

# AVALIAÇÃO DO USO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS COMO SENSOR DE DOSE PARA RADIAÇÃO GAMA E PRÓTONS DE ALTA ENERGIA

Angelika v. Schmude<sup>1</sup>, Patrícia Sbaraini<sup>2</sup>, Daniela R. Estácio<sup>2</sup> e Ricardo M. Papaléo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinar de Nanociência e Micro-nanotecnologia, Escola de Ciências, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

<sup>2</sup>Serviço de Radioterapia, Hospital São Lucas da PUCRS, Porto Alegre, Brasil.

**Resumo:** Neste trabalho, investigou-se os efeitos da interação das radiações gama (Cobalto-60) e iônica ( $H^+$ ) em nanopartículas magnéticas de óxido de ferro ( $Fe_3O_4$ ), com diâmetro médio de, aproximadamente,  $9,5 \pm 0,4$  nm. Para a preparação das amostras, as nanopartículas foram depositadas em substratos de silício. Todas as amostras referentes à exposição com Cobalto-60 foram irradiadas com doses equivalentes em água entre 35 e 720 Gy. As amostras referentes ao  $H^+$  foram irradiadas com uma energia de 2 MeV e fluências de  $5 \times 10^{14}$  e  $5 \times 10^{15}$  íons/cm<sup>2</sup>. Após a irradiação, as amostras foram analisadas pela técnica de magnetômetro de amostra vibrante (VSM) com o objetivo de observar mudanças nas curvas de magnetização. Os resultados mostram mudanças significativas nos valores de coercividade em baixas exposições para os dois tipos de radiação. A magnetização de saturação, por outro lado, sofre apenas pequenas variações nas irradiações de baixa dose, mas há um claro decréscimo para as doses mais altas. Resultados preliminares mostram que o sistema nanoparticulado pode ser útil como sensor de radiação, principalmente para doses altas, típicas de aplicações industriais.

**Palavras-chave:** nanopartículas, radiação ionizante, dosimetria.

**Abstract:** *This paper investigates the effects of the interaction of gamma (Cobalt-60) and proton ( $H^+$ ) radiation on iron oxide ( $Fe_3O_4$ ) magnetic nanoparticles with an average diameter of approximately  $9.5 \pm 0.4$  nm. For the preparation of the samples, the nanoparticles were deposited on silicon substrates. All samples exposed to Cobalt-60 were irradiated with equivalent doses in water between 35 and 720 Gy. The samples exposed to the  $H^+$  beam were irradiated with energy of 2 MeV and fluences of  $5 \times 10^{14}$  and  $5 \times 10^{15}$  ions / cm<sup>2</sup>. After irradiation, the samples were analyzed by a vibrating sample magnetometer (VSM) technique with the objective of observing changes in the magnetization curves. The results show significant changes in coercivity values at low exposures for both types of radiation. Saturation magnetization, on the other hand, suffers only small variations in low-dose irradiation, but there is a clear decrease for the higher doses. Preliminary results show that the nanoparticulate system can be useful as a radiation sensor, especially at high doses, typical of industrial applications.*

**Keywords:** *Nanoparticles, ionizing radiation, dosimetry.*

**Introdução:** Medidas acuradas de dose e exposição à campos radioativos é premissa fundamental para o uso adequado de radiações ionizantes em diversas atividades de interesse médico ou industrial [1]. Na medicina, por exemplo, a determinação da distribuição de dose no corpo humano e no ambiente são fundamentais para guiar tratamentos, aquisições de imagens e garantir a segurança de todos os indivíduos ocupacionalmente expostos. Existem diversos tipos de dosímetros constituídos de materiais sensíveis a radiação ionizante. Os exemplos mais clássicos desses dispositivos são as câmeras de ionização (para ambientes e controle de qualidade) e os termoluminescentes para a dosimetria pessoal. O aprimoramento desses dispositivos através do desenvolvimento de novos materiais e métodos que forneçam uma medida precisa e confiável e ao mesmo tempo uma configuração adequada à aplicação específica é altamente desejável. Um derivado importante dessa tecnologia, principalmente para a área médica, são as nanopartículas magnéticas. As propriedades físicas diferenciadas das NPs aliado a possibilidade de customizar suas interfaces com diversos tipos de revestimentos possibilitaram seu uso como agente de contraste em ressonância magnética e no transporte de fármacos, no tratamento de câncer (hipertermia) [2,3,4,5]. Recentemente, foram conduzidos estudos que visam o aprimoramento do tratamento oncológico através do uso de nanopartículas [6]. O conhecimento de como as radiações ionizantes interagem com materiais nesta escala é de extrema importância, pois é sabido que essa interação causa danos que podem modificar as propriedades morfológicas e magnéticas das nanopartículas [7].

**Método:** Utilizou-se nanopartículas magnéticas de óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), em solução aquosa (homogênea e estável), sintetizadas pela rota poliol [8]. Depositou-se 1,5  $\mu\text{L}$  da solução em um substrato de silício polido com dimensões de 0,3x0,4  $\text{cm}^2$  formando uma camada fina e uniforme. As amostras foram secas (evaporação da parte aquosa da solução) em temperatura ambiente e guardadas separadamente. A exposição das amostras foi realizada com uma fonte de  $^{60}\text{Co}$ , com doses equivalentes em água entre 35 e 720 Gy. O outro grupo de amostras foi irradiado no acelerador de íons (3 MV) com prótons de hidrogênio com uma energia de 2 MeV e fluências de  $5 \times 10^{14}$  e  $5 \times 10^{15}$  íons/ $\text{cm}^2$ . A caracterização foi feita pela técnica do magnetômetro de amostra vibrante (VSM), com a aplicação de um campo magnético externo de até 10 kOe.

