

# Introdução às Medidas em Física

4300152

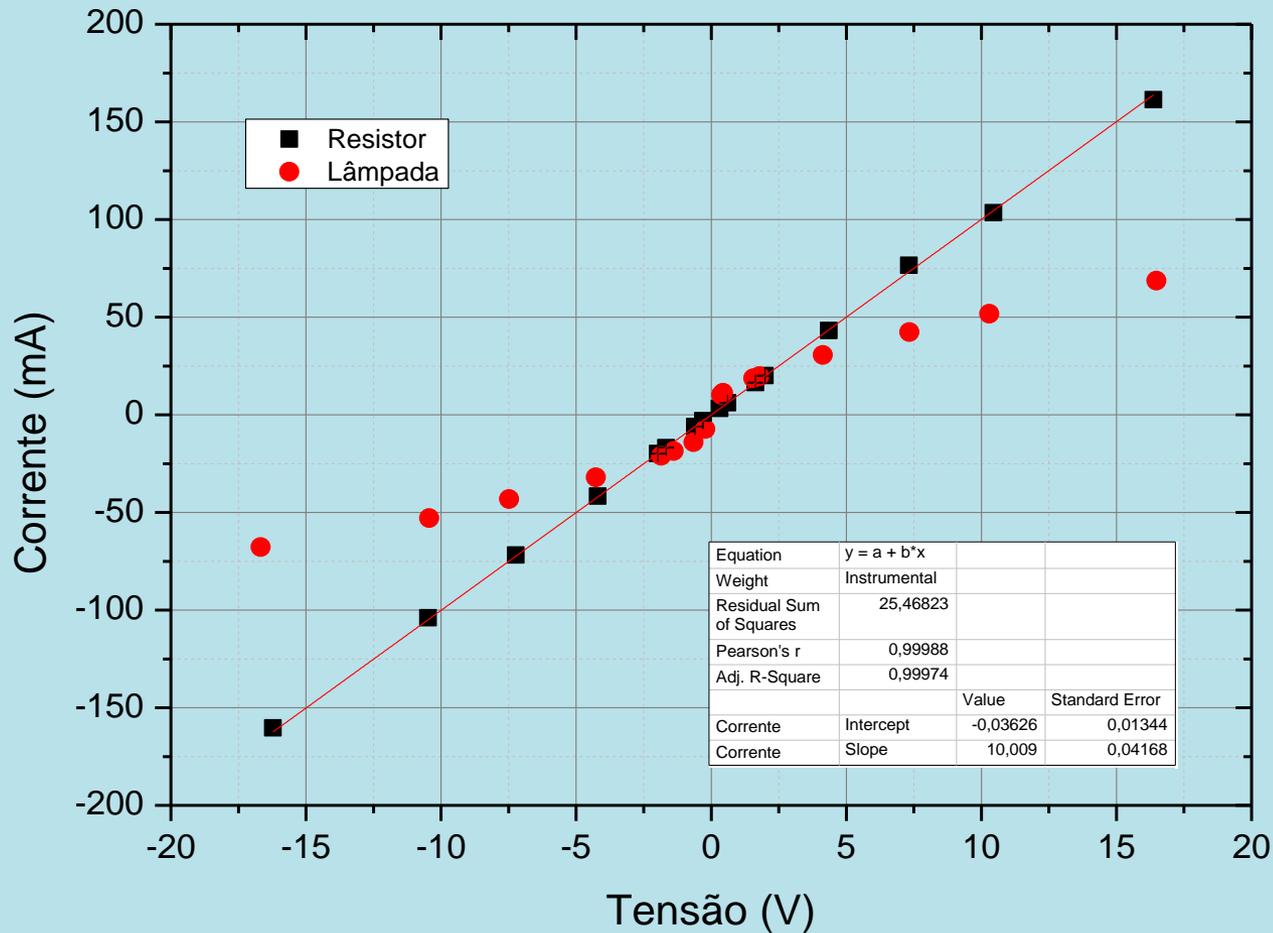
10<sup>a</sup> Aula (16/06/2023)

Turma 47

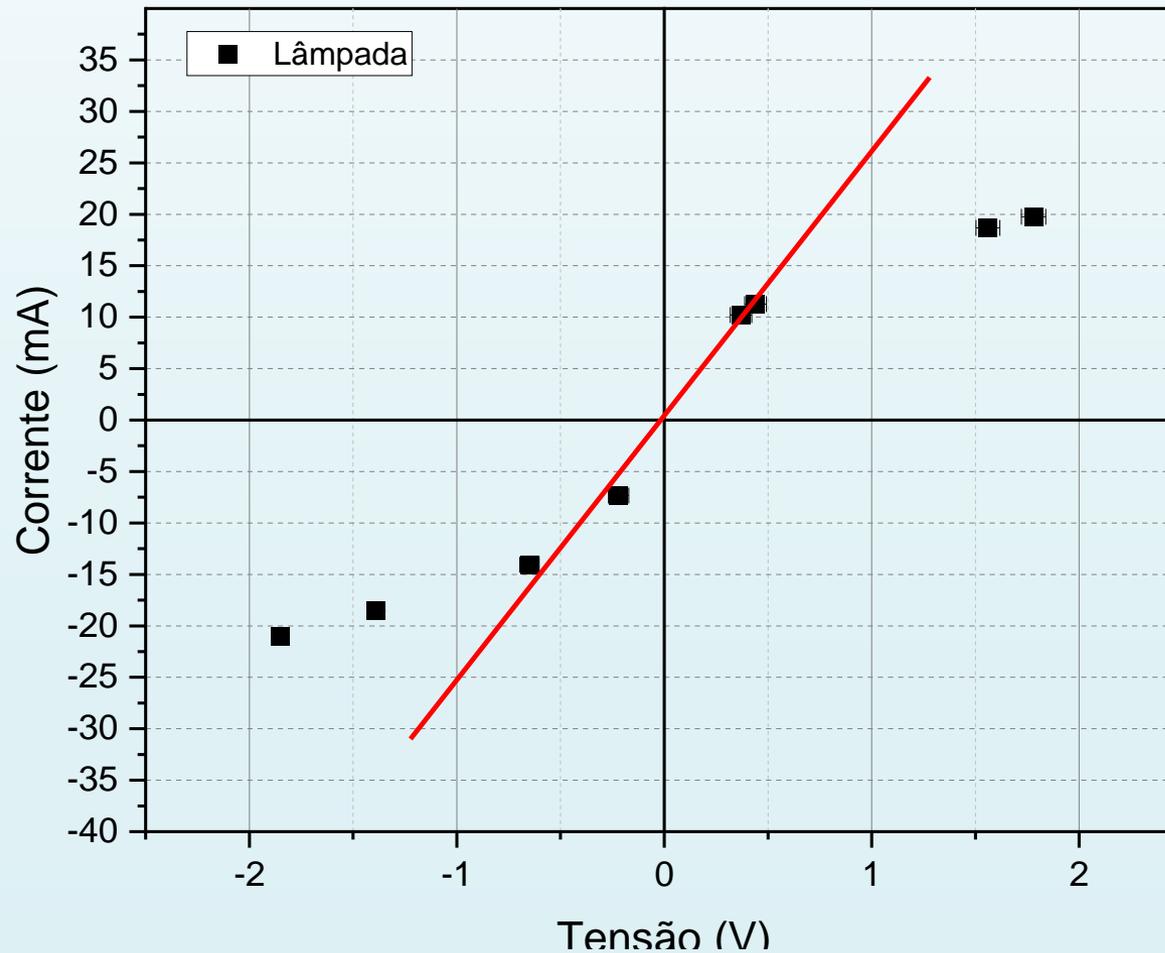
*Material gentilmente pelos profs. Ricardo  
Andrade Terini e Paula Allegro*

