

ESTUDO DA CORRELAÇÃO ENTRE A IRREVERSIBILIDADE MAGNÉTICA E A RESISTÊNCIA ELÉTRICA NO SUPERCONDUTOR $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ TEXTURIZADO COM APLICAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS PULSADOS

**JAKELINE RABELO LIMA¹; FÁBIO TEIXEIRA DIAS²; VALDEMAR DAS NEVES
VIEIRA³; FREDERIK WOLFF-FABRIS⁴; ERIK KAMPERT⁵; JOAN JOSEP ROA
ROVIRA⁶**

¹*Universidade Federal de Pelotas - jakelinerabelo07@hotmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas - diasft@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas - vdnvieira@gmail.com*

⁴*Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf - frederikwolff@gmail.com*

⁵*Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf - e.kampert@hzdr.de*

⁶*Universitat Politècnica de Catalunya - jjrr_cons@hotmail.com*

1. INTRODUÇÃO

O supercondutor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ foi descoberto em 1987, (WU, M. K. et al., 1987) e entrou para história como um dos materiais mais investigados cientificamente. Existem diversos trabalhos sobre o comportamento elétrico e magnético no regime de baixos campo magnéticos em amostras de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ texturizadas, como (MESLIM, J.; NOUDEM, J. G, 2004), (FABRIS, F. W, 2004), (Dias, F. T. et al., 2008), porém há poucos resultados existentes na literatura sobre o comportamento irreversível e o comportamento da transição resistiva no regime de altos campo magnéticos, próximos de 60 T, como (SKOURSKI, Y. et al., 2004), (HÄNISH, J. et al., 2007).

O $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ é classificado como óxido supercondutor de alta temperatura crítica e apresenta um forte caráter anisotrópico devido a sua estrutura cristalina. Nestes materiais existem planos de CuO_2 localizados ao longo do plano ab, os quais são bons condutores de corrente elétrica, separados por camadas isolantes que são fortemente resistivas ao longo do eixo cristalográfico c. Este caráter anisotrópico pode ser evidenciado em medidas de resistividade elétrica em função da temperatura, (CYROT, M.; PAVUNA, D, 1992) e através de medidas de momento magnético (VIEIRA, V. N, 2004).

Neste de trabalho investigamos o comportamento elétrico e magnético de uma amostra texturizada do supercondutor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ crescida mediante a técnica Bridgman. O elemento motivador deste estudo foi a correlação entre a linha formada pela temperatura de resistência zero e a linha de irreversibilidade magnética com utilização de campos magnéticos pulsados de até 60 T.

2. METODOLOGIA CRESCIMENTO DA AMOSTRA

A amostra deste trabalho foi cedida pelo Departamento de Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica da Universidade de Barcelona, na Espanha, em colaboração com o pesquisador Joan Josep Roa Rovira.

A amostra precursora de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ foi preparada inicialmente por uma reação de estado sólido, tendo óxido de ítrio (Y_2O_3), carbonato de bário ($BaCO_3$) e óxido de cobre (CuO) misturados na proporção 1Y:2Ba:3Cu. Foi adicionado 30% em peso da fase Y211. A seguir o pó resultante foi misturado, macerado e prensado, ficando na forma de uma pastilha cilíndrica. Após, a pastilha cilíndrica (amostra) foi sinterizada a uma temperatura de 950 °C por 16h em uma atmosfera de oxigênio. Feito isso, a amostra foi suspensa verticalmente em um forno do tipo

Bridgman, o qual foi aquecido a uma temperatura acima da temperatura peritética do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (1010°C) em atmosfera de oxigênio, ocorrendo a decomposição da fase $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

DESCRÍÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS DE MEDIDAS

As medidas de transporte elétrico e de momento magnético com a aplicação de campos magnéticos pulsados, foram realizadas no *Dresden High Magnetic Field Laboratory*. Foi utilizado uma bobina para geração do campo magnético, esta bobina é alimentada por um banco de capacitores com energia variando entre 0,9 a 2,9 MJ. A duração típica de cada pulso é de 10 ms.

Para as medidas de momento magnético a amostra foi cortada em um pedaço com dimensões $1,0 \times 2,0 \times 3,0 \text{ mm}^3$. A amostra foi fixada num porta amostra com auxílio de verniz antes de ser colocada no interior do magnetômetro para realização das medidas. As medidas foram feitas com aplicação do campo magnético paralelo ao plano ab e paralelo ao eixo c da amostra. Os campos de irreversibilidade magnética foram determinados através de medidas experimentais de momento magnético em função do pulso (variação) do campo magnético aplicado em uma temperatura fixa, o que corresponde a uma medida do tipo histerese magnética. O campo de irreversibilidade magnética foi determinado na região de campo em que as curvas divergem, como ilustra a Figura 1.

