

XV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE



ANÁLISE DE UM COMPOSTO BASEADO EM NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS A UM CAMPO MAGNÉTICO

Lucas Sales de Araújo Nunes¹, Glauco Fontgalland²

RESUMO

Com o objetivo de se aprimorar uma das técnicas de cirurgias em vértebras é proposta a utilização de um nova formulação de cimento ósseo, composto de nanopartículas magnéticas. Em conjunto com uma fonte de campo magnético externo, que será responsável pelo controle do transporte daquele material por entre as estruturas vertebrais, é esperado um aumento significativo na eficiência da fixação de parafusos pediculares que promovem estabilidade à coluna vertebral de pacientes acometidos por doenças degenerativas. Para esse fim, tem-se a caracterização tanto do biomaterial, no que se diz respeito à viscosidade, tempo de pega, medidas magnéticas, e citotoxicidade, como também do eletroímã, em relação à geometria dos pólos magnéticos, a magnetização, a intensidade do campo magnético a ser aplicado e a melhor forma de acionamento e instrumentação para o controle da corrente elétrica a ser aplicada.

Palavras-chave: Nanopartículas, Magnetismo, Eletroímã.

1

Aluno de Engenharia Elétrica, Departamento Engenharia Elétrica, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: lucas.nunes@ee.ufcg.edu.br

2

Professor Dr. Glauco Fontgalland, Departamento de Engenharia Elétrica, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: fontgalland@dee.ufcg.edu.br

ANALYSIS OF THE RESPONSE OF A COMPOUND BASED ON MAGNETIC NANOPARTICLES TO A MAGNETIC FIELD

ABSTRACT

In order to improve vertebral surgery techniques, it is proposed to use a new formulation of bone cement composed of magnetic nanoparticles. In conjunction with an external magnetic field source, which will be responsible for controlling the transport of this material between the vertebral structures, a significant increase in the efficiency of the pedicle screw fixation is expected, which provides stability to the spine of patients affected by degenerative diseases. Therefore, we characterize both the biomaterial, in relation to the bonding time, magnetic measurements, density and cytotoxicity, and the magnet, in relation to the geometry of the magnetic poles, magnetization and the magnetic field intensity to be applied.

Keywords: Nanoparticles, Magnetism, Electromagnet.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia propiciou a capacidade de fabricar materiais, em escala cada vez menor, nem sempre disponíveis na natureza ou em pequena disponibilidade, com propriedades elétricas e magnéticas bem definidas e que permitam um maior controle de suas características. Dentre os inúmeros materiais desenvolvidos nos centros de pesquisa nacional e internacional, as cerâmicas magnéticas têm despertado grande interesse por parte de inúmeros pesquisadores (FERREIRA, 2011). Conhecidas simplesmente por ferritas, estes materiais podem ser aplicados, por exemplo, na miniaturização de antenas e na concepção de biomateriais, que podem ser usados em diversas aplicações de telecomunicações e em particular na medicina.

As ferritas permitem formar nanopartículas magnéticas (NPM), levando estes materiais a apresentarem uma característica denominada de superparamagnetismo (SPM). Teoricamente, esse material é caracterizado por apresentar magnetização somente na presença de um campo magnético externo, ou seja, apresenta coercividade intrínseca zero. Essa propriedade está diretamente ligada ao tamanho das nanopartículas magnéticas (< 30 nm). Quanto mais próxima da forma esférica e quanto maior a uniformidade entre as formas, maior será a eficiência das nanopartículas para aplicabilidade como ferrofluido. Esse comportamento é atrativo para aplicações biológicas, visto ser ainda possível de solubilização em fluidos. Essa característica é atrativa pois aumenta sua capacidade de se movimentar junto ao fluido e, conseqüentemente, se locomover dentro do corpo humano (RIBEIRO, 2008).

O magnetismo de partículas ultrafinas desperta interesse em áreas que estudam sistemas em que o magnetismo permanente apresenta potencial para ser usado. Por exemplo, seu uso como carregador de fármacos magneticamente dirigíveis representa um importante avanço no uso da quimioterapia localizada (RIBEIRO, 2008). Dessa forma, a pesquisa científica tem-se voltado para a obtenção de materiais como, por exemplo, as ferritas que fazem parte de um grande grupo de materiais magnéticos em estudo, os quais, devido a suas muitas aplicações, despertam os interesses de inúmeros pesquisadores em estudos de novas técnicas para preparação desses materiais visando a melhoria de suas propriedades.