*mathsouza@usp.br*

# Da aula passada – relatório



# Da aula passada - exemplo



# Experiência 7:

## Resfriamento de um líquido (aula 10)

### Objetivos:

#### Medidas de temperatura

- *Estudar o resfriamento de uma solução aquecida.*
- *Aprender a utilizar termopares para medidas de temperatura.*

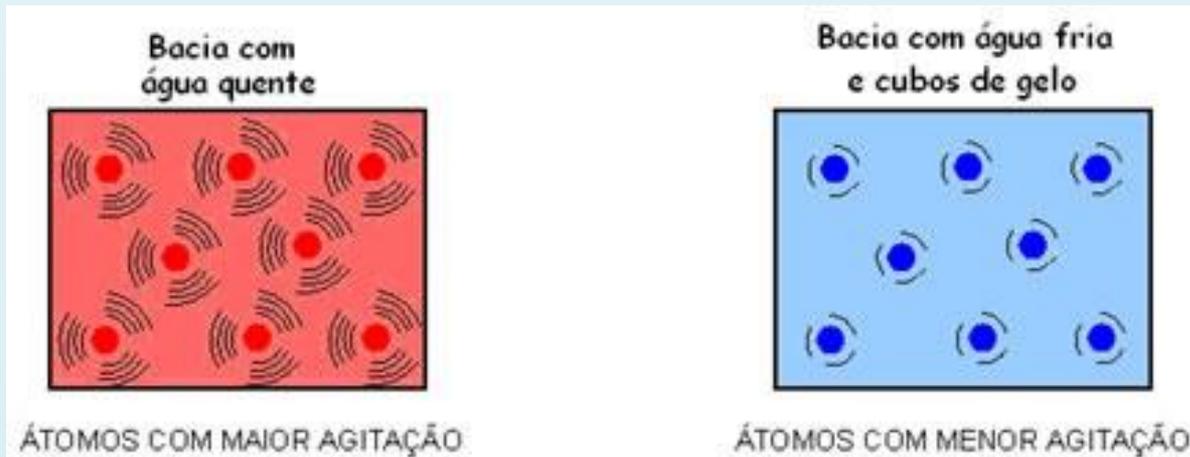
#### Análise de dados

- *Verificar um decaimento exponencial.*
- *Empregar escala mono-logarítmica para linearização de gráficos.*
- *Extrair empiricamente uma lei física através de análise gráfica de dados.*

# Termodinâmica - Conceitos Básicos

## Temperatura

- **É a medida do grau de agitação das moléculas ou átomos de uma substância.** A temperatura é uma medida da *energia cinética média* (de rotação, translação ou vibração) das moléculas/átomos de um corpo ou substância.
- **A temperatura de um corpo pode ser modificada por troca de calor ou por realização de trabalho → assim, se produz mudanças na energia cinética de moléculas.**



# Lei Zero da Termodinâmica

Dois corpos inicialmente a temperaturas diferentes, quando colocados em contato por um tempo suficiente, chegam a um estado final em que a temperatura de ambos se iguala. Esse estado é chamado de **equilíbrio térmico**.



- Se um dos corpos é um **reservatório térmico**, o corpo inicialmente mais quente que o reservatório perde calor para ele até que as temperaturas de ambos se igualem.
- **Portanto, um objeto mais quente que a temperatura ambiente irá perder calor para o ambiente até igualar sua temperatura com o mesmo.**

# Lei de Resfriamento

## Objetivo do experimento:

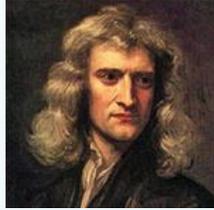
Estudar o **processo de resfriamento até a temperatura ambiente**, de um corpo aquecido a uma determinada temperatura  $T$ .

- *Como deve ser a variação da temperatura?  
...Linear ou conforme outra função matemática?*

Inicialmente, na ausência de um modelo teórico, iremos estabelecer uma função de maneira **empírica**.

- *Medir a Variação da temperatura em função do tempo*
- *Fazer um ajuste dos dados experimentais*

# Lei de Resfriamento de Newton (1701)



## Hipóteses:

A taxa de troca de calor entre um corpo e o ambiente (*reservatório* a  $T_R$  constante) é proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente.



$$\frac{dQ}{dt} = cte \cdot (T - T_R)$$

A quantidade de calor é proporcional à variação da temperatura ( $Q = C \cdot \Delta T$ ); assim, espera-se que também a taxa de variação de temperatura seja proporcional a  $\Delta T$ :

$$\frac{d(T - T_R)}{dt} = \frac{d\Delta T}{dt} = -\frac{1}{\tau} (T - T_R)$$

A constante  $\tau$  tem unidade de **tempo**, e depende do **formato** e do **material** do corpo.

