

## SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL NANOPARTICULADO A BASE DE $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Synthesis and characterization of nanoparticulate material based on  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Matheus de Souza Lima Mendes<sup>1\*</sup>, Gabriela Soares Macello Ramos<sup>1</sup>, Marcia Angélica Fernandes e Silva Neves<sup>1</sup>, Marcelo Sierpe Pedrosa<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *campus* Nilópolis, Rio de Janeiro – Brasil

\*Autor para correspondência: matheuslima29@hotmail.com

---

Recebido em: 05/04/2019, Aceito em: 28/05/2019, Publicado em: 23/07/2019.  
DOI:<http://dx.doi.org/10.22407/1984-5693.2019.v11.p.55-67>

---

### ABSTRACT

Maghemite nanoparticles ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) have been synthesized by the alkaline hydrolysis coprecipitation technique to magnetize polymeric matrices. In this work, iron nanoparticles characterized by different techniques were synthesized showing by their particle size that this material presented superparamagnetic properties.

**Keywords:** nanoparticles, superparamagnetism, maghemite.

### RESUMO

Nanopartículas de maghemita ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) vem sendo sintetizadas pela técnica de coprecipitação por hidrólise alcalina para magnetizar matrizes poliméricas. Neste trabalho foram sintetizadas nanopartículas de ferro caracterizadas por diferentes técnicas mostrando pelo seu tamanho de partícula que esse material apresentou propriedades superparamagnéticas.

**Palavras-chave:** nanopartículas, superparamagnetismo, maghemita.

## INTRODUÇÃO

Nanopartículas ferro e ferrimagnéticas apresentam uma propriedade conhecida como superparamagnetismo. Esta propriedade está diretamente relacionada ao seu tamanho, considera-se que apenas nanopartículas com diâmetro menor que 20 nm são consideradas superparamagnéticas. O superparamagnetismo é um fenômeno que confere a estas nanopartículas magnetização somente na presença de um campo magnético externo, ou seja, apenas quando são estimuladas (MAROLT, 2014; DIEGUES *et al.*, 2006; LOWERY e DEMAS, 2011).

A maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) é um destes materiais que apresenta o fenômeno de superparamagnetismo quando se encontra em um regime nanoparticulado. Esta tem atraído estudos na área biomédica devido ao fato de não ser tóxica aos humanos, possuir uma área de superfície ampla e alta biocompatibilidade. A maghemita é obtida através do tratamento térmico oxidativo da magnetita. Na natureza esse processo ocorre naturalmente e é conhecido como oxidação natural (COSTA E SOUZA, 2014). As nanopartículas magnéticas de maghemita apresentam estrutura cristalina pequena o suficiente para que seus spins estejam em orientação em um monodomínio magnético, caracterizando um material superparamagnético para temperaturas acima de 78 K (-195,15 °C) (MORUP, 1983), o que torna a aplicabilidade do material bastante vasta para diversos sistemas aliado a sua alta biocompatibilidade.

Neste contexto, resinas poliméricas magnetizadas vem sendo produzidas através de uma matriz contendo algum tipo de material superparamagnético inorgânico como, por exemplo, óxidos de ferro (magnetita e maghemita), ferritas de cobalto, zinco, manganês, entre outros, dispersos na superfície ou no interior de sua estrutura macrorreticular. A principal vantagem na utilização destas resinas é o fato de que as partículas podem ser recolhidas e até mesmo separadas através da indução de um campo magnético (CAMILO, 2006; COSTA e COSTAS, 2006; CARDOSO *et al.*, 2004; CASTANHARO, 2012). Estas resinas possuem vasta aplicabilidade como adsorventes, catalisadores, material de empacotamento de coluna cromatográfica, tratamento de água oleosa gerada pela produção de petróleo, sequestradoras de subprodutos de reações químicas, etc (NEVES *et al.*, 1997; AVERSA *et al.*, 2014; CUNHA *et al.*, 2007; MARINHO *et al.*, 2015; CAMILO, 2006). A incorporação de nanopartículas magnéticas em matrizes poliméricas pode ser feita através da polimerização em suspensão, onde ocorre a dispersão do material magnético na fase orgânica (MARINHO, 2017).

