

# ESTUDO POR RESSONÂNCIA FERROMAGNÉTICA DA MAGNETIZAÇÃO DE FITAS DE NÍQUEL

CABRAL, Flávia Peixoto<sup>1</sup>; PELEGRINI, Fernando<sup>2</sup>

Palavras-Chave: FMR, fitas de níquel, campo desmagnetizante.

## 1 INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA

A técnica de Ressonância Ferromagnética (FMR) é empregada para investigar as propriedades magnéticas de fitas de níquel. Espectros para diferentes orientações do campo magnético aplicado foram obtidos para um variado conjunto de amostras, permitindo-nos explorar diversos aspectos da técnica e demonstrar seu potencial para a determinação de propriedades magnéticas fundamentais.

Neste trabalho através da análise dos espectros de FMR das amostras de fitas de níquel, encontrou-se o campo de desmagnetização com o auxílio do sinal de marcadores paramagnéticos e em seguida calculamos os fatores desmagnetizantes para as diversas amostras. Verificou-se a variação do campo desmagnetizante, e conseqüentemente do fator de desmagnetização, em relação às modificações de dimensões e espessuras das amostras de fitas de níquel. Comparou-se os valores encontrados para uma mesma amostra utilizando diferentes marcadores paramagnéticos analisando as diferenças encontradas.

## 2 METODOLOGIA

O equipamento utilizado para as medidas de ressonância ferromagnética foi um espectrômetro Bruker ESP-300 operando em Banda-X. Todos os espectros apresentados foram obtidos à temperatura ambiente, com a frequência da microonda em torno de 9,78 GHz. A cavidade ressonante é cilíndrica, ideal para estudos de variações angulares.

Foram utilizadas neste trabalho amostras de fitas de níquel. Para encontrar o fator de desmagnetização da amostra utilizamos três diferentes marcadores, são eles: 1,1-difenil-2-picril-hidrazil (DPPH), Sulfato de Cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) e  $\text{MgO:Cr}^{3+}$ .

## 3 TEORIA

Em uma experiência de FMR a amostra é posicionada na região de máxima amplitude de intensidade do campo magnético da radiação numa cavidade ressonante. Nessas condições, ela pode absorver energia da onda eletromagnética e as alterações que esta absorção provoca na onda são a origem do sinal detectado experimentalmente, baseado no qual são feitos os estudos das características físicas das amostras.

Considerando apenas as configurações paralela ( $\theta=0^\circ$ ) e perpendicular ( $\theta=90^\circ$ ) do campo externo aplicado  $H_0$ , podemos obter o sistema de equações (1-3), onde  $H_{//}$  e  $H_{\perp}$  são os valores do campo externo para ressonância em cada uma das configurações, respectivamente, e assim obter o valor de  $4\pi M_s$ .

$$\frac{\omega}{\gamma} = \left[ H_{//} (H_{//} + 4\pi M_s) \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$\frac{\omega}{\gamma} = H_{\perp} - 4\pi M_s \quad (2)$$

$$4\pi M_s = H_{\perp} + \frac{1}{2} H_{//} - \left[ H_{//} \left( H_{\perp} + \frac{5}{4} H_{//} \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

Os campos desmagnetizantes que resultam da formação de pólos magnéticos num material, dependem da forma específica das amostras e da intensidade de sua magnetização [2]. Efeito que pode ser representado por:

$$H_D = D \cdot M \quad (4)$$

onde  $D$  é o fator desmagnetizante [1].

O fator desmagnetizante para um filme, pode ser obtido por:

$$D_a \approx 4\pi \quad (\text{campo externo perpendicular}) \quad (5)$$

$$D_b = D_c \approx \frac{\pi^2}{r} \quad (\text{campo externo paralelo}) \quad (6)$$

Deste modo,  $H_D$  deve ser medido através da utilização de marcadores sendo que algumas investigações podem resultar em boas aproximações.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estudadas neste trabalho, 15 amostras com diferentes dimensões e espessuras. As amostras que serão aqui discutidas estão relacionadas na tabela 1.

