

Introdução às Medidas em Física

12ª Aula

<http://dfn.if.usp.br/~suaide>

Alexandre Suaide

Ed. Oscar Sala

sala 246

ramal 7072

Cordas vibrantes

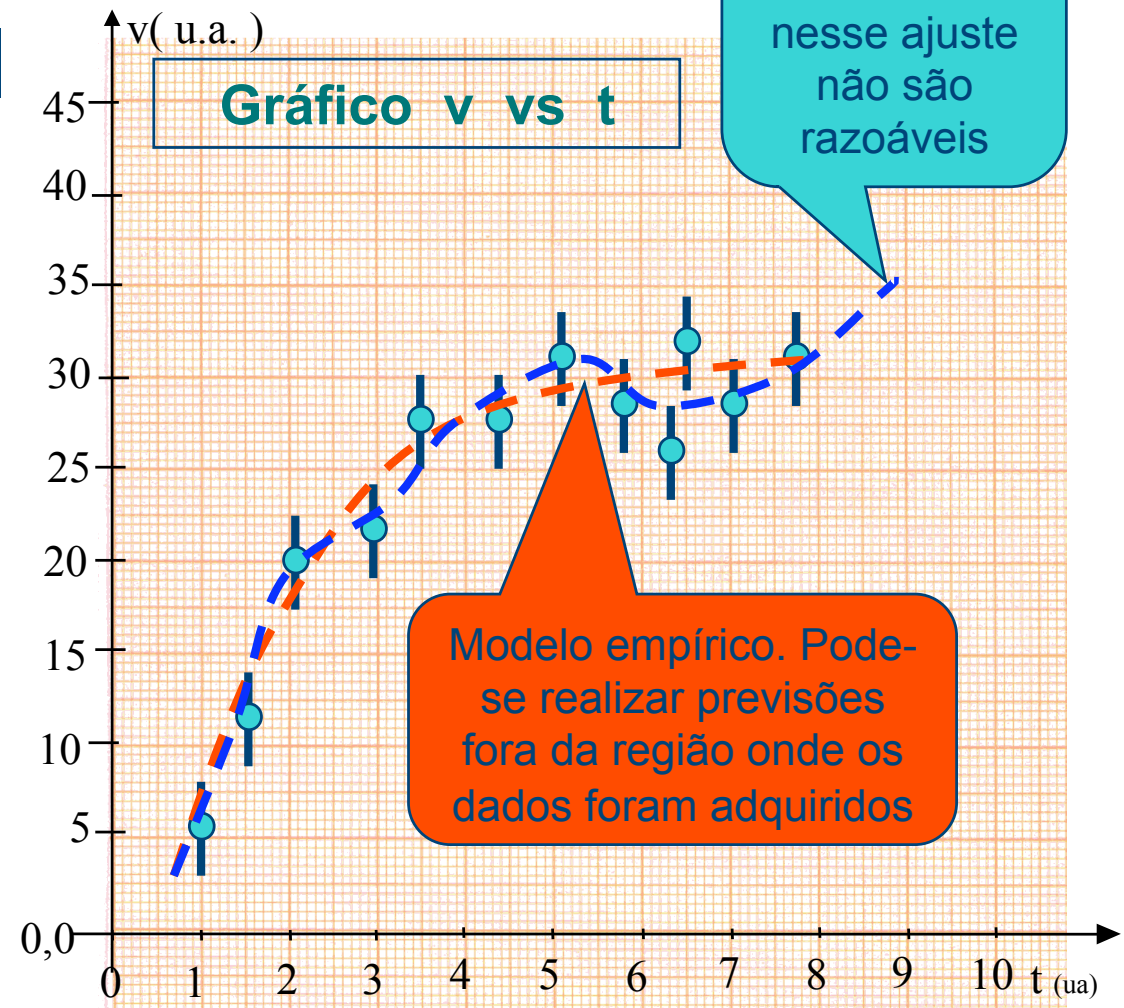
- Objetivos:
 - Estudo da ressonância sonora em um fio tensionado
 - Obtenção da expressão que relaciona os parâmetros experimentais com as frequências de ressonância
 - Análise de dados:
 - Análise gráfica – escala logarítmica;
 - Fórmulas empíricas;

Fórmulas empíricas

- Fórmulas empíricas (ou modelos empíricos) são expressões matemáticas que tentam descrever o comportamento físico observado
 - Não precisa ter fundamentos teóricos sólidos
 - Não é um simples ajuste de curvas. A expressão matemática obtida deve ser capaz de “prever” resultados fora da região onde os dados foram tomados