Todas essas ocorrências demonstram a potencial aplicação na engenharia e na medicina, diante da possibilidade de produção artificial de materiais para veículos portadores de agentes terapêuticos, fluidos magnéticos, tintas magnéticas, entre

outros fazendo com que o estudo de sistemas magnéticos nanoestruturados seja também alvo de significativo interesse na atualidade. A fabricação de absorvedores utilizados em câmaras anecóicas que possuem em sua composição pós de cerâmicas magnéticas (GONÇALVES, 2006) é um exemplo real do extenso uso desses materiais.

Na medicina, os médicos especialistas em cirurgia de coluna inevitavelmente encontram pacientes com doenças como a osteoporose, que precisam de descompressão da coluna vertebral e instrumentação devido à osteoporose (patologia metabólica óssea mais frequente na população em geral), e doenças degenerativas, sendo elas a estenose de canal lombar, as hérnias de disco, as fraturas e os deslocamentos patológicos, dentre outras (CHEN *et al.*, 2011). Até o momento é de nosso conhecimento que o método mais eficaz para fixação é a instrumentação pedicular. Nessa técnica um parafuso, especialmente adaptado à anatomia óssea vertebral, é usado para fixar uma vértebra à outra, de forma a adquirir a estabilidade perdida, por uma doença ou durante o ato cirúrgico (BOOS & WEBB, 1997) (Fig. 1).



Fig. 1. Parafuso pedicular e à direita sua localização na vértebra lombar.

Entretanto, como consequência da osteoporose, os implantes cirúrgicos apresentam grande falha de fixação inicial e tardia. O grande problema reside na interface osso-parafuso. No paciente osteoporótico, essa interface está restrita a uma qualidade óssea precária (HALVORSON *et al.*, 1994); (PFEIFER & KRAG, 1994); (WITTENBERG *et al.*, 1991). Fica evidente que o desafio na ciência biomecânica é o desenvolvimento de um produto ou instrumental capaz de sobrepor essa dificuldade de fixação em um osso osteoporótico. O estudo de técnicas de inserção e projetos alternativos de parafuso pedículo foi motivada pelo

reconhecimento de complicações potenciais de fixação. Estudos biomecânicos anteriores demonstraram que a fixação do parafuso de pedículo é altamente correlacionada com a densidade mineral óssea (HALVORSON *et al.*, 1994) e que os aumentos na resistência ao arrancamento do parafuso são possíveis usando uma variedade de métodos (COOK *et al.*, 2004); (HALVORSON *et al.*, 1994); (PFEIFER & KRAG, 1994); (WITTENBERG *et al.*, 1991); e um dos mais utilizados é a adição de cimentos ósseos, tornando possível a fixação de parafusos no interior do corpo vertebral em vértebras extremamente frágeis. O uso de cimento para reforçar a interface entre as roscas do parafuso e os seus arredores ósseos tem provado ser uma solução de sucesso, pois proporciona uma maior estabilidade do parafuso no osso de qualidade comprometida.

O processo da injeção do cimento ósseo dentro de parafusos pediculares se apresenta promissor, entretanto há necessidade de reconhecer melhor as inúmeras variáveis que modificam o resultado tanto biomecânico quanto o clínico (LAREDO & HAMZE, 2004). Essas variáveis, do ponto de vista mecânicos, podem ser descritas como, tipo de cimento utilizado, viscosidade, pressão, quantidade e velocidade de injeção. Já do ponto de vista clínico seleciona-se a anatomia vertebral macroscópica e microscópica, densidade óssea, e a consistência do osso (BOHNER *et al.*, 2003). Ultimamente a microestrutura vertebral e seus constituintes vem obtendo notoriedade, pela sua importância no resultado biomecânico e clínico, e sendo alvo de análise (BLEILER *et al.*, 2015). Histologicamente o osso trabecular é composto por trabéculas que se entrecruzam mas não preenchem todo o espaço, deixando uma área que é contida pelo tecido marrom ou medula óssea. A medula óssea é um tecido gelatinoso que preenche a cavidade interna de vários ossos e fabrica os elementos figurados do sangue como: hemácias, leucócitos e plaquetas.

