

7/12/2023

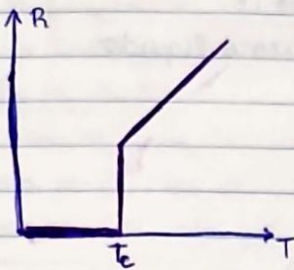
10 - Supercondutividade

Objetivos

- Calcular a temperatura crítica (T_c) de uma amostra de BiPbSnCaCuO
- Estudar a variação da resistência de uma amostra de BiPbSnCaCuO com a temperatura

Teoria

Curva esperada:



$$T_c \rightarrow \frac{dR}{dT} \text{ tem valor máximo}$$

$$\rightarrow \frac{d^2R}{dT^2} = 0$$

$$\text{valor teórico: } T_c = 108\text{K}$$

$V \rightarrow$ tensão na amostra

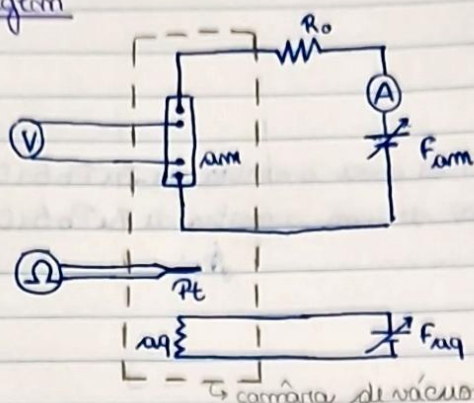
$R \rightarrow$ resistência da amostra

$T \rightarrow$ temperatura da amostra

~~Amostra~~

$T_c \rightarrow$ temperatura crítica (passa a supercondutor)

Montagem



am → amostra

aq → aquecedor

Pt → termômetro de Platina

V → voltímetro

Ω → ohmímetro

A → amperímetro

E_{am} → fonte de alimentação regulável (0-1,5V; 0-1,5A)

E_{aq} → fonte de alimentação regulável para aquecimento da amostra

R_0 → resistência de proteção

Restante material → tabela de calibração do Pt
→ garrafa térmica com azoto líquido

Procedimento

- 1) Verificar a montagem experimental acima
- 2) Ajustar a corrente da amostra para 50mA
- 3) Introduzir o azoto líquido na garrafa térmica
- 4) Introduzir a câmara na garrafa e registar valores de V para temperaturas convenientes
Atenção: Registrar o máximo possível de pontos perto de T_c
- 5) Mergulhar a câmara no azoto para obter a temperatura mais baixa
- 6) Levantar a câmara acima do azoto líquido e ligar o aquecedor, aumentando a sua ~~corrente~~ corrente lentamente, conforme necessário. Registrar os valores de V e T em intervalos convenientes

⊛ Empurrando os fragmentos, movimentam-se ao longo de uma linha de campo magnético. Após algum tempo, a sua temperatura aumentava e caíam.

Registro em aula

A corrente foi ~~mantida~~ mantida num valor de $\sim 30,925$ mA. Como a corrente teve algumas pequenas flutuações, foi anotado o seu valor em cada medição.

~~Foram realizados~~

Primeiro realizámos o aquecimento e depois o arrefecimento da amostra.

Foram ~~registados~~ ^{registados} alguns valores em aula para verificarmos os resultados experimentais, mas gravou-se um vídeo para poderemos retirar mais pontos posteriormente.

~~A~~ A montagem já estava pronta, apenas procedemos à adição de azoto na garrafa térmica.

Num percurso feito com ^{3 fileiras} ímãs, com a forma ao lado, ^{posu} ~~colocamos~~ mos um recipiente de esferovite, dentro do qual colocámos fragmentos de supercondutor e azoto líquido. Após algum tempo, com os fragmentos a baixa temperatura, retirámos-los do recipiente, observando ^{o ímã dos} ~~do~~ -se levitação ^{ímãs}.



