

Nanopartículas Núcleo-Camada de Magnetita-Prata para Aplicações Bactericidas

Mayra Monteiro* (Graduada em Eng. Química na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA);

Karyn Oliveira (Graduanda em Eng. Química na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA);

Paula Moraes (Graduada em Eng. Química na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA);

Marco Antonio Morales Torres (Prof. DFTE na Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN);

* Email: mayra.kerolly@gmail.com

Resumo:

As nanopartículas de prata metálica e seus óxidos tem mostrado atividade biocida contra bactérias gram positivas e gram negativas. Neste trabalho propomos o uso de nanopartículas núcleo-camada (NC) de magnetita-óxido de prata como um material desinfetante para água poluída com bactérias. As partículas magnéticas NC têm a vantagem de serem reutilizáveis após sua ação em um meio aquoso contaminado por patógenos. A extração das partículas NC será feita usando o campo magnético gerado por um ímã permanente. A magnetita (Fe_3O_4) foi preparada através da oxidação e co-precipitação de íons de Fe^{2+} em meio alcalino de KOH e KNO_3 e em atmosfera de gás de nitrogênio. A prata foi depositada sobre a superfície da Fe_3O_4 em meio líquido, em 300K e com pH básico. Após interação da prata com a magnetita, as nanopartículas NC foram extraídas magneticamente. As amostras foram caracterizadas usando as técnicas de difração de raios-X (DRX), espectroscopia Mössbauer (EM) do ^{57}Fe e medidas de magnetização (MxH). Das medidas de DRX constatamos a presença de picos característicos da magnetita (Fe_3O_4), da prata (Ag) e do óxido de prata (Ag_2O), da análise Rietveld determinamos o diâmetro médio das partículas de Fe_3O_4 , apresentando valor de 30 nm. As medidas de EM mostraram dois subespectros sextetos, os quais correspondem aos íons de Fe^{3+} e (Fe^{2+} e Fe^{3+}) ocupando sítios tetraedrais e octaedrais, respectivamente. A medida de MxH apresentou magnetização de saturação de 96 emu/g. Para verificar a formação da camada de Ag_2O sobre as partículas de Fe_3O_4 determinamos o ponto de zero carga (PZC) das nanopartículas NC. O PZC corresponde ao valor de pH = 9.3, esse valor é muito diferente do PZC da magnetita em pH=7. A diferença observada pode ser devida à presença de prata metálica na superfície da magnetita. Esse material apresenta forte potencial para desinfetar líquidos que não podem ser tratados com cloro ou outros meios convencionais.

Palavras-chave:

Fe_3O_4 ; Ag_2O ; Ag^+ ; bactérias; nanopartículas.

1. Introdução

1.1 Ação antimicrobiana da prata

As propriedades antimicrobianas da prata são conhecidas desde a antiguidade, onde a água e outros líquidos eram armazenados em recipientes revestidos de prata, isso tornava a água potável por um maior período de tempo. Na primeira guerra mundial componentes de prata eram utilizados para evitar infecções entre os feridos. Em 1884, tornou-se uma prática comum, introduzida inicialmente pelo obstetra alemão F. Crede, administrar gotas de nitrato de prata aquoso nos olhos dos recém-nascidos para evitar a transmissão de oftalmia gonorréica neonatal das mães infectadas para seus filhos durante o parto (Silvestry-Rodriguez, 2007).

Centenas de milhões de pessoas já foram expostas a tratamentos clínicos contendo prata, e até mesmo na utilização de água saneada com esse metal, sem relatos de reações tóxicas. No entanto na Primeira Guerra Mundial, observou-se que quando lesões graves no crânio eram tratadas com placas de prata ocorria uma reação tóxica, provavelmente relacionada à barreira hematoencefálica presente nas células nervosas do cérebro e da coluna vertebral que impede a entrada de metais pesados nessa região do corpo, sendo a única a apresentar reações tóxicas a prata, as demais não apresentam esse sistema de segurança (Souza, 2011).

Portanto a história epidemiológica da prata mostra que sua toxicidade para mamíferos não é comum, além de não existir evidências de que esse metal apresente atividade cancerígena. Vários metais pesados podem ser biocidas ou antissépticos, inclusive a prata, a capacidade de quantidades muito pequenas de esses metais pesados exercerem atividade antimicrobiana é referido como ação oligodinâmica, esse efeito é produzido pela ação dos íons metálicos sobre os micróbios. Entre os metais a prata tem sido o que melhor apresenta propriedades antimicrobianas e menor toxicidade para os mamíferos (Tortora, 2005).

