

MEDIDAS DE TRANSPORTE EM SUPERCONDUTORES: CORRENTE CRÍTICA DE SUPERCONDUTORES GRANULARES DE ALTA TEMPERATURA CRÍTICA

W. A. C. Passos(1); E. B. Silva(2)

wagner.passos@univasf.edu.br

(1) Instituto de Pesquisas em Ciência dos Materiais – IPCM, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

(2) Companhia Energética do São Francisco – CHESF
Univasf - Av. Antônio Carlos Magalhães, 510, Country Club, Juazeiro-BA
CEP 48.902-300

RESUMO

O trabalho apresenta um método para obtenção da densidade de corrente crítica de supercondutores granulares. Foram realizadas medidas de transporte elétrico ($\rho_x T$ e $V_x I$) em uma amostra de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ preparada por rota química para a determinação de sua densidade de corrente crítica. Verifica-se um comportamento atípico “tipo-semicondutor” (a resistividade elétrica diminui com o acréscimo da temperatura, acima da temperatura crítica T_c). Tal comportamento compete com o estado supercondutor. Devido a grande fração granular da amostra, esta competição é verificada nas medidas $\rho_x T$, mesmo em baixas temperaturas. As medidas foram feitas em campos aplicados de 0 a 8500 Oe e o mesmo comportamento permanece, mas não influencia no comportamento obtido para a densidade de corrente crítica. Palavras-chaves: supercondutores granulares, densidade de corrente crítica, medidas de transporte elétrico

INTRODUÇÃO

Os supercondutores são utilizados desde a indústria médica até a aeroespacial e, dentre as suas várias aplicações, podemos destacar a sua viabilidade na indústria de energia elétrica, pois estes materiais têm como uma de suas principais características apresentar resistência elétrica nula abaixo de certa temperatura. Assim, a busca por materiais que suportem altas densidades de corrente na maior temperatura possível sem perda da supercondutividade é altamente desejável.

Grande parte das aplicações práticas de um supercondutor de alta temperatura crítica requer materiais que transportem altas densidades de corrente (J)⁽¹⁾. A densidade de corrente crítica J_c é uma grandeza extrínseca, controlada por fatores como microestrutura, tipos de defeitos e suas distribuições. Em muitas situações a introdução de defeitos de maneira bem controlada é desejável, pois pode aumentar a densidade de corrente crítica.

Os cupratos supercondutores são materiais cerâmicos granulares por natureza e, em baixas temperaturas eles se apresentam como aglomerados de grãos supercondutores interligados apenas por elos fracos. Os grãos supercondutores não são necessariamente os grãos cristalinos, mas a granularidade pode ser uma característica intrínseca e, mesmo um monocristal de um supercondutor cerâmico pode ser granular. Os elos fracos geralmente são de uma matriz de grãos anisotrópicos fortemente supercondutores internamente, mas fracamente acoplados entre si⁽²⁾. Deste modo, para que uma corrente elétrica possa fluir num supercondutor granular com resistência nula, é necessário que os grãos supercondutores estejam bem acoplados ao longo de cadeias que atravessam toda a amostra. Uma das características desejadas para um supercondutor é a de que ele possa transportar a maior densidade de corrente sem transacionar para o estado normal, na maior temperatura possível. A maneira mais eficiente de aumentar a densidade de corrente num supercondutor é evitar o movimento dissipativo e viscoso dos fluxóides e isso pode ser obtido com a inserção controlada de defeitos que atuam como centros aprisionadores de fluxóides^(2,3).

Neste trabalho caracterizamos o supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ por meio de medidas de resistividade (ρ) dependente da temperatura (T) e do campo magnético externo (H). O método de preparação dos pós, a temperatura e pressão nos estágios de calcinação e sinterização das amostras volumétricas influencia na formação e ligação entre os grãos⁽⁴⁾. Por meio de Modelos de Estado Crítico (MEC) medidas magnéticas podem ser utilizadas para determinação da densidade de corrente crítica de amostras granulares^(3,5). Mostraremos que medidas diretas de transporte revelam que mesmo em amostras que apresentam transição supercondutora larga e comportamento “tipo-semicondutor” sobreposto à transição (comportamento que não pode ser verificado por meio de medidas magnéticas) a corrente crítica pode ser determinada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O supercondutor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ foi preparado pelo método de Rota Química descrito em detalhes por Deimling⁽⁶⁾. Este método é uma particularidade das chamadas Rotas SOL-GEL. O Método dos Precursores Poliméricos, como também é conhecida a Rota Química, consiste na mistura de sais e óxidos em quantidades estequiometricamente calculadas. Este produto é dissolvido em ácido nítrico e, a

seguir em solução líquida de ácido cítrico. Deste modo, um citrato metálico é formado, ao qual se adiciona etileno glycol, no SOL, uma solução azul cujo pH deve ser controlado até a formação do GEL por evaporação da água. O GEL é decomposto a um sólido por aquecimento a 400°C, sólido este que já se encontra na estequiometria desejada. Ainda várias etapas de calcinações e moagens sucessivas previnem a formação de fases indesejáveis. Então o pó é prensado uniaxialmente a pressão controlada para formar uma amostra mecanicamente estável que é por fim sinterizada. A alta temperatura utilizada na sinterização da amostra volumétrica (950° C por 24 h) levou à formação de um supercondutor com uma transição larga. A caracterização do supercondutor obtido é mostrada a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra preparada tem a formação mostrada nas micrografias apresentadas nas Figuras 1a e 1b (respectivamente, elas foram realizadas com aumentos de 8000x e 800x). Medidas de difração de raios-X não detectaram fases contaminantes (Figura 1c).