Desta forma, o desenvolvimento de técnicas que geram como produto nanopartículas com caráter superparamagnético (magnetização de saturação) mais acentuado é de grande valia para incorporação em material polimérico e até mesmo é um material polimérico para utilização em outros materiais encontrados na literatura como, por exemplo, microesferas magnéticas à base de acetato de vinila para transporte enzimático na área de biomedicina (CASTANHARO *et al.*, 2011; NAZARI *et al.*, 2014). Portanto, o presente estudo, consiste na síntese de nanopartículas de magnetita e maghemita através da técnica de hidrólise alcalina, realizando um estudo das suas propriedades por técnicas como a difração de raios-x,

espectrometria na região do infravermelho, termogravimetria e espalhamento dinâmico de luz com o intuito de se medir o volume hidrodinâmico médio e também para se obter o potencial zeta do material obtido.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Inicialmente,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  PA foi usado para o preparo de uma solução aquosa de cloreto férrico  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  e  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  PA para o preparo de uma solução aquosa de sulfito de sódio  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Preparou-se também, a partir do hidróxido de amônio PA (densidade relativa entre 0,880 e 0,957 a  $15^\circ\text{C}$ , com mais de 10% e até 35% de amônia) uma solução com concentração  $0,9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , para utilização como agente de coprecipitação.

### Preparo do material magnético.

O método de coprecipitação por hidrólise alcalina foi utilizado para a síntese da magnetita. Neste trabalho a síntese foi realizada em duas partes: A primeira consiste na coprecipitação das nanopartículas de magnetita e a segunda consiste no tratamento térmico oxidativo dessas nanopartículas para a formação da maghemita (COSTA e SOUZA, 2014).

30 mL de cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ )  $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  e 20 mL de solução aquosa de sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) a  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  foram misturadas em um bécher e adicionou-se 20 mL de água deionizada sob agitação magnética constante (COSTA e SOUZA, 2014). Em seguida, introduziu-se a solução em um bécher contendo 350 mL de solução de hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )  $0,9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  sob agitação mecânica, observando-se a imediata precipitação dos hidróxidos de ferro.

Após a sua total decantação, lavagens com água deionizada foram feitas com o intuito de neutralizar o pH do produto e posteriormente foi feita a sua filtração. Desta forma, o filtrado foi seco em estufa a  $100^\circ\text{C}$  (temperatura de ebulição da água) por 30 minutos, tendo total controle na temperatura da estufa para não se perder massa de magnetita (COSTA e SOUZA, 2014). Após isso, parte da amostra de magnetita foi conservada para fins de caracterização dando fim a primeira etapa da síntese do material magnético, que é a magnetita.

Em seguida, a magnetita foi levada a mufla a  $250^\circ\text{C}$  por 24 horas a fim de ser oxidado a maghemita. O material foi macerado e conservado, terminando assim a síntese da maghemita.

### Análises de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

As amostras de magnetita e maghemita foram analisadas em um equipamento de infravermelho da marca Frontier FTIR/FIR série 98737. Os parâmetros utilizados para obtenção dos espectros foi: Resolução de  $4 \text{ cm}^{-1}$  na faixa entre  $4000$  a  $400 \text{ cm}^{-1}$ . As amostras se encontravam em forma sólida, portanto, pastilhas de KBr foram utilizadas para a realização da técnica.

### **Análises termogravimétricas (TGA)**

As análises termogravimétricas foram realizadas em um equipamento da marca TA Instruments modelo Q500 usando velocidade de aquecimento de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ , no intervalo de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  sob atmosfera de nitrogênio com fluxo de  $150\text{ cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ .

### **Análises de difração de raios-x (DRX)**

A análise de difração de raios-x (DRX) para a magnetita e maghemita foi realizada com o intuito de determinar o tamanho da nanopartícula sintetizada e identificar os materiais obtidos. A técnica foi realizada através de um difratômetro de raios-x Siemens (atualmente Bruker) AXS D-5005 utilizando-se um passo angular de  $0,10^{\circ}$ , na faixa de  $15$  a  $70^{\circ}$  e com tempo de aquisição entre as contagens de  $1,0$  segundo.

### **Técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS) e potencial Zeta.**

O tamanho de nanopartícula obtido através da síntese do material magnético também foi determinado através da técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS).

Esta análise foi realizada apenas para a maghemita, que é o material magnético usado para a síntese de resinas magnetizadas. A realização desta análise se deu através do preparo de uma amostra contendo uma pequena quantidade em massa de maghemita em um tubo de ensaio contendo uma solução de  $1\%$  m/v de poli(álcool vinílico) (PVA) em água, simulando as condições a serem realizadas na polimerização em suspensão para se obter o diâmetro hidrodinâmico dessas partículas na fase aquosa.

