

Método para Avaliar O Fator de Qualidade da Blindagem de Cabos Coaxiais

Kenedy Marconi Geraldo dos Santos, José Osvaldo Saldanha Paulino, Marcelo Blender Perotoni, Arnaud Colin, Mario Fernando Barbosa e Caio Luminatti Andrade

IFBA-VC - Instituto Federal da Bahia
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UFABC - Universidade Federal do ABC
FIASA - Fiat Automóveis – S/A
USP- Universidade de São Paulo
SENAI - Cimatec

E-mails: kenedymarconi@gmail.com; josvaldo@cpdee.ufmg.br; marcelo.perotoni@ufabc.edu.br; arnaud.colin@fiat.com.br; barbosa@ipt.br; caio.luminatti@fieb.org.br

RESUMO

Uma blindagem eficiente é um item importante para garantir o funcionamento adequado dos equipamentos eletroeletrônicos. Dentro deste contexto, este trabalho apresenta uma metodologia simplificada para a medição do fator de qualidade da blindagem de cabos coaxiais, com a qual é possível determinar o fator de qualidade da blindagem de qualquer cabo coaxial. Foi realizada também uma modelagem computacional com uso do software *CST-MWS@Microwave Studio*.

INTRODUÇÃO

O uso de sistemas eletroeletrônicos em automóveis vem assumindo um papel indispensável para o aumento do conforto, segurança e diminuição das emissões de CO₂. A eletroeletrônica embarcada está cada vez mais presente no veículo, sem contar os sistemas de telecomunicações que operam em frequências diversas e com elevados níveis de campo eletromagnético. Apesar dos grandes benefícios e facilidades destes sistemas, eles podem introduzir distúrbios eletromagnéticos nos diversos ambientes em que operam. Neste contexto, compatibilidade eletromagnética - EMC é a capacidade de um equipamento eletroeletrônico funcionar corretamente em um determinado ambiente eletromagnético, sem perturbar os equipamentos adjacentes ou sem ser perturbado por outros equipamentos ou por si próprio [1]. Normalmente, um problema de compatibilidade eletromagnética pode ser dividido basicamente em três partes, conforme ilustra a Figura 1:

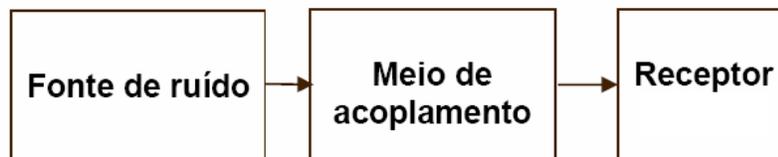


Fig.1 - Diagrama em blocos referente a geração, transmissão e a vítima da interferência

Fonte de ruído – Estas fontes podem ser transmissores, motores, computadores, raios ou qualquer equipamento capaz de gerar energia eletromagnética;

Meio de acoplamento – O acoplamento pode ser através de condutores, meio indutivo, capacitivo etc;

Receptor – A vítima poderá ser pessoas, computadores, centrais eletrônicas etc.

1- DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Para se minimizar um problema de EMC pode-se atuar na fonte, no receptor ou no meio de acoplamento. No entanto, para este estudo, o meio de acoplamento é o elemento que será investigado no sentido de mitigar as interferências eletromagnéticas irradiadas ou induzidas. Uma das técnicas utilizadas para minimizar esta interferência é a blindagem de determinados condutores. Sabe-se que a central de injeção é um sistema de alta relevância para o funcionamento do veículo, portanto condutores responsáveis pela transmissão de sinais provenientes dos sensores, como por exemplo, o sensor de giro, devem possuir uma blindagem a fim de garantir a imunidade a ruídos eletromagnéticos. Um cabo coaxial com baixo desempenho de blindagem pode apresentar alguns problemas quando utilizado em um ambiente poluído na ótica eletromagnética. No caso veicular, se for instalado próximo a uma bobina de alta tensão ou motores elétricos, este condutor fica susceptível a ruídos provenientes destes componentes. Estes distúrbios podem gerar variações na frequência e na amplitude do sinal presente neste condutor, o que pode vir a causar erros no funcionamento das centrais eletrônicas a ele conectadas.

