

Física:



Produção de conhecimento
relevante e qualificado 3

Glécilla Colombelli de Souza Nunes
(Organizadora)

A Newton's cradle with five silver spheres. One sphere on the left is in motion, having just struck or about to strike the others. The background is a dark, neutral color.

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado 3

Glécilla Colombelli de Souza Nunes
(Organizadora)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Física: produção de conhecimento relevante e qualificado 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Glécilla Colombelli de Souza Nunes

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F537 Física: produção de conhecimento relevante e qualificado 3 / Organizadora Glécilla Colombelli de Souza Nunes. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0515-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.153220109>

1. Física. I. Nunes, Glécilla Colombelli de Souza (Organizadora). II. Título.

CDD 530

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Produção de conhecimento relevante e qualificado 4” é uma obra composta por cinco capítulos que possuem como foco principal as Ciências Naturais. Os trabalhos aqui reunidos foram realizados em diferentes instituições de ensino do país e tem como linha central o desenvolvimento de novos materiais, técnicas e instrumentos, em especial, nas áreas de Biofísica, Física e Química.

Essa coleção aborda temas atuais e de interesse da comunidade científica que vão desde a aplicação de sistemas magnéticos à medicina até o impacto da COVID-19 no ensino de Física nas escolas públicas de nosso país. Sendo este último, um tema que contribuirá para que os docentes reflitam e pensem em estratégias (e metodologias) de como suprir os déficits de aprendizagem deixados pela pandemia da COVID-19.

Além disso, esta obra traz uma revisão sobre os avanços que a comunidade científica já conseguiu na produção de supercondutores $Nb_3Sn_{(s)}$ e um estudo de caso sobre o comportamento das componentes da radiação solar em um município do Rio Grande do Norte, no qual pesquisou a viabilidade de projetos que envolvem a geração de energia solar na região.

Deste modo, a obra - “Produção de conhecimento relevante e qualificado 4” - apresenta artigos interdisciplinares e que são bem fundamentados nos resultados práticos obtidos. Além do que, as discussões e os dados dos trabalhos desta coleção estão muito bem organizados e os autores conseguiram apresentar seus trabalhos de forma clara e didática.

Por fim, sabe-se o quão importante é a divulgação científica e, por isso, evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulgarem seus trabalhos científicos.

Glécilla Colombelli de Souza Nunes

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

BIOSUSCEPTOMETRIA AC PARA A AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Guilherme A. Soares

Gabriel G.A. Biasotti

Leonardo A. Pinto

Erick G. Stoppa

Lais P. Buranello

Gabriele M. Pereira

Jose R.A. Miranda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1532201091>

CAPÍTULO 2..... 11

CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS MAGNÉTICOS PARA FUTURAS APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

Guilherme A. Soares

Erick G. Stoppa

Leonardo A. Pinto

Jose R.A. Miranda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1532201092>

CAPÍTULO 3..... 26

CHEMICAL INFLUENCES AND CHALLENGES ASSOCIATED WITH ENHANCED NB3SN SUPERCONDUCTOR DEVELOPMENT

Erick Agnolin

Ana P. H. Vaniel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1532201093>

CAPÍTULO 4..... 35

AVALIAÇÃO DAS COMPONENTES DA RADIAÇÃO SOLAR E DO ÍNDICE DE CLARIDADE PARA CAICÓ/RN

José Augusto Ferreira Neto

Thiago Gonçalves da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1532201094>

CAPÍTULO 5..... 48

A IMPORTÂNCIA DA NOTAÇÃO CIENTÍFICA E DAS UNIDADES DE MEDIDAS PARA UM APRENDIZADO MAIS SIGNIFICATIVO NO ENSINO DE FÍSICA: PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Marilene Aparecida Fernandes Pereira

José Domingos de Oliveira

Zilanda Veríssimo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1532201095>

SOBRE A ORGANIZADORA.....	61
ÍNDICE REMISSIVO.....	62

CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS MAGNÉTICOS PARA FUTURAS APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

Data de aceite: 01/09/2022

Guilherme A. Soares

Instituto de Biociências de Botucatu /
Departamento de Física e Biofísica, UNESP
Botucatu, Brasil

Erick G. Stoppa

Instituto de Biociências de Botucatu /
Departamento de Física e Biofísica, UNESP
Botucatu, Brasil

Leonardo A. Pinto

Instituto de Biociências de Botucatu /
Departamento de Física e Biofísica, UNESP
Botucatu, Brasil

Jose R.A. Miranda

Instituto de Biociências de Botucatu /
Departamento de Física e Biofísica, UNESP
Botucatu, Brasil

RESUMO: A detecção de materiais magnéticos e a obtenção de imagens magnéticas são vertentes relevantes nos meios científico e comercial. A busca por métodos alternativos aumentou de forma significativa ao longo do tempo, visto que, técnicas como Dispositivo de Interferência de Supercondutores Quânticos (SQUID), Imageamento de Partículas Magnéticas (MPI) e Imageamento por Ressonância Magnética (MRI), apesar de, fornecer alta qualidade de imagens e detecção e serem livres de radiação ionizante, apresentam-se como métodos de elevado custo operacional, tanto para implementação, quanto na manutenção, exigindo ambiente blindado