Ex: Velocidade de queda de um pára-quedista

- Um ajuste de uma expressão qualquer aos dados nem sempre pode ser considerado um modelo empírico

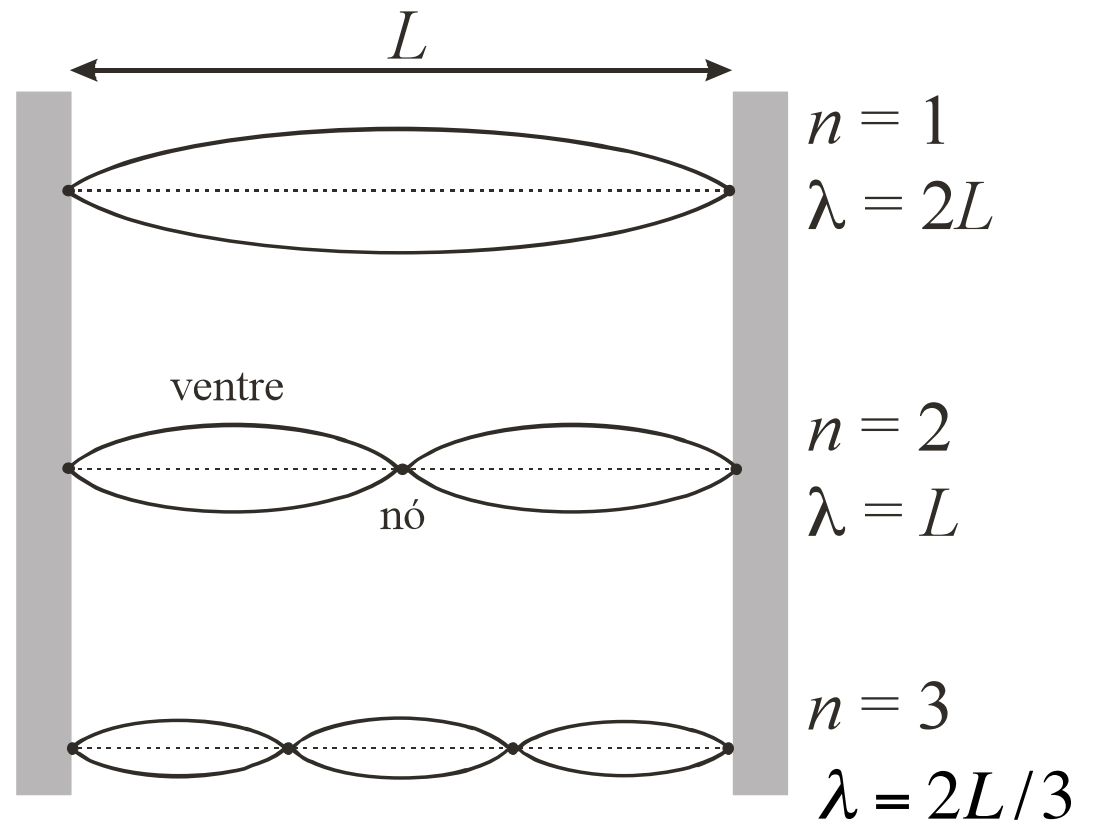


Como estabelecer um modelo empírico para um fenômeno físico

- Deve-se tomar os dados necessários
- A partir desses dados testam-se várias hipóteses diferentes
- Verifica-se qual hipótese descreve melhor os dados e se as previsões fornecidas por essas hipóteses são razoáveis
 - Ex: no caso do pára-quedas, espera-se que a velocidade de queda seja constante após um intervalo de tempo. Assim, modelos empíricos devem satisfazer essas condições
- O modelo aplicado deve ser capaz de se adaptar a condições experimentais diferentes.
 - Ex: devemos ser capaz de utilizar a mesma expressão matemática (não necessariamente com os mesmos valores de parâmetros) para dois pára-quedistas e pára-quedas diferentes.