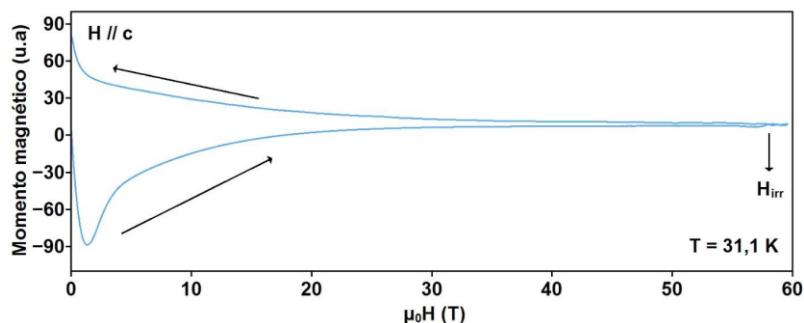


Figura 1 - Ilustração da determinação do campo de irreversibilidade magnética para um pulso de campo magnético aplicado paralelo ao eixo c em uma temperatura de $T = 31,1 \text{ K}$.

Para as medidas de transporte elétrico a amostra foi cortada em dois pedaços em forma de paralelepípedo e preparadas para a utilização do método das quatro pontas. Este método consiste em fixar 4 contatos elétricos na superfície da amostra, onde nos contatos da extremidade é injetado corrente elétrica e a leitura da tensão é feita nos contatos internos. Um pedaço foi utilizado para aplicação de corrente elétrica ao longo do plano ab e o outro para a corrente elétrica aplicada ao longo do eixo c. As dimensões dos dois pedaços utilizados foram: $2,0 \times 2,0 \times 3,0 \text{ mm}^3$.

A Figura 2 apresenta uma medida de magnetocondutividade elétrica em função do pulso de campo magnético aplicado em uma temperatura de $77,6 \text{ K}$. Na Figura é possível observar o método utilizado para determinar a transição de coerência, ou seja, o valor de campo magnético associado à temperatura de resistência nula, $H(T_{c0})$, o qual coincide com o primeiro valor de campo magnético em que a resistência elétrica cai a zero. Para cada pulso de campo magnético aplicado em uma dada temperatura nas diferentes configurações de campo-corrente haverá um valor diferente de $H(T_{c0})$.

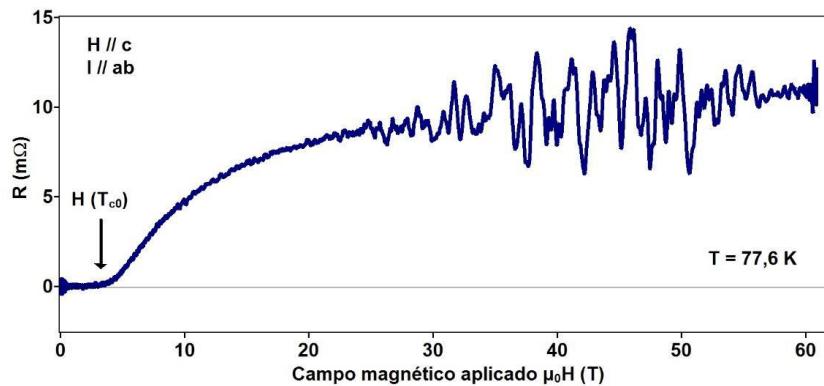


Figura 2 - Medida da resistência elétrica em função do pulso de campo magnético, mostrando a determinação do campo magnético associado a temperatura de resistência nula na configuração de $H \parallel c$ e $I \parallel ab$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 representa a correlação entre a linha de irreversibilidade magnética e a linha de resistência nula. A irreversibilidade magnética e a resistência nula da amostra de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ deste trabalho foram obtidas conforme os métodos apresentados nas Figuras 1 e 2. Na Figura 3 os retângulos abertos representam a linha de irreversibilidade magnética para $H \parallel c$, os retângulos fechados a linha de irreversibilidade magnética para $H \parallel ab$, as linhas contínuas junto aos pontos experimentais representam o ajuste de acordo com a lei de potência do modelo *flux creep* gigante, e as linhas tracejadas representam a região extrapolada em que não foi possível fazer o ajuste com este modelo. Os triângulos fechados representam os resultados de resistência elétrica nula para $H \parallel ab$ e $I \parallel c$, enquanto que os triângulos abertos representam $H (T_{c0})$ para $H \parallel ab$ e $I \parallel ab$ ($H \perp I$). Os círculos abertos representam os resultados de campo de resistência nula para $H \parallel c$ e $I \parallel c$, enquanto que os círculos fechados representam os resultados de $H (T_{c0})$ para a configuração $H \parallel c$ e $I \parallel ab$.

