

Introdução às Medidas em Física

4300152

10^a Aula (16/06/2023)

Licenciatura no IME – Turma T42

Ricardo Andrade Terini

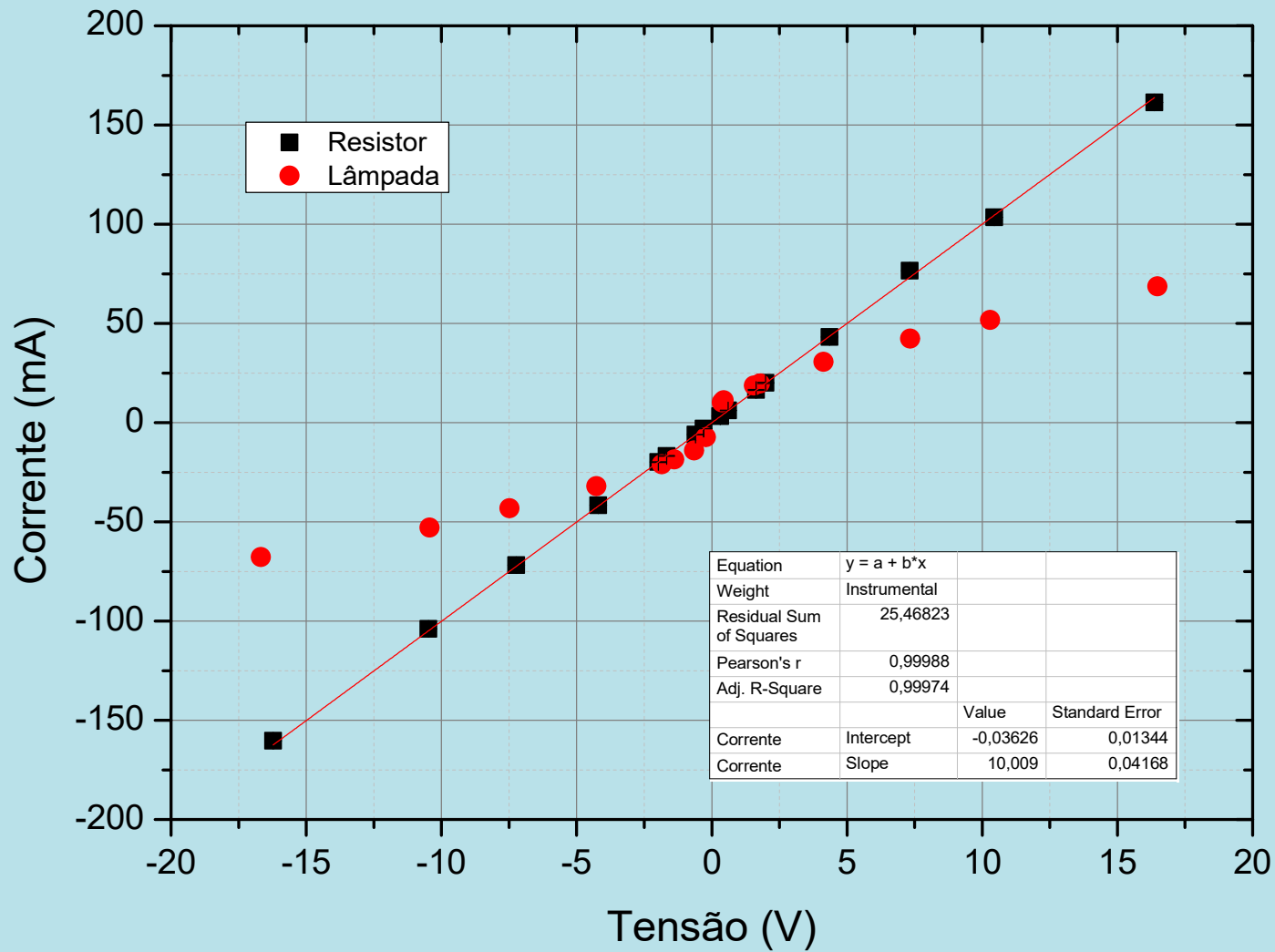
rterini@if.usp.br

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta – sl. 105

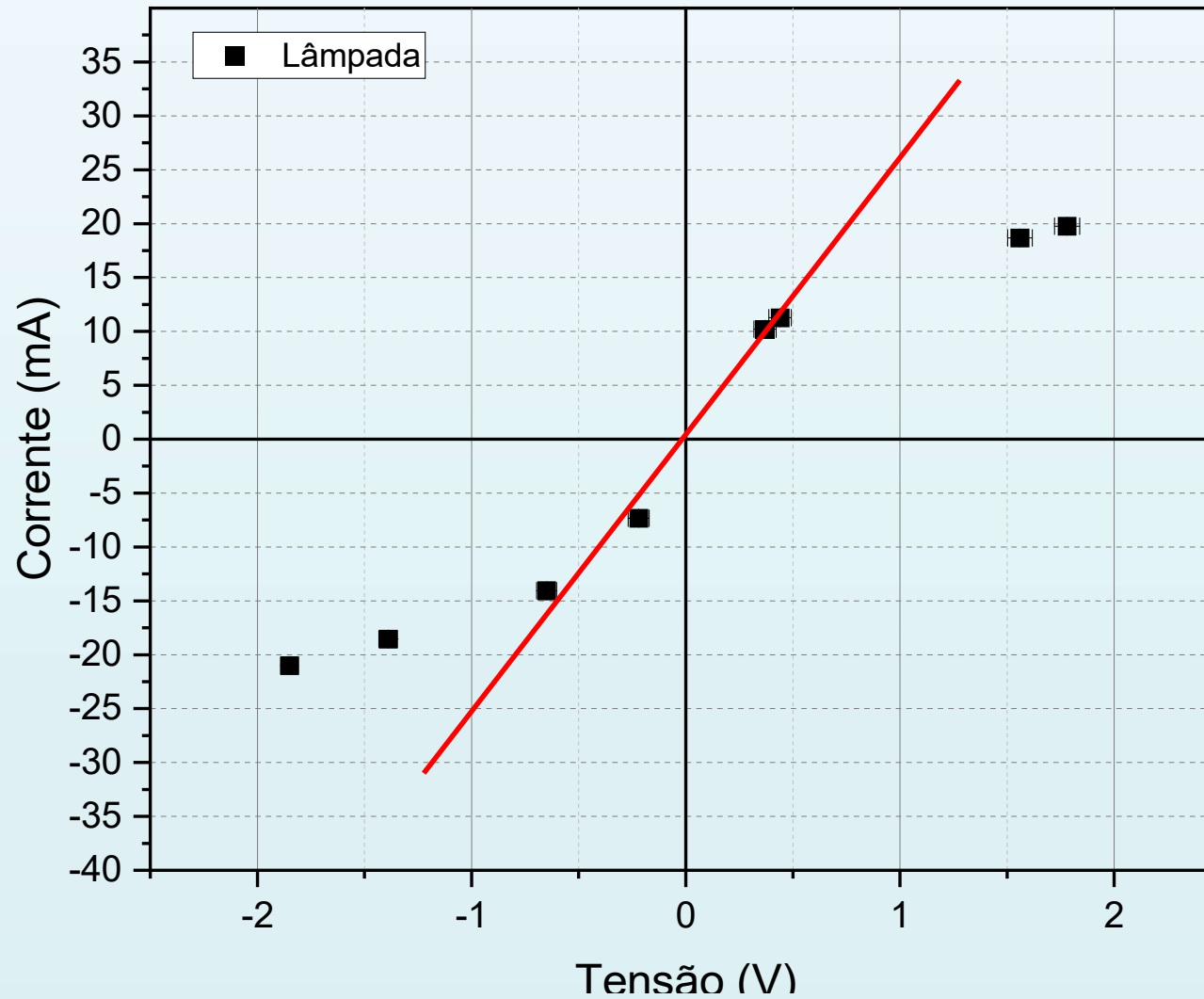
Agradecimentos aos profs. Nemitala Added, Elisabeth M. Yoshimura e Paula

IMF - AULA 10 Allegro, por cederem as apresentações que serviram de base para esta.

