

## ESTUDO DA RELAXAÇÃO MAGNÉTICA ANÔMALA EM AMOSTRAS SUPER- CONDUTORAS TEXTURIZADAS DE $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

CRISTIANO GONÇALVES PORTO<sup>1</sup>; FÁBIO TEIXEIRA DIAS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [cgporto13@gmail.com](mailto:cgporto13@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [diasft@gmail.com](mailto:diasft@gmail.com)

### 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da relaxação magnética anômala no supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  texturizado e dopado com  $\text{Y}_2\text{Ba}_1\text{Cu}_1\text{O}_5$  (fase verde) e óxido de cério.

O fenômeno conhecido como supercondutividade tem como principais características o efeito Meissner e a resistividade nula. O efeito Meissner é a expulsão do fluxo magnético no interior do supercondutor, apresentando assim um efeito diamagnético perfeito (PUREUR; OSTERMANN, 2005). Devido a grande possibilidade de aplicações tecnológicas e desenvolvimento científico a supercondutividade vem sendo foco de diversas pesquisas desde sua descoberta por Heike Kamerlingh Onnes, em 1911. Os supercondutores são classificados como de baixa temperatura crítica ou de alta temperatura crítica. Supercondutores de alta temperatura crítica apresentam, em seu diagrama de fases, o estado misto, onde o fluxo magnético penetra parcialmente a amostra na forma de vórtices.

A relaxação magnética em supercondutores é consequência de um estado de não equilíbrio dos vórtices. A reorganização dos vórtices resulta na variação do momento magnético em função do tempo (GOUVÊA, 2012).

A resposta esperada pela relaxação magnética em um supercondutor é um momento magnético negativo, devido seu carácter diamagnético. Questiona-se então a anomalia apresentada durante a relaxação magnética em amostras de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , por esta apresentar um efeito paramagnético. Não há uma explicação definitiva para o paramagnetismo em amostras de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . No entanto, existem modelos propostos pela literatura para explicar esta anomalia, conhecida como Efeito Meissner Paramagnético (PME) (GARCIA, 2015).

Se faz relevante a compreensão do PME devido sua relevância científica e suas consequências nas aplicações tecnológicas deste supercondutor, como por exemplo, na levitação magnética e na ressonância magnética nuclear.

### 2. METODOLOGIA

A análise realizada neste trabalho utilizou medidas experimentais de relaxação magnética. Estas foram realizadas para diferentes campos magnéticos e diferentes amplitudes de oscilação da amostra dentro do equipamento. A amostra utilizada é constituída de 69%  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , dopado com 30% de fase verde e 1% de óxido de cério, a amostra foi crescida pelo método de top seeding melt-texturing (SALAMA; LEE, 1994). As medidas foram realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e enviadas para o Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo da UFPEL.

Para a análise dos dados de relaxação magnética foi usado o software Qtiplot onde “plotamos” o momento magnético em função do tempo. Para verificar o comportamento resultante do momento magnético em função do tempo utilizamos o “assistente de ajuste”.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da relaxação magnética estudada neste trabalho podemos observar uma possível dependência entre a amplitude de oscilação das amostra no aparelho e o efeito paramagnético durante a relaxação magnética. O efeito Meissner Paramagnético pode ser observado na Figura 1, onde verificamos um carácter paramagnético devido ao momento magnético da amostra supercondutora ser positivo.

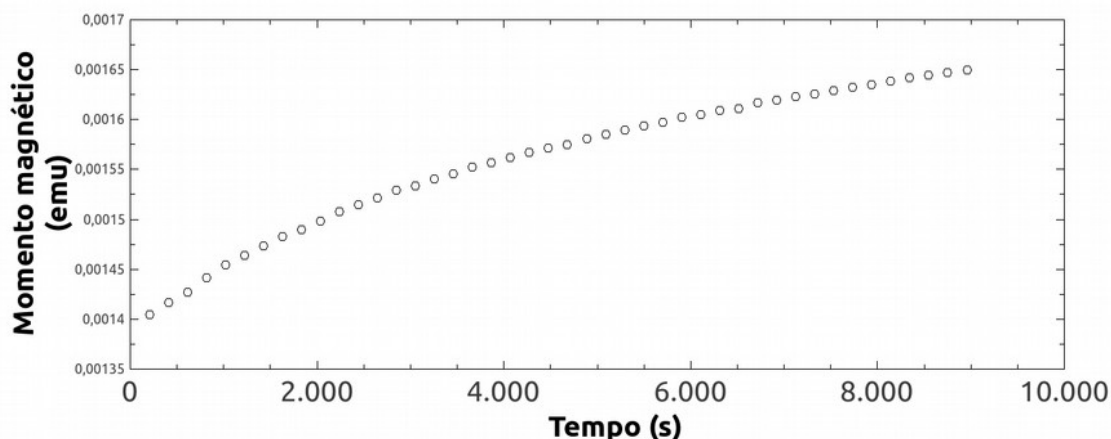


Figura 1: Gráfico do momento magnético em função do tempo com campo magnético aplicado de 1T e amplitude de oscilação da amostra igual a 4cm.

