Introdução às Medidas em Física

4300152

11ª Aula (22/06/2023)

Licenciatura no IME – Turma T42

Ricardo Andrade Terini

rterini@if.usp.br

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta – sl. 105

Agradecimentos aos profs. Nemitala Added, Elisabeth M. Yoshimura e Paula Allegro, por cederem as apresentações que serviram de base para esta.

Experiência 7:
Cordas Vibrantes (aulas 11 e 12)

Objetivos:

Estudar os modos de vibração de uma corda presa em suas extremidades.

(Por exemplo, sistemas como os instrumentos musicais de corda.)

Analisar ondas estacionárias numa corda.

Organizar um procedimento *para tomada de dados*.

Análise de dados

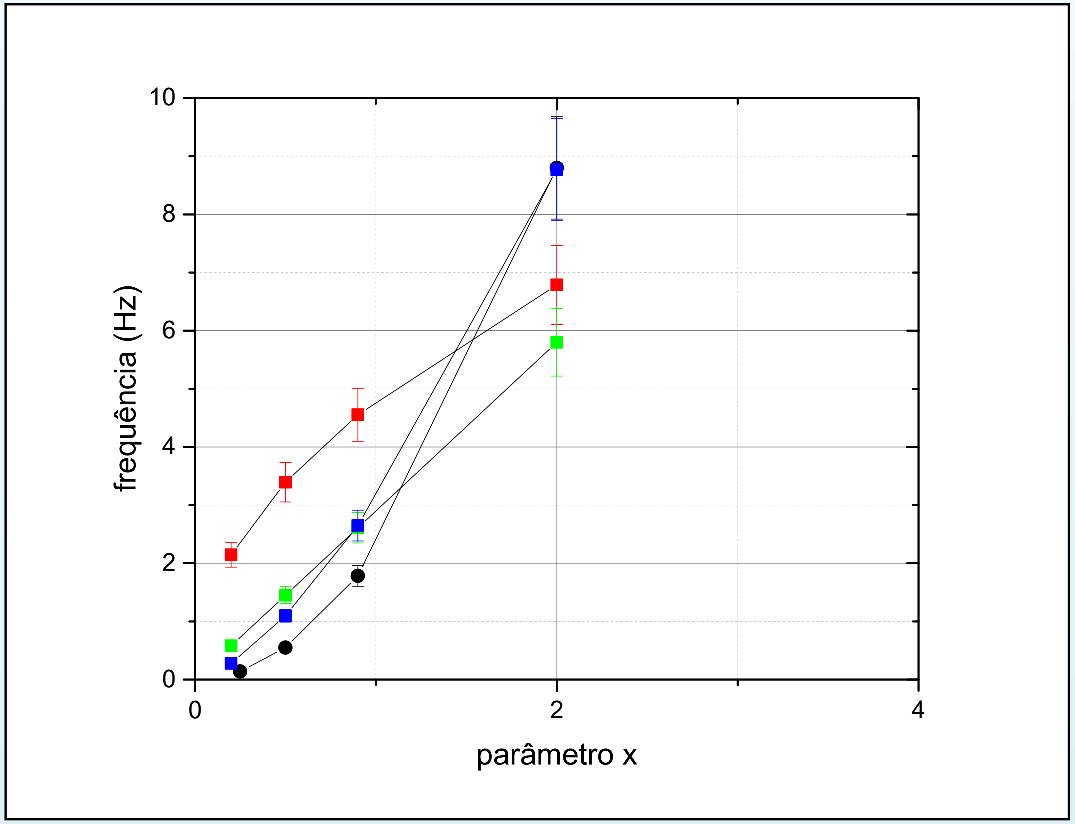
Análise gráfica – escalas logarítmicas – gráficos di-log – extração de parâmetros em gráfico di-log

Dedução empírica de uma lei física

Análise Gráfica de Dados - Linearização

Como analisar uma dependência de potência genérica?

Opção: Linearizar aplicando log ...



Ex.: Função do tipo

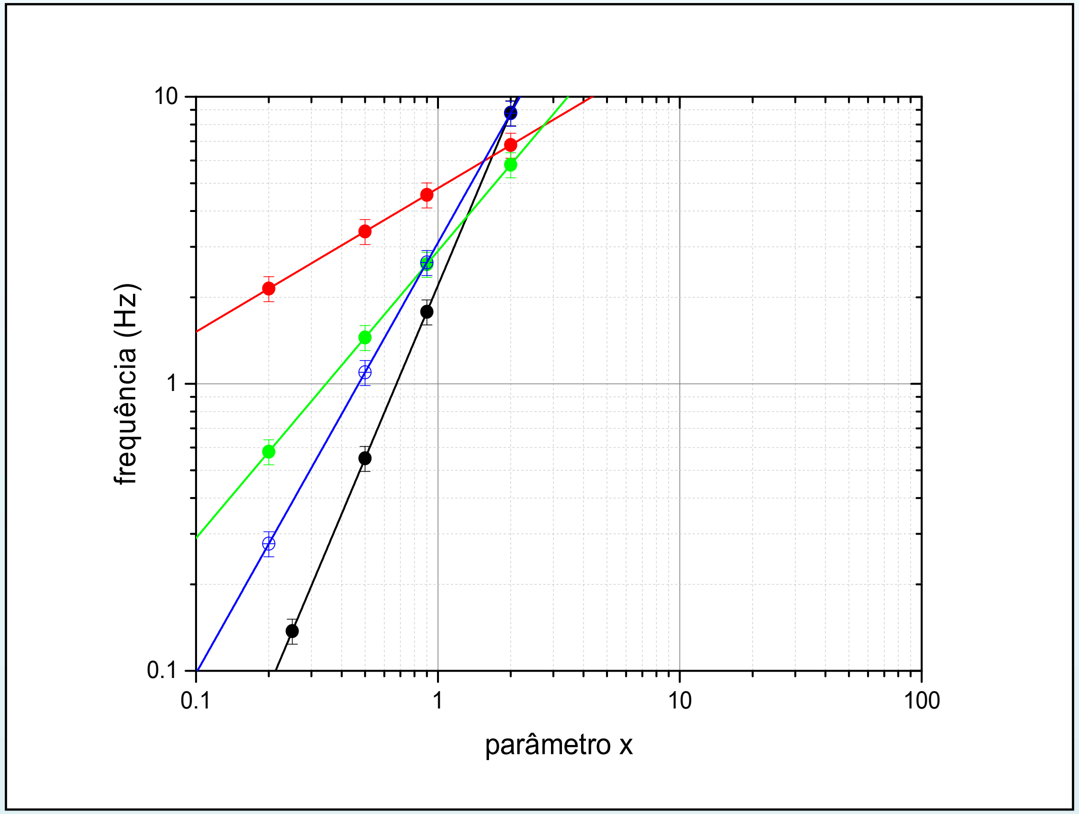
$$f(x) = A\,x^{b} \Rightarrow \log(f) = \log(A) + b\log(x)$$

Equação de uma reta...

Análise Gráfica de Dados – Escala dilog

Como analisar uma dependência de potência genérica?

Opção: Linearizar com um **gráfico** dilog.



Ex.: Função do tipo

$$f(x) = A\,x^{b} \Rightarrow \boxed{\log(f) = \log(A) + b\log(x)}$$

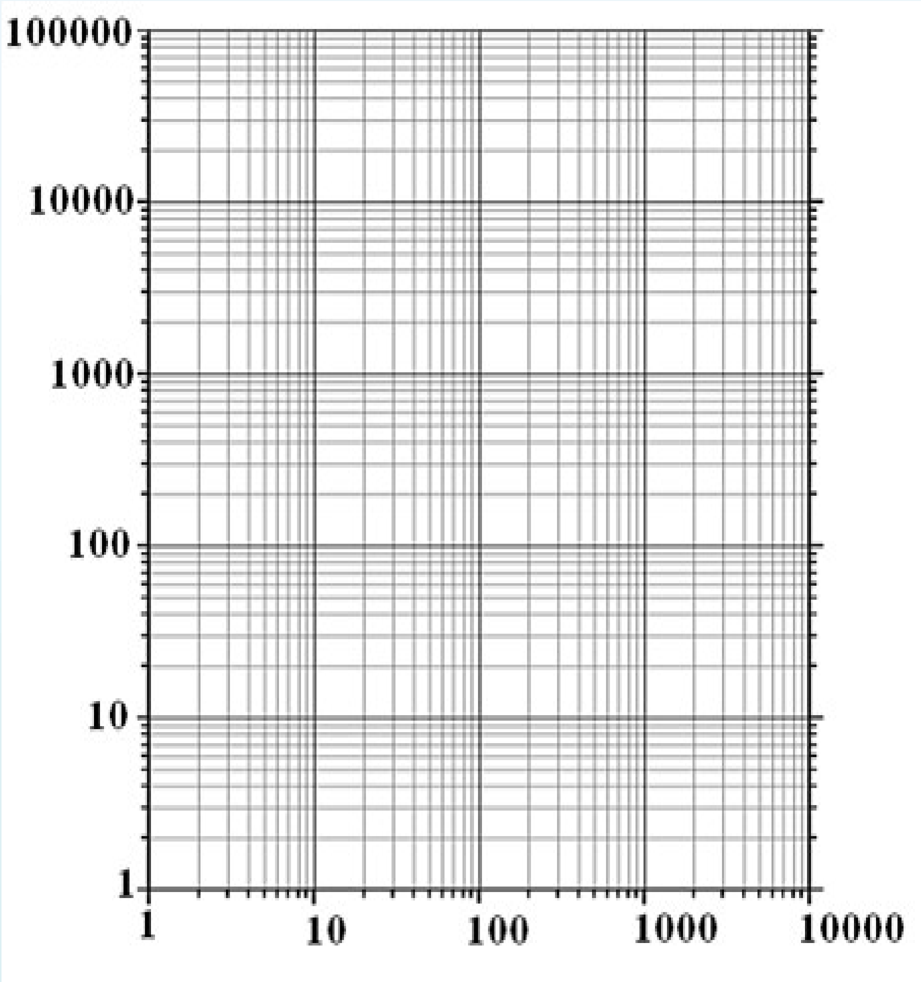
Equação de uma reta

Análise gráfica
Escalas Logarítmicas

Visando facilitar a construção de gráficos dessa forma **e evitar que tenhamos que calcular o logaritmo de todos os dados,** podemos utilizar o papel di-log.

