

## COMPORTAMENTO DA MAGNETOCONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM SUPERCONDUTORES DE $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ TEXTURIZADO MEDIANTE CAMPOS MAGNÉTICOS PULSADOS

JAKELINE RABELO LIMA<sup>1</sup>; FÁBIO TEIXEIRA DIAS<sup>2</sup>; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA<sup>3</sup>; FREDERIK WOLFF-FABRIS<sup>4</sup>; ERIK KAMPERT<sup>5</sup>; JOAN JOSEP ROA ROVIRA<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas - jakelinerabelo07@hotmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas - diasft@gmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas - vdnvieira@gmail.com*

<sup>4</sup>*Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf - frederikwolff@gmail.com*

<sup>5</sup>*Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf - e.kampert@hzdr.de*

<sup>6</sup>*Universitat Politècnica de Catalunya - jjrr\_cons@hotmail.com*

### 1. INTRODUÇÃO

O  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  entrou para história como o primeiro supercondutor com uma temperatura crítica ( $\sim 90$  K) acima da temperatura de ebulição do nitrogênio líquido (77K) (WU, M. K. et al., 1987). Com isso, tornou-se um dos materiais supercondutores mais estudados cientificamente.

O  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  é classificado como um supercondutor óxido de alta temperatura crítica, o qual apresenta um forte caráter anisotrópico devido a sua estrutura cristalina. Nesses tipos de supercondutores, especialmente os que apresentam sistemas granulares, a transição supercondutora ocorre em duas etapas (CYROT, M.; PAVUNA, D, 1992). A transição ocorre primeiramente no interior dos grãos, em uma temperatura denominada de temperatura de pareamento. Posteriormente, ocorre um efeito do tipo percolativo na região entre os grãos, o qual é formado por junções fracas. O estabelecimento da transição de coerência (quando a região entre os grãos se torna supercondutora) ocorre via ativação térmica, levando ao estabelecimento da resistência nula em toda a amostra (PUREUR, P. et al., 1988).

Existem diversos estudos sobre o comportamento elétrico no regime de baixos campo magnéticos em amostras de  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  texturizadas, como, (DIAS, J. et al., 2008), (Nunes, S. E, 2013), (Dias, F. T. et al., 2016), porém há poucos resultados na literatura sobre o comportamento da transição resistiva no regime de altos campo magnéticos, como, (SKOURSKI, Y. et al., 2004), (HÄNISH, J. et al., 2007).

Sendo assim, tornou-se motivador estudar o comportamento da magnetocondutividade elétrica no regime de altos campo magnéticos ( $\sim 60$ T) em uma amostra texturizada do supercondutor  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , realizando medidas em diferentes configurações de aplicação de campo-corrente, e fazer um mapeamento detalhado dos efeitos do campo magnético na transição supercondutora.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. CRESCIMENTO DA AMOSTRA

A amostra utilizada neste trabalho foi fornecida pelo Departamento de Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica da Universidade de Barcelona e crescida pela técnica Bridgman. Para o crescimento da amostra de  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  foi realizado inicialmente a técnica de reação de estado sólido tendo óxido de ítrio ( $Y_2O_3$ ), carbonato de bário ( $BaCO_3$ ) e óxido de cobre ( $CuO$ ), sendo misturados na

proporção 1Y:2Ba:3Cu. 30% em peso da Y211 foi adicionada. Em seguida os pós foram misturados, macerados e prensados, ficando na forma de uma pastilha cilíndrica. Após, a amostra foi sinterizada a uma temperatura de 950 °C por 16 horas em atmosfera de oxigênio. Feito isso, a amostra foi suspensa verticalmente em um forno do tipo Bridgman no qual passou por um tratamento térmico e de oxigenação para etapa final de crescimento.

## 2.2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTOS

As medidas magnetocondutividade elétrica com a aplicação de campos magnéticos pulsados, foram realizadas no *Dresden High Magnetic Field Laboratory*.

Para estas medidas a amostra foi cortada dois pedaços em forma de paralelepípedo e preparadas pelo método das quatro pontas. As dimensões dos dois pedaços foram, 2,0 x 2,0 x 3,0 mm<sup>3</sup>. As medidas de magnetocondutividade elétrica foram feitas utilizando um resistômetro que é alimentado por um banco de capacitores composto por vinte módulos, com energia variando de 0,9 a 2,9 MJ. A utilização deste resistômetro permitiu medir a resistência elétrica em função do pulso (variação) de campo magnético aplicado em uma temperatura fixa. Foram feitas medidas com aplicações de campos magnéticos pulsados e corrente elétrica em diferentes configurações ao longo do plano ab e ao longo do eixo c, com uma corrente padrão de 2 mA em todos os casos. Para as medidas realizadas neste trabalho foram aplicados pulsos até 60 T em diferentes temperaturas.

