

Introdução às Medidas em Física (4300152)

Aula 11 (23/06/2023)

Paula R. P. Allegro

paula.allegro@usp.br

Na aula de hoje:

- Conceitos:
 - Análise de dados:
 - Análise Gráfica - escala logarítmica
 - Dedução empírica de uma lei física
- Experiência 7: Cordas vibrantes

Referências para a aula de hoje:

- Apostila do curso (página principal do moodle):
 - Experiência VII (aulas 11 e 12) - Cordas Vibrantes .
- Aba Experimento # 7 -Cordas vibrantes:
 - Tabela densidades linear dos fios.

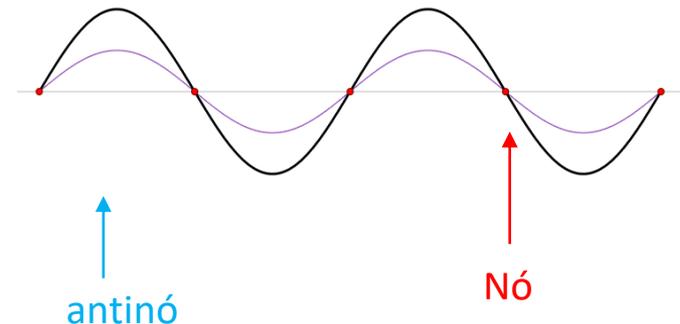
Como definir uma onda?

- Uma onda é um fenômeno físico no qual uma perturbação de alguma grandeza física no espaço é também periódica no tempo.
- As ondas transportam energia ao longo do espaço, sendo que o meio pode apenas oscilar, sem transportar matéria;
- As ondas mecânicas precisam de um meio para se propagar, como uma corda, o mar, o ar (ondas sonoras), as rochas (ondas sísmicas), etc...
- As ondas eletromagnéticas, até onde se conhece, não necessitam de um meio para se propagar, podendo percorrer tanto o vácuo quanto a matéria;

Caso Especial: Onda Estacionária

- É uma onda que oscila no tempo, mas cuja amplitude de pico das oscilações da onda em qualquer ponto no espaço é constante em relação ao tempo, e as oscilações em diferentes pontos ao longo da onda estão em fase.
- Causas:
 - O meio está se movendo na direção oposta à da onda
 - Pela interferência entre duas ondas de **mesma amplitude e mesmo comprimento de onda** que se propagam em **sentidos opostos**.

Os locais em que o valor absoluto da amplitude é mínimo são chamados de **nós**, e os locais onde o valor absoluto da amplitude é máximo são chamados de **antinós**.



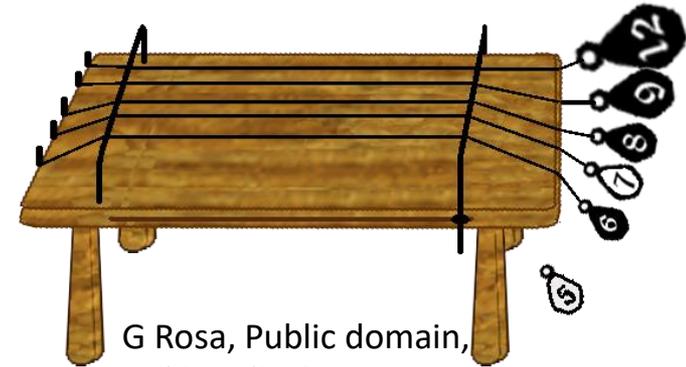
Experiência: Cordas Vibrantes

- Objetivo do experimento:
 - Estudar os modos de vibração de uma corda presa em suas extremidades.
- Exemplo de sistemas que usam esses modos:
 - Instrumentos musicais de corda
- Na ausência de um modelo teórico iremos estabelecer uma função de maneira empírica:
 - Ajuste dos dados experimentais
 - Variação de diversos parâmetros

Vibração de uma corda

- Talvez um dos primeiros estudos experimentais registrado na história da civilização ocidental:

- Pitágoras estudou a dependência de diferentes fatores no som de uma corda tensionada em um monocórdio.

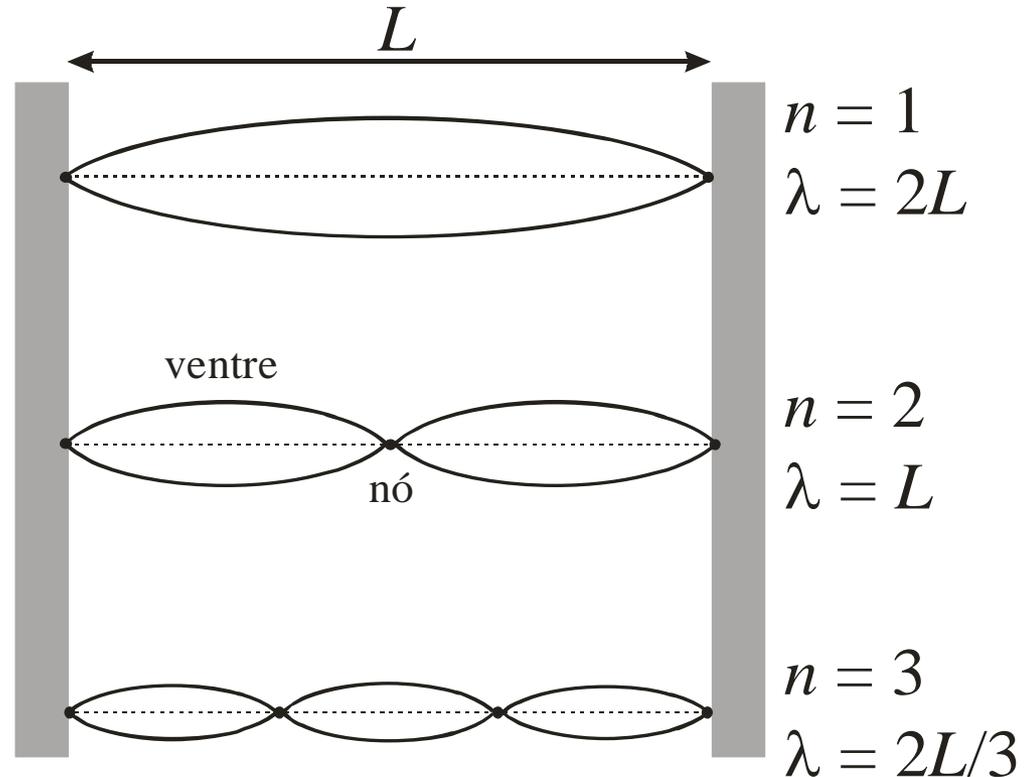


G Rosa, Public domain,
Wikimedia Commons

- Seja uma corda ou um fio preso em suas extremidades (como uma corda de violão). Ao puxarmos essa corda, como ela deverá vibrar?
- Quais características da corda e da forma como ela está presa influenciam a maneira de como ela vibrará?