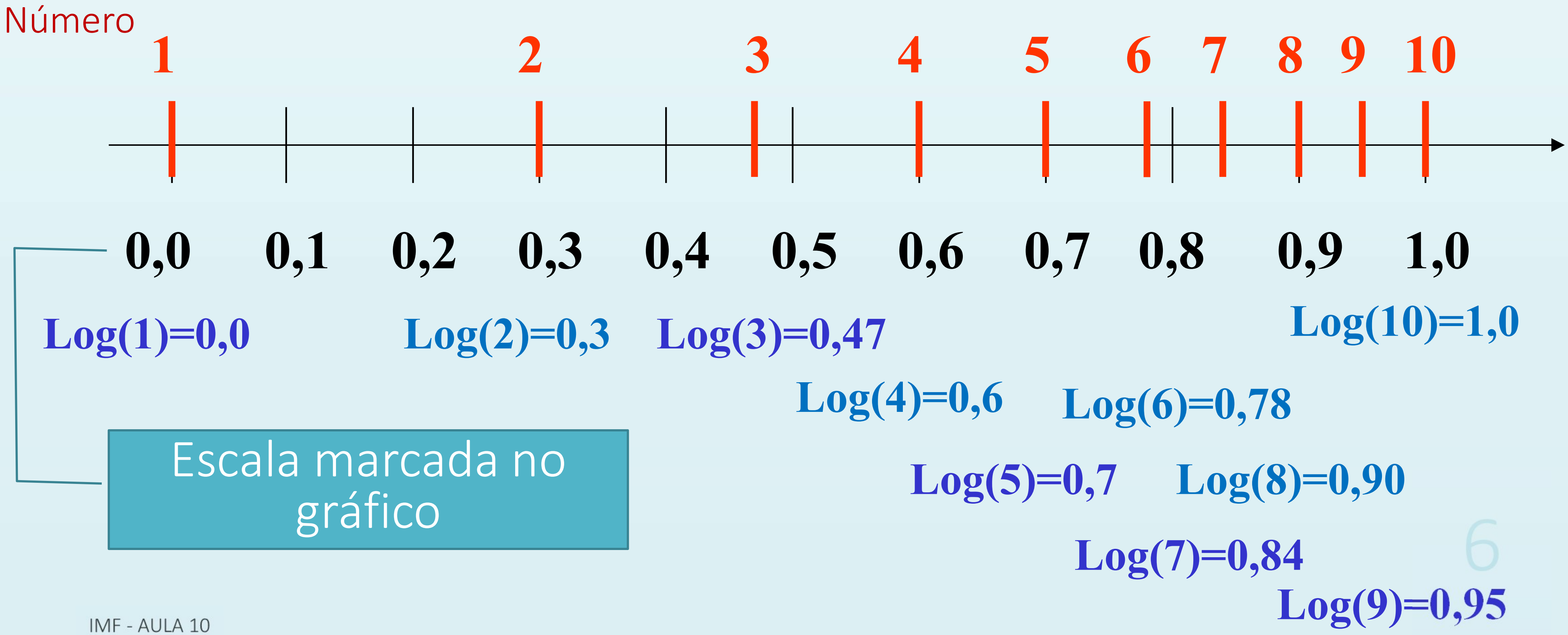
Nesse papel, tanto o eixo-x como o eixo-y são construídos de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo do número marcado na escala do gráfico.

Analogamente ao eixo y no papel *monolog* .

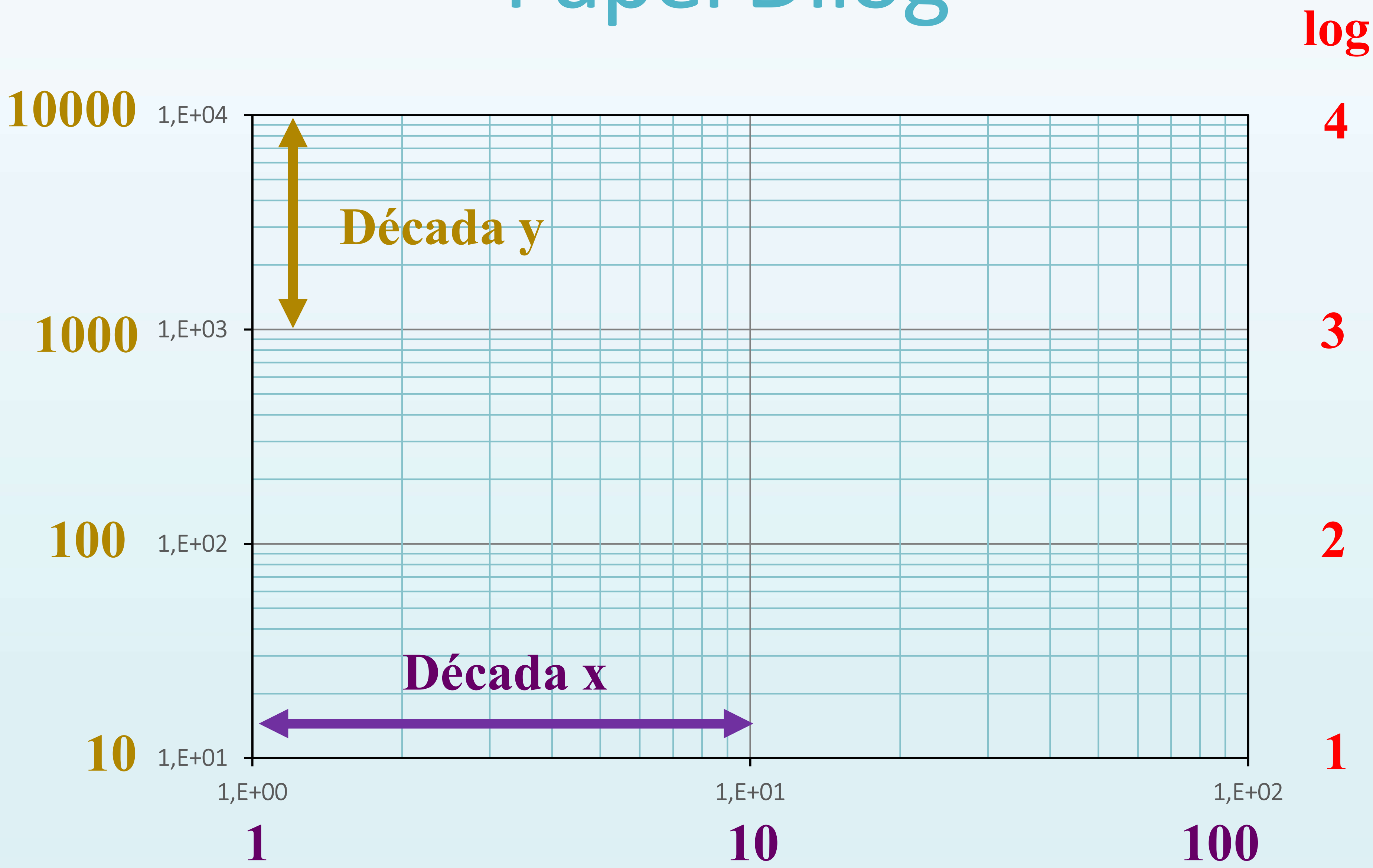


Análise gráfica : Escala Logarítmica

No eixo-y do papel monolog e nos eixos –x e –y do papel di-log o comprimento real no papel corresponde ao **logaritmo do número** marcado na escala do gráfico.



Papel Dilog



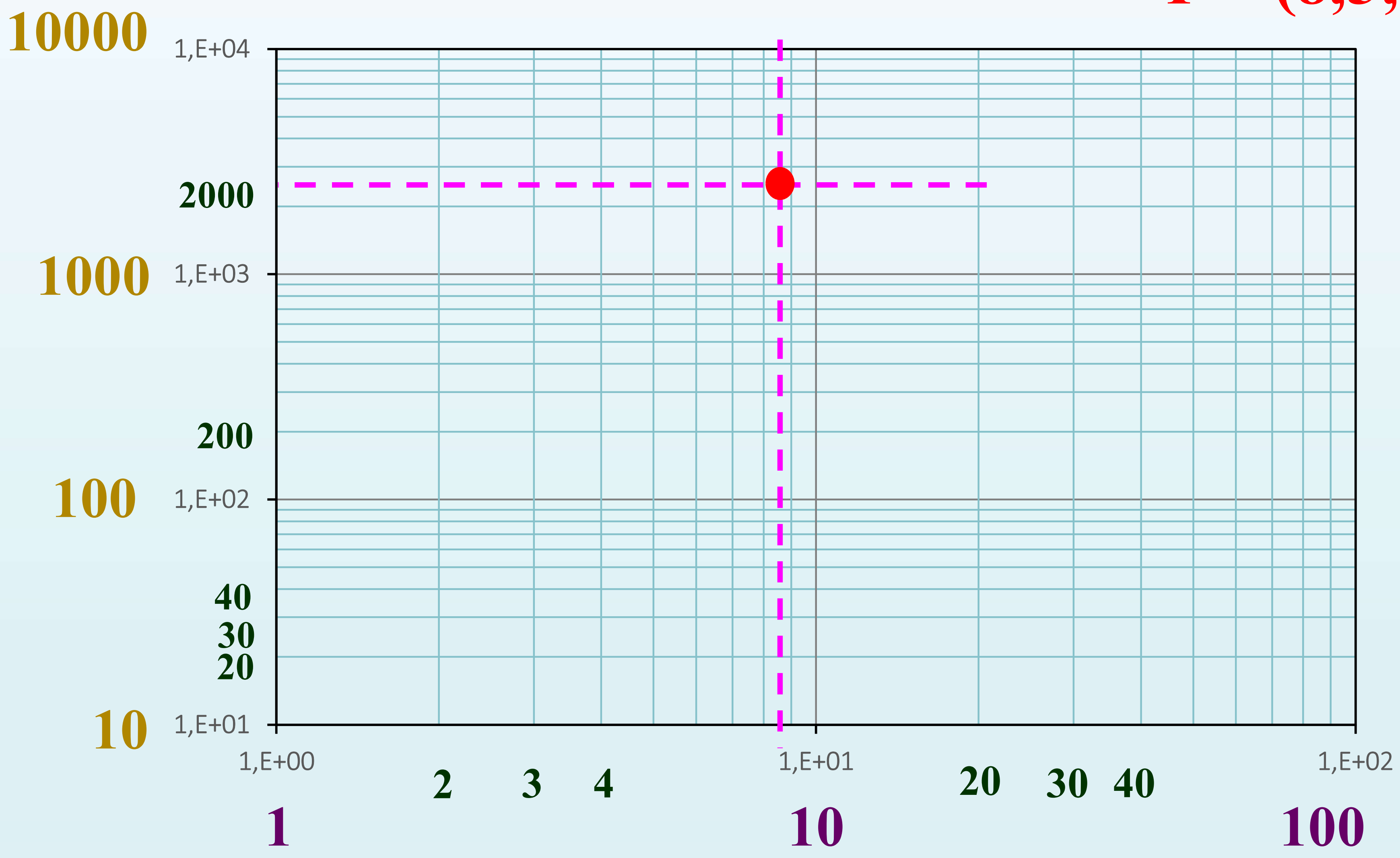
Tamanhos das décadas

Iguais no mesmo eixo

Diferentes nos eixos x e y

Papel Dilog

P = (8,5; 2350)



