

Efeito da Substituição Química na Força de Pinning e Densidade de Corrente Crítica do Supercondutor Monocristalino $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

**ROVAN FERNANDES LOPES¹; ANA PAULA AGUIAR DE MENDONÇA¹;
FÁBIO TEIXEIRA DIAS¹; PAULO PUREUR³; JACOB SCHAF³;
VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA²**

¹Universidade Federal de Pelotas – rovanfl@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – vdnvieira@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1. INTRODUÇÃO

Uma das propriedades essenciais que tornam os materiais supercondutores atraentes para aplicações tecnológicas em larga escala é o transporte de elevados valores de densidade de corrente crítica, $J_C(H, T)$, na presença de campo magnético H a uma temperatura fixa T , que proporciona a produção de equipamentos mais compactos e eficientes.

A realização de substituições químicas na estrutura cristalina de materiais supercondutores é um dos artifícios empregados com o objetivo de promover a elevação do valor de $J_C(H, T)$ nestes materiais, bem como fornecer subsídios para a compreensão dos mecanismos de aprisionamento de fluxo magnético. De acordo com essa premissa, o presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de $J_C(H, T)$ e da força de pinning, $F_P(H, T)$ no supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ quando o sítio do Ba é parcialmente substituído por átomos de Sr.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram crescidas, segundo a técnica de auto-fluxo (VIEIRA; SCHAF, 2004). Amostras monocristalinas de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0; 0.02; 0.1; 0.25$ e 0.37), onde x está relacionado com as concentrações de (0%; 1%, 5%; 12.5% e 18.5%) de Sr respectivamente. Essas amostras tiveram sua estrutura analisada por meio de difração de raio-x e sua superfície analisada por meio de Microscopia de Luz Polarizada (MLP) e Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).

As propriedades magnéticas das amostras foram caracterizadas por meio de medidas de magnetização (M) DC, em função do campo magnético e da temperatura, realizadas com o auxílio de um magnetômetro SQUID, marca Quantum Design, dimensionado para aplicar campos magnéticos de até 50kOe e variar a temperatura entre 1.6 e 400K.

As medidas de histerese magnética ($M-H$) foram realizadas com o intuito de estimar o comportamento de $J_C(H, T)$. Neste procedimento as amostras foram resfriadas até atingir a temperatura de 77.5K (temperatura de liquefação do nitrogênio). A partir daí o campo magnético H , aplicado ao longo do eixo cristalográfico c dos monocristais, foi ciclado entre 0 e 50kOe e a magnetização DC das amostras foi registrada à medida em que transcorresse a ciclagem de campo.

As medidas de magnetização em função da temperatura ($M-T$) foram realizadas a partir dos procedimentos ZFC “Zero Field Cooled” e FCC “Field Cooled Colling”. A partir desses dois procedimentos a magnetização é medida sendo possível estimar a temperatura de irreversibilidade (T_{irr}) das amostras,

definida como sendo a temperatura onde há a separação das curvas ZFC e FCC. Esses procedimentos tornam possível construir a linha de irreversibilidade magnética que será usada como parâmetro para a normalização das curvas de força de pinning.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medidas de difração de raio-x nas amostras dopadas não detectaram a presença de fases espúrias à de Y123, bem como pode-se observar um decréscimo do parâmetro de rede conforme relatado pela literatura (SAITO et al., 1998). A partir das imagens de *MLP* e *MET* pode-se observar um aumento na densidade de maclas decoradas possivelmente com átomos de Sr (SAITO et al., 1998).

Os resultados provenientes das medidas de *M-H*, descritas no item anterior são ilustrados na Figura 1 abaixo.

