

Introdução às Medidas em Física

4300152

6^a Aula

Professora

Maximilia F. Souza

mfs@if.usp.br

Tel: 3091-6638

Sala 05, Ed. Van de Graaff

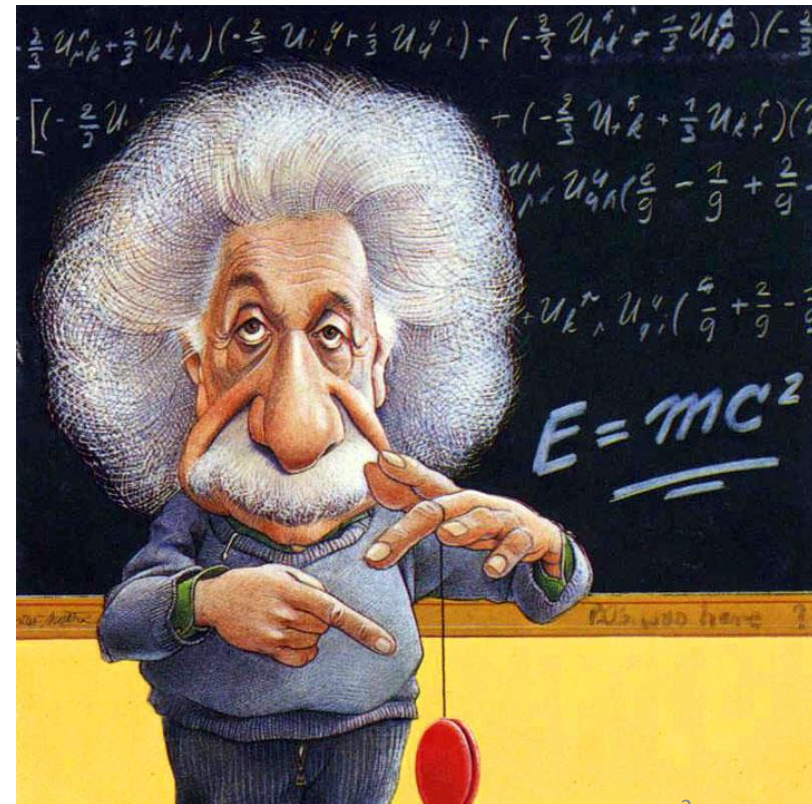
Aulas :

Segunda-feira das 19:10h às 22:50h

Laboratório Didático

Experiência IV - Movimento de Queda

- ❑ 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





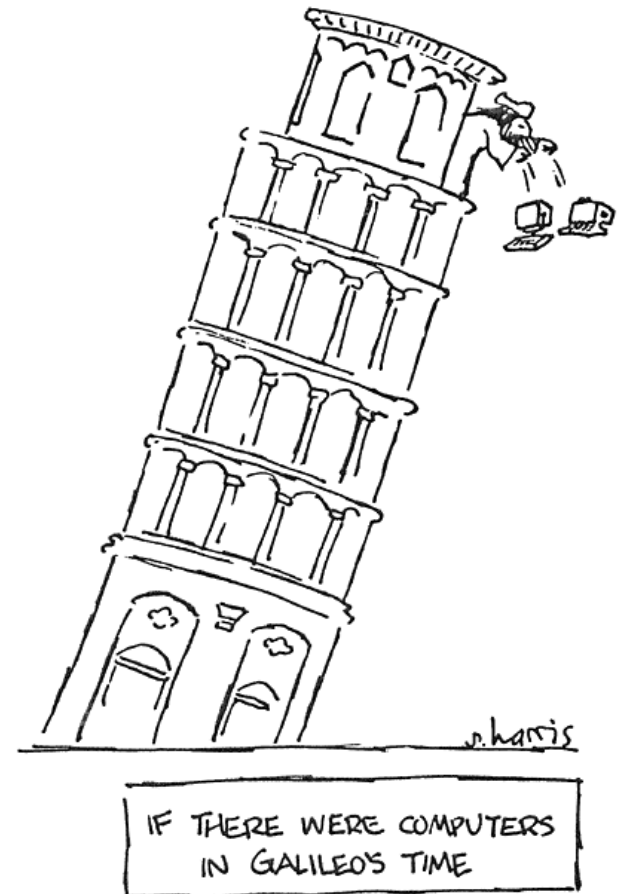
Estudo do Movimento de Queda de um Objeto

Estudo do Movimento de Queda de um Objeto

- Realizar a medida do movimento de um corpo em queda:
 - tomando todos os cuidados experimentais necessários para possibilitar uma correta utilização dos dados posteriormente;
 - utilizar técnicas de análise de dados;
 - e interpretar os resultados a partir de um modelo físico do experimento.

Estudo do Movimento de Queda de um Objeto

- Quais são as características desse movimento?
 - Questão polêmica no século XVII - Aristóteles X Galileu;
 - experimento realizado por Galileu representou o nascimento do método científico;
- Ele corresponde a uma queda livre? Como verificar isso?



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:

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

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:

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

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

Como realizar essa medida?

- Se deixarmos o objeto cair de uma altura de 2 *metros*, que velocidade esperamos que o objeto tenha ao chegar ao solo?
 - Use a hipótese da queda livre.
- É possível medir o seu tempo de queda usando um cronômetro?
 - Tire suas conclusões das aulas anteriores.

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 (freqüência da rede elétrica);
 - uma fita que permite registrar as faíscas.



Procedimento

Verificar **alinhamento vertical**
(fio de prumo)

Desligar os computadores
da sala antes de ligar o faiscador

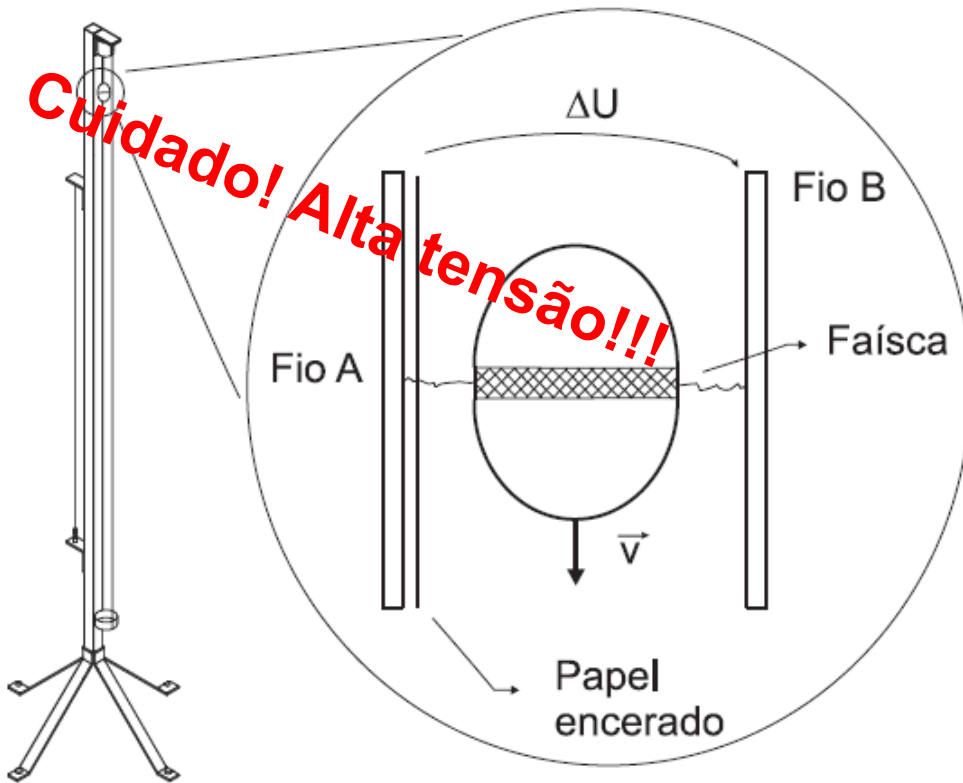
Verificar **posição da fita encerada**
sobre o suporte (sem folgas), com seu
lado mais brilhante para fora;

Antes de acionar o botão do
faiscador, certifique-se que
não **há ninguém tocando o sistema.**

verificar imediatamente após a medida, se
os pontos foram marcados;

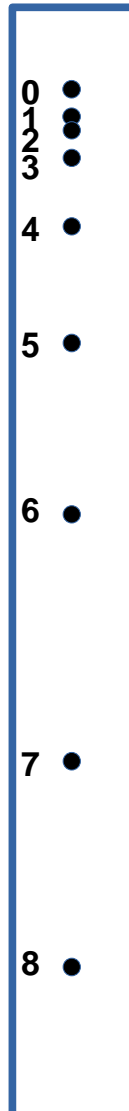
Após a aquisição dos dados,
desligar o eletroimã

Após a aula, **guarde sua fita para**
uma Atividade Extraclasse .



Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



- 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).

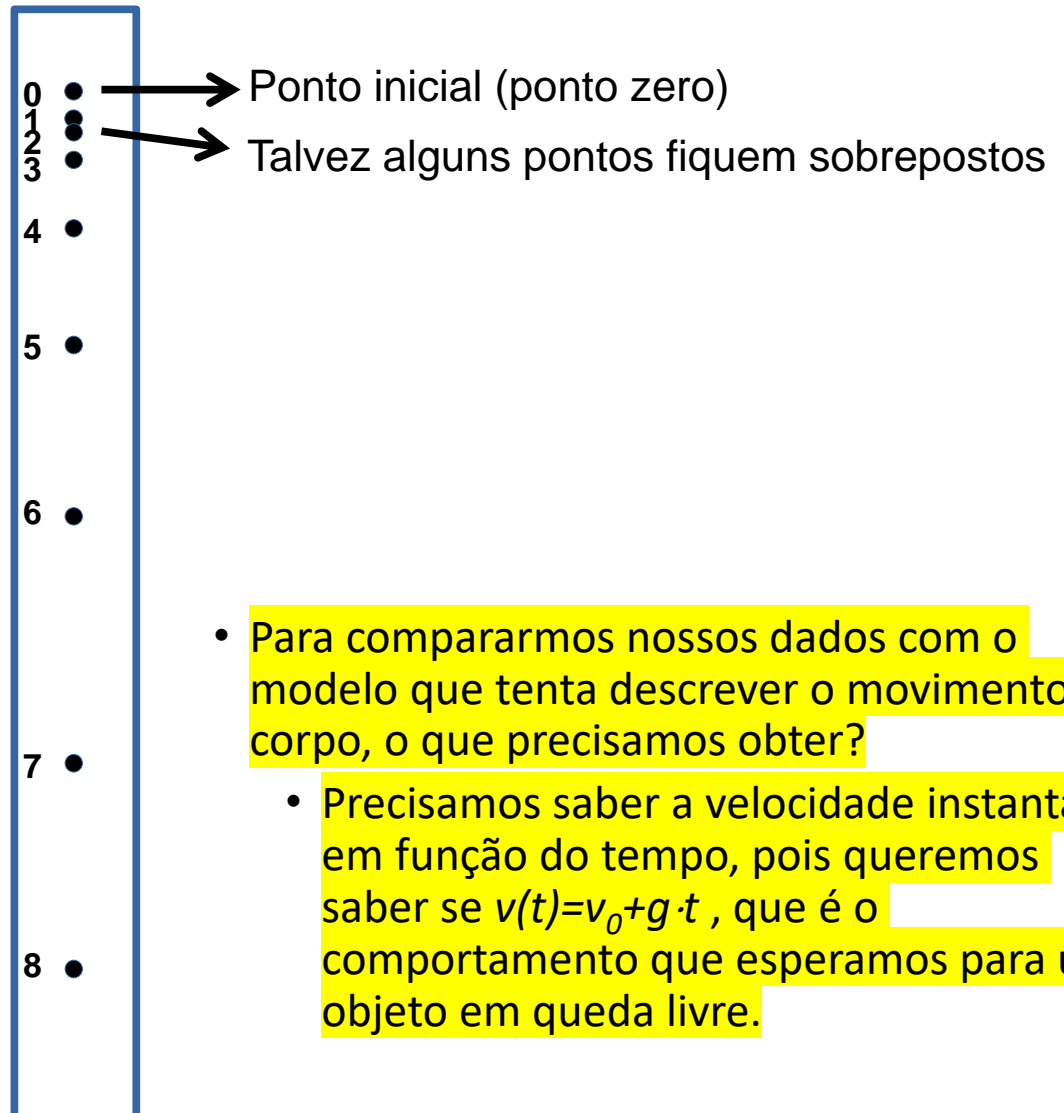
Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



- Para compararmos nossos dados com o modelo que tenta descrever o movimento do corpo, o que precisamos obter?
 - Precisamos saber a velocidade instantânea em função do tempo, pois queremos saber se $v(t) = v_0 + g \cdot t$, que é o comportamento que esperamos para um objeto em queda livre.

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

- A velocidade média entre dois pontos é dada por:

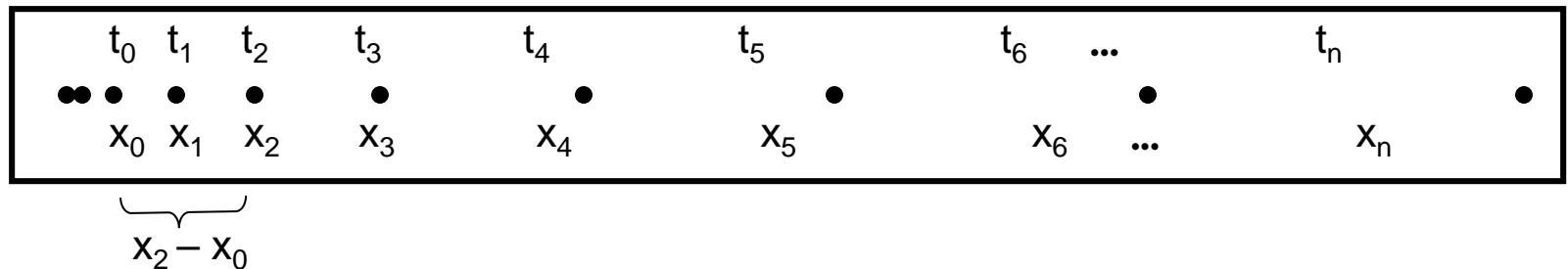
$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