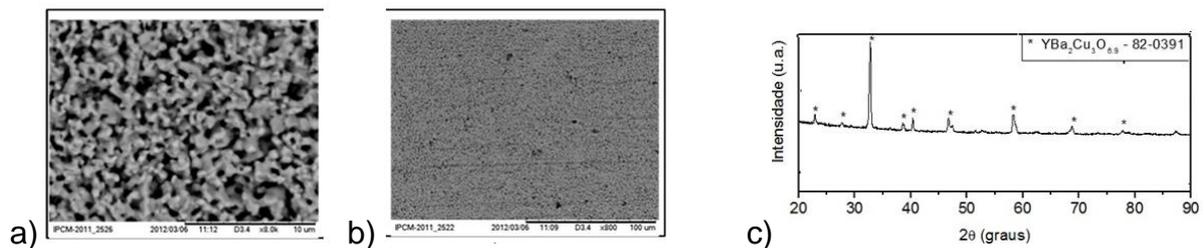


Figura 1: Caracterização estrutural de amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ preparada por Rota Química: a) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) de superfície (8000x); b) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) de superfície (800x); c) Difração de Raios-X

A Figura 2 mostra o resultado de medidas magnéticas de magnetização (M) por temperatura. Pode ser verificado que a amostra apresenta dupla transição, caracterizada por uma primeira transição em baixas temperaturas, em que a parte intergranular deixa de ser supercondutora, e a transição supercondutora dos grãos (intragranular), com temperatura crítica de 90 K. Como pode ser notado, a transição intergranular é altamente dependente do campo magnético aplicado. Além disso, a amostra não apresenta o efeito Meissner completo em baixas temperaturas.

Medidas de resistividade por temperatura (Figura 3) usando a técnica de 4 terminais mostram a transição supercondutora ocorrendo em dois estágios,

intergranular e intragranular. A Figura 3 mostra também um comportamento diferente superposto à transição. Este comportamento pode ser caracterizado como “tipo-semicondutor”, em que a resistividade diminui à medida que a temperatura aumenta. Verificamos também que a transição intergranular é fortemente dependente do campo magnético.

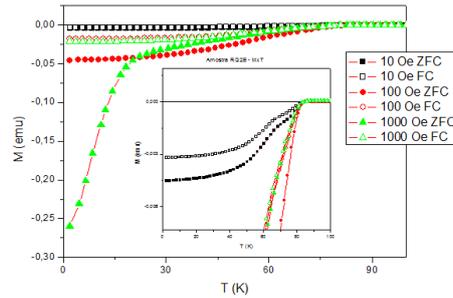


Figura 2: Transição supercondutora do $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ verificada por meio de medidas $M \times T$ para campos de 10, 100 e 1000 Oe.

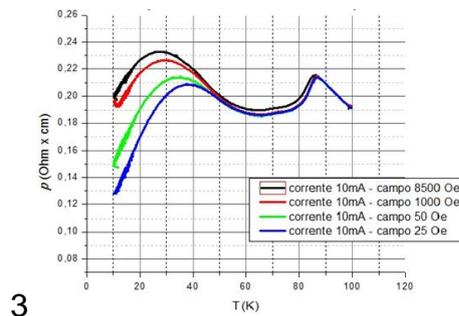


Figura 3: Medida $\rho \times T$ da amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ – Aplicando corrente aplicada I de 10 mA na amostra e fazendo medidas em campos de 25, 50, 1000 e 8500 Oe.

De forma qualitativa, podemos mostrar que o comportamento “tipo-semicondutor” pode ser subtraído da medida de resistividade (Figuras 4a e 4b), quando se extrapola o comportamento da fase normal (acima de 90 K) para temperaturas menores. Vemos que a figura 4b reproduz, pictoricamente, a transição verificada pela medida de magnetização. Isso mostra que o comportamento “tipo-semicondutor” não afetará as medidas de corrente crítica.