para seu funcionamento. A Biosusceptometria de corrente alternada (BAC) e a técnica híbrida Biosusceptometria de corrente alternada acoplada com magnetorresistores anisotrópicos com três eixos de detecção BAC-AMR 3D oferecem maior viabilidade para detecção de materiais magnéticos *in vitro* e *in vivo* para aplicações didáticas e de diagnóstico, pelo fato de ambas as técnicas se apresentarem com custo muito reduzido, serem livres de radiação ionizante e sem a necessidade de planejamento para ambiente blindado. No trabalho foi realizado uma caracterização e comparação entre os métodos BAC e BAC-AMR 3D, a fim de, ao se analisar os testes realizados, associar as técnicas com diferentes metodologias e finalidades. Para obtenção dos resultados foram realizados testes de sensibilidade tangencial, axial, determinação da curva de calibração, simulação de contração *in vitro*, análise do comportamento de resposta frente a variação de frequências e escaneamento de uma matriz. O sistema BAC apresentou maior sensibilidade e intensidade de sinal, sendo mais relevante para medidas pontuais *in vitro* e *in vivo*, onde a posição do marcador magnético seja previamente conhecida e exige maior sensibilidade, por outro lado, a possibilidade de análise de mais duas componentes de detecção torna a técnica BAC-AMR 3D ideal para medidas que necessitem de maiores informações espaciais sobre o posicionamento do marcador magnético em determinado campo de visão (fov) bem definido. A partir dos resultados foi possível concluir que as técnicas foram eficientes para tal detecção, podendo ser escolhidas de acordo com a finalidade da metodologia a ser aplicada.

Com o intuito de se obter imagens quantitativas de maior qualidade, a exploração do sistema BAC-AMR 3D mostra-se promissor, já que, o fornecimento de mais duas componentes de detecção, oferecem maior sustentabilidade para tal resolução.

PALAVRAS-CHAVE: Biomagnetismo, Técnicas Biomagnéticas, Comprimido Magnético, Anisotropia, Gradiômetro, Magnetoresistores, Imagens Quantitativas.

ABSTRACT: The detection of magnetic materials and the acquisition of magnetic images are relevant aspects in scientific and commercial circles. The search for alternative methods has increased significantly over time, since techniques such as Quantum Superconducting Interference Device (SQUID), Magnetic Particle Imaging (MPI), and Magnetic Resonance Imaging (MRI), despite providing high-quality imaging and detection and being free from ionizing radiation, are methods of high operational cost, both for implementation and maintenance, requiring a shielded environment for their operation. Alternating Current biosusceptometry of (ACB) and the hybrid technique of biosusceptometry of alternating current coupled with anisotropic magnetoresistors with three detection axis ACB -AMR 3D offer greater feasibility for detection of magnetic materials in vitro and in vivo for didactic and diagnostic applications, by the fact that both techniques have a very low cost, are free from ionizing radiation and without the need for planning for a shielded environment. Characterization and comparison were carried out between the AC B and ACB-AMR 3D methods, in order to, when analyzing the tests performed, associate the techniques with different methodologies and purposes. To obtain the results, tests of tangential and axial sensitivity, determination of the calibration curve, simulation of in vitro contraction, analysis of the response behavior in the face of frequency variation, and scanning of a matrix were performed. The ACB system presented greater sensitivity and signal intensity, being more relevant for punctual measurements in vitro and in vivo, where the position of the magnetic marker is previously known and requires greater sensitivity, on the other hand, the possibility of analyzing two more components of detection makes the ACB-AMR 3D technique ideal for measurements that need more spatial information about the positioning of the magnetic marker in a given field of view (FOV) well defined. From the results it was possible to conclude that the techniques were efficient for such detection, being able to be chosen according to the purpose of the methodology to be applied. In order to obtain higher quality quantitative images, the exploration of the ACB-AMR 3D system is promising, since the provision of two more detection components offers greater sustainability for such resolution.

KEYWORDS: Biomagnetism, Biomagnetic Techniques, Anisotropy, Gradiometer, Magnetoresistors, Quantitative Imaging.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas para a detecção de materiais magnéticos e a obtenção de imagens magnéticas possui grande relevância (Americo *et al.*, 2010) (Fagaly, 2006). Técnicas como o Imageamento de Partículas Magnéticas (MPI), Dispositivo de Interferência de Supercondutores Quânticos (SQUID) e Imageamento por Ressonância Magnética (MRI) são muito bem estabelecidas, não invasivas e livres da radiação ionizante, porém, exigem a necessidade de salas blindadas, elevado custo de implementação e

manutenção dos equipamentos (Saritas *et al.*, 2013). Os sistemas de Biosusceptometria de corrente alternada (BAC) e o sistema híbrido de Biosusceptometria de corrente alternada acoplado com sensores AMRs de três eixos de detecção (BAC-AMR 3D) são exemplos de sistemas de baixo custo de implementação e manutenção, sem a necessidade de salas blindadas, não invasivos e livres de radiação ionizante, sendo caracterizados por sua versatilidade.

O sistema BAC tem seu princípio físico de funcionamento baseado na lei de indução de Faraday (Agostinho, 2008). Os sensores BAC são compostos por um par de bobinas de detecção e um par de bobinas de indução. A BAC é amplamente utilizada em estudos envolvendo o trato gastrointestinal (TGI), farmacotécnica, análises de biodistribuição de nanopartículas magnéticas, tempo de circulação de nanopartículas magnéticas na corrente sanguínea e obtenção de imagens magnéticas (Corá *et al.*, 2003) (Próspero, 2015) (Soares, 2018). Os magnetorresistores (MR) são sensores magnetorresistivos que possuem a propriedade de alterar a sua resistividade na presença de um campo magnético AC ou DC. Ligas de níquel - aço, *permalloy*, apresentam grande variação de resistividade (aproximadamente 5%), sendo muito utilizados para fabricação de sensores magnetorresistivos. A resistividade aumenta de forma diretamente proporcional com a intensidade do campo magnético. Os magnetorresistores anisotrópicos (AMR) são sensores constituídos de um filme fino de níquel-ferro (*permalloy*) depositado sobre um substrato de silício, sendo padronizado como uma faixa resistiva (Lenz *et al.*, 1990). Seu princípio de funcionamento é baseado na resistência elétrica do filme, que pode ser modulada pela aplicação de um campo magnético na direção de sua magnetização inerente. Os sensores magnetorresistivos anisotrópicos dependem da direção do campo magnético aplicado.