Modos de vibração de um fio

- Fio preso nas duas extremidades
 - Essa condição limita as configurações possíveis de ondas estacionárias
 - Surgem os modos de vibração ou frequências de ressonância



As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Modo de vibração:

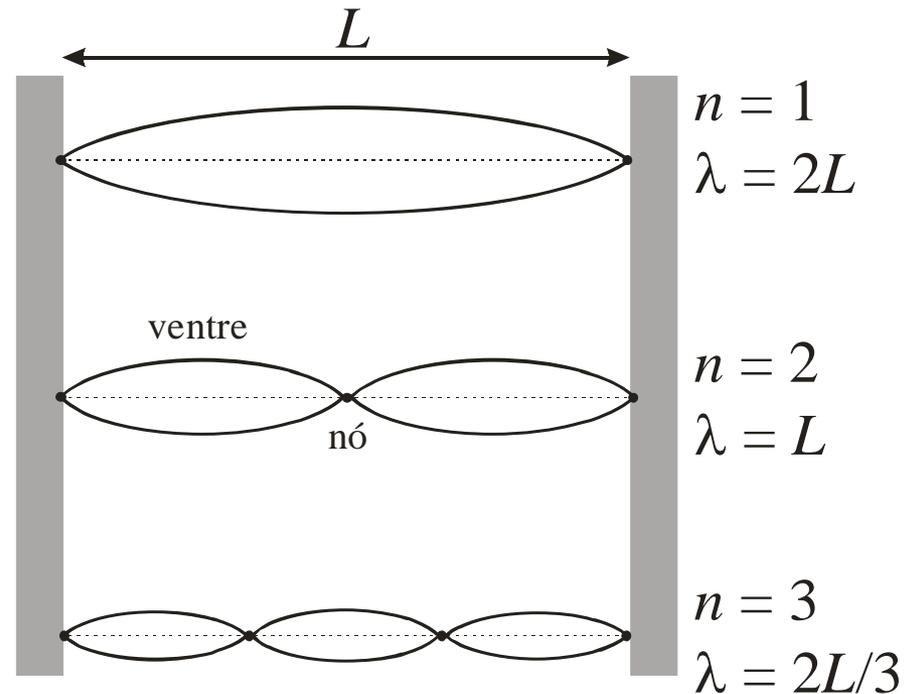
- Diminuindo o comprimento de onda, aumenta-se a frequência:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

v : velocidade da onda
 λ : comprimento de onda
 f : frequência

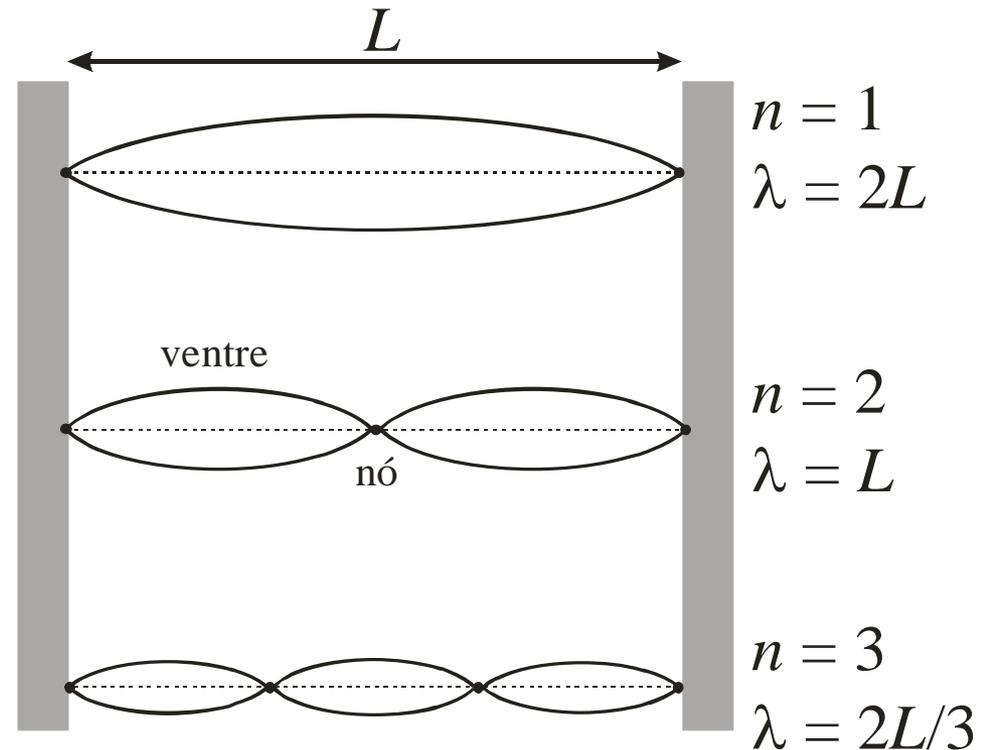
- Comprimento do fio

- Quanto maior o comprimento do fio, maior o comprimento de onda para o mesmo modo de vibração.



As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Densidade do fio
 - Fios de densidade diferentes vibram em frequências diferentes
- Tensão aplicada ao fio
 - Variando-se a tensão, varia-se a frequência.



As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Assim, os parâmetros principais são
 - Modo de vibração (n)
 - Comprimento do fio (L)
 - Densidade (μ)
 - Vamos usar a densidade linear $\mu = m / L$
 - Tensão aplicada (T)
- Como correlacionar a frequência com esses parâmetros?
 - Tomar os dados e analisá-los
 - Estudar variação da frequência com cada parâmetro

Descrição empírica:

- Como obter uma expressão para a frequência de ressonância?

- Hipótese:

- Supor que a frequência depende de um parâmetro como uma potência deste parâmetro

$$f(x) = A \cdot x^b$$

- No caso dos nossos parâmetros, supor uma combinação de potências

$$f_n = C n^\alpha L^\beta T^\gamma \mu^\delta$$

Descrição empírica:

- Determinar os valores dos coeficientes α , β , γ , δ a partir dos dados. Como?
- Para um determinado parâmetro, com todos os outros fixos, podemos escrever que:

$$f(x) = A \cdot x^b$$

- Por exemplo: para todos os parâmetros fixos e variando apenas n :

$$f_n = Bn^\alpha$$

$$B = cte = CL^\beta T^\gamma \mu^\delta$$

Descrição empírica:

- Fixar todos os parâmetros e variar somente n :

$$f_n = Bn^\alpha \quad , \text{ onde: } B = cte = CL^\beta T^\gamma \mu^\delta$$

