

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 $[Bi_xSb_{(1-x)}]_yZ_{(1-y)}$, 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 $Sb_{(1-y)}Au_y$, com $0 < y < 0.9$. 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 $Bi_{(1-x)}Sb_x$ dopadas com Au, baseando-se em recentes trabalhos com amostras de Bi_2Se_3 [M. Ye, arXiv: 1112.5869v1, 26 dec2011].
- Induzir estado de supercondutividade em amostras de $Sb_{(1-y)}Au_y$, 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 $Sb_{(1-y)}Au_y$, com $0 < y < 0.9$. 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 K < T < 300 K e campos de até 7 T. Também foram realizadas medidas de transporte elétrico em um criostato Janis em temperaturas entre 2K < T < 300K 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, em compostos de $Sb_{(1-y)}Au_y$, para valores de $y < 0.35$. O supercondutor tem a assinatura do tipo II, com H_{c2} estimado em torno de 650 Oe. Observou-se uma baixa fração supercondutora nas amostras abaixo dessa porcentagem estequiométrica, não exibindo uma clara dependência com as concentrações de ouro ou mesmo com a presença de ligas metálicas. Para o intervalo de concentrações $0.5 < y < 0.7$ foi observada a ocorrência de supercondutividade reentrante entre as temperaturas $3.5 < T < 4.5$ K. Para $y > 0.7$, o estado supercondutor é gradativamente suprimido.

Tabela I – Amostras de $Sb_{(1-y)}Au_y$

Amostra	Valor teórico de y	Estequiometria		Massa (g)
		Sb	Au	
#1	0.1	0.93	0.07	0.47327
#2	0.2	0.82	0.18	0.48462
#3	0.3	0.73	0.27	0.47548
#4	0.35	0.65	0.35	0.34199
#5	0.4	0.63	0.37	0.47326
#6	0.45	0.54	0.46	0.41556
#7	0.5	0.52	0.48	0.40300
#8	0.7	0.12	0.88	0.43630
#9	0.9	0.1	0.9	0.24010
#10	0.01	0.99	0.01	0.47632
#11	0.1	0.88	0.12	0.44258
#12*	0.01	0.99	0.01	0.42369

