

# Fabricação e Caracterização Eletromagnética de Ferritas de Ni Co Para Aplicação em Sensores Magnetomecânicos

Leonardo Violim Lemos\*, Vera Lúcia Othéro de Brito\*\* e Antonio Carlos da Cunha Migliano\*\*\*

\* Instituto Tecnológico de Aeronáutica, S. J. dos Campos, Brasil – e-mail: violim@ita.br

\*\* Instituto de Estudos Avançados, S. J. dos Campos, Brasil – e-mail: [vlobrito, migliano]@ieav.cta.br

**Resumo** — Os efeitos magnetoelásticos são caracterizados pela variação nas propriedades magnéticas de um material submetido a uma tensão mecânica. De acordo com a literatura, um dos materiais que apresentam este tipo de efeito é a ferrita de Co, podendo ser aplicado em sensores de tensões mecânicas, sensores piezomagnéticos, entre outros. Ferritas de Ni com adições de Co são aplicáveis na construção de magnetômetros à fibra óptica em sistemas inerciais embarcados e transdutores sônicos em sistemas de sonares. Este trabalho apresenta um projeto de pesquisa em andamento, em parceria com o ITA, cujos objetivos são confeccionar ferritas à base de Ni e Co e caracterizar as suas propriedades eletromagnéticas sob o efeito de tensões mecânicas.

**Palavras-chaves** — sensores magnetomecânicos, histerese magnética, cerâmicas magnéticas.

## I. INTRODUÇÃO

O fenômeno da magnetostricção foi observado por Joule [1], em 1842, quando submeteu uma barra de material ferromagnético a um campo magnético ( $H$ ) com baixa intensidade, apresentando variação em suas dimensões físicas no sentido do campo. Em materiais isotrópicos, a magnetostricção ( $\lambda$ ) é a variação dimensional de um material em resposta à aplicação de um campo magnético ( $H$ ) [2]. Praticamente todos os materiais ferromagnéticos apresentam essas alterações quando são submetidos a uma magnetização. Os materiais que apresentam magnetostricção com módulo acima de  $10^{-6}$  são considerados materiais de magnetostricção gigante. Um dos efeitos inversos (efeitos magnetoelásticos), quando se aplica uma compressão no material e este apresenta variações em suas propriedades magnéticas, é conhecido como efeito Villari [3].

McCallum [4] et al., afirmam que um compósito metal-cerâmica à base de ferrita de cobalto pode atingir valores de  $\partial\lambda/\partial H$  (indicativo de sensibilidade magnetoelástica) idênticos aos obtidos com uma liga policristalina de Tb e Fe, comercialmente conhecida como Terfenol, com um custo vinte vezes menor.

L. V. Lemos, violim@ita.br, V. L. O. Brito, vlobrito@ieav.cta.br, Tel +55-12-3947-5519, Fax +55-12-3944-1177; migliano@ieav.cta.br, Tel. +55-12-3947-5515, Fax +55-12-3944-1177.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FINEP, através do Projeto SIA, no processo n°. 0106117700 e pelo projeto "Consolidação da Infra-Estrutura de Ensino, Pesquisa e Desenvolvimento no Centro Técnico Aeroespacial", apoiado ao Edital CT-INFRA 01/2001, com prazo de 2002 à 2005, no processo n°. 23.01.0731.00.

Um tipo de material cerâmico que apresenta altos níveis de magnetostricção é a ferrita de cobalto, que pode receber adições de níquel (para o aumento da temperatura de Curie [5]).

Sedlar et al. [6] demonstraram que ferritas de Ni com adições de Co são aplicáveis na construção de magnetômetros à fibra óptica.

A literatura [7] mostra que é possível o desenvolvimento de transdutores de ferritas para a emissão e recepção do sinal de sistemas de sonares, substituindo ligas de terras raras como o Terfenol-D envolto em uma camada epóxi.

O objetivo deste trabalho é confeccionar ferritas à base de Ni e Co e caracterizar as suas propriedades eletromagnéticas, tais como a permeabilidade magnética, a permissividade elétrica e a curva de histerese magnética sob o efeito de tensões mecânicas.

## II. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As etapas experimentais descritas a seguir estão sendo desenvolvidas utilizando-se as infra-estruturas da EFA e da Divisão de Fotônica (EFO) do IEAv, contando também com a colaboração da Divisão de Materiais do Instituto de Aeronáutica e Espaço (AMR-IAE):

- Processamento cerâmico das ferritas: produção de ferritas com a estequiometria  $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$  para  $x = 0,0, 0,1, 0,5, 0,9$  e  $1$ , a partir das matérias-primas de óxido de cobalto ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), óxido de níquel ( $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ) e de óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).
- Mistura dos óxidos por meio de moagem em moinho de bolas.
- Pré-sinterização a  $900\text{ }^\circ\text{C}$  por 2 horas, para formação da estrutura cristalina característica da ferrita (espinélio).
- Moagem do material pré-sinterizado para redução do tamanho de partícula;
- Secagem do material em estufa a  $80\text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas.
- Análise cristalográfica do material pré-sinterizado pelo método de difração de raios-x;
- Compactação de amostras em formato toroidal, utilizando-se uma prensa uniaxial de ação dupla com pressão de  $50\text{ MPa}$  toroidal para análise das propriedades eletromagnéticas.