Análise de dados

Procedeu-se à análise de dados retirados do vídeo, ^(figura 1) para termos mais valores próximos de T_c . Como a nossa análise se foca ~~na~~ na zona de maior variação de R , vamos utilizar as gamas experimentais na figura 2.

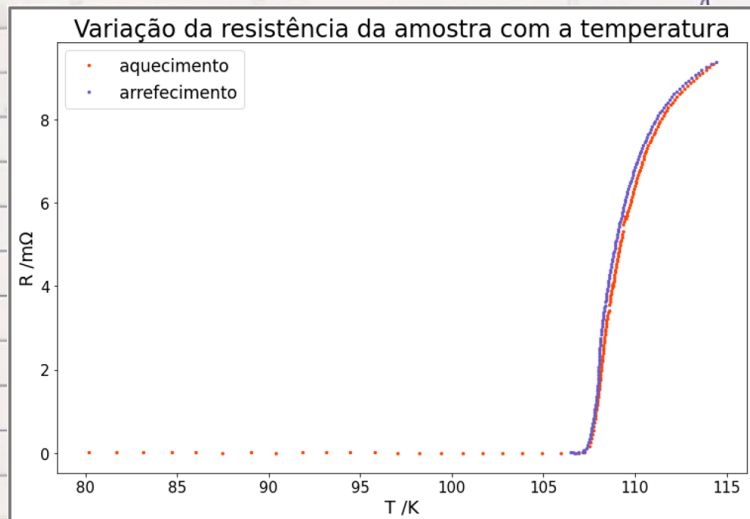


Figura 1: Valores de $R(T)$ obtidos por análise do vídeo. Os valores de R foram obtidos a partir de V e I e T a partir dos valores de R_{Pt} , com a tabela de calibração do termómetro.

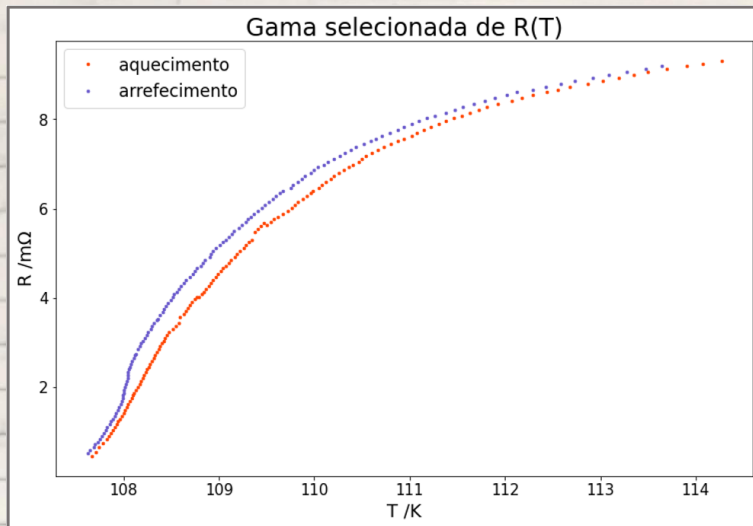
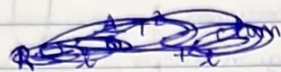


Figura 2: Gama de valores escolhidos de $R(T)$, mais próximos de T_c

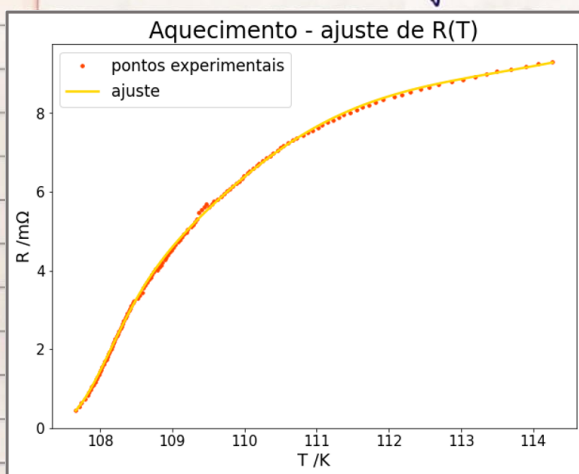
Por tentativa e erro, o melhor ajuste que conseguimos obter foi da forma:



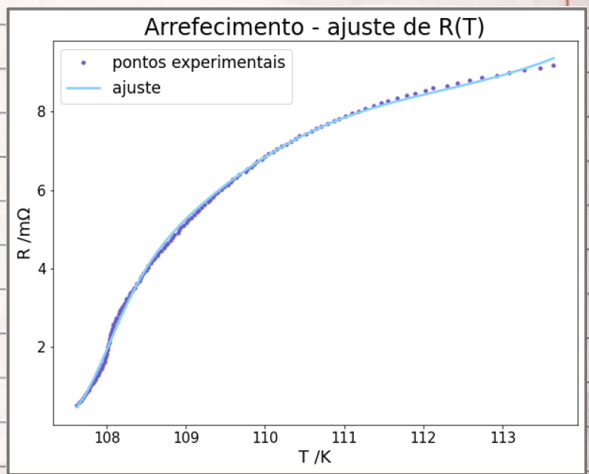
$$R = \exp\left(\frac{A}{T_0^B}\right) \exp\left(C \tanh\left(D \log\left(\frac{T}{T_0}\right)\right)\right) \exp\left(E \left(\log\left(\frac{T}{T_0}\right)\right)^5\right)$$

em que T_0 é a temperatura mínima da gama considerada.

Apesar de estes ajustes (figuras 3a e 3b) não serem ~~exatas~~ boas aproximações em toda a gama, como podemos ver por análise dos resíduos (figuras 4a e 4b) que apresentam algumas tendências, foram os ajustes mais próximos que consegui obter.

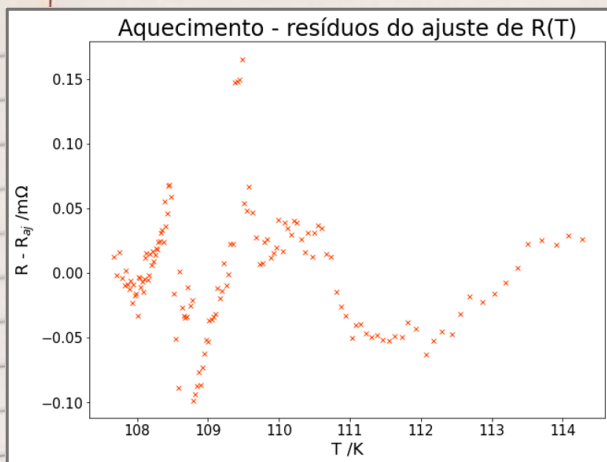


(a)

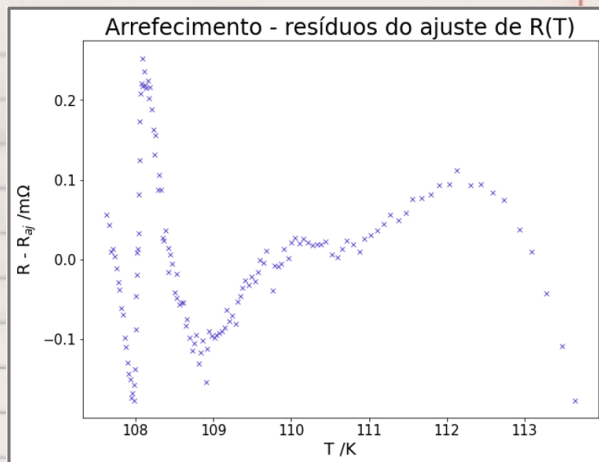


(b)

