

OS EFEITOS DAS SUBSTITUIÇÕES QUÍMICAS DIVALENTES NAS FLUTUAÇÕES DIAMAGNÉTICAS DO SUPERCONDUTOR YBa₂Cu₃O_{7-δ}

SANDRA TEIXEIRA JAECKEL¹; FÁBIO TEIXEIRA DIAS²; PAULO PUREUR³;
VALDEMAR DAS NEVES VIEIRA⁴

¹*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense / Universidade Federal de Pelotas – sandratjk@yahoo.com.br*

²*Universidade Federal de Pelotas – diasft@gmail.com*

³*Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ppureur@if.ufrgs.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – vdnvieira@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

Desde a descoberta dos supercondutores do tipo II, vários estudos têm sido feitos com o objetivo de obter um formalismo teórico o qual seja capaz de elucidar o mecanismo supercondutor desses materiais. O entendimento deste mecanismo nos supercondutores de alta temperatura crítica (HTSC), desempenha um desafio ainda maior, uma vez que estes materiais apresentam propriedades que exibem comportamentos peculiares quando comparadas aos demais supercondutores do tipo II (SALEEM, 2013).

Um dos agentes responsáveis pela ativação destes comportamentos peculiares são as flutuações termodinâmicas (FT), cujos efeitos afetam em particular a dinâmica dos mecanismos responsáveis pela supercondutividade nos HTSC. Estes efeitos são proeminentes ao longo da fase mista destes materiais, tornando-se intensas para temperaturas próximas a temperatura crítica de transição do estado normal para o estado supercondutor (T_c).

Os efeitos das FT podem se manifestar tanto nas propriedades elétricas quanto nas magnéticas dos HTSC. Uma das possíveis maneiras de identificar e interpretar os efeitos das FT nas propriedades magnéticas dos HTSC se dá quando o comportamento da magnetização diamagnética ($T \leq T_c$) destes materiais é descrito em termos das funções de escala deduzidas a partir do formalismo Lowest Landau Level (LLL) (LEE, 1972) ou 3D-XY (SALAMON, 1993) as quais podem caracterizar a dimensionalidade das FT nestes sistemas.

Próximo do campo crítico superior (H_{c2}), em presença de forte campo magnético aplicado ($H > 10\text{kOe}$), as contribuições das FT na magnetização, $M(T,H)$ podem ser descritas em termos do formalismo LLL. Em particular, para o caso 3D-LLL, a lei de escala 3D-LLL é dada pela expressão (LEE, 1972; GINSBERG, 1996):

$$\frac{M(T,H)}{(TH)^{2/3}} = f_{\text{LLL}}^{\text{3D}}(Ax) \quad (1)$$

Onde $f_{\text{LLL}}^{\text{3D}}(Ax)$ é uma função de escala 3D da variável $x = [T - T_c(H)]/[TH]^{2/3}$ onde $T_c(H)$ é a temperatura crítica em função do campo magnético aplicado e A é uma variável dependente do campo e da temperatura. Neste cenário, os dados de magnetização reversível $M(T,H)$ podem colapsar em uma única curva quando $M/[TH]^{2/3}$ é plotado em função de $[T - T_c(H)]/[TH]^{2/3}$.

Uma das maneiras de estudar os efeitos das FT sobre a dinâmica dos mecanismos supercondutores dos HTSC empregando suas propriedades magnéticas, consiste em promover substituições químicas na estrutura destes materiais. Em particular, no que tange ao supercondutor YBa₂Cu₃O_{7-δ}, as substituições químicas parciais do Cu por átomos de Zn, Mg ou Ni promovem a

redução de T_c em função da quantidade do dopante empregado. No caso do Cu, este decréscimo se dá em taxas diferentes, o que por si só pode promover alterações significativas nos efeitos produzidos por FT na supercondutividade deste sistema. Desta forma, conscientes destas possibilidades e assim motivados, propomos neste trabalho apresentar e discutir resultados experimentais obtidos a partir da realização de medidas de magnetização em monocristais supercondutores de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ e $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.97}\text{M}_{0.03}\text{O}_{7-\delta}$ ($\text{M} = \text{Zn}, \text{Ni}$ ou Mg).