1.2 Mecanismo de ação

Embora as propriedades antimicrobianas de prata sejam conhecidas há séculos, só recentemente começamos a compreender os mecanismos pelos quais a prata inibe o crescimento bacteriano. Entre eles podemos destacar a oxidação catalítica de radicais na superfície celular inibindo a transferência de oxigênio, a reação com radicais presentes na superfície das bactérias interferindo no transporte eletrônico e a associação com o DNA (Souza, 2011).

As bactérias possuem uma enorme quantidade de enzimas, que são principalmente proteínas vitais para as atividades celulares, isso está relacionado à forma tridimensional das proteínas, essa forma é mantida por ligações químicas que unem as porções adjacentes da cadeia dos aminoácidos onde ela se dobra sobre si mesma (podemos observar melhor através da figura abaixo), algumas dessas ligações são pontes de hidrogênio susceptíveis ao rompimento, há também ligações covalentes, que embora sejam mais fortes podem também serem rompidas, causando a desnaturação da proteína (Tortora, 2005).

As pontes dissulfeto, que desempenham um papel importante na estrutura das proteínas ao unir os aminoácidos com os grupos tióis expostos, podem ser afetadas pelos íons de prata, pois a mesma libera Ag^+ íons que reagem com esses grupos tióis presentes nessas proteínas da superfície da parede celular das bactérias, que são responsáveis pelo transporte de nutrientes. Esses grupos tióis são compostos orgânicos que contêm o grupo $-\text{SH}$ (designado por grupo tiol, grupo mercaptano ou grupo sulfidríla). Os íons monovalentes de Ag^+ substituem o cátion H^+ e formam grupos $-\text{S-Ag}$, inativando a proteína e, assim, diminuindo a permeabilidade da membrana, que pode causar eventualmente a morte celular (Clement, 1994 e Feng, 2000).

Albert T. McManus, MD, diretor de Microbiologia do Institute of Surgical Research, Fort Sam Houston Army Burn Center, Houston, Texas 1995, acredita que a prata é capaz de eliminar os microrganismos através de simples reações de redução/oxidação catalítica reagindo com qualquer carga negativa disponível, sendo que na parede celular há uma série de proteínas com carga negativa, essas reações resultam na formação das pontes de dissulfeto. A formação de prata-catalisada de pontes dissulfeto poderia mudar a forma das enzimas celulares e posteriormente afetar a sua função.

Há evidências de que os íons Ag^+ podem anexar-se a radicais presentes na parede celular, prejudicando a respiração da célula e seu sistema de transferência de nutrientes. Os estudos mostram que os mamíferos não são afetados pela prata porque conseguem bloquear a entrada de íons de grande porte, como a prata (Souza, 2011).

Outro possível mecanismo que explica a ação bactericida da prata foi proposto por Kluehet al. 2000, onde os íons de prata interagem com os ácidos nucleicos, preferencialmente com as bases nucleotídicas, penetrando nas células e interrompendo as ligações de hidrogênio entre essas bases do DNA adjacentes purinas (adenina e guanina) e as pirimidinas (timina e citosina) causando a desnaturação da molécula, embora isso não tenha sido provado, foi proposto por Fox e Modak, 1974, que quando a prata penetra na célula ela se associa com a molécula de DNA.

A maioria desses mecanismos de ação biocida está relacionado com o fato de que a prata penetra na célula. Os íons de Ag^+ penetram na célula, atravessando sua membrana hidrofóbica e acessando o citoplasma, através da proteína transmembrana que é responsável para transportar íons para o interior da célula. Foi mostrado que a proteína transmembrana como CopB-ATPase de *Enterococcus hirae* teve a capacidade de transportar íons de prata, embora seja um transportador de íons de cobre (Solioz et. al, 1995), isso prova que embora não existam mecanismos transportadores específicos para a prata, esta tem como penetrar na parede celular.

As propriedades antibacterianas da prata só estão presentes em sua forma ionizada (Lok et. al, 2007 e Rai et. al 2009), em sua forma não ionizada ela é inerte (Guggenbichler et. al, 1999), entretanto o contato com a umidade leva à liberação de íons (Radheshkumar, 2006), portanto todas as formas de prata ou compostos contendo prata, como o óxido de prata (Altman, 1992), que sejam fonte de Ag^+ , apresentam propriedades antibacterianas. Esses íons podem ser incorporados a substâncias de forma que sejam liberados lentamente com o tempo, como acontece com a sulfadiazina de prata, ou até mesmo de uma porção sólida ou em forma de nanopartículas (Souza, 2011).