- Como determinar B e α ?
 - Extrair o logaritmo da expressão acima:

$$\log(f_n) = \log(Bn^\alpha)$$

$$\log(f_n) = \log(B) + \alpha \cdot \log(n)$$

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

$$y = \log(f_n)$$



função

$$x = \log(n)$$



variável

$$a = \log(B)$$



Coef. linear

$$b = \alpha$$



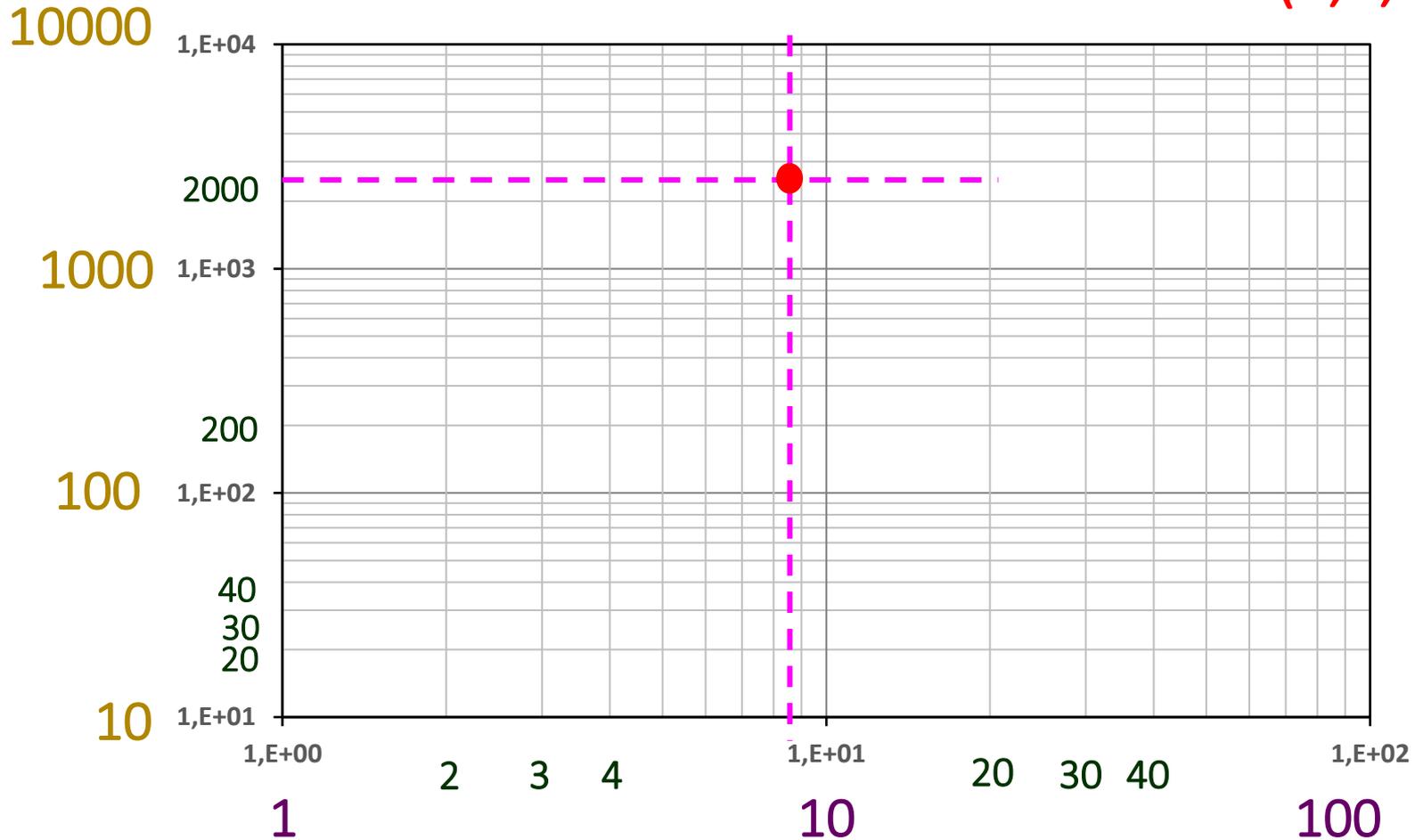
Coef. ang

Escala Logarítmica

- A fim de facilitar a construção desse gráfico e evitar que tenhamos que calcular o logaritmo de todos os dados, podemos utilizar o chamado papel **di-log (base 10)**.
- Nesse papel, tanto o eixo-x como o eixo-y são construídos de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico
 - Analogamente ao eixo y no papel monolog

