

VALIDAÇÃO DO ALGORITMO DE IMPEDÂNCIA PARA A CARACTERIZAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DO COMPÓSITO FERRITA E CIMENTO

M.F. Miranda^[1], U.H.C. dos Santos^[1], E.S. Júnior^[1], A.L. da Silva^[1],

F.F. Araújo^[2], M.R.F. Gontijo^[1,2]

Av. Paraná, nº 3001 - Jardim Belvedere - Divinópolis - MG

^[1]mfmiranda9@gmail.com.br

^[1]Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG

^[2]Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA

RESUMO

Com o avanço de novos materiais existe um crescimento nos estudos relacionados ao desenvolvimento de estruturas inteligentes na Engenharia Civil. O objetivo deste trabalho é aplicar um algoritmo analítico baseado no algoritmo de Migliano e Cortez (método de impedância complexa) para a extração da permissividade elétrica complexa e permeabilidade magnética complexa na faixa de frequência de 40Hz a 110MHz, no ambiente Matlab. Para validação desse algoritmo foi confeccionado os seguintes compósitos: 10g de cimento Portland CP-V sem ferrita; 10g de cimento Portland com 1g de ferrita CoCu; 10g de cimento Portland CP-V com 3g de ferrita CoCu e 10g de cimento Portland CP-V com 5g de ferrita CoCu. O tempo de cura para os compósitos foi de uma semana, produzindo compósitos no formato de placas com dimensões de (19,8x1,85x31,5)mm. Para extração da permissividade elétrica e permeabilidade magnética complexas dos compósitos foi utilizado o equipamento Analisador de Impedância (40Hz até 110MHz).

Palavras chave: Sensores, compósito cimento e ferrita, permissividade elétrica complexa, permeabilidade magnética complexa.

INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma constante preocupação com relação à segurança das estruturas de concreto, como pontes, prédios e estádios. Desastres como terremotos, enchentes, vento forte e até em reformas em apartamentos e casas fazem as pessoas reconhecerem que o monitoramento da saúde estrutural é extremamente importante^[1]. Devido a essa preocupação, nota-se um constante crescimento nos estudos relacionados ao desenvolvimento de estruturas inteligentes na Engenharia Civil, para o monitoramento e controle ativo destas estruturas e para viabilizar o controle de tráfego de forma a minimizar os esforços mecânicos aos quais as estruturas armadas de concreto estão sujeitas^[2]. Além disso, o desenvolvimento das áreas de eletrônica, tecnologia de informática e sensores torna possível equipar essas estruturas com um sistema eficaz.

Assim, por meio das propriedades intrínsecas de um material tais como permissividade ϵ_r^* e permeabilidade complexas μ_r^* , é possível a construção de sensores utilizados neste monitoramento^[3]. As propriedades como permissividade elétrica complexa ϵ_r^* e permeabilidade magnética complexa μ_r^* são extraídas por meio de algoritmos analíticos.

Quando se faz uma medida em uma amostra, as propriedades físicas são convertidas em dados numéricos e são convertidas por meio de algoritmos em propriedades intrínsecas da amostra. Através das propriedades intrínsecas é que são criados os dispositivos para as aplicações particulares^[4]. Esses algoritmos são comercializados através de licença para os laboratórios de pesquisa e tem um alto custo.

O compósito analisado neste trabalho visa desenvolver-se em sensores de contato, nos quais, a transmissão de vibrações da estrutura ao componente irá se converter em sinais elétricos, sendo interpretados por um circuito eletrônico.

O algoritmo^[5] é usado para extrair ϵ_r^* e μ_r^* usando porta amostra tipo coaxial. O porta amostra tipo coaxial suporta o modo Transversal Eletromagnético *TEM*. O porta amostra usado neste trabalho foi o tipo semicírculo, que suporta o modo quase Transversal Eletromagnético quase-TEM. Usando esse porta amostra as amostras possuem o formato retangular com dimensões (19,8x1,85x31,5)mm, que são ideais para o desenvolvimento de sensores de contato. Para a análise dessas pro-

priedades ϵ_r^* e μ_r^* é utilizado o algoritmo em ambiente Matlab que recebe os dados extraídos do porta-amostra tipo semicírculo.

Desta forma, esse trabalho destina-se a escrever o algoritmo aberto em ambiente Matlab, onde é possível conhecer todas as partes dos cálculos, facilitando a análise e interpretação das medidas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para extração da permissividade e permeabilidade complexas de novos materiais foi utilizado o equipamento analisador de impedância (40Hz até 110MHz) do Laboratório de Sistemas Eletromagnéticos IEAv/DCTA.