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

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

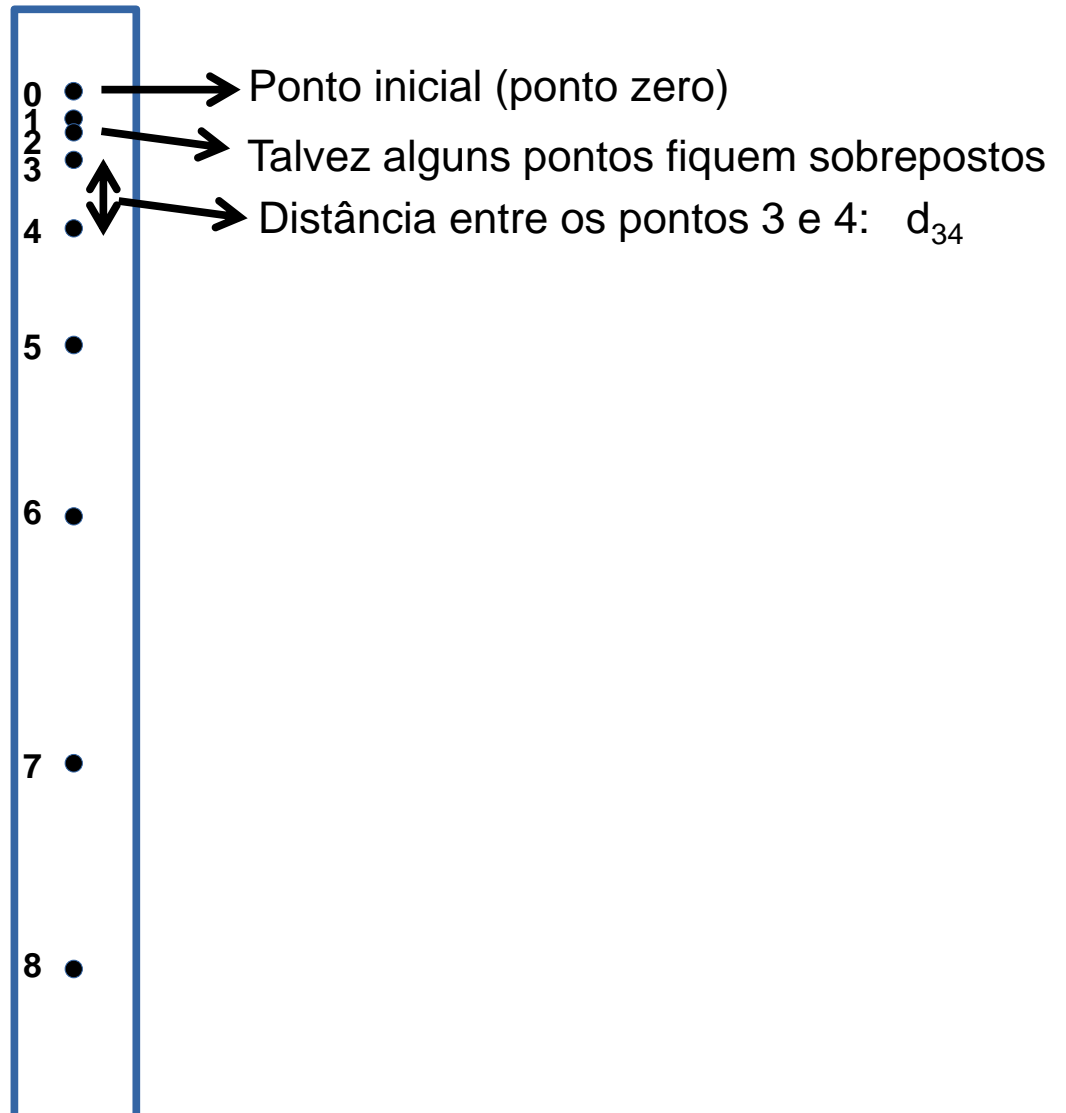
Análise de dados



- 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 $t_{\text{médio}}$

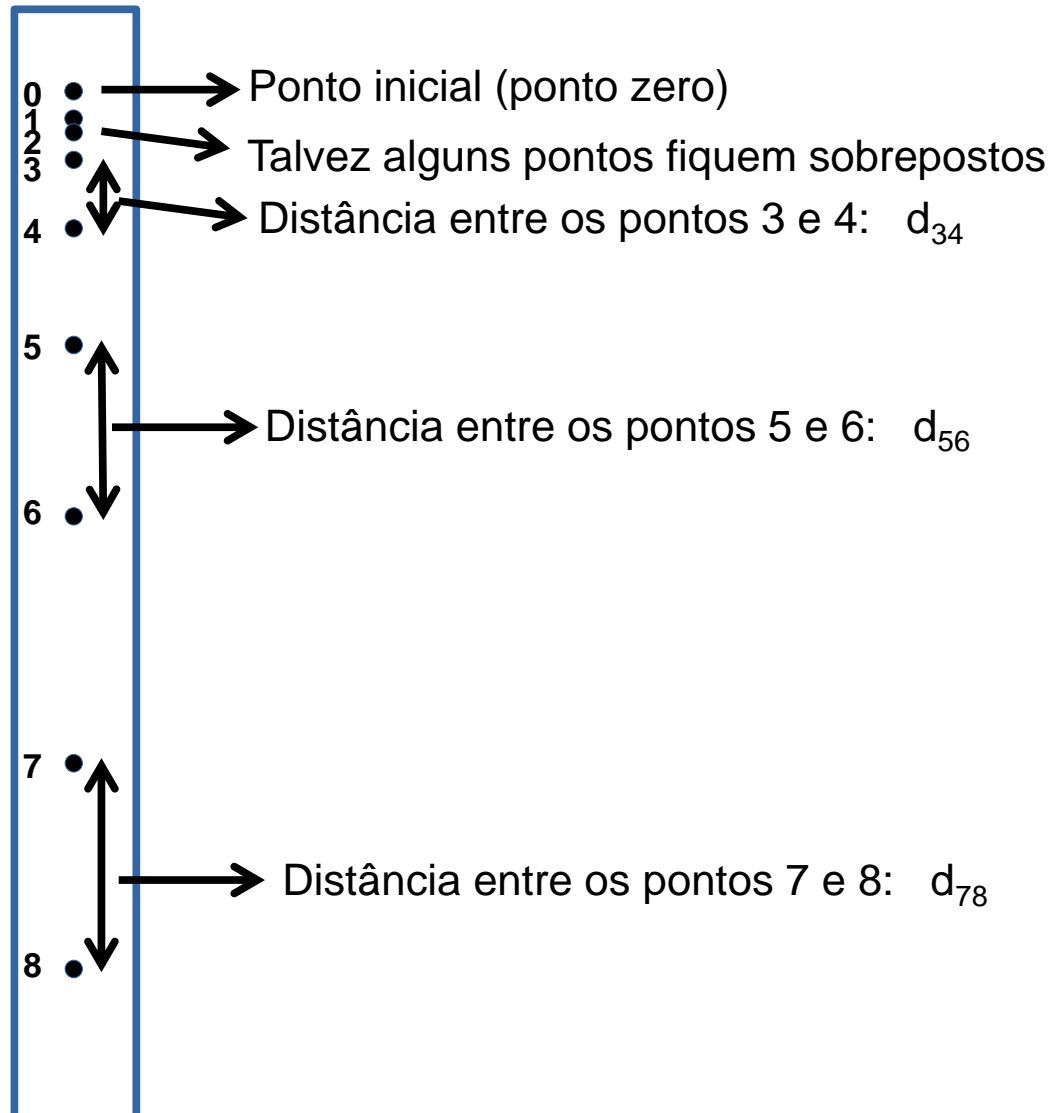
Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



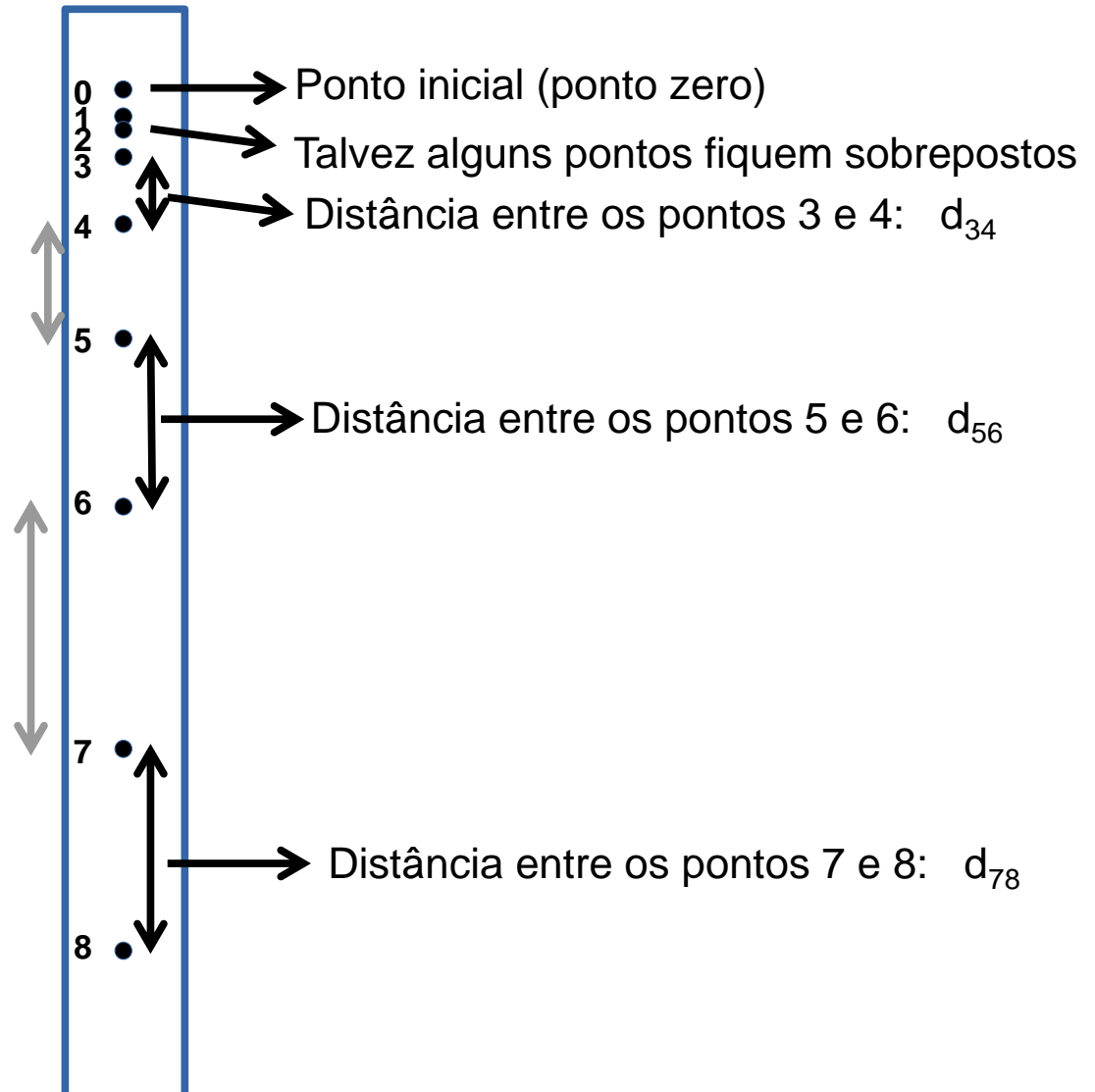
Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



