

# HIPERTERMIA MAGNÉTICA DE HETERODÍMEROS CONSTITUÍDOS DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA E FERRITA

**Nícolás ZUFELATO<sup>a,1</sup>; Marcelo Henrique SOUSA<sup>b</sup>; Andris Figueiroa BAKUZIS<sup>a,2</sup>;**

a – Universidade Federal de Goiás; b – Universidade de Brasília

1- zufelato@gmail.com; 2- bakuzis@if.ufg.br

palavras chave: hipertermia, heterodímeros, nanopartícula, ferrita.

## INTRODUÇÃO

A nanociência investiga as propriedades e aplicações de sistemas com pelo menos uma de suas dimensões na escala nanométrica. Exemplos de sistemas nanoestruturados são: (i) 2D – filmes finos; (ii) 1D – nanofios; (iii) 0D – nanopartículas. Este trabalho tem interesse no estudo de nanopartículas magnéticas. Este material vem atraindo interesse da comunidade devido a um grande número de aplicações, sejam as mesmas tecnológicas, ambientais ou ainda biomédicas. Esta última de grande motivação para este trabalho.

Na literatura pode-se encontrar a utilização de nanopartículas magnéticas no transporte de fármacos, marcação de células-tronco, diagnóstico de doenças (por meio de sua utilização como agente de contraste em imageamento por ressonância magnética nuclear) ou ainda tratamento de neoplasias pelo fenômeno de hipertermia magnética [1] [2], que consiste em aumento da temperatura local devido a interação de um campo magnético alternado com os momentos magnéticos das nanopartículas. Além da aplicação biomédica de nanoestruturas magnéticas pode-se destacar também a utilização de nanopartículas metálicas. Em particular, as nanopartículas de prata tem uma forte ação antibactericida. E assim como aquelas a base de ouro podem ser utilizadas para tratamento de neoplasias por meio da ação de hipertermia plasmônica. Neste caso uma onda eletromagnética interage com quase-partículas de carga denominadas plasmons podendo na condição de ressonância absorver energia e liberá-la por meio de calor [3]. Ambas nanopartículas, metálicas ou magnéticas, possuem boa biocompatibilidade quando adequadamente recobertas. Portanto a formação de nanocompósitos contendo

ambos sistemas pode gerar novas aplicações ou melhorar a eficiência de outras já existentes. No nosso trabalho decidimos investigar as propriedades de um sistema misto denominado heretodímero, que consiste de 2 nanopartículas, uma metálica e outra magnética, formando um dímero.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram sintetizadas amostras de ferrita de manganês ( $MnFe_2O_4$ ) e de magnetita ( $Fe_3O_4$ ). Para a síntese de ambas as ferritas foi utilizado o método de coprecipitação. Para a magnetita foram utilizadas soluções de 0,15 mol de hidróxido de sódio (NaOH), 0,01875 mol de cloreto ferroso tetra hidratado ( $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ ) e 0,0375 mol de cloreto férrico hexa hidratado ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ). Para a síntese de ferrita de manganês foram feitas duas abordagens. Uma primeira onde foram utilizadas soluções de 0,0375 mol de hidróxido (NaOH), 0,0046875 mol de cloreto de manganês tetra hidratado ( $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ) e 0,009375 mol de cloreto férrico ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ). Na segunda abordagem foram feitas duas sínteses com bases diferentes uma em hidróxido de sódio (NaOH) e outra em metilamina ( $CH_3NH_3$ ). Nesta abordagem foram preparadas soluções de 1 mol/L cloreto férrico hexa hidratado ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) e 0,5 mol/L de cloreto de manganês tetra hidratado ( $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ) e retirou-se a quantidade necessária para uma solução de 2 mol/L da base.

Para a síntese da nanopartícula de prata foram misturadas soluções de 0,002 mol/L de borohidreto de sódio ( $NaBH_4$ ) e 0,001 mol/L de nitrato de prata ( $AgNO_3$ ) a sob resfriamento a base de gelo.

Para realizar a medida de hipertermia magnética primeiro as amostras das ferritas devem ser caracterizadas. Para tal foram feitas medidas de difração de raios X e medidas de magnetização de amostra vibrante. A difração foi utilizada para verificar a cristalinidade das partículas e verificar o seu diâmetro médio, que é obtida utilizando a relação de Scherrer:

$$d = \frac{0,93\lambda}{\Delta \cos\theta}, \quad (1)$$

onde  $d$  é o diâmetro,  $\Delta$  é a largura a meia altura do pico, corrigida com base no silício,  $\theta$  é o ângulo de incidência e  $\lambda$  é o comprimento de onda.