2. METODOLOGIA

Os monocristais de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (MY), $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.97}\text{Zn}_{0.03}\text{O}_{7-\delta}$ (MZn), $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.97}\text{Mg}_{0.03}\text{O}_{7-\delta}$ (MMg) e $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2.97}\text{Ni}_{0.03}\text{O}_{7-\delta}$ (MNi) foram crescidos pela técnica de auto-fluxo ("flux-growth") (KEESTER, 1988). Para otimizar a T_c das amostras, elas passaram por um processo de oxigenação.

Os monocristais, aqui estudados tiveram suas estruturas cristalográficas analisadas por meio da técnica de difração de raios-X. Observou-se que a adição de 1% de Zn, Mg e Ni em substituição ao sítio do Cu, não provocou a formação de fases espúrias. As propriedades magnéticas dos monocristais foram caracterizadas através de medidas de magnetização em função da temperatura realizadas em um magnetômetro de SQUID (Superconducting Quantum Interferometer Device) do tipo MPMS (Magnetic Properties Measurements System), fabricado pela empresa Quantum Design.

As medidas magnéticas foram realizadas segundo os protocolos M_{ZFC} (Zero Field Cooling) e o M_{FCC} (Field Cooled Cooling). Nas medidas segundo o protocolo M_{ZFC} , a amostra é resfriada a campo nulo, a partir de uma temperatura acima de T_c até baixas temperaturas ($T < T_c$). Na sequência um campo magnético fixo é aplicado. Realiza-se então as medidas do momento magnético em função da temperatura, que é elevada até valores acima de T_c . Já no procedimento M_{FCC} , a amostra é resfriada na presença de um campo magnético fixo, até temperaturas baixas ($T < T_c$). O momento magnético em função da temperatura é medido durante o aquecimento da amostra na presença de campo magnético.

Os campos magnéticos H foram aplicados perpendicularmente ao plano cristalográfico ab dos monocristais, e os valores empregados foram de 10 kOe, 20 kOe, 30 kOe, 40 kOe e 50 kOe.

A temperatura na qual ocorre a separação das curvas M_{ZFC} e M_{FCC} é denominada de temperatura de irreversibilidade magnética (T_{irr}), ou seja, esta temperatura separa a região de comportamento magnético reversível ($T > T_{irr}$) da região de comportamento irreversível ($T < T_{irr}$). Para cada valor de campo magnético aplicado temos um valor de $T_{irr}(H)$. Esta metodologia torna-se importante, uma vez que as funções de escala são válidas apenas na região onde o comportamento da magnetização é reversível, ou seja, para $T > T_{irr}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 apresentamos o comportamento da magnetização em função da temperatura para as amostras (a) MY, (b) MZn, (c) MMg e (d) MNi. Os valores de T_c das amostras MY, MZn, MMg e MNi são: 93.4K, 87.4K, 84.8K e 90.7K, respectivamente. É possível observar na Figura 1, que os dados $M(T,H)$ das amostras estudadas exibem o formato do tipo "leque", onde as inclinações dos dados do $M(T,H)$ não são paralelas entre si. Isto ocorre devido aos efeitos das

flutuações termodinâmicas, a qual também se caracteriza pelo arredondamento da transição normal-supercondutora, quando $M(T,H)$ tende a zero. Este comportamento também é observado em outras amostras estudadas (GINSBERG,1996).

