

TI - IDENTIFICAÇÃO DE METAL E DE SEMICONDUTOR A PARTIR DO COMPORTAMENTO TÉRMICO

Maria Heloisa Nunes de Siqueira, Grupo 2, PL1
27/11/2023

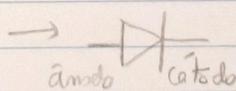
(27/11) ²³

OBJETIVOS

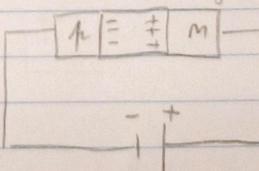
- Estudar a dependência da resistividade de metais com a temperatura
 - Determinar o valor do coeficiente de variação resistiva com a temperatura para um condutor metálico
 - Determinar o valor da largura de banda proibida de um semicondutor
 - Familiarizar com técnicas de medida AC

INTRODUÇÃO TEÓRICA

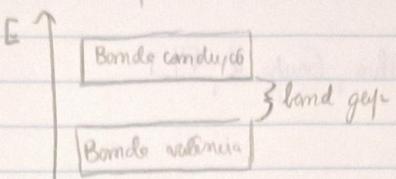
Diodo → dois semicondutores → 
- ↑ ↓
 anodes cathodes



→ poleringen → muren
(mo' permiti formagum
di conunt)



Semicondutor \rightarrow um polímero insusceptível ao consumo de baixa intensidade que deve ser excitado térmica e e^- lacunas que saltam para a banda de condução

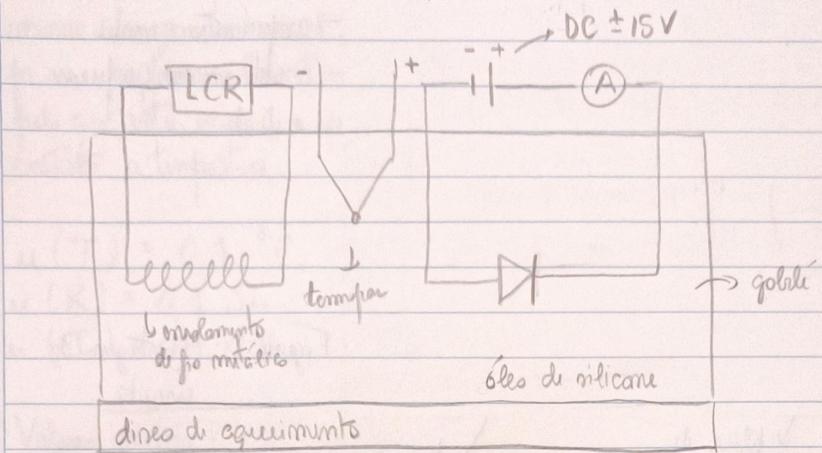


$$I = A \exp\left(-\frac{\Delta}{k_B T}\right) \text{ energia banda proibida}$$

↓
constante
↓

$$\ln(I) = -\frac{\Delta}{k_B T} + \ln(A) \quad (2)$$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL



- Verificar mobilidade dos aparelhos, posicionamento de ponta do Termômetro e escala do termômetro digital
- Aplicar +15 V (polarização inversa do diodo)
- Aquecer lentamente o óleo e registrar em função de T, R_{metal} e I_{diodo}
- Quando $T = 70^\circ C$, desligar o óleo e, após algum tempo (garantindo $T < 100^\circ C$), retirar cuidadosamente o gatil do diodo com os furos térmicos para a placa de cinta
- Registrar R_{metal} e I_{diodo} para T descrevendo

NOTAS DE AULA

$$\left. \begin{array}{l} T_{amb} = 19,0^\circ C \\ R_{termica\ placa} : 1 \end{array} \right\} \text{Exercício 1}$$

Entre exercícios aproximámos o termômetro do diodo dentro do gatil

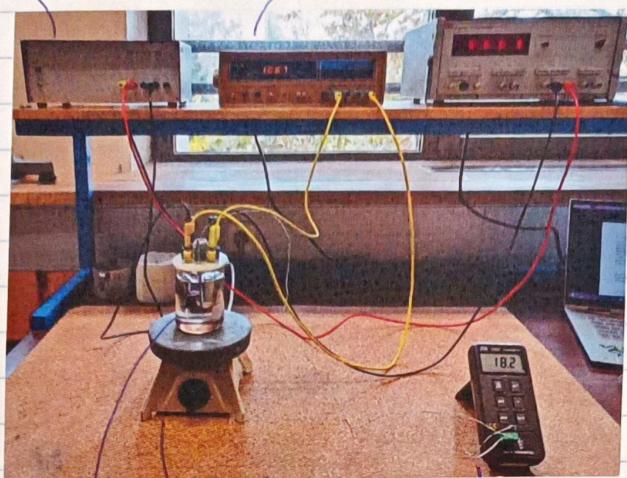
$$\left. \begin{array}{l} T_{amb} = 27,3^\circ C \\ R_{termica\ placa} : 0,5 \end{array} \right\} \text{Exercício 2}$$