1.1- Fator de blindagem

O fator de blindagem efetiva (SE - *Shielding Effectiveness*) é definido como a atenuação em decibéis entre o campo elétrico ou magnético sem e com a blindagem, ou a relação, em decibéis, entre a tensão induzida com e sem a blindagem conforme descreve a Equação 1 [2].

$$SE_{dB} = 20 \log \frac{V(\text{sem blindagem})}{V(\text{com blindagem})} \quad SE_{dB} = 20 \log \frac{E(\text{campo elétrico sem blindagem})}{E(\text{campo elétrico com blindagem})} \quad (1)$$

Com o intuito de conhecer o fator de qualidade da blindagem de um cabo coaxial, utilizou-se a metodologia descrita no item 2.

2 - METODOLOGIA

Sabe-se que a impedância de surto de um cabo coaxial depende de sua geometria [1]. Como descreve a Equação-2.

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

Onde:

Z_c = Impedância de surto em Ω ;

L = Indutância do cabo em $\mu\text{H.m}$;

C = Capacitância do cabo em pF.m .

Por exemplo, para um cabo coaxial RG6U, indicado na Figura 2, com $r_w = 511.81 \mu\text{m}$, $r_s = 2.286 \text{ mm}$ e $\epsilon_r = 1.45$ tem-se:

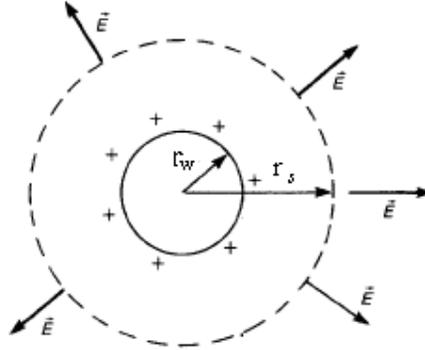


Fig.2 – Indicação dos raios internos e externos utilizados no cálculo dos parâmetros do cabo coaxial

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{r_s}{r_w}\right)} = \frac{2\pi\epsilon_0 \times 1.45}{\ln\left(\frac{2.286 \times 10^{-3}}{511.81 \times 10^{-6}}\right)} \Rightarrow \boxed{C = 53.9 \text{ pF} / \text{m}} \quad (3)$$

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \ln\left(\frac{r_s}{r_w}\right) = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \ln\left(\frac{2.286 \times 10^{-3}}{511.81 \times 10^{-6}}\right) \Rightarrow \boxed{L = 0.3 \mu\text{H} / \text{m}} \quad (4)$$

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{1.45}} = 2.4914 \times 10^8 \text{ m} / \text{s} \Rightarrow \frac{2.4914}{3} = 0.83 = 83\% \text{ de } v_0 \quad (5)$$

Cálculo da impedância de surto:

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{0,3 \mu\text{H} / \text{m}}{53.9 \text{ pF} / \text{m}}} = 74,7 \cong 75 \Omega \quad (6)$$

Para determinar o fator de qualidade da blindagem de um cabo coaxial, utilizou-se um arranjo específico composto por um plano metálico, um gerador de rádio frequência (RF) conectado a um amplificador de RF, um atenuador, uma carga resistiva de 50Ω , uma *current probe* e um analisador de espectro [3]. Num primeiro instante, mediu-se, no cabo com a blindagem a tensão no final da linha de transmissão para toda faixa de frequência de interesse, conforme configuração apresentado na Figura 3.

Este procedimento tem o intuito de definir um parâmetro de referência, isto é, frequência versus amplitude. Em seguida, esta resposta em frequência foi armazenada na memória do analisador de espectro com o nome resposta em frequência-1.