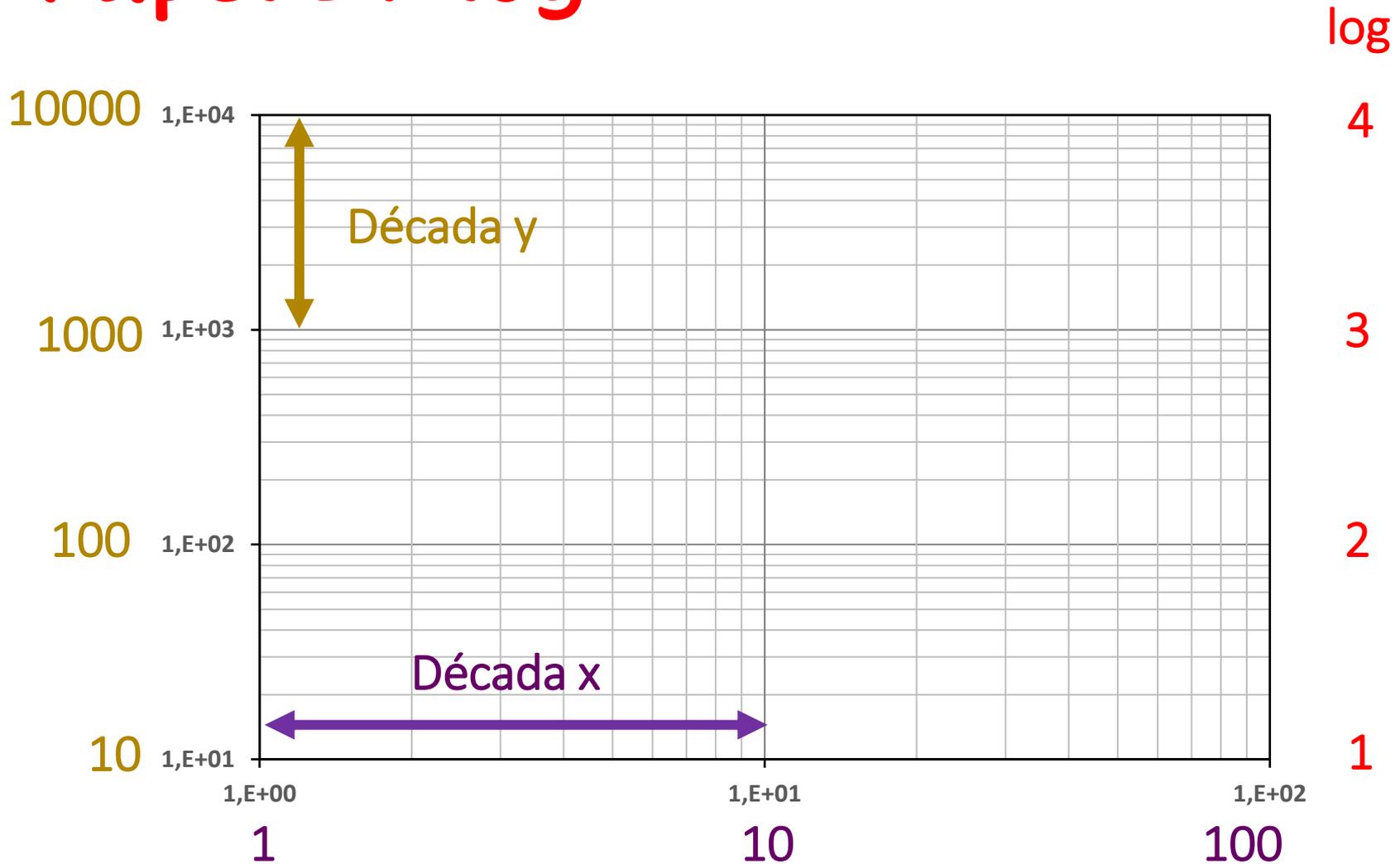
Papel Di-log

$P = (8,5; 2350)$



Valores diferentes no início das escalas de x e y

Papel Di-log



Tamanhos das décadas: Iguais no mesmo eixo
Diferentes nos eixos x e y

Obtendo o expoente

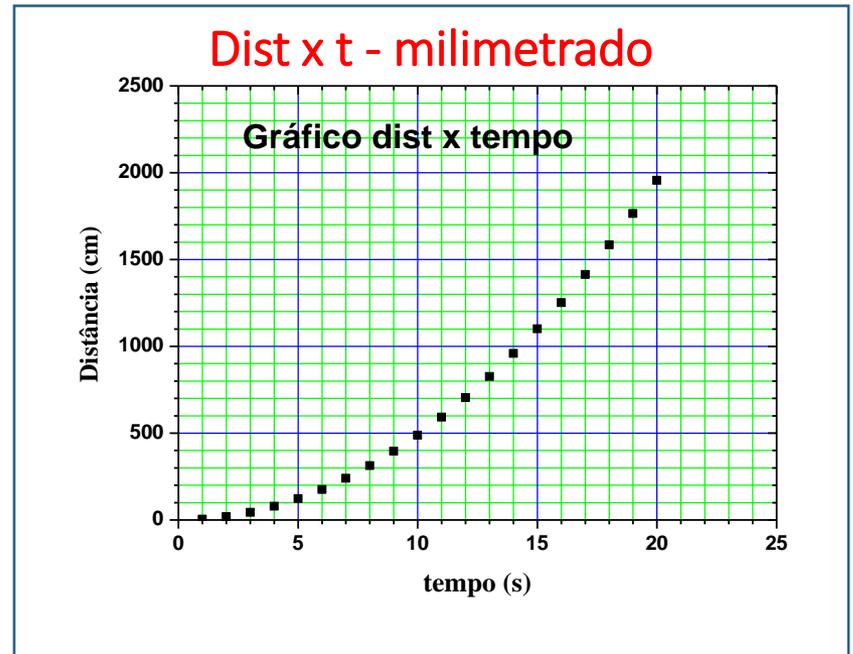
$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

Linearização da função

$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2} g\right) + 2 \log(t)$$

$$y = a + b x$$

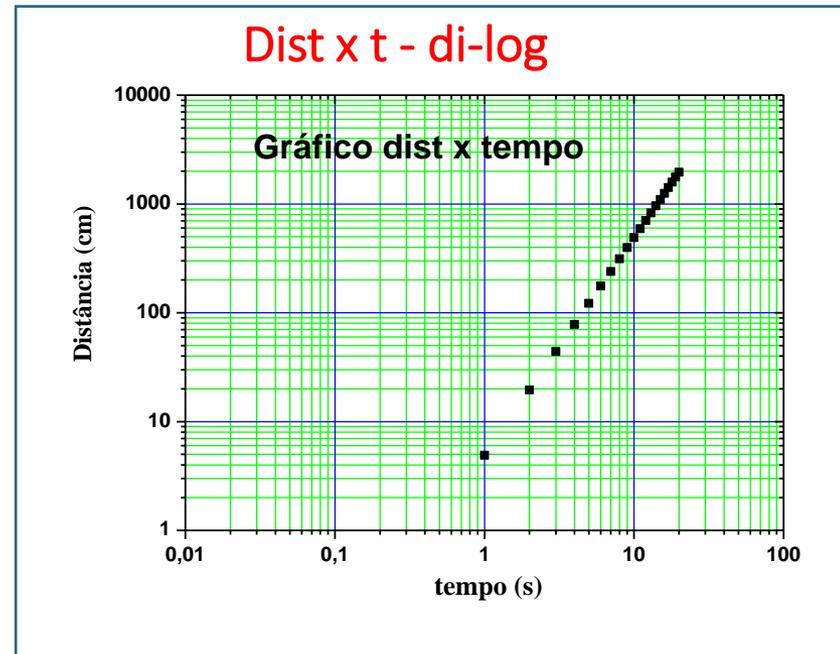
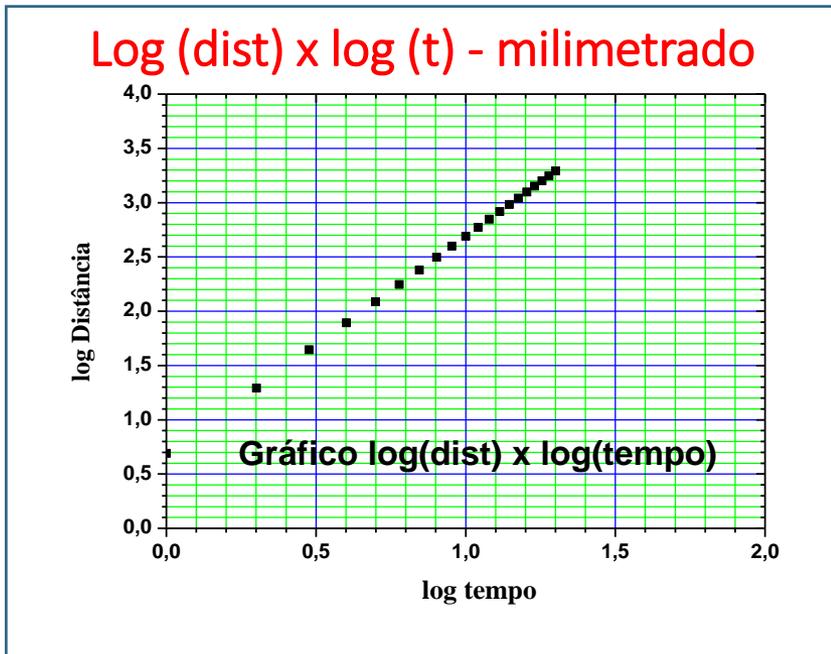
Coef ang = 2