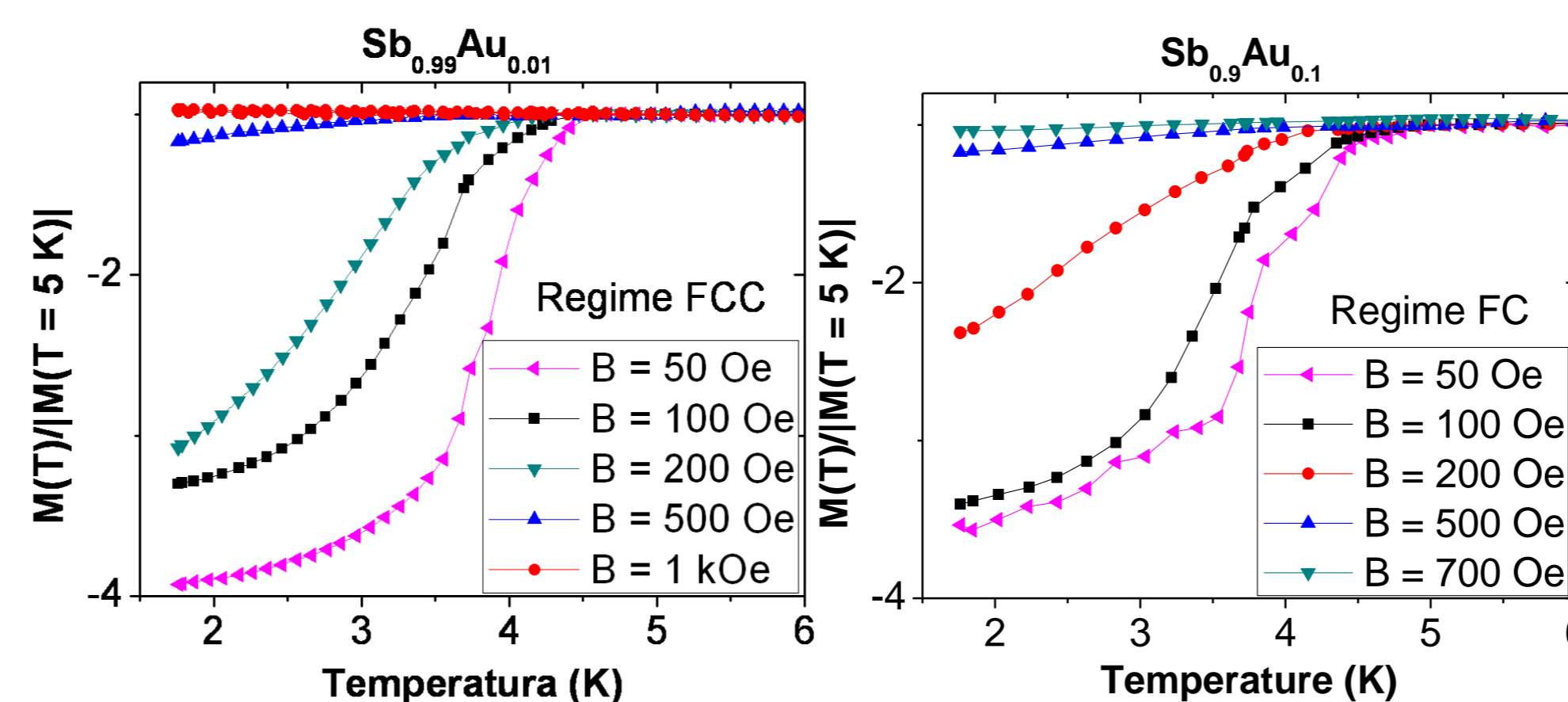


Figura 1 – Medidas de magnetização vs temperatura para as amostras $Sb_{0.99}Au_{0.01}$ e $Sb_{0.9}Au_{0.1}$. Para facilitar a visualização, o eixo y foi normalizado pela magnetização em $T = 5$ K. Os gráficos indicam a presença de uma transição supercondutora com $T_c \approx 4.5$ K.

A figura 2 apresenta os difratogramas dessas mesmas amostras. Eles mostram os picos característicos do elemento Sb, de Au e da liga Sb_2Au , indicados pelas setas. A fração supercondutora observada nas amostras aparentemente não depende da ocorrência de estruturas cristalinas relacionadas ao composto Sb_2Au .

