

Medidas de Caracterização Eletromagnética de Materiais em Espaço Livre na Banda C

Rafaela Real^{1,2}, Valdirene Aparecida da Silva^{2,3}

¹IFI Instituto de Fomento e Coordenação Industrial - DCTA, São José dos Campos – SP,

²IP&D Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento - Univap – São José dos Campos – SP,

³FEAU Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo - Univap, São José dos Campos - SP

Resumo – A técnica de caracterização eletromagnética em espaço livre preconiza a possibilidade de medir propriedades constitutivas sem entrar em contato com o material. As amostras são posicionadas entre uma fonte transmissora e receptora e por meio de um software de extração instalado em um VNA são realizadas medições do material. O laboratório de Medições eletromagnéticas do IFI/DCTA foi escolhido no âmbito do DCTA, para alocar um laboratório de caracterização de materiais. Atualmente está em fase de desenvolvimento de processo nas Bandas S, C e X.

Palavras-Chave – dielétrico, espaço livre, permissividade, permeabilidade.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, o Laboratório de Medições Eletromagnéticas, realiza ensaios para caracterização de antenas em desenvolvimento para os institutos do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial do Comando da Aeronáutica e empresas privadas do setor aeronáutico e espacial. O Laboratório atua na forma multiusuário, na qual, suas instalações são disponibilizadas para os institutos do DCTA e a custo reduzido para empresas do ramo aeronáutico e espacial para trabalhos de desenvolvimento e testes de dispositivos irradiantes. Atua também no apoio às pesquisas com materiais absorvedores, superfícies refletoras e absorvedoras, dispositivos de referência para medições de seção reta de radar.

Em 2009, um projeto piloto de prospecção tecnológica no Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE, orientou a necessidade de estudo de materiais para serem aplicados em radomes de antenas. Foi realizada uma avaliação dos laboratórios pertencentes ao DCTA e, a fim de evitar duplicações de atividades e técnicas de caracterização, decidiu-se pela implantação do Laboratório de Caracterização de Materiais dentro das dependências do IFI, em área contígua ao Laboratório de Ensaio de Antenas.

Dentro das fases da implantação do Laboratório de Medições Eletromagnéticas, foi desenvolvida uma proposta de estruturação e capacitação de um laboratório de caracterização de materiais que tivesse capacidade de apoiar as atividades de desenvolvimento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE). Os MARE possuem uma série de propriedades importantes que os tornam úteis para diversas aplicações na indústria. As medições destas propriedades podem fornecer aos pesquisadores e engenheiros informações valiosas para incorporar adequadamente o material em sua aplicação destinada a novos projetos ou para monitorar um processo de fabricação para melhoria do controle de qualidade. Uma das

propriedades relacionada às aplicações da Indústria Aeroespacial são as propriedades eletromagnéticas do material [1]-[2].

Existem diversas técnicas de caracterização de matérias que são definidas de acordo com a faixa de frequência de medição, tamanho da amostra, característica de absorção/transparência entre outras. Entre as técnicas existentes podemos citar: placas paralelas, sensor coaxial, cavidade ressonante, linha de transmissão e espaço livre [3].

A técnica de caracterização eletromagnética de materiais em espaço livre ou perda por inserção tem recebido muita atenção devida a seu método de medidas avaliar de forma não destrutiva em uma banda larga de frequências e temperatura, as propriedades constitutivas de um material sob teste. Tais propriedades determinam à resposta do material a exposição a campos eletromagnéticos, pois são extraídas por algoritmos por meio de medições [3]-[4].

Coefficientes de reflexão e transmissão do dispositivo experimental estão diretamente relacionadas com as propriedades eletromagnéticas do material de interesse, que são medidas utilizando um analisador de rede. Em seguida, são determinados os coeficientes de permissividade elétrica e permeabilidade magnética da amostra [4].

II. CARACTERÍSTICA DO ENSAIO

O ensaio consiste na avaliação de um sinal recebido decorrente de uma transmissão em espaço livre por meio de duas antenas do tipo cornetas e lentes colimadoras de feixe e um analisador de redes vetorial. As características do sinal transmitido são modificadas por um material posicionado entre as antenas transmissora e receptora [5]-[6]-[7].



Fig. 1. Setup de medidas do Laboratório de Medições Eletromagnéticas do IFI/DCTA.

A técnica de caracterização eletromagnética de materiais em espaço livre se aproxima das condições reais encontradas nos ambientes de operação da amostra. Erros no sistema de medição devidos ao espalhamento da incidência do campo na amostra e o efeito do acoplamento entre as antenas são minimizados utilizando técnicas de calibração no domínio do tempo [7]-[8].