Durante a introdução do cimento ósseo através do parafuso canulado que já está em íntimo contato com o osso do corpo vertebral, o parafuso desloca as trabéculas (destruindo-as) que estavam no caminho do parafuso. Esse procedimento destrói as trabéculas criando uma “capa” formada por trabéculas amassadas ao redor das roscas do implante (parafuso implantado), fato este que dá uma maior “firmeza” ao conjunto osso-parafuso (KWOK *et al.*, 1996).

Os ímãs de neodímio, que são considerados ímãs de terras raras, fazem parte da categoria de super ímãs. Eles são fabricados usando os métodos metalúrgicos

aplicados na construção de materiais a base de pó. Se assemelham mais a cerâmicas do que aos metais, o que confere a essa estrutura uma característica quebradiça. O super ímã de neodímio é um tipo de material que apresenta um campo magnético muito potente. Quando comparado a um ímã de ferrite, o de neodímio oferece uma massa 18 vezes superior, alcançando maiores forças de atração. Essa característica tem aumentado a procura desse material pela indústria para a confecção em formatos mais compactos. Dessa forma, o super ímã possui uma força de atração magnética alta, mesmo em tamanhos reduzidos.

O poder de magnetismo do super ímã de neodímio deve-se a uma composição química que potencializa o campo magnético do material, que é realizado a partir de uma combinação de neodímio, ferro e boro, cuja representação é $Nd_2Fe_{14}B$. Esse produto é utilizado, normalmente, em setores da indústria metalúrgica, alimentícia, química, farmacêutica entre outras, a fim de auxiliar a erguer materiais pesados, ou mesmo na remoção de fragmentos ferrosos, na forma de vassouras magnéticas, bastões magnéticos, esquadros magnéticos, ou mesmo catapeças ímãs. Sua aplicação nesse projeto se dá pelo alto campo magnético e dimensões reduzidas. A limitação do uso do ímã de neodímio está no fato de que, ainda que elevado, o campo magnetostático gerado não permite o controle da variação da intensidade do mesmo. Essa limitação no controle da intensidade do campo pode ser parcialmente solucionada distanciando o ímã de neodímio fisicamente do tecido ósseo, o que possibilita apenas um controle qualitativo do campo.

Por outro lado, um eletroímã ainda que de fabricação, do ponto de vista elétrico, mais complexa, permite controlar o campo magnético a partir do uso de corrente DC de alimentação. Respeitando as especificações de tempo de uso, potência, tensão de alimentação, volume, tipo de enrolamento e número de espiras, o projeto de um eletroímã pode atingir as características necessárias para o controle da distribuição de campo no em torno osso-parafuso desejado.

METODOLOGIA

Material Utilizado

O cimento ósseo magnético utilizado foi um composto híbrido à base de nanopartículas de magnetita e hidroxiapatita, sintetizado no Laboratório de Síntese

de Materiais Cerâmicos (LabSMaC) da UFCG.

CST STUDIO SUITE 2017;

Pastilhas Anelares de Neodímio N52 (10mx4mm);

Medidor de campo magnético com sensor de efeito Hall do kit da Phywe (Teslameter).

Citotoxicidade

A citotoxicidade de uma amostra é determinada pela porcentagem de 88 células que permanecem viáveis, após a exposição da população celular a diversas concentrações do extrato da substância teste. Para calcular essa porcentagem utiliza-se um corante vital e um agente acoplador de elétrons que ao ser incorporado pela célula produz um composto de coloração específica que pode ser detectado por um espectrofotômetro. A intensidade da cor resultante da incorporação celular é diretamente proporcional ao número de células viáveis em cultura. Uma amostra é considerada citotóxica se a viabilidade celular (V.C.) resultante da exposição das células ao extrato de maior concentração for menor do que 70% (V.C. < 70%).

O teste de citotoxicidade das amostras em estudo foi conduzido de acordo com as normas ISO 10993-5 e ISO 10993-12.