Da aula passada - exemplo



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.*

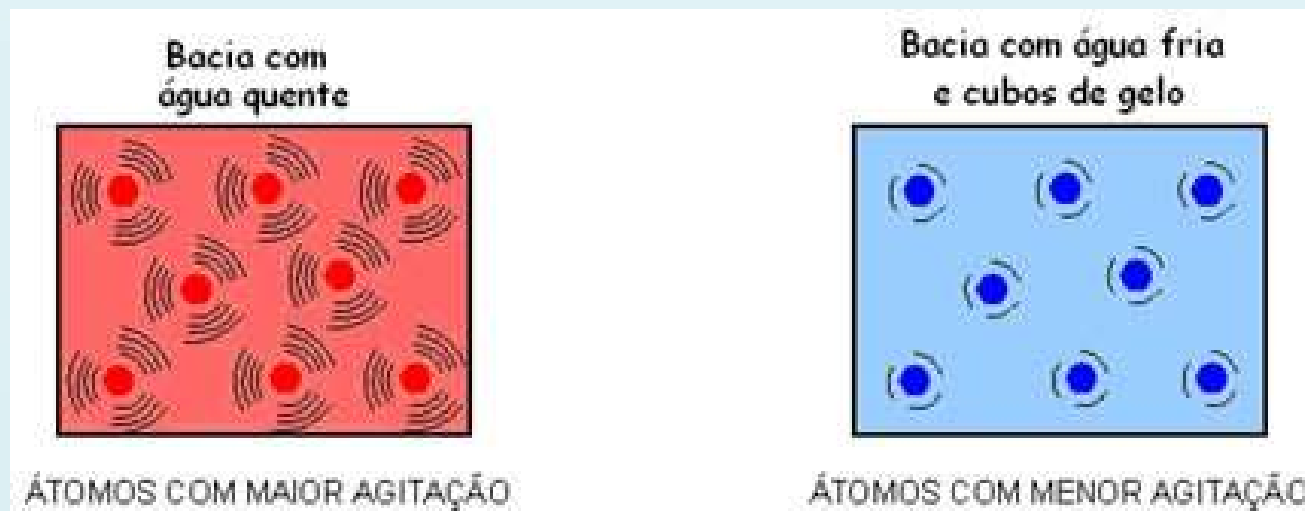
Análise de dados

- *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

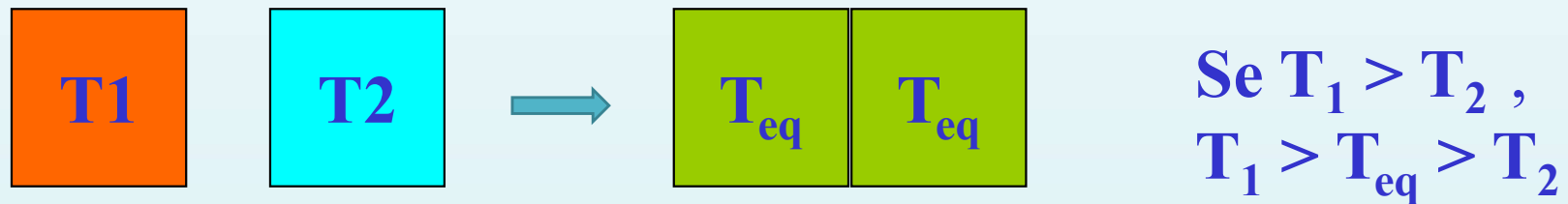
Temperatura

- **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 das 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 atingir a temperatura do mesmo.**

Obs.: Reservatório térmico = Ambiente
– fonte infinita de absorção de calor

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 seguindo 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.



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

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 ΔT :

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

A constante τ tem unidade de **tempo**, e depende do **formato** e do **material** do corpo.

Lei de Resfriamento de Newton

Consequências:

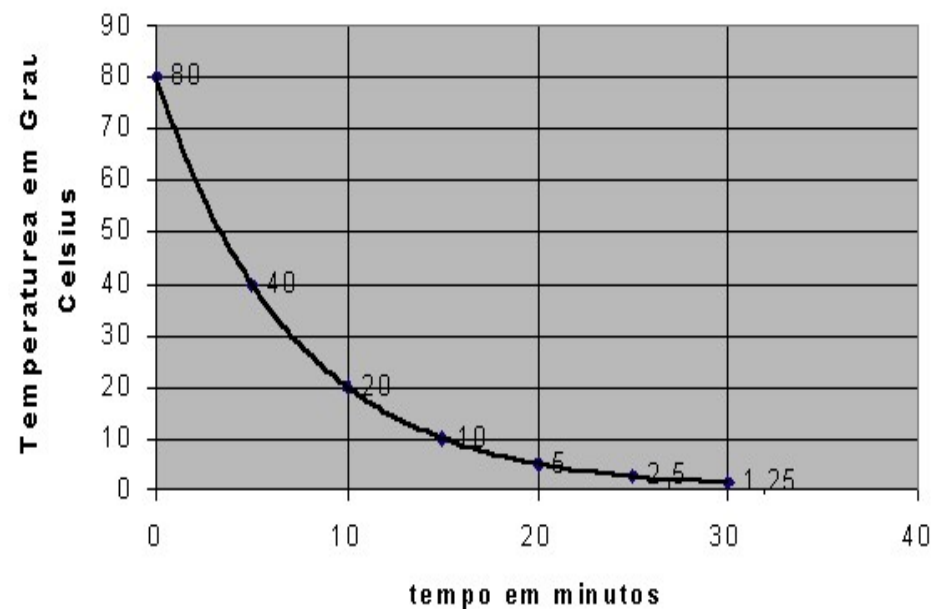
Espera-se, então, que a temperatura caia exponencialmente no tempo:

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

. ΔT_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



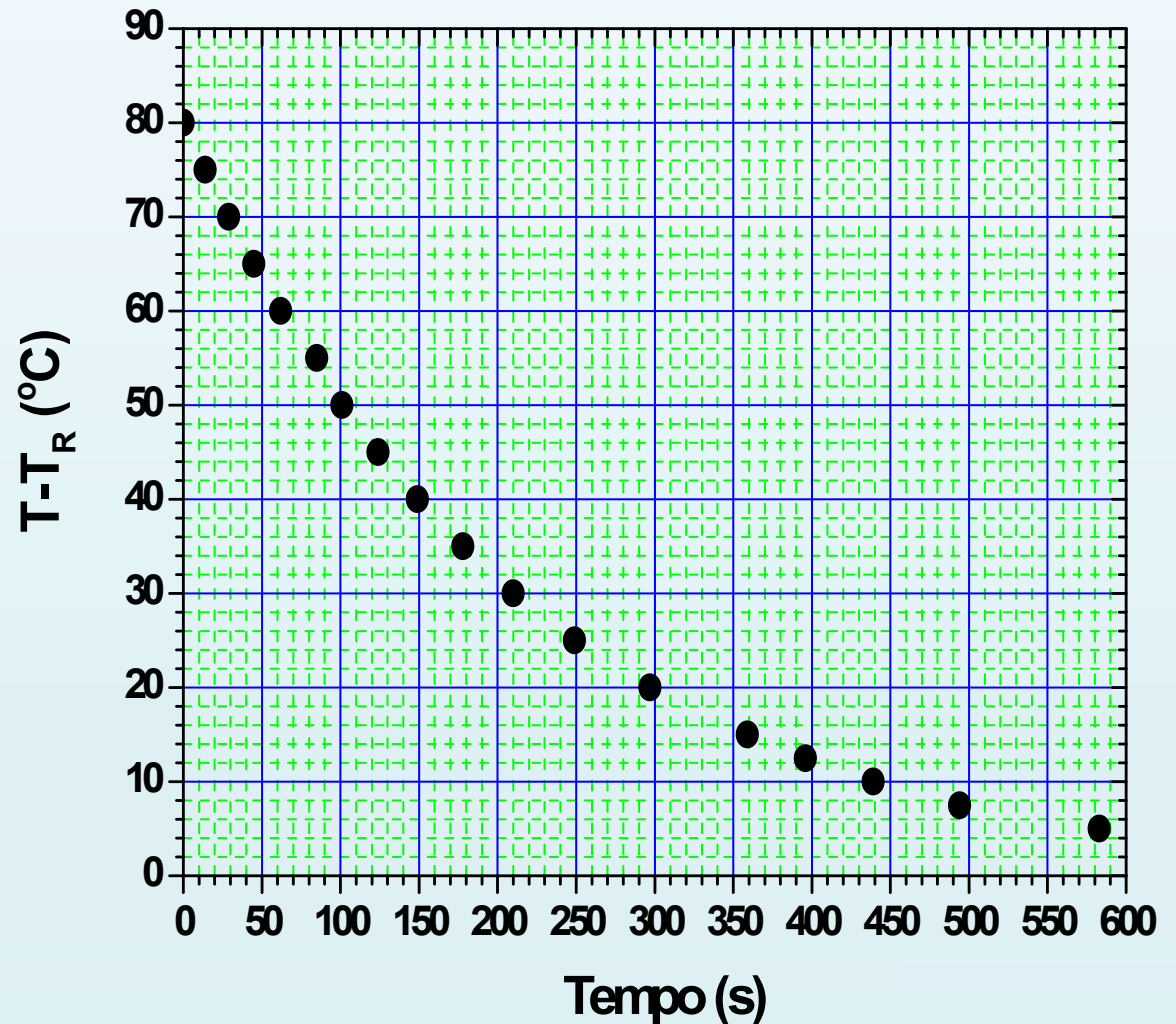
Análise de Dados

Como analisar uma dependência que claramente não é linear?

A curva traçada pelos pontos experimentais não é uma reta.

Qual é essa função?

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



Análise de Dados

Tentativa: função exponencial :

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

onde C_0 e μ 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

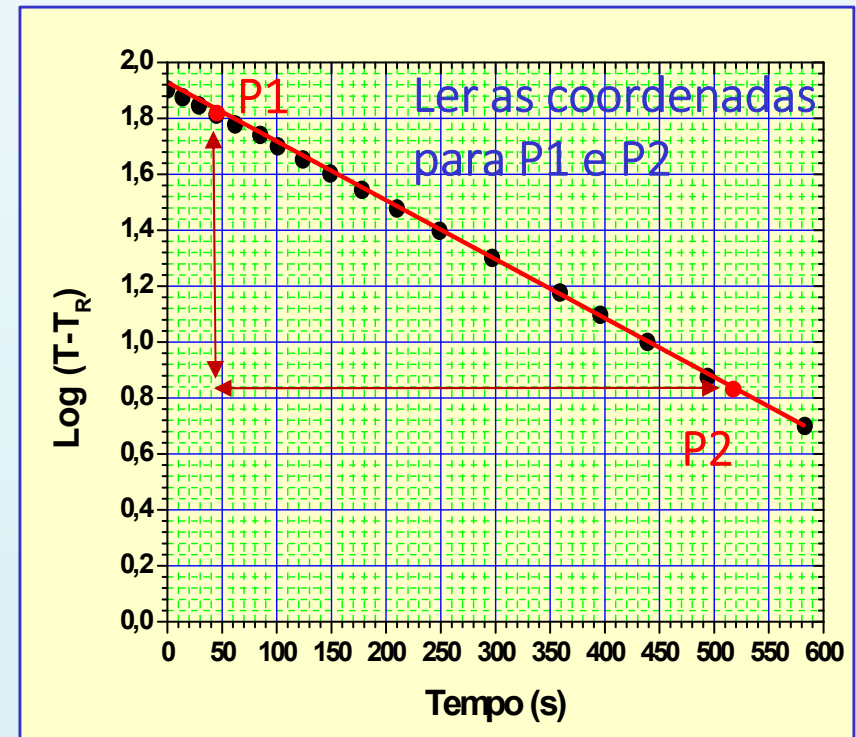
$$\log(T(t) - T_{ambiente}) = \log(C_0) - \mu \cdot \log(e) \cdot t$$

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

- coef. linear (a') – $(\log(\Delta T))$, p/ (t) = 0

$$\therefore a' = \log(C_0) \quad C_0 = 10^{a'}$$

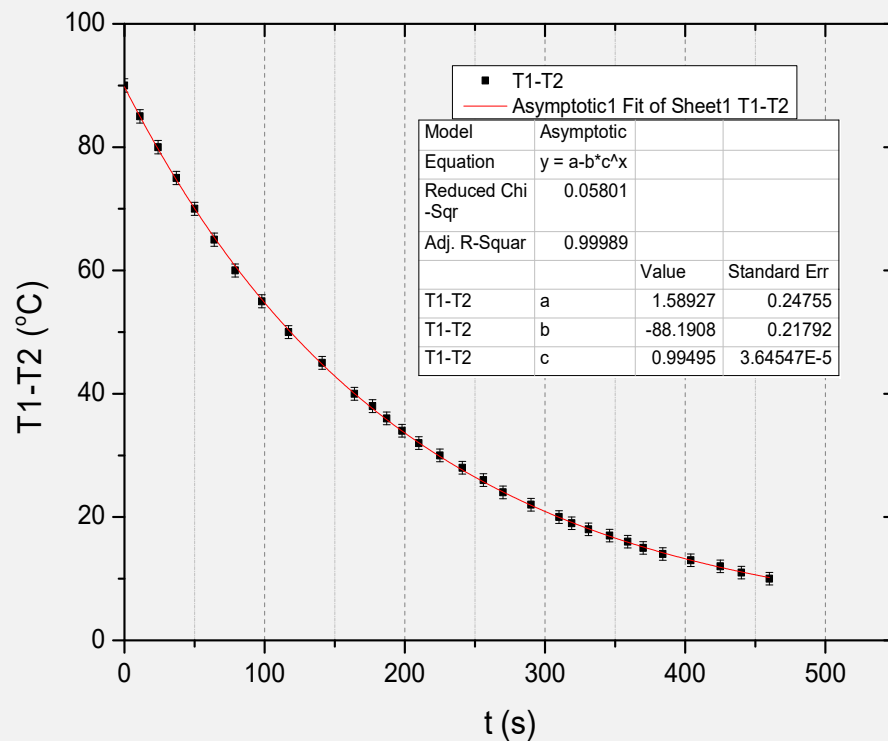
- coef. angular (b') – inclinação da reta