A descrição matemática analítica usada neste trabalho é baseado no método de impedância^[5]. As propriedades intrínsecas como permissividade e permeabilidade complexas em baixa frequência são extraídas da impedância complexa como mostrado na Figura 1.

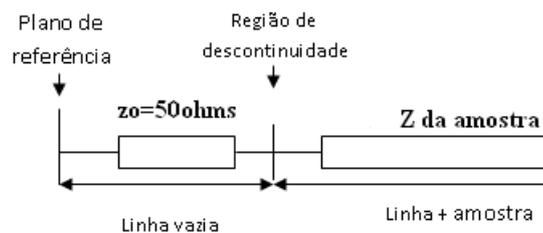


Figura 1. Esquema das medidas de impedâncias complexas.

A medida da permeabilidade e permissividade complexas podem ser realizadas por meio das impedâncias de entrada na forma de curto-circuito e em circuito aberto, como pode ser visto nas equações (A) e (B).

$$Z_{entrada}^{Curto} = jZ_0 \tan [\gamma d] \quad (A)$$

$$Z_{entrada}^{Aberto} = -jZ_0 \cot [\gamma d] \quad (B)$$

Para amostra com $|\gamma d|$ muito pequeno a aproximação se dá por meio das equações (C) e (D).

$$\tan|\gamma d| \cong \gamma d \quad (C)$$

$$\cot|\gamma d| \cong \frac{1}{\gamma d} \quad (D)$$

A impedância de entrada do porta-amostra é mostrada nas equações (E) e (F).

$$Z_{entrada}^{Curto} = jZ_0\gamma d \quad (E)$$

$$Z_{entrada}^{Aberto} = -jZ_0 \frac{1}{\gamma d} \quad (F)$$

A constante de propagação γ , para o modo TEM é mostrada na equação (G).

$$\gamma = k_0\sqrt{\mu_r\epsilon_r} \quad (G)$$

Sendo $k_0 = \omega/c$.

A impedância característica do porta-amostra é descrita na equação (H).

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} Z_0^{ar} \quad (H)$$

Substituindo as equações (E), (F) e (G) nas equações (H) tem-se as equações (I) e (J).

$$Z_{entrada}^{Curto} = j \frac{\omega d \mu_r}{c} Z_0^{ar} \quad (I)$$

$$Z_{entrada}^{Aberto} = -j \frac{c}{\omega d \epsilon_r} Z_0^{ar} \quad (J)$$

A permeabilidade e a permissividade em função da impedância podem ser descritas nas equações (K) e (L).

$$\mu_r = -j \frac{c}{\omega d} \left(\frac{Z_{entrada}^{curto}}{Z_0^{ar}} \right) \quad (K)$$

$$\varepsilon_r = -j \frac{c}{\omega d} \left(\frac{Z_0^{ar}}{Z_{entrada}^{Aberto}} \right) \quad (L)$$

A permeabilidade (partes real e imaginária), são descritas pelas equações (M) e (N).

$$\mu'_r = \frac{c}{\omega d} \left(\frac{X_{entrada}^{curto}}{Z_0^{ar}} \right) \quad (M)$$

$$\mu''_r = \frac{c}{\omega d} \left(\frac{R_{entrada}^{curto}}{Z_0^{ar}} \right) \quad (N)$$

E a permissividade (partes real e imaginária), são descritas pelas equações (O) e (P).

$$\varepsilon'_r = - \left(\frac{c}{\omega d} \frac{Z_0^{ar}}{|Z_{entrada}^{Aberto}|^2} \right) X_{entrada}^{Aberto} \quad (O)$$

$$\varepsilon''_r = \left(\frac{c}{\omega d} \frac{Z_0^{ar}}{|Z_{entrada}^{Aberto}|^2} \right) R_{ent}^{Abi} \quad (P)$$

Onde μ'_r é a parte real da permeabilidade, μ''_r é a parte imaginária da permeabilidade X^{short} é a admitância, R^{short} é a susceptância, Z^{air} é a impedância do porta-amostra com 50 Ω , X^{open} é a reatância, R^{open} é a resistência, ε'_r é a parte real da permissividade, ε''_r é a parte imaginária da permissividade, c é a velocidade de luz no vácuo, ω é a frequência angular aplicada e d é o comprimento da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Analisador de Impedância foi calibrado com o porta-amostra semicírculo e em seguida, a amostra foi colocada no porta-amostra e feita a leitura da variação da impedância elétrica complexa. A Figura 2 apresenta o comportamento da permissividade elétrica e da permeabilidade magnética complexas dos amostra do cimento Portland sem adição de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$. A Figura 3 apresenta o comportamento da permissividade elétrica e da permeabilidade magnética complexas do compósito cimento Portland com 10% de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ em massa em função da frequência aplicada.