Medidas Magnéticas

Os testes foram realizados utilizando o magnetômetro de amostra vibrante (VSM), modelo 7404 da Lake Shore, na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Realização de medidas da resposta do material ao campo aplicado e orientação do campo magnético.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os gráficos com resultados de viabilidade celular para as amostras em estudo. A amostra de hidroxiapatita quanto a sua viabilidade celular quando exposta a células de ovário de hamster chinês de linhagem CHO-K1 (ATCC CCL-61), após a exposição da população celular a diversas concentrações do extrato da substância teste (amostra analisada) a

hidroxiapatita (HX) não é citotóxica e a viabilidade celular é de 89,7 %, sendo viável e promissora sua utilização para preparação das amostras.

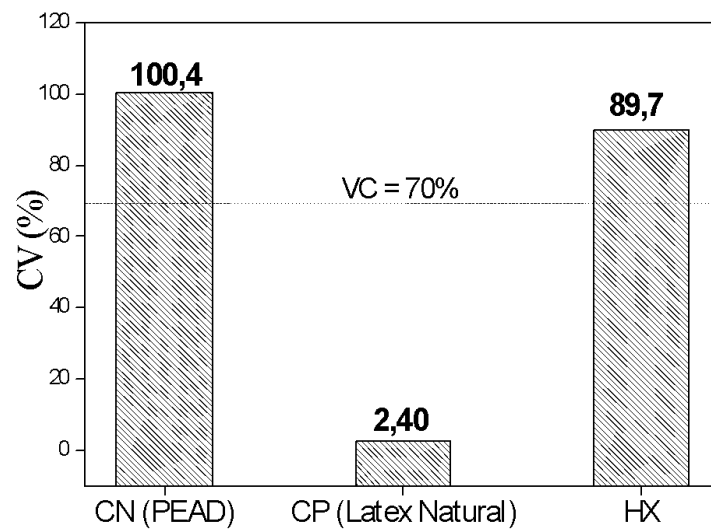


Fig. 2. Teste de Viabilidade Celular para a Hidroxiapatita.

Para a viabilidade celular das NPMs de magnetita (Mag) e após revestidas com agentes sililantes (MagS) pode-se observar que a viabilidade celular também foi superior a 70%, sendo este material promissor para preparação das amostras. Observa-se que o revestimento das NPMs com os agentes sililantes proporcionou um aumento da viabilidade celular em aproximadamente 5%.

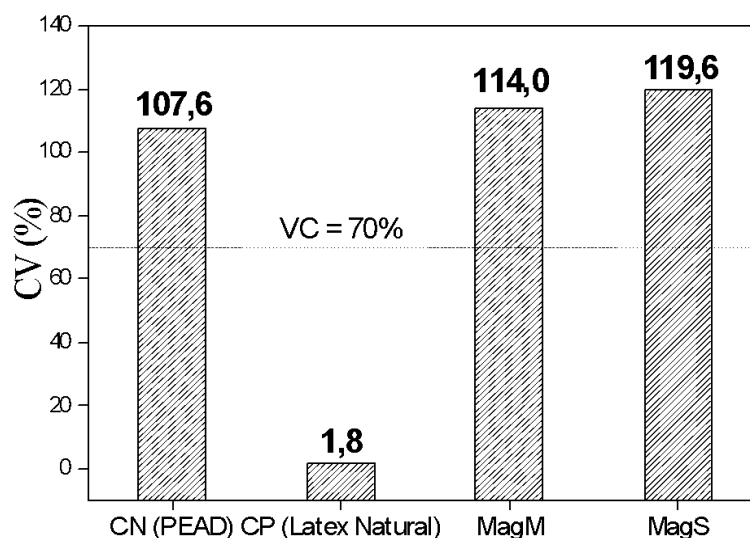


Fig. 3. Teste de Viabilidade Celular para as Nanopartículas Magnéticas.

As Figuras 4 e 5 ilustram os gráficos das curvas de histerese das amostras em estudo. Tem-se então o comportamento da magnetização (M) em função do campo magnético aplicado (H) por meio do laço de histerese para a hidroxiapatita (HX) e para as NPMs de magnetita (Mag), e após revestimento com os agentes sililantes (MagS).