Neste trabalho, motivados pelo elevado valor da magnetização, biocompatibilidade e biodegradabilidade da magnetita e tendo o conhecimento da prata como um eficaz agente bactericida, foi sintetizado nanopartículas núcleo-camada de magnetita revestida com prata, com a finalidade de desinfetar águas contaminadas com bactérias. Devido às propriedades magnéticas do material, as nanopartículas poderão ser retiradas do meio aquoso usando um campo magnético externo. As amostras serão caracterizadas através das técnicas de difração de raio-X, espectroscopia Mössbauer, ponto de zero carga e medida de magnetização. Será realizada a medida de difração de raios-X para determinar quais são os elementos presentes na amostra, pela técnica de espectroscopia Mössbauer junto com a medida de magnetização se verifica a qualidade da magnetita utilizada, já pelo ponto de zero carga das amostras prova-se que o óxido de prata e a prata estão revestindo a magnetita.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

Propomos desenvolver um sistema de baixo custo e baixa toxicidade que possa ser reutilizável. O sistema é constituído por nanopartículas núcleo-camada de magnetita-prata de elevado momento magnético, nas quais são preparadas em ausência de polímeros que poderiam diminuir seu efeito biocida. O objetivo deste trabalho é desenvolver um método para depositar a prata na forma de camada em volta da magnetita que se encontra como um núcleo. A prata é o mineral que entrará em contato com a água e liberar os íons Ag^+ que matará as bactérias, por conseguinte a magnetita será responsável pela retirada das nanopartículas da água purificada.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir um material na forma de nanopartículas núcleo-camada de magnetita revestida com prata para despoluir água contaminada com bactérias.
- Desenvolver nessas nanopartículas núcleo-camada um sistema antibactericida que faça com que elas possam ser reutilizadas várias vezes.

3. Justificativa

A água é um recurso natural fundamental à existência da humanidade. O consumo humano desse recurso, entretanto, restringe-se a fontes de água doce que se torna a cada dia uma fonte mais escassa. Por esse motivo, muitas campanhas de conscientização da população para preservar a água têm surgido, no sentido de despertar o interesse para essa questão relevante. A purificação da água para consumo humano é um problema atual. Bactérias gram positivas e gram negativas são patógenos encontrados frequentemente em alimentos mal conservados e em água contaminada. A utilização de métodos alternativos que possibilitem a eliminação das bactérias e produzam água que atenda aos padrões estabelecidos pela agência de proteção ambiental e de saúde são bem-vindos.

4. Método de Síntese

Esta etapa do trabalho, obtida por intermédio de alterações feitas no procedimento experimental de Souza (2011), teve em vista satisfazer seu objetivo apresentando sua metodologia dividida em duas partes – na síntese e caracterização do núcleo de magnetita e no seu revestimento com a prata –, além de evidenciar o procedimento adotado para obtenção das amostras do PZC.

O revestimento com a prata evita a agregação e sedimentação das partículas bem como concede a elas propriedades superficiais para aplicações específicas, sendo no caso deste trabalho, para permitir a purificação do meio contaminado através da liberação dos íons de Ag^+ .

4.1 Primeira parte: síntese e caracterização do núcleo de magnetita

A magnetita utilizada nesse trabalho foi sintetizada em laboratório através do seguinte procedimento: foram misturadas quantidades específicas de soluções de hidróxido de potássio (KOH), de nitrato de potássio (KNO_3), de sulfato de ferro (FeSO_4) em água destilada, essa mistura foi feita em uma atmosfera com gás nitrogênio (N_2). A mistura resultante foi aquecida em banho maria até 90°C por 4 horas. Em seguida, a magnetita foi lavada para obter pH neutro e por fim foi colocada para secar a 90°C .

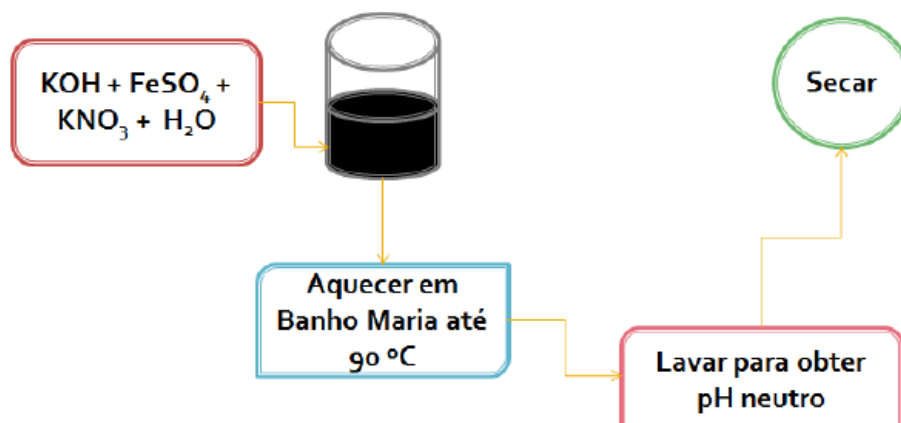


Figura 1 - Método de preparação da magnetita.