A técnica híbrida BAC-AMR 3D, desenvolvida por Paixão e colaboradores (Paixão, 2009) consiste na junção da técnica BAC com a implementação de sensores AMRs. Nesta técnica, a bobina detectora do sistema BAC é substituída por um par de sensores AMRs com três eixos de detecção com o intuito de aprimorar os sistemas de detecção BAC e BAC-AMR convencional (Paixão *et al.*, 2012). Ao se obter mais dois eixos de detecção com a implementação dos sensores AMRs, é possível extrair informações magnéticas em três eixos com diferentes contribuições, o que é importante em relação à possível determinação do posicionamento do material ou marcador magnético em um campo de visão (FOV) (Paixão *et al.*, 2010).

Apesar de uma gama de técnicas já consolidadas, ainda existe a necessidade de exploração e caracterização dos métodos biomagnéticos já existentes, além do desenvolvimento de novos métodos que possam agregar cada vez mais na detecção de materiais magnéticos e obtenção de imagens. A junção de uma ou mais técnicas de princípios distintos é um caminho muito promissor para a evolução dos métodos. No trabalho realizado foi explorado a caracterização e comparação dos sensores BAC-monocanal e BAC-AMR 3D, relacionando as melhores aplicabilidades para cada metodologia.

2 | OBJETIVO

Caracterização e comparação dos sensores BAC-monocanal convencional (i.e., com bobinas de detecção magnética) e o sensor BAC-AMR 3D equipada com sensores do tipo AMR de três dimensões como sensores magnéticos. Estabelecer as melhores aplicações para cada tipo de sensor a partir dos resultados obtidos. Os objetivos específicos foram:

- Caracterização da curva de calibração utilizando diferentes concentrações de comprimidos magnéticos;
- Teste de sensibilidade tangencial nos eixos x e y;
- Teste de sensibilidade axial no eixo z;
- Teste de sensibilidade axial no eixo z para diferentes frequências de excitação;
- Simulação de contração *in vitro*;
- Escaneamento de uma matriz 100x100 mm;
- Comparação dos resultados e aplicabilidade das técnicas;

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Biosusceptometria de corrente alternada (BAC)

O sistema funciona como um transformador duplo de fluxo magnético com seus pares de bobinas arranjados de forma coaxial em configuração gradiométrica de primeira ordem (Corá *et al.*, 2003). Utilizando esse arranjo gradiométrico, os campos magnéticos são subtraídos deixando o sensor com um menor ruído e maior sensibilidade (Moraes *et al.*, 2003). O par de bobinas mais distante da amostra atua como referência e o mais próximo da amostra como detecção. O *lock in* (SR830, Stanford Research Systems, Sunnyvale, EUA) gera um sinal senoidal, o qual é amplificado por um amplificador externo de potência (TIP 800, Ciclotron, Barra Bonita, Brasil) e aplicado nas bobinas de indução, gerando um fluxo magnético nas bobinas de detecção. A presença de materiais magnéticos próximos a bobina detectora resulta no desbalanceamento do fluxo total do sistema, gerando um sinal elétrico. Os sinais elétricos gerados nas bobinas de detecção retornam ao *lock in*, que é responsável por processar o sinal de saída e convertê-lo em um sinal contínuo DC. O sinal detectado é proporcional à quantidade de material magnético, e inversamente proporcional a distância entre material magnético e bobina de detecção (Próspero *et al.*, 2019). Posteriormente o sinal é registrado online (LabVIEW 2010, National Instruments, Austin, EUA) digitalizado pela placa de aquisição A/D *National Instruments* (NI DAQPad-6015) e armazenado em uma interface computacional.

3.2 Biosusceptometria AC acoplada com magnetorresistores anisotrópicos com três eixos de detecção magnética (BAC-AMR 3D)

O sensor BAC-AMR 3D é composto de um par de bobinas de excitação magnética conectadas em série e ligadas a um amplificador de potência e amplificador *lock-in*. A detecção do sistema é dada pela substituição das bobinas BAC convencionais por um par de AMRs com três eixos de detecção magnética (HMC1023, Honeywell Inc., USA). O par bobina/AMR mais próximo da amostra foi empregado para detecção e o mais distante da amostra como referência. O equipamento testado neste trabalho foi desenvolvido e apresentado na tese de doutorado por Paixão et al. em 2009 (Paixão 2009). Neste trabalho o sistema foi utilizado apenas com excitação, visando a comparação frente ao sensor BAC monocal.

O sinal AC medido pelos sensores magnéticos são convertidos para DC usando os conversores de tensão true rms. O sinal é gravado online através do software (LabVIEW 2010, National Instruments, Austin, EUA), e digitalizado pela placa de aquisição A/D *National Instruments* (NI DAQPad-6015), adquirido com uma frequência de aquisição de 20 kHz e armazenados em uma interface computacional para posterior processamento.

3.3 Desenvolvimento dos fantasmas

Os marcadores magnéticos utilizados para a realização das medidas magnéticas foram constituídos de micropartículas de ferrita de manganês ($MnFe_2O_4$) (Ferroxcube, El Paso, EUA) com permeabilidade magnética (Baffa *et al.*, 1995) $\mu_r = 3000$, adquirida em pedaços, triturada e peneirada para obter o tamanho entre 53 e 75 μm . Os fantasmas foram confeccionados em forma de comprimido magnético. Com o intuito de homogeneizar a amostra, a celulose microcristalina, que atua como agente estabilizante foi utilizado como excipiente. O comprimido magnético padrão utilizado nas medidas magnéticas possui as seguintes características, de acordo com a tabela 1.