# Lei de Resfriamento de Newton

## Consequências:

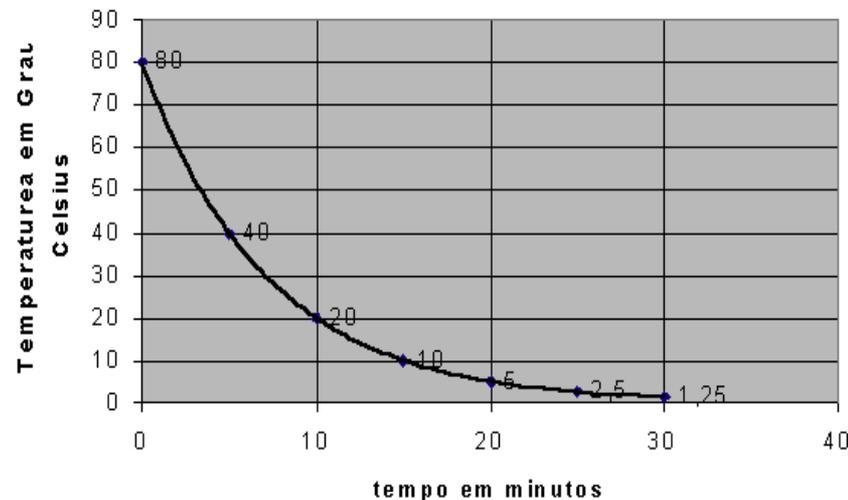
Espera-se, então, que a temperatura caia exponencialmente no tempo:

$$\therefore \Delta T = (T - T_R) = \Delta T_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

.  $\Delta T_0$  ... diferença *inicial* de temperatura entre o líquido e o ambiente.

- *Propriedades de exponenciais decrescentes com tempo:*  
**o tempo necessário para diminuir de uma certa fração é fixo;**  
o instante inicial não importa;  
a derivada é exponencial.

Grafico Temperatura - tempo

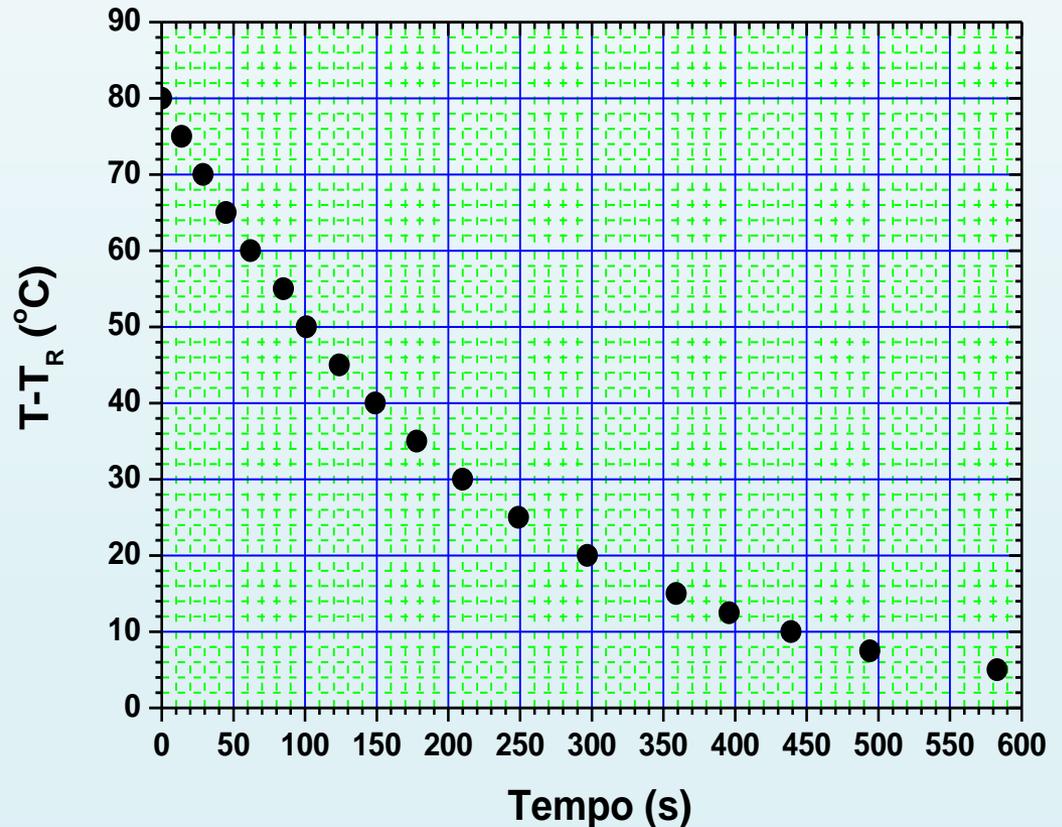


# Análise de Dados

Como analisar uma dependência que claramente não é linear?

A curva traçada pelos pontos experimentais não é uma reta.

Qual é essa função?



# Análise de Dados

**Tentativa:** função exponencial (muito comum em fenômenos semelhantes a este) :

$$(T(t) - T_{\text{ambiente}}) = C_0 \cdot e^{-\mu \cdot t}$$

onde  $C_0$  e  $\mu$  são parâmetros da função

Como verificar? **Linearizando** a função: (*aplicando log*)

$$\log(T(t) - T_{\text{ambiente}}) = \log(C_0 \cdot e^{-\mu \cdot t})$$

$$\log(T(t) - T_{\text{ambiente}}) = \log(C_0) + \log(e^{-\mu \cdot t})$$

$$\log(T(t) - T_{\text{ambiente}}) = \log(C_0) - \mu \cdot t \cdot \log(e)$$

$$\therefore \log(T(t) - T_{\text{ambiente}}) = a' + b' \cdot t$$

$$\text{sendo, } a' = \log(C_0) \text{ e } b' = -\mu \cdot \log(e)$$

# Lembretes - Propriedades do log

Definições:

$$Y = 10^{x_1}$$

$$Y = 2^{x_2}$$

$$Y = e^{x_3}$$

$$x_1 = \log_{10} Y = \log Y \quad x_2 = \log_2 Y \quad x_3 = \log_e Y = \ln Y$$

Algumas propriedades (p/ qualquer base)

$$\log(A.B) = \log A + \log B$$

$$\log A^B = B \log A$$

$$\log_{10}(10.X) = \log_{10} 10 + \log_{10} X = 1 + \log_{10} X$$

# Análise de Dados

Então, caso seja verdade que  $\Delta T = T(t) - T_{ambiente} = C_0 \cdot e^{-\mu \cdot t} \dots$