As amostras de magnetita foram caracterizadas pelas técnicas de DRX que determinou o diâmetro médio das partículas de magnetita, de 30 nm, por Espectroscopia Mössbauer, que detectou dois subespectros sextetos que continha Fe^{3+} em sítios tetraédricos e $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ em sítios octaédricos provando assim que a magnetita sintetizada apresentava comportamentos semelhantes aos da magnetita pura, e pela Medida de magnetização apresentou-se uma magnetização de saturação com valor de 96 emu/g.

4.2 Segunda parte: revestimento do núcleo de magnetita pela prata

Foi preparada inicialmente uma solução padrão básica com o objetivo de atingir valores maiores de pH=10. As partículas foram colocadas nessa solução e dispersadas por 5 minutos em um ultrassom. Em seguida acrescentou-se uma determinada quantidade de nitrato de prata, e agitou-se a solução no ultrassom por 30 segundos. Após isso se colocou a solução em um agitador mecânico, deixando-lhe por 1h e 20 min. Em seguida lavou-se a amostra várias vezes até obter um pH neutro. Por fim colocou-se a amostra na estufa a 80 °C por 1h e 30min. O revestimento das nanopartículas de magnetita pela prata foi confirmado pelas medidas feitas para determinar o PZC. Medidas de absorção atômica da prata serão feitas para determinar a concentração de íons de Ag^+ liberados para o meio aquoso durante um processo de purificação.

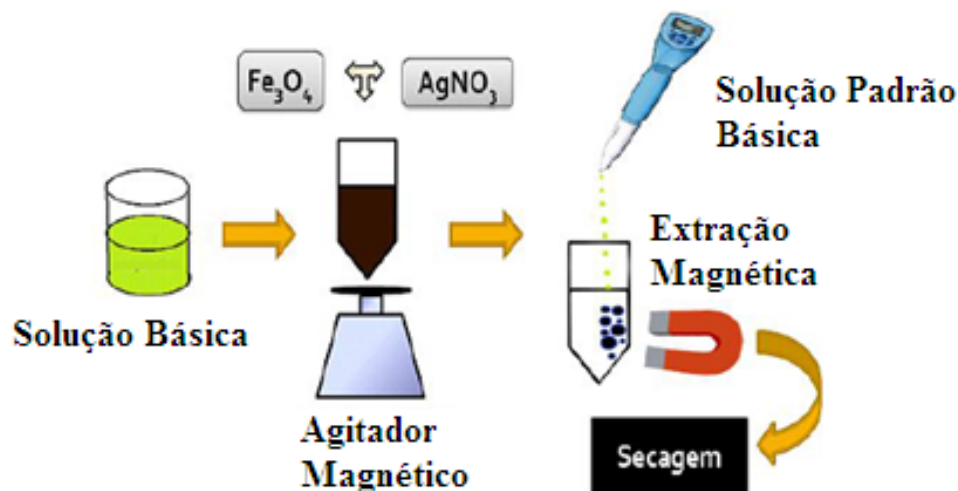


Figura 2 – Mostra o método de revestimento da magnetita pela prata.

Uma observação que tem que ser levada em consideração no processo de síntese das nanopartículas núcleo camada de magnética revestida com prata, é que manipulamos a magnetita sempre em solução básica com a finalidade de seus íons monovalentes ficassem carregados negativamente em sua superfície ficando assim vulneráveis a associação com a prata que é carregada positivamente.

4.3 Obtenção dos valores do ponto de zero carga

Foram preparadas oito soluções com a finalidade destas variarem o pH entre 3 e 11, originando soluções ácidas, neutras e básicas. Inicialmente colocou-se 30 ml de água destilada em frascos de 50 ml. Para obter soluções de caráter ácido utilizou-se uma solução padrão ácida feita com 5ml de ácido acético e 10 ml de água destilada. Com uma micropipeta adicionava-se certa quantidade dessa solução a 30 ml de água destilada, obtendo quatro soluções com pH entre 3 e 7. Já para obter uma solução com caráter básico utilizou-se uma solução padrão básica que continha 100 mg de NaOH em 20 ml de água destilada, e com uma micropipeta adicionou-se essa solução a 30 ml de água destilada e obteve-se quatro soluções com pH entre 7 e 11. Cada solução no frasco de 50 ml teve seu respectivo pH anotado, em seguida foi adicionado 6ml de cada solução em tubos de 13 ml e observou-se o pH novamente.

5. Resultados e Discussões

5.1 Espectroscopia Mössbauer - EM

A magnetita foi analisada por espectroscopia Mössbauer de transmissão em temperatura ambiente. Os parâmetros hiperfinos obtidos para esta amostra são apresentados na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Valores correspondentes aos parâmetros hiperfinos.