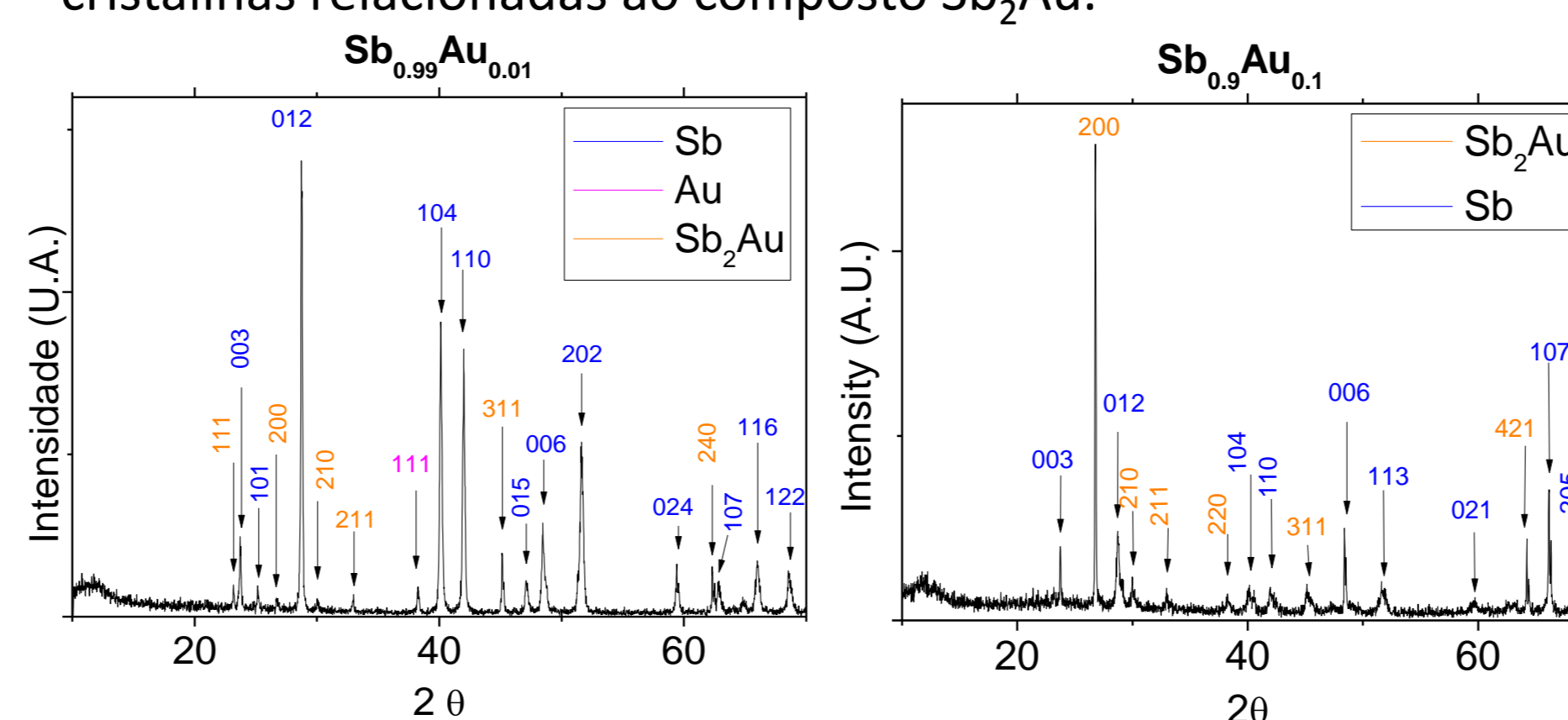


Figura 2 – Difratogramas das amostras $Sb_{0.99}Au_{0.01}$ e $Sb_{0.9}Au_{0.1}$. Note a presença da liga Sb_2Au .

Um loop de histerese realizado em uma temperatura fixa de 2 K pode ser observado no gráfico da figura 3 para a amostra $Sb_{0.9}Au_{0.1}$. Nele, observa-se a resposta da magnetização da amostra diante da aplicação do campo magnético, subtraído o background diamagnético do material.