O software comercial 85071E instalado no VNA (*Vetorial Network Analyser*) PNA-L da Keysight que controla a transmissão e recepção dos sinais realiza a análise do sinal recebido e comparando com o sinal transmitido pode indicar as características eletromagnéticas do material posicionado na linha de transmissão. O método de calibração utilizado pelo software é denominado de GRL (*Gated Reflec Line*) [8] o qual consiste em caracterizar materiais dielétricos ou magnéticos por meio de uma análise temporal, reduzindo erros de difração, espalhamento e acoplamento ente as antenas.

O procedimento para realizar as medidas consiste em realizar duas calibrações distintas. A primeira, letra a da Fig.2, inicia-se realizando a calibração do setup de medidas (*VNA, cabos e conectores*) até a entrada das antenas, utilizando um equipamento chamado ECAL (módulo de calibração eletrônico). Posteriormente, com o setup já conectado as antenas, letra b e c da Fig.2., define-se o intervalo de janelamento, posicionando as antenas equidistantes ao porta-amostra. Este deverá conter um padrão de plano terra, ou seja, uma placa metálica de espessura conhecida, preferencialmente com espessura próxima as espessuras das amostras a serem medidas. Logo após realiza-se a sobreposição das curvas de reflexão no domínio do tempo dos parâmetros S_{11} e S_{22} . Geralmente, o segundo pico determina o intervalo de janelamento que se encontra entre os vales, t_1 e t_2 . O *software* solicita a inserção dos valores do janelamento e uma nova medida com o plano terra é realizada. Por fim, o *software* solicita que se retire o plano terra e uma medida a vazio é iniciada [8]-[9]-[10].

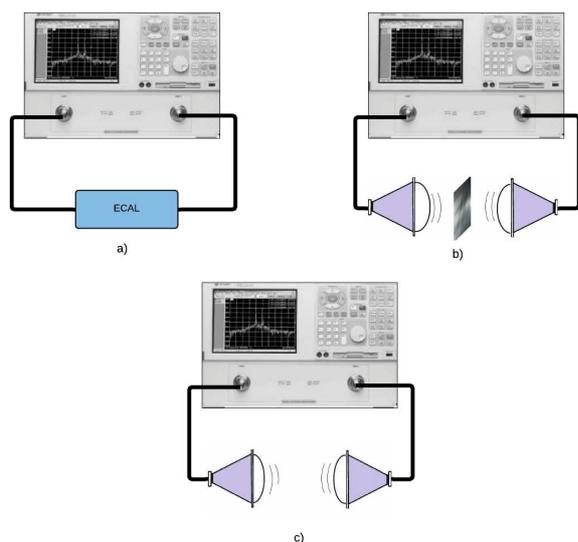


Fig.2 . Etapas da calibração: a) Calibração das duas portas do VNA e cabos conectados nas entradas das antenas, b) Padrão de calibração *Reflect* (Plano terra) e c) Padrão de calibração *Line* (Vazio)

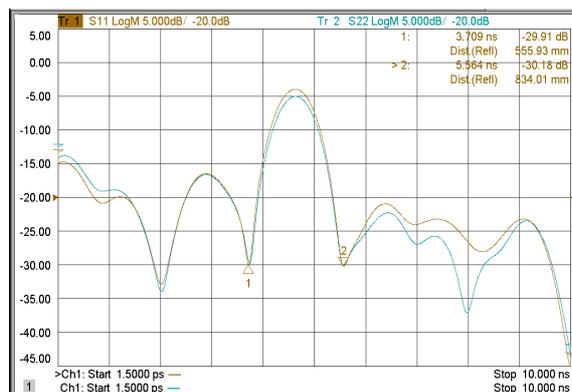


Fig. 3. Determinação do intervalo de janelamento aplicado pelo método de calibração GRL [10]

