

# SUPERCONDUTORES E ISOLANTES TOPOLÓGICOS: Férmions de Majorana

Raphael A. Silva e Yakov V. Kopelevich

INSTITUTO DE FÍSICA “GLEB WATAGHIN”, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

Agência Financiadora: PIBIC/CNPq

**Palavras-chave:** Supercondutores – Isolantes – Topológicos

## Resumo

No presente trabalho estudamos as propriedades elétricas e magnéticas de ligas de  $[\text{Bi}_{(1-x)}\text{Sb}_{(x)}]_{(y)}\text{Z}_{(1-y)}$ , sendo Z um elemento dopante, x e y porcentagens estequiométricas dos elementos. O principal objetivo do projeto foi a indução de características supercondutoras nessas ligas. Durante o desenvolvimento das atividades de pesquisa, foram obtidos resultados indicando a presença de supercondutividade em amostras de BiSb dopado com Au. A investigação desses resultados mostrou que a fase supercondutora estava relacionada somente aos elementos Sb e Au. Concentramos nossos estudos em amostras do tipo  $\text{Sb}_{(1-x)}\text{Au}_{(x)}$ , com  $0 < x < 0.1$ . Medidas de magnetização mostraram o surgimento de uma transição supercondutora com  $T_c$  em torno de 4.5 K, revelando-se um supercondutor do tipo II, com uma fração supercondutora inferior a 0,05 % do volume da amostra. Uma pesquisa na literatura não indicou a existência de um material conhecido composto pelos elementos utilizados que possuísse  $T_c$  na vizinhança de 4.5 K.

## Motivação

- Estudar a possível ocorrência de deslocamento de estados de superfícies topológicas em amostras de  $\text{Bi}_{(1-x)}\text{Sb}_{(x)}$  dopadas com Au, baseando-se em recentes trabalhos com amostras de  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  [M. Ye, arXiv: 1112.5869v1, 26 dec2011].
- Induzir estado de supercondutividade em amostras de SbAu, efetuando medidas de susceptibilidade magnética para caracterização.

## Metodologia

A preparação das amostras consistiu na compactação de grãos de pó dos elementos químicos constituintes da liga  $\text{Sb}_{(x)}\text{Au}_{(1-x)}$ . Essas amostras foram pastilhadas e seladas em tubos de quartzo em atmosfera de argônio e em seguida submetidas a tratamentos térmicos visando a fusão dos elementos para a formação de ligas.

A caracterização das amostras foi feita através de difratometria de raios X, medidas de susceptibilidade magnética em um magnetômetro SQUID, em temperaturas entre  $2 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$  e campos de até 7 T. Também foram realizadas medidas de transporte elétrico em um criostato Janis em temperaturas entre  $2 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$  e campos magnéticos de até 7 T.

## Resultados

Foram encontradas transições supercondutoras nas medidas de susceptibilidade magnética em temperaturas em torno de 4.5 K. A fim de se verificar os resultados, cresceram-se amostras do tipo  $\text{Sb}_{(1-x)}\text{Au}_{(x)}$  com diferentes estequiometrias ( $x = 0.1$  e  $x = 0.01$ ). Todos os resultados mostraram uma transição tipo supercondutora com  $T_c \approx 4.5 \text{ K}$  em todas as amostras, dependendo fracamente de x e do tratamento térmico. Os resultados do trabalho estão condensados na tabela I. Os dados da tabela são ilustrados nas figuras subsequentes.

Tabela I – Amostras de SbAu

Amostra	Estequiometria		Fração Supercondutora	Tratamento térmico
	Sb	Au		
1	0.99	0.01	$2.50 \times 10^{-4}$	1
2	0.88	0.12	$1.62 \times 10^{-4}$	1
3	0.99	0.01	$1.04 \times 10^{-4}$	2
4	0.90	0.10	$1.48 \times 10^{-4}$	2