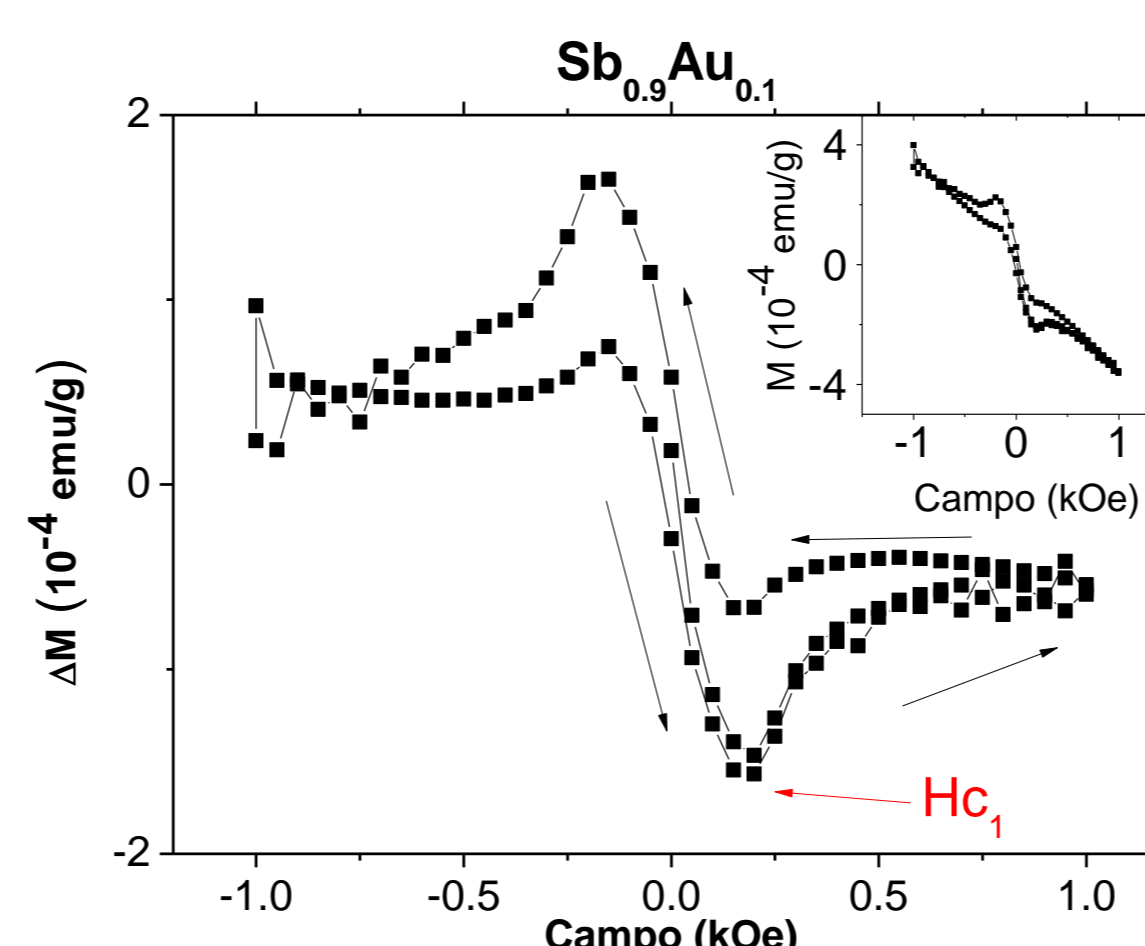


Figura 3 – Curva de ΔM vs H em $T = 2$ K para a amostra de 10% estequiométrico de Au após subtração do background diamagnético; o inset do gráfico mostra os dados originais.

Na figura 4 é apresentado um diagrama de fase, construído a partir das medidas de susceptibilidade de quatro amostras (amostras #1, 10, 11 e 12 da tabela 1). Aumentando-se a concentração de Au nas amostras acima de 35%, observa-se o surgimento de uma transição magnética no intervalo de temperaturas $3.5 < T < 5$ K, caracterizada pela ocorrência de uma pequena histerese na curva de magnetização (fig.5)

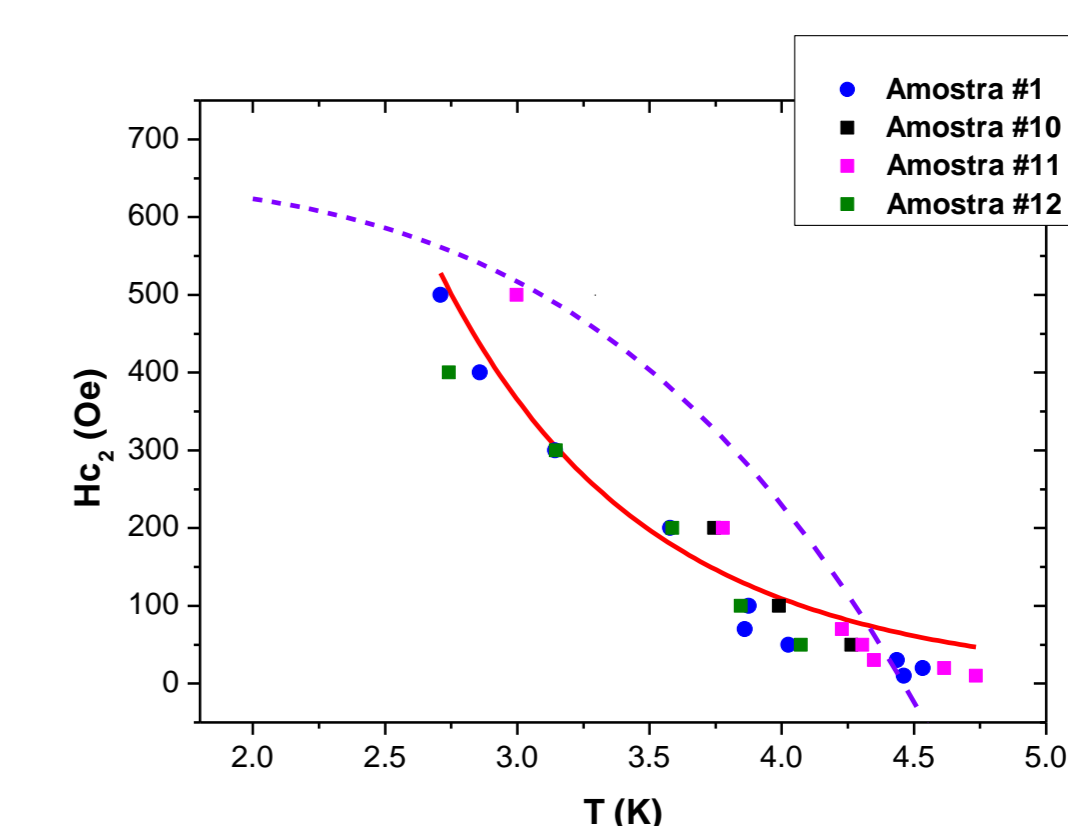


Figura 4 – Diagramas H vs T (temperatura de transição) para as amostras de SbAu medidas. A linha pontilhada define os limites da região supercondutora no diagrama de fase.