Subespectros Sextetos	Deslocamento Isomérico (δ)	Desdobramento Quadrupolar (ϵ)	Campo Hiperfino (B_{hf})	Área Relativa (%)
SÍTIO A (Fe^{3+})	0,15 mm/s	$-1,7 \times 10^{-2}$ mm/s	49,8 T	35,9
SÍTIO B (Fe^{2+} e Fe^{3+})	0,40 mm/s	$4,0 \times 10^{-3}$ mm/s	45,0 T	64,1

Fonte: Autoria Própria

O espectro da magnetita, como mostrado na figura 3, foi ajustado com dois subespectros sextetos com valores de deslocamento isomérico, desdobramento quadrupolar e campo hiperfino típicos da magnetita. Esses parâmetros como mostra a tabela acima são referentes ao sítio tetraédrico (sítio A) e octaédrico (sítio B) da magnetita. As áreas relativas dos subespectros estão relacionadas com a quantidade de íons Fe^{2+} e Fe^{3+} que ocupam os sítios A e B na estrutura da magnetita. E que embora a razão da área relativa entre os sítios B e A (B/A) seja igual a 1,79, esse valor é próximo do valor esperado, igual a 2,0, para a magnetita de elevada pureza (Cornell, 2003).

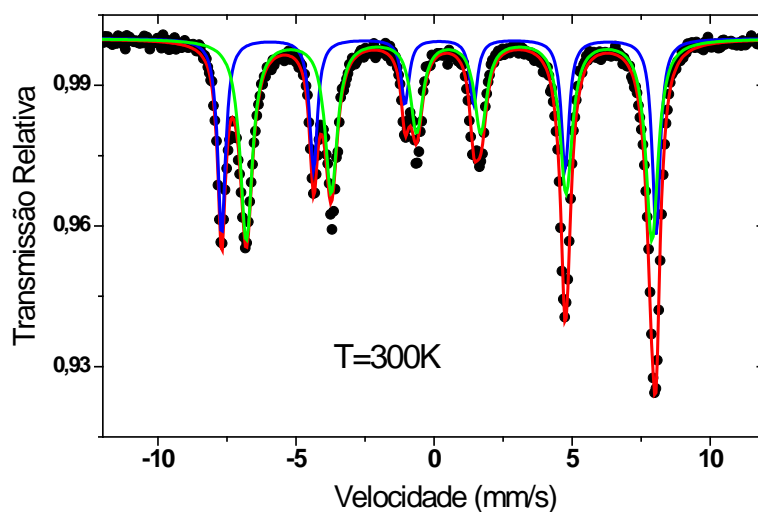


Figura 3 - Espectro Mössbauer em temperatura ambiente da magnetita pura.

5.2 Difração de Raios X - DRX

Os difratogramas apresentados na figura 4 acusaram a presença de picos de difração característicos da magnetita (Fe_3O_4), óxido de prata (Ag_2O) e prata (Ag^+). Não observamos a presença de alguma fase amorfa. A identificação foi feita através do programa Match, um software utilizado para identificação de fases de amostras policristalinas, o mesmo comparou o padrão de difração de pó da amostra sintetizada com uma base de dados contendo os padrões de referências, no caso a tabela da CIDD (Centro Internacional para dados de difração), a fim de identificar as fases que estão presentes. As referências usadas foram da magnetita (Fe_3O_4), óxido de prata (Ag_2O) e prata (Ag^+) nas respectivas tabelas CIDD, (00-088-0315), (00-075-1532) e (00-087-0717).