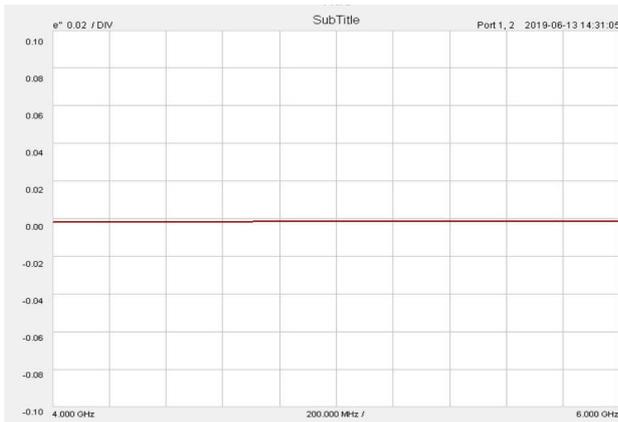
III. METODOLOGIA E RESULTADOS

A realização da caracterização de um dado material foi considerada a medida do ar, $\epsilon_r = 1$, como padrão de referência, para confirmação de uma correta calibração. Após análise dos resultados coerentes com a literatura procede-se à medição da amostra sob teste ou ainda uma medição de um material padrão para confirmação. Para tanto se elencou caracterizar também uma placa de substrato de fibra de vidro (FR-4). FR-4 é um material compósito formado por um tecido de fibra de vidro e resina epóxi; é compósito auto-extinguível, ou seja, resistente a chamas [11], e uma placa de @Teflon T padrão [12].

Os resultados das medições com porta amostra vazio são os padrões para o conhecimento da calibração. Estes dados devem apresentar as características como da Fig.4 para a parte real e como as da Fig.5 para a parte imaginária da permissividade.



Fig. 4. Parte Real da Permissividade do Ar (ϵ').


 Fig. 5. Parte Imaginária da Permissividade do Ar (ϵ'').

Medições típicas de uma placa de fibra de vidro com dimensões de 250 x 250 mm e 1.6 mm de espessura, FR-4 [11], são mostradas nas Fig.6 e Fig.7, parte real (ϵ') e imaginária (ϵ'') da permissividade, respectivamente.

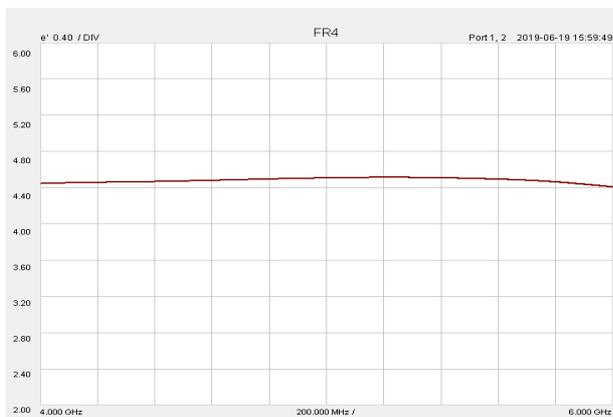
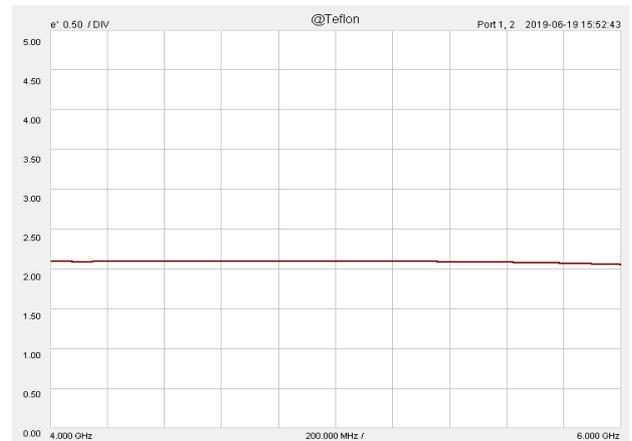
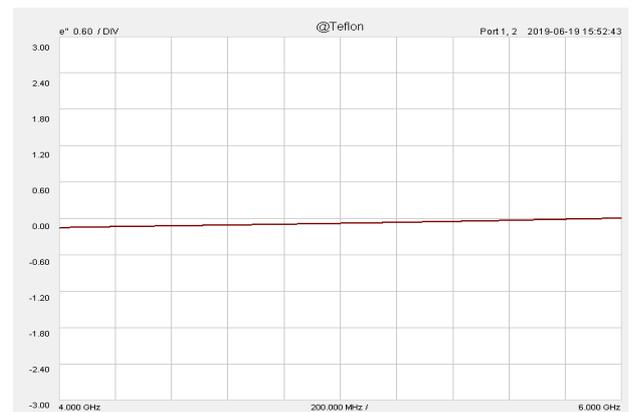

 Fig. 6. Parte Real da Permissividade da placa de fibra de vidro FR4 (ϵ').

 Fig. 7. Parte Imaginária da Permissividade da placa de fibra de vidro FR4 (ϵ'').