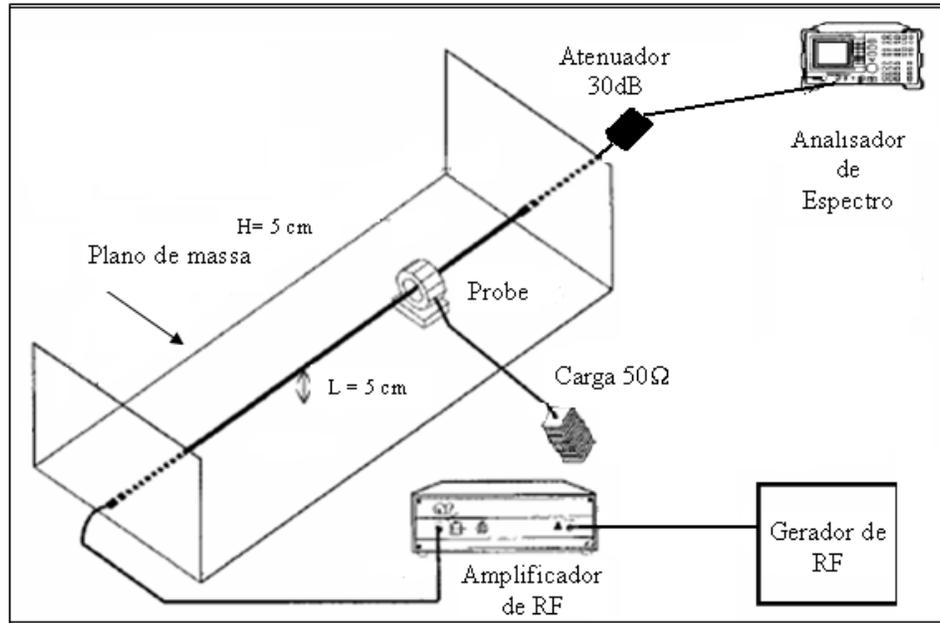


Fig.3 - Configuração utilizada para medição da resposta em frequência

Para a determinação do fator de qualidade da blindagem utilizou-se o arranjo da Figura 4, gerando-se a mesma quantidade de energia anteriormente lida pelo analisador de espectro, resposta em frequência-1, e mediu-se a energia irradiada pelo cabo com a blindagem.