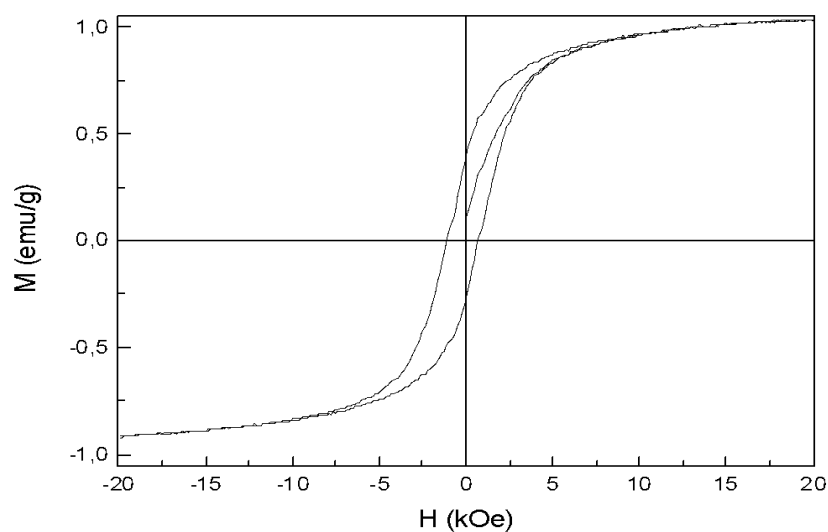


Fig. 4. Laço de histerese para a Hidroxiapatita.

Mediante a curva de histerese da amostra HX (Fig. 4.), observa-se que ciclo $M \times H$ apresenta dois comportamentos simultâneos, ou seja, ferromagnético para baixo campo (< 5 Oe) e diamagnético para alto campo (> 5 Oe) aplicado. Esse comportamento é inerente da composição química da HX que é conhecida como um óxido não magnético, ou seja, diamagnético.

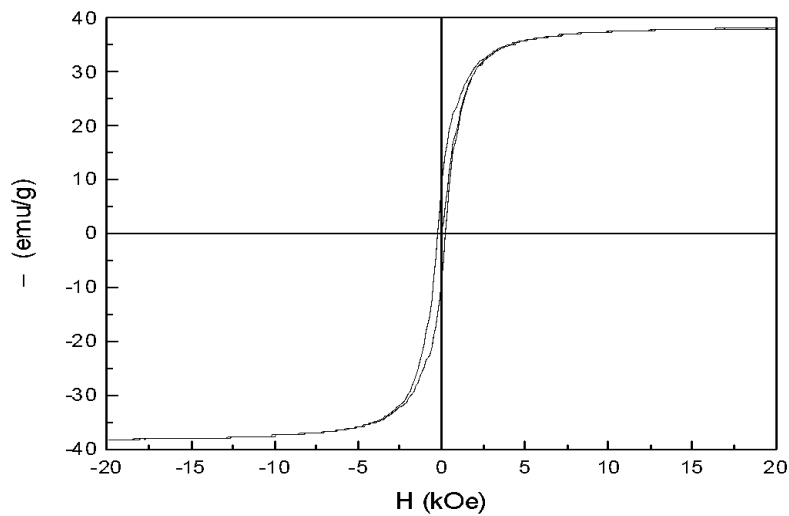


Fig. 5. Laço de histerese para as NPMs.

Para as NPMs de magnetita pode-se observar um comportamento típico de materiais ferrimagnéticos, com formação de um laço (curva) de histerese bem definido, onde as amostras apresentam uma magnetização de saturação (M_s), uma magnetização remanente (M_r) e um campo coercitivo (H_c) (campo necessário para desmagnetizar o material). As NPMs em estudo é um material magnético classificado como mole “*soft*”, em que magnetiza e desmagnetiza com baixos valores de campo aplicado, em torno de 258 Oe.

Com o objetivo de avaliar a distribuição do campo e estimar o valor de campo necessário para a aplicação proposta foi realizado uma modelagem eletromagnética 3D do ímã. Foram realizadas simulações com o auxílio do software CST STUDIO SUITE 2017, no qual foi modelado um eletroímã com núcleo de ferro (60x15 mm) e bobina de cobre.

