

O EFEITO DA PRESSÃO QUÍMICA SOBRE A DENSIDADE DE ENERGIA CINÉTICA DE CONDENSAÇÃO DO SUPERCONDUTOR $Y(Ba_{1-x}Sr_x)_2Cu_3O_{7-\delta}$

RENNAN PEREIRA DE SOUZA¹; JOÃO EDUARDO DE MAGALHÃES SALVADOR²; ROBERLÂNDIA DA SILVA BARROS³; FÁBIO TEIXEIRA DIAS⁴; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA⁵;

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL – rennan.souza@ufpel.edu.br

²UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL – jemsalvador@gmail.com

³UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL – roberlandiabarros249@gmail.com

⁴UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL – diasft@gmail.com

⁵UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL – vdnvieira@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento do mecanismo supercondutor em supercondutores de alta temperatura crítica, (HTSC), mostra-se promissor quando direcionado a explicação do efeito da aplicação de pressão sobre a temperatura crítica de transição (T_c), LICCI, et al. (1998).

O emprego da pressão mecânica, (p_m), como agente de alteração de T_c nos HTSC resulta na elevação do valor de T_c em supercondutores como o $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, Metzger, J. (1993), e o $HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8+\delta}$, MORRIS, et al. (1994).

Outra forma de usar a pressão como agente de alteração do valor de T_c é com o emprego da pressão química, (p_q). A aplicação dessa pressão se dá quando um átomo da estrutura do supercondutor é substituído totalmente ou parcialmente por outro de mesma valência, porém com raio iônico menor LICCI, et al. (1998). Entretanto, diferente do efeito positivo que p_m causa sobre T_c , a aplicação de p_q causa a redução de T_c para a maioria dos supercondutores que foram objeto desse estudo, caso do $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, LICCI, et al. (1998).

Neste trabalho reportaremos resultados obtidos para o comportamento da densidade de energia cinética de condensação (E_k) em função do campo magnético (\mathbf{B}) e da temperatura (T) proveniente da aplicação de p_q sobre o supercondutor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

A pressão química será exercida sobre a estrutura do $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ quando substituirmos o Ba por Sr em até 18 % mais especificamente: $YBa_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-\delta}$ ($x=0;0,1;0,25;0,37$), LICCI, et al. (1998). O átomo de Sr apresenta a mesma valência que Ba, mas com raio iônico menor, o que resulta numa pressão mecânica no valor aproximado de 10 GPa quando o Ba é completamente substituído por Sr, LICCI, et al. (1998), além disso, causa redução gradativa de T_c no supercondutor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ até atingir $T_c \approx 60$ K quando o Ba é substituído totalmente por Sr, LICCI, et al. (1998).

O efeito da aplicação de p_q sobre $E_k(T, \mathbf{B})$ será pesquisada através da aplicação do Teorema do Virial da Supercondutividade (TVS), DORIA et al. (1989), definido na equação (1):

$$E_k(T, \mathbf{B}) = -\mathbf{M} \cdot \mathbf{B} \quad (1)$$

onde \mathbf{B} é o campo indução magnética e \mathbf{M} a magnetização reversível do supercondutor.

2. METODOLOGIA

Para a realização do trabalho foram crescidos monocristais de $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x=0; 0,1; 0,25; 0,37$) no laboratório de materiais supercondutores (LMS) da UFPel. A técnica utilizada para o crescimento foi a de “auto-fluxo”, VIEIRA, V. (2004). As amostras depois de crescidas tiveram o comportamento da resposta magnética, determinada através do comportamento da magnetização DC, obtida a partir do emprego de um magnetômetro SQUID localizado no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo da UFRGS, utilizando os protocolos ZFC e FCC, VIEIRA, V. (2004).

Após o crescimento dos monocristais, a caracterização estrutural se deu por meio do emprego da técnica de difração de raios-X, realizadas com o emprego de um difratograma da marca SIEMENS, localizado no IF da UFRGS, que utiliza da incidência de radiação ao longo do plano de maior dimensão dos monocristais.