Valores diferentes no início das escalas de x e y

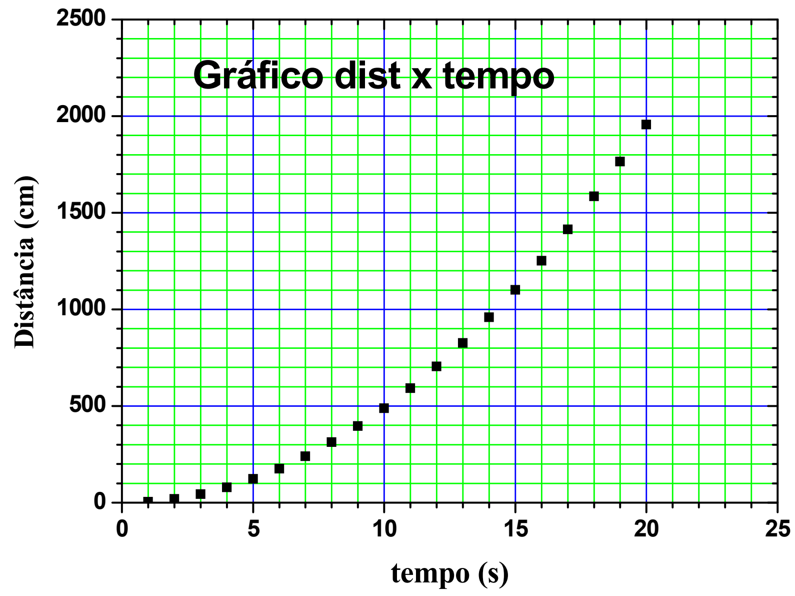
Análise gráfica

Linearização Ex.: $d = \frac{1}{2} g t^{2}$

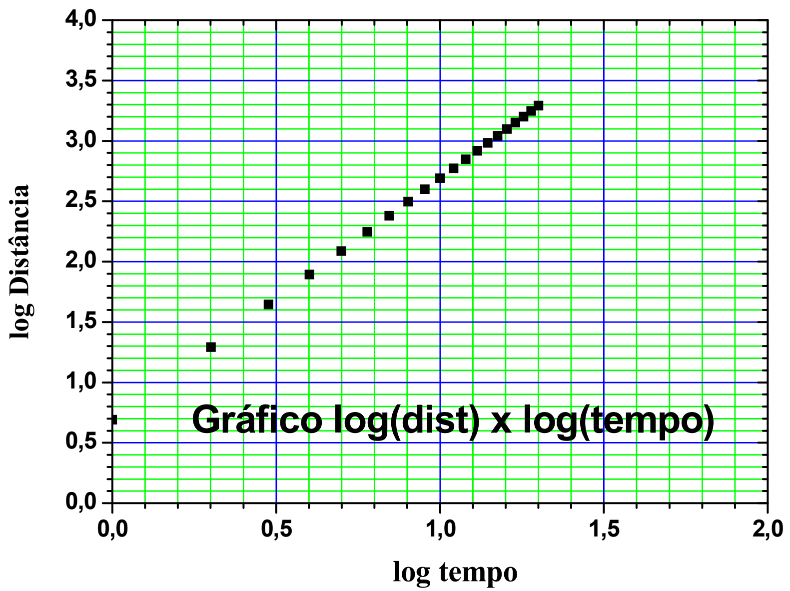
$$\log(d) = \log\left(\frac{1}{2} g\right) + 2\log(t)$$

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

- Log (dist) x log (t) – p. *milimetrado*



Linear



Linear

Análise gráfica

Linearização

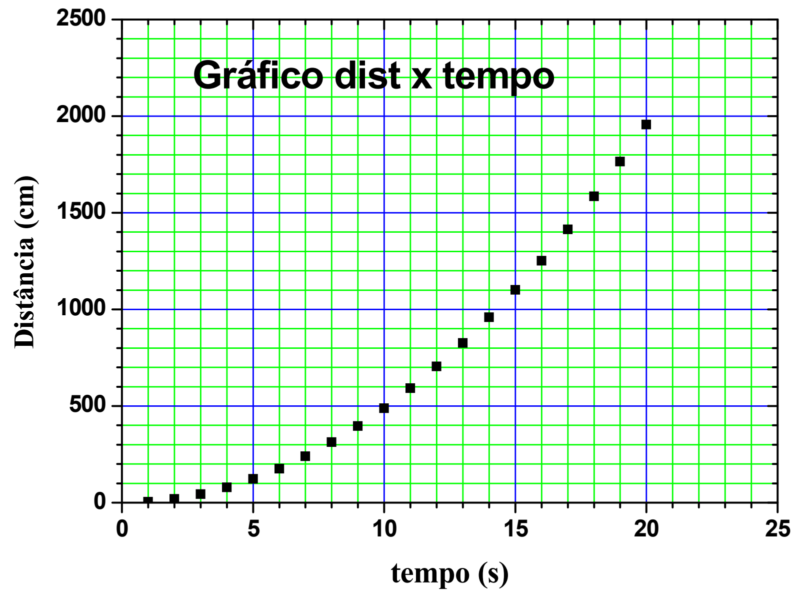
Ex.: $d = \frac{1}{2} g t^{2}$

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

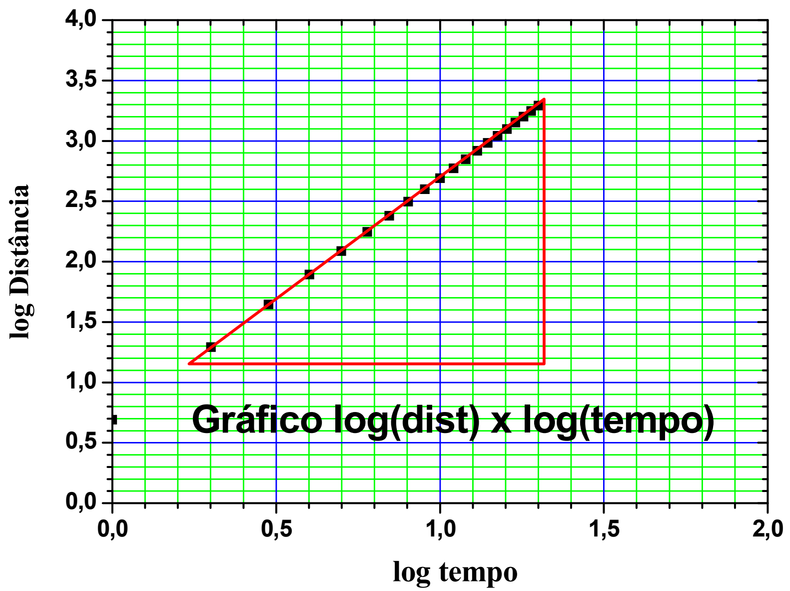
$$y \quad = \quad a \quad + b \quad x$$

- Log (dist) x log (t) – p. *milimetrado*
- Dist. x t - papel *di-log* :