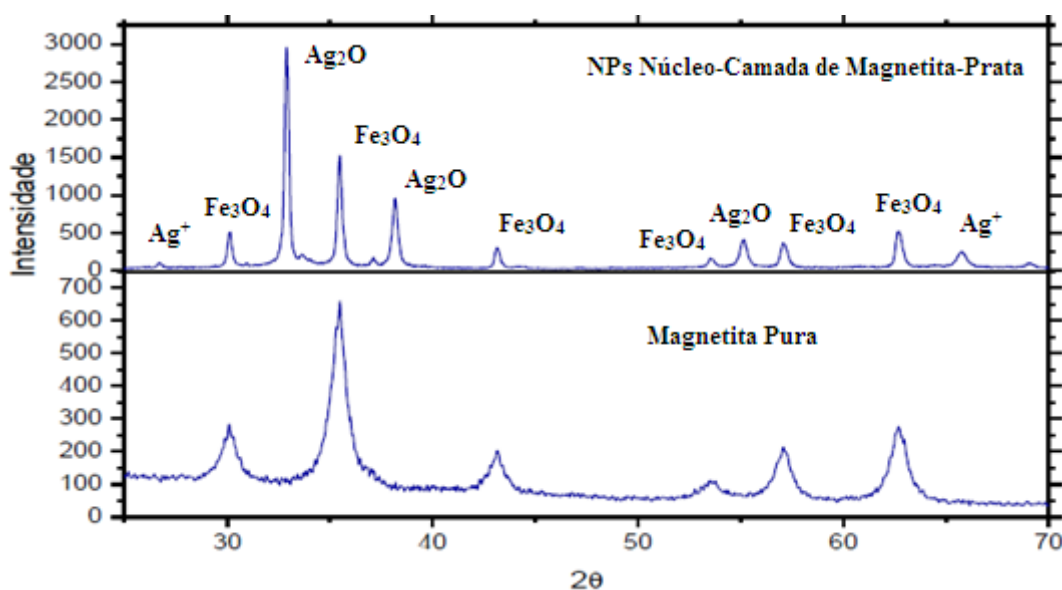


Figura 4 – Difratomogramas das partículas núcleo-camada e da magnetita pura.

Utilizando a equação de Scherrer e os valores de largura à meia altura do pico mais intenso da magnetita, considerando $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ foi possível calcular o tamanho dessas nanopartículas. Constatamos nanopartículas com diâmetro de 30 nm.

Os picos característicos de cada componente presente nas NPs sintetizadas foram identificados em intervalos de $2\theta = 5^\circ\text{-}70^\circ$. A figura 4 mostra o contraste entre os picos característicos da magnetita determinados quando presente nas NPs e a mesma na sua forma pura, sendo possível notar que a policristalinidade da magnetita foi mantida (Cornell, 2003). Já os picos de difração do óxido de prata aparecem com uma intensidade maior que a da magnetita, indicando um aumento da cristalinidade.

5.3 Ponto de zero carga das amostras – PZC

Soluções aquosas preparadas com vários valores de pH usando soluções diluídas de ácido acético e NaOH, os valores de pH são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - pH iniciais das oito soluções ácidas, neutra e básicas

pH inicial
3,05
4,66
5
6,67
7,1
6,89
7,68
9,99
11,03

Fonte: Autoria Própria

As NPs sintetizadas foram aquecidas a 100°C para eliminar a umidade, e logo depois pesadas, obtendo um peso igual a 0,243g. Dividiu-se essa amostra nas oito soluções acima contendo cada uma 0,030g aproximadamente da amostra sintetizada. As soluções foram colocadas em agitação por 12 horas à temperatura ambiente. Feito isso, mediu-se o pH final das dispersões, esperando o pHmetro estabilizar por 3 minutos em cada medição. Depois disso foi determinada a variação entre o pH final da dispersão e o pH inicial, obtendo a tabela 3:

Tabela 3 - Mostra a variação do pH entre o pH final da solução com amostra e o pH inicial sem a amostra.

pH _i	pH _f	$\Delta\text{pH} = \text{pH}_f - \text{pH}_i$
3,05	4,01	0,96
4,66	9,18	4,52
5	9,2	4,2
6,67	9,05	2,38
7,1	9,07	1,97
6,89	9,09	2,2
7,68	9,06	1,38
9,99	9,4	-0,59
11,03	10,02	-1,01

Fonte: Autoria Própria

5.3.1 Análise do resultado do ponto de zero carga das NPs

O ponto de zero carga das NPs núcleo-camada foi determinado no gráfico mostrado na figura 5 (a), os valores da ordenada correspondem às variações entre o pH final e inicial (ΔpH) das soluções e a abcissa são os valores do pH inicial, logo o ponto de zero carga das NPs corresponde ao valor onde $\Delta\text{pH} = 0$. Através da figura 5(a) pode-se perceber que o PZC das NPs foi aproximadamente de $\text{pH}_i = 9,3$.

Sabendo que o PZC da magnetita pura é de $\text{pH}_i = 7$ (Cornell, 2003) podemos concluir que o valor elevado do PZC das NPs é devido à presença da prata+óxido de prata na superfície da magnetita. A figura 5(b) mostra que o valor do PZC do óxido de prata puro é de 10,4, e esse valor é um pouco maior que o obtido para as NPs. Essa pequena diferença pode ser devida à uma pequena quantidade de partículas de magnetita que não foram funcionalizadas com a prata. De fato, a extração magnética realizada depois da funcionalização das partículas de magnetita com a prata não exclui essa possibilidade. A partir dessas observações podemos concluir que a uma elevada percentagem da magnetita apresenta em sua superfície cátions da prata ou óxido de prata.

