

## O PAPEL DO PINNING SUPERFICIAL SOBRE O EFEITO MEISSNER PARAMAGNÉTICO DE ALTO CAMPO NO $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ MONOCRISTALINO

MATEUS BIGOLIN LORENZON<sup>1</sup>; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Física e Matemática - IFM/UFPEL – [mateus\\_pbfl@hotmail.com](mailto:mateus_pbfl@hotmail.com)

<sup>2</sup>Instituto de Física e Matemática - IFM/UFPEL – [vdnvieira@gmail.com](mailto:vdnvieira@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

O supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  é do tipo II e, portanto, apresenta o seu diagrama  $H$ - $T$  composto por uma fase mista onde o campo magnético se estabelece na forma de vórtices. A estrutura de um vórtice é constituída por um quantum de fluxo magnético blindado por supercorrentes. Além disso, a dinâmica desses vórtices mostra-se fortemente dependente do tipo de interação que esses mantêm com os centros de aprisionamento (“pinning”) existentes ou introduzidos artificialmente na estrutura cristalina do material [1].

Uma das maneiras de alterar-se, de forma controlada, as características dos mecanismos de “pinning” nos supercondutores de alta temperatura (HTSC) é promovendo a substituição parcial de elementos químicos cativos da estrutura por outros compatíveis para este propósito. Neste estudo a ativação do mecanismo de “pinning” superficial na fase mista do  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  é obtida quando aproximadamente 18% dos átomos do Ba são substituídos por Sr [1].

O efeito Meissner caracteriza-se por uma resposta magnética intrínseca apresentada por algum material o qual quando sobre a aplicação de campo magnético ( $H$ ) experimenta uma transição do estado normal para o supercondutor. Em particular, este efeito é caracterizado pela expulsão do campo magnético do interior do material, agora supercondutor, quando este encontra-se a uma temperatura igual ou menor que a temperatura crítica de transição para o estado supercondutor ( $T \leq T_c$ ) [1-3].

A expulsão do fluxo magnético é total para  $T \leq T_c$  em supercondutores do tipo I. Por outro lado, no que tange aos supercondutores do tipo II a totalidade desta expulsão vai estar ligada a natureza termodinâmica da interação estabelecida entre vórtices e os mecanismos de “pinning” do material [1-3].

O comportamento do efeito Meissner é verificado experimentalmente, principalmente, por meio da realização de medidas de magnetização [ $M(T)$ ], por meio da adoção dos procedimentos experimentais “field cooling cooled” [ $M_{\text{FCC}}(T)$ ] e “field cooling warming” [ $M_{\text{FCW}}(T)$ ]. Em particular, a manifestação experimental do efeito Meissner, em supercondutores do tipo II, é caracterizada por uma resposta diamagnética (negativa), praticamente independente da temperatura por parte das magnetizações  $M_{\text{FCC}}(T)$  e  $M_{\text{FCW}}(T)$  para  $T \ll T_c$ , conforme ilustrado na figura 1.

Por outro lado, o efeito Meissner paramagnético de alto campo (EMPAC) está relacionado a admissão e compressão dos vórtices na fase mista de supercondutores do tipo II [2,3]. Este fenômeno, ainda não totalmente compreendido, é caracterizado experimentalmente por uma resposta predominantemente paramagnética (positiva) de  $M_{\text{FCC}}(T)$  e  $M_{\text{FCW}}(T)$  para  $T \ll T_c$ . Esta resposta mostra-se fortemente dependente da temperatura e do campo magnético aplicado, conforme ilustra a figura 2.

Desta forma, o presente trabalho prevê a realização de um estudo experimental de magnetização dc em uma amostra monocristalina de  $\text{YBa}_{1.63}\text{Sr}_{0.37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  onde os procedimentos experimentais ZFC (“zero fielding cooling”, FCC e FCW são empregados com o objetivo de apurar os efeitos

provenientes do “pinninig” superficial sobre o EMPAC. Os resultados obtidos serão contrastados com os obtidos para um monocristal de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , otimamente dopado, cujo mecanismo de “pinning” dominante é o pontual normal [3].

## 2. METODOLOGIA

Os monocristais empregados neste trabalho foram crescidos segundo a técnica de auto-fluxo no Laboratório de Materiais Supercondutores (LMS) da UFPel. O monocristal selecionado teve a sua estrutura e a sua transição supercondutora caracterizadas por meio de medidas de difração de raio x e de magnetização dc, respectivamente, sendo ambas realizadas no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo (LSM) da UFRGS.