Tabela 1 - Relação das amostras medidas

Amostra	Dimensões (mm)	Espessura (mm)
17L	5,6 x 3,5	0,3
18L	4,2 x 3,5	0,3

A Fig.4 mostra o espectro de FMR para a amostra 18L, para a configuração paralela do campo magnético aplicado. Verifica-se que o campo de ressonância do marcador paramagnético, cristal de MgO dopado com Cr(3+) colocado sobre a superfície da amostra, é de 3509.8 Oe, deslocado portanto de 106.8 Oe em relação ao seu valor normal de 3403.0 Oe, devido ao campo desmagnetizante presente na amostra de níquel. O deslocamento do campo de ressonância do marcador paramagnético é, portanto uma medida do campo desmagnetizante.

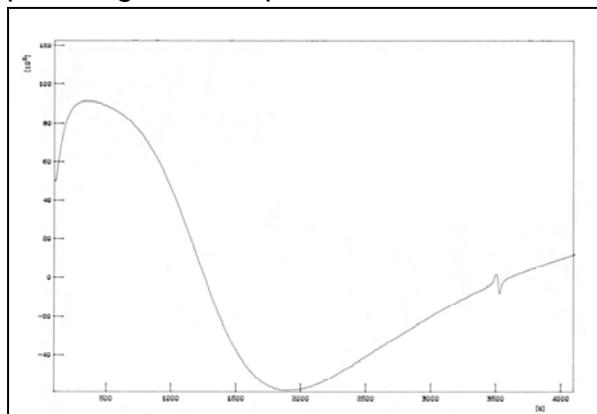


Figura 4 - Espectro de FMR da amostra 18L.

Analisando os espectros de FMR de todas as amostras podemos tirar duas conclusões:

- Amostras diferentes, mas que possuem proporções semelhantes, ou seja, a razão entre largura e comprimento é similar, têm fator desmagnetizante de valor próximo;
- Aumentando-se a espessura das amostras e mantendo constante a proporção dimensional, o fator desmagnetizante também se torna maior.

Os resultados experimentais e os valores de  $4\pi M_s$ ,  $H_D$  e  $D$  obtidos a partir das equações (1-4) para a amostra 17L utilizando diferentes marcadores são apresentados na tabela 2. Notamos uma pequena variação no valor calculado para o campo desmagnetizante.

Tabela 2 - Cálculo da magnetização de saturação, campo desmagnetizante e fator de desmagnetização para a amostra 17L utilizando diferentes marcadores.

Marcador	Fator g	$H_{//}$ (kOe)	$H_{\perp}$ (kOe)	$4 M_s$	$H_D$	D
DPPH	2,0037	1700	8400	5020	121	0,30
MgO:Cr <sup>3+</sup>	1,9797	1460	8781	5576	139	0,31
CuSO <sub>4</sub>	2,2015	2008	9114	5287	123	0,29

Para eliminar a não-homogeneidade do campo desmagnetizante nas borda da amostra, colocamos uma capa de alumínio sobre a amostra 17L deixando apenas a parte central exposta ao fluxo de micro-ondas. Com isso, a largura de linha ( $\sim 1,4$  KOe) é menor do que a obtida para as outras amostras ( $\sim 1,8$  KOe), no entanto, ainda é um valor alto para a largura de linha de um espectro de FMR, implicando em uma magnetização pouco uniforme da amostra.