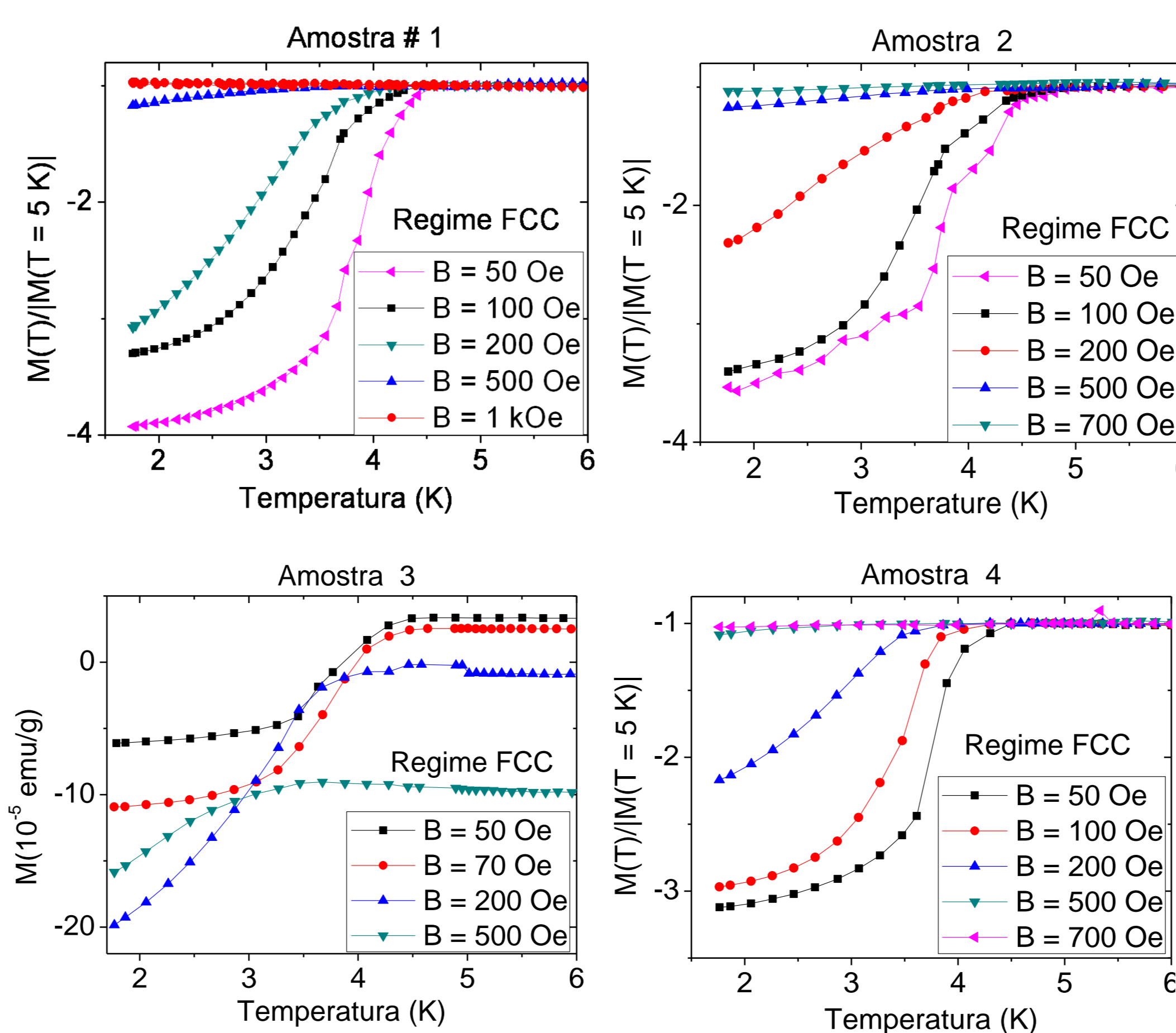


Figura 1 – Medidas de  $M \times T$  para  $\text{Sb}_{(0.99)}\text{Au}_{(0.01)}$ ,  $\text{Sb}_{(0.88)}\text{Au}_{(0.12)}$ ,  $\text{Sb}_{(0.99)}\text{Au}_{(0.01)}$  e  $\text{Sb}_{(0.9)}\text{Au}_{(0.1)}$  nessa ordem. O eixo y foi normalizado pelo momento magnético em  $T = 5 \text{ K}$  para facilitar a visualização, exceto para a amostra 3. Note a transição supercondutora em torno de 4.5 K suprimida pelo campo magnético.

A figura 2 apresenta os difratogramas das amostras 2 e 4. A presença do  $\text{Sb}_2\text{Au}$  na amostra 2 confirma a formação de uma nova estrutura cristalográfica. Nenhuma correlação entre a presença de supercondutividade e a formação dessa nova estrutura foi observada.