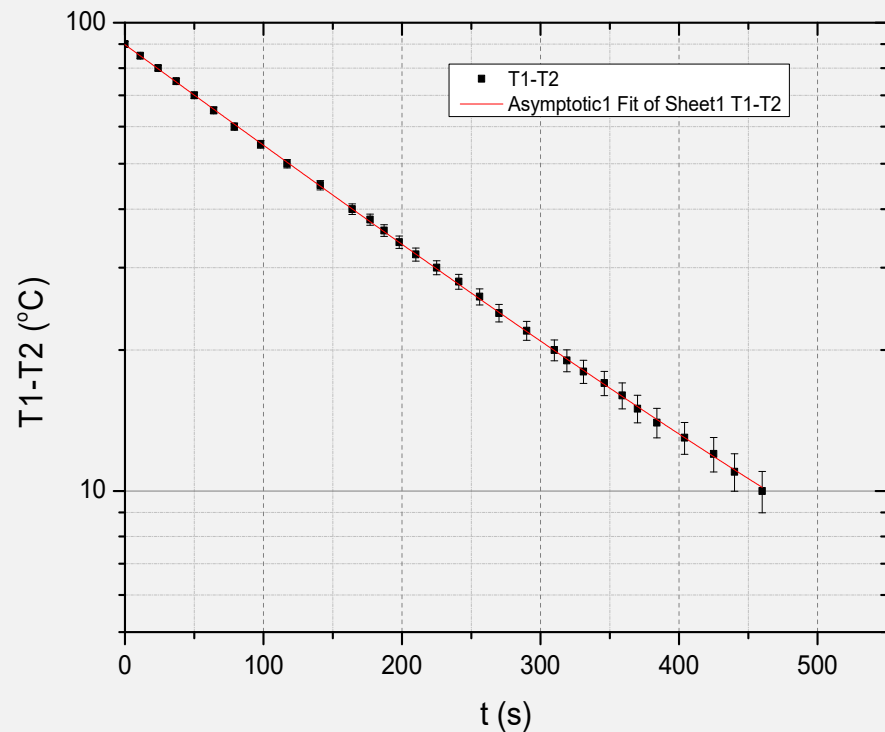
$$b' = \frac{\log(\Delta T(t_2)) - \log(\Delta T(t_1))}{t_2 - t_1} = -\mu \log(e) \Rightarrow \mu = -\frac{b'}{\log(e)}$$

Análise de Dados – Linearização pela escala

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



Escala linear

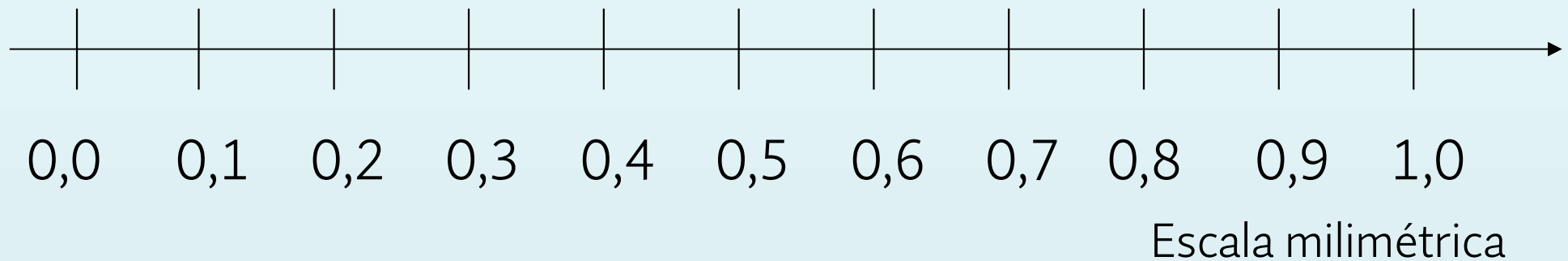


Escala mono-logarítmica (base 10)

Escala Logarítmica

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

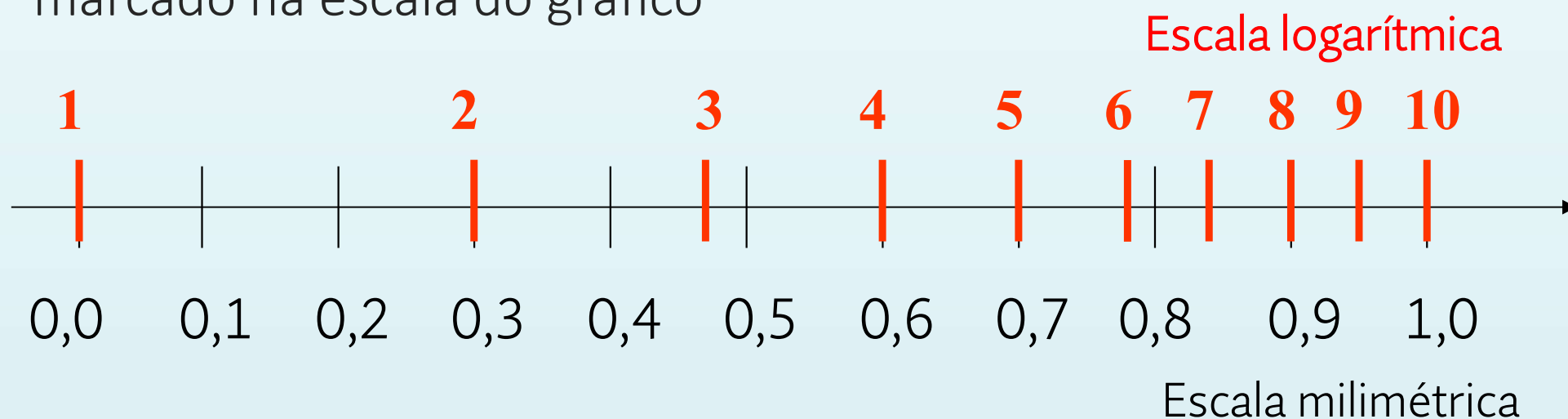
...o eixo-y é construído de forma que o comprimento real no papel corresponde ao logaritmo na base 10 do número marcado na escala do gráfico



