

# CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MAGNÉTICAS EM AMOSTRAS SUPERCONDUTORAS PARA APLICAÇÕES NO SETOR DE ENERGIA

Vanessa Reis Moldenhauer <sup>1</sup>, Ana Carolina de Léo Silva <sup>2</sup>, Lia Souza Coelho <sup>3</sup> & Marcelo Azevedo Neves <sup>4</sup>

1. Aluna de Iniciação Científica Bolsista FAPUR (P&D ANEEL SUPERCABO), Discente do Curso de Licenciatura em Física, ICE/UFRRJ; 2. MSc., Discente do Programa de Pós-Graduação (Doutorado) do Instituto de Física Armando Dias Tavares/UERJ; 3. MSc., Discente do Programa de Pós-Graduação (Doutorado) do Instituto de Zootecnia/UFRRJ; 4. Professor do DEFIS/ICE/UFRRJ.

Palavras-chave: supercondutores; curva de magnetização; perdas AC.

## Introdução

O Projeto consiste em realizar uma investigação comparativa do comportamento magnético entre compósitos supercondutores com o material supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (“Y-123”), a saber: fitas supercondutoras de segunda geração (2G) e peças maciças policristalinas. Supercondutores são materiais que podem manifestar resistência elétrica nula e blindagem de campo magnético, sendo de grande interesse científico e tecnológico.

As amostras policristalinas foram preparadas por uma das colaboradoras deste trabalho, A. C. de Léo, usando um método convencional de mistura e reação em estado sólido de óxidos e carbonatos, tal que como resultado o Y-123 forma uma matriz na qual está dispersa a fase  $\text{Y}_2\text{BaCuO}_y$  (“fase verde”). No caso das fitas 2G, foi utilizada uma amostra comercial (empresa SUPERPOWER), na qual o Y-123 consiste em uma camada texturizada (i.e., com alto grau de alinhamento e conexão entre grãos) de  $1 \mu\text{m} \times 4 \text{mm}$ , com inclusões de zircônia em escala nanométrica, depositada sobre um sistema multicamadas para promover sua texturização, e recoberta com prata e por fim com cobre. Nesses materiais supercondutores (classificados como “Tipo-II”), um campo magnético aplicado é anulado por um momento magnético interno que a ele se opõe, até um limite dito campo magnético crítico inferior  $H_{c1}$ . Valores de campo magnético (por aplicação externa ou originados pela corrente transportada) acima de  $H_{c1}$  levam a formação dos chamados “vórtices de Abrikosov”, que podem ser entendidos como nanoestruturas magnéticas dinâmicas (espiras de “supercorrente” com diâmetro da ordem de nanômetros). Sob despacho de potência AC (corrente alternada), os vórtices mudam sua orientação, seguindo a campo magnético que os gerou. O retardo nesta resposta dinâmica é uma medida da chamada “perda AC” em uma amostra deste material, parâmetro este de grande importância para viabilizar o uso destes materiais em sistemas de transmissão de energia. Neste Projeto foram determinadas a temperatura crítica  $T_c$  de transição magnética e as perdas AC, levando em consideração a microestrutura da amostra. Os resultados deste Projeto se articulam com os do Projeto Institucional SUPERCABO (P&D ANEEL-CEMIG-CTEEP-TAESA-TBE-UFRRJ-FAPUR) coordenado pelo Orientador (M. A. Neves).

## Metodologia

Uma primeira etapa consistiu em avaliar a microestrutura da fita 2G e da amostra maciça policristalina, usando microscopia eletrônica de varredura (MEV). Esta etapa foi realizada na UFRRJ/Seropédica (MEV HITACHI TM-3000, no LMDS-Laboratório de Materiais e Dispositivos Supercondutores) e na UNESP/Araraquara (MEV Topcon SM300, no LME-Laboratório de Microscopia Eletrônica). Outra etapa foi a caracterização destas amostras quanto a sua reposta magnética, usando duas técnicas. A primeira foi a medida do momento magnético oposto ao campo aplicado, em função da temperatura, a “curva  $m(T)$ ”, para determinar a temperatura crítica  $T_c$  em que o estado de supercondutividade se manifesta sob presença de campo magnético. A segunda técnica foi a obtenção da curva de histerese da magnetização em função do campo aplicado, “curva  $M(H)$ ”. Ambas as medidas foram realizadas em magnetômetros disponibilizados pelo CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro.