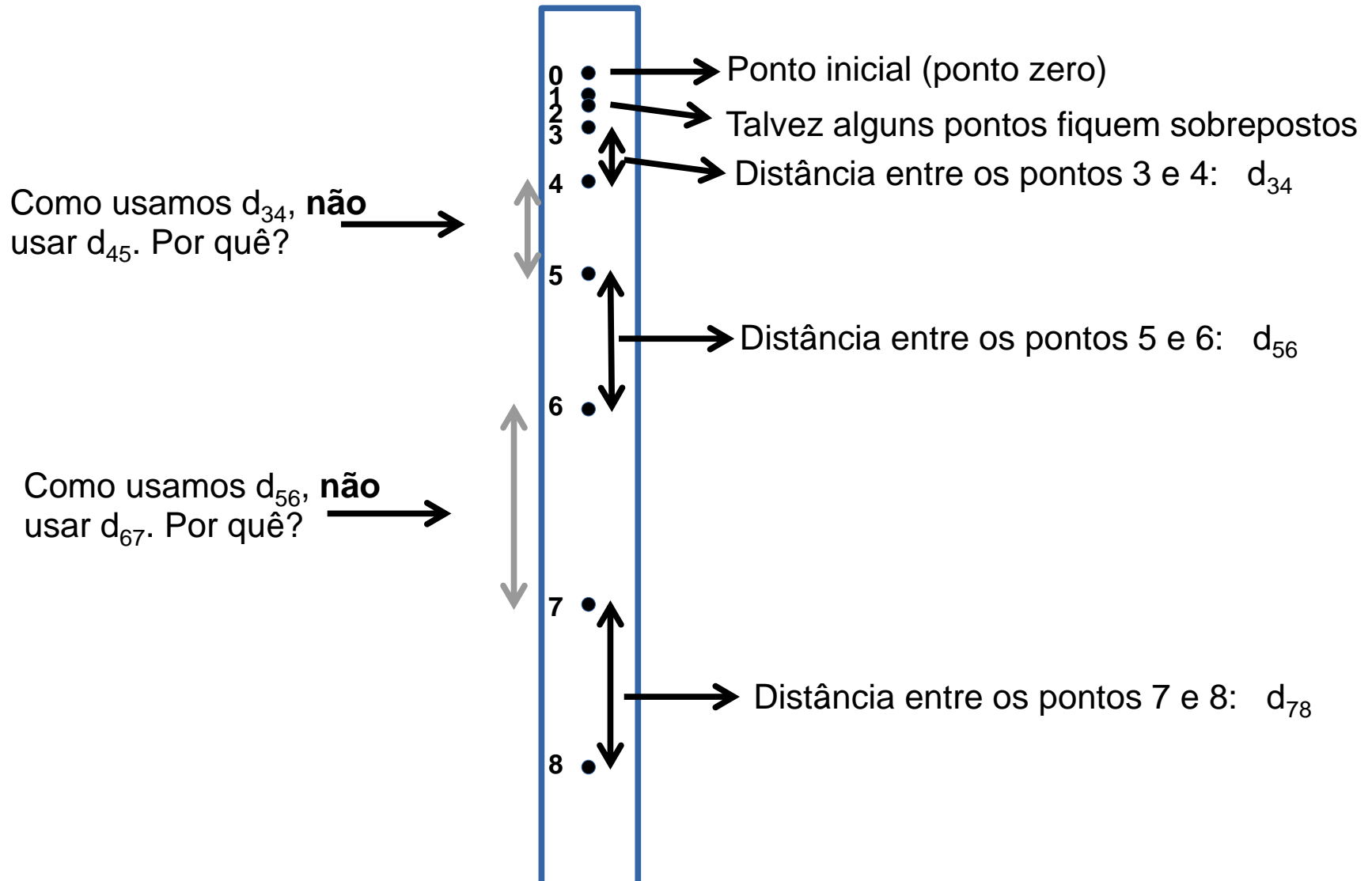
Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



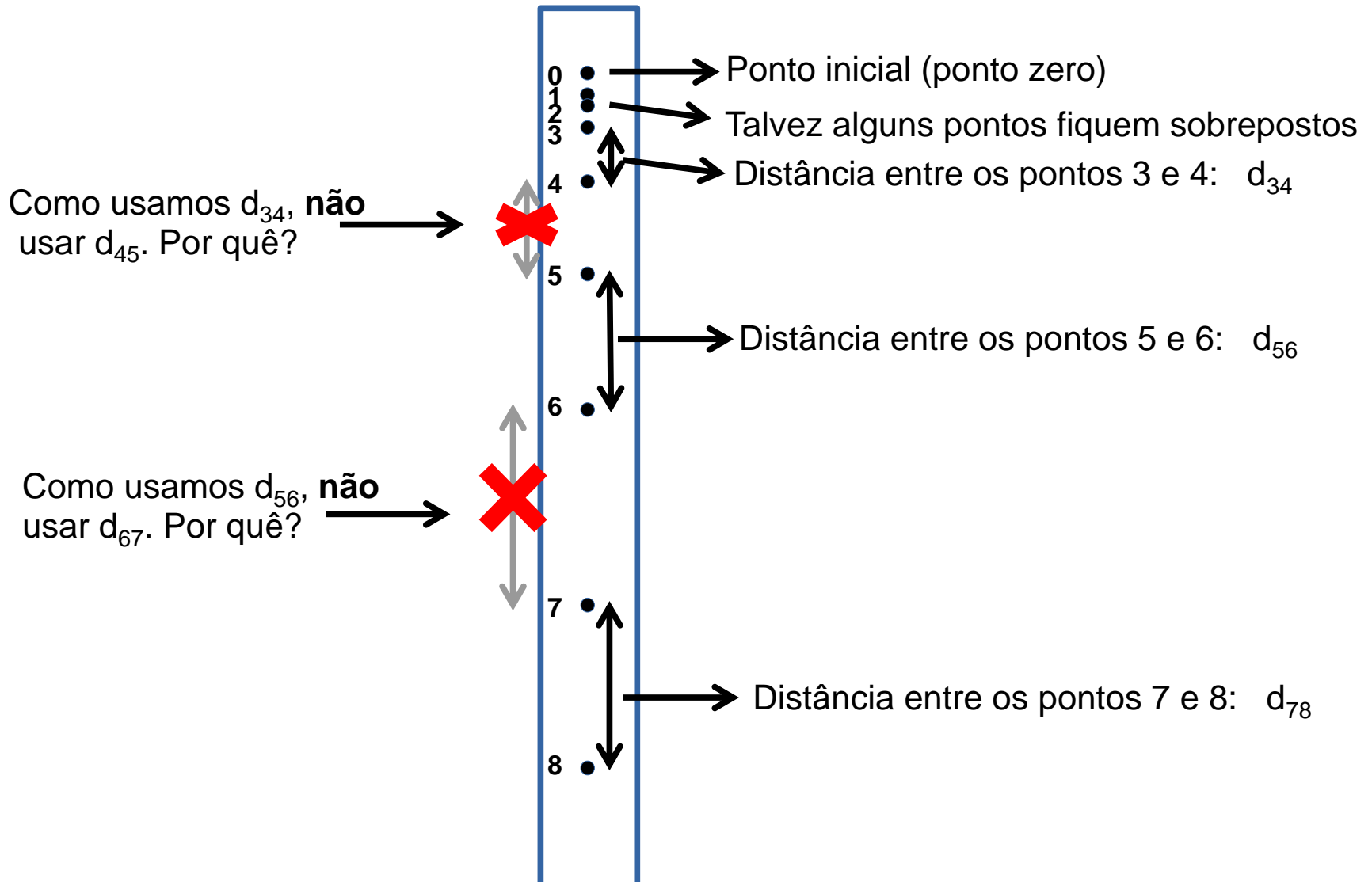
Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo



Análise

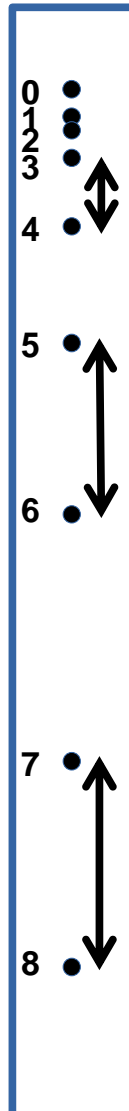
Fitas individuais para cada integrante do grupo



Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo

Intervalo de tempo entre quaisquer
2 marcas consecutivas:
1 u.t. = 1/60 segundos
(frequência da rede elétrica)



Análise

Fitas individuais para cada integrante do grupo

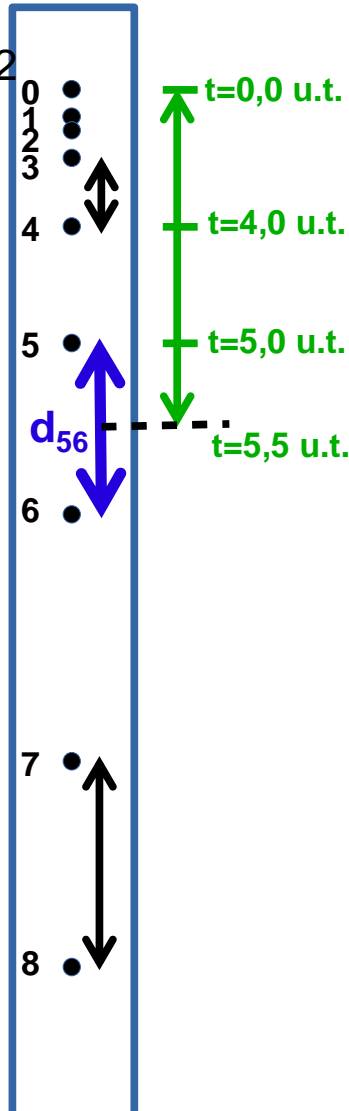
Intervalo de tempo entre quaisquer 2 marcas consecutivas:
1 u.t. = 1/60 segundos
(frequência da rede elétrica)