Obtendo o expoente

$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2}g\right) + 2\log(t)$$

$$y = a + b x$$



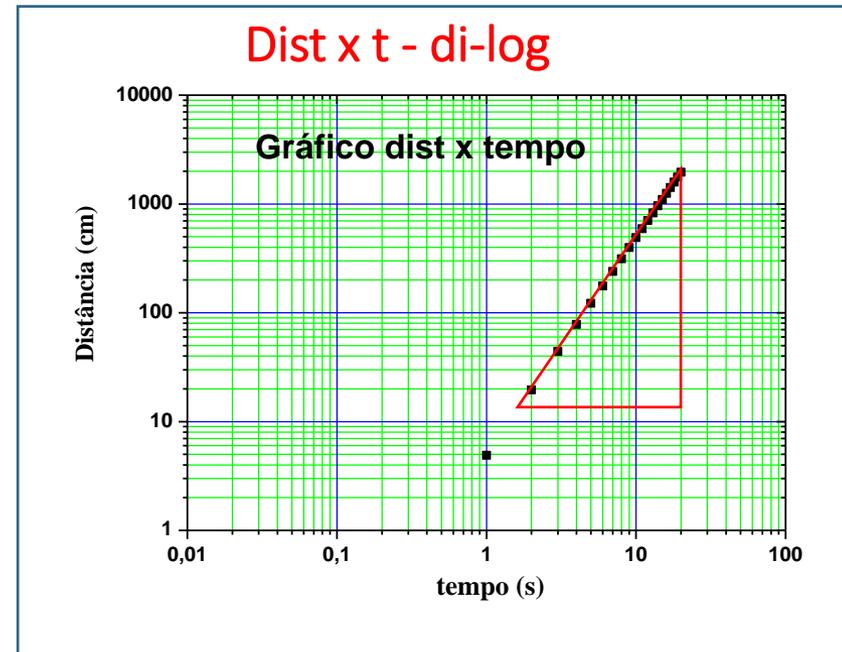
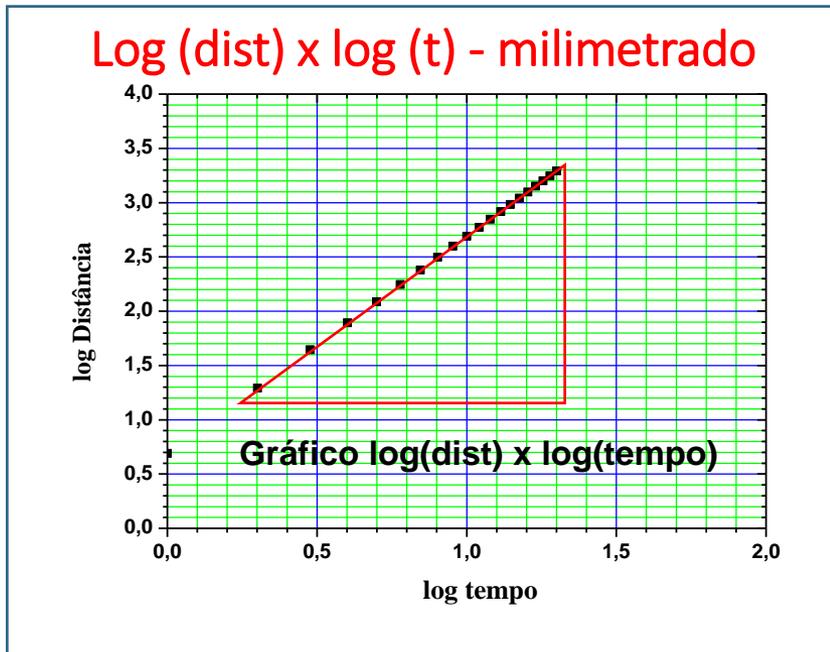
Obtendo o expoente

$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2}g\right) + 2\log(t)$$

$$y = a + b x$$

Ajuste de reta

Porque as retas não possuem a mesma inclinação?



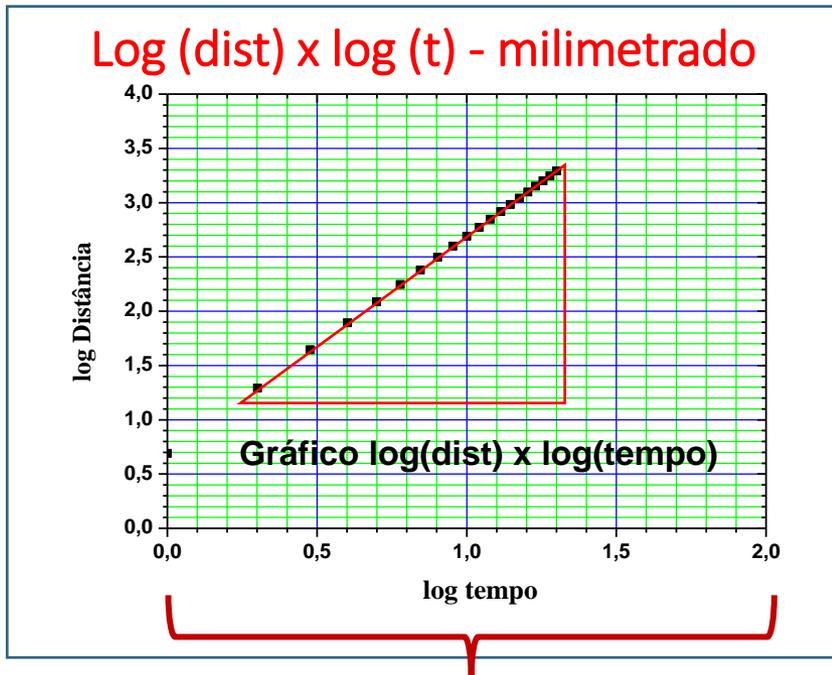
Obtendo o expoente

$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2}g\right) + 2\log(t)$$

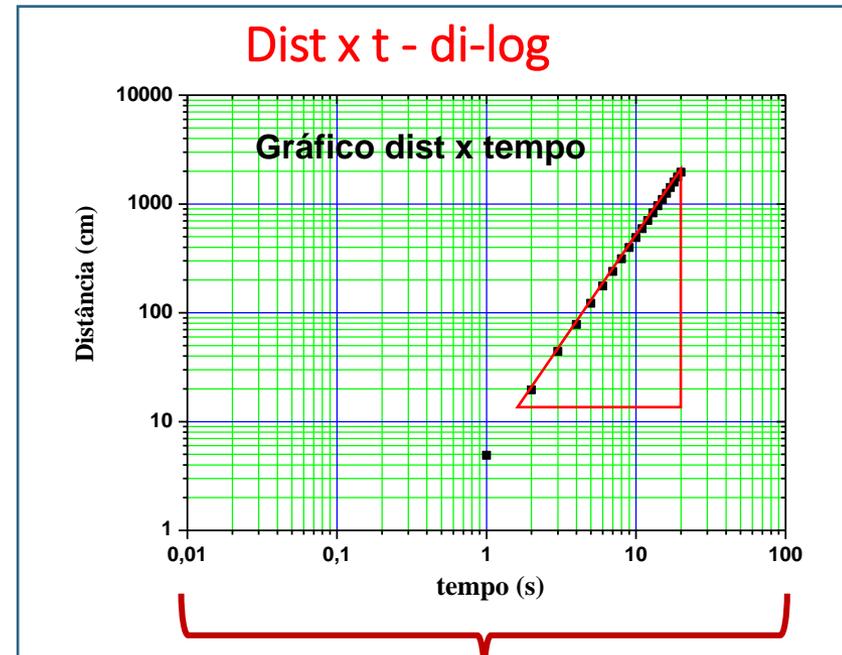
$$y = a + b x$$

Ajuste de reta

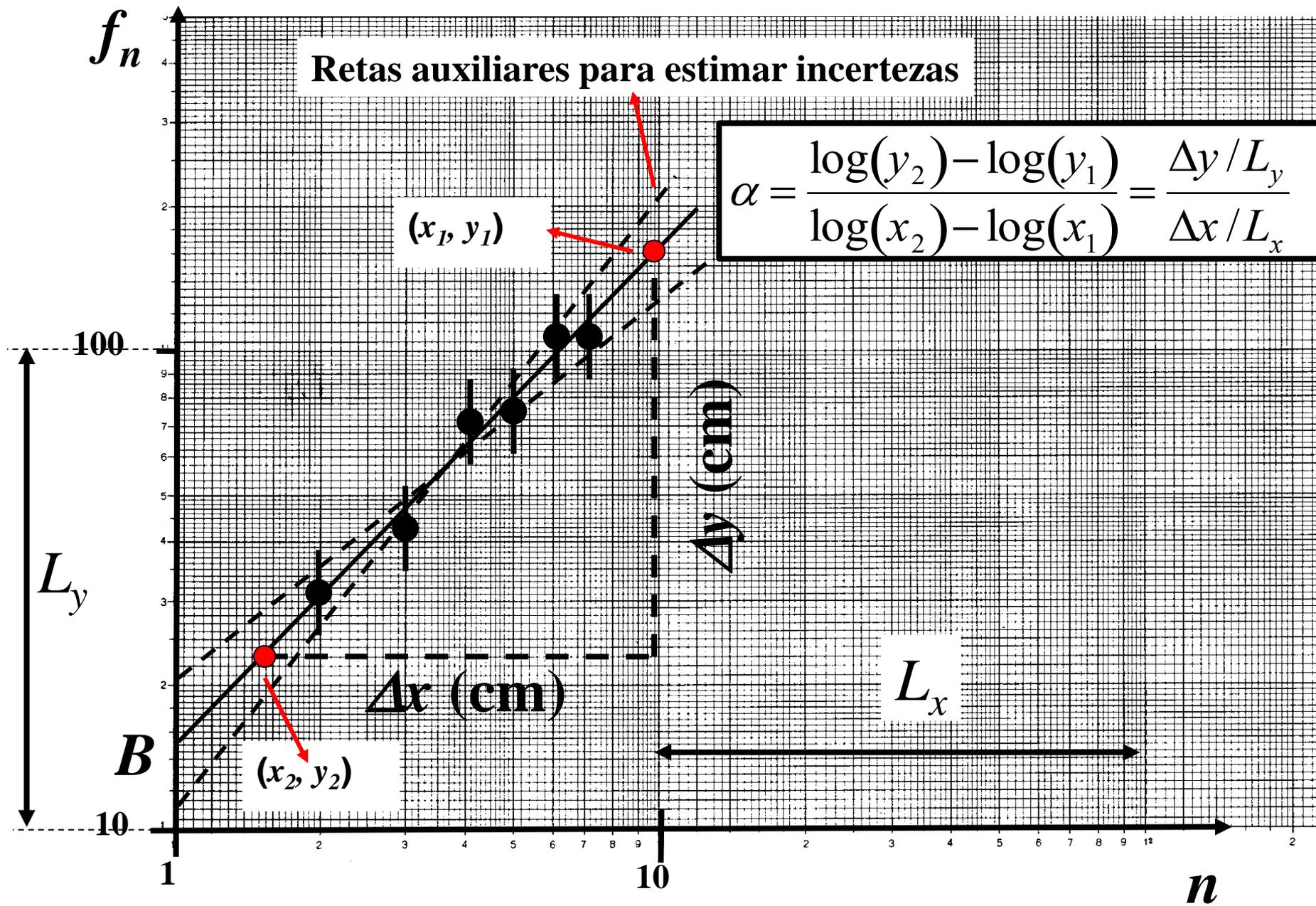
Porque as retas não possuem a mesma inclinação?