Características	Comprimido magnético padrão
Diâmetro (mm)	12
Peso referente a ferrita em pó (mg)	300
Peso referente ao excipiente (mg)	200
Peso total (mg)	500

Tabela 1. Características do comprimido magnético padrão.

3.4 Medidas in vitro

O fantoma foi fixado na extremidade de uma haste rígida de acrílico, presa a mesa três eixos, evitando a aproximação da mesa no sensor e minimizando os ruídos gerados

pela aproximação de outros materiais. A corrente do sistema BAC-monocanal e BAC-AMR 3D foi monitorada em tempo real durante os experimentos para garantir os 150 mA na excitação de ambas, utilizando o multímetro Tektronix (TX3 True RMS Multimeter).

3.4.1 Curva de calibração

Comprimidos magnéticos com diferentes concentrações variando de 50 mg até 300 mg de ferrita foram posicionados a 2 mm do centro do sensor. O teste foi realizado com o objetivo de avaliar a sensibilidade dos sistemas.

3.4.2 Teste de sensibilidade tangencial nos eixos x e y

O teste de sensibilidade tangencial foi realizado com o intuito de avaliar a resposta do sensor BAC-AMR 3D e BAC-monocanal quando submetidos à passagem do comprimido magnético em diferentes eixos do plano de detecção. O comprimido magnético padrão foi posicionado a uma distância de 5 mm do centro da superfície de detecção. A amostra percorreu de -50 a 50 mm à um passo de 1 mm, sendo que 0 mm coincide com o centro do sensor. As varreduras foram feitas em x e em y.

3.4.3 Teste de sensibilidade axial eixo z

O teste de sensibilidade axial foi realizado com o objetivo de observar a resposta de cada sensor frente a aproximação da amostra no sentido axial, denominado eixo z. O comprimido magnético padrão foi posicionado a 5 mm e afastado do centro do sensor até 55 mm com passo de 1 mm.

3.4.4 Varredura de frequências

Foram realizadas aproximações axiais, eixo z com o comprimido magnético padrão à 5 mm do centro do sensor. A corrente foi mantida constante em 150 mA e a frequência foi variada em 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz e 15 kHz com a intenção de observar a resposta de intensidade de sinal frente a cada uma das frequências escolhidas.

3.4.5 Simulação de contração in vitro

Foi desenvolvida uma rotina para aproximar o comprimido magnético padrão em três frequências distintas. A distância mínima da amostra até o centro do sensor foi de 5 mm, sendo afastado até 100 mm, distância em que não se identifica mais sinal da amostra. O sinal foi obtido no domínio do tempo, e aplicado a transformada rápida de Fourier (FFT) transformando o sinal em domínio de frequência. As frequências dominantes foram analisadas e identificadas.

3.4.6 Escaneamento – BAC-AMR 3D e BAC monocanal

O escaneamento foi realizado através de uma matriz 100x100 mm com passo de 1 mm e tempo de aquisição igual a 5 s por ponto, mantendo o eixo z fixo e variando os eixos x e y. O comprimido magnético padrão foi posicionado no centro dos sensores, considerando esta posição como o centro da matriz. Com o escaneamento será reconstruída uma imagem magnética referente a intensidade de sinal em cada posição.

3.4.7 Quantificação dos dados obtidos

Todos os dados foram processados utilizando software MATLAB (MatLab, Mathworks Inc., Natick, USA) e as figuras foram obtidas através do software GraphPad Prism 7.05 (GraphPad Software, La Jolla, Califórnia, EUA).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curva de calibração

A figura 1 representa os resultados obtidos através da curva de calibração utilizando comprimidos de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 mg de ferrita. O gráfico da figura 1A refere-se ao sistema BAC-monocanal e o gráfico da figura 1B refere-se ao sistema BAC-AMR 3D.

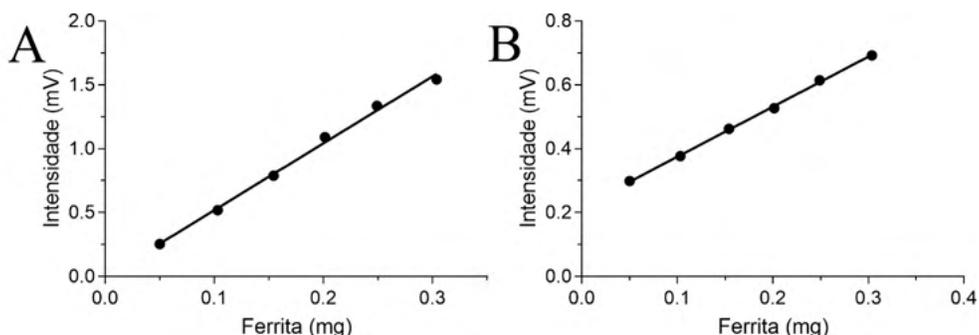


Figura 1. **(A)** Curva de calibração referente ao sistema BAC-monocanal **(B)** Curva de calibração referente ao sistema BAC-AMR 3D.

Para o sistema BAC-AMR 3D foi utilizado apenas o sinal que corresponde ao eixo z, já que, no posicionamento axial em z, não se observa influência das componentes x e y do sensor. Observa-se a linearidade de resposta para ambos os sensores, evidenciando a resposta linear ao variar-se a concentração. Entretanto, o sistema BAC-AMR 3D apresentou uma amplitude de sinal menor (aproximadamente 50%) que o da BAC-monocanal. O coeficiente de correlação de Pearson, R para o sistema BAC-monocanal foi de 0,9955 e para o BAC-AMR 3D foi de 0,999. Ambos os sistemas apresentam alta correlação e baixa

dispersão. Neste caso o BAC-AMR 3D apresentou melhor correlação linear.