Nessa simulação foi aplicada uma corrente de referência de 1 A para se observar o valor máximo valor de campo magnético gerado pelo eletroímã (Figura 6).

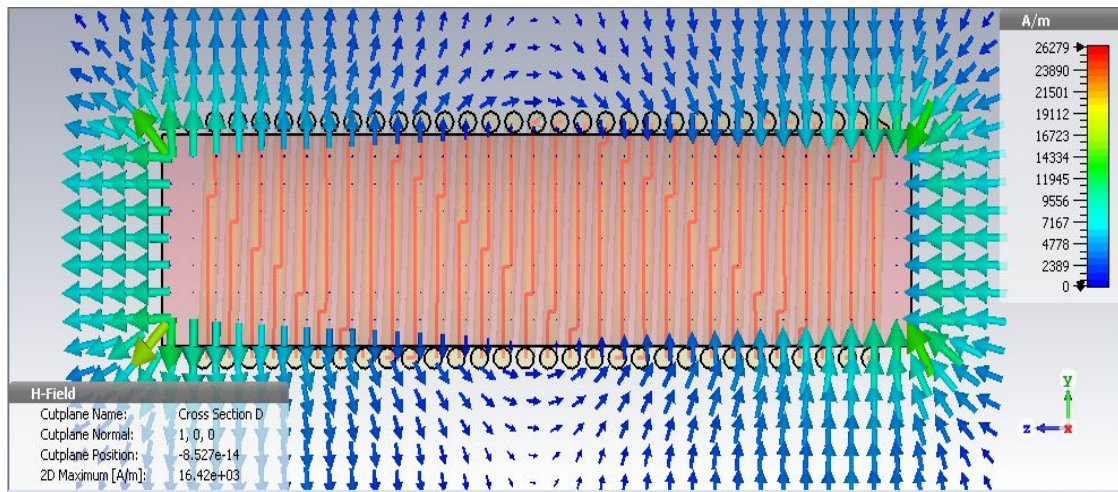


Fig. 6. Orientação do Campo Magnético.

A máxima indução possível foi de 1.472 T, devido à saturação do núcleo de ferro utilizado.

Para a análise da resposta do material foi aplicado um campo magnético gerado por uma pastilha anelar de neodímio. Foi observado que o menor valor de indução magnética necessário para promover o movimento do fluido magnético foi de 350 mT. Valores de campo magnético abaixo deste não tiveram “força” o suficiente para transpor o cimento de um lugar para outro. Como a indução magnética de um ímã permanente não se modifica, foi feito um controle qualitativo desse valor variando a distância da fonte para o fluido. Esses valores podem ser observados na Fig. 7. Nesse procedimento foram utilizadas até 10 unidades empilhadas de ímãs de neodímio para distâncias variando de zero (em contato com o material) até 2,5 cm e medido o campo magnético utilizando um sensor de efeito Hall. Foi observado que a intensidade do campo aumenta ao aumentarmos a quantidade de pastilhas, e essa mesma intensidade se reduz exponencialmente com o aumento da distância de aplicação. Para uma distância de 1 cm, o campo magnético já está fraco o suficiente para não surtir nenhum efeito sobre o movimento do fluido.