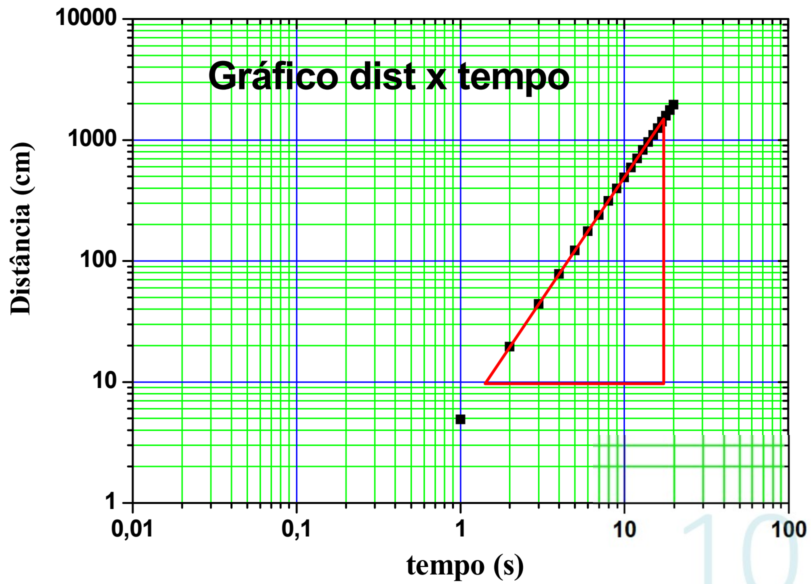
  Coef. Ang. = 2



Linear

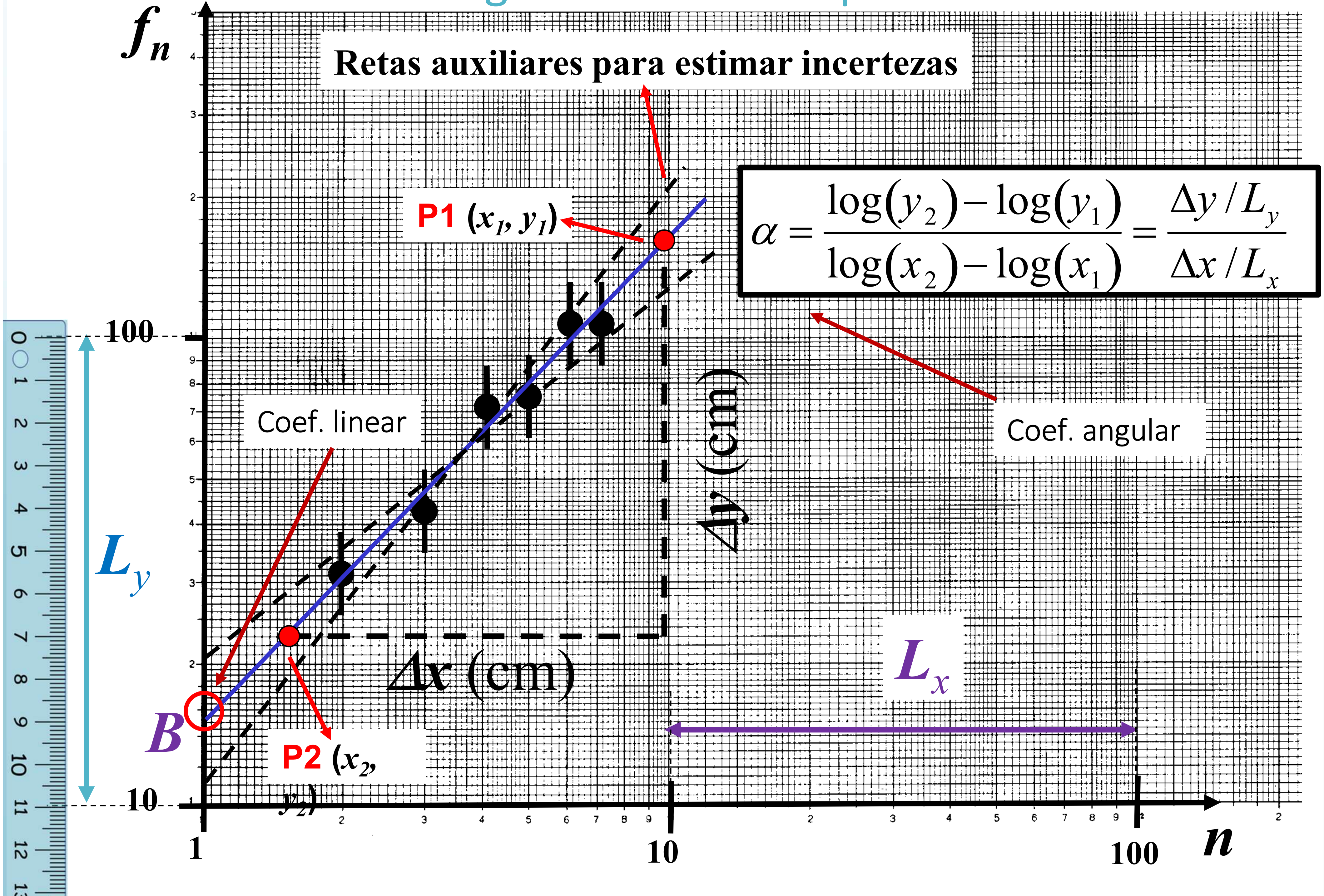


Linear



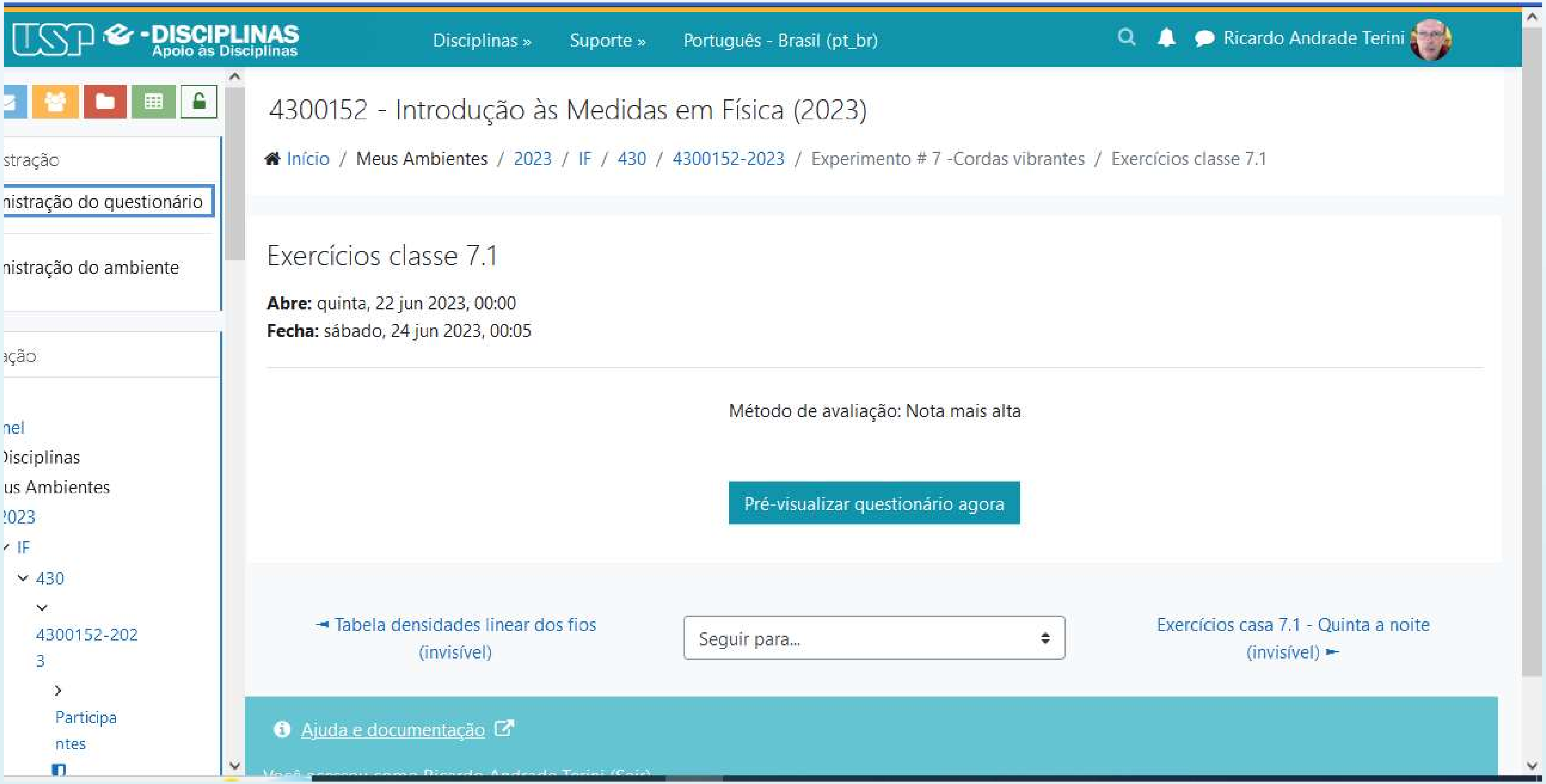
Di-log

Análise gráfica – Extraindo parâmetros



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

Exercícios classe – aula 11



Ondas – Conceitos básicos

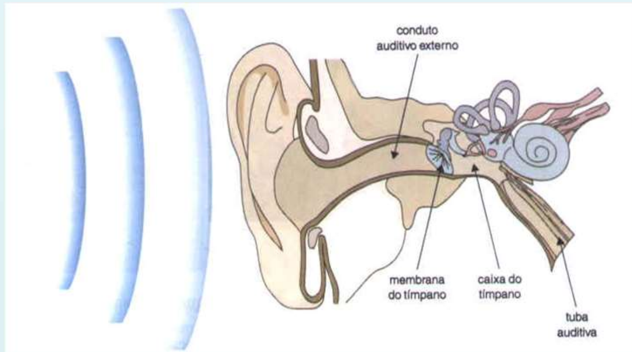
Definição:

São perturbações sofridas por um certo meio e que se propagam nesse meio.

Tipos:

O. Mecânicas: necessitam de um meio material para se propagarem.

Ex.: ondas numa corda de violão, ondas na superfície de um lago, ondas sonoras no ar, ultrassom...



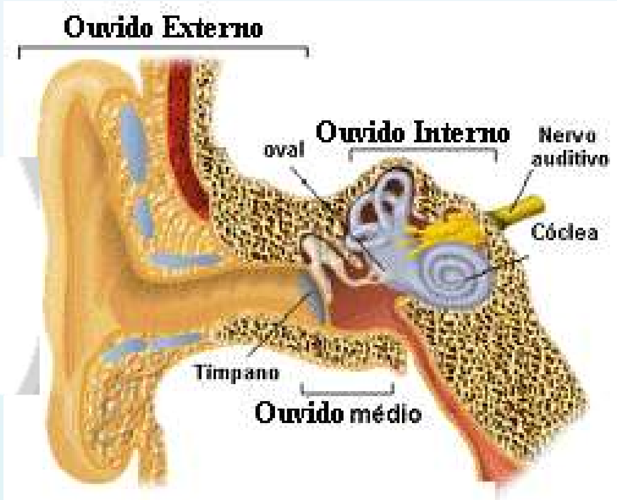
O. Eletromagnéticas: propagam-se em meios materiais e também no vácuo.

Ex.: ondas de rádio, micro-ondas, IV, luz visível, UV, raios X, raios gama.

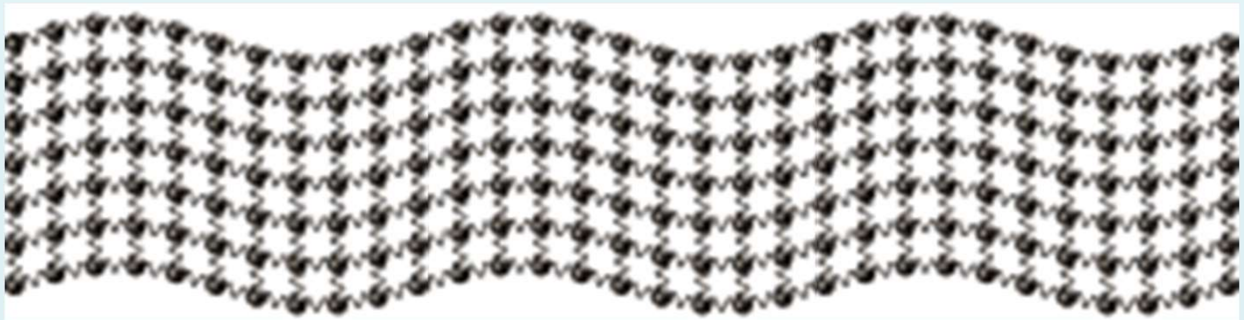
Ondas – Conceitos básicos

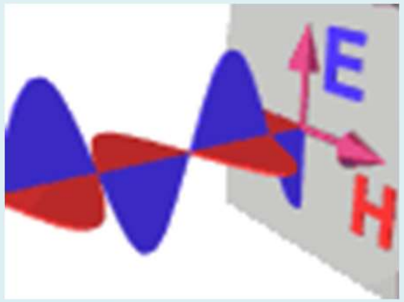
- Ondas podem ser longitudinais:

Ondas ***sonoras*** são longitudinais:



- Ondas podem ser transversais:

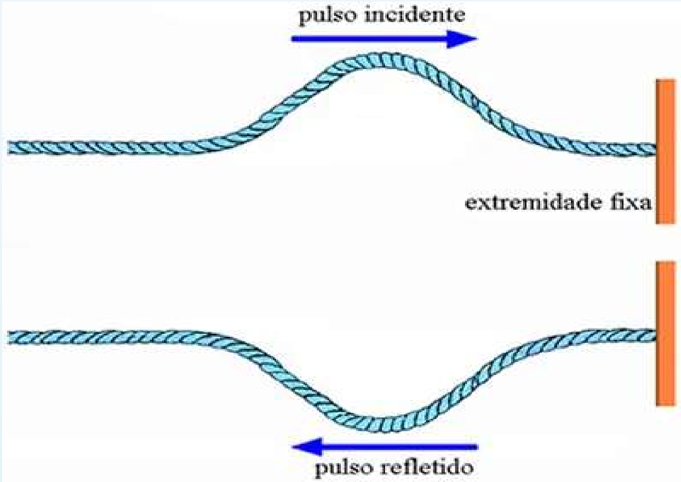




Ondas ***eletromagnéticas*** são transversais.