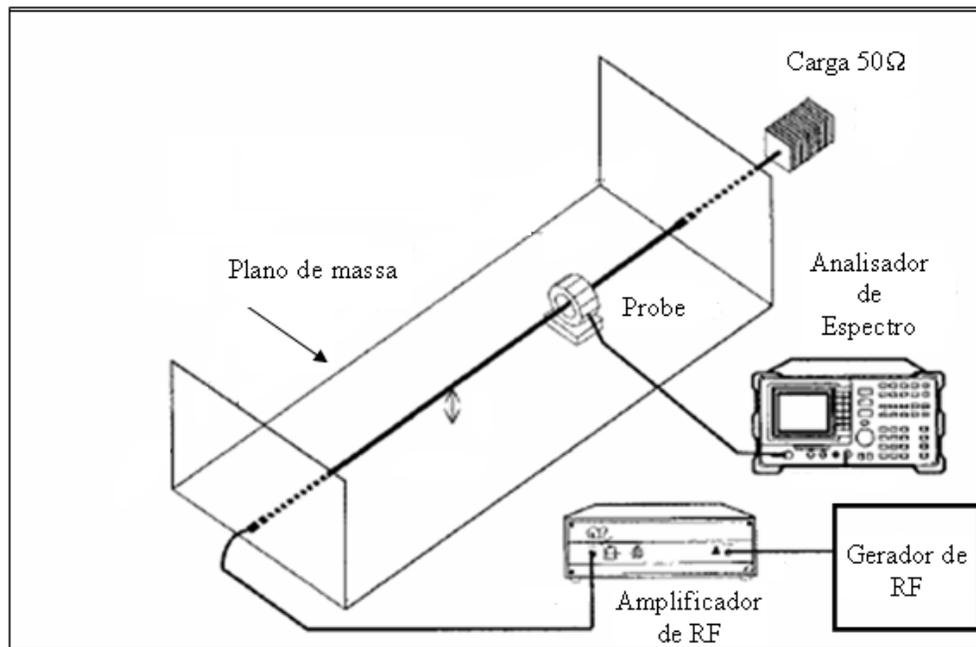


Fig.4 - Arranjo utilizado para medição do fator de blindagem do cabo coaxial

Realizados estes testes, retirou-se a blindagem do cabo em estudo no local onde está localizada a *current probe*. Em seguida, utilizando-se do arranjo apresentado na Figura 3, com o cabo coaxial sem blindagem, ajustou-se a amplitude do gerador até garantir que a energia no cabo sem a blindagem fosse a mesma presente no cabo coaxial com a blindagem, medida anteriormente e memorizada no analisador de espectro (resposta em frequência-1). Novamente, usou-se o arranjo da Figura 4 e realizou-se a última medição, isto é, a medição da tensão no cabo sem a blindagem [2]. Nestas condições, obtiveram-se os níveis de tensões sem e com blindagem. A partir da Equação 1, determinou-se o fator de qualidade da blindagem deste condutor. A Figura 5 apresenta os equipamentos utilizados durante os ensaios.



Fig.5 - Arranjo utilizado para medição da impedância do cabo coaxial

3 - RESULTADOS

A partir das medições realizadas, obtiveram-se as curvas apresentadas na Figura 6, a partir das quais pode-se verificar a diferença de amplitude entre as medições com e sem blindagem. Quanto menor a tensão proveniente do cabo com a blindagem melhor será a qualidade deste condutor na ótica da compatibilidade eletromagnética, ou seja, ele apresentará um alto nível de imunidade e um baixo nível de emissões eletromagnéticas. Observa-se também que, em altas frequências, o condutor apresenta maiores perdas devido ao efeito pelicular.

