

Sistema para medição da densidade de fluxo magnético emitida por equipamentos de estimulação magnética transcraniana

Measurement system for magnetic flux density emitted by transcranial magnetic stimulation devices

C V N Barbosa, E C Monteiro, C R H Barbosa, D R Louzada

Programa de Pós-Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro PUC-Rio;

E-mail: carlos.vinicius@aluno.puc-rio.br

Resumo: A Estimulação Magnética Transcraniana (EMT) é uma técnica não-invasiva para tratamento de transtornos neuropsiquiátricos por meio de neuromodulação. Embora ainda não haja exigência regulatória, a avaliação da energia emitida por EMT's é essencial para garantir a sua segurança e a eficácia do tratamento do paciente. Na literatura não se encontram estudos experimentais que descrevam a distribuição espacial da densidade de fluxo magnético gerado pelo EMT. Neste trabalho se apresenta um sistema que foi desenvolvido para realizar tais medições, e estudos preliminares da distribuição do campo magnético gerado por EMT.

Palavras-chave: Metrologia; Estimulação Magnética Transcraniana (EMT); Medição da Densidade de Fluxo Magnético; Confiabilidade Metrológica; Dispositivos Biomédicos.

Abstract: Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) is a non-invasive technique that, using neuromodulation effect, treats neuropsychiatric disorders. Although not required yet by regulatory agencies, the evaluation of the emitted energy is essential to guarantee both its safety and the effectiveness of patient treatment. The scientific literature does not provide experimental studies that describe the spatial distribution of the magnetic flux density generated by TMS. This work aims at developing a system to perform those measurements. Preliminary results of the magnetic flux density configuration along a line under the TMS are presented.

Keywords: Metrology; Transcranial Magnetic Stimulation (TMS); Measurement Magnetic Flux Density; Metrological Reliability; Biomedical Devices.

1. INTRODUÇÃO

O equipamento para estimulação magnética transcraniana (EMT) é um dispositivo médico capaz de realizar neuromodulação terapêutica não-invasiva, especialmente para o tratamento de transtorno de humor refratário a medicação, entre vários outros acometimentos clínicos, cuja eficácia no tratamento vem sendo amplamente estudada [1].

Os equipamentos EMT podem utilizar variados modelos de bobina de indução magnética, sendo uma das mais comumente utilizadas a chamada *figure-of-eight* [2]. O ângulo entre o par de bobinas deste modelo e, conseqüentemente, destas em relação ao contorno do crânio, impacta no efeito terapêutico pretendido, o qual depende da distribuição espacial do campo magnético.

A avaliação do desempenho de dispositivos para EMT é fundamental, para a garantia tanto de sua eficácia no tratamento quanto da segurança de pacientes e operadores [3-7]. A literatura científica, no entanto, não dispõe de estudos experimentais que descrevam a distribuição espacial da densidade de fluxo magnético gerado pelo EMT [4].

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de uma montagem experimental para medição da densidade de fluxo magnético gerada por equipamentos EMT e a realização de estudos preliminares de sua distribuição espacial nas regiões próximas ao dispositivo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema para medição da densidade de fluxo magnético emitida por estimulador magnético transcraniano é baseado em um sistema multicanal de medição magnética (SMM) desenvolvido no Laboratório de Biometrologia da PUC-Rio [6]. Esse dispositivo é constituído por 15 bobinas sensoras com 5,5 mm de raio externo e 4,5 mm de raio interno, inscritas em uma placa

de circuito impresso, onde cada bobina está alinhada com as demais e espaçada de 1,2 cm, representando um dentre os 15 canais de medição linearmente distribuídos em um plano (figura 1).

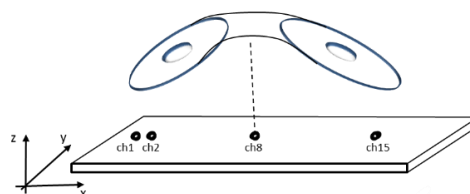


Figura 1. Ilustração do SMM centralizado sob EMT com bobina *figure-of-eight*.