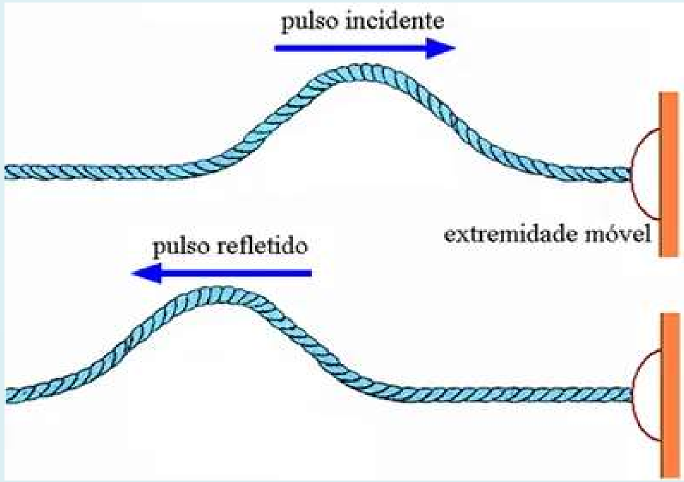
Ondas – Reflexão

Ondas propagam-se em uma corda, e se há vinculo imposto no seu extremo, o seu comportamento na reflexão é assim:



←Extremo Fixo.
Observa-se a inversão da fase da onda refletida.

Se não há vinculo imposto no seu extremo, o seu comportamento na reflexão é assim:



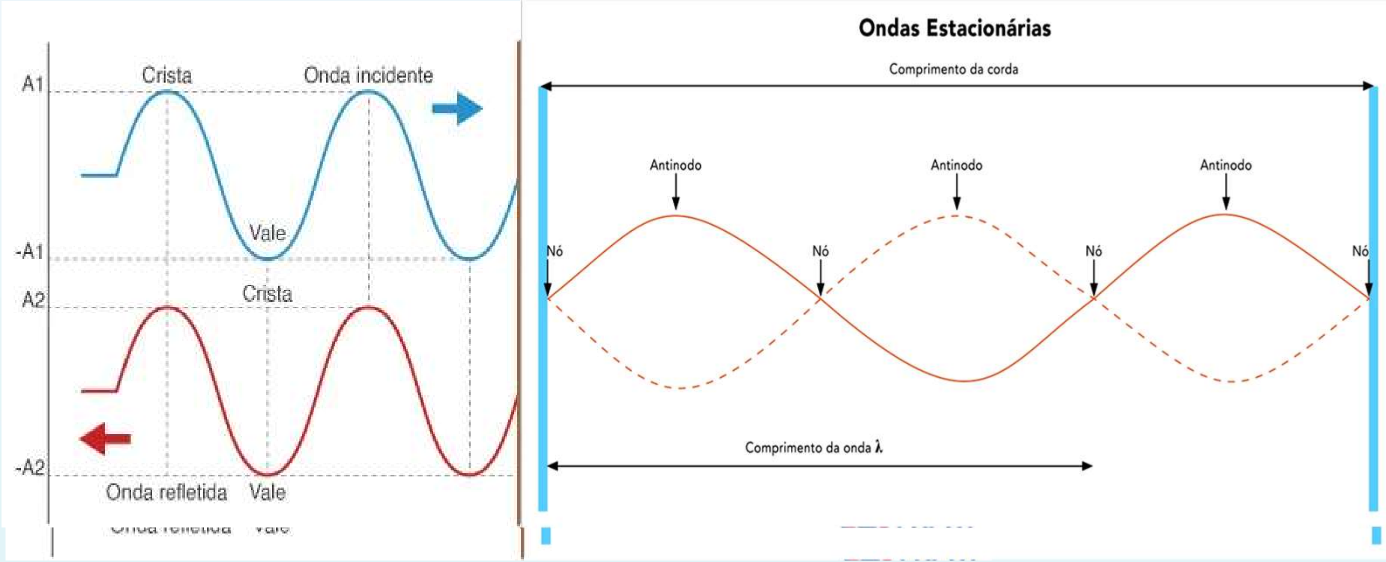
←Extremo Livre.
Sem inversão da fase da onda refletida.

Ondas estacionárias

Uma **onda estacionária** numa corda é a combinação de duas ondas com mesmos λ e A, em fase, que viajam em direções opostas devido a reflexões nas extremidades fixas.

Onda Incidente nesta Direção →

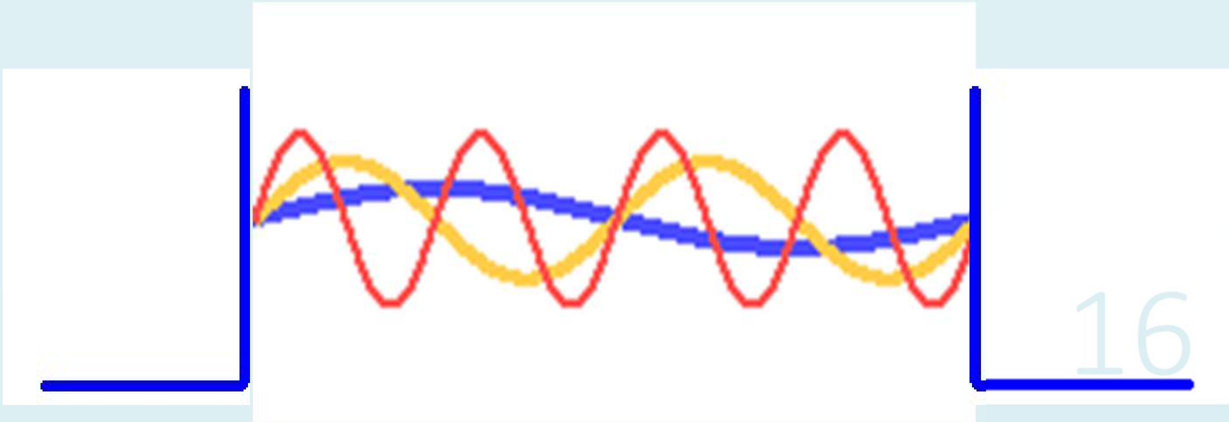
Onda Refletida ← nesta Direção



← onda estacionária

O seu comportamento também exibe uma frequência Fundamental e os respectivos harmônicos:

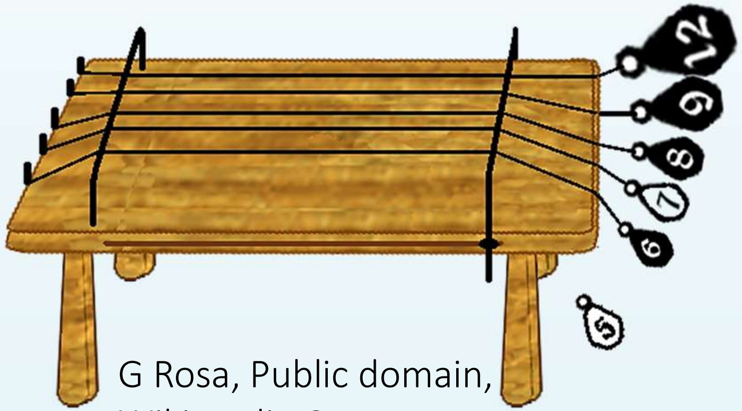
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Standing_wave_2.gif



Vibração de uma corda

Monocórdio de Pitágoras

Pitágoras (582 - 500 a.C.) estudou a dependência de diferentes fatores que afetam o som de uma corda **tensionada** (um estudo *experimental*).

