

O EFEITO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO Y POR Pr SOBRE A DENSIDADE DE ENERGIA CINÉTICA DE CONDENSAÇÃO DOS PARES DE COOPER NO COMPOSTO SUPERCONDUTOR $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

RENNAN PEREIRA DE SOUZA¹; ALCIONE ROBERTO JURELO²; VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA³

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - UFPEL – ren_nanps@hotmail.com

²UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA – UEPG

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

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho reportamos os resultados provenientes da realização de um estudo experimental sobre os efeitos da substituição nominal de 5% do Y por Pr [1] sobre o comportamento da densidade de energia cinética de condensação dos pares de Cooper $[E_K(T,B)]$, onde T é a temperatura e B ($B = \mu_0 H$) é o campo de indução magnética, do supercondutor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (YBCO) monocristalino.

O comportamento de $E_K(T,B)$ foi obtido a partir da aplicação do teorema do virial da supercondutividade (TVS) [2] o qual permite que $E_K(T,B)$ seja obtido diretamente de medidas magnéticas, oriundas da fase supercondutora, levando em consideração que $E_K(T,B)$ é definido como o produto escalar entre os vetores magnetização reversível, $\mathbf{M}$ e $\mathbf{B}$, ou seja:[2]

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

A análise do comportamento de $E_K(T,B)$, obtido a partir do emprego da eq. (1), é válido para $T \geq T_{IRR}(B)$ onde $T_{IRR}(B)$ é a temperatura de irreversibilidade magnética a qual encontra-se definida na figura 1b.

A substituição parcial do Y por Pr no YBCO reduz significativamente o valor da temperatura crítica de transição para o estado supercondutor, T_C [1] apesar desses átomos apresentarem a mesma valência entretanto, segundo nosso conhecimento, ainda não há estudos listados na literatura que abordem o efeitos dessa substituição sobre o comportamento de $E_K(T,B)$. Desta maneira, neste trabalho nos propomos pesquisar este efeito e compará-lo aos resultados listados na literatura para $E_K(T,B)$ em amostras monocristalinas de YBCO ($T_C \sim 93,3K$) e de $Y_{0,95}Ca_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ [(YCa)BCO] ($T_C \sim 89,5K$).

2. METODOLOGIA

A amostra empregada neste trabalho foi crescida, através do emprego da técnica de auto-fluxo, no departamento de Física da UEPG. A estequiometria nominal empregada foi a $Y_{0,95}Pr_{0,05}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ para um montante de 5g de material o qual foi misturado e macerado no interior de um almofariz de ágata para após ser depositado sobre a superfície de um cadinho de zircônia. Esse conjunto foi então colocado no interior de um forno mufla e submetido a um tratamento térmico específico o qual culminou com o crescimento dos monocristais.

As medidas de magnetização DC foram realizadas no laboratório de supercondutividade e magnetismo (LSM) da UFRGS onde através do emprego de um magnetômetro SQUID foi possível determinar o comportamento da magnetização DC através do emprego dos procedimentos “zero field cooled”,

$M_{ZFC}(T)$ e field cooled cooling, $M_{FCC}(T)$ quando $0,001T \leq B \leq 5T$ foram aplicados ao longo da direção cristalográfica c (espessura) da amostra de (YPr)BCO, cujo formato é semelhante ao de uma plaqueta medindo aproximadamente 1mm^2 de área e $0,1\text{ mm}$ de espessura. O “inset” da figura 1b ilustra os comportamentos de $M_{ZFC}(T)$ e $M_{FCC}(T)$ quando $B = 0.5T$ foi aplicado. Na figura principal é destacado o perfil apresentado pelos dados de $\Delta M(T)$ o qual foi obtido a partir da diferença entre esses dois comportamentos, $\Delta M = M_{FCC}(T) - M_{ZFC}(T)$.