Velocidade média no intervalo entre n e n+1:

$$v_{n n+1} = \frac{d_{n n+1}}{1 \text{ u.t.}}$$

Intervalo de tempo correspondente:

$$t_{n n+1} = (n + 1/2) \text{ u.t.}$$



Exemplo:

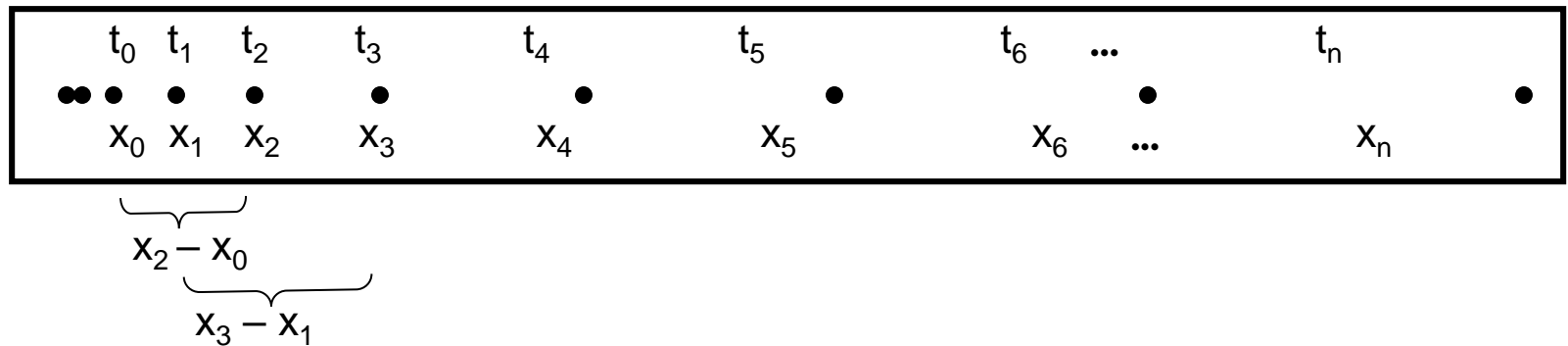
Qual a velocidade média entre os pontos 5 e 6?

Qual a coordenada no tempo, desde o início do movimento?

$$v_{56} = \frac{d_{56}}{1 \text{ u.t.}}$$

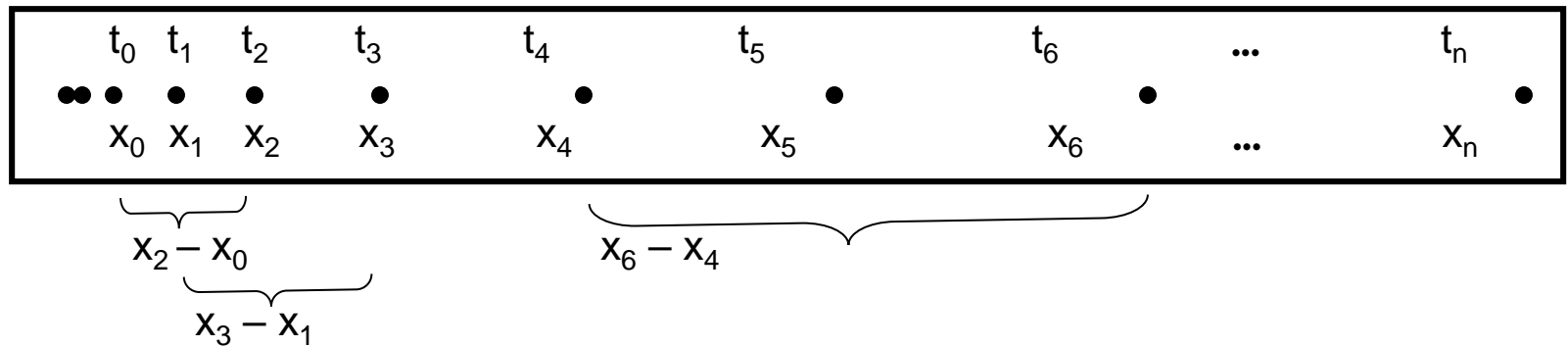
$$t_{56} = 5,5 \text{ u.t.}$$

Análise de dados



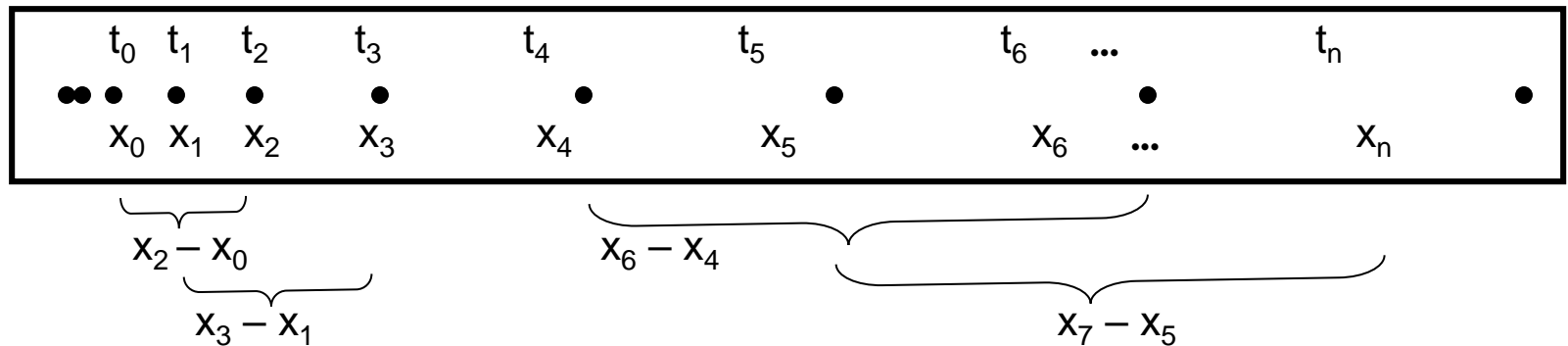
- Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):
 - $\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$
 - $t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$
 - que leva a $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$ no instante $t_{\text{médio}}$

Análise de dados



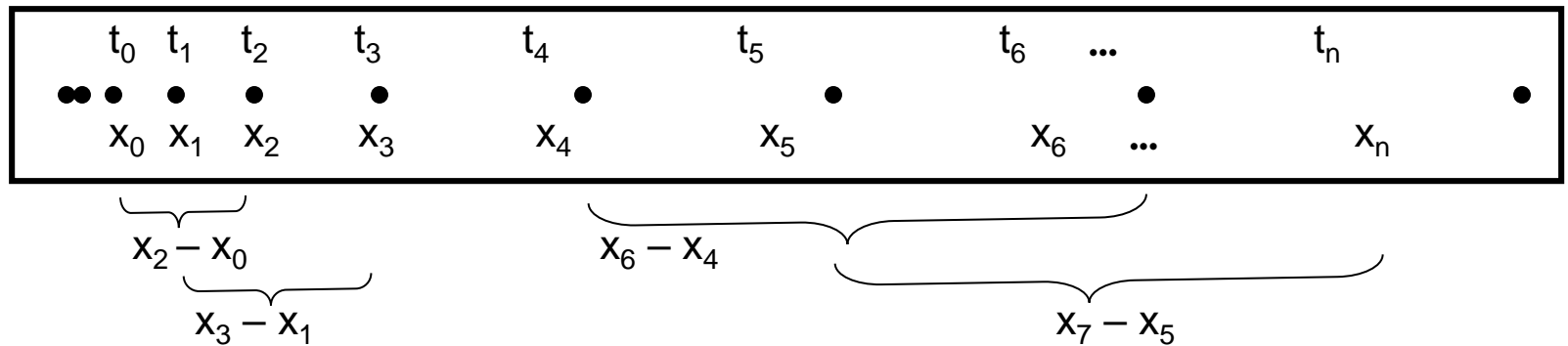
- Portanto, precisamos obter da fita marcada (posição em função do tempo):
 - $\Delta x = x_{n+1} - x_{n-1}$
 - $t_{\text{médio}} = (t_{n+1} + t_{n-1})/2$
 - que leva a $v_{\text{médio}} = \Delta x / \Delta t$ no instante $t_{\text{médio}}$