$\therefore$  O Gráfico  $\log(T(t) - T_{ambiente}) \times t$  deve ser uma reta

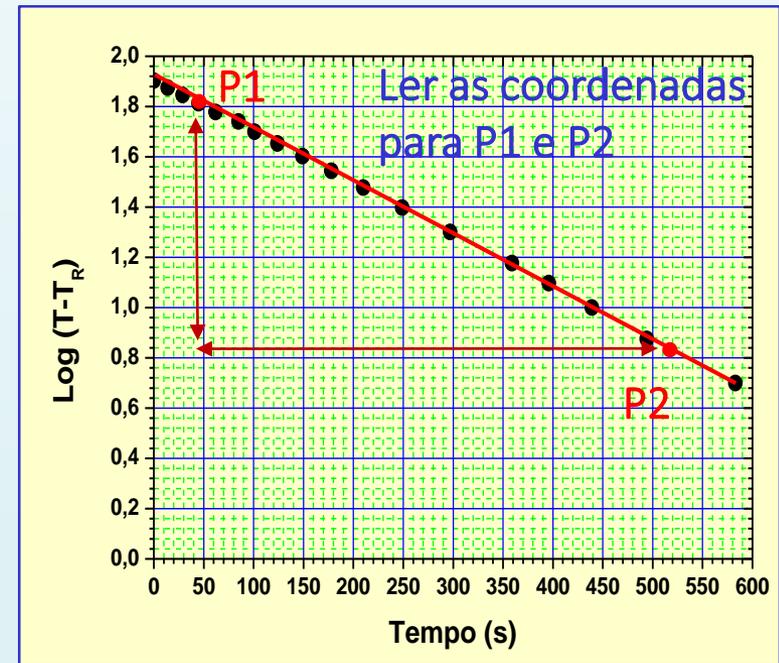
$$\log(T(t) - T_{ambiente}) = \log(C_0) - \mu \cdot \log(e) \cdot t$$

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

- coef. linear ( $a'$ ) –  $\log(\Delta T)$ ,

p/ (t) = 0  $\therefore a' = \log(C_0)$   $C_0 = 10^{a'}$

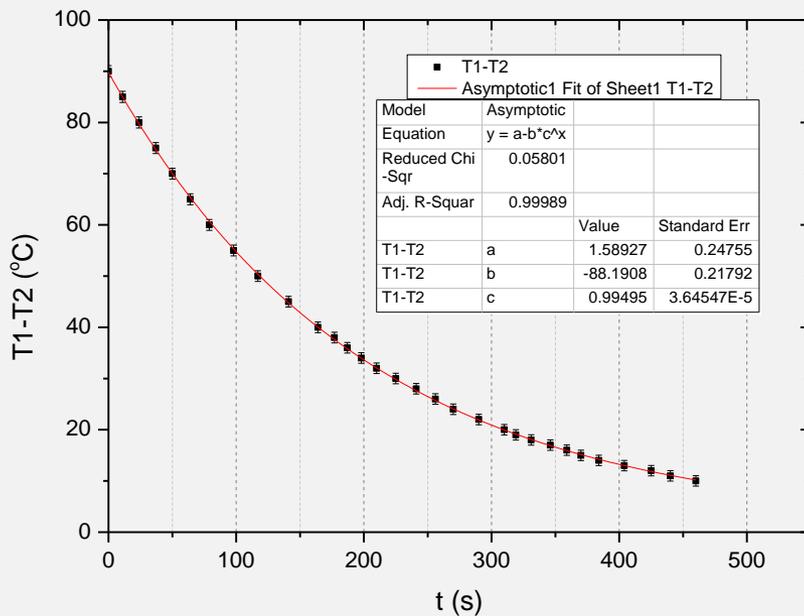
- coef. angular ( $b'$ ) – inclinação reta



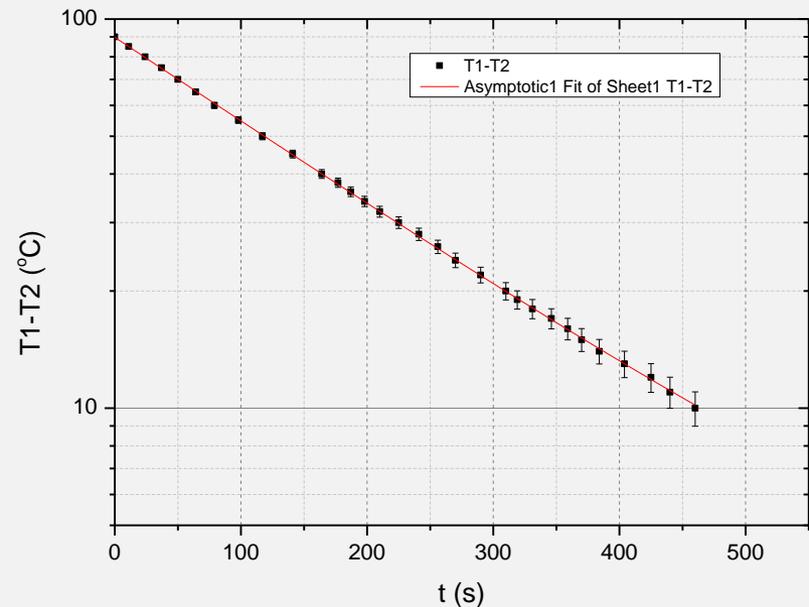
$$b' = \frac{\log(\Delta T(t_2)) - \log(\Delta T(t_1))}{t_2 - t_1} = -\mu \log(e) \Rightarrow \mu = -\frac{b'}{\log(e)}$$