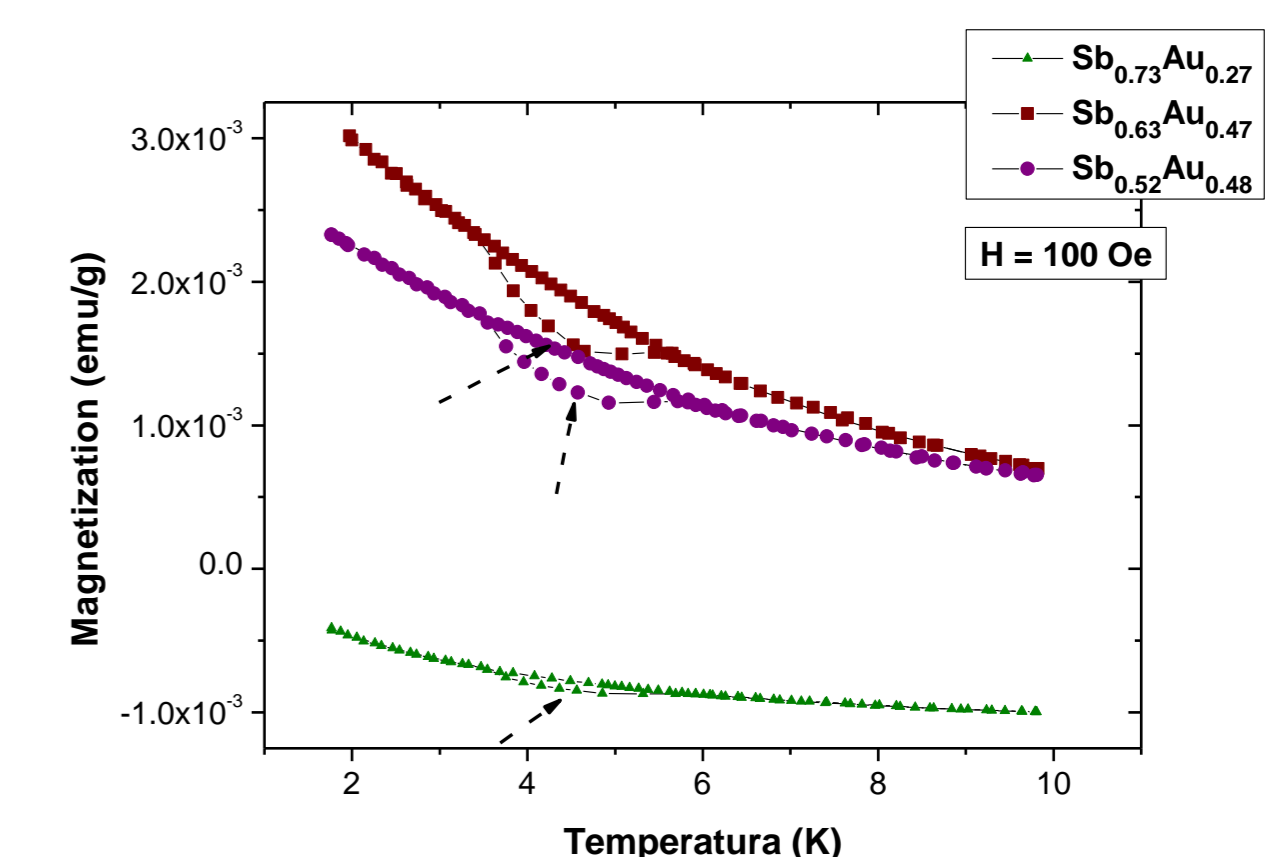


Figura 5 – M(T) das amostras #3, #5 e #7 para $H = 1$ T, numa faixa $2K < T < 10K$. Ocorre a presença de uma aparente curva de transição magnética em torno de 5K, denotada pela histerese.