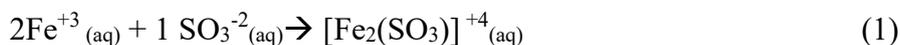
A análise foi realizada em temperatura ambiente ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) em um equipamento Zetasizer Nano ZS90 da Malvern Instruments que possui um laser HeNe de potência  $4\text{ mW}$  que emite luz em comprimento de onda de  $633\text{ nm}$ . O software do equipamento possui um database onde foi possível escolher o índice de refração para realizar a análise em soluções possuindo matrizes de óxidos de ferro. Através dos dados obtidos pela técnica de DLS foi possível determinar o potencial zeta do material magnético.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A fim de explicar o processo de obtenção do material magnético, magnetita e maghemita, as reações envolvidas nos processos de coprecipitação e de tratamento térmico oxidativo são apresentadas a seguir.

### **Coprecipitação das nanopartículas de magnetita.**

A reação (1) ilustra a reação de complexação dos íons  $\text{Fe}^{+3}$  pelos íons  $\text{SO}_3^{-2}$  após a mistura das soluções:



Com a formação do complexo  $[\text{Fe}_2(\text{SO}_3)]^{+4}$  ocorreu uma reação de hidrólise do mesmo liberando íons  $\text{Fe}^{+2}$ . Neste momento foi possível observar uma solução de cor amarronzada escura. Observe a reação (2) de hidrólise:



Foi possível observar a mudança de parte dos íons  $\text{Fe}^{+2}$  para  $\text{Fe}^{+3}$  através da oxidação pelos prótons da água ocasionando uma mudança de cor da solução de amarronzada escura para amarelada. Observe a reação (3) de oxidação do  $\text{Fe}^{+2}$  para  $\text{Fe}^{+3}$ :



Os íons  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}$ , ao alcalinizar o meio com  $\text{NH}_4\text{OH}$ , formaram as bases  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , sendo que uma pequena parte de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ainda é convertida a  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .

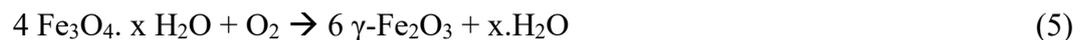
É importante mencionar que em meio muito básico ocorre a formação dos óxidos de ferro provenientes dos hidróxidos de ferro formados. Observe na reação (4) a formação dos óxidos:



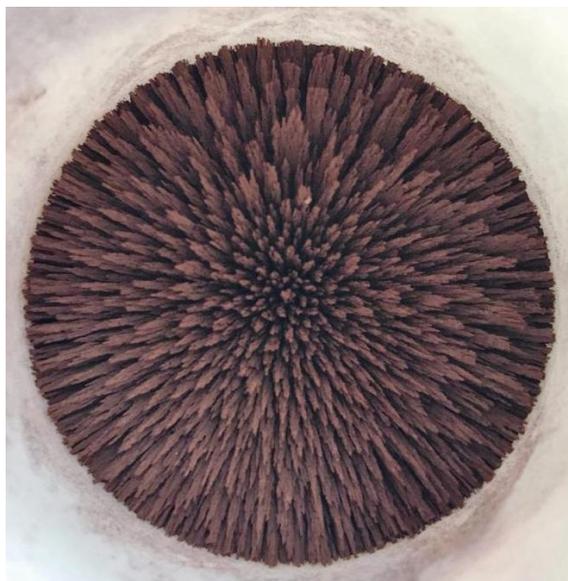
Estes óxidos provenientes das bases de  $\text{Fe}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+3}$  dão origem a magnetita, que é justamente o precipitado observado ao verter a solução no bécher contendo água e hidróxido de amônio. A magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sintetizada possui coloração característica amarronzada e apresenta resposta ao campo magnético externo, o qual em solução foi observado através do auxílio de um ímã.