# Análise de Dados

Exemplo: Gráfico da diferença de temperatura em relação ao ambiente  $\times$  tempo:  $((T(t)-T_{ambiente}) \times t)$



Escala linear

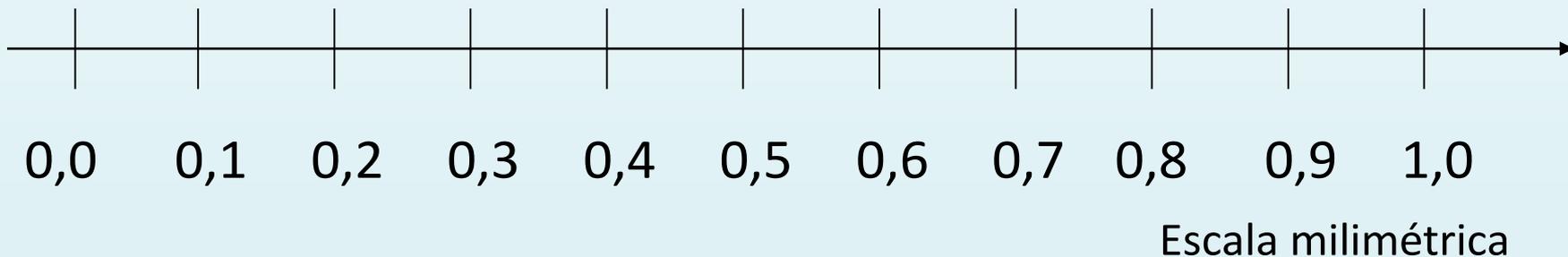


Escala mono-logarítmica (base 10)

# Escala Logarítmica

A fim de facilitar a construção desse gráfico: **papel monolog**

o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo na base 10 do número marcado na escala do gráfico

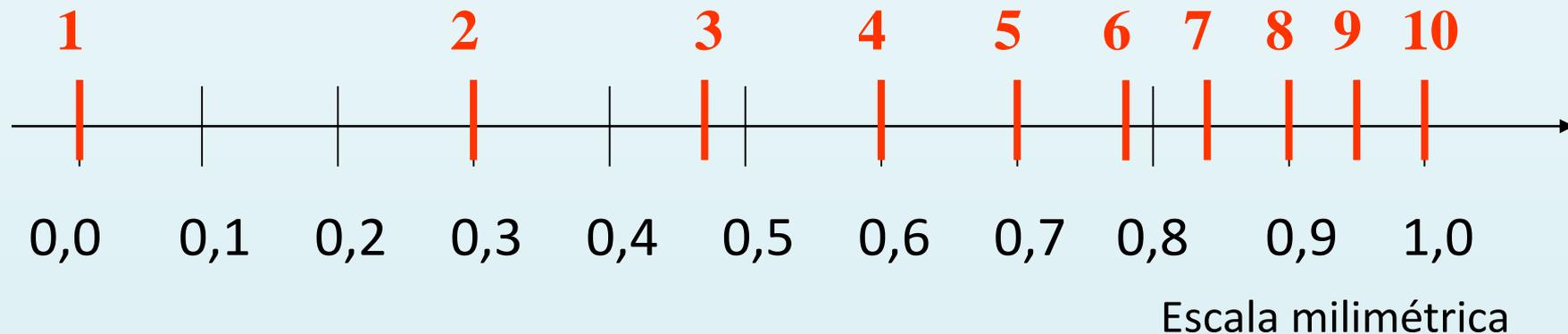


# Escala Logarítmica

A fim de facilitar a construção desse gráfico: **papel monolog**

o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo na base 10 do número marcado na escala do gráfico