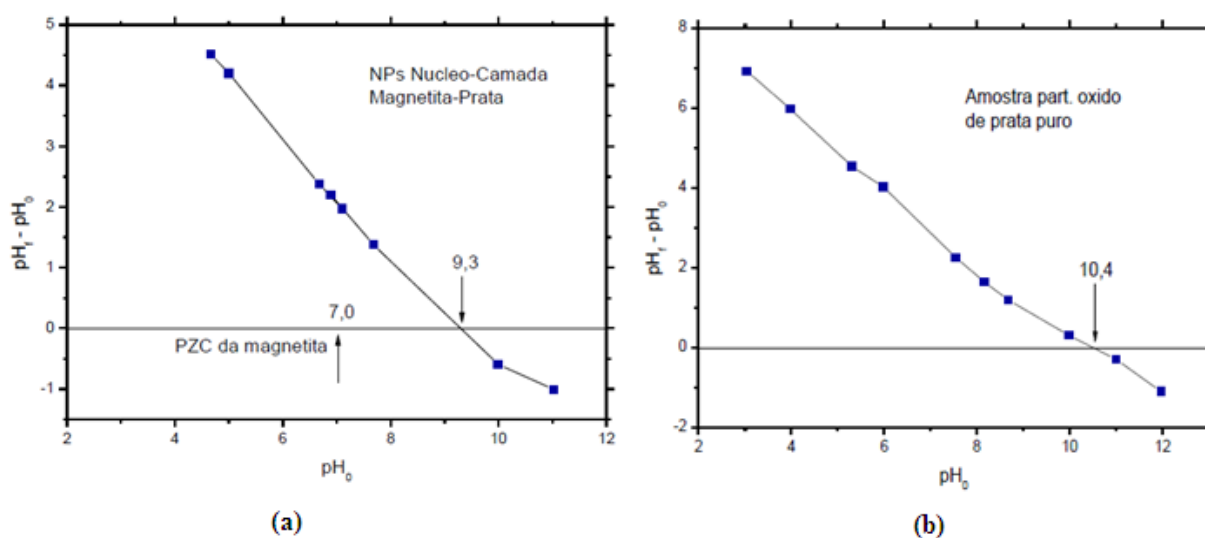


Figura 5 –(a) Mostra o PZC das nanopartículas núcleo camada sintetizadas; (b) Mostra o PZC do óxido de prata puro.

5.4 Medidas de Magnetização - MxH

A caracterização magnética da magnetita foi feita por meio medidas de magnetização em função do campo magnético realizadas em temperatura ambiente. A curva de histerese obtida é apresentada na figura 6. Os valores obtidos da magnetização de saturação, magnetização remanente e campo coercivo foram 96,0 emu/g, 17,8 emu/g e 0,15 kOe, respectivamente. Esses valores são próximos da magnetita pura (Cornell, 2003). Logo, conclui-se que o valor obtido para a magnetização de saturação prova que a magnetita preparada é de boa qualidade.

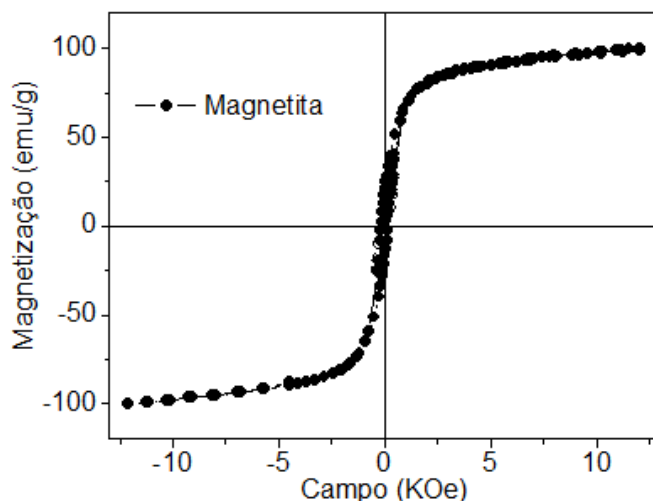


Figura 6 – Medida de magnetização em função do campo magnético da magnetita pura.

6. Conclusão

Sintetizamos nanopartículas núcleo camada de magnetita revestida com prata. Através de técnicas como DRX constatamos a presença de óxido de prata e da prata nas partículas funcionalizadas de magnetita. Já a espectroscopia mössbauer indicou uma composição química muito parecida com a magnetita de elevada pureza, e, utilizamos uma técnica simples para determinar o PZC das partículas, assim comparando o PZC da magnetita e do óxido de prata, pode-se provar que a magnetita está revestida pelo óxido de prata.

7. Perspectivas

- Dentre as perspectivas que este trabalho apresenta podemos destacar a realização de testes bactericida com meios líquidos contaminados.
- Fazer análise de microscopia eletrônica para obter informações morfológicas das nanopartículas.

