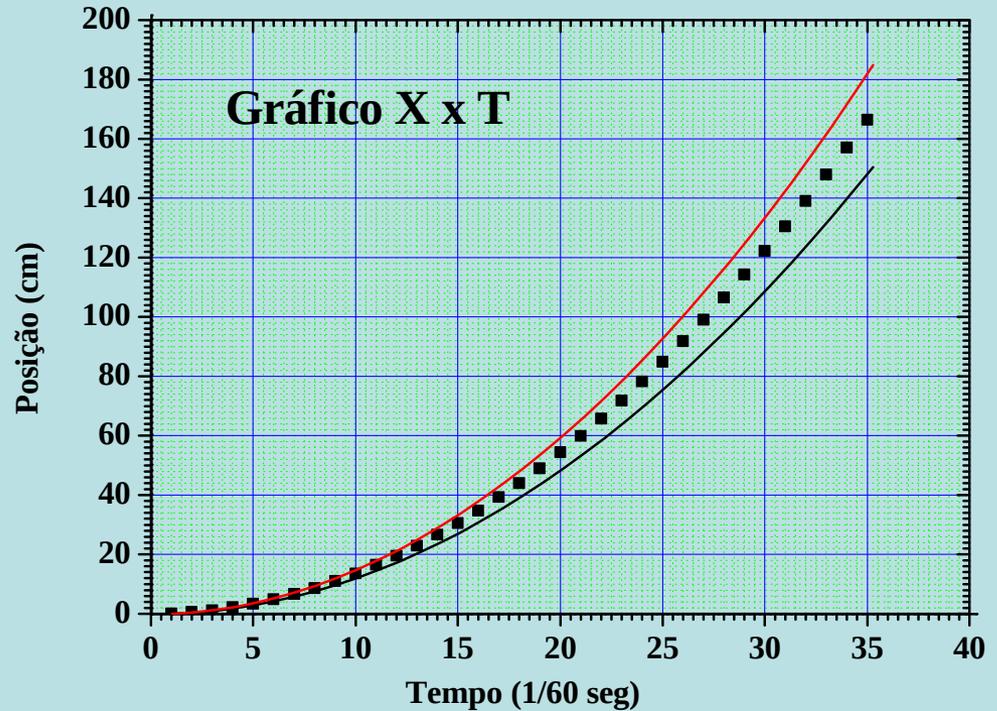
$$x = \frac{1}{2} g q : \textit{reta}$$

Simulação

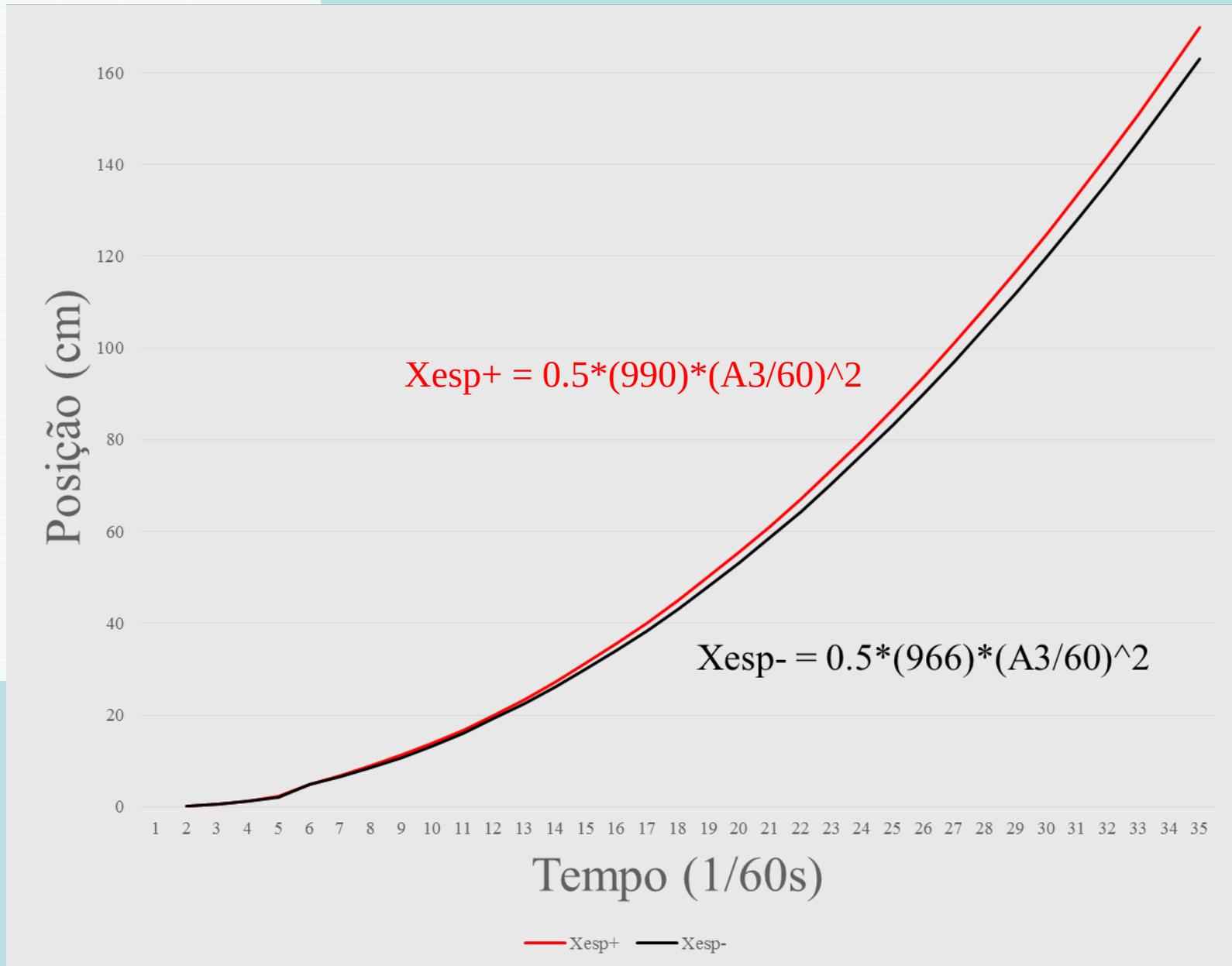
Usar fórmula esperada

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

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



T(1/60s)	Xesp+	Xesp-	g (cm/s ²)	sigma g	g+sigma	g-sigma
			978	20	998	958
1	0.138611	0.133056				
2	0.554444	0.532222				
3	1.2475	1.1975				
4	2.217778	2.128889				
6	4.99	4.79				
7	6.791944	6.519722				
8	8.871111	8.515556				
9	11.2275	10.7775				
10	13.86111	13.30556				
11	16.77194	16.09972				
12	19.96	19.16				
13	23.42528	22.48639				
14	27.16778	26.07889				
15	31.1875	29.9375				
16	35.48444	34.06222				
17	40.05861	38.45306				
18	44.91	43.11				
19	50.03861	48.03306				
20	55.44444	53.22222				
21	61.1275	58.6775				
22	67.08778	64.39889				
23	73.32528	70.38639				
24	79.84	76.64				
25	86.63194	83.15972				
26	93.70111	89.94556				
27	101.0475	96.9975				
28	108.6711	104.3156				
29	116.5719	111.8997				
30	124.75	119.75				
31	133.2053	127.8664				
32	141.9378	136.2489				
33	150.9475	144.8975				
34	160.2344	153.8122				
35	169.7986	162.9931				



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.