A partir das medidas de magnetometria de amostra vibrante foram obtidas as magnetizações de saturação tanto da partícula quanto do fluido. A magnetização de saturação da partícula foi obtida por meio de medidas do pó do fluido após o

processo de secagem em uma estufa. De posse das magnetizações de saturação do fluido e da partícula, usando o modelo superparamagnético [4] foi possível extrair a fração volumétrica de partículas no fluido por meio da seguinte equação:

$$\phi = \frac{\rho_{fluido} M_{sf}}{\rho_{pó} M_s} \quad (2)$$

Onde  $\rho_{fluido}$  e  $\rho_{pó}$  são as densidades do fluido e do pó respectivamente. Devido a baixa concentração de partículas utilizou-se a densidade da água para o fluido e densidade de “bulk” da magnetita e da ferrita de manganês para o pó. Os termos  $M_{sf}$  e  $M_s$  são as magnetizações de saturação do fluido e das partículas respectivamente.

De posse dessas informações estamos aptos a realizar as medidas de hipertermia onde o fluido é submetido a um campo alternado e então verificar a variação de temperatura. Quando realiza-se a medida de hipertermia magnética é comum se calcular a taxa de absorção específica (“specific absorption rate” SAR) [5] que é dada por :

$$SAR = \frac{\bar{P}}{\rho} = c \frac{M_{tot} \Delta T}{m \Delta t} \quad (3)$$

onde  $\rho$  é densidade do material magnético,  $c$  é o calor específico da amostra,  $m$  é a massa de partículas magnéticas presente na amostra, e  $M_{tot}$  é a massa total de amostra medida e  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  é a variação de temperatura com relação ao tempo. Novamente devido a baixa concentração de partículas magnéticas no fluido ainda pode-se considerar  $c$ , como o calor específico da água,  $c = 4,19 \text{ J/g.K}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sínteses realizadas foram da seguinte maneira: no caso do fluido de magnetita foram sintetizados nanopartículas com dois tempos de digestão: trinta minutos e duzentos e quarenta minutos (quatro horas). Enquanto para a primeira abordagem de síntese do fluido de ferrita de manganês foram escolhidos quatro tempos de digestão diferentes: sessenta minutos (uma hora), cento e vinte minutos (duas horas), duzentos e quarenta minutos (quatro horas) e trezentos e sessenta minutos (seis horas). Para a segunda abordagem foi escolhido apenas um tempo de agitação que foi de trinta minutos. Para as amostras feitas em NaOH não foi obtido fluido e

para as amostras feitas em  $\text{CH}_3\text{NH}_3$  foi obtido o fluido e este foi recoberto com citrato.

Serão apresentadas neste algumas curvas de magnetização e alguns difratogramas de raio-x

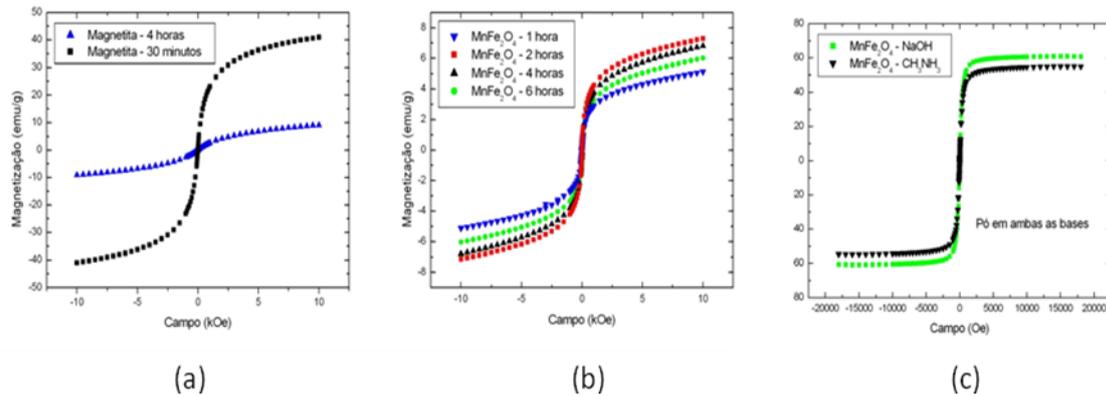


Figura 1: Na figura estão as curvas de magnetização para o pó onde : (a) magnetita ; (b) ferrita de manganês pela primeira abordagem ; (c) ferrita de manganês pela segunda abordagem.

Através das curvas é possível notar que a segunda abordagem de síntese para a ferrita de manganês produziu um melhor resultado para a magnetização.

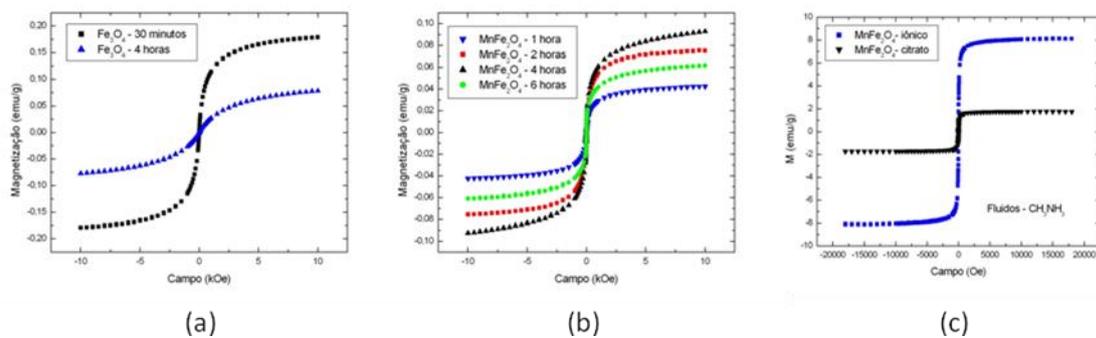


Figura 2 : Na figura estão as curvas de magnetização para o fluido onde : (a) magnetita ; (b) ferrita de manganês pela primeira abordagem ; (c) ferrita de manganês pela segunda abordagem

Abaixo seguem os difratogramas que mostram a mudança da cristalinidade das partículas da primeira abordagem para a segunda abordagem de síntese.

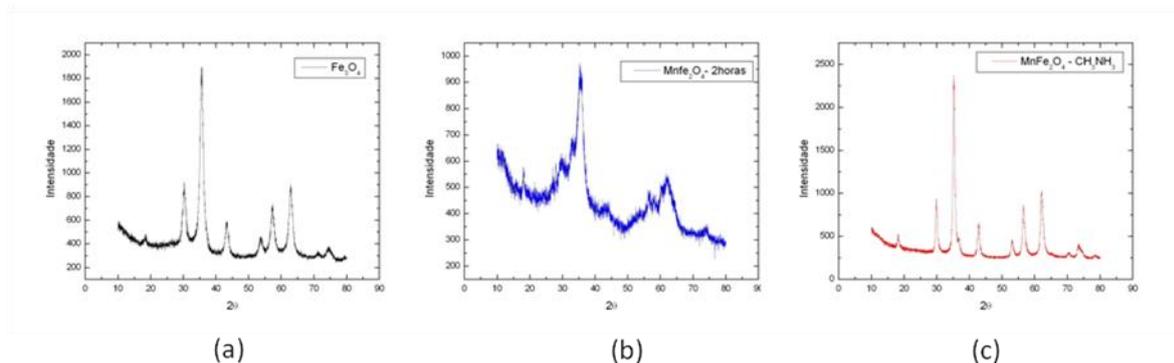


Figura 3: Na figura estão os difratogramas de raio-x : (a) magnetita ; (b) ferrita de manganês pela primeira abordagem ; (c) ferrita de manganês pela segunda abordagem

Note que há uma cristalinidade maior na segunda abordagem de síntese da ferrita de manganês do que na primeira.

## CONCLUSÃO

Estamos aptos a realizar as medidas de hipertermia e a síntese dos heterodímeros visto que conseguimos uma melhoria na produção da ferrita de manganês. A realização da síntese dos heterodímeros será feita em breve assim como as análises de suas propriedades magnetotérmicas.

## REFERÊNCIAS

- [1] Gilchrist, R. K.; Medal, R.; Shorey, W. D.; Hanselman, R. C.; Parrot, J. C.; Taylor, C. B. *Selective Inductive Heating of Lymph Nodes*, 1957 *Annals of Surgery* 146 596-606.
- [2] Jordan, A.; Scholz, R.; Wust, P.; Fahling, H.; Krause, J.; Wlodarczyk, W.; Sander, B.; Vogl, T.; Felix, R. *Effects of Magnetic Fluid Hyperthermia (MFH) on C3H Mammary*.
- [3] Alexander O. Govorov; Hugh H. Richardson. *Generating Heat with Metal Nanoparticles*. *Nanotoday*, v. 2, n° 1, p. 30 – 38, 2007.
- [4] Rosensweig R. E., *Ferrohydrodynamics*. Mineola: Dover Publications, NY, 1997.
- [5] Rosensweig R. E., *Heating Magnetic Fluid with Alternating Magnetic Field*. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 252, p. 370 – 374, 2002.