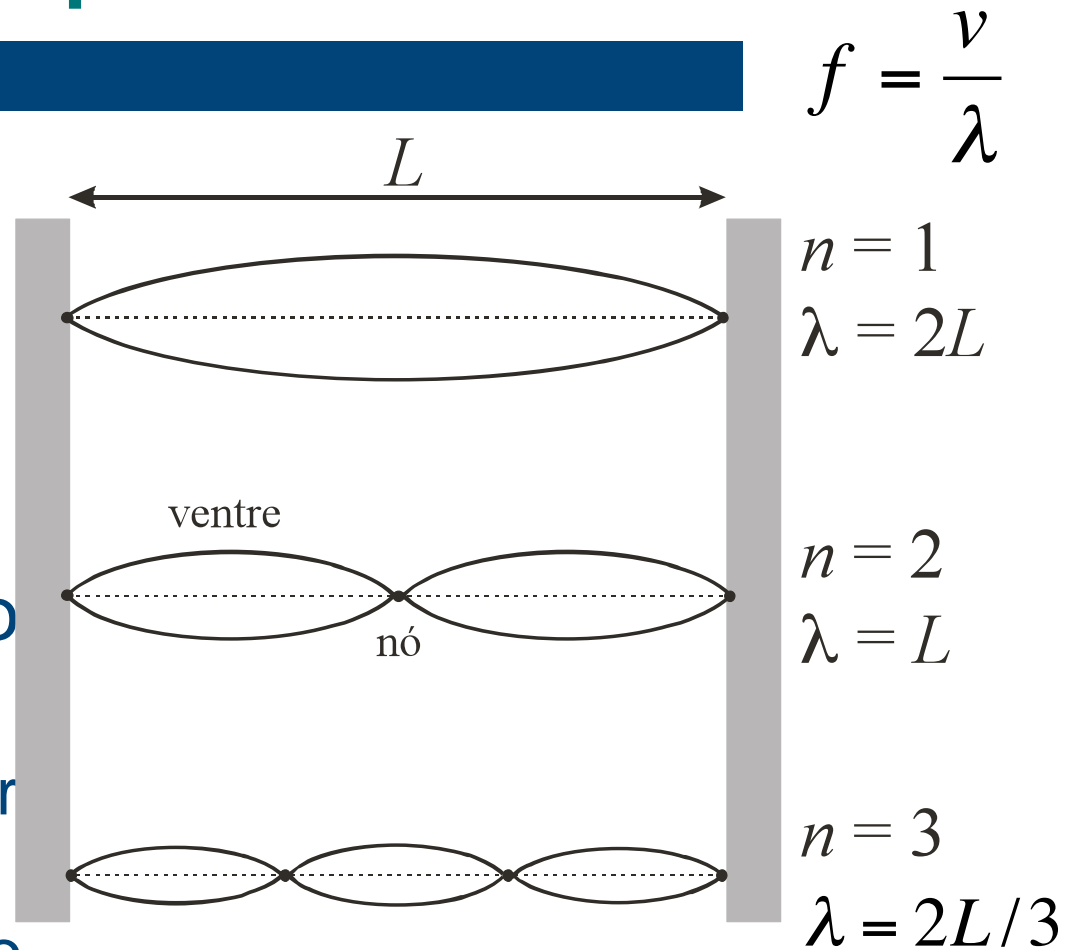
Modos de vibração de um fio

- Fio preso nas duas extremidades
 - Essa condição limita as configurações possíveis de ondas estacionárias
 - Modos de vibração
- Quais parâmetros influenciam a frequência de vibração do fio?