**Resultados:** Os dados obtidos a partir das curvas de histerese obtidas no VSM das amostras irradiadas com raios gama estão mostradas na Tabela 1. Pode-se observar que com a irradiação houve mudanças significativas nas propriedades magnéticas do material. Os valores de coercividade residual que as NPs apresentavam antes da irradiação caíram rapidamente para próximo de zero em doses baixas. A magnetização de saturação ( $M_s$ ) apresentou, apesar das flutuações de  $\pm 10\%$  nos valores um decréscimo significativo com o aumento da dose. Para as amostras irradiadas com prótons observou-se os mesmos efeitos citados anteriormente, incluindo a diminuição dos valores de remanência em relação ao padrão.

**Tabela 1.** Dados da curva de histerese para as amostras irradiadas com  $^{60}\text{Co}$

Dose (Gy)	Hc (Oe)	Mr (emu)	$M_s$ (emu)	Mem H max (emu)
Padrão	22,028	$1,1579 \times 10^{-4}$	$2,211 \times 10^{-3}$	$1,966 \times 10^{-3}$
35	-0,083	$-4,389 \times 10^{-7}$	$1,995 \times 10^{-3}$	$1,991 \times 10^{-3}$
55	0,225	$1,090 \times 10^{-6}$	$1,859 \times 10^{-3}$	$1,851 \times 10^{-3}$
75	0,193	$9,828 \times 10^{-7}$	$2,259 \times 10^{-3}$	$2,259 \times 10^{-3}$
240	2,676	$1,552 \times 10^{-5}$	$1,985 \times 10^{-3}$	$1,721 \times 10^{-3}$
480	0,093	$5,519 \times 10^{-7}$	$2,401 \times 10^{-3}$	$2,401 \times 10^{-3}$
720	0,120	$4,989 \times 10^{-7}$	$1,653 \times 10^{-3}$	$1,650 \times 10^{-3}$

**Discussão e Conclusões:** Observou-se mudanças abruptas nos valores de coercividade para doses baixas o que pode ser efeito de uma possível diminuição do tamanho das nanopartículas causada pela danificação dessas através da radiação. A origem dessa mudança precisa ser investigada de forma mais detalhada fazendo uso de outras técnicas de caracterização como por exemplo pela microscopia eletrônica de transmissão para avaliar melhor as mudanças morfológicas das nanopartículas. Nesse aspecto também é necessário investigar os efeitos com doses mais baixas. Em relação a magnetização de saturação se observou pequenas variações para doses baixas e um decréscimo dos valores para doses altas (apesar da flutuação dos valores). Essas alterações podem ser resultado da criação de defeitos na estrutura cristalina do material pela exposição à radiação. Os resultados apresentados indicam que a radiação gama e os prótons de 2 MeV causaram algum tipo de dano no material depositado que precisam ser melhor avaliados, mas que levaram as alterações observadas nas propriedades magnéticas das nanopartículas. De acordo com as alterações observadas existe a possibilidade do uso do sistema nanoparticulado como um sensor de dose para doses altas, comum em aplicações industriais.

**Agradecimentos:** Agradecemos a colaboração e infraestrutura do Laboratório de magnetismo da UFRGS (LAM) e do Laboratório de Implantação Iônica do Instituto de Física da UFRGS.

#### Referências:

1. Krieger H. Strahlungsmessung und Dosimetrie. Ingolstadt, Germany: Vieweg+Teubner; 2011.
2. Castro VF, Celestino J, Queiroz AA, Garcia FG. Propriedades magnéticas e biocompatíveis de nanocompósitos para utilização em magneto-hipertermia. Rev Brasileira de Física Médica 2010;4(1):79-82.
3. Goya GF, Grazú V, Ibarra MR. Magnetic Nanoparticles for Cancer Therapy. Current nanoscience 2008; 4:1-16.
4. Laurent S, Forge D. et al. Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, Stabilization, Vectorization, Physicochemical Characterizations, and Biological Applications. Am Chem Soc 2008; 108:2064-2110.
5. Oliveira, EMN. Desenvolvimento de sondas nanoestruturadas de óxido de ferro para imageamento biomédico não invasivo. [Dissertação de Mestrado]. Porto Alegre: Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; 2014.
6. Schlathöller T, Eustache E, Porcel E, Salado D, Stefancikova L, Tillement O, et al. Improving proton therapy by metal-containing nanoparticles: nanoscale insights. Int. J. Nanomedicine 2016;11:1549-1556.
7. Panda RK, Routray KL, Behera D. Effect of Gamma Irradiation on Structural and Magnetic Properties of Bi Substituted Cobalt Ferrite Nanoparticles. Advances in Functional Materials International Conference; 2016; Jeju, Seoul, South Korea.
8. Forge D, Roch A, Laurent S, Tellez H, Gossuin Y, Renaux R, et al. Optimization of the Synthesis of Superparamagnetic Contrast Agents by the Design of Experiments Method. J Phys Chem 2008;112(112):19178-85.