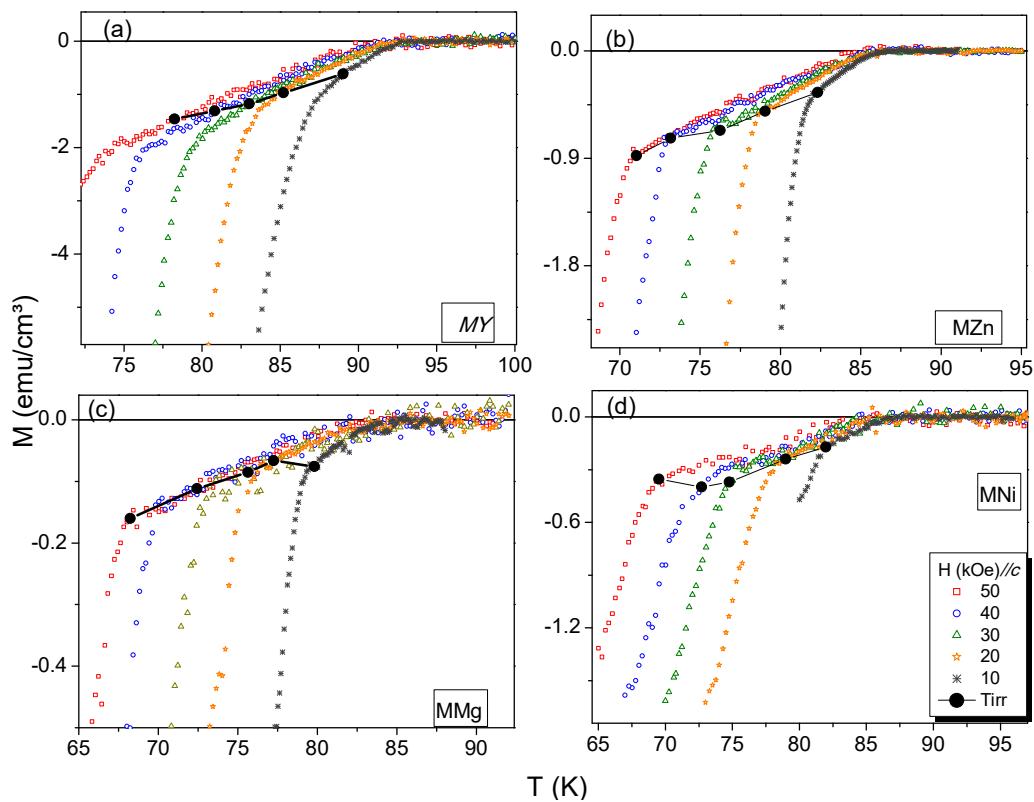


Figura 1: Dados de $M(T,H)$ em função de T para as amostras (a) MY, (b) MZn, (c) MMg e (d) MNi, os valores de campo aplicado estão indicados na legenda.

A Figura 2 exibe os resultados obtidos através da aplicação da função de escala 3D-LLL para os dados $M(T,H)$ das amostras estudadas. Os símbolos representados por círculos fechados representam a $T_{irr}(H)$. Os resultados mostram que os dados de $M(T,H)$ das amostras colapsam aproximadamente em uma única curva quando $H > 10\text{kOe}$ são aplicados. Este resultado está de acordo com outros resultados reportados na literatura para monocristais $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (GINSBERG,1996).