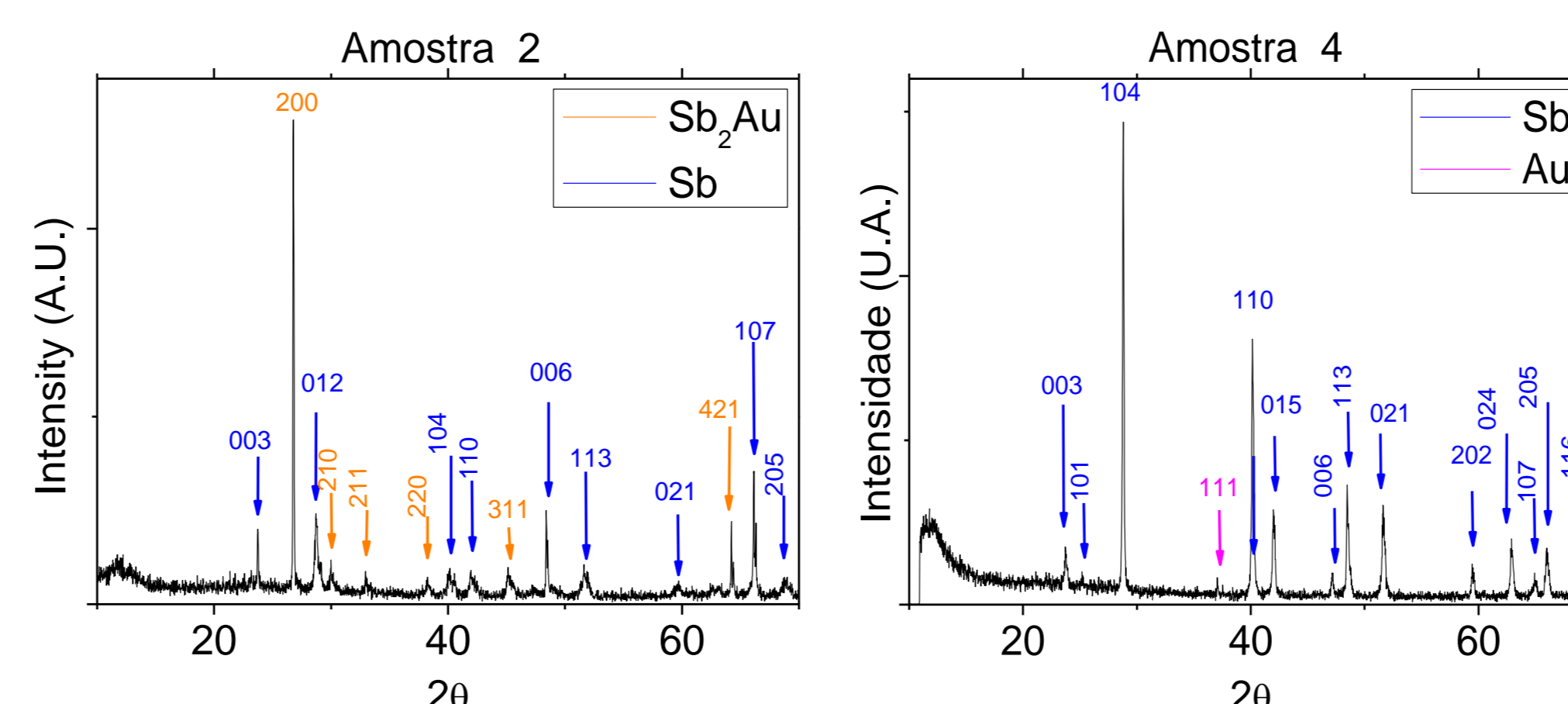


Figura 2 – Difratogramas das amostras 2 e 4. Cada cor determina um elemento ou uma nova estrutura cristalográfica presente na amostra.

Ciclos de histerese realizados para as amostras apontaram supercondutividade do tipo II. Para ilustrar os resultados, mostra-se a curva obtida para a amostra 2 (figura 3). Pode-se ver que o valor do momento apresenta a assinatura de um supercondutor do tipo II, com  $H_{c1}$  em torno de 130 Oe.