4.2 Teste de sensibilidade tangencial eixos x e y

O gráfico 2A representa a passagem no eixo x do comprimido magnético para o sensor BAC-monocanal e o gráfico 2-B representa a passagem no eixo x para o BAC-AMR 3D. A figura 3 refere-se aos resultados obtidos para a passagem do comprimido magnético no eixo y, na qual a figura 3-A corresponde ao sistema BAC-monocanal e a figura 3-B ao sistema BAC-AMR 3D.

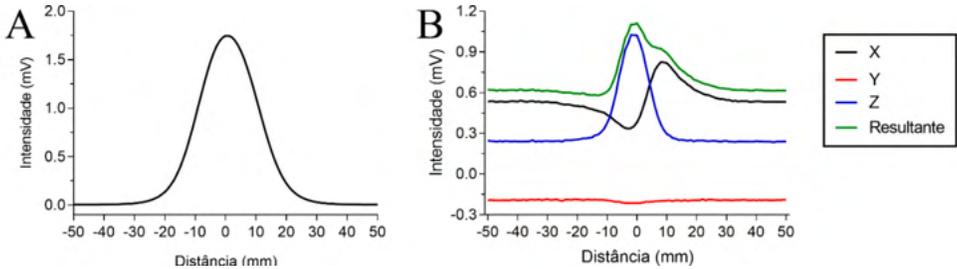


Figura 2. **(A)** Sensibilidade tangencial no eixo x BAC-monocanal. **(B)** Sensibilidade tangencial no eixo x BAC-AMR 3D.

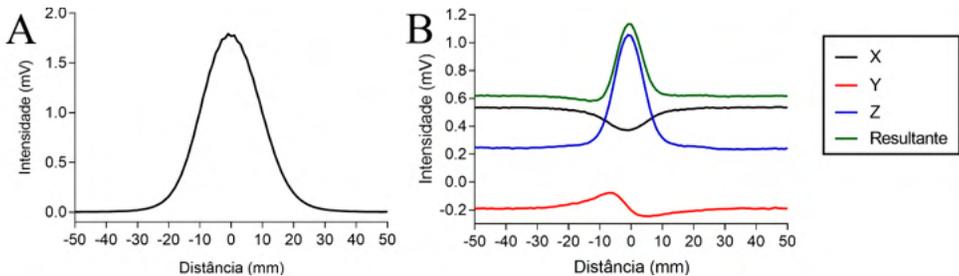


Figura 3. **(A)** Sensibilidade tangencial no eixo y BAC-monocanal. **(B)** Sensibilidade tangencial no eixo y BAC-AMR 3D.

A partir dos resultados é possível observar um único padrão para o sistema BAC-monocanal, referente à passagem do comprimido magnético no centro do sistema, expresso como uma gaussiana com resposta de intensidade maior do que o observado nos dois gráficos referentes ao sistema BAC-AMR 3D. O sistema BAC-monocanal obteve uma maior intensidade de sinal para o mesmo comprimido magnético no centro do sensor, porém apresenta um perfil idêntico em relação as passagens em x e em y, o que torna impossível a identificação de cada um dos eixos e a identificação da localização espacial. O BAC-AMR 3D apresentou menor intensidade e perfis característicos para as passagens em x e em y. Na figura 2-B a resposta do sistema em relação a passagem no eixo x está de acordo com o esperado, representando simetria em seus dois lados de contribuição, não comprometendo a obtenção da resultante no eixo x. Na figura 3-B observa-se a passagem

do comprimido magnético no eixo y com um perfil similar a passagem no eixo x, mas com as contribuições inversas e com um perfil não tão simétrico representado por uma pequena intensidade de sinal no eixo x, o que pode estar associado à um possível erro de posicionamento ou pela diferença de posição das tiras magnetoresistivas. Este problema já foi abordado, e possivelmente a diferença das tiras magnetoresistivas influenciam de forma mais sólida do que o posicionamento inadequado, o que requer uma futura investigação. O diâmetro do comprimido magnético também pode ser o influenciador (Paixão, 2009). Foi identificado maior intensidade ao utilizar o sistema BAC-monocanal e obteve-se mais informações espaciais ao utilizar-se o sistema BAC-AMR 3D, permitindo analisar duas resultantes, referentes aos eixos x e y com diferentes intensidades de contribuições de cada componente. Neste caso as resultantes expressam uma gaussiana com diferentes intensidades, porém por representar uma passagem completa nos eixos x e y, espera-se um perfil simétrico em x e y.

4.3 Teste de sensibilidade axial eixo z

A figura 4 mostra os resultados referentes ao teste de sensibilidade axial. A figura 4-A representa a resposta do sensor BAC-monocanal em relação ao teste axial e a figura 4-B representa a resposta do sensor BAC-AMR 3D para a aproximação do material magnético no eixo z.

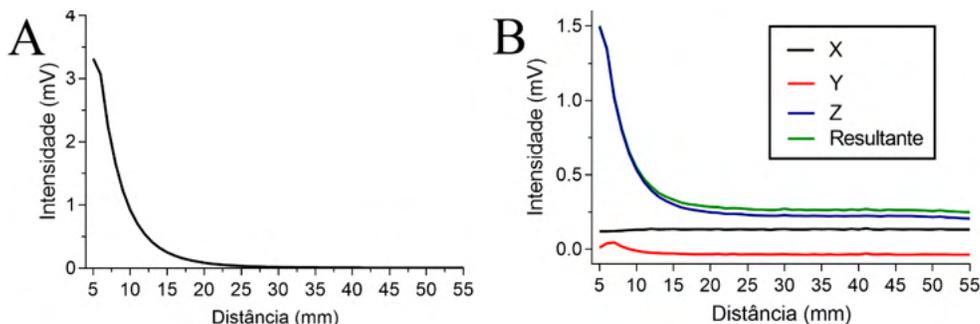


Figura 4. (A) Sensibilidade axial BAC-monocanal (B) Sensibilidade axial BAC-AMR 3D.

