

# Síntese pela via química e caracterização por difração de raios X de óxidos multiferroicos com elementos terras raras

Anna Clara Nicolini Gabriel e Artur Wilson Carbonari  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN-CNEN/SP

## INTRODUÇÃO

A ideia de que certas estruturas cristalinas podem ser magno-elétricas foi apresentada pelo cientista francês Pierre Curie através de seus estudos sobre a simetria interior de cristais [1]. Nesse contexto, dentro da classe de multiferroicos, define-se magno-elétricos os materiais que apresentam características elétricas e magnéticas. Estes materiais, porém, são escassos na natureza [2].

Nanopartículas multiferroicas têm tido espaço relevante em pesquisas hodiernas como, por exemplo, na área biomédica, em virtude de suas propriedades magnéticas torná-las plataformas muito boas para o design de tratamentos contra o câncer, além de apresentar efeitos colaterais insignificantes e ter capacidade de atingir tumores que não podem ser obtidos por outros tipos de nanoestruturas [3]. Deve-se ressaltar que, dentre as diversas nanopartículas com propriedades ferromagnéticas, as nanopartículas de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e hematita ( $\alpha$ )  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são as mais investigadas [4]. Ademais, íons de elementos terras raras são uma classe interessante de dopantes com propriedades magnéticas associadas com suas configurações eletrônicas [5]. Nesse contexto, a interação entre os momentos magnéticos dos íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Sm}^{3+}$  leva a uma frustração magnética resultando em um magnetismo e ferroeletricidade complexos.

O presente estudo investigou um método de síntese, bem como o tratamento térmico adequado, para obter óxidos multiferroicos do tipo  $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{Sm}^{3+}$  dopados com 10% de samário.

## OBJETIVO

Sintetizar e caracterizar por técnicas de difração de raios X materiais multiferroicos do tipo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dopadas com samário 10%. Com os resultados, pretende-se analisar a eficiência do método de síntese utilizado.

## METODOLOGIA

Esse estudo utilizou como método de síntese a coprecipitação sob atmosfera inerte no Laboratório de Interações Hiperfinas IPEN. A seguir, foi realizado um tratamento térmico oxidativo e as amostras resultantes foram caracterizadas pela difração de raios X (DRX).

## RESULTADOS

A síntese das nanopartículas pelo método de coprecipitação foi efetiva ao formar um sólido preto magnético e, após o tratamento térmico oxidativo, um sólido de cor vermelho-marrom, aspectos visíveis que apontam para uma provável formação de magnetita e hematita, respectivamente. As estruturas foram comprovadas pela análise da difração de raio X, feita pelo método do pó à temperatura ambiente, mediante o emprego de difratômetro de raios X em um equipamento de marca Rigaku modelo SmartLab. A identificação de fases correspondentes foi feita por comparação com ICDDPDF (International Center of Diffraction Data- powder diffraction file).

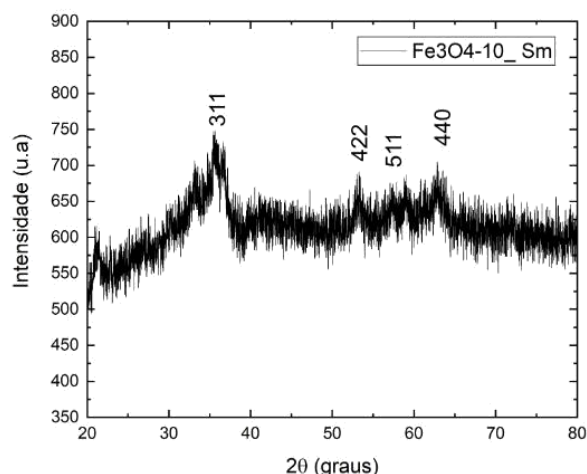


FIGURA 1. Padrão de difração da amostra sem tratamento térmico quando analisada pelo difratômetro. Os picos correspondem aos da estrutura cúbica pertencente ao grupo espacial  $Fd\bar{3}m$  da magnetita, embora seja possível observar um padrão de difração praticamente amorfo. Fonte: autoria própria.

Realizou-se um ajuste de dados com o programa GSAS® para a amostra que foi submetida ao tratamento térmico oxidativo.

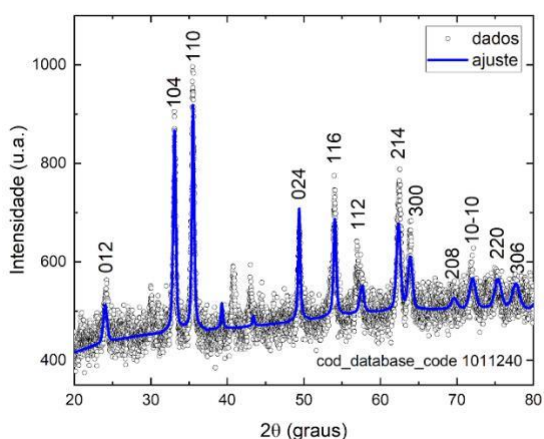


FIGURA 2. Difração de raios X das amostras de  $Fe_2O_3:Sm^{3+}$ . A linha azul representa o ajuste e os círculos são os pontos coletados da difração de raio X da amostra. Os picos correspondem aos da estrutura hexagonal pertencente ao grupo espacial  $R\bar{3}c$  167 da hematita. Fonte: Autoria própria.

## CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que o método conjunto de coprecipitação seguida de tratamento térmico oxidativo é efetivo na síntese de amostras multiferroicas com hematita dopada com elementos terras raras, como pôde ser visto pelo difratograma de raio X. Nesse contexto, ressalta-se que, após a coprecipitação, conseguiu-se obter uma amostra de  $Fe_3O_4:Sm^{3+}$ , embora sua estrutura estivesse praticamente amorfa. Ademais, o tratamento térmico oxidativo foi essencial no processo de formação de  $Fe_2O_3:Sm^{3+}$  com considerável grau de pureza em uma forma cristalina aceitável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rahul M. Thankachan, Raneesh Balakrishnan, **Chapter 8 - Synthesis Strategies of Single-Phase and Composite Multiferroic Nanostructures**. In Micro and Nano Technologies Synthesis of Inorganic Nanomaterials, 185-211, 2018.
- [2] L. W. Martin, S. P. Crane, Y-H. Chu, et al., **Multiferroics and magnetoelectrics: thin films and nanostructures**. J. Phys.: Condens. Matter 20, 434220, 2008.
- [3] V. F. Cardoso.; et al; **Advances in Magnetic Nanoparticles for Biomedical Applications**. Advanced Healthcare Materials, Vol 7., 2018.
- [4] Roca, A.; Morales, M.; O'Grady, K.; Serna, C. **Structural and magnetic properties of uniform magnetite nanoparticles prepared by high temperature decomposition of organic precursors**. Nanotechnology 2006, 17, 2783.
- [5] Groman, E.V.; Bouchard, J.C.; Reinhardt, C.P.; Vaccaro, D.E. **Ultrasmall mixed ferrite colloids as multidimensional magnetic resonance imaging, cell labeling, and cell sorting agents**. Bioconjugate chemistry 2007, 18, 1763-1771.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

CNPq