Abaixo, um novo diagrama de fases condensa todos os resultados obtidos para o composto $Sb_{(1-y)}Au_y$, mostrando T_c em função de y. Vemos a ocorrência de um estado supercondutor para $y < 0.35$, seguido de uma fase supercondutora reentrante no intervalo $0.5 < y < 0.7$.

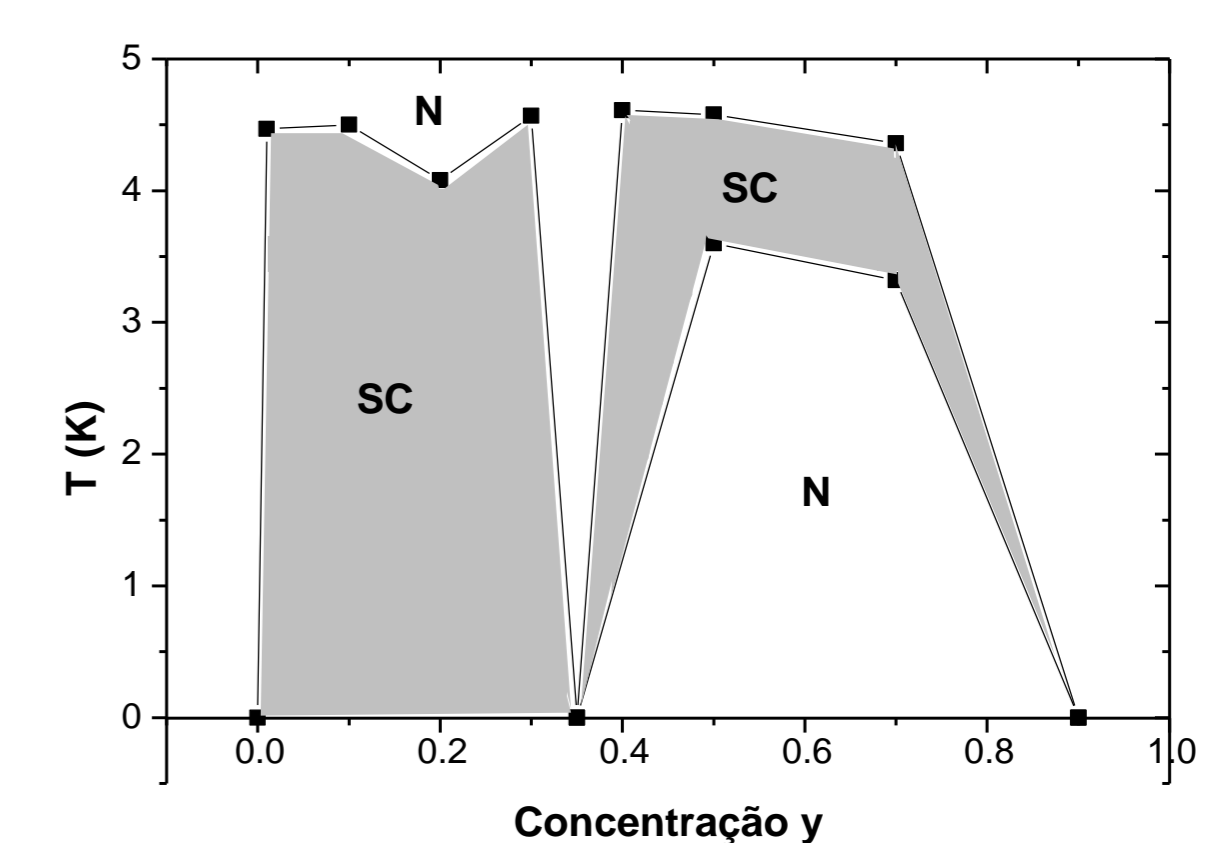


Figura 20 – Esboço do diagrama de fases mostrando os intervalos em que a amostra apresenta comportamento supercondutor em função da concentração de Au no material. Os pontos pretos definem resultados experimentais.

Conclusão

- Observação de transição supercondutora em amostras de SbAu, por volta de 4.5 K, para concentrações de $y < 0.35$.
- Assinatura de um supercondutor do tipo II, com $H_{c2} \approx 650$ Oe.
- Ocorrência de supercondutividade reentrante para $0.5 < y < 0.7$ entre as temperaturas $3.5 < T < 4.5$ K.
- Inexistência de correlação clara entre a ocorrência de ligas BiSb e o estado supercondutor: supercondutividade possivelmente devida à interface entre Sb e Au.