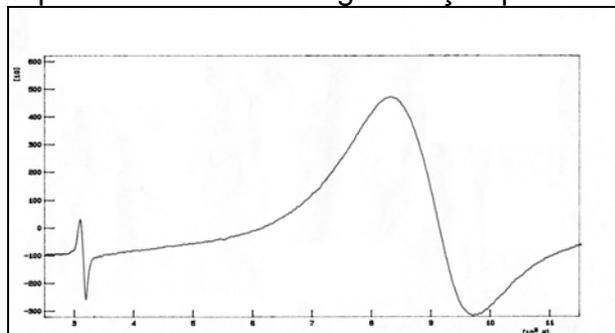


Figura 5 - Espectro de FMR da amostra 17L

O comportamento do campo de ressonância em função do ângulo para a amostra 17L e para o marcador ( $\text{CuSO}_4$ ) estão indicados nos gráficos das figuras 6 e 7, respectivamente. À medida que  $\theta$  cresce, o campo de ressonância também cresce, alcançando o valor de 9114.3 Oe [Fig.5] para a configuração perpendicular, revelando a dependência angular usual do campo de ressonância de uma placa ferromagnética. Observamos também que o campo de ressonância do marcador decresce. Para valores de  $\theta$  próximos a  $90^\circ$ , o sinal do marcador aparece deslocado no sentido oposto ao esperado. Assim pode estar ocorrendo uma contribuição para o campo efetivo devida à magnetização da amostra, deslocando o sinal para campos de ressonância menores. Isto, entretanto, requer mais investigações.

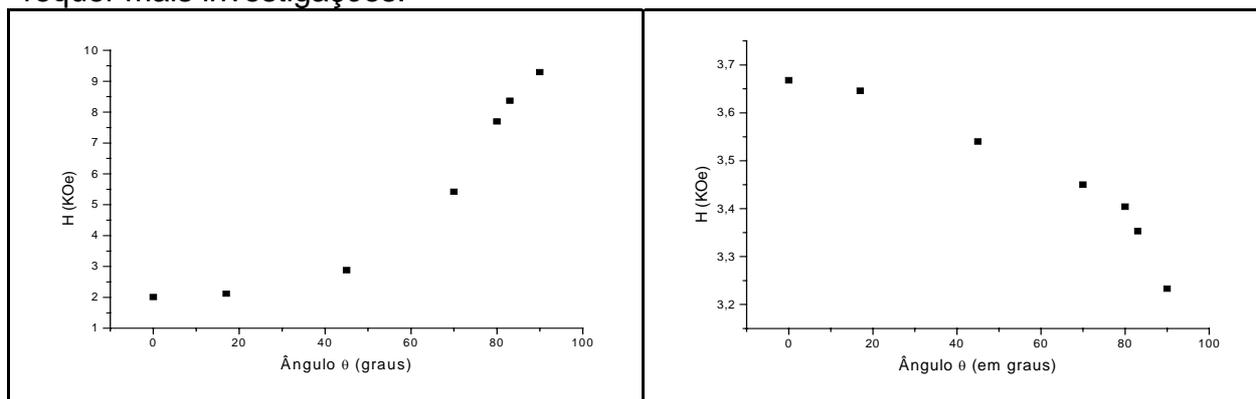


Figura 6 – Valores experimentais de H em função de  $\theta$  para a amostra 17L

Figura 7 – Valores experimentais de H em função de  $\theta$  para o marcador de sulfato de cobre

## 5 CONCLUSÃO / COMENTÁRIOS FINAIS

Além das características típicas dos espectros de FMR de filmes finos, os resultados experimentais apresentados neste trabalho nos permitiram estudar a influência de diversos aspectos das amostras sobre o seu comportamento magnético e conseqüentemente sobre os espectros de FMR. Com esta técnica conseguimos determinar o campo de desmagnetização  $H_D$  e o fator desmagnetizante  $D$  de diferentes amostras de níquel.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. D. Cullity, Introduction to Magnetic Materials, Addison-Wesley, Reading, (Massachusetts), 1972.  
 [2] P. David, M. Heath. J. Phys. C: Solid State Phys., **3** (1970) 1356-1362.

<sup>1</sup> Bolsista de iniciação científica Instituto de Física - Laboratório de Ressonância Magnética, [flavia@fisica.grad.ufg.br](mailto:flavia@fisica.grad.ufg.br)

<sup>2</sup> Orientador/Instituto de Física/UFG, [pelegin@fis.ufg.br](mailto:pelegin@fis.ufg.br)