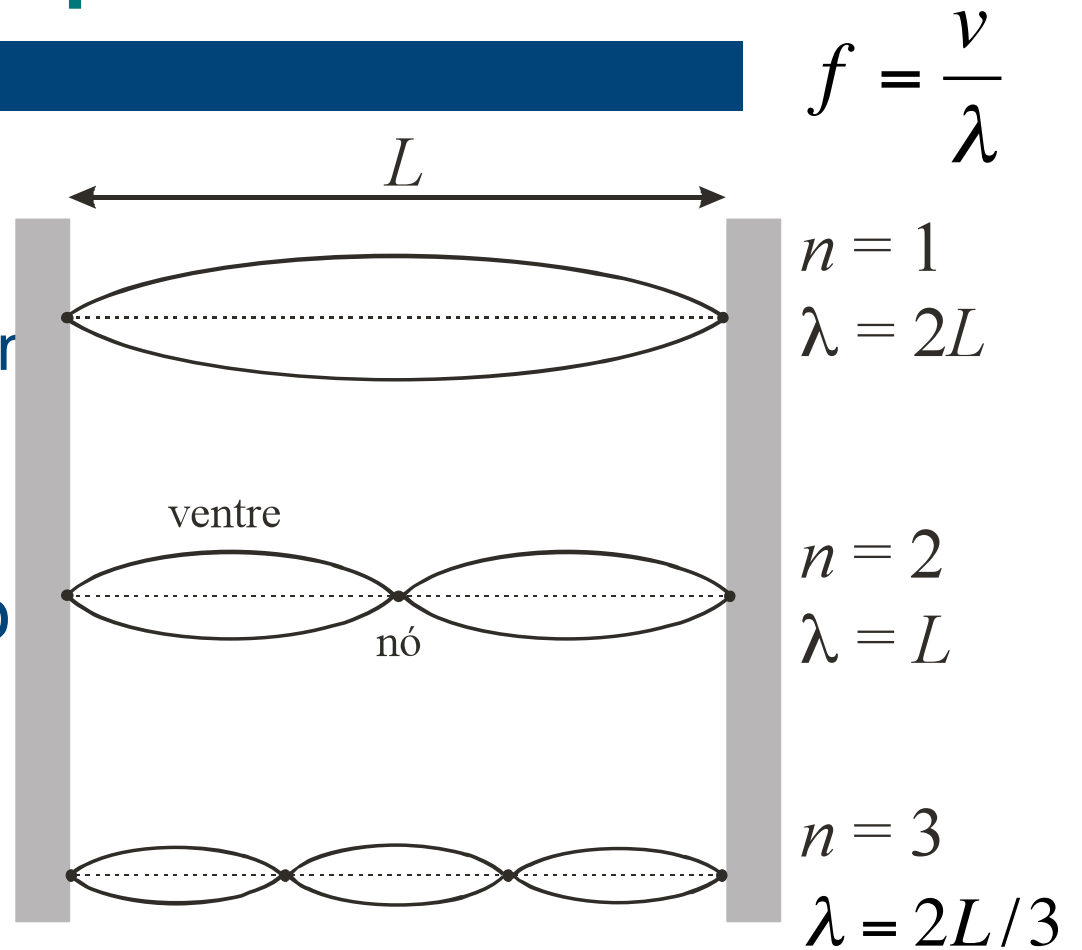
As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Modo de vibração
 - Diminuo o comprimento de onda, aumento a frequência
- Comprimento do fio
 - Quanto maior o comprimento, 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 (violão)
- Tensão aplicada ao fio
 - Variando-se a tensão, varia-se a frequência (afinar um violão)