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

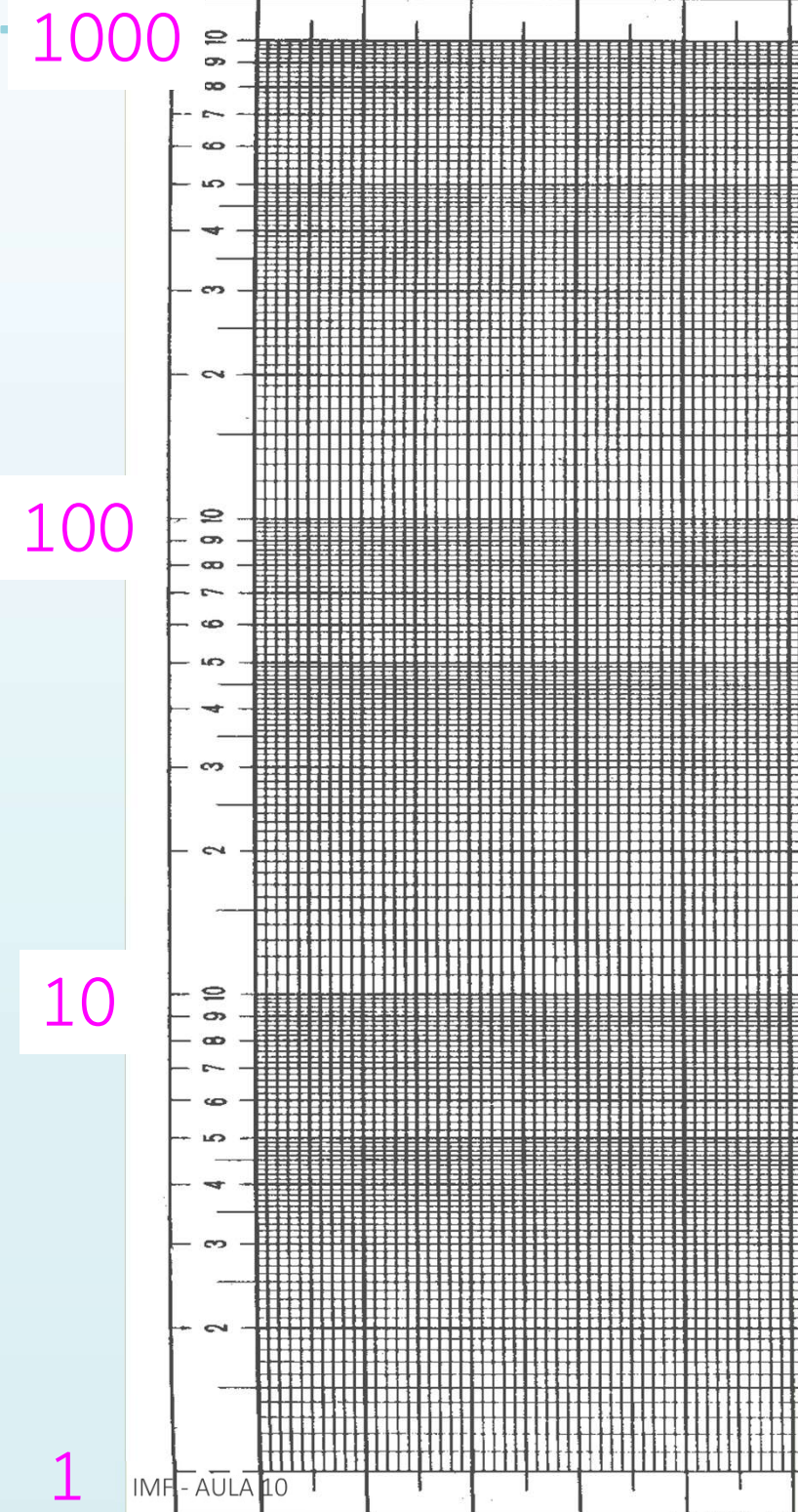
**ESCALA log
(sempre múltipla de 10)**

ESCALA linear



Localização de pontos na escala log

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



Localização de pontos na escala log

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

2) Posicionar pontos:

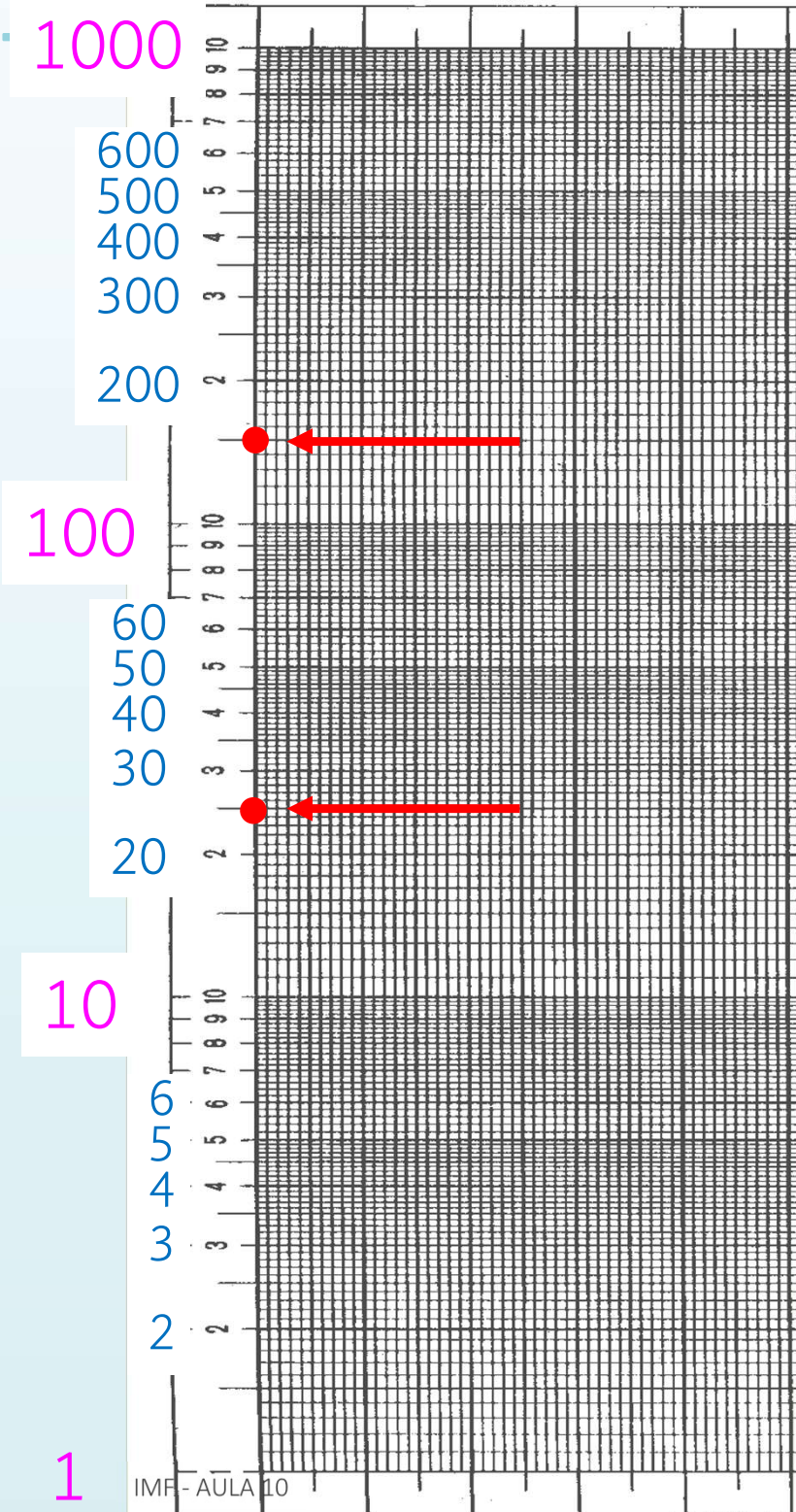
Leitura dentro das décadas

$$Y = 25$$

$$Y = 125$$

$$Y = 425 ?$$

Cuidado com os valores dentro de cada década

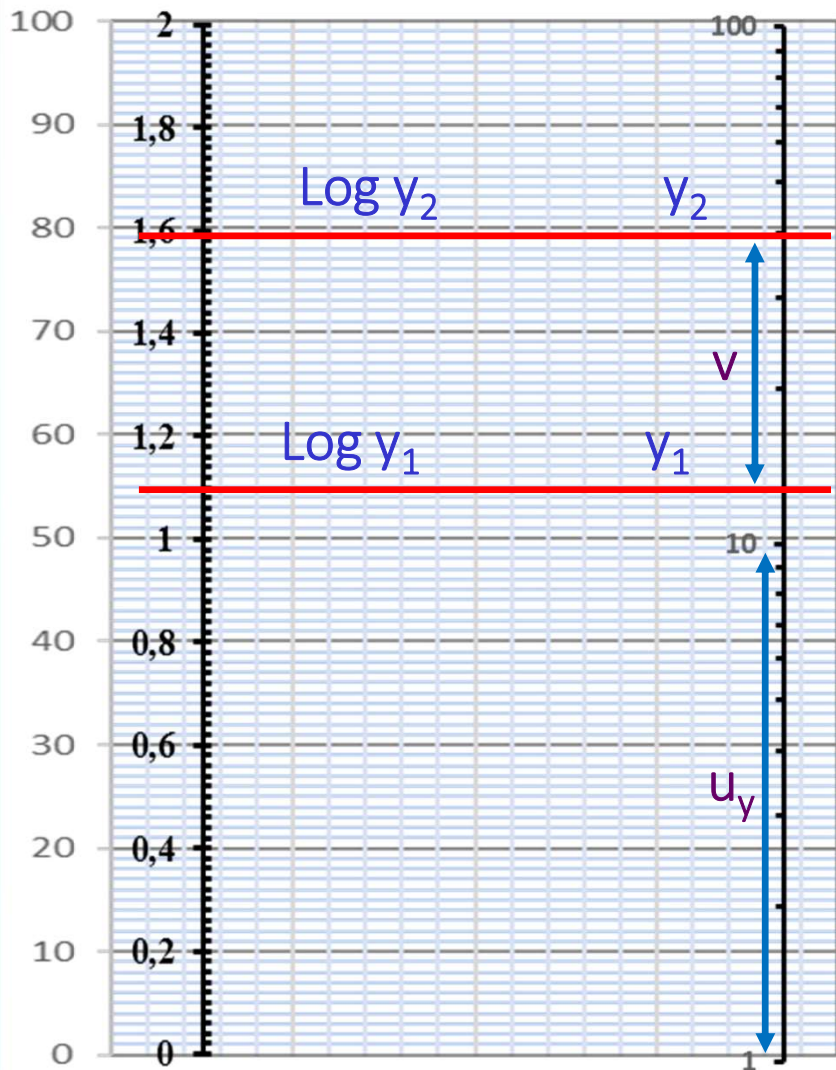


Cálculo de: $\log_{10} Y_2 - \log_{10} Y_1$

Milimetrado
Calcular log

ou

Logarítmico
Não calcular log



Opção - 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)

$$\log y_2 - \log y_1 = v / u_y$$

Análise de dados com papel monolog

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

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

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

Além disso:

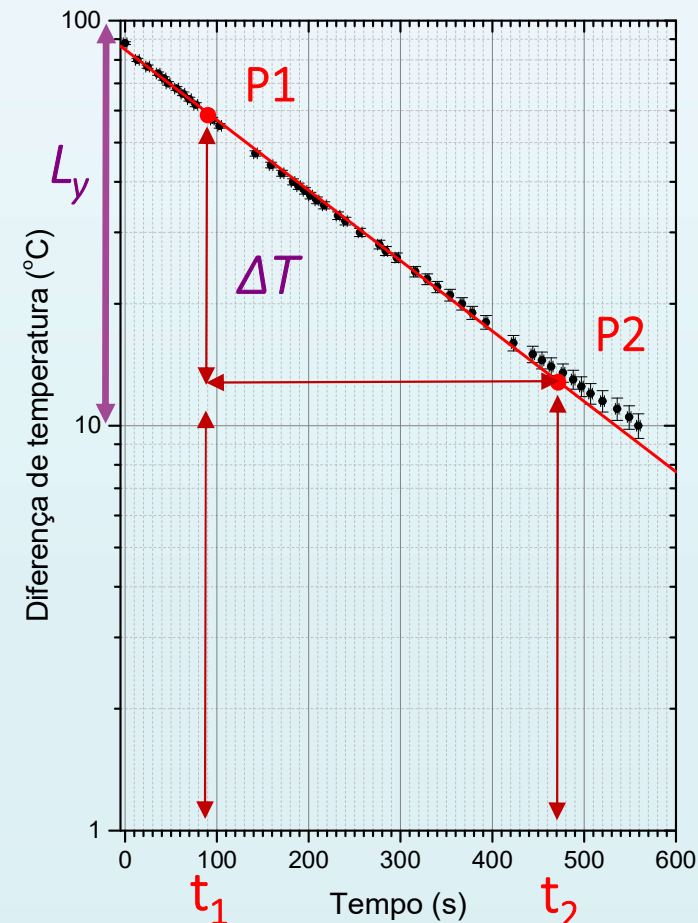
- diferenças de logaritmos
podem ser obtidas com régua!

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

Para $\log(T)$ mede-se com régua (na vertical):
 L_y é a *unidade* (mm) e ΔT é a dist. (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

Exercício em classe 6

DISCIPLINAS
Apoio às Disciplinas

Disciplinas » Suporte » Português - Brasil (pt_br)

4300152 - Introdução às Medidas em Física (2023)

Início / Meus Ambientes / 2023 / IF / 430 / 4300152-2023 / Experimento # 6 - Lei de resfriamento de Newton / Exercícios classe 6

Exercícios classe 6

Abre: quinta, 15 jun 2023, 00:00
Fecha: sábado, 17 jun 2023, 00:00

Método de avaliação: Nota mais alta

[Pré-visualizar questionário agora](#)

[← Guia 6 \(word\) \(invisível\)](#) [Exercícios casa 6 - Quinta a noite \(invisível\)](#)

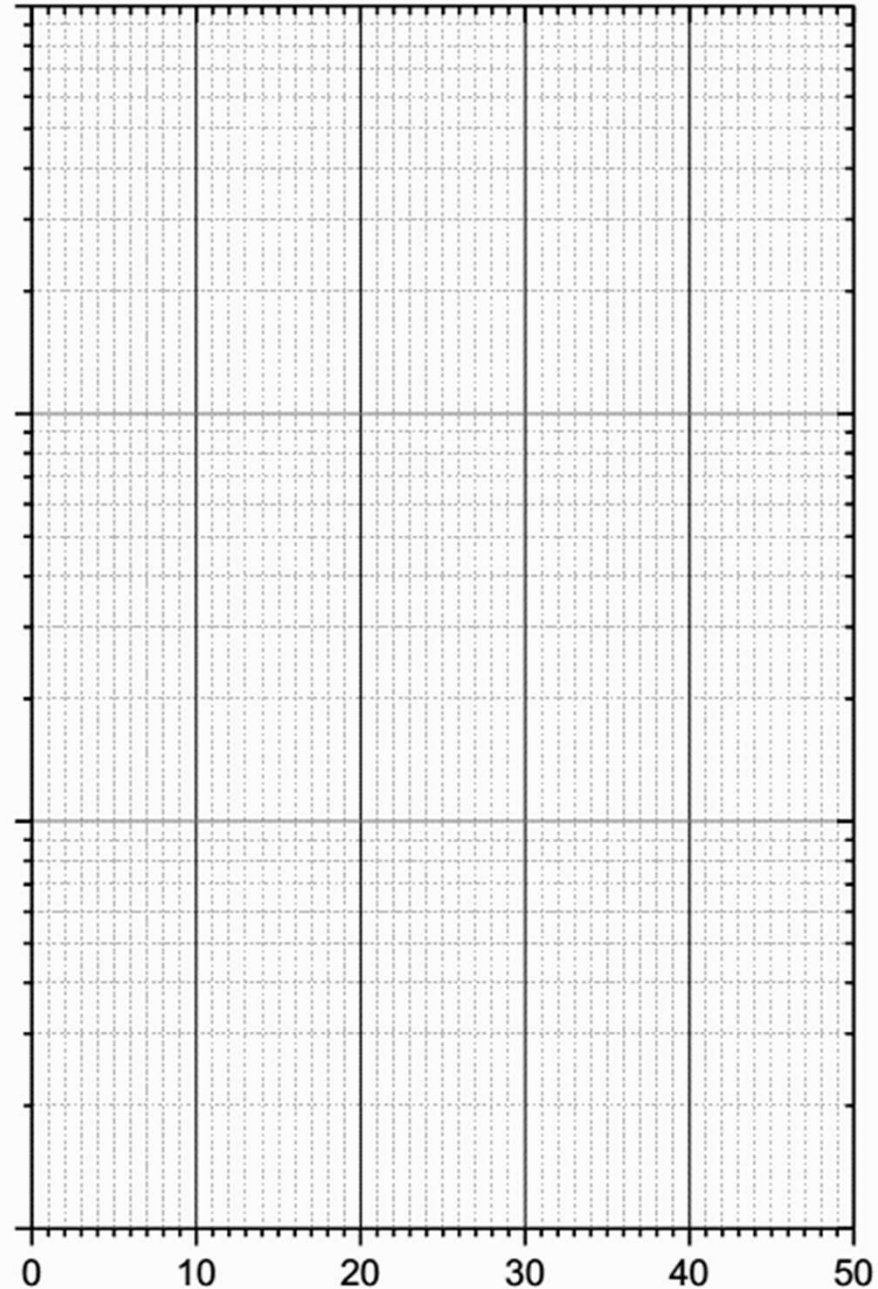
[Ajuda e documentação](#)