O resultado obtido no gráfico da Figura 1 foi comparado com o trabalho de GARCIA(2015) que sugere como modelo de explicação do PME o processo de *flux creep* combinado com a compressão do fluxo magnético na amostra ou o aprisionamento do fluxo magnético no interior da amostra devido a sua geometria. Os ajustes dos dados de relaxação magnética na Figura 1 estão representado na Figura 2 pela linha vermelha como uma exponencial associada e pelas linhas azul e verde como exponenciais simples.

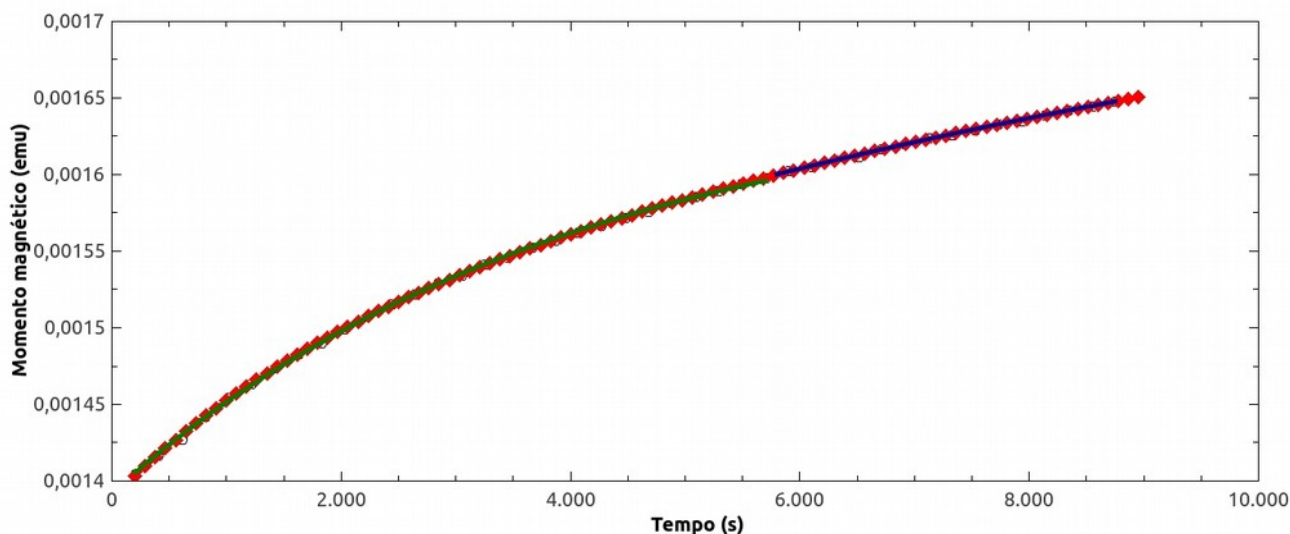


Figura 2: Gráfico do momento magnético em função do tempo com ajuste exponencial associado em vermelho e ajustes exponenciais simples em verde e azul.

Utilizamos uma função exponencial associada, descrita pela equação 1, para um ajuste experimental dos dados de relaxação magnética. Representada na Figura 2 pela linha vermelha.

Eq: 
$$M = y_0 + A_1 e^{\left(\frac{-t}{t_1}\right)} + A_2 e^{\left(\frac{-t}{t_2}\right)} \quad (1)$$

Na equação 1  $y_0$  é o momento magnético inicial,  $A_1$  e  $A_2$  são constantes e  $t_1$  e  $t_2$  são tempos característicos das medidas. Os valores encontrados pelo software para os parâmetros de ajuste estão apresentados na Tabela 1.

Parâmetros	Valores	Erro
$y_0$	$1,85764441 \times 10^{-3}$	$\pm 9,17065132 \times 10^{-5}$
$A_1$	$-3,67717860 \times 10^{-4}$	$\pm 6,88857860 \times 10^{-5}$
$A_2$	$-1,01292073 \times 10^{-4}$	$\pm 2,26809468 \times 10^{-5}$
$t_1$	$1,54483921 \times 10^4$	$\pm 6,73946889 \times 10^3$
$t_2$	$1,93901355 \times 10^3$	$\pm 2,75017322 \times 10^2$

Tabela 1: Parâmetros de ajuste da função exponencial associada para a relaxação magnética.