Para a obtenção de $M(T)$, os protocolos ZFC e FCC são realizados das seguintes formas: No ZFC, resfria-se a amostra, de $T > T_c$ na ausência de campo magnético aplicado até $T < T_c$. Na sequência aplicasse um valor de B , previamente selecionado, e aumenta-se a temperatura até $T > T_c$ seja atingido, sendo a $M_{zfc}(T)$ registrada durante esse aumento de T . O procedimento FCC é realizado sem realizar nenhum ajuste na magnitude de B , a amostra é resfriada partindo de $T > T_c$ até que $T < T_c$ seja atingido, durante esse resfriamento $M_{fcc}(T)$ é registrada. A análise dos comportamento de $M_{zfc}(T)$ e $M_{fcc}(T)$ ocorre através do emprego de um “software” gráfico compatível para esta análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1A) apresenta o comportamento $M_{zfc}(T)$ para $B=0,001$ T. A determinação do valor de T_c é dado pelo valor de temperatura a qual marca o desvio da reta base de magnetização nula. O “inset” da Figura destaca o comportamento de $T_c(x)$ para as amostras pesquisadas nesse trabalho. A Figura 1B) apresenta o resultado referente ao difratograma de raios-X da amostra $\text{YBa}_{1,63}\text{Sr}_{0,37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ no “inset” o comportamento do eixo cristalino c em função da concentração de Sr (x) no composto $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

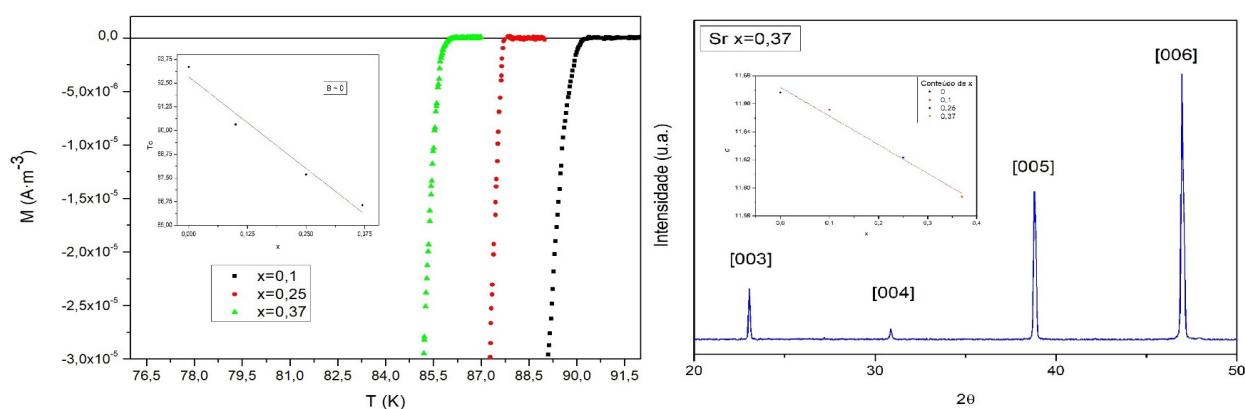


Figura 1: A) $M_{zfc}(T)$ para $B = 0,001$ T com inset de T_c por x . B) Difratograma de raios-X do monocristal $\text{YBa}_{1,63}\text{Sr}_{0,37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, com gráfico inset dos valores de c pela concentração x .

Os resultados da Figura 1B) comprovam a ótima orientação cristalina da amostra, exemplificada pelo difratograma da amostra $\text{YBa}_{1,63}\text{Sr}_{0,37}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, com a identificação de valores correspondentes ao parâmetro cristalográfico de rede c .

No “inset” o efeito de p_q comprimindo gradativamente o eixo cristalográfico c a medida em que x aumenta de 0 a 0,37 no composto $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}3\text{O}_{7-\delta}$.

A influência de p_q sobre o comportamento de T_c é nítido quando verificamos o deslocamento gradativo dos dados de $M_{zfc}(T)$ para mais baixas temperaturas a medida que x aumenta. No “inset” a caracterização linearmente decrescente de T_c para o composto $\text{YBa}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}3\text{O}_{7-\delta}$ quando x varia de 0 a 0,37.

No conjunto de resultados compactados na Figura 2A)-F), a Figura 2A) apresenta o comportamento de $M_{zfc}(T)$ e $M_{fc}(T)$ para $B = 0,25$ T da amostra $\text{YBa}_{1,63}\text{Sr}_{0,37}\text{Cu}3\text{O}_{7-\delta}$ onde encontram-se destacados a determinação de $T_{irr}(B)$ e $T_c(B)$. Este comportamento de $M_{zfc}(T)$ e $M_{fc}(T)$ também foi observado para as demais amostras.

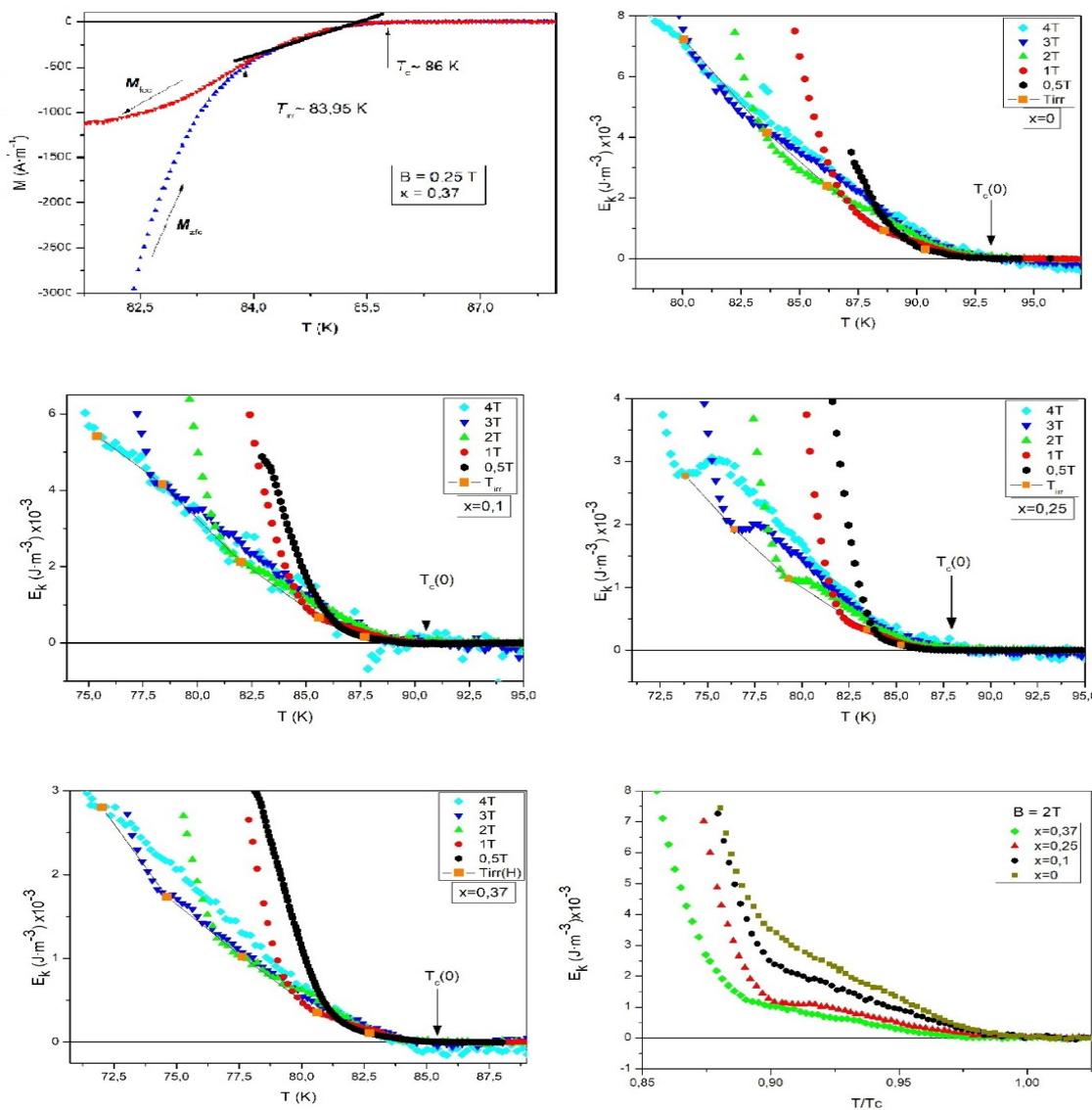


Figura 2: A) Comportamento das magnetizações DC e obtenção das temperaturas T_{irr} e T_c para amostra de $x = 0,37$ e $B = 0,25$ T aplicado. De B)-E) comportamento de $E_k(T, B)$. F) apresenta o comportamento de $E_k(T, B = 2$ T) para as amostras estudadas.

Nas Figuras 2B) e 2E) estão destacados os comportamentos de $E_k(T)$, obtidos a partir da aplicação da equação (1), para as amostras pesquisadas neste trabalho quando $0,5 \text{ T} \leq B \leq 4 \text{ T}$ foram aplicados. A Figura 2F) apresenta o

comportamento de $E_k(T)$, para $B = 2$ T, em função da pressão química do conteúdo de Sr, utilizado nesse trabalho para o supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

$E_k(T)$ aumenta a medida em que T diminui para todas as amostras pesquisadas no intervalo de temperatura $T_{\text{irr}}(B) \leq T \leq T_c(B)$ no qual o TVS pode ser empregado na determinação de $E_k(T)$, veja Figura 2B)-E).

Esse comportamento é justificado pelo aumento da quantidade de vórtices blindados por supercorrentes no supercondutor a medida que T diminui de $T_c(B)$ para $T_{\text{irr}}(B)$ quando B permanece constante, o que causa o aumento de $M(T)$ reversível que, por consequência, de acordo com a equação (1), aumenta a intensidade de $E_k(T)$.

Por outro lado a fraca dependência de $E_k(T)$ observada em função de B é justificada pela baixa anisotropia planar ($\gamma < 10$) associada ao caráter tridimensional das flutuações termodinâmicas diamagnéticas características do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ quando $B \leq 10$ T são aplicados.

A Figura 2F) mostra que a E_k diminui assim como a temperatura crítica de transição para o estado supercondutor no $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, verificou-se que a p_q proveniente da substituição parcial de Ba por Sr em até 18% no composto $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ monocristalino diminui a intensidade de $E_k(T)$ nas proximidades da transição supercondutora do sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Este comportamento de $E_k(T)$ acompanha o decréscimo da temperatura crítica de transição (T_c) apresentado pelo sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ frente a intensificação de p_q . No momento buscamos compreender o significado desse resultado buscando determinar o comportamento de outros parâmetros característicos do estado supercondutor frente a aplicação de p_q .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DORIA, M. M.; GUBERNATIS, J. E.; RAINER, D. Virial theorem for Ginzburg-Landau theories with potential applications to numerical studies of type-II superconductors. **Physical Review B**, The American Physical Society, v. 39, n. 13, p. 9573, 1989.
- Metzger, J.; Weber, T.; Fietz, W.H.; Grube, K.; Ludwig, H.A.; Wolf, T; Wühl, H. Separation of the intrinsic pressure effect on T_c of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.7}$ from a T_c enhancement caused by pressure-induced oxygen ordering, **Physica C: Superconductivity**, v. 214, p. 371-376, 1993.
- MORRIS, D. E. et al. Two new Hg-Sr cuprate superconductors. **Physica C: Superconductivity**, v. 235, p. 903-904, 1994.
- LICCI, F.; et al. Structural and electronic effects of Sr substitution for Ba in $\text{Y}(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{Cu}_3\text{O}_w$ at varying w. **Physical Review B**, v. 58, n. 22, p. 15208-15217, 1998.
- Jorgensen, J.D.; Shiyu Pei, P.; Lightfoot, D.G.; Hinks Veal, B.W.; Dabrowski, B.; Paulikas, A.P.; Kleb, R.; Brown, I.D.; Pressure-induced charge transfer and dTc/dP in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, **Physica C: Superconductivity**, v. 171, p. 93-102, 1990.
- VIEIRA, V. N. **Efeitos das substituições químicas na irreversibilidade magnética e magnetocapacitividade do supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$** . 2004. Tese (Doutorado em Ciências) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.