Nanoparticles Core-Layer Silver-Magnetite for Bactericides Applications

Abstract: The metallic silver nanoparticles and their oxides have shown biocidal activity against gram positive and gram negative bacteria. In this paper we propose the use of core-shell nanoparticle (CSN) of magnetite silver-oxide as a disinfectant material for polluted water with bacteria. The CSN have the advantage of being reusable after its action in an aqueous medium contaminated by pathogens. The extraction of the CSN will be done by using the magnetic field generated by a permanent magnet. Magnetite (Fe_3O_4) was prepared by oxidation and co-precipitation of Fe^{2+} ions in an alkaline medium of KOH and KNO_3 in an atmosphere of nitrogen gas. Silver was deposited on the surface of the Fe_3O_4 nanoparticles dispersed in water

at basic pH and 300K. After interaction of silver with magnetite, the NC nanoparticles were magnetically extracted. The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD), Mössbauer spectroscopy (MS) and magnetization measurements (MxH). From the XRD results, it was verified the presence of characteristic peaks of magnetite (Fe_3O_4), silver (Ag) and silver oxide (Ag_2O). The average particle diameter of Fe_3O_4 was of 30 nm. The Mössbauer spectrum showed two subspectra, which correspond to Fe^{3+} and (Fe^{2+} and Fe^{3+}) ions occupying octahedral and tetrahedral sites respectively. The magnetization measurement showed saturation magnetization of 96 emu/g. To prove the formation of Ag_2O shell on the Fe_3O_4 surface particle it was determined the point of zero charge (PZC). The PZC obtained was of 9,3, this value was in agreement with the one expected for silver oxide. This material has great potential for disinfecting liquids that can't be treated with chlorine or other conventional means.

Keywords: Fe_3O_4 ; Ag_2O ; Ag^+ ; bacterium; nanoparticles.

8. Referências bibliográficas

- ALTIMAN, M. S. **Divalent silver oxide bactericides**. United Stats Patent. N° 5089584, 1992.
- CLEMENT, J. C.; JARRETT P.S.; **Antibacterial Silver**. Metal-Based Drugs. v. 1, p. 5- 6, 1994.
- CORNELL, R.M.; SCHERTMANN U. **The Iron Oxides**, Segunda edição, Wiley-VCH, Weinheim, Alemanha, 2003.
- FENG, Q.L.; WU, J.; CHEN, G. Q.; CUI, F. Z.; KIM, T. N.; KIM, J. O. **A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus**. Journal of Biomedical Materials Research Part A. 2000. v. 52, n° 4. p. 662-668.
- FOX, C.L.; MODAK, S.M.; **Mechanism of Silver Sulfadiazine Action on Burn Wound Infections**. Antimicrobial Agents and Chemotherapy. v. 5, No. 6. p. 582-588, 1974.
- GUGGENBICHLER, J. P.; BOSWALD, M.; LUGAUER, S.; KRALL, T. **A New Technology of Microdispersed Silver in Polyurethane Induces Antimicrobial Activity in Central Venous Catheters**. Infection. v. 27. p. 16-23, 1999.
- KLUEH, U.; WAGNER, V.; KELLY, S.; JOHNSON, A.; BRYERS, J. D. **Efficacy of Silver-Coated Fabric to Prevent Bacterial Colonization and Subsequent Device-Based Biofilm Formation**. Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials. v. 53. p. 621-631. 2000.
- LOK, C. HO, C.; CHEN, R.; HE, Q.; YU, W.; SUN, H.; TAM, P. K.; CHIU, J.; CHE, C. **Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities**. Journal of Biological Inorganic Chemistry. v. 12, n° 4. p. 527-534, 2007.
- RADHESHKUMAR, C.; MUNSTEDT, H. **Antimicrobial polymers from polypropylene/silver composites – Ag – release measured by anode stripping voltammetry**. Reactive & Functional Polymers. v. 66. p. 780-788, 2006.
- RAI, M.; YADAV, A.; GADE, A. **Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials**. Biotechnology Advances. v. 27. p. 76-83, 2009.
- SILVESTRY-RODRIGUEZ, N.; SICAIROS-RUELAS, E. E.; GERBA, C. P.; BRIGHT, K. R. **Silver as a Disinfectant**. Rev Environ Contam Toxicol. 2007. v. 191. p. 23-45

SOLIOZ, M.; ODERMATT, A. **Copper and Silver Transport by CopB-ATPase in Membrane Vesicles of Enterococcus Hirae**. The Journal of Biological Chemistry. v. 270, n°16, p. 9217-9221, 1995.

SOUZA, E. C. **Síntese de magnetita e ação antibacteriana do Ag₂O em matriz de alginato magnético**. Mestranda em Física, Mossoró: UERN; 2011. 111p.

TORTORA, G. J.; FUNKE B. R.; CASE C. L. **Microbiologia**. Artmed, 2005.