- Compactação de amostras para medidas de curva de histerese magnética sob o efeito de tensões de compressão. Utilizou-se uma prensa uniaxial de ação dupla com pressão de 50 MPa e a matriz apresentada na fig. 1;

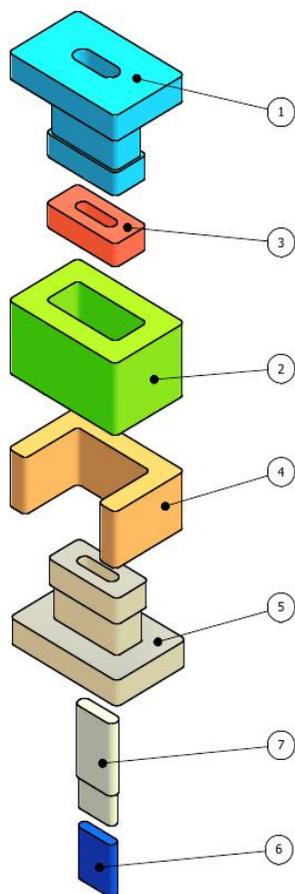


Fig. 1: Desenho da montagem suspensa da matriz composta por (1) punção superior, (2) camisa, (3) amostra compactada, (4) calço da camisa, (5) punção inferior, (6) calço do pino central, (7) pino central.

- Sinterização das amostras compactadas, em forno com aquecimento por meio de resistências de carbeto de silício, com o seguinte ciclo térmico: aquecimento até 1300 °C com taxa de 200°C/h; patamar de 2h a 1300 °C; resfriamento até a temperatura ambiente com taxa de 200°C/h. Foram utilizados cadinhos de alumina revestidos com o material da amostra durante o processo para diminuir o risco de contaminação.
- Caracterização microestrutural por microscopia óptica, eletrônica de varredura (MEV), de força atômica (MFA) e espectrometria de energia dispersiva de raios-X (EDS).
- Caracterização das propriedades eletromagnéticas dos materiais confeccionados por meio das medidas

de permissividade elétrica e permeabilidade magnética, ambas complexas.

- Ensaios de histerese magnética sob o efeito de tensões de compressão, seguindo o método proposto na ref. [8], conforme a fig. 2, com amostras confeccionadas no formato apresentado na fig. 1. Por meio desse método se obteve-se de forma direta um indicativo da aplicabilidade do material em sensores de tensão mecânica e, de forma indireta, a aplicabilidade em sensores de campo magnético.

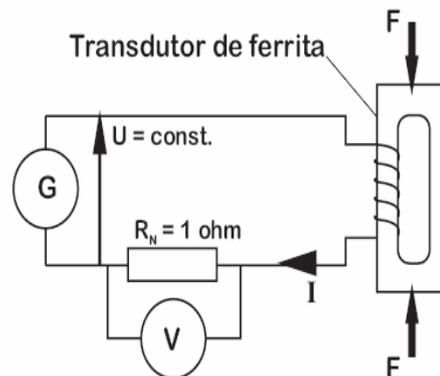


Fig. 2: Arranjo experimental para medida do comportamento magnetoelástico do material.

- Medidas de densidade aparente das amostras para determinação do volume de poros.

### III. RESULTADOS ESPERADOS

Deve-se obter uma caracterização do comportamento magnetoelástico de ferritas de Ni e Co, bem como de suas propriedades eletromagnéticas para a utilização em sensores de interesse militar, tais como magnetômetros e sonares. Os materiais desenvolvidos podem também ser empregados na indústria, como alternativa para materiais de custo mais elevado, podendo ser utilizados em sensores de pressão, torque, células de carga, entre outros.

### REFERÊNCIAS

- [1] J. P. Joule, *Annals of Electricity, Magnetism, and Chemistry; and Guardian of Experimental Science*, vol. 8, pp 219 - 224, 1842.
- [2] D. C. Jiles, *Introdução to Magnetism and Magnetic Materials*, 2nd ed., New York: CRC Press, 1998.
- [3] E. Villari, *Ueber die Aenderungen des magnetischen Moments, welche der Zug und das Hindurchleiten eines galvanischen Stroms in einem Stabe von Stahl oder Eisen hervorbringen*, *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 126, pp 87-122, 1865.
- [4] R. W. McCallum, K. W. Dennis, D. C. Jiles, J. E. Snyder, T. H. Chen, *Low Temperature Physics*, vol. 27, n. 4, p. 266-274, 2001.
- [5] V. L. O. Brito, C. B. Nunes, *Fabricação e Caracterização de Cerâmicas Magnéticas para Aplicação em Sensores Magnetomecânicos - Revisão Bibliográfica Preliminar e Sugestões para Trabalhos*, Publicação IEAv-EFA-E/008/2008, 2008.
- [6] M. Sedlar, V. Matejec, I. Paulicka, *Sensors and Actuators A*, vol. 84, pp 297 - 302, 2000.

- [7] Goldie, J. H., Gerver, M. J., Oleksy, J., Carman, G. P. e Duenas, T. A., Composite Terfenol-D sonar transducers, Proceedings of SPIE, vol. 3675, pp. 223-234, 1999.
- [8] A. Bieńkowski, R. Szewczyk, Sensors and Actuators A, vol. 113, pp. 270-276, Feb 04.