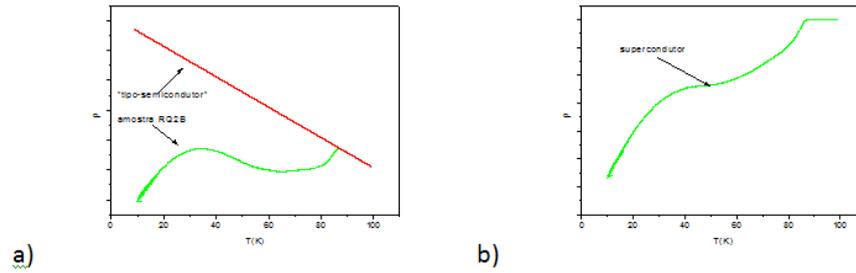


Figura 4: a) medida $\rho \times T$ da amostra de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ e extrapolação linear do comportamento real da amostra na fase normal (acima de T_c); b) comportamento supercondutor da amostra, quando subtraído o comportamento “tipo-semicondutor”.

Por dois métodos diretos distintos a densidade de corrente crítica pode ser determinada. O primeiro é o verificado na Figura 3, em que se mantém campo e corrente aplicada I constantes e se faz uma varredura da temperatura ($\rho \times T$). A partir dessas medidas, para cada corrente, pode-se determinar um ponto da curva da Figura 5. Outro método, não mostrado neste trabalho consiste em manter campo e temperatura constantes e fazer a varredura da corrente aplicada, medindo a tensão na amostra ($V \times I$). Tomando as derivadas das curvas $V \times I$ para cada temperatura, se obtém um ponto da curva da Figura 5. Esses métodos são complementares e o resultado é mostrado na Figura 5.

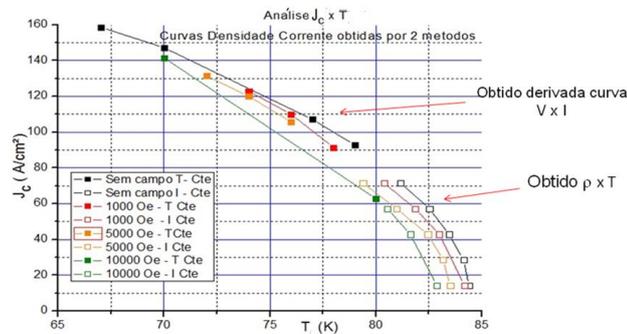


Figura 5: Gráfico $J_c \times T$ considerando 02 métodos de obtenção da curva com I constante ($\rho \times T$) e T constante ($V \times I$)

Não é necessário, por este método, o auxílio de Modelos de Estado Crítico, pois as medidas são realizadas em condições de aplicação, ou seja, com o transporte de corrente elétrica.

CONCLUSÕES

A caracterização magnética (M_xT) e de transporte elétrico (ρ_xT e V_{xl}) são métodos complementares que permitem o estudo de diversas propriedades dos supercondutores. Verificamos que os métodos de medida de J_c são coerentes e dão segurança nos resultados comparativos por técnicas magnéticas e de transporte. Este fato reforça a importância da adoção do método de transporte elétrico em amostras com fração intergranular grande, por ser este um método direto. Além disso, grande parte das aplicações tecnológicas de supercondutores envolve transporte de corrente elétrica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Paulo Noronha Lisboa-Filho, UNESP-Bauru, pela realização das medidas magnéticas, à CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

1. F. Ostermann, & P. Pureur, Supercondutividade. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física: Sociedade Brasileira de Física, 2005. 78 p.
2. W. A. C. Passos et al, Granularity in superconductors: intrinsic properties and processing-dependent effects, *Physica C* 408 (2004) 853.
3. P. N. Lisboa-Filho, C. V. Deimling, W. A. Ortiz, Magnetic response and critical current properties of mesoscopic size YBCO superconducting samples, *Journal of Physics: Conference Series* 200 (2010) 012105
4. M. Motta et al, Heat-treatment effects on the magnetic response of superconducting mesoscopic samples, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 320, 14 (2008) e496
5. T. H. Johansen, H. Bratsberg, Critical-state magnetization of type-II superconductors in rectangular slab and cylinder geometries, *J. Appl. Phys.* 77 (1995) 3945
6. C. V. Deimling, Propriedades Inter e Intragranulares de Amostras Mesoscópicas de $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ preparadas por Síntese Química. 2010. 163 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de São Carlos, 2010.

TRANSPORT MEASUREMENTS IN SUPERCONDUCTORS: CRITICAL CURRENT OF GRANULAR HIGH TC CERAMIC SUPERCONDUCTOR SAMPLES

ABSTRACT

This work presents a method to obtain critical current of granular superconductors. We have carried out transport measurements ($\rho \times T$ curves and V_{xl} curves) in a $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ sample to determine critical current density of it. Some specimens reveal a "semiconductor-like" behavior (electrical resistivity decreases with increasing temperatures above critical temperature T_c of material) competing with superconductor behavior. Due to high granular fraction of the sample, these competition is clearly noted in $\rho \times T$ curves. Measurements carried out from 0 to 8500 Oe of applied field show the same behavior, and the critical current density of the samples is shown

Keywords: Granular superconductors, Critical current density, Electrical transport measurements