## 2.3. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA NULA

O método utilizado para determinar a transição de coerência, ou seja, o valor de campo magnético associado à temperatura de resistência nula,  $H(T_{c0})$ , foi o primeiro valor de campo magnético em que a resistência elétrica cai a zero. Este método pode ser observado na Figura 1, através da medida de magnetocondutividade elétrica em função do pulso de campo magnético aplicado em uma temperatura de 77,6 K. Para cada pulso de campo magnético aplicado em uma dada temperatura nas diferentes configurações de campo-corrente foi obtido um valor diferente de  $H(T_{c0})$ .

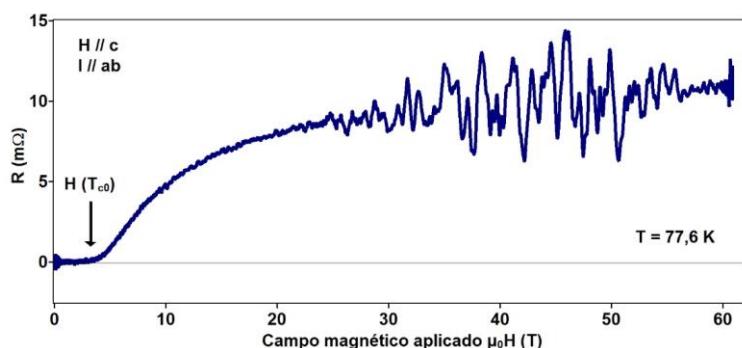


Figura 1 – Medida de magnetocondutividade elétrica mostrando a determinação do campo magnético associado a temperatura de resistência nula na configuração de H//c e I//ab.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. MEDIDAS DE MAGNETOCONDUTIVIDADE ELÉTRICA PARA PULSOS DE CAMPO MAGNÉTICO APLICADOS AO LONGO DO PLANO AB E AO LONGO DO EIXO C

As medidas de magnetocondutividade para pulsos de campo magnético aplicados ao longo do plano ab foram feitas nas seguintes configurações de campo-corrente: corrente elétrica e campo magnético paralelos ao plano ab, porém perpendiculares entre si ( $H \parallel ab$ ,  $I \parallel ab$ ,  $H \perp I$ ), e corrente elétrica paralela ao eixo c e campo magnético aplicado ao longo do plano ab ( $H \parallel ab$ ,  $I \parallel c$ ), como mostram as Figuras 2 (a) e (b). Já as medidas de magnetocondutividade com campo magnético aplicado ao longo do eixo c foram: corrente elétrica paralela ao eixo c e campo magnético paralelo ao eixo c e corrente elétrica paralela ao plano ab e campo magnético aplicado ao longo do eixo c, como podemos observar nas Figuras 2 (c) e (d). Podemos observar em todas as curvas de  $H (T_{c0})$  das Figuras abaixo que a transição supercondutora foi fortemente alargada, devido à grande intensidade do campo magnético aplicado nas medidas.

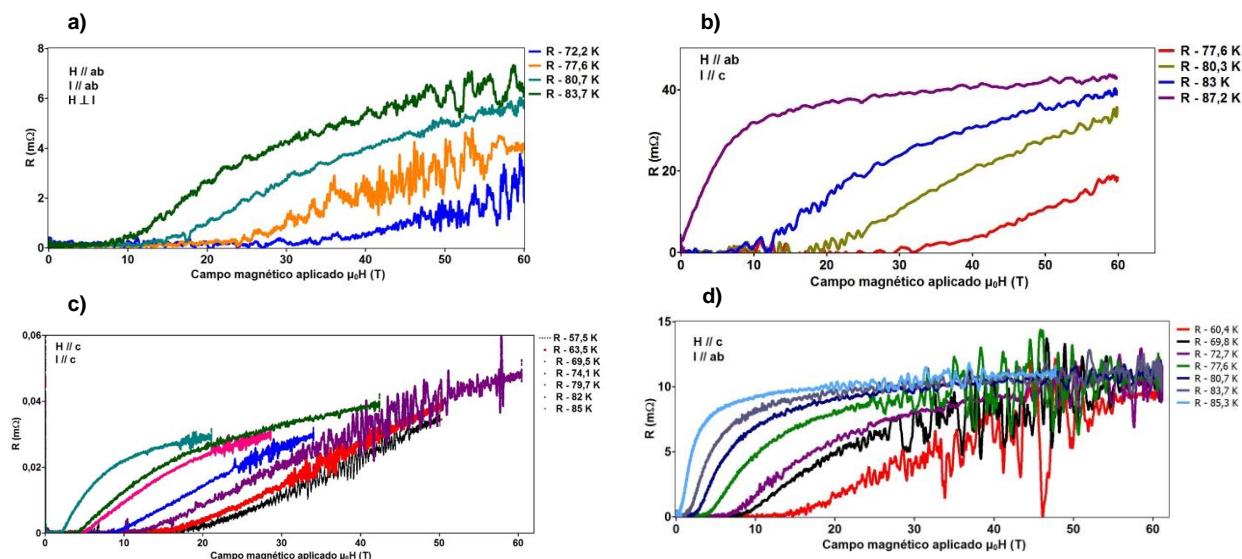


Figura 2 – Medidas de magnetocondutividade elétrica para a)  $H \parallel ab$  e  $I \parallel ab$ ,  $H \perp I$ , b)  $H \parallel ab$  c)  $H \parallel c$  e  $I \parallel c$ , d)  $H \parallel c$  e  $I \parallel ab$ . Cada medida corresponde a aplicação de um pulso de campo magnético numa determinada temperatura.

### 3.2. LINHAS DE RESISTÊNCIA NULA

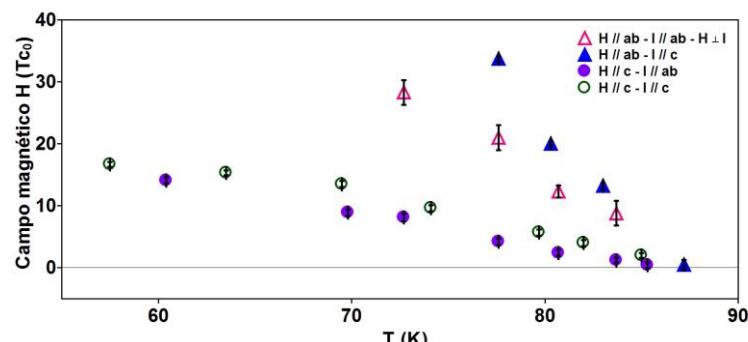


Figura 3 – Linhas resistência nula para amostra de  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Os triângulos representam o  $H (T_{c0})$  para  $H \parallel ab$  sendo os abertos para  $I \parallel ab$  ( $H \perp I$ ) e os fechados  $I \parallel c$ . Os círculos representam o  $H (T_{c0})$  para  $H \parallel c$  sendo os abertos para  $I \parallel c$  e os fechados para  $I \parallel ab$ .

A Figura 3 mostra as linhas de resistência nula, para as quatro configurações de campo-corrente empregadas nas medidas. Para as linhas de resistência nula na configuração de campo magnético aplicado paralelo ao eixo c, a configuração campo-corrente aplicado  $H \parallel c$  e  $I \parallel ab$ , apresenta menores valores de  $H$  ( $T_{c0}$ ) em relação a configuração  $H \parallel c$  e  $I \parallel c$ , a razão pela qual isto ocorreu foi pelo fato de que para configuração  $H \parallel c$  e  $I \parallel ab$  tem-se a contribuição da força de Lorentz, fazendo com que a rede de vórtices passem a derivar lateralmente com a corrente elétrica aplicada, ocasionando maior efeito dissipativo de energia. Na orientação de campo magnético aplicado paralelo ao plano ab, tanto a linha de resistência nula para  $(H \parallel ab, I \parallel c)$ , quanto  $(H \parallel ab, I \parallel ab, H \perp I)$  sofrem influência da força de Lorentz, sendo que essa influência é maior para a configuração  $(H \parallel ab, I \parallel ab, H \perp I)$ , pois apresentam menores valores de  $H$  ( $T_{c0}$ ).

#### 4. CONCLUSÕES

Como trabalhamos numa região de campos magnéticos intensos, a transição supercondutora sofreu um forte alargamento com o aumento do campo magnético aplicado, já que a dinâmica de vórtices desempenhou um efeito fortemente dissipativo, reduzindo drasticamente o campo magnético associado à temperatura de resistência nula. A partir das linhas de  $H$  ( $T_{c0}$ ) o caráter anisotrópico da amostra também pode ser constatado. 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, está 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.
- CYROT, M.; PAVUNA, D., **Introduction to superconductivity and high-Tc materials**. Singapore: World Scientific, 1992.
- DIAS, F. T. et al. Correlation between the magnetic irreversibility limit and the zero resistance point in different granular  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  superconductors. **Physical Review B**, Pelotas, v. 77, n. 13, p. 134503-1-8, 2008.
- NUNES, S. E. **Correlação entre a irreversibilidade magnética e a resistência elétrica em supercondutores de  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ \***. 2011. Dissertação (Mestrado em Física) – Curso de Pós-graduação em Física, Universidade Federal de Pelotas.
- DIAS, F. T. et al. Magnetic irreversibility: An important amendment in the zero-field-cooling and field-cooling method. **Japanese Journal of Applied Physics**, Pelotas, v. 55, n. 023101, p. 1-4, 2016.
- SKOURSKI, Y. et al. Magnetization and magneto-resistance measurements of bulk  $YBa_2Cu_3O_7$ -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.