A partir da análise gráfica, observa-se o mesmo perfil de resposta, representado por um decaimento exponencial de acordo com a distância do material magnético em relação ao centro dos sensores. A intensidade de sinal no ponto mais próximo dos sensores foi mais alta para o sistema BAC-monocanal, demonstrando maior sensibilidade axial. Na figura 5 foi plotado somente o eixo z do BAC-AMR 3D em comparação com o BAC-monocanal em escala logarítmica.

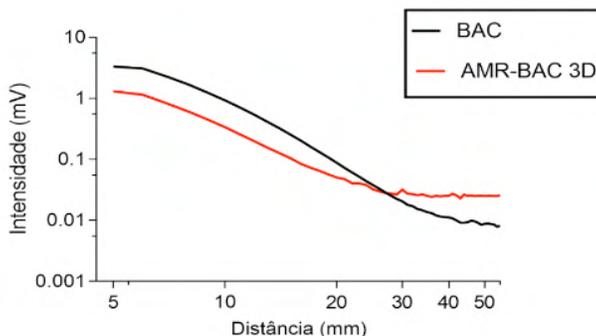


Figura 5. Sensibilidade axial em decaimento logarítmico para BAC-monocanal e BAC-AMR 3D.

A escala logarítmica permite a comparação gráfica dos perfis de decaimento, na qual a intercessão dos eixos é explicada devido ao *offset* do sensor BAC-AMR 3D ser mais alto do que a do sensor BAC-monocanal, que é bem mais próximo do valor zero. Em relação ao BAC-AMR 3D, apesar de possuir menor sensibilidade não demonstrou contribuições significativas dos eixos x e y, evidenciando uma resultante muito parecida com o sinal obtido de forma axial, utilizando apenas o eixo de detecção z.

4.4 Varredura de frequências

Foi realizado um teste axial para ambos os sistemas com o intuito de analisar a resposta de cada sensor frente a variação de frequências de excitação. A figura 6 demonstra os resultados obtidos, na qual 6-A é referente à BAC-monocanal e 6-B ao sistema BAC-AMR 3D.

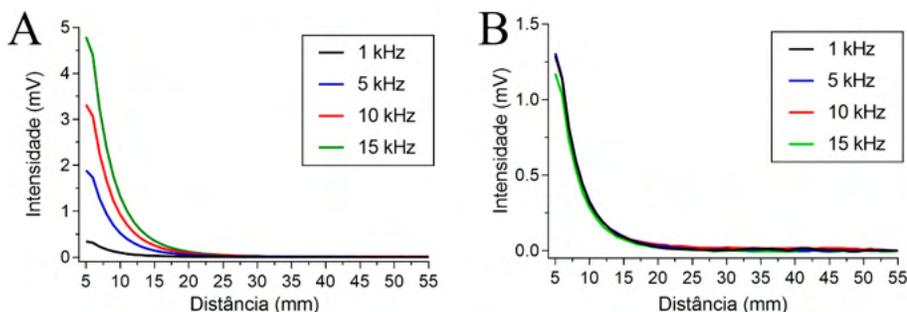


Figura 6. Teste axial sujeito a variação de frequências. (A) BAC-monocanal. (B) BAC-AMR 3D.

Os resultados enaltecem a dependência de frequência do sistema BAC-monocanal. A intensidade de sinal decai de acordo com a diminuição da frequência. O sistema BAC-AMR 3D não apresenta dependência de frequência no range variado, mantendo a mesma intensidade de sinal. A dependência em relação à frequência pode ser explicada pelo fato

de o sistema BAC partir do princípio de indução da Lei de Faraday.

Temos que:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Sendo: ε : força eletromotriz induzida, $d\Phi$: variação do fluxo magnético, dt intervalo de tempo. Assim, o sinal de saída pode ser dado por:

$$Vd = (M_{12} - M_{34}) \frac{dI_e}{dt} + RI \quad (2)$$

Os detectores AMRs funcionam através da diferença direta de resistividade no filme de acordo com a direção do campo aplicado, dada por:

$$R = R_0 + \Delta R \cos^2 \theta \quad (3)$$

Onde R é a resistência oferecida pela tira, R_0 é a resistência elétrica mínima, ΔR é a variação $R - R_0$ e $\cos^2 \theta$ é referente a dependência da direção do campo aplicado.

4.5 Simulação de contração *in vitro*

Os gráficos referentes a figura 7-A e 7-B representam os sinais no domínio do temporal e os gráficos 7-C e 7-D, representam os sinais no domínio de frequências, após a aplicação da Transformada de Fourier.

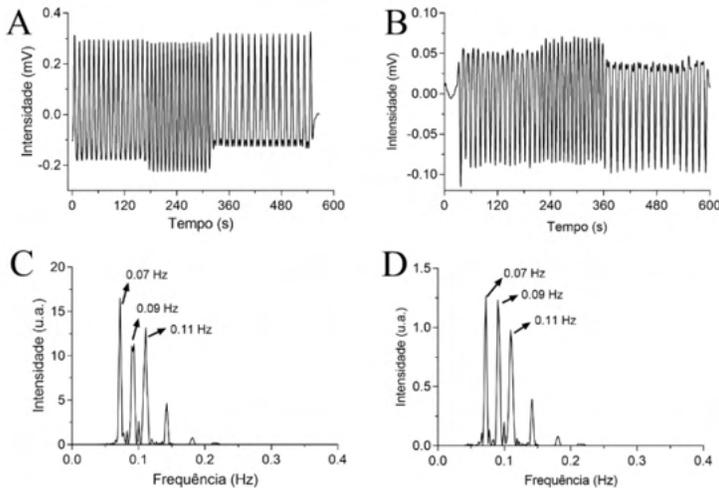


Figura 7. Simulação de contração *in vitro*. **(A)** Sinal no domínio temporal para BAC. **(B)** Sinal no domínio temporal para o BAC-AMR 3D. **(C)** Resultado da FFT para BAC. **(D)** Resultado da FFT para o BAC-AMR 3D.