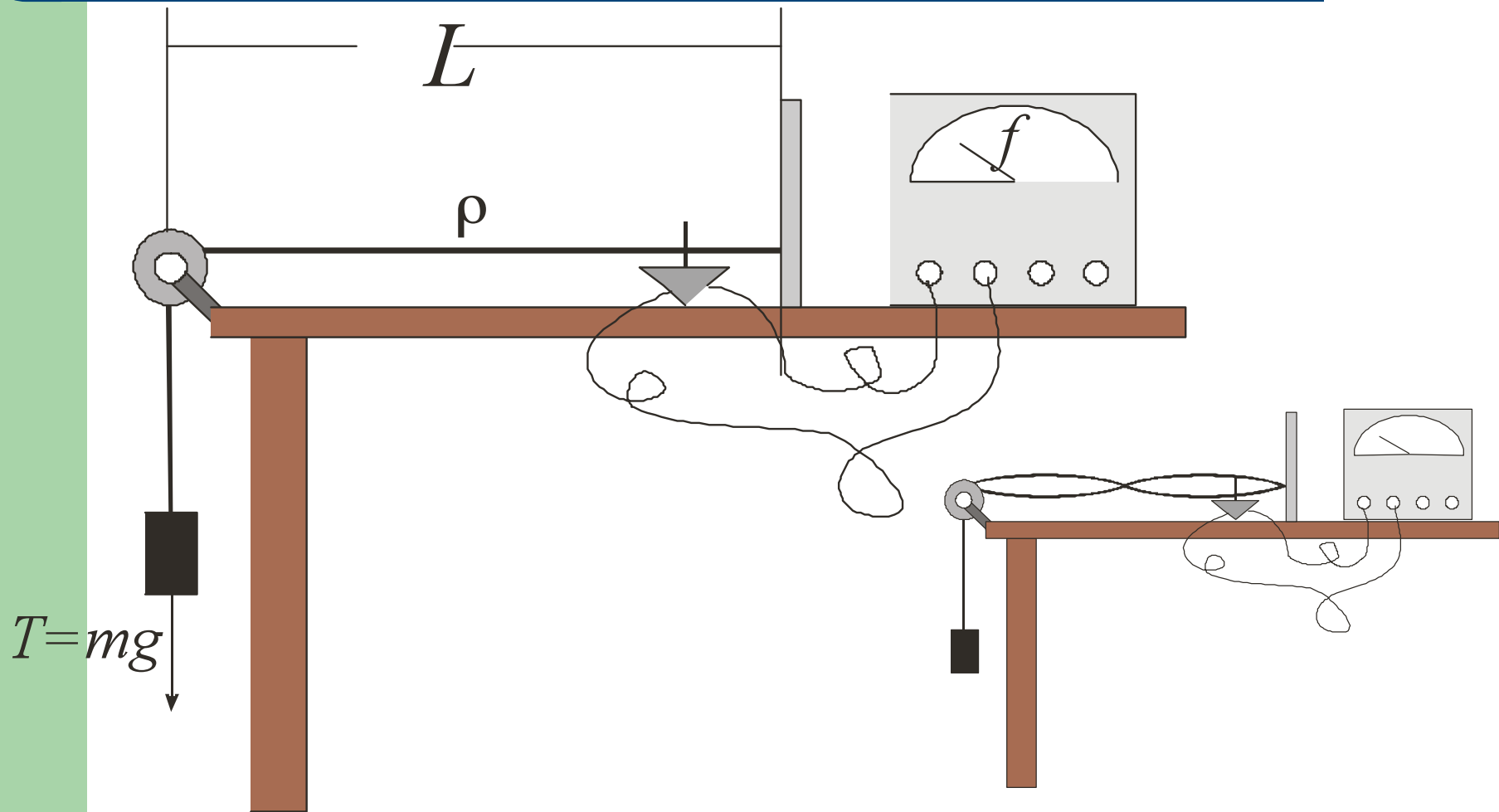
As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- 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

As frequências de ressonância dependem de que parâmetros?

- Como correlacionar a frequência com esses parâmetros?
 - Tomar os dados e analisá-los
 - Método
 - Fixar todos os parâmetros, menos um deles e, estudar como a frequência depende do parâmetro que está variando

Arranjo experimental



Procedimento experimental

- Quatro parâmetros a serem estudados
 - n , L , μ e T
 - Fixar todos os outros e variar um deles
 - Exemplo: Como a frequência depende de n ?
 - Escolher um fio de nylon e montá-lo no arranjo experimental
 - Fixar (e anotar, com a respectiva incerteza) todos os outros parâmetros
 - Medir as frequências de ressonância para vários valores de n
 - Analisar os dados

Atividades

- Todos os grupos
 - Escolher um fio de nylon com um determinado comprimento
 - Montá-lo no arranjo experimental, tensionado
 - Medir as frequências de ressonância para vários valores de n
 - Até ser possível visualizar as ressonâncias ($n \sim 5-6$)
- Em seguida, cada grupo escolhe um outro parâmetro (L , μ ou T)
 - Estudar como a frequência do segundo modo de vibração ($n = 2$) depende deste parâmetro
 - Fazer 6-7 medidas, variando este parâmetro
 - Olhem a apostila para os cuidados a serem tomados para cada parâmetro

Análise dos dados experimentais

- Como obter uma expressão para a frequência de ressonância?
- Hipótese
 - Supor que a frequência depende de um parâmetro como uma potência deste parâmetro

$$f(x) = Ax^b$$

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

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

Atividades

- Supondo que a expressão abaixo seja suficiente para determinar as frequências de ressonância, faça uma análise dimensional e obtenha os valores dos coeficientes α , β , γ e δ

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

- Dica: Lembre-se que a unidade de frequência é Hz (1/s) e a unidade de tensão (N) pode ser dada em termos da massa e aceleração

Como obter os valores destes coeficientes experimentalmente

- A partir dos dados
- Para um determinado parâmetro, com todos os outros fixos, podemos escrever que

$$f(x) = Ax^b$$

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

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

Exemplo: determinar B e α

- Fixar todos os parâmetros e variar somente n

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

- Como determinar B e α ?

- Extrair log da expressão

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

$$\log(f_n) = \alpha \log(n) + \log(B) \Rightarrow \textit{reta}!!!!$$

$$y = ax + b$$

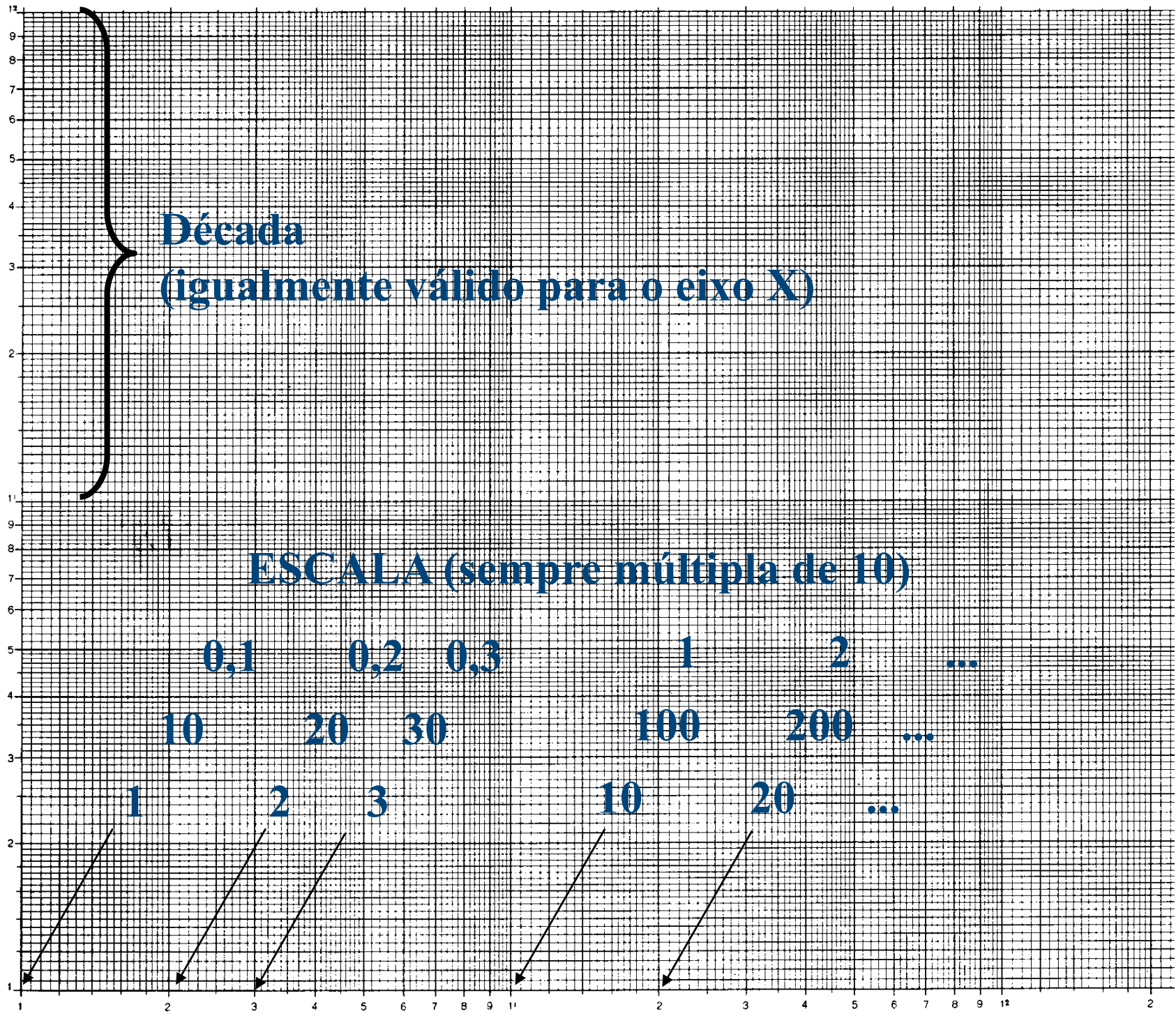
$$y = \log(f_n), \quad a = \alpha, \quad b = \log(B)$$

Solução elegante: papel di-log

- Usado para fazer gráficos do tipo

$$- y = ax^b$$

- O papel di-log já tem as escalas proporcionais a $\log(x)$
 - Dividido em décadas
 - Cada década representa uma ordem de grandeza
 - Leitura direta dos valores
 - Coeficiente angular é a inclinação do gráfico
 - Coeficiente linear diretamente lido da escala



Década
(igualmente válido para o eixo X)

ESCALA (sempre múltipla de 10)

	0,1	0,2	0,3	1	2	...
	10	20	30	100	200	...
1	2	3		10	20	...

f_n

Retas auxiliares para estimar incertezas

$$\alpha = \frac{\log y_1 - \log y_2}{\log x_1 - \log x_2} = \frac{\Delta y / L_y}{\Delta x / L_x}$$

(x_1, y_1)

(x_2, y_2)

100

L_y

10

1

10

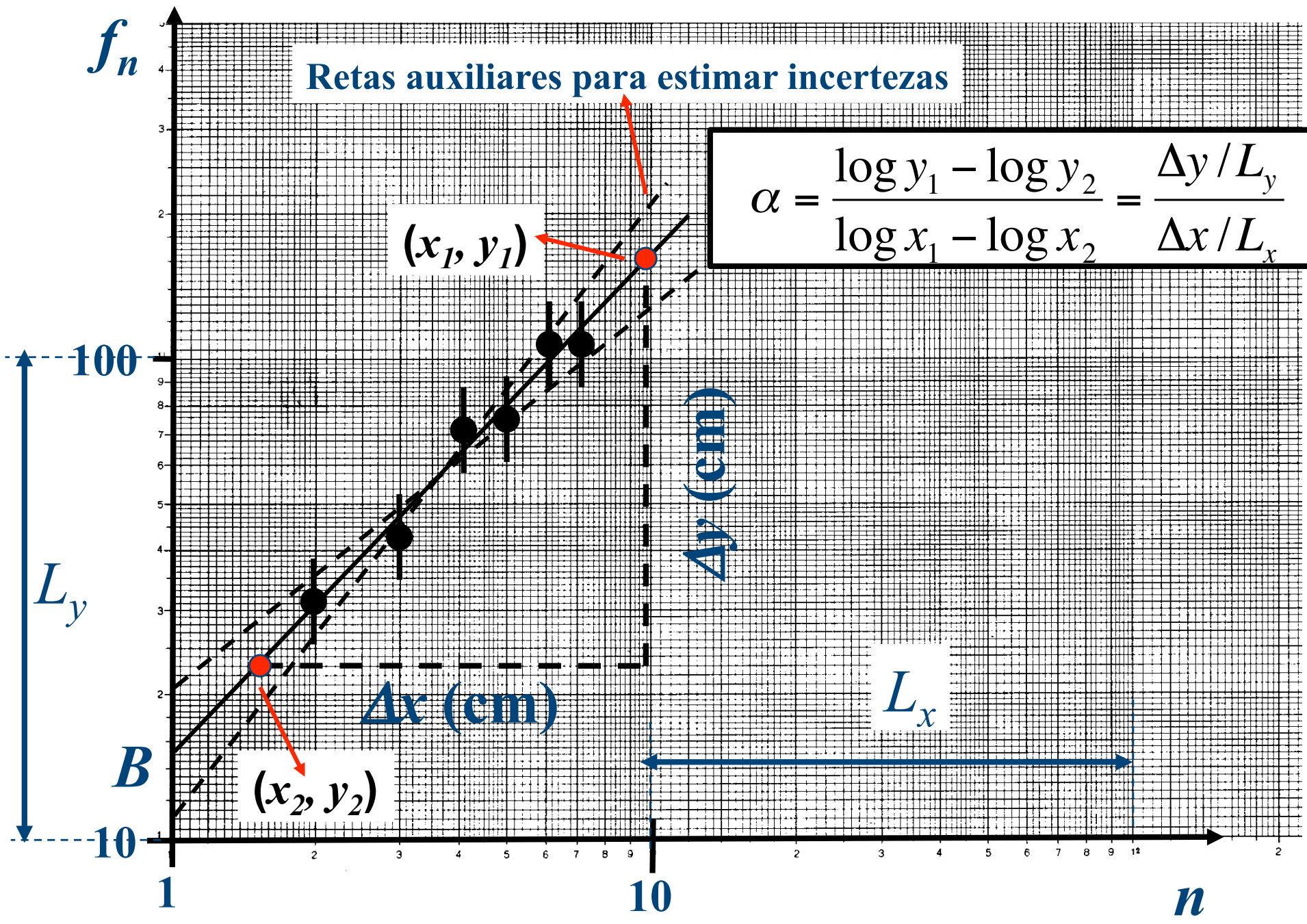
n

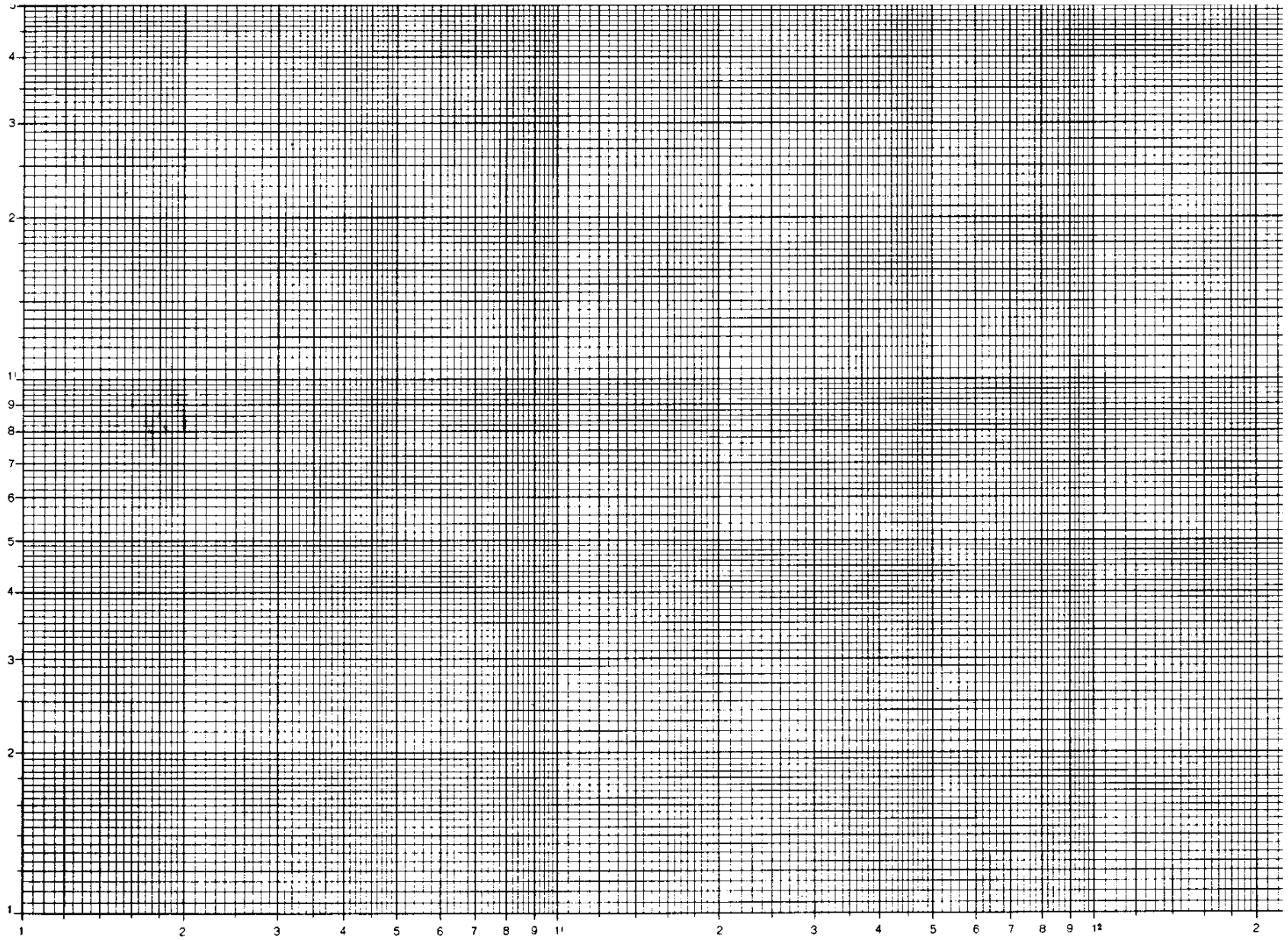
Δy (cm)

Δx (cm)

L_x

B





Atividades

- Fazer o gráfico di-log das frequências de ressonância como função dos parâmetros medidos
 - f vs n
 - f vs parâmetro do grupo
- Os dados realmente são uma reta no papel di-log?
 - Qual o coeficiente angular da reta com a sua incerteza? O valor obtido é compatível com a análise dimensional realizada?