Devido a diferença na ordem de grandeza de  $t_1$  e  $t_2$  foi sugerido um comportamento de dois regimes diferentes. Descritos por uma função exponencial simples, observada pelas linhas verde e azul, e descritas pela equação 2.

Eq: 
$$M = y_0 + A_1 e^{\left(\frac{-t}{t'}\right)} \quad (2)$$

Onde  $t'$  é o tempo característico das medidas,  $y_0$  é a magnetização inicial e  $A_1$  é uma constante. Os valores encontrados para os parâmetros utilizando a equação 2 estão na Tabela 2.

Parâmetros	Valores	Erro
$y_0$ (Verde)	$1,66046594 \times 10^{-3}$	$\pm 3,31151262 \times 10^{-6}$
$y_0$ (Azul)	$1,79210472 \times 10^{-3}$	$\pm 4,78732757 \times 10^{-5}$
$A_1$ (Verde)	$-2,68305034 \times 10^{-4}$	$\pm 2,78422996 \times 10^{-6}$
$A_1$ (Azul)	$-3,35955924 \times 10^{-4}$	$\pm 2,91301393 \times 10^{-5}$
$t'$ (Verde)	$3,99485991 \times 10^3$	$\pm 9,62389274 \times 10^1$
$t'$ (Azul)	$1,03541915 \times 10^4$	$\pm 2,98439010 \times 10^3$

Tabela 2: Parâmetros de ajuste das funções exponenciais simples para a relaxação magnética.

Comparando os valores identificados para o tempo característico  $t'$  e os tempos  $t_1$  e  $t_2$ , observamos que o tempo para cada ajuste exponencial simples tem a mesma ordem de grandeza dos tempos constatados no ajuste exponencial

associado. Interpreta-se a separação destes dois regimes na relaxação magnética como diferentes dinâmicas de vórtices na amostra. O primeiro regime como sendo um regime devido a dinâmica dos vórtices de Josephson e o segundo devido a dinâmica dos vórtices de Abrikosov. Acredita-se que a relaxação magnética tem um primeiro regime relacionado ao movimento de vórtices de Josephson devido a região intergranular apresentar maior facilidade para a penetração do fluxo magnético. Com o aumento da densidade de fluxo magnético relacionado ao movimento dos vórtices na região intergranular a amostra passa a admitir o fluxo magnético na região intragranular, favorecendo assim um segundo regime, onde predomina a dinâmica de vórtices de Abrikosov. A compressão do fluxo magnético associada a diferença entre os regimes de movimentação dos vórtices pode resultar em uma relaxação magnética anômala em amostras  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  texturizado.

#### 4. CONCLUSÕES

O efeito Meissner paramagnético observado durante a relaxação magnética pode ser interpretado através do modelo de compressão do fluxo, onde devido a um resfriamento inhomogêneo da amostra sua superfície se torna supercondutora antes do centro, assim comprimindo o fluxo magnético no interior da amostra. A divisão da relaxação magnética em dois regimes de vórtices indica a transformação temporal de um regime predominado pela dinâmica de vórtices de Josephson, intergranular, em um regime predominado pela dinâmica de vórtices de Abrikosov, intragranular.

Como perspectivas futuras pretende-se realizar medidas de relaxação magnética em amostras  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  texturizado crescidas no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo da UFPel. A partir destas amostras serão investigadas a anomalia na relaxação magnética, o efeito Meissner paramagnético e suas relações com a texturização e as dopagens no supercondutor  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PUREUR, P. OSTERMANN, F. **Supercondutividade**. Brasil: Editora Livraria da Física, 2005.

SALAMA, K. and LEE, O.F., Progress in Melt Texturing of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  Superconductor, **Supercond. Sci. Technol.**, 1994, vol. 7, pp. 177–193.

GARCIA, E.L. **Estudo da relaxação magnética em supercondutores de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  que exibem o efeito Meissner paramagnético**. 2015. Dissertação (Mestrado em Física). Programa de Pós-graduação em física, Universidade Federal de Pelotas.

GOUVÊA, C.P. **Estudo da microestrutura e da relaxação magnética em supercondutores de  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  texturizado**. 2012. Dissertação (Mestrado em Física). Programa de Pós-graduação em física, Universidade Federal de Pelotas.