## Resultados e Discussão

O conjunto de resultados consiste em: imagens das microestruturas usando MEV, curvas  $m(T)$  e curvas  $M(H)$ . De forma representativa deste conjunto de resultados, apresenta-se na figura 1 algumas microscopias das amostras, e na figura 2 se apresenta uma das medidas magnéticas, a saber a de momento magnético  $m(T)$  em duas condições: ZFC (“*zero field cooled*”), condição esta em que a amostra é esfriada com campo desligado, o qual é depois ligado e a medida é realizada enquanto a amostra aquece; e FC (“*field cooled*”), condição na qual a amostra é esfriada na presença de campo.

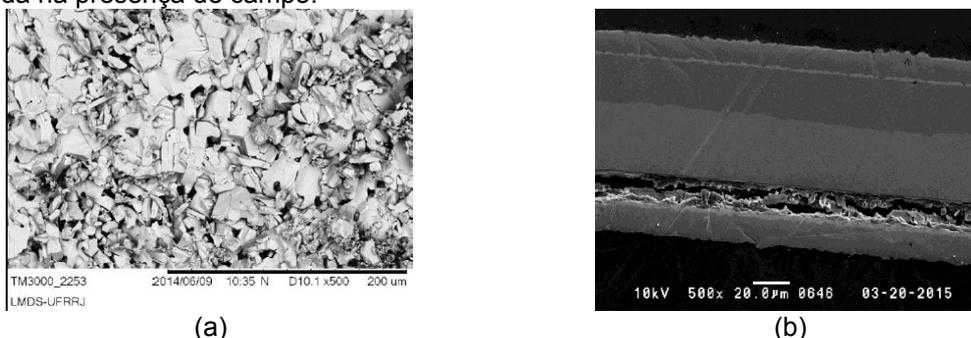


Figura 1: (a) Amostra policristalina; (b) Fita 2G.

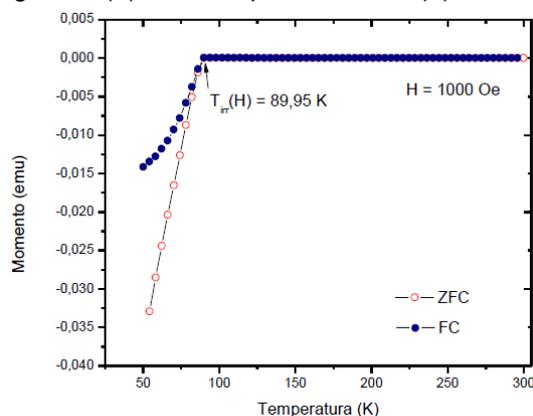


Figura 2: Curva do momento magnético  $m(T)$  para a amostra policristalina.

Os resultados obtidos demonstraram que o material supercondutor no formato das fitas 2G tem resposta diferenciada das amostras em estado policristalino, dadas as diferenças em conexão entre grãos e ao fator de desmagnetização (que depende do formato geométrico do volume supercondutor nas amostras).

## Conclusão

As fitas 2G e as amostras policristalinas apresentaram comportamentos diferenciados, sendo o material supercondutor, em cada tipo de amostra, com microestrutura diferente. Nas fitas 2G é notória a presença da texturização. Foi possível realizar o levantamento dos parâmetros críticos nas fitas 2G que serão utilizadas no projeto institucional P&D ANEEL SUPERCABO da UFRRJ com CEMIG, CTEEP, TAESA, TBE e FAPUR.

## Referências Bibliográficas

- OSTERMANN, F.; PUREUR, P. Supercondutividade. São Paulo: Livraria da Física, 2005.  
DUNLAP, R. A. Experimental Physics: modern methods. Oxford: Oxford University Press, 1988.  
IEC, International Standard IEC 61788-13, Superconductivity – Part 13: AC loss measurements – Magnetometer methods for hysteresis loss in superconducting multifilamentary composites, Ed. 2.0, Genebra: International Electrotechnical Commission, 2012.