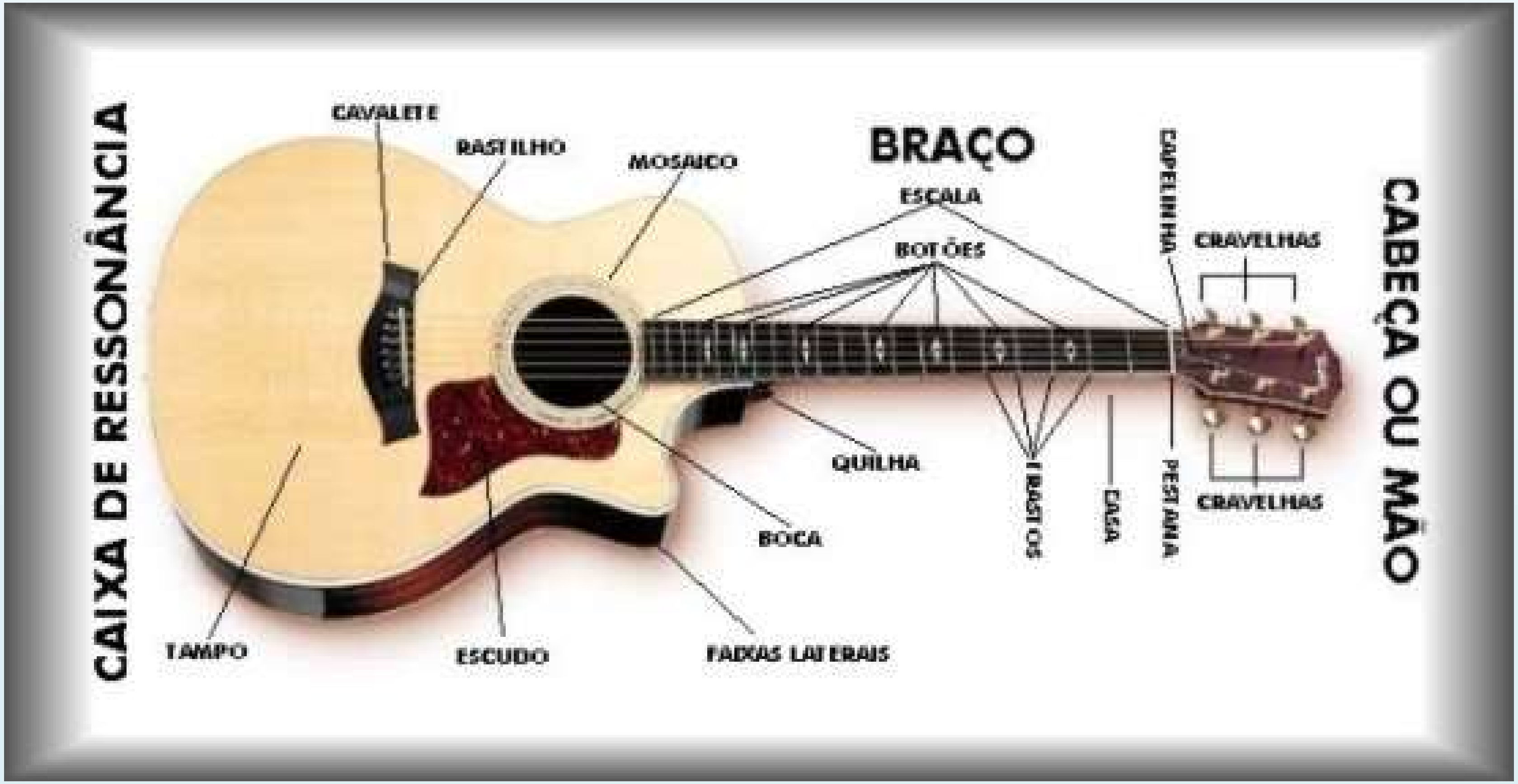


G Rosa, Public domain, Wikimedia Commons

O físico e matemático **Joseph-Louis Lagrange** (1736-1813) fez um grande estudo sobre a *propagação do som*, fazendo importantes contribuições à ***teoria das cordas vibrantes***.

- 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 determinam a maneira como ela vibrará?

Aplicação: o Violão – como se pode variar os sons (*frequências*) no instrumento?



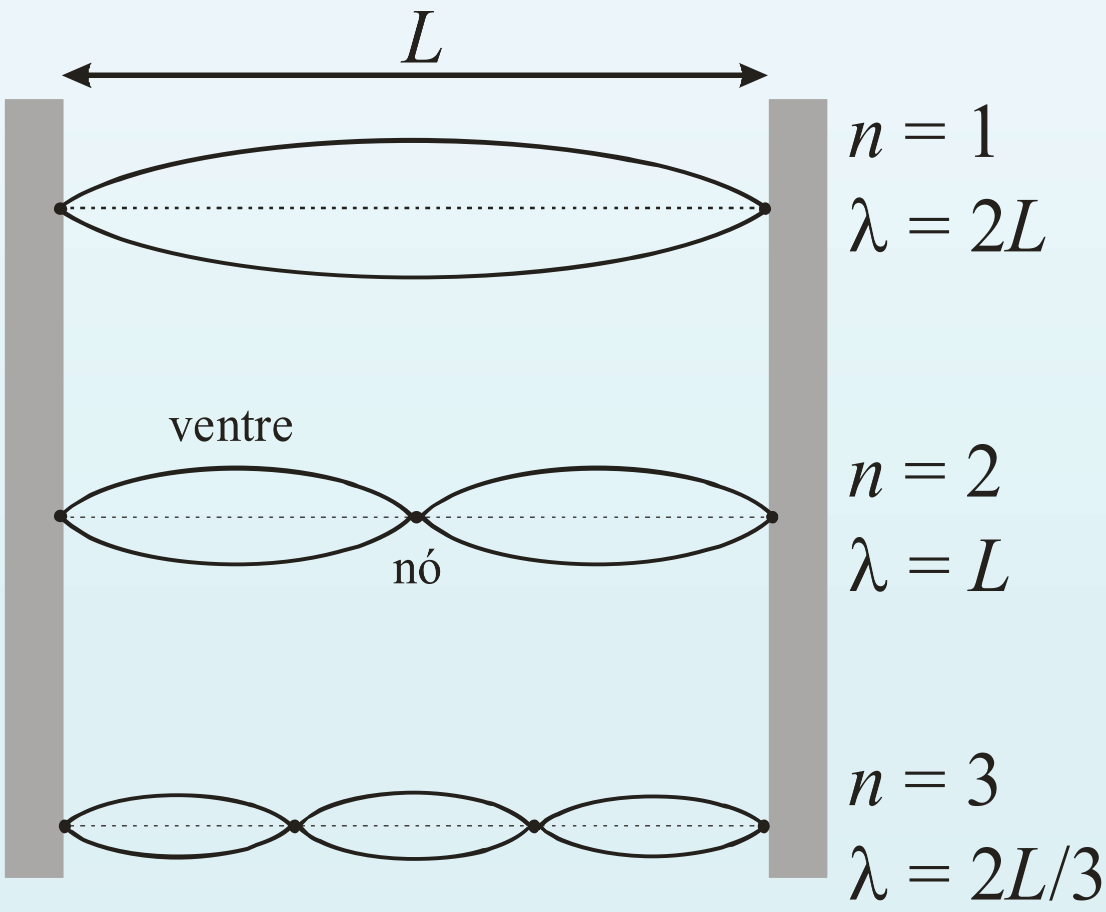
Modos de vibração de um fio

Fio preso nas duas extremidades

- Essa condição limita as configurações possíveis de ondas estacionárias.

- Surgem os modos de vibração ou frequências de ressonância* (máxima amplitude da corda).

- (*quando as frequências de excitação – *gerador* - e de ondulação da *corda* são iguais, e a corda absorve a máxima energia do gerador).



De que parâmetros dependem as frequências de ressonância?

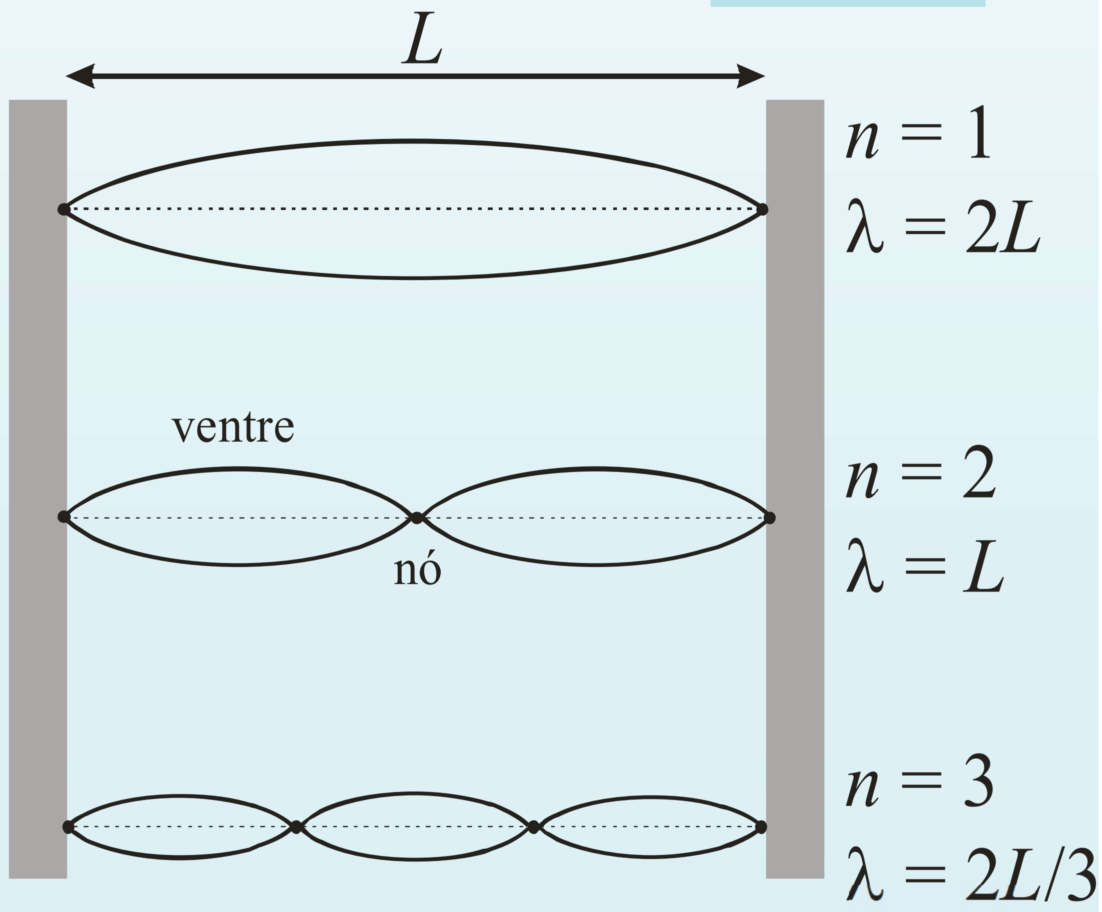
$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Modo de vibração

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

Comprimento do fio

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



De que parâmetros dependem as frequências de ressonância?