Análise de dados



- 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 $t_{\text{médio}}$

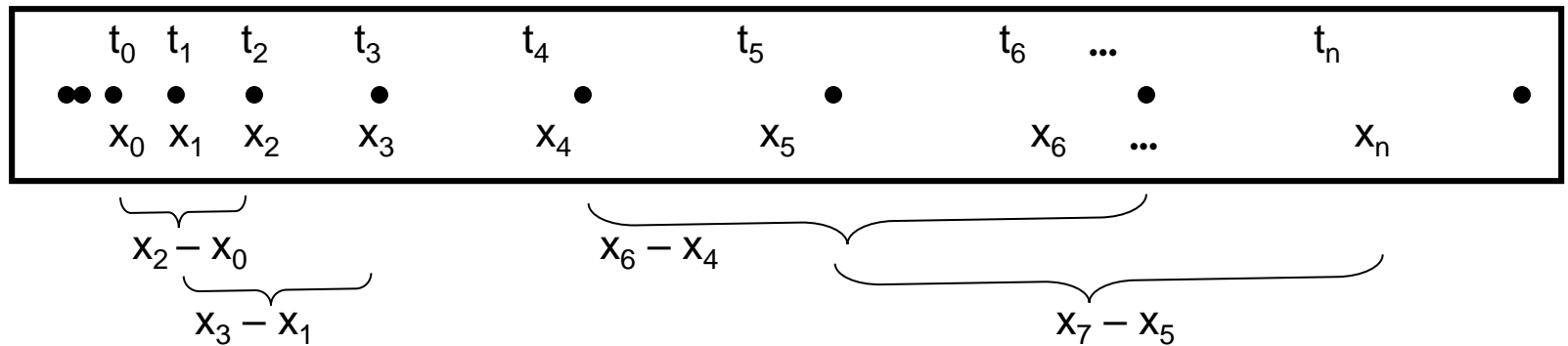
Análise de dados



- Construir a tabela:

$t_{\text{médio}}$	Δx	$v(t_{\text{médio}})$
t_1	$x_2 - x_0$...
t_2	$x_3 - x_1$...
t_3	$x_4 - x_2$...
...

Análise de dados



- Qual é a incerteza em Δx ?
- Devemos considerar uma incerteza no instante t ?
- Qual é a incerteza na velocidade?

Atividades da aula de hoje

- Realizar as medidas
- Extrair os dados de deslocamento da fita
- Construir a tabela de velocidade em função do tempo.
Não esquecer as incertezas das velocidades

Análise de dados

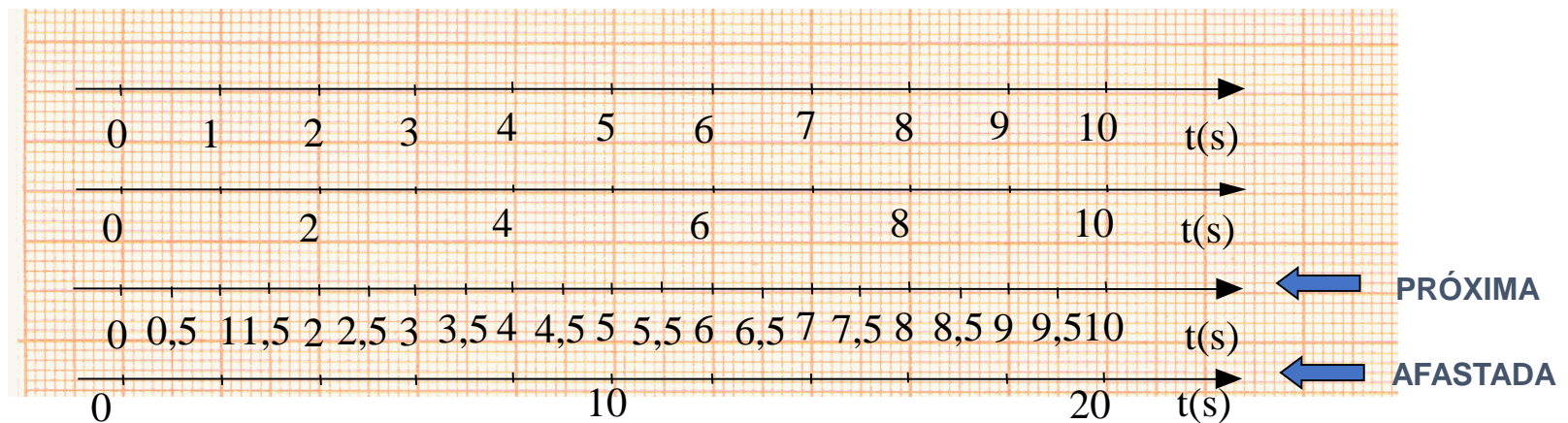
- Como podemos verificar se o modelo da queda livre descreve o nosso experimento?
- Verificando se a velocidade ($v(t)$) apresenta uma dependência linear com o tempo (t), isto é,
$$v(t) = v_0 + g \cdot t$$
- É possível fazer isso somente com os dados da tabela? Existe uma maneira melhor de verificar isso?

Representação Gráfica

- Representando graficamente a velocidade (eixo-y ou variável dependente) em função do tempo (eixo-x ou variável independente)
- Não se esqueça ao fazer o gráfico de:
 - Escolher uma escala adequada para os eixos, isto é, a relação entre *segundos* (no caso do eixo-x) ou *cm/s* (no caso do eixo-y) e os centímetros do papel devem facilitar a leitura do gráfico;
 - Não esquecer de colocar legenda e unidade nos eixos;
 - Represente a incerteza na velocidade (como?).

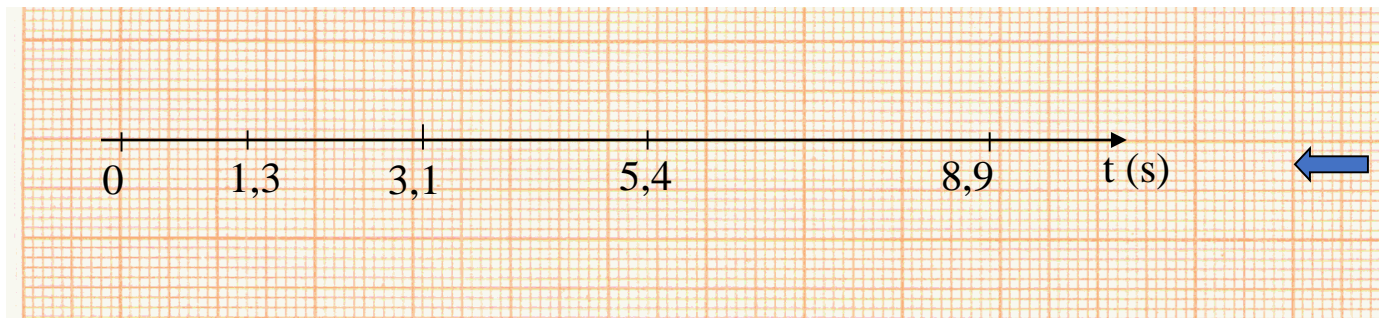
Eixos em um gráfico

- Deve-se escolher a escala que melhor se adapte ao tamanho do papel utilizado
 - **IMPORTANTE:** Não use escalas difíceis de se compreender. Sempre utilize escalas “múltiplas” de 1, 2 ou 5
- Gradue os eixos de 1 em 1 cm (ou 2 em 2). **Evite** escalas muito espaçadas ou muito comprimidas



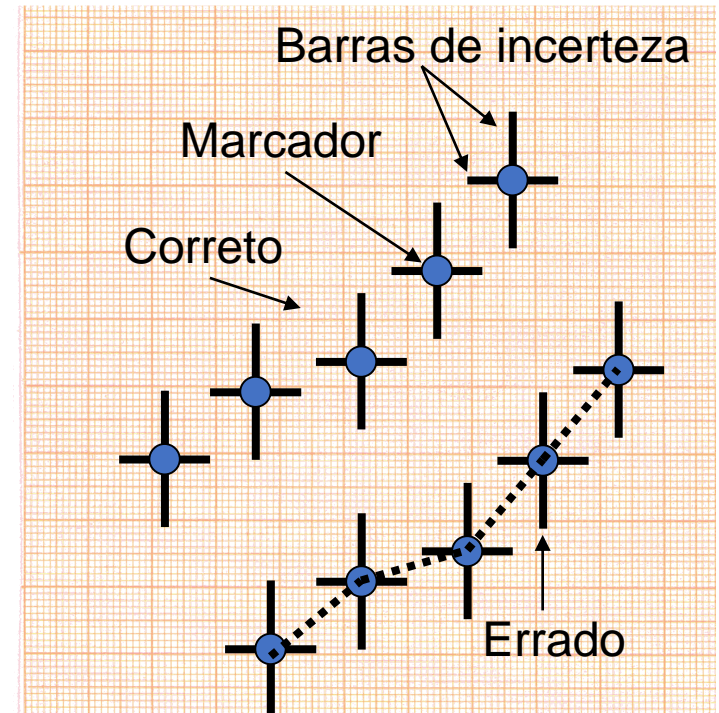
Eixos em um gráfico

- Desenhe os eixos. Não utilize os eixos e escalas pré-desenhadas no papel
- Coloque legendas em cada um dos eixos
- **NUNCA** escreva os valores dos pontos nos eixos nem desenhe traços indicando os pontos