### Tratamento térmico oxidativo da magnetita.

A próxima etapa da síntese consiste no tratamento oxidativo das nanopartículas da magnetita. Tanto a magnetita quanto a maghemita apresentam estruturas cúbicas de face centrada (cfc), estando os oxigênios em suas pontas. Porém, não existe a presença de íons  $\text{Fe}^{+2}$  na estrutura da maghemita, isto ocorre porque após o tratamento térmico todo o  $\text{Fe}^{+2}$  foi convertido para  $\text{Fe}^{+3}$  elucidando a transformação de magnetita em maghemita (MORUP, 1983; GERMAN, 2004; WANG *et al.*, 2001). A reação 5 demonstra a formação da maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) descrita por FOLDVARI (2011):



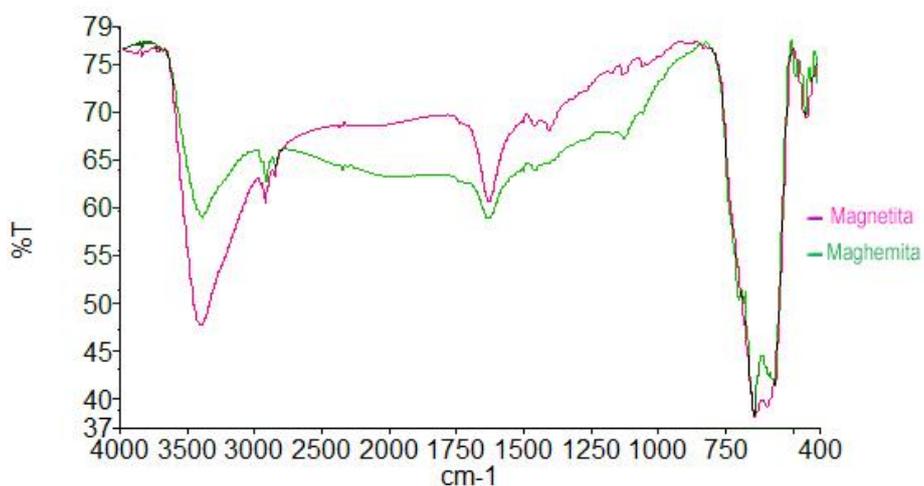
A Figura 1 ilustra a maghemita sintetizada e a sua resposta ao campo magnético externo ocorrendo a característica formação de raias.



**Figura 1.** Maghemita sintetizada pelo tratamento térmico-oxidativo da magnetita sob ação de campo magnético externo. Foto dos autores.

### **Análises de espectroscopia no infravermelho por transformada de fourier (FTIR) do material magnético**

As amostras de material magnético, magnetita e maghemita, foram analisadas com o intuito de se observar grupos funcionais característicos dos respectivos óxidos de ferro (Figura 2)

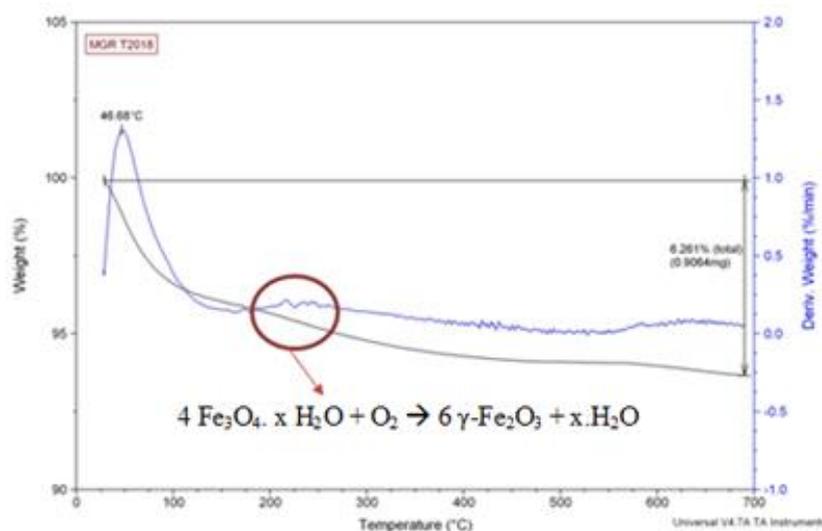


**Figura 2.** Análise de FTIR para as amostras de magnetita e maghemita

É possível observar que ambos os espectros apresentam picos na região de  $3400\text{ cm}^{-1}$  referentes a estiramento de ligação O-H presentes nos intermediários contendo FeOH das amostras e ligação O-H de água absorvida pela estrutura cristalina em pico presente na região de  $1620\text{ cm}^{-1}$ . Tendo em vista que a maghemita sofre um tratamento termo-oxidativo a altas temperaturas, espera-se que ocorra desidratação de moléculas de água incorporadas na estrutura cristalina tendo assim uma banda com intensidade bem mais fraca que a magnetita. As bandas de alta intensidade encontradas na região de  $670\text{ cm}^{-1}$  em ambos os espectros podem ser consideradas bandas de estiramento Fe-O (SILVERSTEIN, 1991) das matrizes de  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