2 décadas

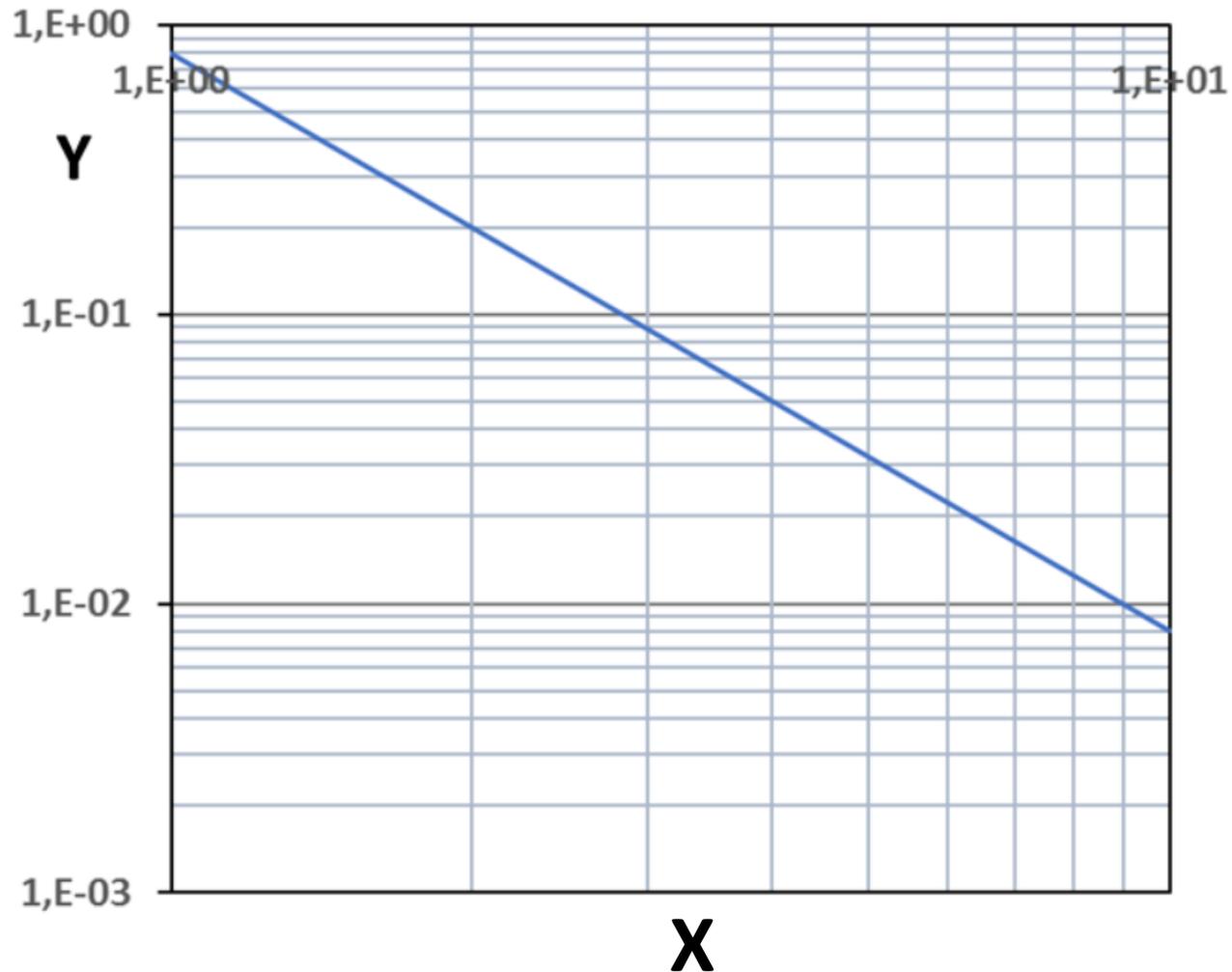


4 décadas



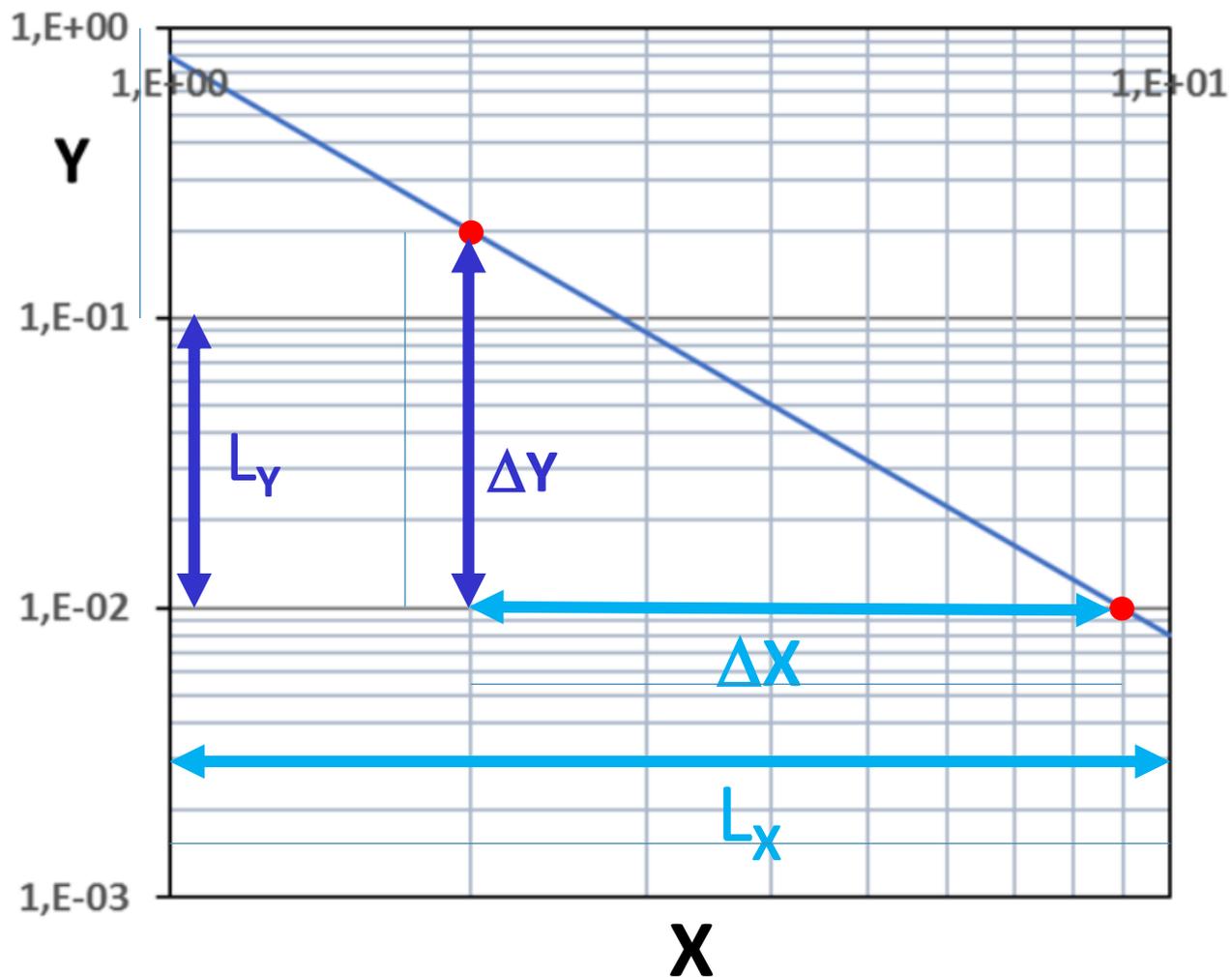
Exercício em aula

Obtenha o coeficiente b da expressão: $Y=aX^b$



Exercício em aula

Obtenha o coeficiente b da expressão: $Y=aX^b$



- 1) Escolher 2 pontos afastados na reta

$(2;0,2)$

$(9; 0,01)$

- 2) Determinar o expoente através de:

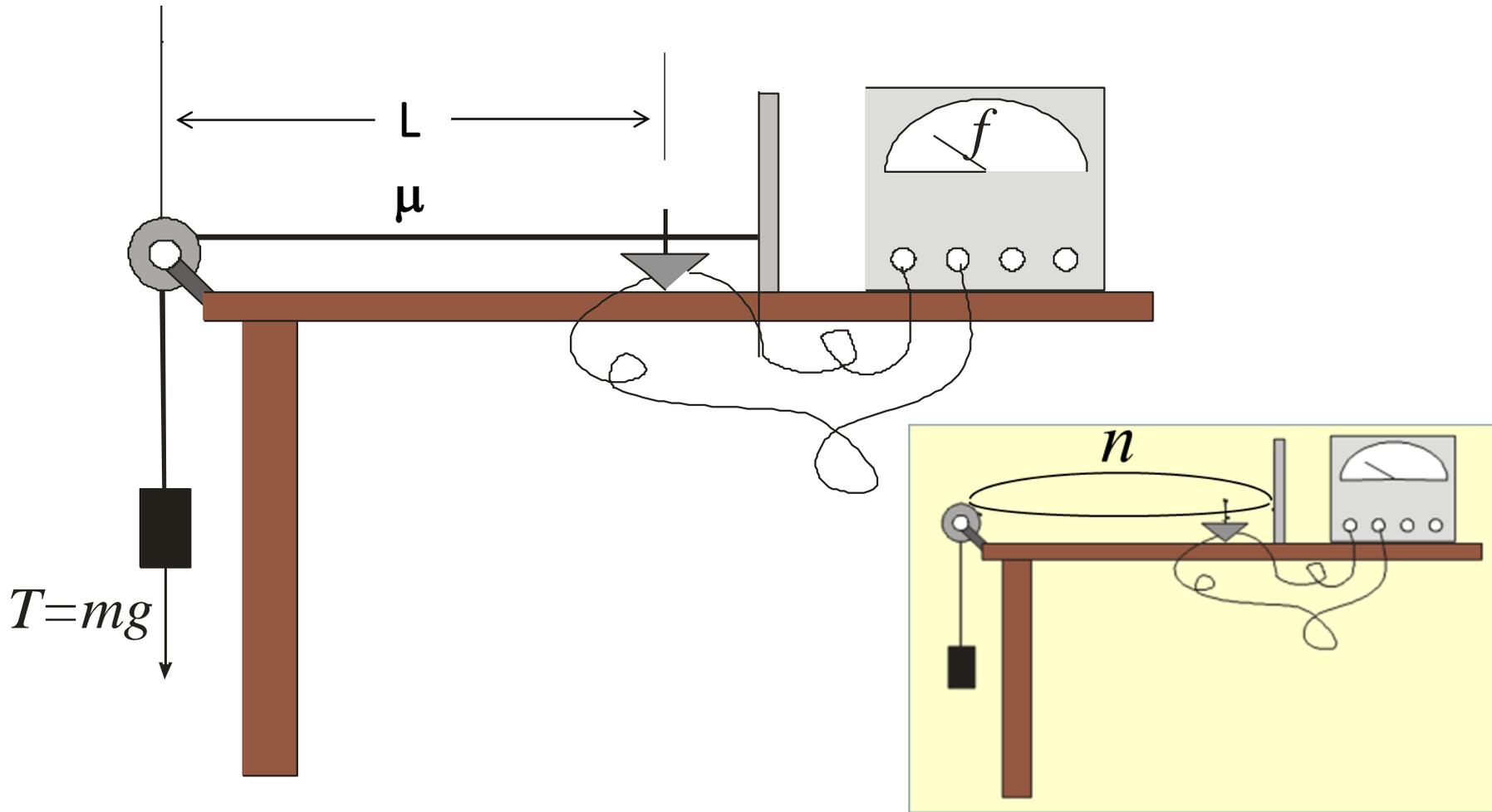
$$b = \frac{\Delta Y / L_y}{\Delta X / L_x}$$