Figura 3: Ajustes obtidos para as gamas escolhidas de $R(T)$, para o aquecimento (a) e o arrefecimento (b)



(a)



(b)

Figura 4: Representação gráfica dos resíduos dos ajustes de $R(T)$ para o aquecimento (a) e o arrefecimento (b)

Os parâmetros ~~destes~~ destes ajustes são:

• Aquecimento

$$\rightarrow A = -7,729 \pm 0,006$$

$$\rightarrow B = -111,0 \pm 0,09$$

$$\rightarrow C = -4,711 \pm 0,003$$

$$\rightarrow D = 74,5 \pm 0,7$$

$$\rightarrow E = (5,5 \pm 0,9) \times 10^4$$

• Arrefecimento

$$\rightarrow A = -7,68 \pm 0,02$$

$$\rightarrow B = -129 \pm 3$$

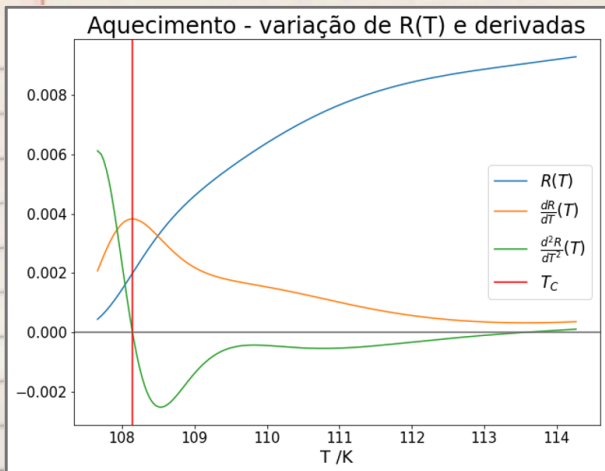
$$\rightarrow C = -4,76 \pm 0,01$$

$$\rightarrow D = 84 \pm 3$$

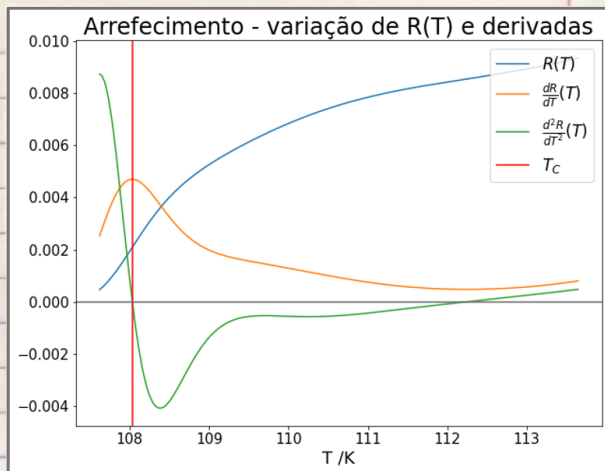
$$\rightarrow E = (2,0 \pm 0,6) \times 10^5$$

~~Como~~ De modo a facilitar o cálculo das derivadas, utilizamos o cálculo numérico em Python, ~~seleccionando o método de~~ seleccionando dois valores de T para os quais a segunda derivada é nula (um em que a segunda derivada é positiva e outro em que é negativa) e aplicando o método de ~~o~~ golden ratio para calcular o zero da segunda derivada, com uma precisão de 10^{-8} .

Nas figuras 5.a e 5.b, encontra-se a representação gráfica das funções de ajuste, com as respectivas derivadas (calculadas numericamente) de primeira e segunda ordem, e o valor obtido de T_c para o aquecimento e o arrefecimento.



(a)



(b)

Figura 5: Representação gráfica da função de ajuste, derivadas de 1ª e 2ª ordem, e valor de T_c para o aquecimento (a) e o arrefecimento (b)

Como esperado, o valor de T_c corresponde a um máximo da 1ª derivada e um zero da 2ª derivada para ambos os casos.