Exercício extra 1

– aula 10

Tabela:

t (s)	y	σ_y
5	9,7	0,7
15	3,8	0,3
25	1,35	0,09
45	0,20	0,01

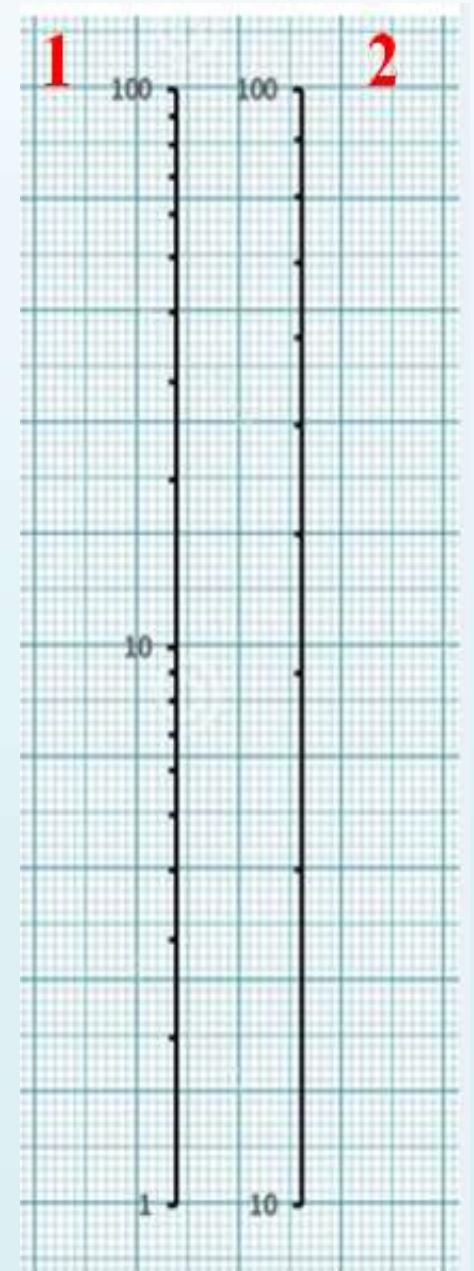


Exercícios extra em aula - 2

Avalie a diferença de logaritmos seguindo o procedimento ensinado (usando as medidas com régua). Os valores avaliados com esse procedimento (para as duas escalas) devem ser compatíveis com os valores calculados diretamente

Valores		Calculado
y_1	y_2	$\log_{10}(y_2) - \log_{10}(y_1)$
20	84,3	

Escala	Valores		Calculado
	1 década	$\log_{10}(y_2) - \log_{10}(y_1)$	$\log_{10}(y_2) - \log_{10}(y_1)$
Escala 1			
Escala 2			



Exercícios extra em aula - 2

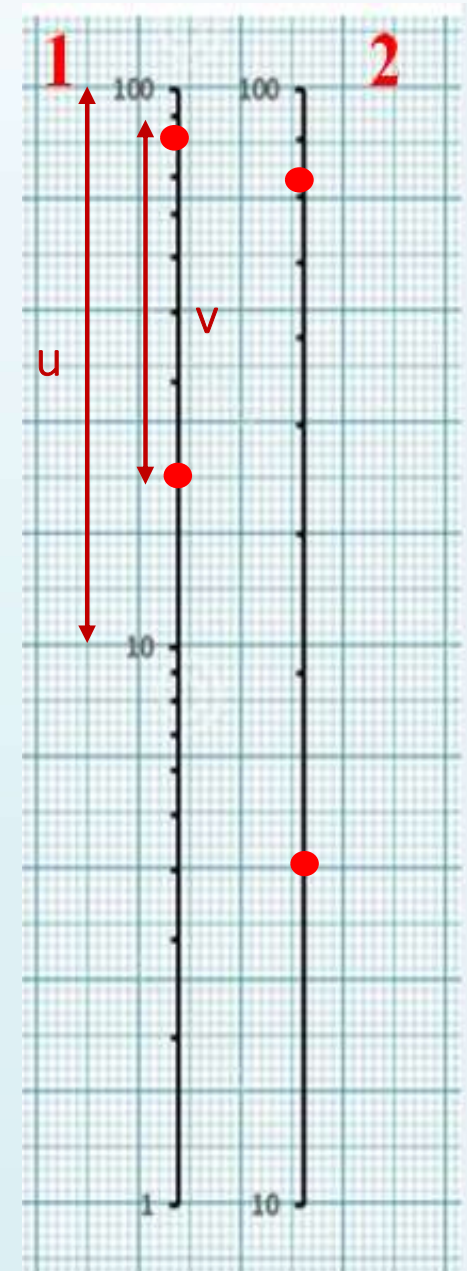
Avalie a diferença de logaritmos seguindo o procedimento ensinado (usando as medidas com régua). Os valores avaliados com esse procedimento (para as duas escalas) devem ser compatíveis com os valores calculados diretamente

Valores		Calculado
y_1	y_2	$\log_{10}(y_2) - \log_{10}(y_1)$
20	84,3	0,624

Escala	Valores		Calculado
	1 década	$\log_{10}(y_2) - \log_{10}(y_1)$	$\log_{10}(y_2) - \log_{10}(y_1)$
Escala 1	5,0 cm	3,2 cm	0,64
Escala 2	10,0 cm	6,3 cm	0,63

Colocar pontos nas duas escalas
Usar escala milimetrada (como régua)

Distância dos pontos
Distância de uma década



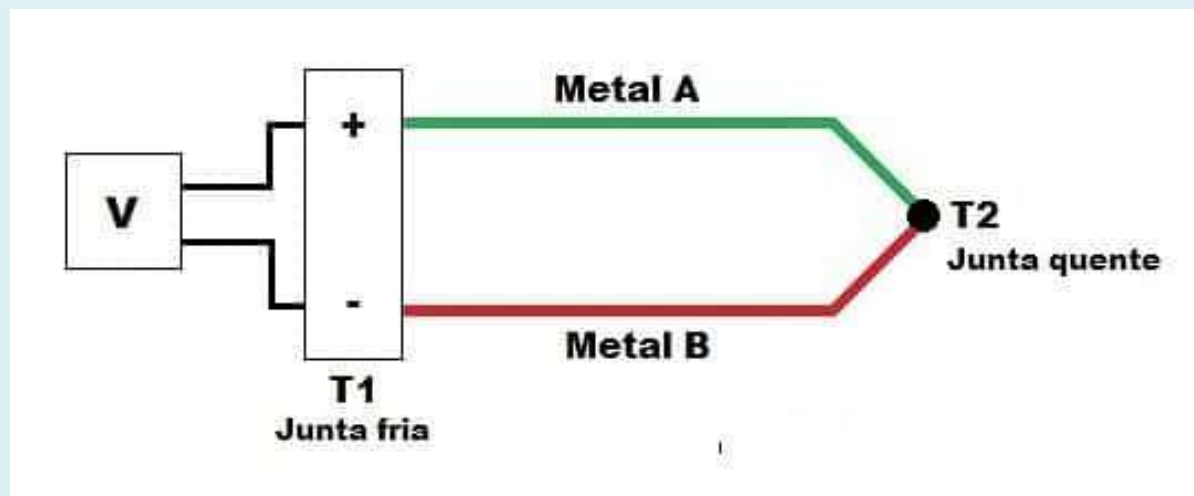
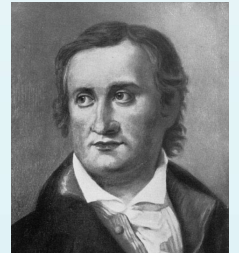
Medida de temperatura

- 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

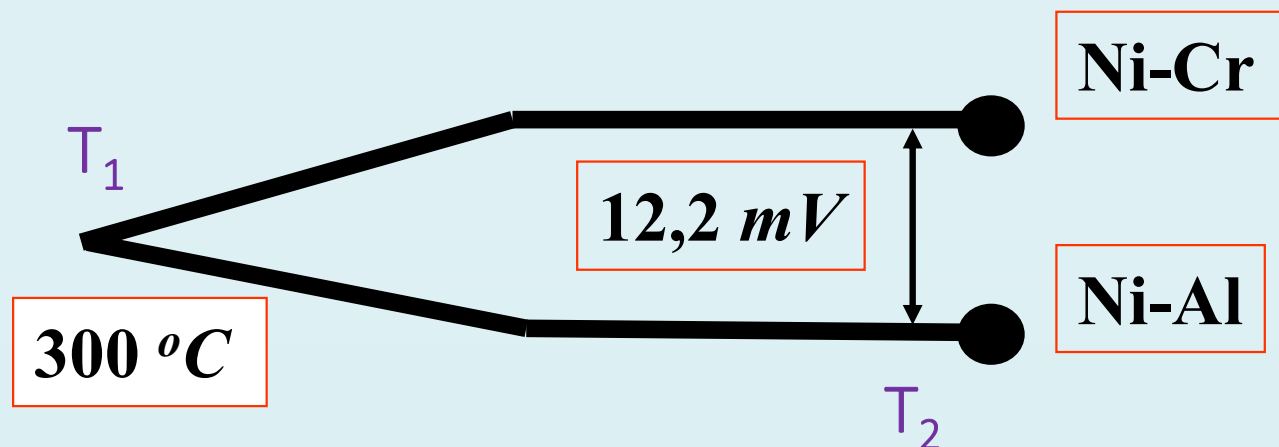
- **Termopar** é um termômetro cujo princípio reside no fato de que a eletronegatividade de metais depende da temperatura de forma diferente para cada metal.
- Assim, se as pontas da junção de dois metais diferentes estiverem em temperaturas distintas, haverá produção de uma **diferença de potencial**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



Medida de temperatura: Termopar

- **Efeito termoelétrico**: 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.

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.

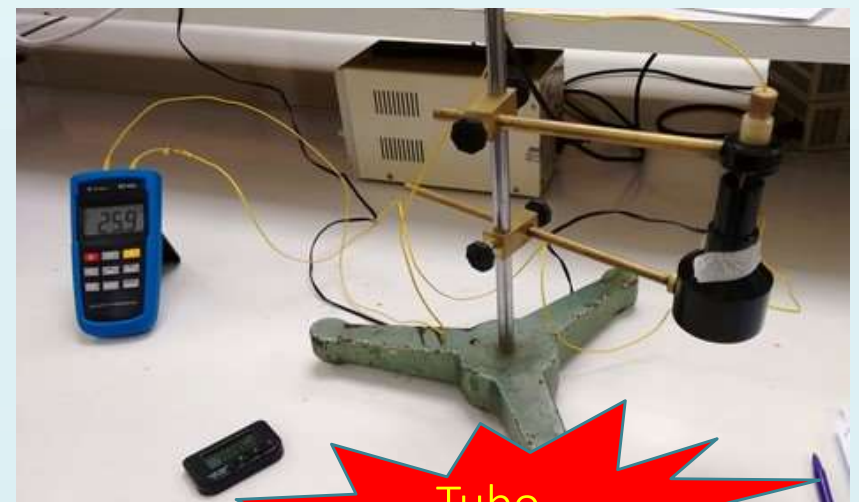
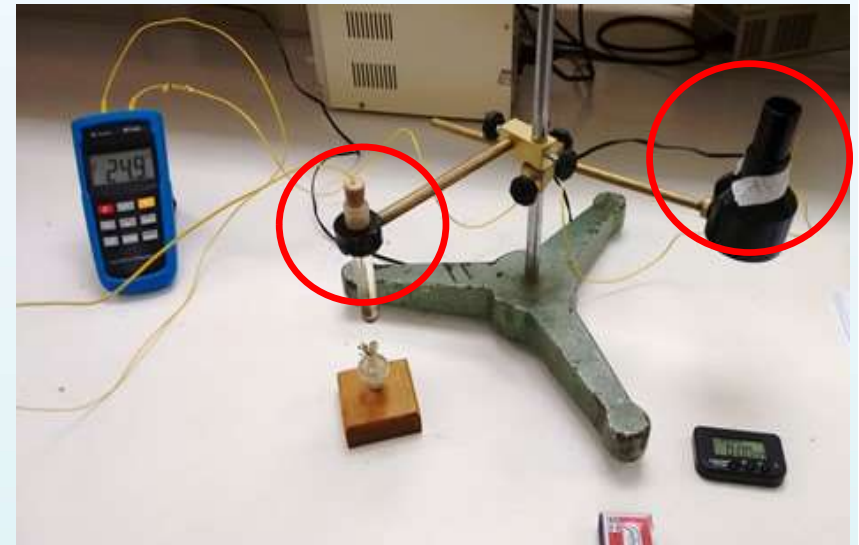
Antes de iniciar o aquecimento, posicionar o termopar na **metade** da altura da glicerina no tubo de ensaio .

- Aquecer o tubo de ensaio até que $(T_{\text{glic}} - T_{\text{R}})$ 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.



tubo
quente !!!

Experimento 6 (Medidas)

- Medir a diferença de temperatura ($\Delta T = T_{\text{glic}} - T_R$) para vários instantes de tempo, durante o resfriamento (modo T1-T2).
 - **Dispare o cronômetro** quando ΔT chegar a **90°C**, no resfriamento.
 - Prepare uma tabela e anote o valor de ΔT e 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

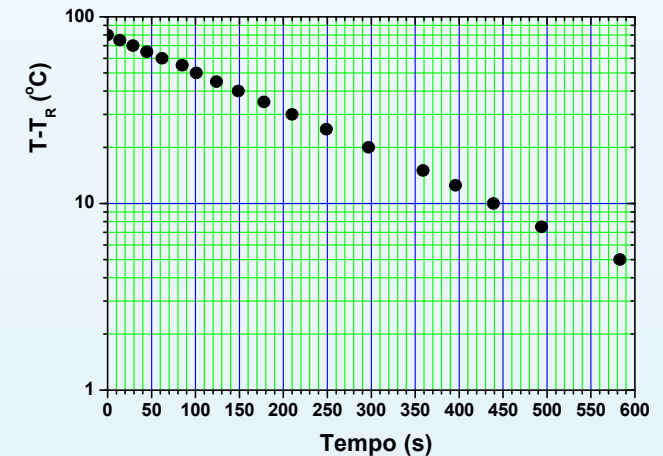
T(°C)	t(s)
90	0
85	...
...	...

31

Análise de Dados

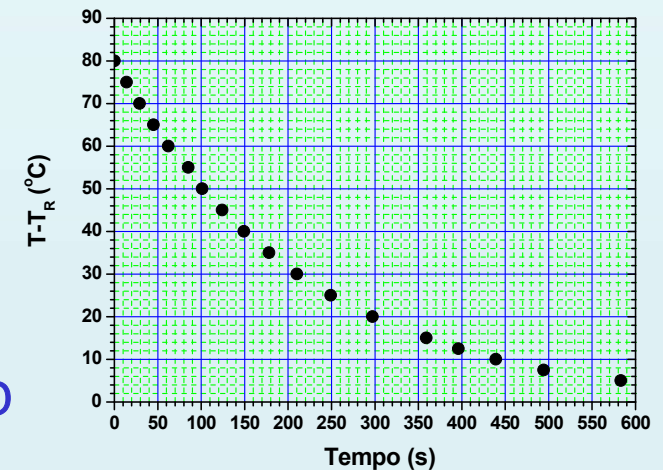
1. Gráficos de temperatura \times tempo utilizando o papel **monolog** (*em aula*)

- Um gráfico por membro do grupo (dividindo os dados)
- Extrair os parâmetros ΔT_0 , μ e τ 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 ΔT_0 e τ 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 (23/06):

- Entrega do Relatório – exp. 6. (um por grupo)
- No *Moodle* (aba Experimento # 6 - Lei de resfriamento de Newton):
 - Exercício individual (até dia 23/06).
- Apostila do curso (página principal do *Moodle*):
Experiência VII - Cordas Vibrantes