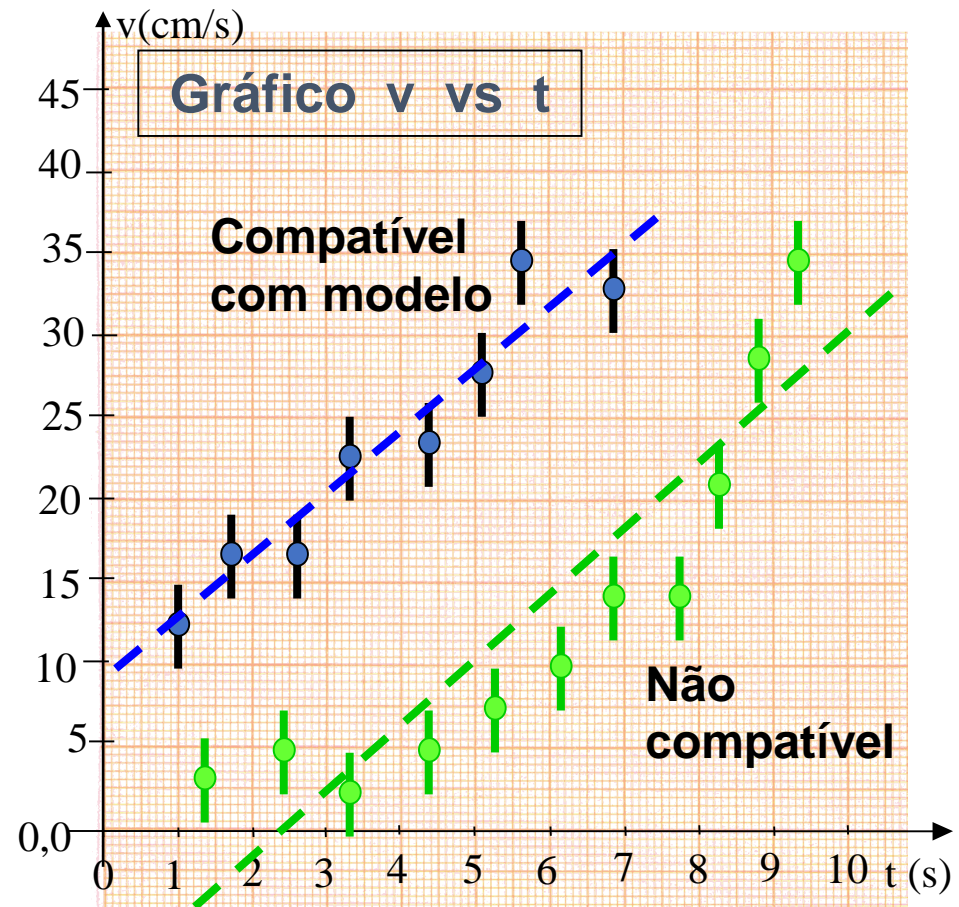
Representação dos pontos no gráfico

- Utilize marcadores visíveis
- Represente as barras de incerteza em y e x (quando houver) de forma clara
- **NUNCA LIGUE OS PONTOS**
- Conjunto de dados diferentes devem ser representados com símbolos (ou cores) diferentes.



Ajuste de função

- Uma vez com o gráfico, como podemos verificar se a velocidade ($v(t)$) apresenta uma dependência linear com o tempo (t), isto é, $v(t) = v_0 + g \cdot t$?
- Podemos tentar ajustar uma reta aos dados, isto é, nos perguntar se pode existir uma reta que descreva bem os nossos dados.



Representação Gráfica

- Utilizando o gráfico de $v(t) \times t$, podemos encontrar a reta que mais se aproxima dos pontos, ou seja, a reta que se ajusta aos nossos dados;
- Uma vez encontrada a reta, podemos extrair os seus parâmetros:

$$y = ax + b$$

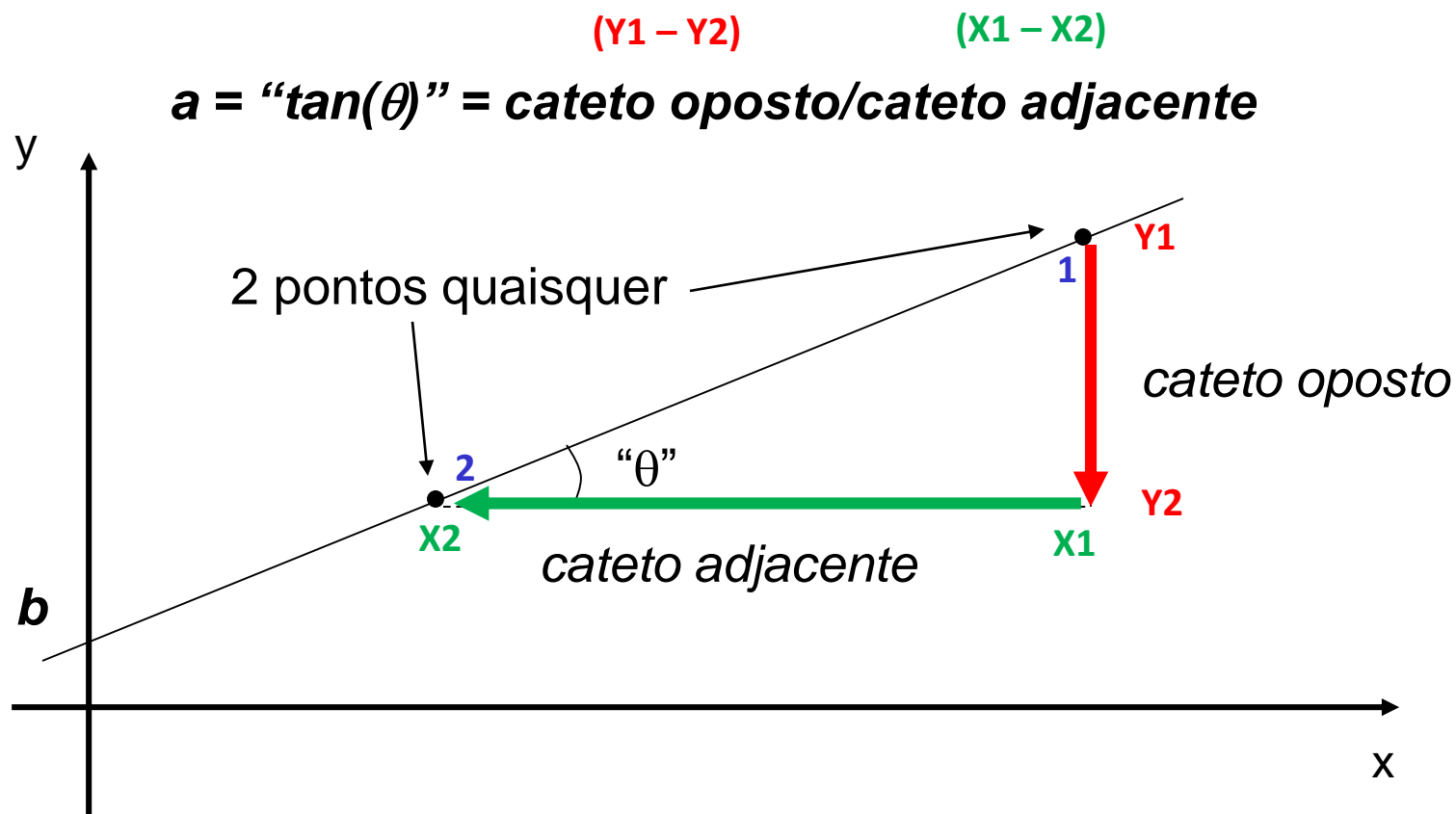
onde, b é o coeficiente linear da reta e
 a é o coeficiente angular da reta

Análise Gráfica

- Como extrair esses parâmetros da reta ajustada?
- O coeficiente linear (b) será o ponto em y que a reta cruza o eixo vertical ($x=0$);
- O coeficiente angular (a) é dado pela inclinação da reta (" $\tan(\theta)$ "):

$$a = \text{"tan}(\theta)\text{"} = \textit{cateto oposto/cateto adjacente}$$

Análise Gráfica



Análise Gráfica

- Qual é a interpretação que podemos dar aos parâmetros da reta?
- Se os pontos se comportam de maneira linear, isso será uma indicação que o modelo da queda livre é bom para representar nossos dados;
- Portanto, a interpretação dos parâmetros é:

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

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

Avaliando v_0 e g

- v_0 – coef linear
- 7,5 cm/s

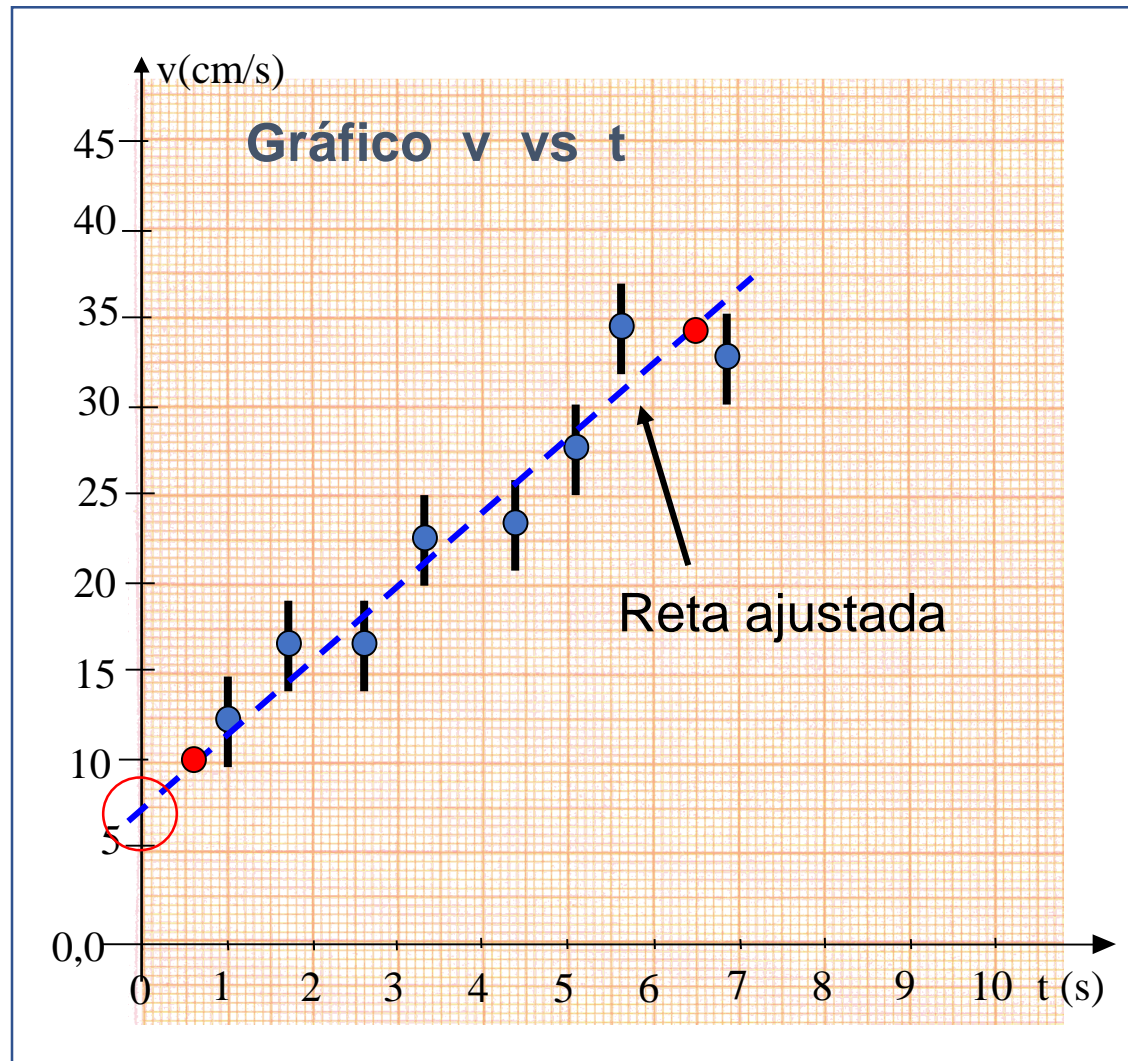
g – coef angular
escolha de 2 ptos

Ler coord

$$g = (v_1 - v_2) / (t_1 - t_2)$$

$$(34,2 - 10,0) / (6,5 - 0,6)$$

$$g = 4,1 \text{ cm/s}^2$$



Análise Gráfica

- Se o modelo de queda livre é adequado, e $y = v(t)$, $x = t$, temos:

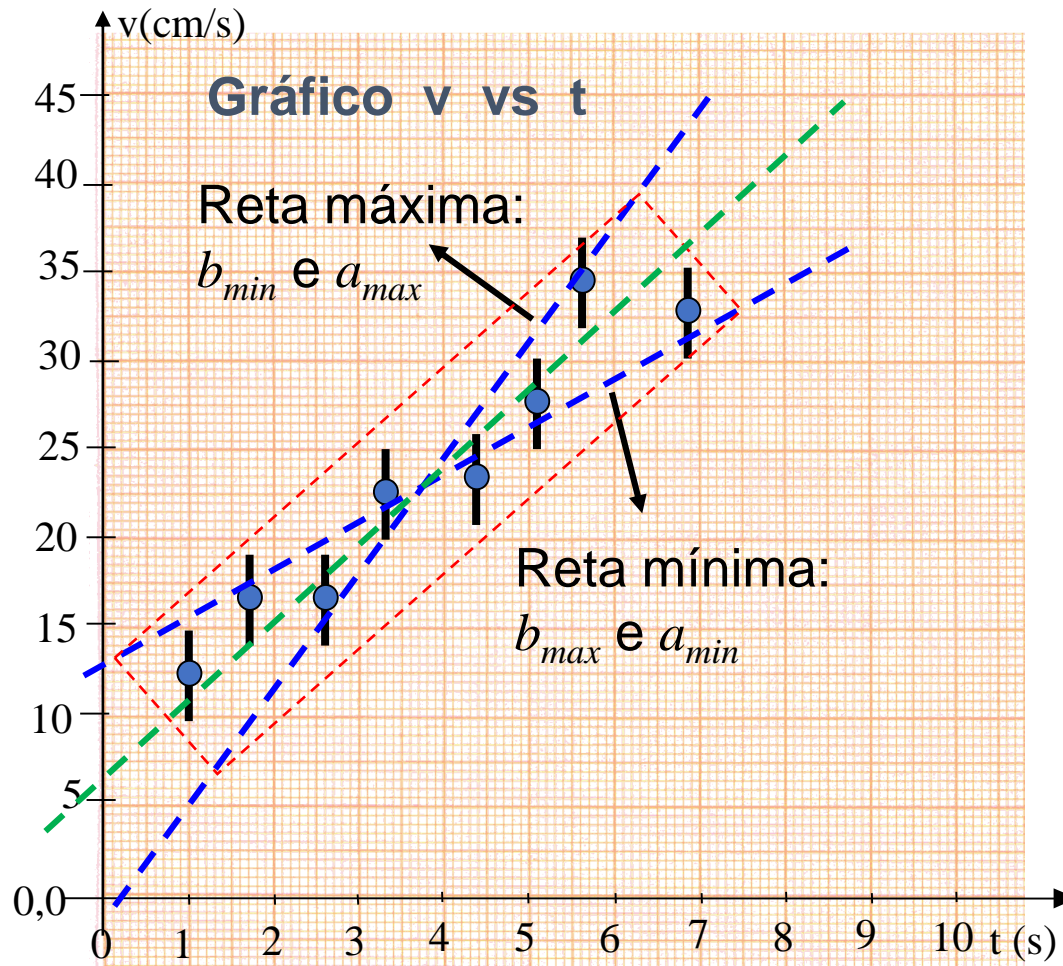
$$b = v_0 \text{ e } a = g$$

- Será que os valores obtidos são razoáveis? Como avaliar isso?
- Precisamos das incertezas de b (v_0) e a (g).

Análise Gráfica

- Qual é a incerteza de b (v_0) e a (g)? Como podemos estimá-la?
- Também o faremos graficamente:
 - tomando a reta de menor inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros máximo b_{max} e mínimo a_{min} ;
 - e a reta de maior inclinação possível que ainda descrevem os pontos, o que determina os parâmetros mínimo b_{min} e máximo a_{max} ;

Análise Gráfica



Análise Gráfica

- As incertezas de b (v_0) e a (g) são dadas por:

$$\Delta a = (a_{max} - a_{min})/2 \text{ e}$$

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

- Uma vez com as incertezas calculadas, podemos avaliar se o resultado está de acordo com o modelo da queda livre, isto é, se os valores dos parâmetros estão compatíveis com os valores esperados segundo o modelo.

Análise Gráfica

- O parâmetro b (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.