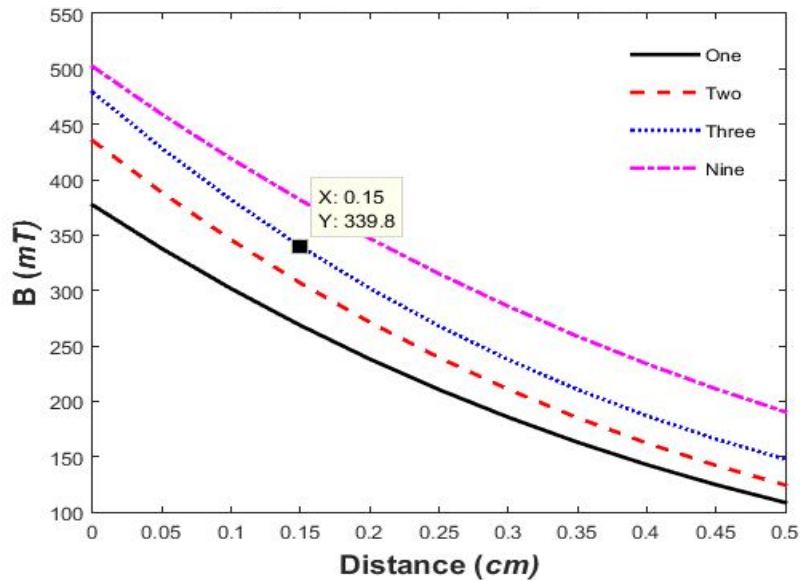


Fig. 7. Indução Magnética

CONCLUSÃO

Foi constatado que o composto híbrido proposto apresenta viabilidade de aplicação em seres humanos pela sua atoxicidade e suas propriedades magnéticas são suficientes para fornecer resposta a um campo magnético externo.

A utilização de um eletroímã de corrente contínua é inviável, pois, na prática, para se atingir uma indução magnética satisfatória é necessária a aplicação de correntes de intensidades mais elevadas. Isso acarreta no aquecimento e no alto consumo de energia, por isso, para o projeto futuro é necessária a construção de uma fonte que forneça campos magnéticos de alta intensidade, com a utilização de correntes pulsadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica e Inovação - PIBITI/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS

Bleiler, C. et al. Multiphasic modelling of bone-cement injection into vertebral cancellous bone. *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering*, v. 31, n. 1, p. n/a–n/a, jan. 2015.

Bohner, M. et al. Theoretical and experimental model to describe the injection of a polymethylmethacrylate cement into a porous structure. *Biomaterials*, v. 24, n. 16, p. 2721–2730, 2003.

Boos, N. and Webb, J. K. Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, v. 6, n. 1, p. 2–18, jan. 1997.

Chen, L.-H. et al. Pullout strength of pedicle screws with cement augmentation in severe osteoporosis: a comparative study between cannulated screws with cement injection and solid screws with cement pre-filling. *BMC musculoskeletal disorders*, v. 12, p. 33, jan. 2011.

Cook, S. D. et al. Biomechanical study of pedicle screw fixation in severely osteoporotic bone. *The spine journal : official journal of the North American Spine Society*, v. 4, n. 4, p. 402–8, 2004.

Ferreira, T. P. Preparação e Caracterização de Materiais Híbridos de Magnetita / Polianilina Por Polimerização *in situ*. Universidade Estadual de Goiás, p. 113, 2011.

Gonçalves, P. E. Síntese e caracterização de ferrita de níquel e zinco nanocristalina por combustão, para aplicação em compósito elastomérico absorvedor de microondas. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2006.

Halvorson, T. L. et al. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation. *Spine*, v. 19, n. 21, p. 2415–2420, 1994.

Kwok, A. W. et al. Insertional torque and pull-out strengths of conical and cylindrical pedicle screws in cadaveric bone. *Spine*, v. 21, n. 21, p. 2429–2434, 1 nov. 1996.

Laredo, J. D.; Hamze, B. Complications of percutaneous vertebroplasty and their prevention. *Skeletal radiology*, v. 33, n. 9, p. 493–505, 2004.

Ribeiro, T. G. D. Síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas de óxidos mistos de MnFe₂O₄ recobertas com quitosana. Estudos da influência da dopagem com Gd³⁺ nas propriedades estruturais e magnéticas. [s.l.] IPEN - São Paulo, 2008.

Pfeifer, B. A.; Krag, M. H.; Johnson, C. Repair of failed transpedicle screw fixation. A biomechanical study comparing polymethylmethacrylate, milled bone, and

matchstick bone reconstruction. Spine, v. 19, n. 3, p. 350–3, 1994.

Wittenberg, R. H. et al. Importance of bone mineral density in instrumented spine fusions. Spine, v. 16, n. 6, p. 647–652, 1991.

ISO 10993-12 - Biological Evaluation of Medical Devices – part 12: Sample preparation and reference materials.

ISO 10993-5 - Biological Evaluation of Medical Devices – part 5 - Tests for in vitro cytotoxicity.

ISO 10993-5:2009 -Biological evaluation of medical devices - Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity.