



COMPORTAMENTO ANISOTRÓPICO DA IRREVERSIBILIDADE MAGNÉTICA NO SUPERCONDUTOR $YBaCuO$ TEXTURIZADO

ALMEIDA, Moisés Leonardi¹; DIAS, Fábio Teixeira²; JAECKEL, Sandra Teixeira³.

^{1,2,3}Curso de Pós-Graduação em Física – IFM/UFPeI
Campus Universitário – Caixa Postal 354 – CEP 96010-900. almeida.moises@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno da supercondutividade foi observado pela primeira vez em 1911 por Heike Kamerling Onnes. Ao analisar a variação da resistividade elétrica de uma amostra de mercúrio em função da temperatura, Onnes observou o abrupto desaparecimento da resistência próximo a uma temperatura de 4,2K. Então, concluiu que o mercúrio passa de um estado resistivo normal a um novo estado, denominado *estado supercondutor*, no qual a resistividade é estreitamente nula. De fato, a variação súbita da resistência elétrica numa temperatura bem definida, denominada temperatura crítica T_c , indica a ocorrência de um fenômeno de transição de fase, no qual as propriedades eletrônicas do material são modificadas.

Estudando o comportamento de amostras de estanho em função da temperatura e na presença de campo magnético, Walther Meissner e Robert Ochsenfeld descobriram, em 1933, um dos efeitos mais importantes do estado supercondutor. Aplicando-se um campo magnético a um sistema supercondutor quando este se encontra no estado normal ($T > T_c$) e resfriando-o na presença de um campo magnético, observa-se uma abrupta expulsão do fluxo magnético do interior do material quando este transita ao estado supercondutor em $T = T_c$. Este é o fenômeno conhecido como *efeito Meissner*.

A resposta dos supercondutores face à presença de um campo magnético externo leva-nos a classificar os sistemas supercondutores em dois tipos.

Os supercondutores do tipo I apresentam apenas os estados Meissner e normal. Assim, se o campo magnético aplicado for inferior a um determinado valor crítico não ocorre penetração de fluxo magnético no material. Já os supercondutores do tipo II apresentam dois campos críticos. O estado Meissner, com exclusão total do fluxo magnético, persiste até um campo crítico inferior B_{c1} . Acima deste campo, o fluxo magnético penetra parcialmente na amostra, embora a supercondutividade se mantenha até o campo crítico superior B_{c2} . A região entre os valores dos dois campos críticos, na qual o efeito Meissner é parcial, é denominada de estado misto.

O campo magnético penetra nos supercondutores sob forma de finos tubos filamentosos, chamados *vórtices*, sendo que cada vórtice transporta um quantum de fluxo magnético.

Um fator limitante ao uso prático dos supercondutores é a baixa temperatura em que estes materiais transitam para o estado em que exibem a supercondutividade. Entretanto, em 1987 uma equipe liderada por C. W. Chu, encontrou uma liga cerâmica que apresentava temperatura crítica de aproximadamente 92K, chamado de YBaCuO.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os sistemas supercondutores apresentam propriedades irreversíveis na magnetização, que originam a conhecida linha de irreversibilidade magnética. Este caráter irreversível pode ser evidenciado segundo as prescrições *Zero Field Cooling* (ZFC) e *Field Cooling* (FC). Na realização da experiência ZFC parte-se de uma temperatura acima da temperatura crítica e resfria-se a amostra em campo magnético nulo até baixas temperaturas. Então, mede-se a magnetização em função da temperatura. Por outro lado, o procedimento FC é feito partindo-se de uma temperatura superior a temperatura crítica, na qual é aplicado um campo magnético. Feito isso, a amostra é resfriada na presença de campo até baixas temperaturas e mede-se outra vez a magnetização em função da temperatura.

Através da realização destas experiências é possível observar fortes efeitos de irreversibilidade magnética. Abaixo de uma determinada temperatura, denominada *temperatura de irreversibilidade* (T_{irr}), as curvas apresentam comportamentos distintos.

A Figura 1 mostra medidas de magnetização realizadas para a nossa amostra de YBaCuO submetida a um campo magnético de 1kOe paralelo ao plano ab, onde obtivemos uma temperatura de irreversibilidade magnética de 90,5K.

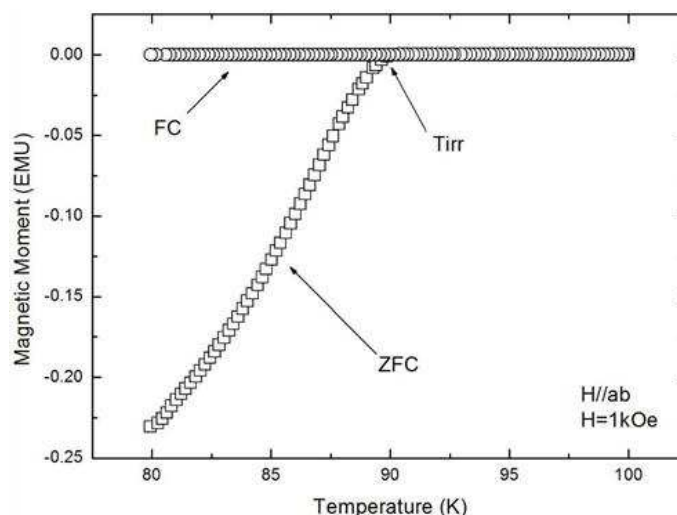


Figura1: Medidas típicas de magnetização segundo as práticas ZFC e FC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada campo magnético aplicado obtemos um valor diferente para T_{irr} . Obtivemos o valor de T_{irr} para vinte e quatro campos magnéticos diferentes. Na Tabela 1 temos alguns destes valores.

Tabela 1: Valor de T_{irr} para cada campo magnético aplicado na amostra, na orientação paralela ao plano ab .

Campo Magnético (T)	T_{irr} (K)
0,0005	91,13
0,04	90,67
0,5	89,79
1	89,05
2	88,00
4	86,70
5	85,97

Analisando a Figura 1, por exemplo, podemos concluir que a T_{irr} separa uma fase magneticamente irreversível, situada numa região de baixa temperatura, de uma fase de alta temperatura na qual o comportamento magnético do sistema é reversível.

A irreversibilidade ocorre devido ao aprisionamento de vórtices (flux pinning) no interior da amostra. Abaixo de T_{irr} os vórtices têm sua mobilidade fortemente diminuída pelos centros de aprisionamentos (pinning). Este estado é também chamado de *vidro de vórtices*. Acima de T_{irr} , os vórtices têm sua mobilidade garantida, o que nos leva ao estado denominado *líquido de vórtices*.

O gráfico T_{irr} versus campo magnético nos dá a linha de irreversibilidade, conforme visualizada na Figura 2, com o campo magnético aplicado paralelamente ao plano ab e ao longo do eixo c da mesma amostra supercondutora de YBaCuO texturizado, com uma dopagem de 30% em peso da fase Y211. Neste gráfico já foi feito o ajuste matemático a uma função já conhecida, que descreve a irreversibilidade magnética.

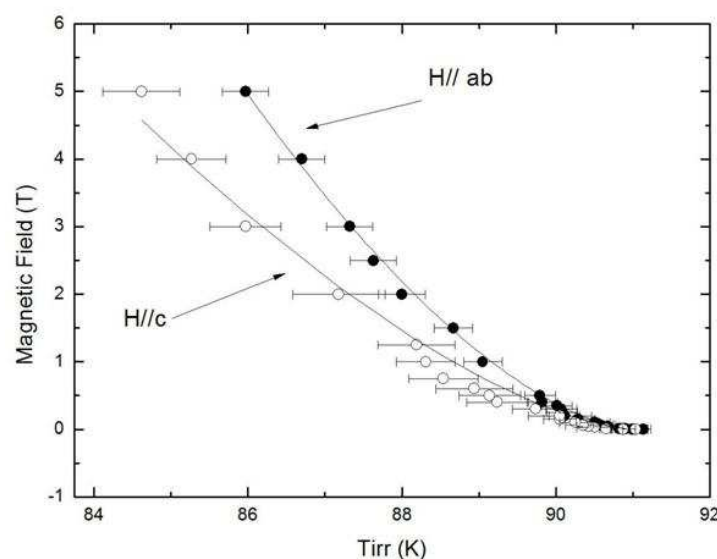


Figura 2: Linha de irreversibilidade magnética para duas direções de campo magnético aplicado e o conseqüente ajuste matemático.

A função matemática que descreve a linha de irreversibilidade magnética tem a forma dada pela seguinte equação:

$$H = P_1 \left[1 - \frac{T_{irr}}{P_2} \right]^{P_3}$$

Onde: H é o campo magnético; P_1 é uma constante com dimensão de campo magnético; P_3 é uma constante adimensional; T_{irr} é a temperatura de irreversibilidade; P_2 é a temperatura de irreversibilidade extrapolada para o caso de campo magnético nulo, ou seja, o próprio valor da temperatura crítica.

Os valores para as incógnitas foram obtidos de modo que o erro associado a cada uma assumisse um valor mínimo. Estes valores são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Valores para as incógnitas da função que descreve o comportamento da linha de irreversibilidade.

PARÂMETRO	VALOR		ERRO	
	ab	c	ab	c
P_1	514,29434	259,29	89,02052	104,92
P_2	91	91	0,07466	0,28
P_3	1,6	1,518	0,0645	0,168

4. CONCLUSÕES

De acordo com a literatura, a linha de irreversibilidade pode ser originada de um fenômeno de ativação térmica, chamado “FLUX CREEP”, no qual as forças de aprisionamento de campo no interior da amostra não conseguem manter o sistema de vórtices aprisionado acima de uma dada temperatura. Os resultados obtidos se ajustam ao modelo Giant Flux Creep, proposto por Malozemoff-Yeshurun. Entretanto, não verificamos o comportamento Gabay-Toulouse, pois a amostra é fracamente granular, isto é, os grãos estão bem conectados, fato típico de uma amostra texturizada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CYROT, M., PAVUNA, D. Introduction to Superconductivity and High-Tc Materials, **World Scientific Co.**, Singapore, 1992.
- PUREUR, P., OSTERMANN, F. Supercondutividade – Temas Atuais de Física. **Sociedade Brasileira de Física**, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.
- DIAS, F. T. **Expansão Térmica, Magnetização e Flutuações na Condutividade Elétrica do Sistema YBaCuO Texturizado**. Porto Alegre, 1998. 25p. Dissertação (Mestrado em Física), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- DIAS, F. T. et al. Correlation between the magnetic irreversibility limit and the zero resistance point in different granular YBaCuO superconductors. **Physical Review B**, 2008. v. 77. p. 134503-1.

DIAS, F. T. et al. Magnetic irreversibility and zero resistance in melt-textured YBaCuO. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 2008. v. 320. p. 481-483.

CHU, C. et al. Superconductivity at 93K in a New Mixed-Phase YBaCuO Compound System at Ambient Pressure. **Physical Review Letters**, 1987. v. 58, n. 9. p. 908-910.

YESHURUN, Y., MALOZEMOFF, A. Gigant Flux Creep and Irreversibility in an YBaCuO Crystal: An Alternative to the Superconducting-Glass Model. **Physical Review Letters**, 1988. v. 60, n. 21. p. 2202-2205.

ALMEIDA, J., THOULESS, D. Stability of the Sherrington-Kirkpatrick Solution of a Spin Glass Model. **Journal Physics A**, 1978. v.11, n.5. p. 983-990.