A figura 4 apresenta o diagrama de fases de H em função de  $T_c$ . Os dados foram fitados segundo a relação empírica:

$$H(T) = H_{c2}(T=0) \left[ 1 - \left( \frac{T(H)}{T_c(H=0)} \right)^2 \right]$$

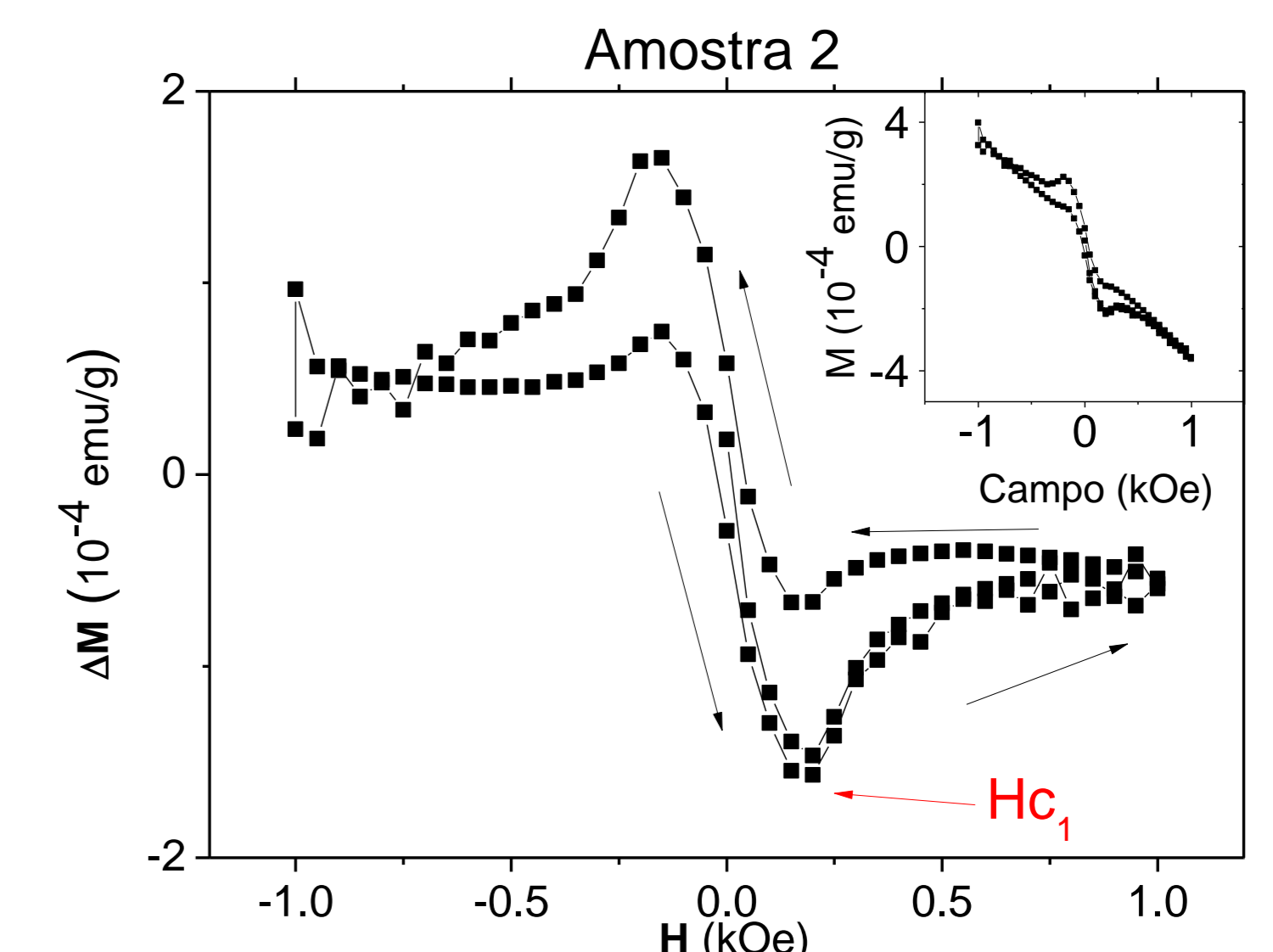


Figura 3 – Curva de  $\Delta M$  vs H em  $T = 2 \text{ K}$  para a amostra 2 após subtração do background diamagnético; o inserto do gráfico mostra os dados originais.