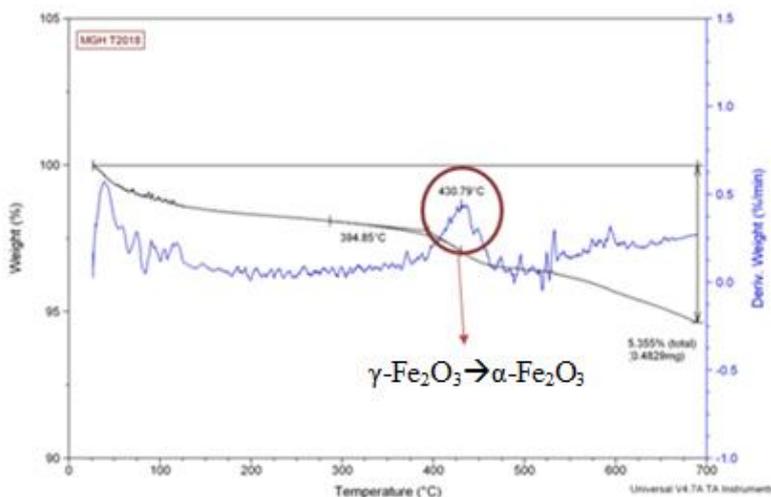
### Análises termogravimétricas (TGA) do material magnético

A magnetita e a maghemita foram caracterizadas também por análise termogravimétrica com o intuito de observar a degradação térmica do material sintetizado. O gráfico de TGA da amostra de magnetita é apresentado na Figura 3.



**Figura 3.** Análise termogravimétrica da amostra de magnetita.

É possível observar perda de massa na amostra de magnetita na faixa de 150 a 275 °C, isto ocorre devido à oxidação da magnetita para maghemita e expulsão de água de cristalização de acordo com a reação 5. Desta forma, é possível inferir que a temperatura ótima para conversão total de magnetita em maghemita ocorre a 275 °C como previsto na literatura (FOLDVARI, 2011). Também é possível concluir que apenas 6,26% m.m<sup>-1</sup> de amostra foi degradada numa faixa de temperatura de 30 a 700 °C, conferindo a resistência a degradação térmica do óxido de ferro. Em seguida, a Figura 4 ilustra a análise termogravimétrica para a amostra de maghemita.



**Figura 4.** Análise termogravimétrica da maghemita.

As perdas de massa na faixa de 25 a 200 °C observadas na Figura 4 são resultados da perda de umidade, que por depender de parâmetros ambientais não relacionados à amostra em si devem ser desconsideradas (HIRAGA, 2016). Após a faixa de 400 °C ocorre a desidroxilação de possíveis moléculas de água incorporadas na estrutura cristalina do material magnético, configurando a presença de  $\gamma\text{-FeOOH}$  (Lepidocrita) (FOLDVARI, 2011) que formará maghemita após a expulsão dessas moléculas de água de acordo a reação 6:



Após isso é possível observar uma grande perda de massa na temperatura de 430 °C, isto é explicado devido à recristalização da maghemita (FOLDVARI, 2011) formando a  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (Hematita) de acordo com a reação 7:

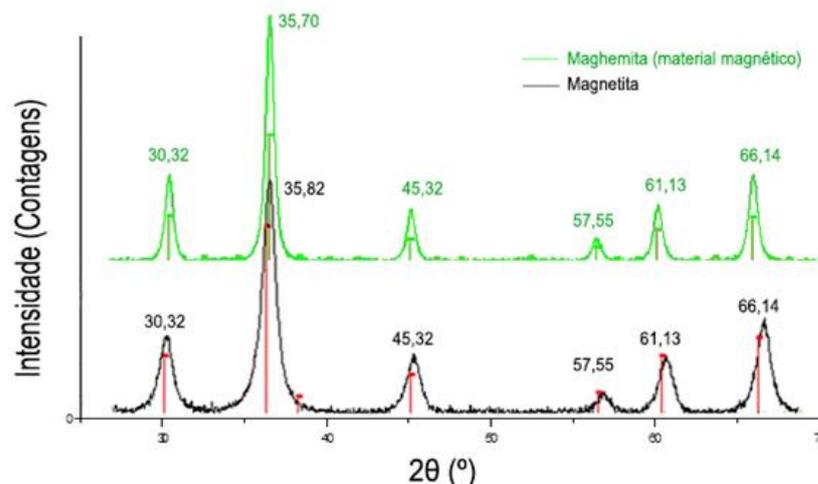


De uma maneira geral, apenas 5,35% m.m<sup>-1</sup> da amostra de maghemita foi degradada na faixa de temperatura utilizada.