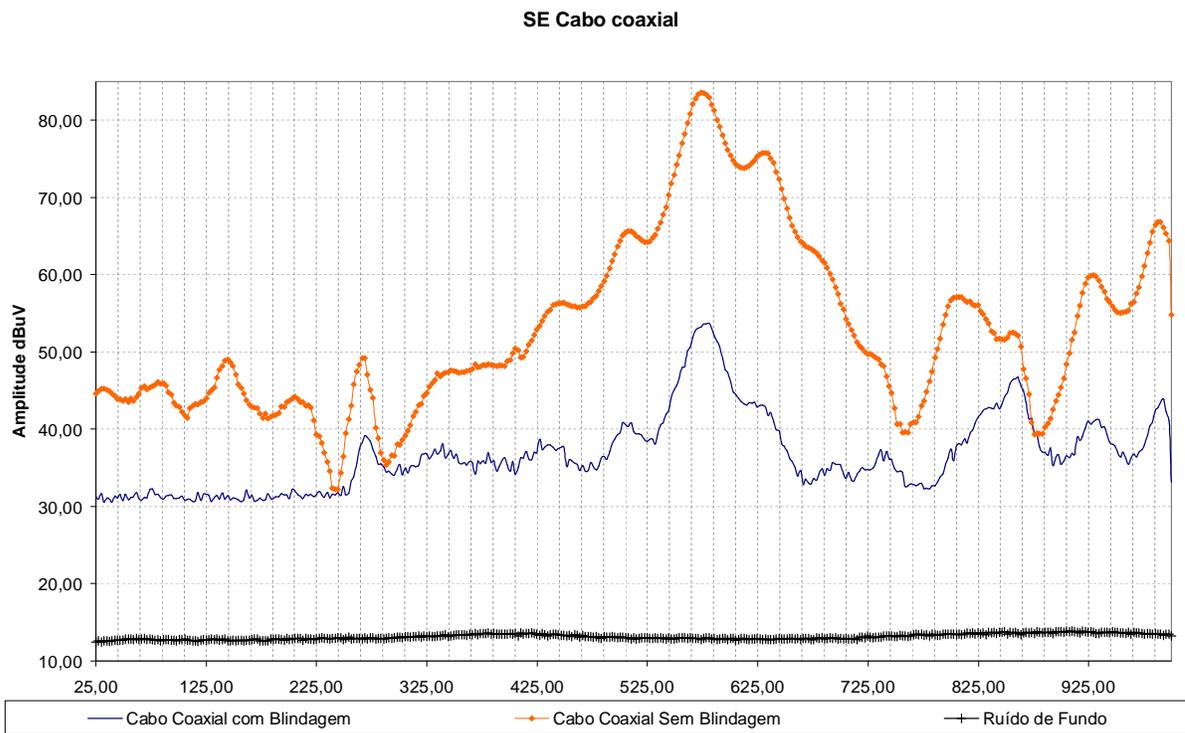


Fig.6- Resposta em frequência do cabo coaxial com blindagem versus o mesmo cabo sem blindagem

O gráfico da Figura 7 é referente ao cálculo, com a utilização da Equação 1, do fator de qualidade da blindagem. Verifica-se que o fator de qualidade da blindagem é maior nas frequências de 525 MHz a 625 MHz. Nestas frequências o cabo coaxial sob ensaio apresentou o seu melhor desempenho.

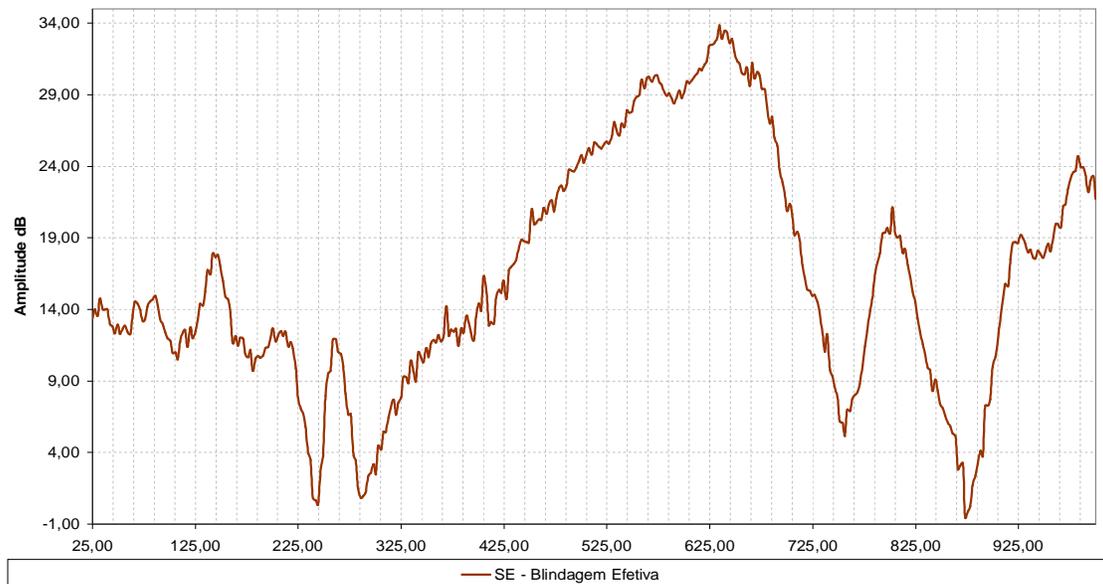


Fig.7- Gráfico referente ao cálculo do fator de qualidade da blindagem do cabo coaxial em estudo

4 – SIMULAÇÃO VIRTUAL

Foi realizada também uma modelagem virtual do cabo coaxial, clássico, modelo RG-58 através do simulador virtual CST MWS [6]. Esta modelagem inicia-se com a escolha de um *template*, cujos parâmetros sejam os adequados à situação, ou seja, neste caso referente à modelagem do cabo blindado na faixa de frequência de 240 MHz a 1 GHz. As Figuras 8 e 9 apresentam alguns detalhes do modelo utilizado. Os resultados podem ser observados nas Figuras 10 e 11. Não foi feita uma correlação, valor simulado versus o valor medido, pelo fato que no modelo computacional a medição foi realizada com um sensor de campo elétrico virtual e não uma *current probe*.