Para o BAC-AMR 3D apenas o eixo axial z foi considerado. Observa-se o mesmo

padrão de frequências identificadas para ambas as técnicas, porém com intensidades de sinais diferentes. Como já observado na discussão do teste axial, o sistema BAC-monocanal apresenta maior intensidade, o que no caso de teste *in vivo* seria importante, levando em consideração o decaimento do sinal pela distância do material magnético até o centro do sensor, dada pela espessura do tecido.

Apesar da diferença em relação as intensidades, ambas foram capazes de diferenciar as frequências, podendo ser facilmente visualizadas através dos picos de Fourier dos gráficos no domínio de frequência, na qual ambas identificaram picos em frequências idênticas e seus harmônicos associados.

4.6 Escaneamento – BAC-AMR 3D e BAC-monocanal

As letras A, B, C e D representam cada componente de detecção do sensor, dados respectivamente por x, y, z e a resultante, que é proveniente de diferentes contribuições de cada componente.

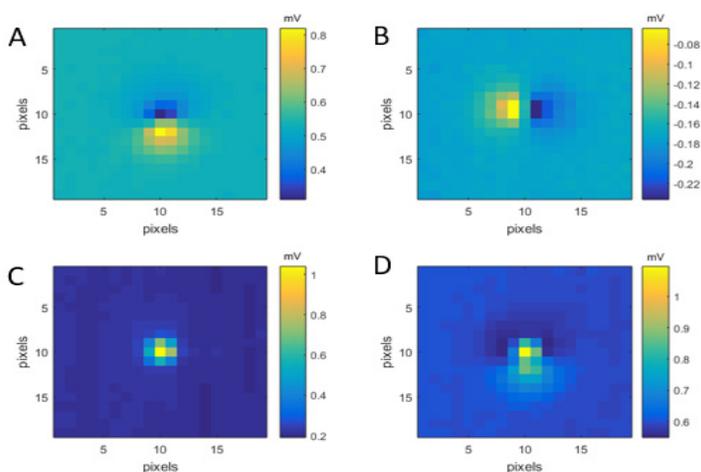


Figura 8. Imagens magnéticas 2D BAC-AMR 3D. (A) Eixo x (B) Eixo y (C) Eixo z (D) Resultante.

Os resultados obtidos para o BAC-AMR 3D mostram a capacidade de medir campo magnético nos três eixos de detecção, apresentando certa simetria ortogonal nos eixos x e y. A maior intensidade do sinal no eixo axial, z, é explicada devido ao alinhamento do eixo z com a excitação magnética, o eixo z encontra-se posicionado no centro da bobina excitadora. Através deste mapeamento de campo magnético verifica-se que o BAC-AMR 3D é capaz de localizar o comprimido magnético espacialmente, neste caso, posicionado no centro da matriz. A partir da distribuição dos máximos e mínimos observados nos eixos x e y é possível criar quadrantes bem definidos (Paixão, 2009). Quadrantes determinados pela

simetria ortogonal dos sinais de campo detectados nos eixos x e y são representados na figura 9A. A figura 9B representa o resultado obtido através do mapeamento do comprimido magnético sobre o sistema BAC-monocanal.

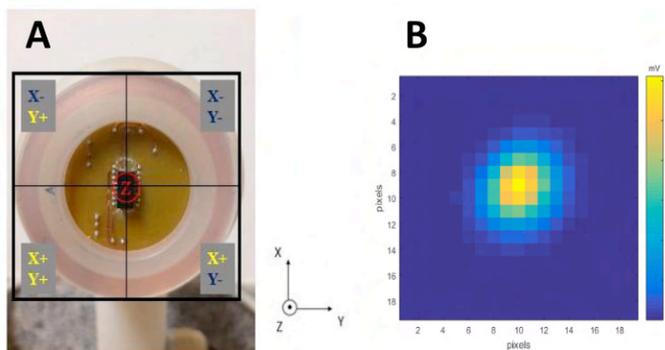


Figura 9. (A) Quadrantes determinados pela simetria ortogonal dos sinais detectados nos eixos x e y. (B) Imagem Magnética 2D – Sensor BAC-monocanal.

Os resultados referentes ao sistema BAC-monocanal nos fornece apenas uma coordenada axial, que apesar de maior intensidade, não é capaz de fornecer informações sobre a posição do material magnético na matriz e nem criar quadrantes de localização bem definidos. Apesar da alta sensibilidade do sensor BAC-monocanal, o BAC-AMR 3D possui melhor capacidade de localização do material magnético em uma matriz. A técnica BAC-AMR 3D será muito importante para novas abordagens. Modelagens em linguagem de programação *Python* vem sendo aplicadas pelo grupo de biomagnetismo, como proposta para realização de imagens quantitativas. A aplicabilidade de cada uma das técnicas pode ser analisada através do objetivo a ser empregado.