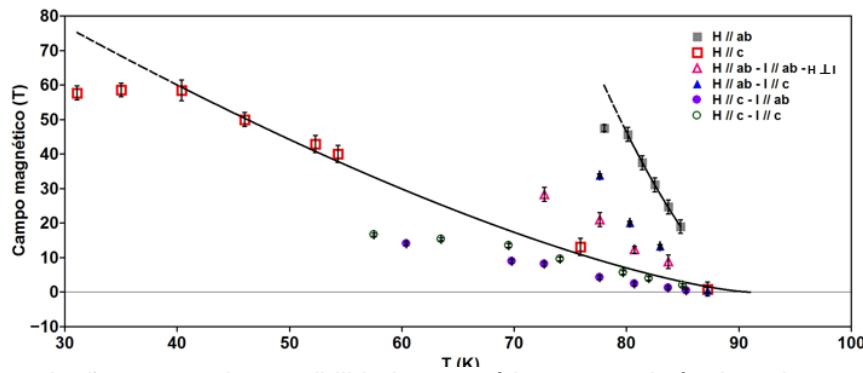


Figura 3 - Correlação entre a irreversibilidade magnética e a resistência nula para amostra de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. Os triângulos representam o $H (T_{c0})$ para $H \parallel ab$ sendo os abertos para $I \parallel ab$ ($H \perp I$) e os fechados $I \parallel c$. Os círculos representam o $H (T_{c0})$ para $H \parallel c$ sendo os abertos para $I \parallel c$ e os fechados para $I \parallel ab$. Os retângulos representam os resultados experimentais das linhas de irreversibilidade magnética para $H \parallel c$ (retângulos abertos) e para $H \parallel ab$ (retângulos fechados), enquanto que a linha contínua junto aos resultados de irreversibilidade magnética representam o ajuste baseado no modelo *flux creep* gigante.

Através da Figura 3 é possível observar que as linhas de resistência nula estão abaixo do limite de irreversibilidade magnética, tanto para configuração de campo aplicado paralelo ao plano ab quanto para configuração de campo aplicado paralelo ao eixo c, como o esperado. Os valores de resistência nula

obtidos com este trabalho também foram obtidos somente em temperaturas abaixo ou próximas do limite de irreversibilidade magnética. A razão para isso é que abaixo do limite irreversível temos vórtices fortemente aprisionados, de modo que a amostra neste estado apresenta resistência nula.

4. CONCLUSÕES

Os resultados da correlação mostraram que as linhas de resistência nula estão abaixo do limite de irreversibilidade magnética, tanto para configuração de campo aplicado paralelo ao plano ab quanto para configuração de campo aplicado paralelo ao eixo c. A amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ investigada apresenta uma forte anisotropia, como o esperado para uma amostra que apresenta um bom alinhamento cristalográfico, como é o caso de uma amostra texturizada.

Os resultados de $H(T_{c0})$ para campo magnético aplicado paralelo ao plano ab apresentaram maiores valores do que os resultados de $H(T_{c0})$ para campo magnético aplicado paralelo ao eixo c. A razão para isso associada ao fato do *pinning* ser mais eficaz para o campo magnético aplicado paralelo ao plano ab, ou seja, a contribuição do *pinning* intrínseco colabora para o aprisionamento mais eficaz dos vórtices, o que não ocorre quando o campo magnético é aplicado paralelo ao eixo c, pois neste caso não se tem a contribuição do *pinning* intrínseco. Por esse motivo, observamos maiores valores de $H(T_{c0})$ para as configurações campo-corrente com $H \parallel ab$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- WU, M. K. et al. Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure. **Physical Review Letters**, Alabama, v. 58, n. 9, p. 908-910, 1987.
- MESLIM, J.; NOUDEM, J. G. Infiltration and top seeded grown monodomain $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ bulk superconductor. **Institute of Physics Publishing**, v. 17, p. 1324-1328, 2004.
- FABRIS, F. W. Efeitos de ordenamento chiral em supercondutores e sistemas magnéticos desordenados. 2004. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- DIAS, F. T. et al. Correlation between the magnetic irreversibility limit and the zero resistance point in different granular $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconductors. **Physical Review B**, Pelotas, v. 77, n. 13, p. 134503-1-8, 2008.
- SKOURSKI, Y. et al. Magnetization and magneto-resistance measurements of bulk $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ in pulsed magnetic fields up to 50T. **Physica B: Condensed Matter**, Dresden, v. 346-347, n.8, p. 325-328, 2004.
- HÄNISH, J. et al. Determination of irreversibility field of YBCO thin films from pulsed high-field measurements. **Institute of Physics Publishing**, Dresden, v. 20, n. 228, p. 228-231, 2007.
- CYROT, M.; PAVUNA, D., **Introduction to superconductivity and high-Tc materials**. Singapore: World Scientific, 1992.
- VIEIRA, V. N. **Efeitos das substituições químicas na irreversibilidade magnética e magnetocondutividade do supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$** . Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.