Medidas com régua

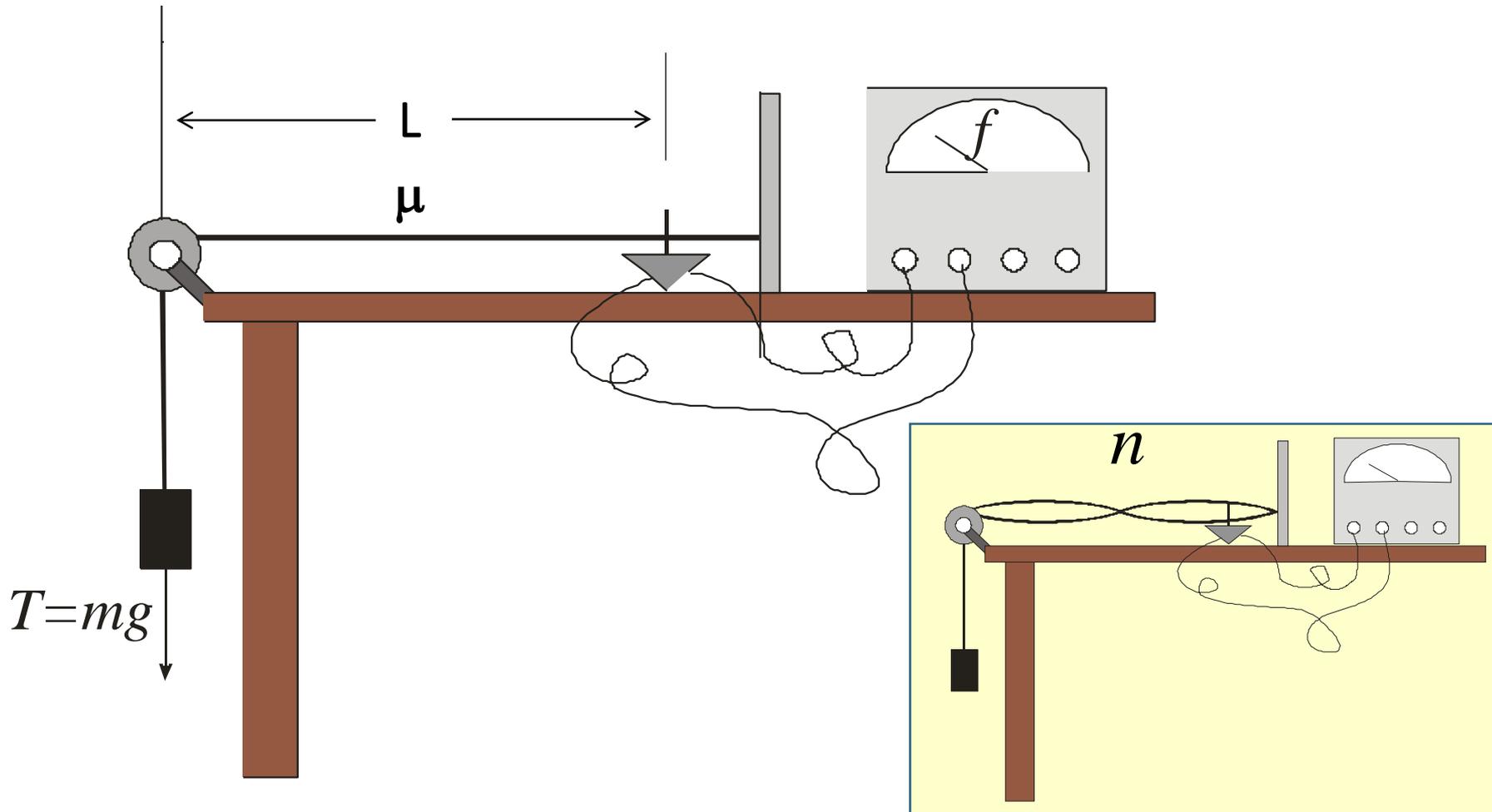
$$b = -2,0$$

Atividade prática

Arranjo experimental



Arranjo experimental



Procedimento experimental

- Quatro parâmetros a serem estudados: n , L , μ e T
 - Exemplo: Como a frequência depende de n ?
 - Fixar (e anotar, com a respectiva incerteza) todos os outros parâmetros
 - Anotar μ do fio de nylon que está montado no seu no arranjo experimental
 - Escolher uma massa, medir na balança e anotar seu valor
 - Medir o comprimento L com uma trena
 - Ler as frequências de ressonância para vários valores de n .
 - Medir valores ligeiramente acima ($F>$) e abaixo ($F<$) da frequência ideal
 - Assim: $F_r = (F> + F<)/2$ e $\text{Inc freq} = (F> - F<)/2$
 - Anotar dados na planilha online!

Procedimento experimental

- Em seguida, cada grupo deveria variar os outros parâmetros seguindo o mesmo procedimento.
 - Exemplo: variação com o parâmetro T (ou seja, os valores de massa)
 - Estudar como a frequência do segundo modo de vibração ($n=2$) depende deste parâmetro.
 - Não esqueça de **manter fixos os outros parâmetros** (anote os respectivos valores e incertezas)
 - Fazer 6-7 medidas, variando a massa
 - Usar o mesmo procedimento anterior para determinação de frequência e respectiva incerteza
 - **Anotar dados na planilha online!**

Análise dos dados

- Fazer o gráfico di-log das frequências de ressonância como função dos parâmetros medidos:
 - *Gráfico 1: f vs modo de vibração (n)*
 - *Gráfico 2: f vs tensão no fio (m)*
- Grupos de 2 alunos: aluno 1 faz o gráfico 1.
aluno 2 faz o gráfico 2.
- Grupos de 3 alunos: aluno 1 faz o gráfico 1.
aluno 2 faz o gráfico 2.
aluno 3 **também** faz o gráfico 1.
- Os dados realmente são uma reta no papel di-log?
 - Calcular os coeficientes angulares (com incerteza) para os dados acima.

Para a próxima aula (30/06):

- Entregar análise da parte 1 do relatório
- No moodle (aba Experimento # 7 – Cordas Vibrantes):
 - Exercício individual.