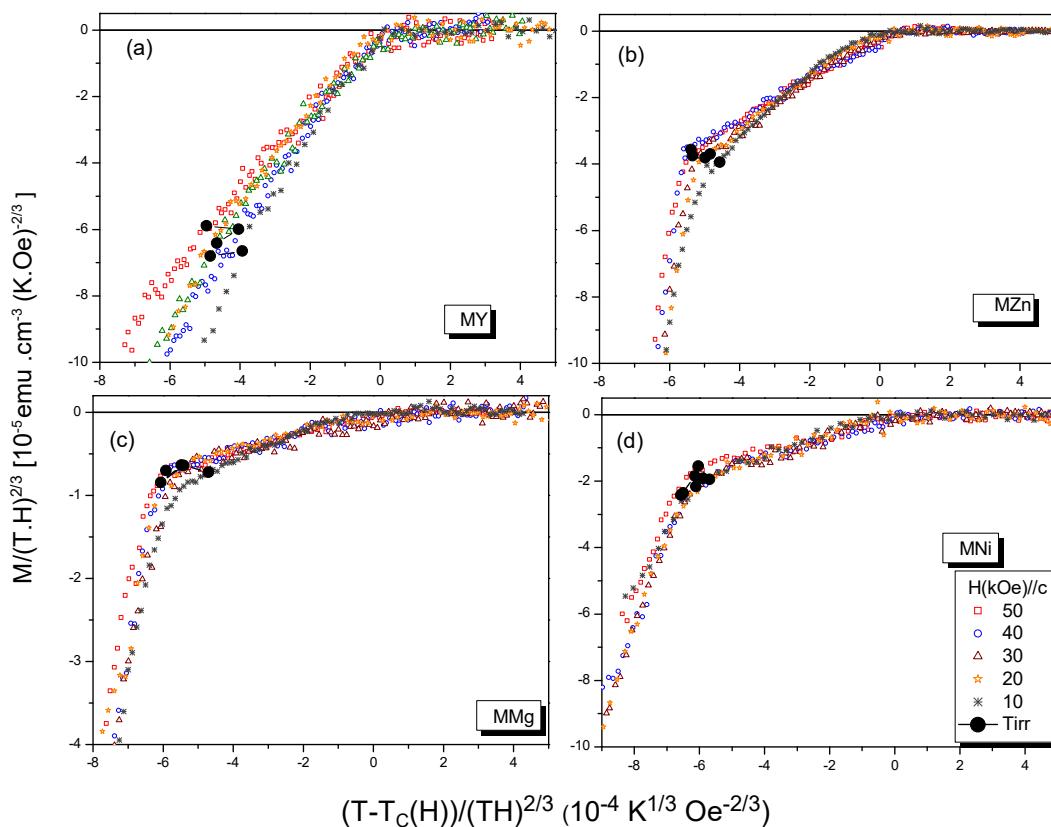


Figura 2: Aplicação da função de escala 3D-LLL empregada nos dados de $M(T,H)$ das amostras (a) MY, (b) MZn, (c) MMg e (d)Mni. Os valores de campo aplicado estão indicados na legenda.

4. CONCLUSÕES

A magnetização reversível das amostras estudadas obedecem à lei de escala 3D-LLL para os valores de campo magnético aplicado ($H>10$ kOe). Estes resultados mostram que a substituição parcial de 1% Zn, Mg e Ni no sítio do Cu não alterou o caráter 3D das flutuações termodinâmicas do sistema $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SALEEM, A.; HUSSAIN, S. T. Review the High Temperature Superconductor (HTSC) Cuprates-Properties and Applications. **Journal of Surfaces and Interfaces of Materials**, Valencia, v. 1, n. 2, p. 97-119, 2013.
- LEE, Patrick A.; SHENOY, Subodh R. Effective dimensionality change of fluctuations in superconductors in a magnetic field. **Physical Review Letters**, American Physical Society, v. 28, n. 16, p. 1025-1028, 1972.
- SALAMON, M. B. et al. XY-like critical behavior of the thermodynamic and transport properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ in magnetic fields near T_c . **Physical Review B**, American Physical Society, v. 47, n. 9, p. 5520-5523, 1993.
- KEESTER, K. L.; HOUSLEY, R. M.; MARSHALL, D. B. Growth and characterization of large $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ single crystals. **Journal of Crystal Growth**, Amesterdã, v. 91, n. 3, p. 295-301, 1988.
- GINSBERG, D. M. **Physical Properties of High Temperature Superconductors** V. Singapore: World Scientific, 1996.