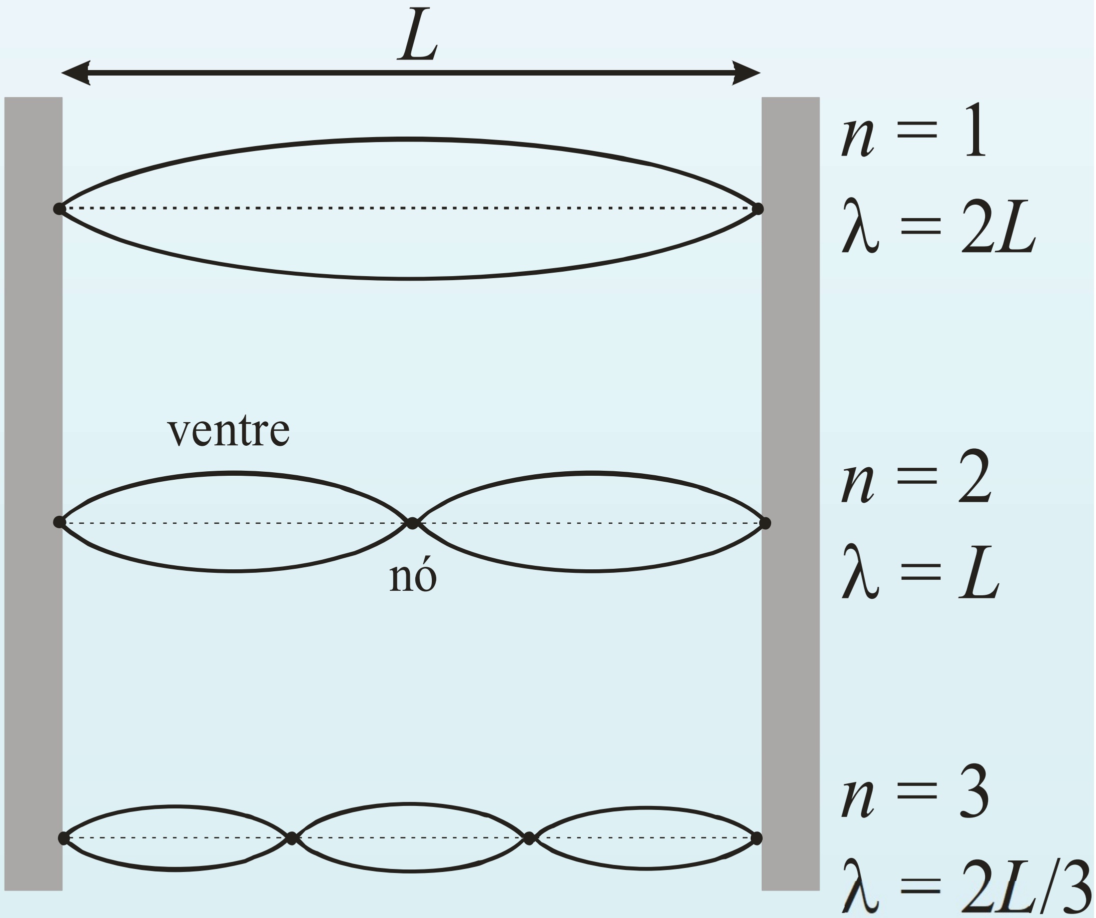
$$f = \frac{v}{\lambda}$$

Densidade do fio

Fios de densidade diferentes vibram em frequências diferentes (*violão*).

Tensão aplicada ao fio

Variando-se a tensão no fio, varia-se a frequência (ex.: *afinar um violão*).



De que parâmetros dependem as frequências de ressonância?

Assim, os parâmetros principais são:

Modo de vibração - nº. do harmônico (*n*)

Comprimento do fio (*L*)

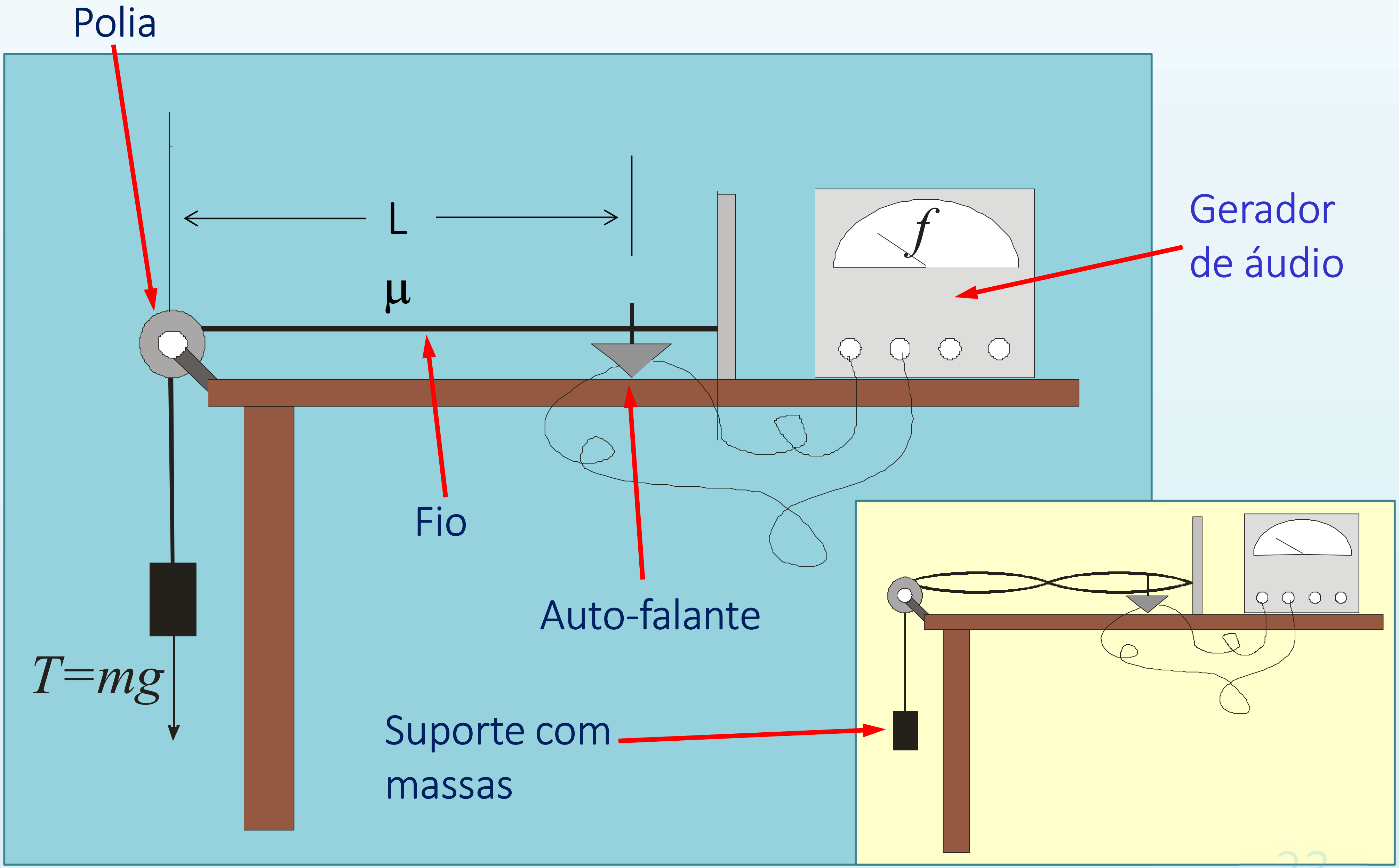
Densidade linear (μ) ($\mu = m / L$)

Tensão aplicada na corda (*T*)

Como correlacionar a frequência com esses parâmetros?

- *Tomar os dados e analisá-los.*
- *Fixar todos os parâmetros, menos um deles.*
- *Estudar a variação da frequência com este parâmetro.*

Exp. 7 - Arranjo experimental



Arranjo experimental

Gerador de áudio: o fio vibra na frequência do auto-falante, comandado pelo gerador

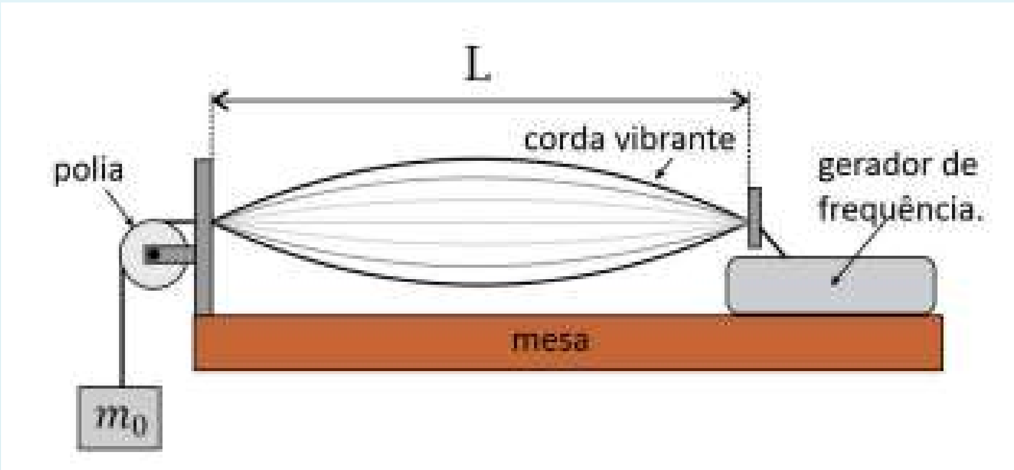


Tabela de densidades lineares de fios de nylon
(atualizada em Maio/2011)

Φ (mm)	μ (mg/m)
0,20	40,95
0,25	64,10
0,30	88,40
0,40	157,7
0,45	200,3
0,50	250,4
0,60	323,5
0,70	471,3
0,80	596,3
0,90	784,5

Cada montagem tem um fio de espessura diferente.

Procedimento experimental

Há quatro parâmetros a serem estudados:

n*, *L*, μ e *T

1. Como a **frequência** depende do modo ***n*** ?

Fixar (e anotar, com sua incerteza) todos os outros parâmetros.