**Escala logarítmica**



$$\text{Log}_{10}(1)=0,0$$

$$\text{Log}_{10}(4)=0,6$$

$$\text{Log}_{10}(7)=0,84$$

$$\text{Log}_{10}(2)=0,3$$

$$\text{Log}_{10}(5)=0,7$$

$$\text{Log}_{10}(8)=0,90$$

$$\text{Log}_{10}(10)=1,0$$

$$\text{Log}_{10}(3)=0,47$$

$$\text{Log}_{10}(6)=0,78$$

$$\text{Log}_{10}(9)=0,95$$

16

# Análise de dados: Escala Mono-Logarítmica Papel monolog

**Década**

**10 ou 100 ou 1000**

**1 ou 10 ou 100**

**0,2 ou 2 ou 20**

**0,1 ou 1 ou 10**

**ESCALA log  
(sempre múltipla de 10)**

**ESCALA linear**

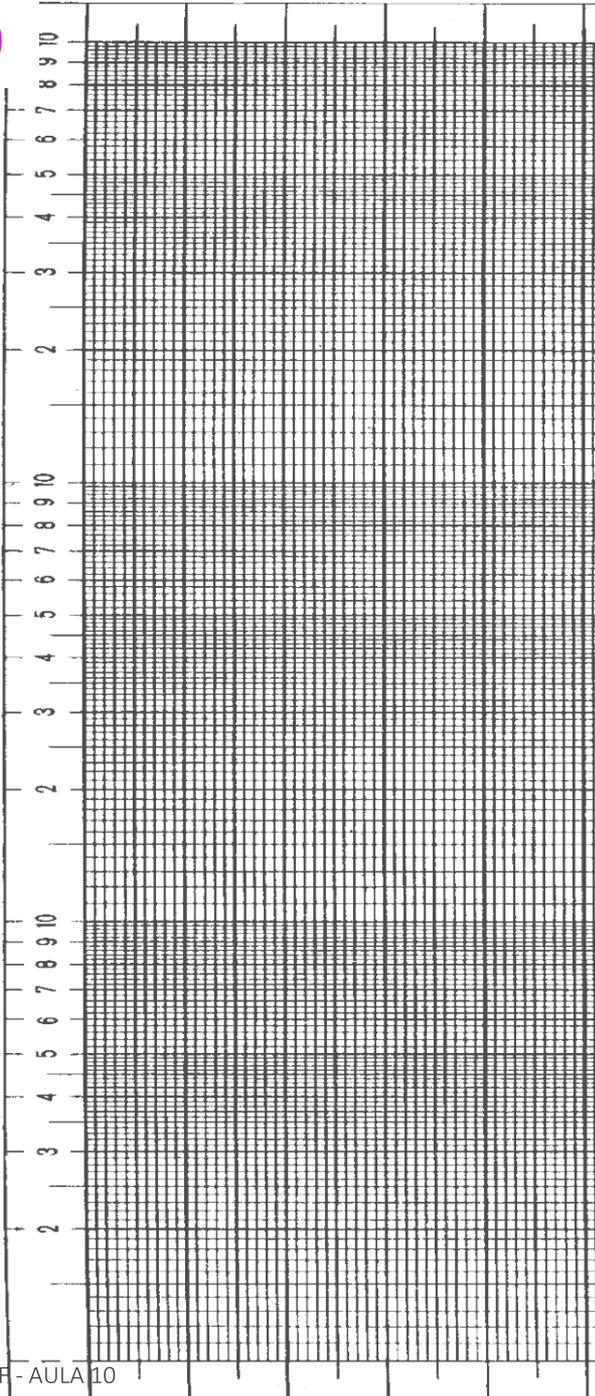
1000

100

10

1

IMF - AULA 10



# Pontos na escala

- 1) Identificar potências de 10 na escala do eixo-y

# Pontos na escala

1) Identificar potências de 10 na escala do eixo-y

2) Posicionar pontos:

Leitura dentro das décadas

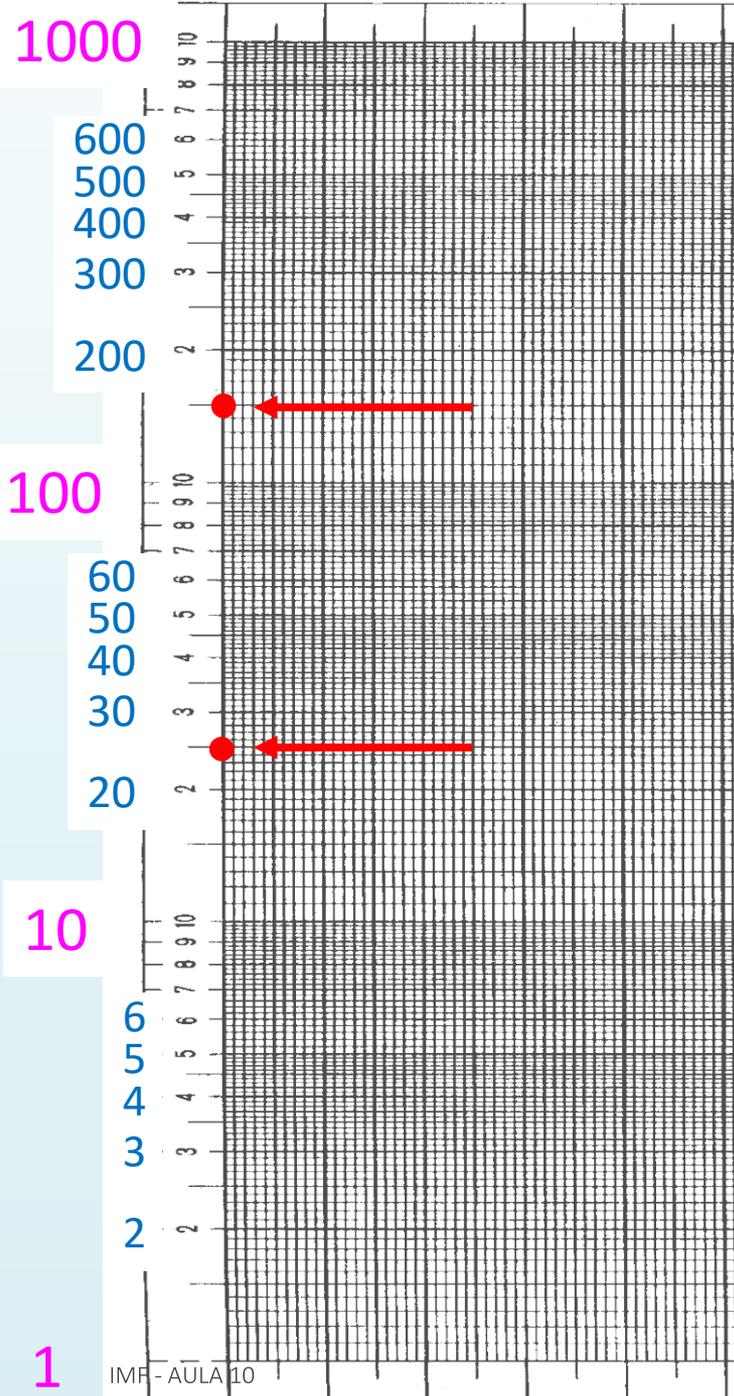
$$Y = 25$$

$$Y = 125$$

$$Y = 425 ?$$

Cuidado com os valores dentro de cada década

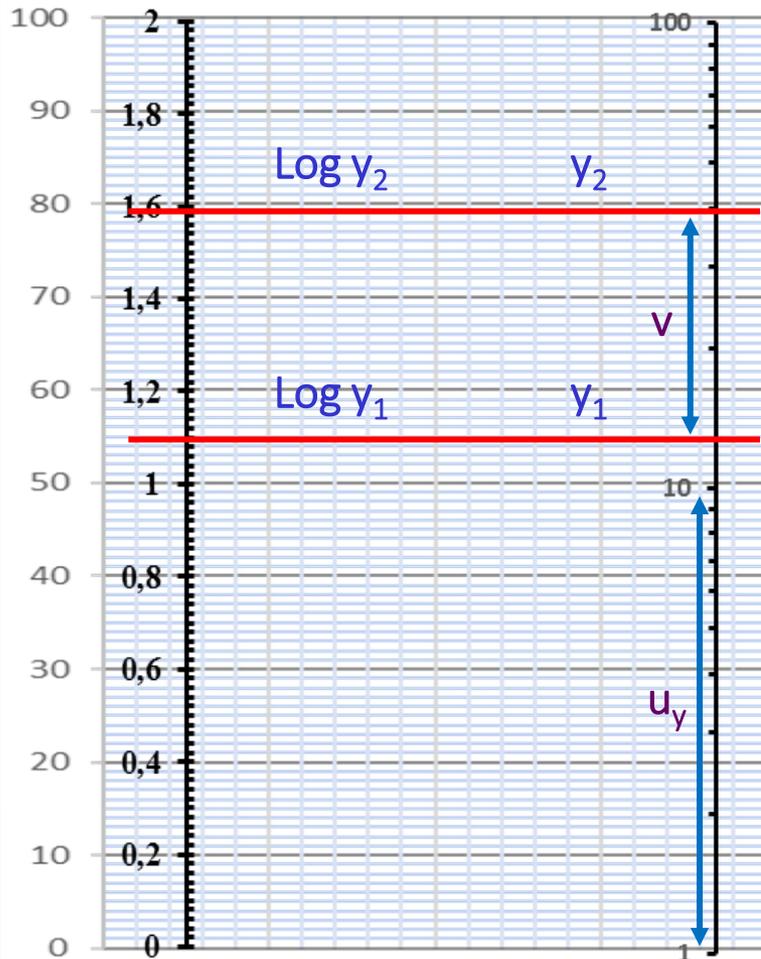
19



# Cálculo de: $\log_{10} y_2 - \log_{10} y_1$

Milimetrado  
Calcular log

Logarítmico  
Não calcular log



Nova calibração:  
Régua (outra escala)



## Regra de 3

$\log y_2 - \log y_1$  - Medida com régua ( $v$ )

(Dois valores quaisquer)

1 - Medida com régua ( $u_y$ )

(Uma década)

# Análise de dados com papel monolog

$$\therefore \log(\Delta T) = \log(\Delta T_0) + \left(-\frac{t}{\tau}\right) \log(e)$$

$Y = a + bt \dots$  com:  $Y \equiv \log(\Delta T)$ ,

$$a \equiv \log(\Delta T_0), \quad b \equiv \frac{-\log(e)}{\tau}$$

Além disso:

- diferenças de logaritmos  
podem ser obtidas com régua!

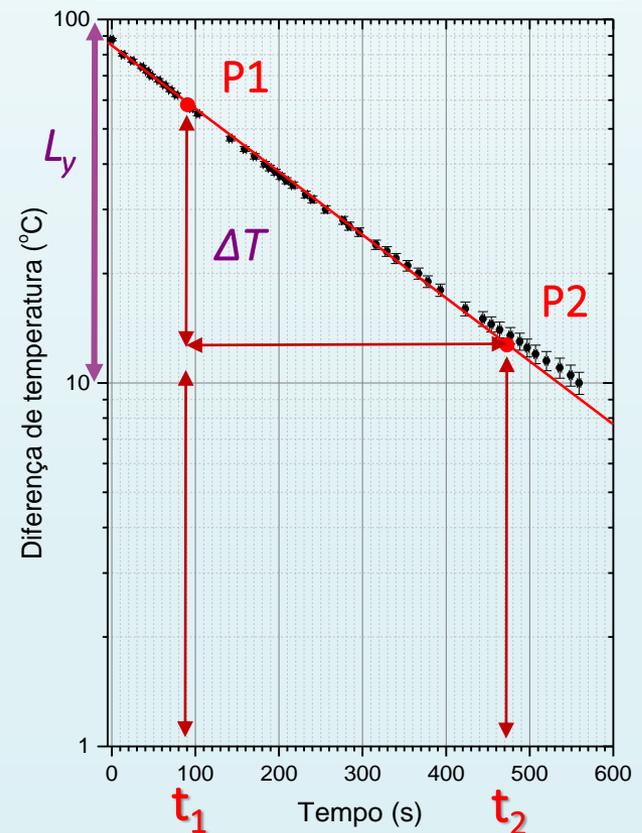
$$b' = \frac{\log(T(t_2)) - \log(T(t_1))}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta T / L_y}{t_2 - t_1}$$

Para  $\log(T)$  mede-se com régua (na vertical):

$L_y$  é a unidade (mm) e  $\Delta T$  é a distância (mm) P1 – P2

Modelo de Newton:

$$\Delta T = (T - T_R) = \Delta T_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Para  $t_1$  e  $t_2$ : ler as coordenadas

# Medida de temperatura

- A **temperatura** de um sistema é medida através do registro de uma grandeza (*fenômeno físico*) cuja dependência com a temperatura é conhecida.
- O **termômetro** mais comum é o de **coluna de mercúrio** (ou de **álcool**). Fenômeno físico usado: é a **dilatação volumétrica de líquidos** quando são aquecidos.
  - O comprimento da coluna do líquido é acoplada a uma escala graduada e calibrada em temperatura.

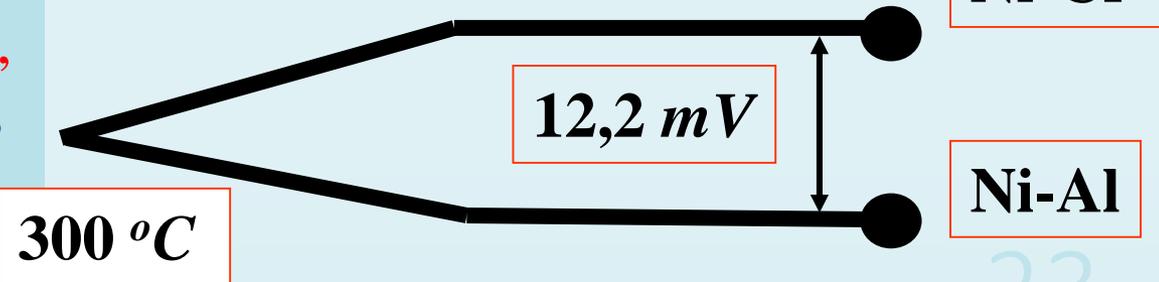


# Medida de temperatura: Termopar

- **Termopar** é um termômetro cujo princípio reside no fato de que a **eletronegatividade de metais depende da temperatura de forma diferente para cada metal**.
- Assim, se as pontas da junção de dois metais diferentes estiverem em temperaturas distintas, haverá a produção de uma **diferença de potencial**, mensurável e que se relaciona com a temperatura. (**Efeito termoelétrico**)
  - Descoberto em **1822** pelo físico **Thomas Seebeck** (Estônia).