Medições para a placa de @Teflon T [12], com dimensões de 250 x 250 mm e 3 mm de espessura estão demonstradas na Fig.8 para a parte real e na Fig. 9 para a parte imaginária da permissividade


 Fig. 8. Parte Real da Permissividade de uma placa de 3mm de espessura de @Teflon (ϵ').

 Fig.9. Parte Imaginária da Permissividade placa de 3mm de espessura de @Teflon (ϵ'').

Na tabela I encontra-se uma comparação entre o valor medido e o valor teórico da parte real (ϵ') e imaginária (ϵ'') da permissividade do Ar, do FR-4 e do @Teflon T.

TABELA I. COMPARAÇÃO ENTRE O VALOR MEDIDO E O VALOR TEÓRICO DAS PROPRIEDADES CONSTITUTIVAS DO AR, FR-4 E @TEFLON T

Referência	Medido		Teórico	
	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''
ar	1	0	1	0
FR-4	4,5	-0,5	4,4	0
@Teflon	2,15	0,1	2,1	0

IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

A técnica de Caracterização Eletromagnética de Materiais em Espaço Livre é um método simples e rápido para determinar as propriedades de permissividade e permeabilidade de materiais sólidos planos, porém houve dificuldade em alcançar a repetitividade das medidas, ora devido a variação da posição das antenas ou pela escolha do padrão de referência.

No início foi apontada a permissividade relativa do ar como padrão de referência para a caracterização da placa de @Teflon, porém o resultado não estava coerente com a literatura. Então, foi necessário refazer a calibração GRL para várias posições da antena até os resultados medidos corresponderem aos valores descritos na Tabela 1.

Foi constatado que para obter medições confiáveis a posição da antena deverá estar distante da amostra pelo comprimento da região focal, a amostra deverá ter uma espessura próxima à do plano terra e as calibrações deverão ser realizadas com pelo menos 2 padrões de referência distintos.

Esta técnica apresentou uma alta precisão quando foi realizada a medida do ar como padrão de referência de calibração do método, como também apresentou coerência com os resultados obtidos a literatura nas medidas de permissividade da parte real e imaginária da placa do substrato de vidro FR4 e @ Teflon T.

REFERÊNCIAS

- [1] JUNQUEIRA, C.; PEROTONI, M.; LIMA, D. R., Microwave absorber materials characterization: bulk absorbing and electrical/magnetic parameters. International Telecommunications Symposium (ITS). São Paulo, 2014.
- [2] GAMA, A. M.; MOURA, A.; REZENDE, M. C. Desenvolvimento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética à base de ferro carbonila e silicone. In: VIII Simpósio de Guerra Eletrônica, São José dos Campos, 2006.
- [3] GHODGAONKAR, D.K, ALI N. A., Microwave Nondestructive Testing of Composite Materials using Free-Space Microwave Measurement Techniques. 15a WCNDT. Roma 2000
- [4] GHODGAONKAR, D.K.; VARADAN, V. V.; VARASAN, V. K. Free-space method for measurement of dielectric constants and loss tangents at microwave frequencies, IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, v. 38, 1989, p. 789-793.
- [5] ROCHA, L. S. et al, A free space measurement approach for dielectric material characterization. SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). Rio de Janeiro. 2013
- [6] KEYSIGHT. Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials. Application note 5989-2589.
- [7] RONSO, D. A. e LIMA, R. C., Projeto de Lentes Dielétricas para Colimação do Campo Eletromagnético na Banda S.2017. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica
- [8] LIMA, D. R.; JUNQUEIRA, C.; CANTO, M. A. R.; MIGLIANO, A. C., Accuracy of GRL calibration considering time domain gating for the calculation of permittivity parameter in free space technique. SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). Porto de Galinhas. 2015
- [9] GONÇALVES, FÁBIO; et al. Free-Space Materials Characterization by Reflection and Transmission Measurements using Frequency-by-Frequency and Multi-Frequency Algorithms. ELECTRONICS , v. 7, p. 260, 2018.
- [10] KEYSIGHT. Option 100 - Freespace Calibration : User Manual. 2016. Disponível em: <http://na.support.keysight.com/materials/help/85071webhelp/85071_opt100_grl_calibration.htm>. Acesso em: 13/06/2019.
- [11] SARVAR, F.; POOLE, N. J.; WITTING, P. A., PCB Glass-Fibre Laminates: Thermal Conductivity Measurements and Their Effect on Simulation. Journal of Electronic Materials, v, 19-12. 1990
- [12] ROHDE & SCHWARZ. Measurement of Material Dielectric Properties. Application Note. Disponível em: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/00aps_undefined/RAC-0607-0019_1_5E.pdf. Acesso em: 13/06/2019.