Portanto, de uma maneira geral através da técnica de análise termogravimétrica foi possível observar picos referentes a perdas de massas provavelmente relacionados com a expulsão de água de cristalização, desidroxilação e oxidação de complexas matrizes de ferro presentes no material sintetizado.

### **Análise de difração de raios-x do material magnético**

A maghemita, assim como a magnetita que foi reservada anteriormente para as caracterizações, foram caracterizados através da técnica de difração de raios-x (DRX) com o objetivo de avaliar a estrutura cristalina do material sintetizado e o tamanho médio das nanopartículas. O difratograma obtido pode ser visualizado através da Figura 5.



**Figura 5.** Difratoograma das amostras de material magnético e magnetita.

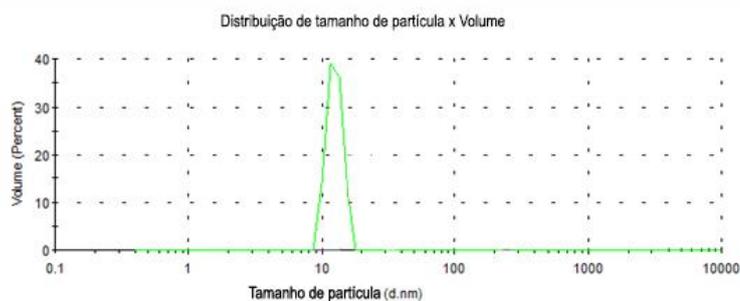
Os materiais nanoparticulados apresentam em um difratograma picos alargados, portanto, através da análise realizada foi possível observar picos com essa característica tanto para a amostra de maghemita quanto para de magnetita. Os picos, e consequentemente, os ângulos, encontrados para ambas as amostras foram basicamente iguais demonstrando a dificuldade em se diferenciar a magnetita da maghemita na faixa de 15 a 70° escolhida para a análise (BURTON, 2009). O tamanho médio das nanopartículas foi calculado usando a equação Debye Scherrer pelo software acoplado ao equipamento e é expresso através da Tabela 1.

**Tabela 1** - Tamanho médio das nanopartículas através da técnica de DRX

Amostra	Tamanho médio das nanopartículas (nm)
Maghemita	12
Magnetita	23

### Espalhamento dinâmico de luz e potencial zeta do material magnético

O resultado da análise de espalhamento dinâmico de luz (DLS) da maghemita utilizada nas sínteses das resinas magnetizadas foi gerado pelo software do equipamento Zetasizer Nano ZS90 da *Malvern Instruments* e pode ser observado através da Figura 6. É possível observar um grande pico onde o valor médio de diâmetro hidrodinâmico obtido na análise foi de  $12 \pm 2$  nm para as nanopartículas sintetizadas, confirmando o resultado adquirido pela técnica de DRX, indicando ainda que as nanopartículas não aumentam de tamanho significativamente em suspensão contendo 1% m.v<sup>-1</sup> PVA.



**Figura 6.** Análise de espalhamento dinâmico de luz para o material magnético em solução 1% m.v<sup>-1</sup> PVA em água.

Através dos dados obtidos através da análise de DLS o software também conseguiu determinar o potencial zeta dessas nanopartículas em suspensão. As nanopartículas em contato com a fase aquosa podem adquirir uma carga elétrica em sua superfície que pode promover fenômenos de atração, podendo se agregar e desestabilizando a suspensão, ou de repulsão, onde as mesmas se repelem e se mantêm desagregadas, tornando a suspensão mais estável (SINGH *et al*, 2005).

A medição do potencial zeta é utilizado justamente para se estudar a estabilidade dessas nanopartículas em suspensão. Segundo NURDIN (2016) valores de potencial zeta superiores a 30 mV indicam que suspensões contendo maghemita são consideradas estáveis, ou seja, as nanopartículas repelem a si mesmas mantendo-as em suspensão de maneira estável sem se agregar. Observe a Figura 7 que demonstra os resultados obtidos pelo software do equipamento Zetasizer Nano ZS90 da *Malvern Instruments*.