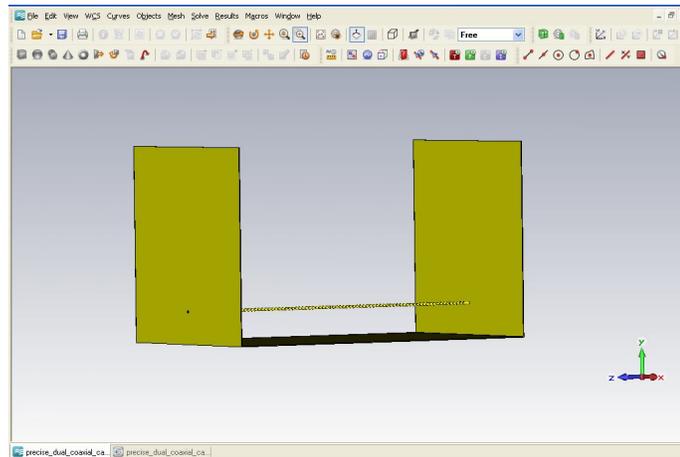


Fig. 8 - Modelagem do cabo coaxial RG-58 com blindagem

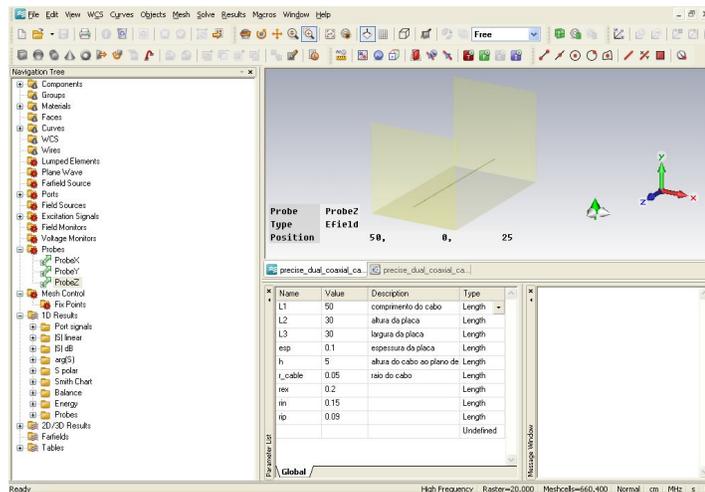


Fig. 9 – Localização do sensor de campo elétrico virtual

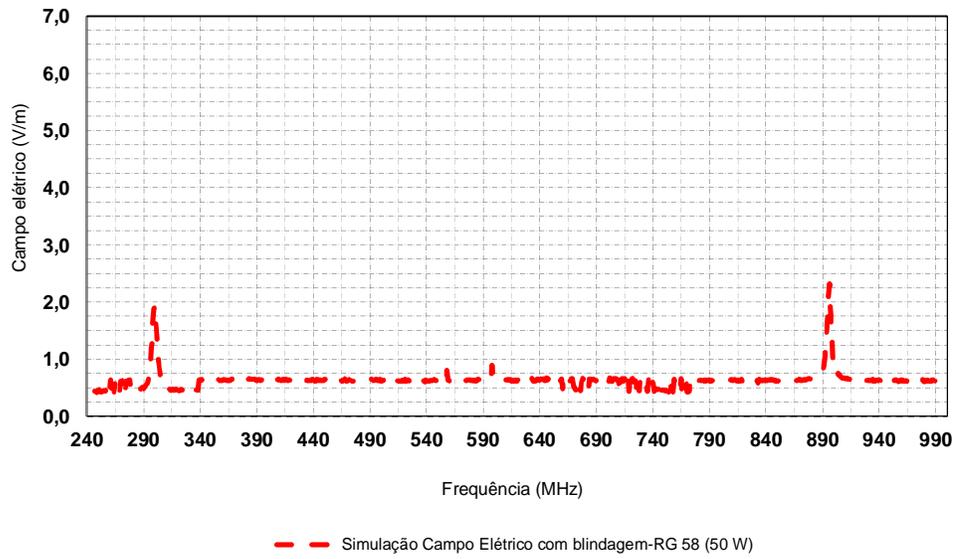


Fig. 10 - Valor do campo elétrico simulado sem a abertura de 10 cm na blindagem

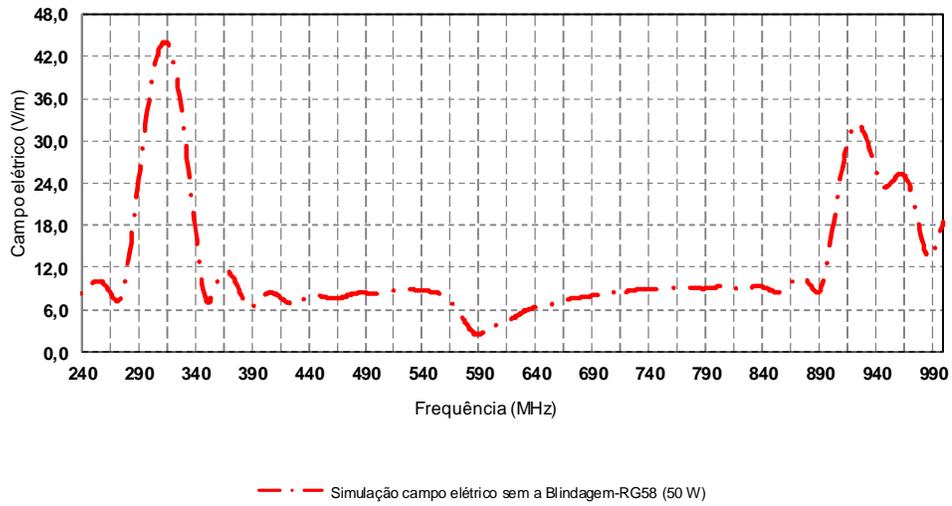


Fig. 11 – Valor do campo elétrico simulado com a abertura de 10 cm na blindagem do cabo RG-58

CONCLUSÃO

A partir da implementação da metodologia proposta, concluiu-se que é possível determinar o fator de qualidade da blindagem de um cabo protótipo e compará-la com um cabo coaxial de referência. O fator de blindagem é medido em dB e blindagens eficientes apresentam uma atenuação da ordem de 100 dB ou mais [5]. Entretanto, deve-se controlar os níveis de ondas estacionárias do condutor que tiver impedância diferente de 50Ω . Verificou-se, através das medições e simulações virtuais, que quanto maior o valor do fator de qualidade da blindagem melhor será o desempenho do cabo coaxial na ótica da suscetibilidade e emissões eletromagnéticas irradiadas.

REFERÊNCIAS

- [1] PAUL, C.R, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, 1992.
- [2] Donald R.J, Michel Mardiguian, *Electromagnetic Shielding*, Interference Control Technologies, Inc. Volume 3, Gainesville, Virginia, 1988;
- [3] R. De Leo, G. Cerri, V. Mariani Primiani, and R. Botticelli , *A Simple But Effective Way for Cable Shielding Measurement*, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 41, August 1999.
- [4] Mazhareddin Taghivand, **Correlation between Shielding Effectiveness and Transfer Impedance of Shielded Cable**, California Institute of Technology MC 136-93, 1200 E. California blvd., Pasadena, CA 91 125.
- [5] Institute of Electrical and Eletronics Engineers – IEEE, *Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*. IEEE, 2006;
- [6] CST Microwave Studio **cst Computer Simulation,Technology**; AG. Disponível na Internet em <http://www.cst.com/Content/Applications/Markets/EMC_EMI.aspx> Acessado em 02/05/2013;