$\rightarrow (27,11)^\circ C$ 23

ANÁLISE DE DADOS E DISCUSSÃO

fonte de tensão
DC +15V

LCR c. medida resistiva do fio de metal



amperímetro a medir
corrente imposta que flui em
o diodo

Figure 1: Montagem do circuito

placa de aquecimento

termopar

óleo com óleo de silicone, diodo, enrolamento de fio metálico
e ponta do termopar

Realizaram -m medidas com corrente contínua; no entanto, n'esse caso utilizou-se corrente alternada,
tendo sido formado obtido o fator da dimensão $D = \frac{R}{X}$ e, por conseguinte, a impedância.

$Z = R + jX$ do fio de metal, já que este funcionava, de forma prática, como uma bobina,
tendo indutância.

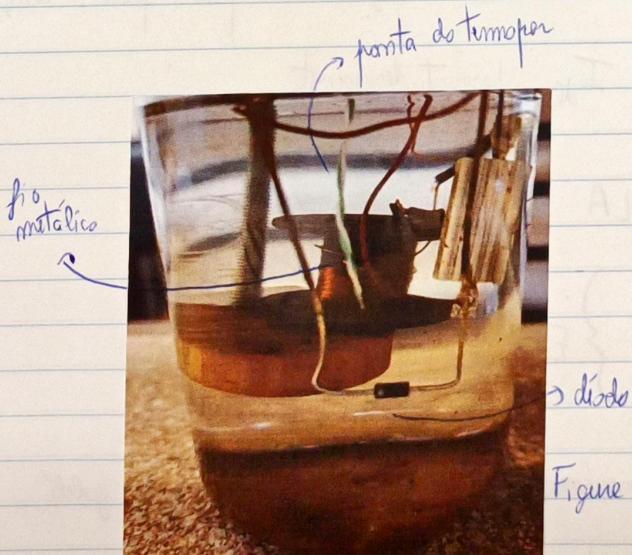


Figure 2: Coble

O óleo de silicone é utilizado pois o silicone mantém as suas propriedades químicas e físicas mesmo com grandes variações de temperatura e, além disso, tem baixa condutividade térmica; contudo, por ser um bom isolador térmico, o gradiente de temperatura dentro do gotelé irá variar significativamente, pelo que, entre ensaios, se aproximou a fonte do termopar do diodo, de modo a medir com mais exatidão a temperatura.

$$u(T) = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$u(R) = 0,1 \text{ } \Omega$$

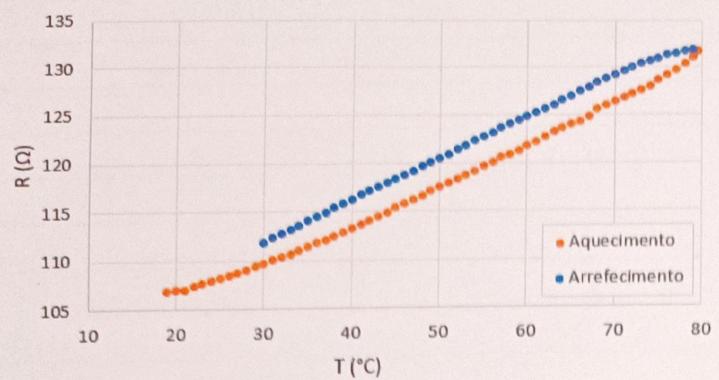
$$u(I) = 0,1 \times 10^{-9} \text{ A}$$

Valores iniciais:

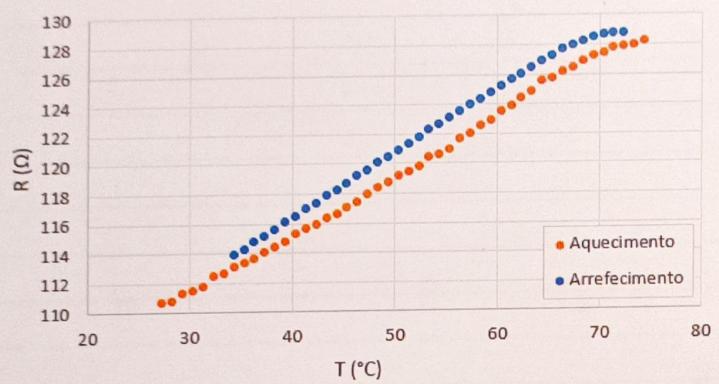
$$\begin{aligned} \text{Ensaios 1} \quad & T_0 = (19,0 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C} \\ & R_0 = (106,9 \pm 0,1) \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ensaios 2} \quad & T_0 = (27,3 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C} \\ & R_0 = (110,7 \pm 0,1) \Omega \end{aligned}$$

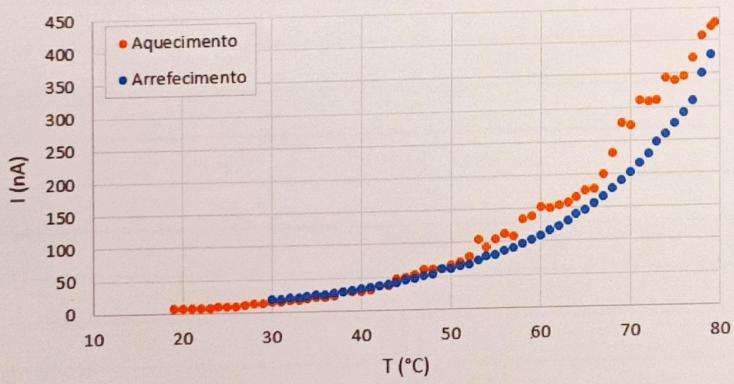
$R(T)$ - Ensaio 1



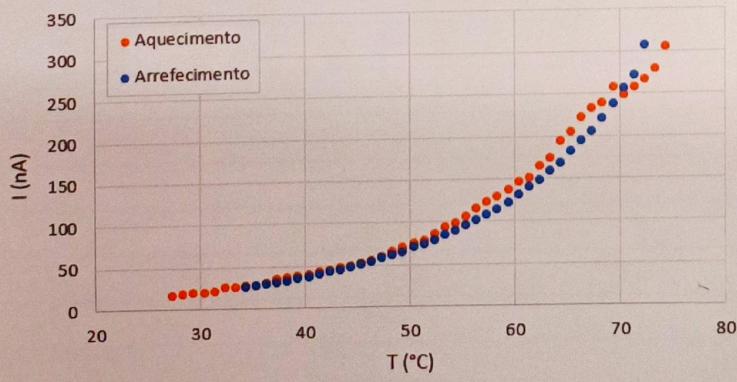
$R(T)$ - Ensaio 2



$I(T)$ - Ensaio 1



$I(T)$ - Ensaio 2



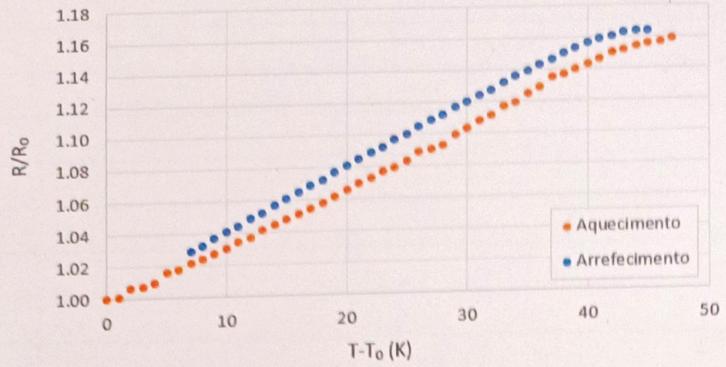
As disruptâncias mais devidas ao aquecimento é aquecimento, em ambos os ensaios e tanto para $R(T)$ como para $I(T)$, justificando pelo fenômeno da histerese:

- Para $R(T)$, observa-se que o material que constitui o fio tem absorção calor de forma linear para uma variação de temperatura, dependendo se esta a ocorrer um aumento ou uma diminuição de temperatura. Assim, quando compara a decréscimo de temperatura após ser submetido a ele, ocorre um pequeno atraso temporal na resposta do sistema, levando ainda um aumento da resistividade do material (e por isso, de sua resistência), mas não com o mesmo declínio.
- Quanto a $I(T)$, a diferença entre as curvas é significativa a partir de aproximadamente 50°C , demonstrando que a mobilidade elétrica do semicondutor é inversional a temperaturas relativamente altas e que, quando compara o aquecimento, há um atraso e este efeito ainda não foi totalmente evitado.

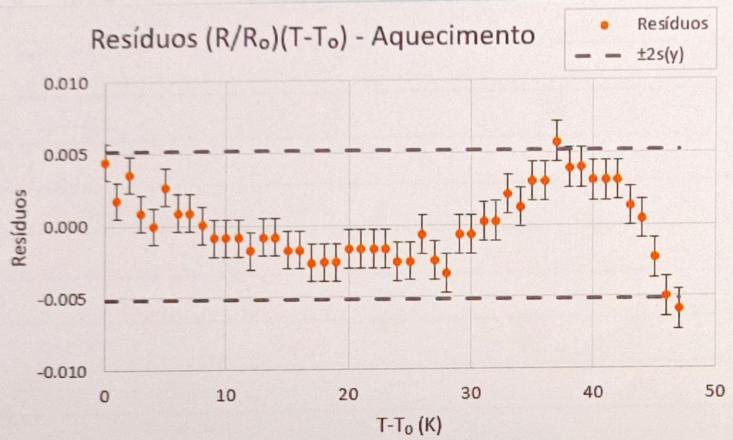
Ainda assim, a diferença entre os devidos é mais significativa para o ensaio 1 do que para o ensaio 2, com a variação de constante de ação muito mais uniformemente no ensaio 2. Desta maneira, conclui-se que quanto menor for a potência aplicada ao sistema (potência do ensaio 2 é metade da potência do ensaio 1), isto é, quanto menor for a taxa de variação temporal da temperatura, menor será a histerese do sistema, pelo que os aparelhos conseguem medir com maior exatidão R e I .

Como tal, escolhem-se o ensaio 2 para a resistividade analisa, com os mesmos equipados (1) e (2) da introdução técnica.

$(R/R_0)(T-T_0)$



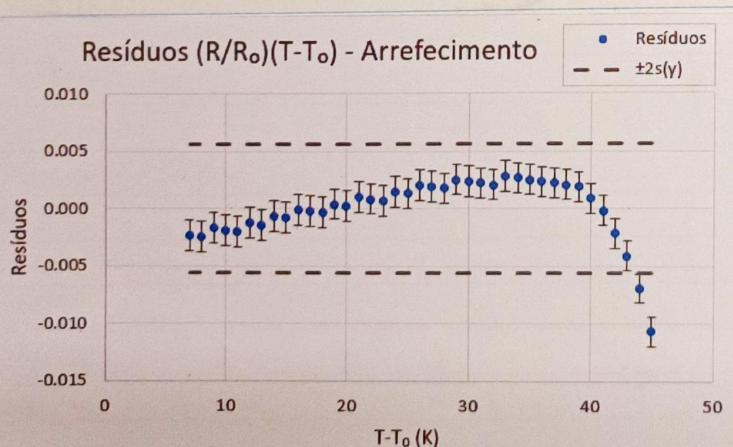
Resíduos $(R/R_0)(T-T_0)$ - Aquecimento



Ajuste $(R/R_0)(T-T_0)$ - Aquecimento

| | m | 0.996 | b |
|--|--------|-----------|--------|
| | $u(m)$ | 0.00003 | $u(b)$ |
| | r^2 | 0.997 | $s(y)$ |

Resíduos $(R/R_0)(T-T_0)$ - Arrefecimento



Ajuste $(R/R_0)(T-T_0)$ - Arrefecimento

| | m | 1.005 | b |
|--|--------|-----------|--------|
| | $u(m)$ | 0.00004 | $u(b)$ |
| | r^2 | 0.996 | $s(y)$ |

Não se comprovou a relação linear entre a resistividade e a temperatura, devido que ambos os víndos apresentaram tendências polinomiais (aquecimento), lineares (ampliamento), o que não justifica pule hetero, nem devidamente. A temperatura de resistividade (o ponto de resistividade do fio) para temperaturas altas ($T - T_0 > 40\text{ K}$). Tentou-se utilizar outros ajustes lineares com outros pontos, mas os víndos tanto do aquecimento como do ampliamento continuaram a mostrar tendências, pelo que se decidiu manter os ajustes originais com todos os pontos.

De acordo com a eq. (1), para este ajuste espera-se $m = b = 1$. As ordens de magnitude do aquecimento e do amplituado foram calculadas, respectivamente, com incertezas de $0,07\%$ e $0,11\%$, e erros de $0,4\%$ e $0,5\%$.

Também de acordo com a eq. (1), tem-se $\alpha = mn$, logo:

$$\text{Aquecimento} \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = (0,00360 \pm 0,00003) \text{ K}^{-1} \\ u(\alpha) (\%) = 0,7\% \end{array} \right.$$

$$\text{Ampliamento} \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = (0,00376 \pm 0,00004) \text{ K}^{-1} \\ u(\alpha) (\%) = 1,1\% \end{array} \right.$$

Pode obter o valor final do coef. de variação relativa com a temperatura, utilizando-se uma média das duas valors acima:

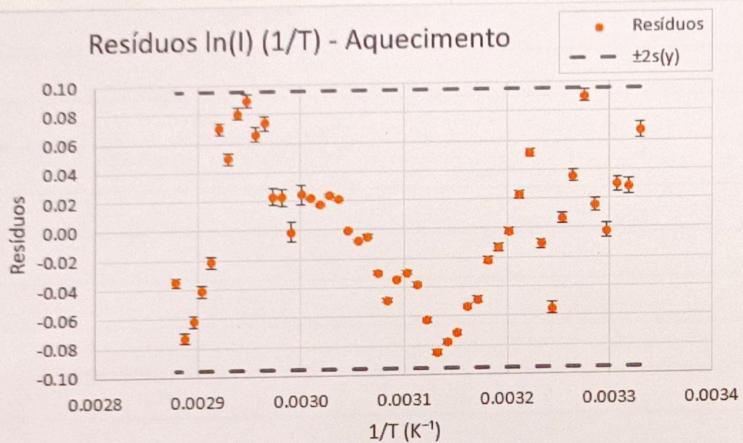
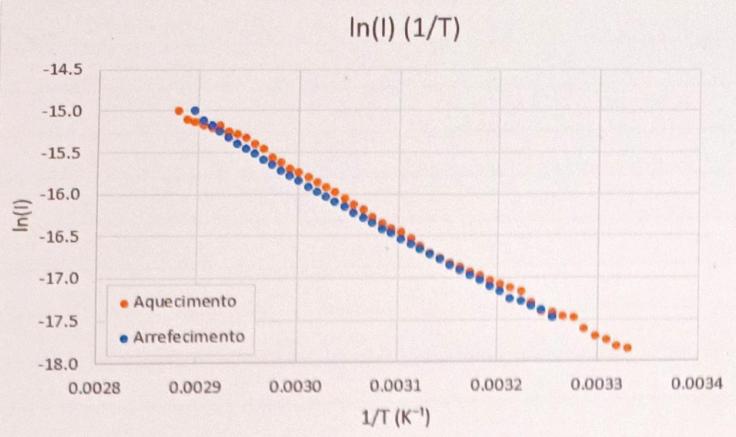
$$\bar{\alpha} = (0,00368 \pm 0,00006) \text{ K}^{-1}$$

$$u(\bar{\alpha}) (\%) = 1,5\%$$

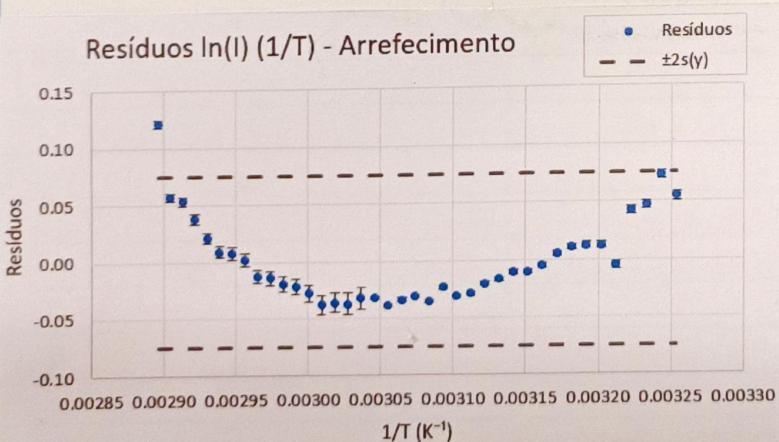
Procurando valores da α tabelados para metais, o valor mais próximo é o de ouro puro ($\alpha(\text{Au}) = 0,003715$, diferença de $0,9\%$ em relação a α experimental).

No entanto, é impossível a cristalização de ouro puro no laboratório.

O fio é feito de cobre, logo tomamos este como valor de referência ($\alpha(\text{Cu}) = 0,004041$), o valor experimental tem um erro de 9% .



| Ajuste $\ln(I) (1/T)$ - Aquecimento | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|------|
| m | -6550 | 3.9 | b |
| u(m) | 52 | 0.2 | u(b) |
| r ² | 0.997 | 0.048 | s(y) |



| Ajuste $\ln(I) (1/T)$ - Arrefecimento | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|------|
| m | -6739 | 4.4 | b |
| u(m) | 56 | 0.2 | u(b) |
| r ² | 0.997 | 0.037 | s(y) |

Também nos compreendemos a reação exponencial da corrente e de temperatura. No aquecimento, os nódulos no perolíbico, apontando para uma curva que é o fenômeno da história. No aquecimento, os nódulos fazem no justificável mas não fazem parte da curva $I(T)$ em termos de "memória", normalmente, nas temperaturas mais altas! Analogamente à parte anterior, tivemos - m talvez outros ajustes lineares com outros pontos, mas os nódulos continuaram tendo efeitos, pelo que se mantiveram os ajustes originais com todos os pontos

De acordo com a eq. (2), determinou - m a energia da banda proibida do semicondutor com a expressão (equações de incerteza antes das conclusões)

$$\Delta = -K_B m$$

obtendo - m

$$\text{Aquecimento } \left\{ \begin{array}{l} \Delta = (0,564 \pm 0,004) \text{ eV} \\ u(\Delta)(\%) = 0,79 \% \end{array} \right.$$

$$\text{Aquecimento } \left\{ \begin{array}{l} \Delta = (0,581 \pm 0,005) \text{ eV} \\ u(\Delta)(\%) = 0,84 \% \end{array} \right.$$

Analogamente à parte anterior, calculou - m a média para obter o valor final:

$$\bar{\Delta} = (0,573 \pm 0,006) \text{ eV}$$

$$u(\bar{\Delta})(\%) = 1,0 \%$$

Pesquisando valores tabelados para a banda proibida, o valor mais próximo é o do Germanio ($\Delta(\text{Ge}) \approx 0,67 \text{ eV}$), o que é plausível, pelo que este foi considerado o valor de referência. Desta forma, Δ experimental tem um erro de 15%.

EQUAÇÕES DE INCERTEZA

$$u(R/R_0) = \sqrt{\left(\frac{1}{R_0} u(R)\right)^2 + \left(-\frac{R}{R_0^2} u(R_0)\right)^2} \quad (\text{nível das lemniscas de um gráfico de médias})$$

$$u(\ln(I)) = \frac{u(I)}{I} \quad (\text{nível das lemniscas de um gráfico de médias})$$

$$u(\alpha) = u(m)$$

$$u(\Delta) = \sqrt{(-K_B u(m))^2}$$

$$u(\bar{x}) = \frac{\sigma_m}{\sqrt{2}} \quad (\text{incerteza da média})$$

\rightarrow desvio-padrão

$\alpha \propto \Delta$

CONCLUSÃO

- Verificou-se que quanto menor for a potência aplicada ao resistor, menor é a história observada entre os valores de aquecimento e aquecimento.
- Não se comprovou a linearidade entre a resistividade do metal ~~versus~~, e a sua temperatura dada que, para temperaturas relativamente altas, a resistividade não varia com o mesmo declínio (estagnou), devido à história (taxa temporal de condução de calor não foi constante).
- Calculou-se $\bar{\alpha} = (0,00368 \pm 0,00006) K^{-1}$ (incerteza de 1,5%), que não é o valor esperado, dado que é mais próximo do α do ouro puro. Assim, não se comprovou que o fio é de ouro (ainda que o erro seja de apenas 9%).
- Não se comprovou a reação exponencial de convecção com a temperatura dada não só a história (principalmente no aquecimento) como também a mudanças de escala no aferidor (normalmente, nas temperaturas mais altas do aquecimento).
- Determinou-se, plausivamente, que o dióxido é de gerônimo com energia de fundo positiva $\bar{E} = (0,573 \pm 0,006) eV$, incerteza relativa de 1,0% e erro de 15%.