51 CONCLUSÃO

As duas técnicas se apresentam como boas opções na detecção de materiais magnéticos e obtenção de imagens magnéticas. A utilização de cada um dos dois sistemas pode ser escolhido de acordo com a finalidade e metodologia desejada, com base nos resultados obtidos, na qual, o sensor BAC se comportou de forma mais sensível na detecção de materiais magnéticos pontuais no eixo axial, ideal para detecção de marcadores magnéticos fixos, ou cuja localização seja previamente conhecida, na qual, a distância entre o marcador magnético e o centro do sensor seja maior. Já o BAC-AMR 3D pela capacidade de fornecer mais duas componentes de detecção, torna o sistema ideal para medidas que exigem determinação da posição de um certo marcador magnético com o intuito de se obter informações espaciais, apesar da menor sensibilidade em relação ao

sensor BAC. Perspectivas futuras já são traçadas com o objetivo de resolver o problema inverso para o sistema BAC-AMR 3D e obter imagens quantitativas de maior qualidade, visto que, com mais duas componentes de detecção, maior sustentabilidade é oferecida para tal resolução. Experimentos sem excitação serão explorados para o BAC-AMR 3D, visando estabelecer cada vez mais novas aplicabilidades ao sistema.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, M. R. Desenvolvimento, otimização e caracterização física de um novo sistema multi-sensores de Biosusceptometria de Corrente Alternada (BAC) para obtenção de imagens biomagnéticas. 2008.

AMERICO, M. F. et al. Validation of ACB in vitro and in vivo as a biomagnetic method for measuring stomach contraction. **Neurogastroenterology & Motility**, v. 22, n. 12, p. 1340-e374, 2010. ISSN 1350-1925.

BAFFA, O. et al. Analysis and development of AC biosusceptometer for oro-caecal transit time measurements. **Medical and Biological Engineering and Computing**, v. 33, n. 3, p. 353-357, 1995. ISSN 0140-0118.

CORÁ, L. A. et al. Disintegration of magnetic tablets in human stomach evaluated by alternate current Biosusceptometry. **European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics**, v. 56, n. 3, p. 413-420, 2003. ISSN 0939-6411.

FAGALY, R. Superconducting quantum interference device instruments and applications. **Review of scientific instruments**, v. 77, n. 10, p. 101101, 2006. ISSN 0034-6748.

LENZ, J. et al. A high-sensitivity magnetoresistive sensor. IEEE 4th Technical Digest on Solid-State Sensor and Actuator Workshop, 1990, IEEE. p.114-117.

MORAES, R. et al. Measurement of gastric contraction activity in dogs by means of AC biosusceptometry. **Physiological measurement**, v. 24, n. 2, p. 337, 2003. ISSN 0967-3334.

PAIXÃO, F. C. Utilização de magnetorresistores no desenvolvimento de novas técnicas para aplicações em gastroenterologia. 2009.

PAIXAO, F. C. et al. Development of an AMR-ACB array for gastrointestinal motility studies. **IEEE transactions on biomedical engineering**, v. 59, n. 10, p. 2737-2743, 2012. ISSN 0018-9294.

PAIXAO, F. C. et al. A novel device with 36 channels for imaging and signal acquisition of the gastrointestinal tract based on AC biosusceptometry. 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, 2010, IEEE. p.6457-6460.

PRÓSPERO, A. G. Aplicação do sistema de biosusceptometria AC para monitoramento de nanopartículas magnéticas na circulação sanguínea. 2015.

PRÓSPERO, A. G. et al. Aplicação de Métodos Matemáticos para Análise de Resolução Espacial em Sensores BAC. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 13, n. 2, p. 43-46, 2019. ISSN 1984-9001.

SARITAS, E. U. et al. Magnetic particle imaging (MPI) for NMR and MRI researchers. **Journal of Magnetic Resonance**, v. 229, p. 116-126, 2013. ISSN 1090-7807.

SOARES, G. A. Biosusceptometria AC multicanal para avaliação in vivo de perfis farmacocinéticos de nanopartículas magnéticas por imagens. 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Anisotropia 12
Aquisição de imagens 2
Artificial pinning centers 26, 32, 33
Atmosfera terrestre 35
Avaliação diagnóstica 48, 49, 51, 52, 55, 56, 57

B

BAC 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
Biomagnetismo 12, 23
Biosusceptometria de corrente alternada 1, 2, 11, 13, 14, 24
Box-Plot 35, 40, 41, 42, 43

C

Ciências da natureza 49
Comprimido magnético 12, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23
COVID-19 48, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 58, 59, 60

E

Electron-phonon interaction 30, 32
Energia solar 35, 36, 45, 46, 47
Energias renováveis 35
Ensino de física 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 59
Ensino médio 48, 50, 51, 54, 55, 56, 59
Ensino remoto 48, 58, 59, 60

F

Ferrita de manganês 4, 15

G

Gradiômetro 3, 4, 12

I

Imagens magnéticas 11, 12, 13, 22
Imagens quantitativas 12, 23, 24
Índice de clareza 35, 36, 39, 43, 44, 45
Instrumentação biomédica 1

Irradiância 35, 38, 39, 40, 42, 43, 44

Irradiância difusa horizontal 38

Irradiância direta horizontal 38

Irradiância global horizontal 38

M

Magnetorresistores 11, 12, 13, 15, 24

Marcadores magnéticos 15, 23

Material magnético 9, 10, 14, 19, 22, 23

Metodologias ativas 48, 49, 54

Micropartículas 15

MnFe₂O₄ 4, 15

N

Nanomedicina 2

Nanopartículas magnéticas 1, 2, 3, 4, 10, 13, 24, 25

Nb₃Sn(s) 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Notação científica 48, 51, 55

P

PIT process 28

R

Radiação solar 35, 36, 39, 47, 54

S

Sistemas magnéticos 1, 2

Superconducting properties 26, 30, 32

Superconducting wires 28, 34

Superconductive behavior 27

T

Técnicas biomagnéticas 12

U

Unidades de medidas 48, 50, 51, 54

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado 3

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Física:

Produção de conhecimento
relevante e qualificado 3

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br