A montagem experimental foi idealizada posicionando-se o equipamento de EMT a uma distância conhecida do centro do SMM, coincidindo o centro do EMT sobre o canal 8 da linha de 15 sensores do SMM (figura 1). Utilizando-se uma plataforma de acrílico foi controlada a distância entre o sistema de medição e o EMT. Esta plataforma também permitiu estabelecer uma referência para centralização dos dois sistemas (EMT e SMM). Em todas as medições o sistema de medição foi mantido em uma posição fixa, com o objetivo de minimizar possíveis interferências eletromagnéticas.

Utilizando a montagem experimental, foram realizadas medições ao longo de uma linha, para diferentes distâncias entre o SMM e um equipamento EMT do tipo MS/D e bobina de indução do tipo *figure-of-eight*, modelo FEC 02-100C (Neurosoft), com módulo de resfriamento (figura 2).

O sinal magnético medido foi digitalizado por uma placa A/D modelo NI USB 6229, da *National Instruments*, com uma frequência de amostragem de 250 kHz. A programação em *LabVIEW®* foi estruturada de tal forma que toda vez que o sistema detecta um valor acima de um determinado nível, ajustado em função do ruído ambiente, o sinal adquirido é armazenado em um arquivo formato *Excel*.

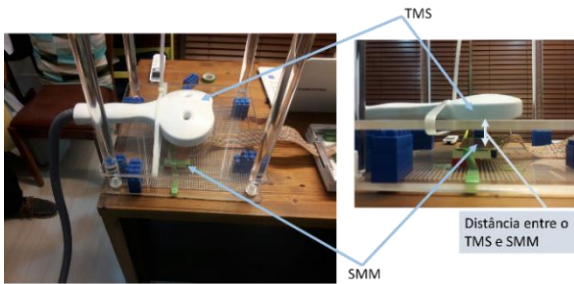


Figura 2. Montagem experimental desenvolvida para as medições da densidade de fluxo magnético gerada pelo EMT.

Como o SMM fornece resultados que correspondem ao campo magnético sob a forma de tensão elétrica expressa em volts, no pós-processamento os valores de tensão foram convertidos para valores em tesla (T) por meio da lei de Faraday-Lenz, descrita por

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{-1}{A} \int_0^t V dt, \quad (1)$$

onde A representa a área da bobina sensora, V a tensão elétrica, ϕ o fluxo magnético e B a densidade de fluxo magnético.

3. RESULTADOS

A figura 3 apresenta um registro temporal do sinal magnético, para 5 Hz de repetição de pulso e 10 % do valor máximo da intensidade gerada pelo EMT, medido em uma posição localizada a 2,4 cm do ponto central entre as bobinas (canal 6) e a uma distância Z de 3,3 cm entre o plano de posicionamento do SMM e do EMT.

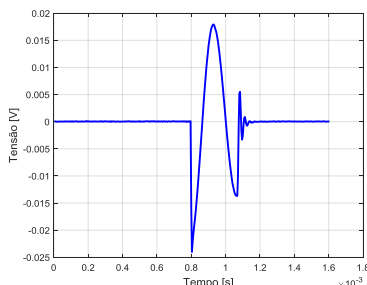


Figura 3. Registro temporal da tensão de saída do canal 6, com SMM posicionado a 3,3 cm de distância do equipamento de EMT.

O sinal temporal obtido se aproxima do descrito na literatura em registros realizados com outros equipamentos de EMT [6, 7]. A figura 4 apresenta o resultado da aplicação da equação (1) ao sinal da figura 3, utilizando integração numérica, e mostra o pulso senoidal tipicamente gerado por equipamentos de EMT, com frequência aproximada de 3 kHz.

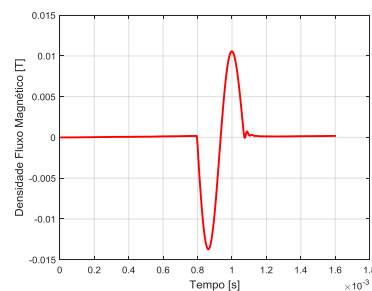


Figura 4. Registro temporal da densidade de fluxo magnético associado à tensão de saída do canal 6 apresentada na figura 3.