No procedimento ZFC a amostra foi resfriada na ausência de B aplicado partindo de uma $T > T_C$ até que uma $T < T_C$ seja atingida. A partir desse momento um valor de B previamente selecionado é aplicado ao longo do eixo c da amostra ($B \parallel c$) e $M_{ZFC}(T)$ é registrado durante o aquecimento da amostra até que uma determinada $T > T_C$ seja atingida. Imediatamente após a conclusão do procedimento ZFC têm início o procedimento FCC. Desta forma, sem realizar qualquer ajuste no valor de B aplicado, resfria-se a amostra a partir de $T > T_C$, agora sobre a aplicação de B , registrando-se $M_{FCC}(T)$ durante o resfriamento da amostra até que um determinado $T < T_C$ seja atingido.

A análise dos dados e a montagem dos gráficos foi realizada utilizando um software compatível para este fim.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são destacados os comportamentos de $M_{ZFC}(T)$, $M_{FCC}(T)$, $T_C(B)$ e $T_{IRR}(B)$ registrados para a amostra (YPr)BCO quando: A) $B = 0,001T$ e B) $B = 0,5T$ são aplicados. Enquanto que o critério empregado na determinação de $T_C(B \sim 0)$ é enfatizado na figura 1A, o “inset” da figura 1B destaca o perfil dos comportamentos de $M_{ZFC}(T)$ e $M_{FCC}(T)$ empregados na determinação $T_{IRR}(B)$ obtida a partir da subtração desses comportamentos.

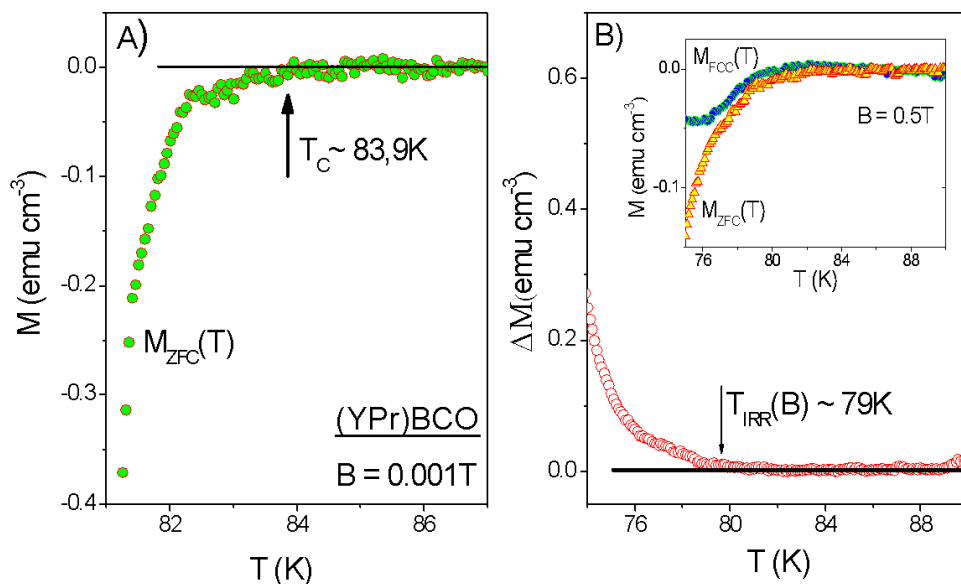


Figura 1: O comportamento de $M_{ZFC}(T)$, $M_{FCC}(T)$, $T_C(B)$ e $T_{IRR}(B)$ para a amostra (YPr)BCO quando: A) $B = 0,001T$ e B) $B = 0,5T$ são aplicados. O “inset” da figura 1 B) destaca o perfil dos comportamentos de $M_{ZFC}(T)$ e $M_{FCC}(T)$ empregados na determinação $T_{IRR}(B)$.

Na Figura 1A o valor $T_C(0) \sim 83,9\text{K}$ para (YPr)BCO é definido como o valor de T no qual, dentro da precisão experimental adotada, o perfil dos dados de $M_{ZFC}(T)$ abandona a linha de base da zero.[3-5] O valor determinado para $T_C(0)$ está de acordo com os demais valores de T_C reportados para amostras de $\text{Y}_{0,95}\text{Pr}_{0,05}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ na literatura.[1]

Na figura 1-B também é destacado o critério empregado na determinação de $T_{IRR}(B)$ o qual mostrou-se semelhante ao aplicado na determinação de $T_C(0)$. [1,3,5] A determinação de $T_{IRR}(B)$ é muito importante para a análise empregada neste trabalho uma vez que o comportamento de $E_K(T,B)$, obtido a partir da aplicação da equação (1), segundo o TVS, somente pode ser interpretado se for obtido a partir do comportamento reversível de $M(T)$ ou seja quando os dados de $M_{ZFC}(T)$ e $M_{FC}(T)$ forem coincidentes, ou seja, para $T \geq T_{IRR}(B)$. A magnetização reversível não depende do histórico térmico-magnético no qual o supercondutor foi submetido.[3-5] Este comportamento, do ponto de vista termodinâmico, é caracterizado como de equilíbrio. Nesse trabalho iremos empregar a $M(T)$ reversível para a determinação e análise do comportamento de $E_K(T,B)$. [1]

A figura 2A ilustra os comportamentos de $E_K(T,B)$ versus T obtidos em função de B , onde os valores B empregados encontram-se listados na legenda da figura 2A. Note que os valores de T correspondente a $T_{IRR}(B)$, quadrados preenchidos, encontram-se destacados nos gráficos de $E_K(T,B)$ versus T . Na figura 2B, os comportamentos de $E_K(T,B)$ versus T/T_C para $T \geq T_{IRR}(B)$ e $B = 5\text{T}$, para as amostras de YBCO, (YCa)BCO e (YPr)BCO são colocados em destaque com o objetivo de promover o contraste entre os comportamentos de $E_K(T,B)$ versus T/T_C obtidos para esses monocristais.

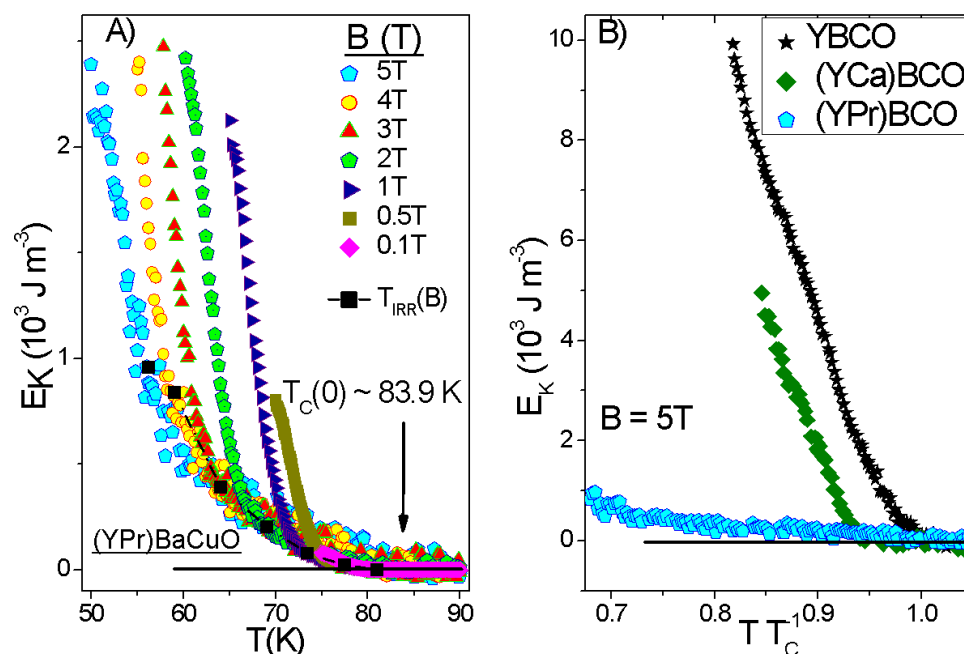


Figura 2: A) O comportamento de $E_K(T,B)$ versus T para a amostra de (YPr)BCO quando $0,1\text{T} \leq B \leq 5\text{T}$ foram aplicados. B) O comportamento de $E_K(T,B)$ versus T/T_C para as amostras YBCO, (YCa)BCO e (YPr)BCO quando $B = 5\text{T}$ foi aplicado.

Ao analisar o comportamento dos dados da figura 2A verifica-se que no intervalo de temperatura $T_{IRR}(B) \leq T \leq T_C(B)$ a intensidade de $E_K(T,B)$ aumenta enquanto T diminui o que também é verificado ocorrer com os dados de $E_K(T,B)$ para o YBCO e o (YCa)BCO apresentados na figura 2B. Além disso, é possível

identificar a fraca dependência de $E_K(T,B)$ em relação a intensificação de B nesse intervalo de temperatura. Esses dois comportamentos de $E_K(T,B)$ foram igualmente identificados para amostras monocristalinas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, [3,5] $\text{YBa}_{1,75}\text{Sr}_{0,25}\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ [3,5] e $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x \leq 0,10$). [3,5]

A figura 2B evidencia o principal efeito da substituição parcial de 5% do Y por Pr sobre $E_K(T,B)$ no sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ou seja a forte diminuição da intensidade de $E_K(T)$ versus T frente a aplicação de B . [1,2,4,5] Este resultado torna-se mais contundente quando comparado ao apresentado pelos monocristais de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ e $\text{Y}_{0,95}\text{Ca}_{0,05}\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ em termos da temperatura reduzida T/T_C^{-1} e mesmo valor de B aplicado.

4. CONCLUSÕES

A realização desse estudo experimental permitiu identificar que a substituição de 5% do Y por Pr não altera significativamente o perfil do comportamento de $E_K(T,B)$ versus T frente a aplicação de B quando comparado ao já observado para o comportamento dessa grandeza em outras amostras monocristalinas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ pura ou dopadas quimicamente. Por outro lado, a substituição parcial de 5% do Y por Pr, na estrutura do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, resultou na redução significativa da intensidade de $E_K(T,B)$ no sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ monocristalino. Associamos a observação desse comportamento, possivelmente, ao forte efeito de quebra de pares de Cooper devido a substituição intersticial dos átomos de Pr na estrutura do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Além de substituírem os átomos de Y o Pr também é absorvido pelo sítio do Ba. De acordo com esse cenário, a quebra de pares é identificada como a principal causa na promoção da redução de T_C , sendo que esta redução provavelmente diminui a densidade de portadores no estado supercondutor afetando também o comportamento de $E_K(T,B)$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARROS, F. M. et al UNCONVENTIONAL SUPERCONDUCTING GRANULARITY OF THE $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ COMPOUND *PHYS. REV. B* 73, 094515, 2006.
- [2] M. M. Dória, J. E. Gubernatis and D. Rainer *Phys. Rev. B*, 39(13),9573-9575, May 1989.
- [3] Mendonça, A. P. A. Os efeitos da desordem química na energia cinética de condensação dos pares de Cooper no supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. 08-2013. Dissertação (Mestrado em Física). PPGF. UFPEL.
- [4] Peña, J. P. Estudo da energia cinética do condensado nos sistemas supercondutores $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ e $\text{BaFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{As}_2$. 2012. Dissertação(Mestrado em Física) – IF, UFRGS.
- [5] VIEIRA, V.N.et al Effects of hole doping and chemical pressure on the average superconducting kinetic energy of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals *Journal of Physics: Conference Series* 568, 022049 (2014).