Um dos tipos de termopar mais populares é o **tipo K**, composto pela junção das ligas de **níquel-cromo** e **níquel-alumínio**.



# Experimento 6

- Vamos estudar o resfriamento da glicerina

**Material:** Tubo de ensaio com glicerina + lamparina

+ 2 termopares acoplados a um multímetro específico (no modo  $T2 - T1$ ) + cronômetro.

- **Procedimento geral:**

- (com lamparina) **Aquecer** cuidadosamente o tubo de ensaio com glicerina + um termopar.

- Colocá-lo para **esfriar** dentro de um cilindro no qual há um fluxo de ar constante, com outro termopar **afixado externamente**.

- **Medir** diretamente a **diferença de temperatura em função do tempo**.



# Experimento 6 (Medidas)

- Posicionar os dois termopares: **um na lateral do cilindro (cooler) e outro dentro do tubo.**

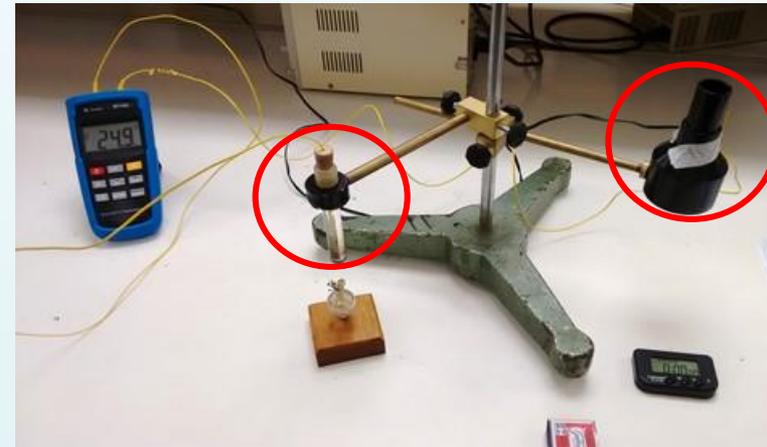
Antes de iniciar o aquecimento, verificar a altura da glicerina no tubo de ensaio e **posicionar o termopar na metade dessa altura.**

- Aquecer o tubo de ensaio até que  $(T_{\text{glic}} - T_R)$  seja  **$\sim 95^\circ\text{C}$** .

*Aquecer intermitentemente.*

- Inserir o tubo de ensaio no cilindro de resfriamento (**previamente ligado**).

*Evite encostar o tubo nas paredes e no fundo do cilindro.*



**Tube  
quente !!!**

# Experimento 6 (Medidas)

- Medir a diferença de temperatura ( $\Delta T = T_{\text{glic}} - T_{\text{R}}$ ) para vários instantes de tempo, durante o resfriamento (modo T1-T2).
  - **Dispare o cronômetro** quando  $\Delta T$  chegar a **90°C**, no resfriamento.
  - **Prepare uma tabela** e **anote** o valor do tempo:
    - de 5 em 5°C até 40°C
    - de 2 em 2°C até 20°C
    - de 1 em 1°C até 10°C



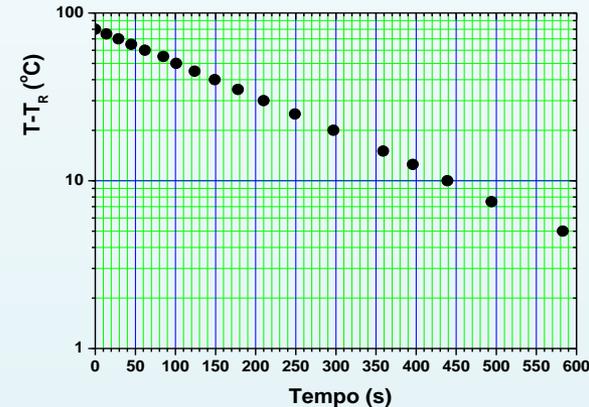
Trabalho  
em  
equipe

T(°C)	t(s)
90	0
85	...
...	...

# Análise de Dados

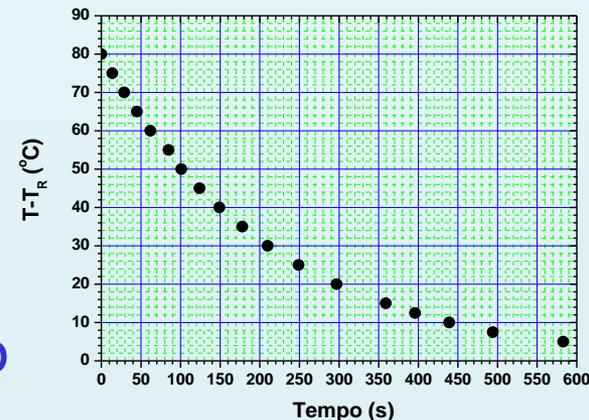
## 1. Gráficos de temperatura $\times$ tempo utilizando o papel **monolog** (*em aula*)

- Um gráf. por membro do grupo (dividindo os dados)
- Extrair os parâmetros  $\Delta T_0$ ,  $\mu$  e  $\tau$  de um ajuste de reta



## 2. Gráfico de temperatura $\times$ tempo utilizando papel **milimetrado** (*em casa*)

- Dados experimentais ( $\Delta T \times t$ )
- Incluir simulação de curva esperada usando os parâmetros  $\Delta T_0$  e  $\tau$  obtidos acima.
- **Incluir as incertezas.**



# Relatórios

## 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, **incertezas com justificativas, cálculos.**

**Gráficos e ajustes de reta – derivação de expoentes e C**

### Discussão dos dados e Conclusão

**Comparações entre métodos ou valores teóricos.**

### **Qualidade dos ajustes**

Críticas: método, resultados, incertezas

**Resposta às propostas apresentadas**

### Referências bibliográficas

**Mais detalhes: Apostila de IMF, cap. V.**

---

# Para a próxima aula (22/06):

- Entrega do Relatório – exp. 6. (um por grupo)
- No Moodle (aba Experimento # 6 - Lei de resfriamento de Newton ):
  - Exercício individual (até dia 22/06).
- Apostila do curso (página principal do Moodle):  
Experiência VII - Cordas Vibrantes