Finalmente obtemos ~~o valor~~ o valor final de T_c a partir da média entre os dois anteriores:

$$T_c = (108,09 \pm 0,04) \text{ K} \\ = 108,09 \text{ K} \pm 0,04\%$$

Este valor tem um erro, relativamente ao valor de referência, de 0,08%. Como tanto a incerteza como o erro do valor obtido são $\ll 1$, este valor é bastante preciso e exato, como podemos ver na figura 6.

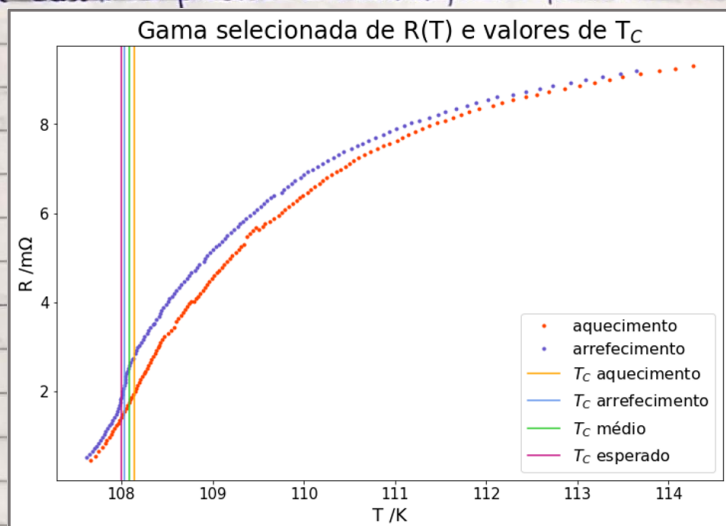
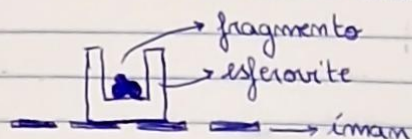


Figura 6: Gamas de $R(T)$ escolhidas, valor de referência e valores calculados de T_c

Quanto ao fenômeno de levitação observado, ~~decore das propriedades dos supercondutores~~. Quando colocamos os fragmentos dentro do recipiente, com $T > T_c$, não se tratam ainda de supercondutores. São atravessados por linhas de campo magnético com um determinado valor (\neq do valor na superfície dos ímãs já que entre eles existe uma base espessa de esferovite).



Quando adicionamos o azoto líquido, a sua temperatura diminui, até $T < T_c$, passando assim ao estado de supercondutor. ~~Quando adicionamos o azoto líquido, a sua temperatura diminui, até $T < T_c$, passando assim ao estado de supercondutor.~~

Para ~~supercondutores~~ do tipo 2, não ocorre apenas efeito Meissner, pois há ~~aparecimento~~ aparecimento de vórtices com fluxo magnético, ficando os fragmentos "presos" a um determinado fluxo magnético (em que foram anelados). Este fenômeno torna a sua levitação mais estável - se ~~os~~ movemos bruscamente, ~~tentam voltar~~ tentam voltar à sua posição de equilíbrio, mas podem mover-se ao longo de uma linha de campo magnético, mantendo o fluxo constante (lei de Faraday). Assim, o ~~supercondutor~~ supercondutor usado deverá ser deste tipo (explicando também o valor elevado de T_c).

Conclusões

~~Observa-se~~

~~Observa-se~~

Observa-se uma variação rápida dos valores de resistência do supercondutor para temperaturas próximas da temperatura crítica. O valor ~~obtido~~ obtido experimentalmente para a temperatura crítica foi de $T_c = 108,09 \text{ K} \pm 0,04\%$, com um erro de 0,08% relativamente ao valor de referência.

A levitação magnética apresenta estabilidade, pelo que o ~~supercon~~ ^{supercon} dutor utilizado é, provavelmente, do tipo II, o que explica também o valor elevado de T_c .