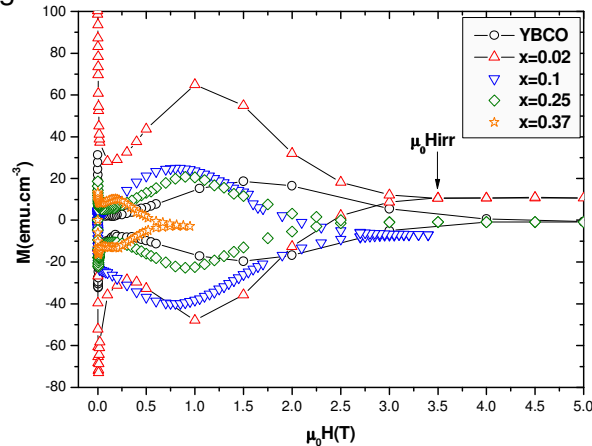


Figura 1: Histerese magnética para os monocristais de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x = 0, 0.02, 0.1, 0.25, 0.37$)

Analisando a Figura 1 podemos observar que há um alargamento nos ciclos de histerese para as amostras com 1% e 5% de Sr no limite de campo de até 20 kOe quando comparados as ciclos da amostra pura.

Na Figura 2 apresentamos os resultados de $J_c(H, T)$ das amostras dopadas e pura. A magnitude de $J_c(H, T)$ foi determinada a partir da aplicação do modelo de Bean estendido (GYORGY, 1989). Este, essencialmente, relaciona $J_c(H, T)$ a razão entre a largura dos ciclos de *M-H* e o fator geométrico da amostra dependente da direção de campo magnético empregado.

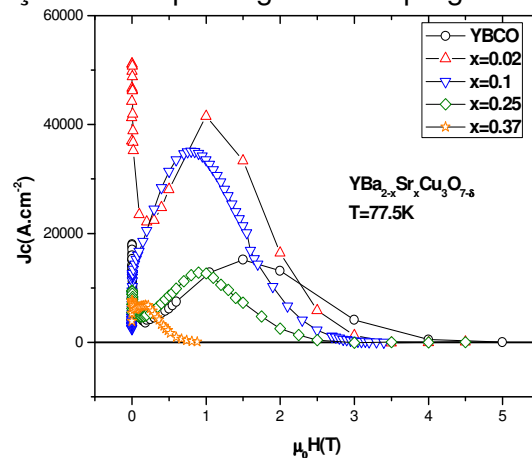


Figura 2: Comportamento de $J_c(H, T)$ para as amostras de $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-\delta}$

Note que de acordo com a Figura 2, os valores de $J_c(H, T)$ em $T = 77,5$ K obtidos para as amostras com $x = 0.02$ e $x=0.1$ são superiores aos da amostra de YBCO até o limite de aproximadamente 20 kOe. Por outro lado, estes valores decrescem rapidamente em função do campo aplicado para as demais concentrações. Acreditamos que este alargamento do ciclo de $M-H$ acompanhado do aumento de $J_c(H, T)$ deve-se essencialmente às substituições químicas e que a sua proeminência em algumas das amostras dopadas está relacionada a uma maior efetividade por parte dos mecanismos de aprisionamento de fluxo magnético, pinning.

A partir dos valores de $J_c(H, T)$ podemos calcular o valor da força de pinning através da relação $F_p = J_c \cdot \mu_0 H$, obtida a partir do modelo de estado crítico (GYORGY, 1989), conforme ilustra a Figura 3 abaixo:

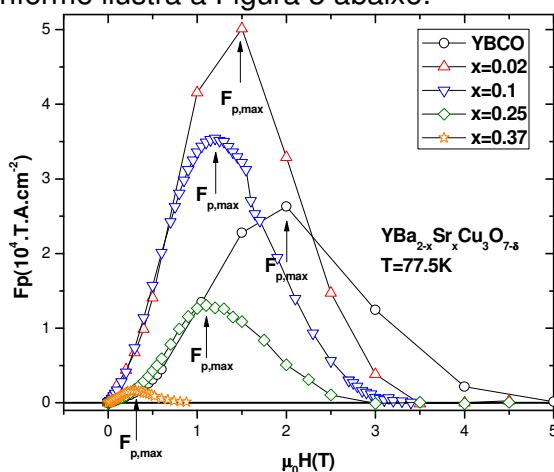


Figura 3: Força de pinning para as amostras de $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-\delta}$

Podemos observar através da Figura 3 um comportamento similar entre a força de pinning e a densidade de corrente crítica. Essas curvas são normalizadas através da $F_{p,Max}$ e $\mu_0 H_{irr}$ estes parâmetros são ilustrados nas Figuras 1 e 3, sendo que H_{irr} também pode ser obtido a partir das curvas de $M-T$ relacionadas anteriormente.