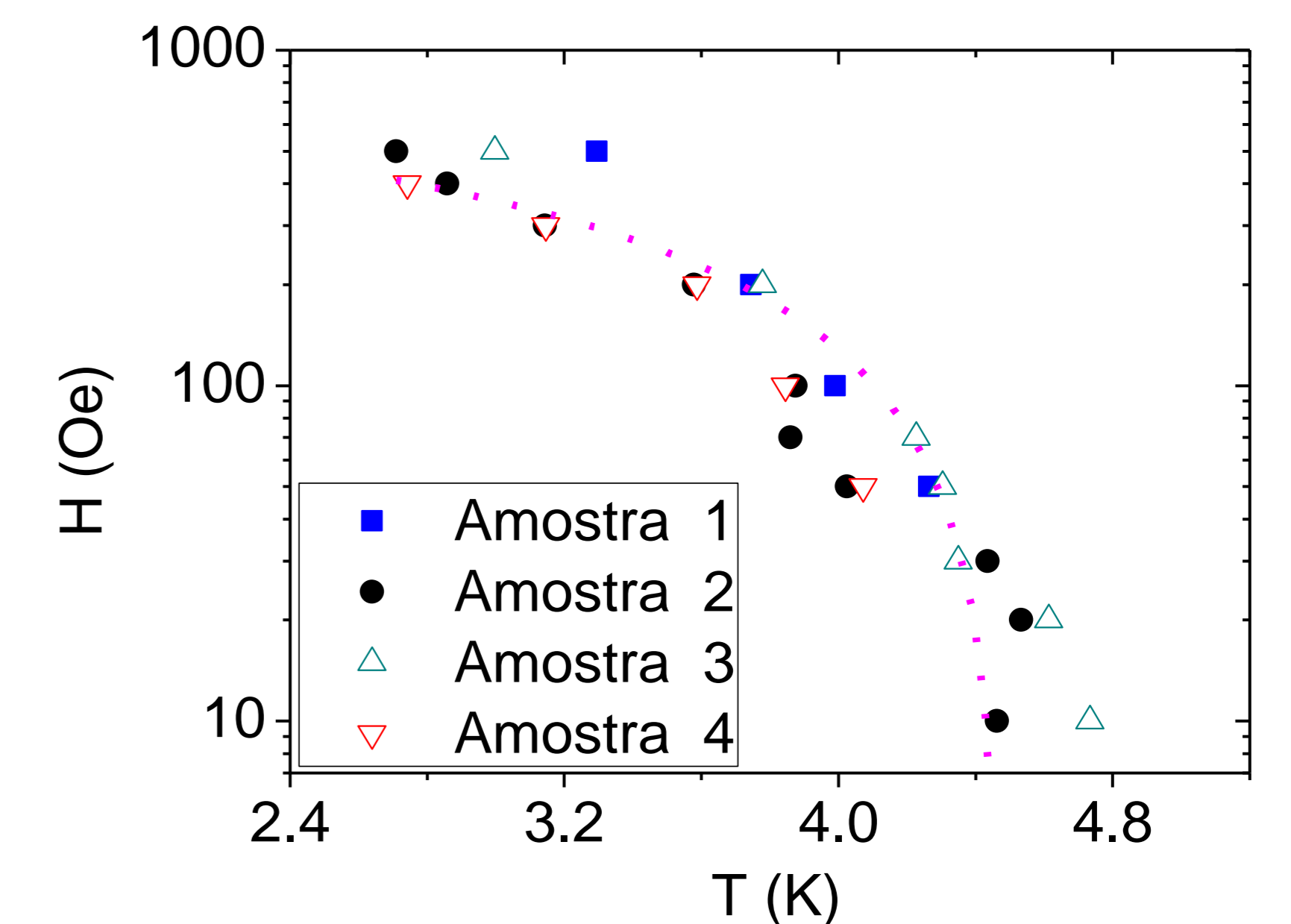


Figura 4 – Diagramas H vs T (temperatura de transição) para as amostras de SbAu medidas. A linha pontilhada define os limites da região supercondutora no diagrama de fase.

## Conclusão

- Observação de transição supercondutora em amostras de SbAu, por volta de 4.5 K.
- Assinatura de um supercondutor do tipo II, com  $H_{c2} \approx 650 \text{ Oe}$ .
- Inexistência de correlação clara entre a ocorrência de ligas BiSb e o estado supercondutor: supercondutividade possivelmente devida à interface entre Sb e Au.