Os valores de potencial zeta encontrados pelo equipamento foram de 15,6, 16,5 e 17,3 mV, ou seja, valores que demonstram que em uma suspensão de 1% m.v<sup>-1</sup> de PVA em água as nanopartículas tendem a se agregar. A incorporação dessas nanopartículas nas matrizes poliméricas é afetada por essa instabilidade, tendo em vista que as nanopartículas não estão dispersas de maneira desejável e que as mesmas se agregam durante a polimerização, podendo dificultar a sua entrada nos poros das resinas, uma possível solução para este problema seria o aumento da concentração de PVA, aumentando a viscosidade do meio e conseqüentemente afetando a mobilidade eletroforética das nanopartículas em solução, dificultando a agregação das mesmas.

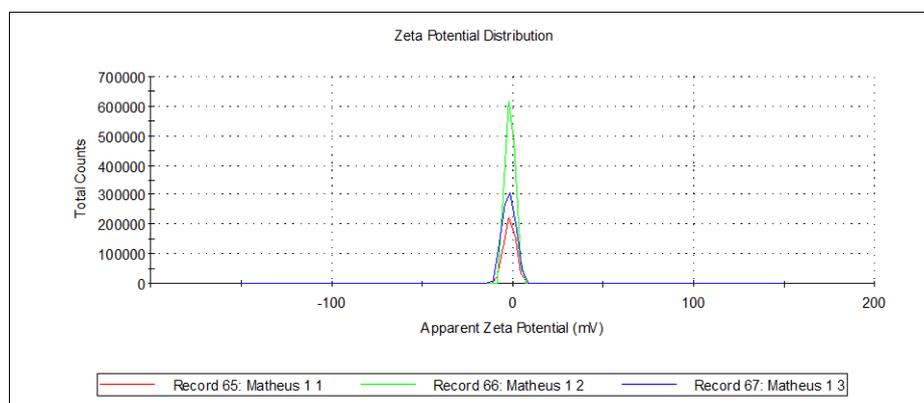


Figura 7. Análise para determinação do potencial zeta.

## CONCLUSÕES

As nanopartículas de maghemita foram sintetizadas com sucesso como pôde ser visto através da técnica de difração de raios-x e por bandas características de ligações Fe-OH e Fe-O na técnica de infravermelho por transformada de fourier. O tamanho de nanopartícula atingido foi de 12 nm, o que caracteriza que o material sintetizado está sob regime superparamagnético, ou seja, apenas possui magnetização quando está submetido à ação de um campo magnético.

O volume hidrodinâmico das nanopartículas foi de  $12 \pm 2$  nm, confirmando que mesmo sob suspensão não aumentam significativamente de tamanho. O potencial zeta do material magnético foi de 15,6 a 17,3 mV, o que é demonstra que sob suspensão de 1% m.v<sup>-1</sup> de PVA as nanopartículas tendem a se agregar e assim decantar pela ação da força gravitacional, portanto é sugerido aumentar a concentração de PVA com o intuito de diminuir a mobilidade eletroforética dessas nanopartículas dificultando a agregação, mantendo-as mais dispersas no meio e consequentemente facilitando a incorporação das mesmas nas matrizes poliméricas.