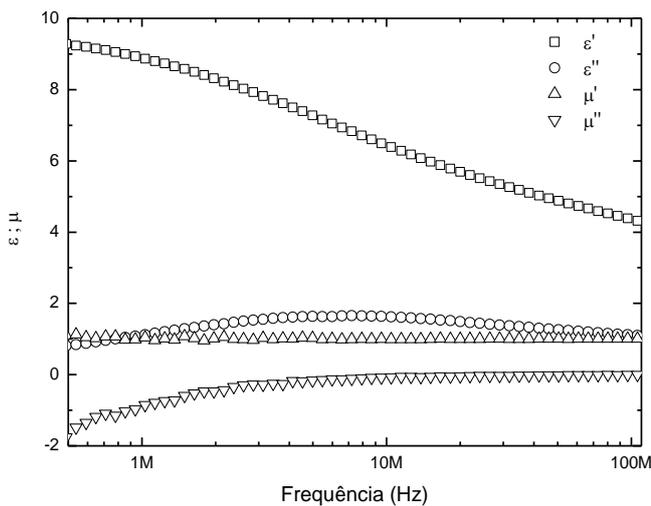


Figura 2. Permeabilidade e permissividade complexas do cimento Portland CP-V em função da frequência.

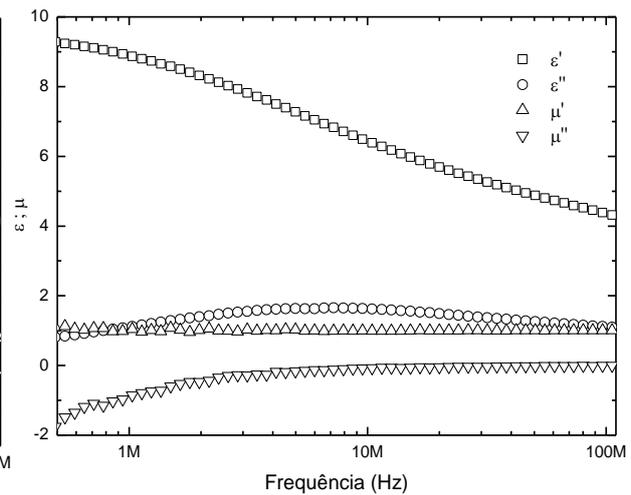


Figura 3. Permeabilidade e permissividade complexas do compósito $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ + cimento Portland CP-V com adição de 10% em massa em função da frequência.

A Figura 4 apresenta o comportamento da permissividade elétrica e da permeabilidade magnética complexas do compósito cimento Portland com adição de 30% de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ em massa. Já a Figura 5 apresenta o comportamento da permissividade elétrica e da permeabilidade magnética complexas do compósito cimento Portland com 50% de $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ em massa em função da frequência aplicada.

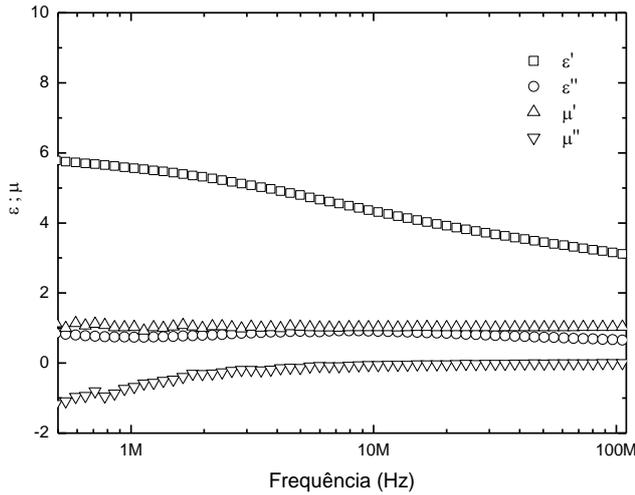


Figura 4. Permeabilidade e permissividade complexas do compósito ferrita $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ + cimento Portland CP-V com adição de 30% em massa em função da frequência aplicada.