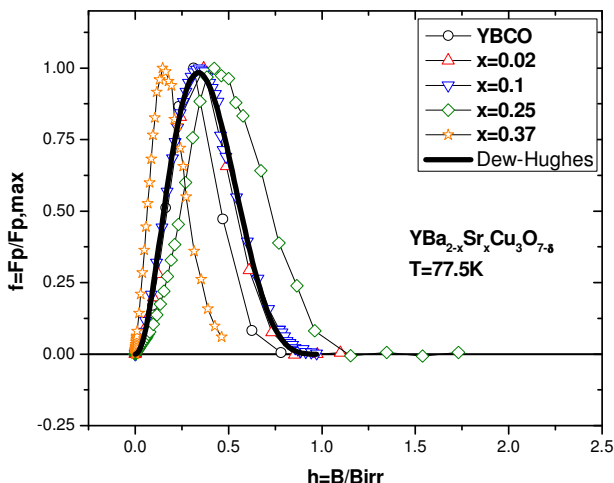


Figura 4: Normalização das curvas de força de pinning

A Figura 4 apresenta a normalização das curvas onde $f = F_p / F_{p,max}$ e $h = B / B_{irr}$. A linha sólida representa o fitting das curvas através do modelo de Dew-Hughes (DEW-HUGHES, 1974) o qual relaciona $f(h)$ com parâmetros que estão relacionados com o tipo de mecanismo de pinning predominante nas amostras.

4. CONCLUSÕES

As medidas de magnetização DC das amostras de $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-\delta}$ com ($x = 0, 0.02, 0.1, 0.25, 0.37$) a temperatura de 77.5K apresentam um alargamento para as amostras de 1% e 5% de Sr. Esse alargamento é acompanhado por um aumento proporcional na densidade de corrente crítica e força de pinning, conforme ilustram as Figuras 1, 2 e 3.

A Figura 4 apresenta que os mecanismos de pinning para as amostras com $x \leq 0.1$ não se alteram. Os parâmetros encontrados a partir do fitting usando o modelo de Dew-Hughes são semelhantes aos relatados pela literatura para amostras monocristalinas de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (HUSSAIN et al., 1998). Estes parâmetros estão relacionados a mecanismos pontuais de pinning o qual propomos serem devidos ao possível aparecimento de precipitados de Sr encontrados nas imagens de Microscopia eletrônica de transmissão.

As amostras com $x > 0.1$ não apresentam o mesmo mecanismo de pinning predominante, bem como não possuem a mesma eficiência na densidade de corrente crítica e força de pinning. Propõem-se então que a inclusão de defeitos devido ao doping com Sr, bem como o mecanismo de pinning responsável pelo aprisionamento de fluxo nestas amostras, se torna ineficiente para estas amostras a temperatura de 77.5K.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIEIRA, V. N.; SCHAF, J. Influence of Sr doping on the second magnetization peak and the critical current density of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ single crystals. **Physica C**. Amsterdam, v.408, n.0, p.533-534, 2004.

SAITO, K. et al. Influence of Sr doping on twin-wall structure and flux pinning of $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ single crystals **Phys. Rev. B**. Woodbury, v.58, n.10, p.6645-6649, 1998.

GYORGY, E. M. Anisotropic critical currents in $Ba_2YCu_3O_7$, analyzed using an extended Bean model. **Appl. Phys. Lett.** Woodbury, v.56, n.3, p.283-285, 1989.

DEW-HUGHES, D. Flux pinning mechanisms in type II superconductors. **Phil. Mag.** Woodbury, v.30, n.4, p.293-305, 1974.

HUSSAIN, M. et al., Peak effect observed in Zn doped YBCO single crystals. **Physica C**. Amsterdam, v.297, n.3/4, p.176-184, 1998.