A figura 5 apresenta as amplitudes da densidade de fluxo magnético de cada ponto de medição ao longo de uma linha passando sob os centros do par de bobinas do equipamento de EMT *figure-of-eight*, para diferentes distâncias Z ($Z = 2,0$ cm; $Z = 3,3$ cm) entre as bobinas sensoras do SMM e o EMT. Os valores apresentados para a distância $Z = 2,0$ cm são fornecidos no manual da Neurosoft [2], para a bobina modelo FEC 02-100C com a qual foram realizadas estas medições experimentais para $Z = 3,3$ cm.

Os resultados experimentais apresentam uma configuração similar aos resultados de referência do manual, tendendo a um mínimo na região central entre as bobinas e máximos bilaterais (figura 5). Estes últimos apresentam-se um pouco mais afastados entre si do que os indicados pelo manual, o que se explica pelo maior distanciamento da posição das medições experimentais em relação à fonte do campo magnético constituída pelo par de bobinas.

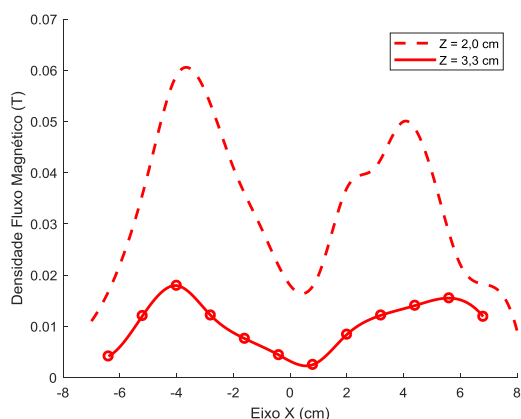


Figura 5. Valor pico a pico do sinal magnético ao longo de uma linha entre os centros das bobinas de indução, para medição experimental a uma distância Z de 3,3 cm e para valores fornecidos pelo no manual da Neurosoft, para uma distância de 2,0 cm [2].

4. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi desenvolvida uma montagem experimental para medição da densidade de fluxo magnético gerada por equipamentos de Estimulação Magnética Transcraniana, utilizando um sistema multicanal de medição magnética (SMM) com 15 bobinas sensoras dispostas linearmente.

Foram realizados estudos preliminares da distribuição espacial da densidade de fluxo magnética gerada nas proximidades de um equipamento EMT com bobina de indução do tipo *figure-of-eight*, modelo FEC 02-100C (Neurosoft). A configuração dos níveis máximos e mínimos do campo guarda certa correspondência com aquela prevista pelas informações contidas no manual do fabricante do modelo de EMT utilizado.

Trabalhos futuros incluem a avaliação dos valores de densidade de fluxo magnético em todo o espaço nas proximidades do dispositivo e uma análise comparativa com estudos simulados da

distribuição de campo prevista para a configuração de bobinas de diferentes modelos de EMT.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Matthew D. Johnson, Hubert H. Lim, Theoden I. Netoff, Allison T. Connolly, Nessa Johnson, Abhrajee Roy, Abbey Holt, Kelvin O. Lim, James R. Carey, Jerrold L. Vitek, and Bin He*, Fellow, IEEE Neuromodulation for Brain Disorders: Challenges and Opportunities *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, VOL. 60, NO. 3, MARCH 2013
- [2] Neurosoft 2014 Technical manual: coils for the neuro-MS/D device
- [3] Monteiro E C and Leon L F 2015 Metrological Reliability of Medical Devices *J. Phys.: Conf. Ser.* 588 (2015) 012032
- [4] Iam Palatnik de Sousa, Elisabeth Costa Monteiro 2015 Transcranial magnetic stimulation conformity assessment *XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry"* 2015, Prague, Czech Republic p. 1-6
- [5] Iam Palatnik de Sousa, Elisabeth Costa Monteiro 2014 Transcranial Magnetic Stimulation: Terminology and safety aspects concerning therapeutic protocol and device reliability *XXIV Brazilian Congress Biomedical Engineering*. P. 1-4
- [6] Iam Palatnik de Sousa 2016 Metrological reliability of transcranial magnetic stimulation. Dissertação de Mestrado PUC-Rio
- [7] Karlström E F, Lundström R, Stensson O, Mild K H 2006 Therapeutic staff exposure to Magnetic Field Pulses During TMS/rTMS Treatments *Bioelectromagnetics*