As análises termogravimétricas do material magnético demonstraram que muitas matrizes de ferro podem compor o material magnético sintetizado pelo método de coprecipitação por hidrólise alcalina. Estas matrizes são de difícil identificação e, portanto, análises de calorimetria exploratória diferencial devem ser realizadas em estudos posteriores com o intuito de concluir de fato as transformações demonstradas, porém, é possível observar pelas análises a oxidação do Fe<sup>+2</sup> para Fe<sup>+3</sup>, consequentemente, a transformação de magnetita em maghemita.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao CNPq e ao IFRJ pelo suporte financeiro cedido para à realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVERSA, TM; QUEIROS, YGC; LUCAS, EF; LOUVISSE, AMT. Síntese e sulfonação de resinas poliméricas macroporosas e avaliação na remoção de petróleo e de anilina em água. **Polímeros** **24**(1), 45-51, 2014.
- BURTON, AW. On the estimation of average crystallite size of zeolites from the Scherrer equation: A critical evaluation of its application to zeolites with one-dimensional pore systems. **Microporous and Mesoporous Materials**, **117**(1-2), 75-90, 2009.
- CAMILO, RL. **Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas de ferrita de cobalto recobertas por 3-aminopropiltrióxissilano para uso como material híbrido em nanotecnologia**. 2006. 187 f. Tese de Doutorado.
- CARDOSO, AM. LUCAS, EF. BARBOSA, CCR. Influência das Condições Reacionais nas Características de Copolímeros de Metacrilato de Metila e Divinilbenzeno Obtidos por Polimerização em Suspensão. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **14**(3), 201-205, 2004.
- CASTANHARO, JA; MELLO, I.L; MARIA, LCS; COSTA, MAS.; SILVAS, MR.; OLIVEIRA, MG. Preparação e caracterização de microesferas poliméricas à base de estireno, divinilbenzeno e acetato de vinila. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. **22**(3), 303-309, 2012.
- COSTA, CN. COSTAS, MASMLC. Síntese e Caracterização de Copolímeros à base de Metacrilato de Metila e Divinilbenzeno com Propriedades Magnéticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia** **9**(3), 260-266, 2006
- COSTA, RC; SOUZA JFG. Preparo de nanocompósitos de maghemita e polianilina assistido por ultrassom. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **24**(2), 243-249, 2014.
- CUNHA, L; GOMES, AS; COUTINHO, FMB; TEIXEIRA. Principais rotas de síntese de resinas complexantes de mercúrio. **Polímeros**. **17**(2), 145-157, 2007.
- DIEGUES, TG; FELINTO, MCFC; CAMILO, RL; YAMAMURA, M; SAMPAIO, LC; BRITO, GES. Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas de ferrita de manganês dopadas com  $\text{Eu}^{+3}$ . **17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.
- FOLDVARI, M. **Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice**. Budapest: Geol. inst. Of Hungary, 2011.
- GERMAN, SA. **Synthesis, characterization and applications of iron oxide nanoparticles**. Tese de Doutorado. Royal Institute of Technology, Suécia, 2004.
- GERMAN, SA. **Synthesis, characterization and applications of iron oxide nanoparticles**. Tese de Doutorado. Royal Institute of Technology, Suécia, 2004.
- HIRAGA, R; NEUMANN, R. Maghemita como mineral intermediário da transformação magnetita-hematita em minérios de ferro brasileiros: Caracterização mineralógica, tecnológica e implicações para beneficiamento. **V Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM**, 2016.

- LOWERY, TJ; DEMAS, V. Magnetic resonance *in vitro* medical diagnostics: superparamagnetic nanoparticle-based magnetic relaxation switches. **New Journal of Physics**. **13**, 2011.
- MAROLT, M. **Superparamagnetic Materials** Seminário de Mestrado, Universidade de Ljubljana, Slovenia, 2014.
- MARINHO, VS; NEVES, MFS; PEDROSA, M.; SOUZA, F. Síntese de resinas de estireno-divinilbenzeno magnetizadas e aplicadas como reagente em fase sólida. **55º Congresso de Química Goiânica/Goiás**, 2015.
- MARINHO, VS. **Influência do meio dispersante na obtenção de resinas de estireno divinilbenzeno com propriedades magnéticas**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Instituto Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.
- MORUP, SM. Spectroscopy studies suspensions of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microcrystals. **Journal of Magnetism and Magnetism Materials**. **40**, 163, 1983.
- NAZARI, M; GHASEMI, N; MADDAH, H; MOTLAGH, MM. Synthesis and characterization of maghemite nanopowders by chemical precipitation method. **J Nanostruct Chem**, 2014.
- NEVES, MFS; DIAS, ML.; COUTINHO, FMB. Copolímeros de estireno-divinilbenzeno para aplicação em cromatografia de exclusão por tamanho. **Polímeros**. **7(3)**, 71-77, 1997.
- NURDIN, I. The Effect of Temperature on Synthesis and Stability of Superparamagnetic Maghemite Nanoparticles Suspension. **Journal of Materials Science and Chemical Engineering**, **4**, 35-41, 2016.
- SILVERSTEIN, RM; BASSLER, GC; MORRILL, TC. **Spectrometric identification of organic compounds**. 5<sup>th</sup> Ed., 430p, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- SINGH, BP.; MENCHAVEZ, R; TAKAI, C; FUJI, M; TAKAHASHI, M. Stability of Dispersions of Colloidal Alumina Particles in Aqueous Suspensions. **Journal of Colloid and Interface Science** **291**, 181-186, 2005.
- WANG, YX; HUSSAIN, S; KRESTIN, G. Superparamagnetic iron contrast agents: physicochemical characteristics and applications in MR imaging. **European Radiology**, **11**, 2319, 2001.