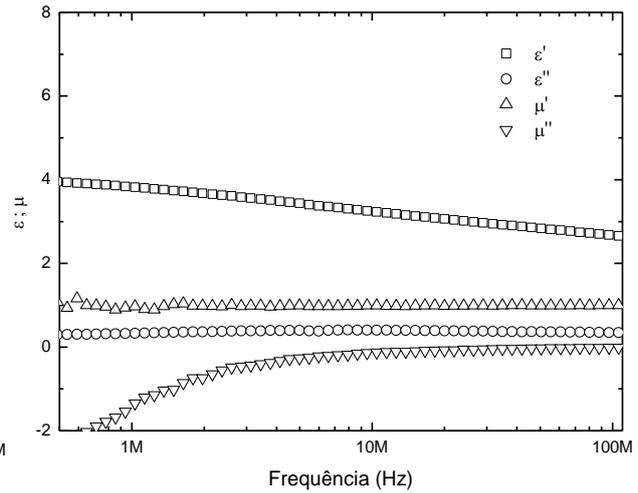


Figura 5. Permeabilidade e permissividade complexas do compósito ferrita $\text{Cu}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{Fe}_2\text{O}_4$ + cimento Portland CP-V com adição de 50% em massa em função da frequência aplicada.

CONCLUSÃO

O algoritmo de impedância teve uma boa sensibilidade e obteve resultados que estão em conformidade com os dados obtidos na literatura. De acordo com o algoritmo, foi possível observar que a variação do campo magnético produzido dentro do porta-amostra não foi suficiente para excitar as propriedades magnéticas dos compósitos.

No compósito com adição de 10% de ferrita, não foi possível observar mudança na permissividade elétrica complexa, porém à medida que a porcentagem de ferrita aumenta para 30% e 50% no compósito, alterações na permissividade elétrica podem ser observadas tanto na parte real quanto na parte imaginária. A parte real da permissividade diminuiu, isto é atribuído ao aumento da distância intramolecular, o que torna difícil os saltos eletrônicos entre as cadeias moleculares. Foi observado que a parte real da permissividade elétrica complexa também diminuiu com o aumento da frequência, isto pode ser atribuído ao aumento do processo de dispersão entre a interação elétron-fônon.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] De Sá, F. G (2009). **Síntese e caracterização de compósitos de cimento Portland modificados com PZT**. 2009.123f. Tese (Mestrado em Materiais para Engenharia) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.
- [2] Shen, B. ; Yang, X. and Li, Z (2006). **A cement-based piezoelectric sensor for civil engineering structure**. Materials and Structures, v.39, p. 37–42.
- [3] Ausanio, G.; Barone A. C.; Hison, C.; Iannotti, V.; Mannara, G.; Lanotte L (2005). **Magnetoelastic sensor application in civil buildings monitoring**. Sensors and Actuators A.,v. 123.
- [4] BAKER-JARVIS, J. et al. **Measuring the Permittivity and Permeability of Lossy Materials: Solids, Liquids, Metals, Building Materials, and Negative-Index Materials**. NIST Technical Note 1536, Gaithersburg, MD , p. 1-146,1990.
- [5] Côrtes, A. L.; Migliano, A. C. C.; Brito, V. L. O. and Orlando, A. J. F (2007). **Practical Aspects of the Characterization of Ferrite Absorber Using One-port Device at RF Frequencies**. In: PROGRESS IN ELECTROMAGNETICS RESEARCH SYMPOSIUM, Pequim. PIERS Proceedings. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, p. 683-687.

VALIDATION OF THE ALGORITHM OF IMPEDANCE FOR THE ELECTROMAGNETIC CHARACTERIZATION OF THE CEMENT AND FERRITE COMPOSITE

ABSTRACT

With the advance of new materials, there has been an increase in the studies related to the development of smart structures in Civil Engineering. This study aims to

apply an analytical algorithm based on Migliano and Cortez algorithm (complex impedance method), which is used to extract the complex electric permittivity and complex magnetic permeability, in the frequency range between 40 Hz and 110 MHz, in the Matlab environment. To validate this algorithm the following composites were produced: 10g of Portland cement CP- V without ferrite; 10g of Portland cement and 1g of ferrite CoCu; 10g of Portland cement CP-V and 3g of ferrite CoCu; and 10 g of Portland CP-V and 5g of ferrite CoCu. The curing time for the composites was one week; they were produced in the shape of boards measuring (19,8x1,85x31,5)mm. To extract complex electric permittivity and magnetic permeability of the composites an equipment named Impedance Analyser was used (40Hz to 110 MHz).

Keywords: Sensors, cement and ferrite composites, complex electric permittivity, complex magnetic permeability.