A radiação  $\text{CuK}\alpha$  foi incidida ao longo do plano do monocristal. Por outro lado, as medidas de magnetização  $M_{\text{FCC}}(T)$ ,  $M_{\text{FCW}}(T)$  e  $M_{\text{ZFC}}(T)$  foram realizadas com a utilização de um magnetômetro SQUID quando  $H \leq 50$  kOe foram aplicados paralelamente ao eixo cristalográfico c do monocristal ( $H \parallel c$ ) enquanto a amostra foi resfriada ou aquecida a uma taxa de 2K/min para um intervalo de temperatura compreendido entre  $15\text{K} \leq T \leq 110\text{K}$  [2,3].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A medida de difração de raio x revelou que o monocristal apresenta uma estrutura planar bem definida e que o valor do seu parâmetro de rede c está de acordo com resultados reportados na literatura [4]. Por outro lado, a figura 1 apresenta o comportamento das magnetizações  $M_{\text{ZFC}}(T)$ ,  $M_{\text{FCC}}(T)$  e  $M_{\text{FCW}}(T)$  para nossa amostra de  $\text{YBa}(\text{Sr})\text{CuO}$  quando  $H = 0.01\text{kOe} \parallel c$  é aplicado.

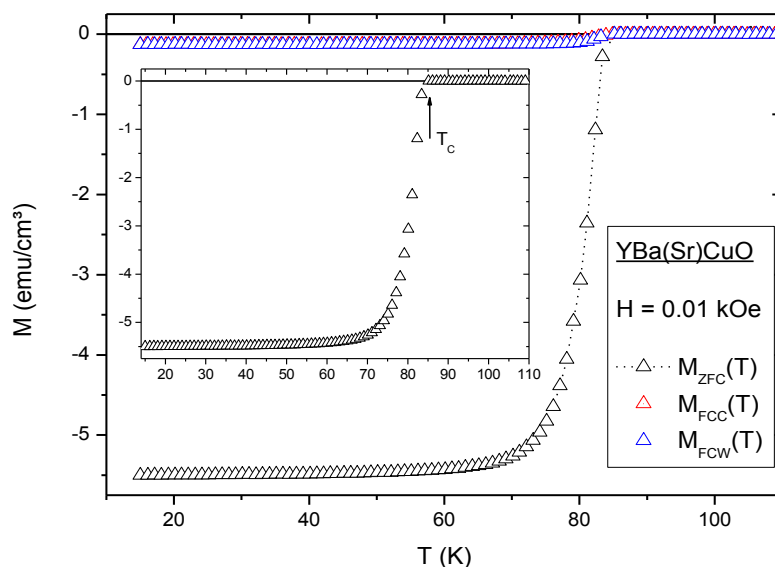


Figura 1: O comportamento das magnetizações  $M_{\text{ZFC}}(T)$ ,  $M_{\text{FCC}}(T)$  e  $M_{\text{FCW}}(T)$  para a amostra  $\text{YBa}(\text{Sr})\text{CuO}$  quando submetida a  $H = 0.01\text{kOe} \parallel c$ .

De acordo com a ilustração do inserto da figura, segundo precisão experimental adotada, é possível verificar que o valor indicado para o  $T_c$  da amostra de  $\text{YBa}(\text{Sr})\text{CuO}$  é  $\sim 86\text{K}$ , valor menor que o obtido para uma amostra de

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , porem condizente com o que se encontra listado na literatura para este composto [4].

A figura principal, por sua vez, revela que o comportamento das magnetizações  $M_{\text{FCC}}(T)$  e  $M_{\text{FCW}}(T)$  é caracterizado pelo efeito Meissner usual. Por outro lado, na figura 2 são contrastados os comportamentos de  $M_{\text{FCC}}(T)$  para um monocristal de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\text{YBaCuO}$ ) ( $T_c \sim 93\text{K}$ ) e o nosso monocristal de  $\text{YBa}(\text{Sr})\text{CuO}$  quando  $1\text{kOe} \leq H \leq 50\text{kOe}$  são aplicados.

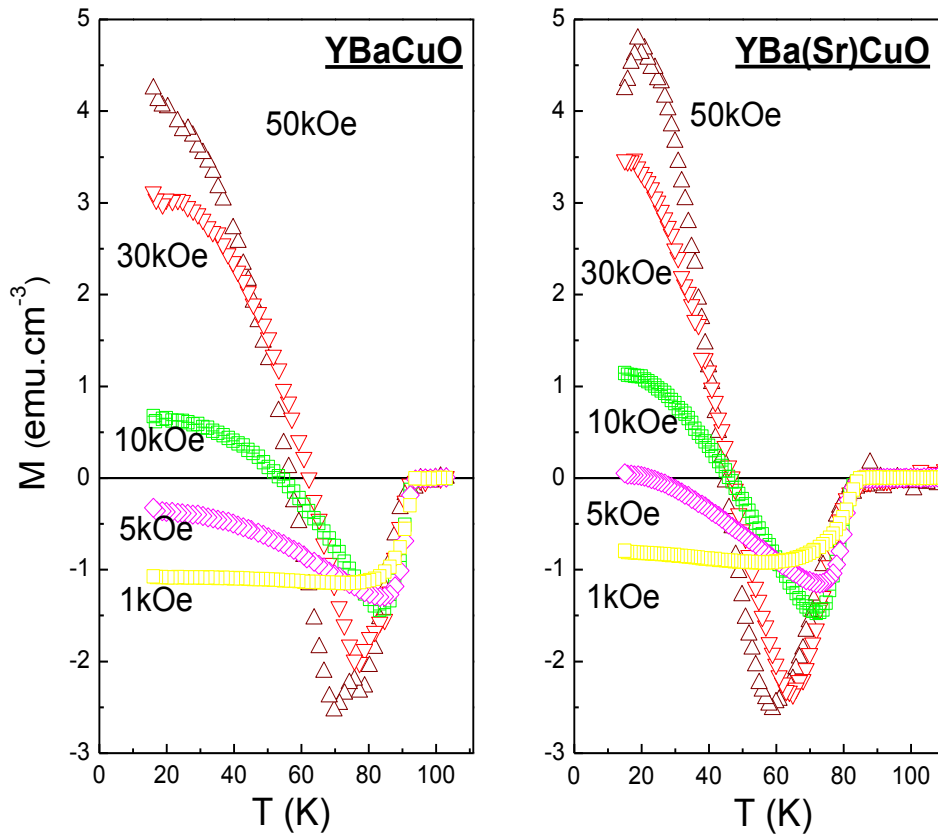


Figura 2: Os comportamentos de  $M_{\text{FCC}}(T)$ , obtidos para  $1\text{kOe} \leq H \leq 50\text{kOe}$ , para os monocristais YBCO e  $\text{YBa}(\text{Sr})\text{CuO}$ .

Fica claro na figura que para  $H > 1\text{kOe}$  o EMPAC está presente no comportamento de  $M_{\text{FCC}}(T)$  de ambas as amostras. É possível verificar que no caso da amostra  $\text{YBa}(\text{Sr})\text{CuO}$  a resposta de  $M_{\text{FCC}}(T)$ , em baixas temperaturas, torna-se paramagnética para  $H > 5\text{kOe}$  sendo que a intensidade desse sinal nesta amostra passa a aumentar em função de  $H$ . Entretanto, se comparado ao comportamento do EMPAC analisado em função de  $H$  no  $\text{YBaCuO}$  verifica-se que o aumento do sinal paramagnético exibido pelo monocristal dopado foi suave além de que o perfil apresentado pelos dados de  $M_{\text{FCC}}(T)$  mostrou-se bastante semelhante ao exibido pelos dados de  $M_{\text{FCC}}(T)$  no  $\text{YBaCuO}$ .

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, monocristais de  $\text{YBa}_{1.63}\text{Sr}_{0.37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  foram crescidos, por meio da técnica de auto-fluxo, com o propósito de investigar, através do comportamento da magnetização  $M_{\text{FCC}}(T)$ , a contribuição do “pinning” superficial para o EMPAC no  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

Os resultados experimentais de  $M_{FCC}(T)$  obtidos, quando  $1\text{kOe} \leq H \leq 50\text{kOe}$  foram aplicados, para o monocristal de  $\text{YBa}_{1.63}\text{Sr}_{0.37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  foram comparados com os obtidos para um monocristal de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  [RR]. O contraste entre os resultados mostram que o “pinning” superficial aumenta suavemente a intensidade do sinal paramagnético, em função do campo magnético aplicado, embora sem alterar significativamente o perfil do comportamento dos dados de  $M_{FCC}(T)$  quando comparado aos resultados obtidos para estes mesmos parâmetros em um monocristal de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  no qual o mecanismo de “pinning” predominante é o pontual normal [1,2].

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Lopes, R. F. **Efeitos de desordem química na densidade de corrente e na força de “pinning” de monocristais de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$** . Dissertação (Mestrado em Física) – PPGF. UFPel.
- [2] A. I. Rykov, S. Tajma and F. V. Kusmartsev, “High-field paramagnetic effect in aged crystals of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,” Phys. Rev. B, Vol. 55, no 13, pp. 8557-8563, Apr. 1997.
- [3] V.N. Vieira; F. T. Dias; C. P. Gouvêa; P. Pureur; J. Schaf; M. L. Hneda, “High-Field Paramagnetic Meissner Effect in Ga-Implanted  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  Single Crystal,” IEEE Transactions on Applied Superconductivity, v. 26, p. 1-4, Apr. 2016.
- [4] Vieira, V. N. **Efeito das Substituições Químicas na Irreversibilidade Magnética e Magnetocondutividade do Supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$** ,. Tese (Doutorado em Física). UFRGS