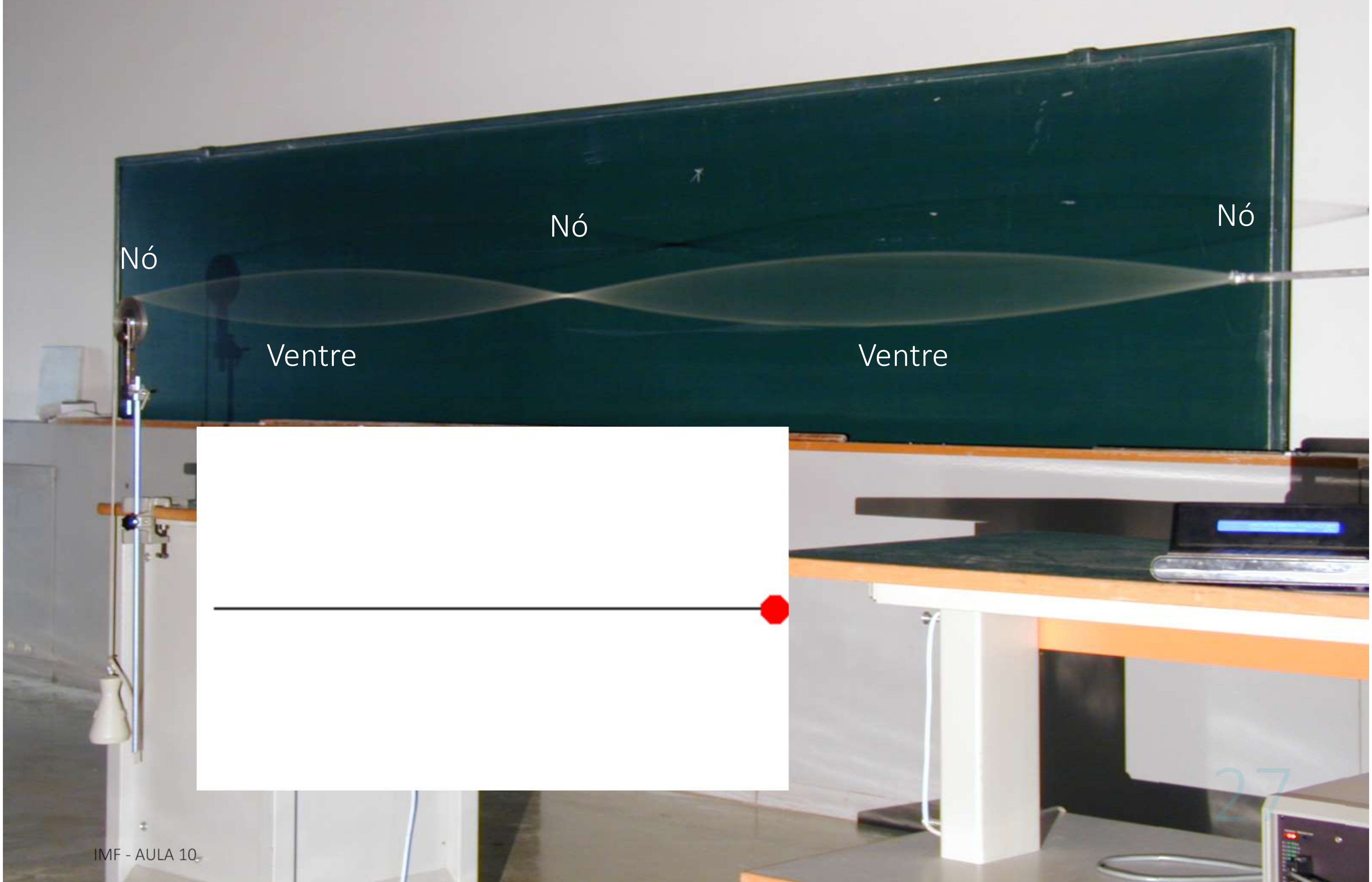
- Anote a densidade μ do fio de nylon do seu arranjo experimental.
- Escolha uma massa, meça na balança e anote valor. Ex.: 100 g
- Meça o comprimento L com uma trena . (Ex.: 176 cm)

Medir as frequências de ressonância para vários valores de ***n*** (*Tabela n vs T*), enquanto for possível visualizar as ressonâncias (*n* ~ 5-6).

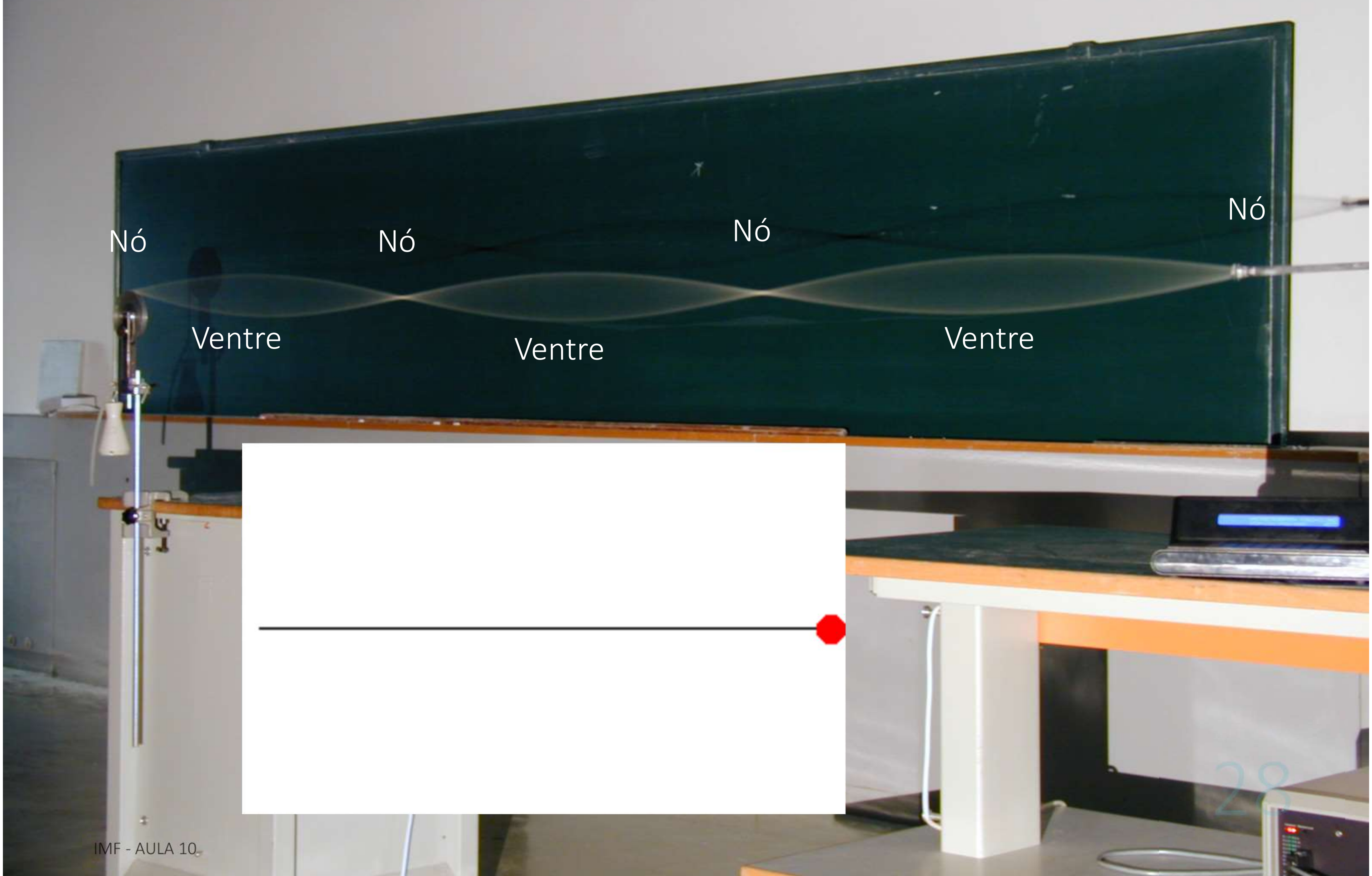
Note que a amplitude de oscilação diminui com o aumento do número de ventres observados.

Ondas estacionárias numa corda.
O caso da meia onda ou n = 1.

Ondas estacionárias numa corda.
Ocaso da **onda inteira ou n = 2**.



Ondas estacionárias numa corda.
O caso de 1½ onda ou n = 3.



Procedimento experimental

2. Em seguida, cada grupo varia os valores para o **parâmetro *T*** (variando os valores de massa, ***T = mg***).

- **Estudar como a frequência do 2º. modo de vibração (*n=2*) (p. ex.) depende deste parâmetro (*T*).**

  Não esqueça de manter fixos os outros parâmetros *(anote os seus respectivos valores e incertezas)*

- **Fazer 6 - 7 medidas, variando o parâmetro (*T*).**

  Use **variações de aproximadamente 50 g** entre uma medida e outra (mín. ~ 100 g).

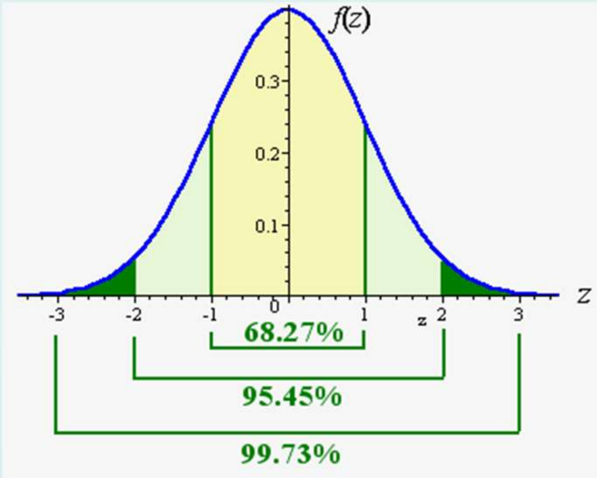
  Inclua também o valor da massa do suporte de massas (*e anote o seu valor*): ***Tabela f* vs *T***.

Procedimento experimental

Como determinar as incertezas das frequências lidas com o gerador ?

Para estabelecer a **incerteza em f** podemos, **partindo da posição de ressonância** do modo **n** sendo medido:

- diminuir f até aquele modo n começar a desaparecer e anotar esta frequência (seja f_-),
- voltar para a ressonância e começar a aumentar a frequência até aquele modo começar a desaparecer e anotar esta frequência (seja f_+).



Podemos então assumir que, neste intervalo temos **99% de chance** de encontrar a ressonância para aquele modo e então $\Delta f = f_+ - f_- = 6.\sigma$

Análise dos dados
(após aquisição dos dados)

Como obter uma expressão para a frequência de ressonância?

Hipótese:

Supor que a frequência depende de um determinado parâmetro *x* como *uma potência deste parâmetro*

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

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

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

Análise dos dados

A partir dos dados, determinar os valores dos coeficientes α, β, γ, δ nessa expressão

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

Como?

Por exemplo: com todos os parâmetros fixos e variando apenas ***n*** :

$$f_n = Bn^{\alpha}$$

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

Análise dos dados

Fixar todos os outros parâmetros e variar somente ***n*** :

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

Como determinar *B* e α?

Extrair o logaritmo da expressão acima:

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

$$\boxed{\log(f_n) = \log(B) + \alpha \cdot \log(n) \quad \boxed{\text{É uma reta}}}$$

$$\boxed{y = a + b \cdot x}$$

$$y = \log(f_n) \qquad x = \log(n) \qquad a = \log(B) \qquad b = \alpha$$

Coef. linear

Coef. angular

Análise dos dados (nesta aula)

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 (T)***

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.

Relatórios

Entregar folha de dados hoje !

Organização na apresentação

Resumo

Propostas + métodos + resultados

Introdução

Justificativa (Proposta), Objetivos, Parte teórica

Procedimento/Arranjo experimental - descrição simplificada

Resultados e análise de dados – completa (diretos/indiretos)

Tabelas, cálculos, gráficos, incertezas com justificativas

Discussão dos dados

Comparações entre métodos ou valores teóricos,

Críticas: método, resultados, incertezas

Conclusão

Resposta às propostas apresentadas

Referências bibliográficas

Mais detalhes: Apostila de IMF, cap. V.

Para a próxima aula (30/06):

- Entregar o Relatório - parte 1

  Referências:

  - *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.

- Exercício para casa 7.1 (individual) -

  No *Moodle* (aba Experimento # 7 – Cordas Vibrantes):

  .