

Determinação da Distribuição do Campo Eletromagnético Proveniente de Multifontes no Interior de um Automóvel

Raquel Aline A. Rodrigues, Glauco Fontgalland, Rômulo R. Maranhão do Valle, Edvaldo S. Pires

Resumo— O objetivo deste trabalho é determinar a distribuição de campo eletromagnético proveniente de multifontes em um automóvel. Foi realizada a medição do campo eletromagnético produzido por antenas monopolos de $\lambda/4$, na frequência de operação de 2,05 GHz, posicionadas de modo a simular aparelhos celulares em uso por humanos adultos. Foram realizadas dezesseis medições no interior do automóvel para as combinações de antenas em uso ou não, considerando parâmetros como fator de antena e perdas nos cabos de conexão, subsidiando assim informações para diretrizes mais eficientes sobre a limitação estabelecida para a exposição humana a campos eletromagnéticos em ambientes fechados.

Palavras-Chave— Campo eletromagnético, Reflexão de micro-ondas, Antenas monopolo, Telefonia celular.

Abstract—The objective is to diagnose the electromagnetic behavior from multisources in a car. It was done by measuring the electric field produced by monopole antennas of $\lambda/4$, used in mobile handsets, with operating frequency of 2.05 GHz. Monopole antennas were positioned to simulate the height of the mobile device in use by adults humans. We performed sixteen measurements of power inside the car for the combinations of antennas in use or not. Then, it was calculated the distribution of electric field inside the car taking into account parameters such as antenna factor and losses in the connecting cables, thereby providing more efficient information for guidelines on limiting set for human exposure to electromagnetic fields indoors

Keywords— Electromagnetic Field, Microwave reflection, Monopole antennas, Cellular phone.

I. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o crescimento da utilização de telefones móveis pela população, tem crescido também a preocupação dos usuários, das autoridades governamentais e da comunidade científica em relação aos riscos à saúde que esta tecnologia pode apresentar. Esta preocupação é motivada principalmente pelo fato de que, embora sejam conhecidos os efeitos carcinogênicos devido à exposição à radiação ionizante e aos efeitos térmicos, agudos e de curta duração devido à exposição à radiação não ionizante, não existe ainda concordância sobre os efeitos não térmicos em longo prazo gerados por radiações não ionizantes.

Portanto, apesar de todas as pesquisas realizadas sobre este tema, têm-se ainda incertezas científicas que motivam o desenvolvimento de novos estudos visando mensurar essa exposição a CEM e investigar os possíveis impactos sobre a saúde. Neste trabalho será diagnosticado o perfil do campo

eletromagnético estabelecido em um automóvel através de uma série de medições *in situ*.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, para operar como fontes de Campo Eletromagnético (CEM) foram confeccionadas quatro antenas monopolo de $\lambda/4$, como as utilizadas em aparelhos celulares, com frequência de operação de 2,05 GHz (pertencente à faixa de frequência do padrão UMTS- 3G) e realizadas medições de algumas características dessas antenas. Em seguida, no interior de um automóvel, foram coletados dados (valores medidos de potência para vários casos de disposição das antenas) para o posterior cálculo da distribuição do CEM.

A. Norma Técnica Adotada

O regulamento adotado no Brasil pela Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, resolução Nº 303 de 2 de julho de 2002, para a avaliação da exposição humana a campos eletromagnéticos de radiofrequência, tem como referência os limites propostos pela Comissão Internacional para Proteção Contra Radiações Não Ionizantes- ICNIRP.

Os limites de exposição estabelecidos no regulamento referem-se à exposição ocupacional bem como à exposição da população em geral a CEMRF na faixa de frequência entre 9 KHz e 300 GHz. Como na presente pesquisa o ambiente fechado em estudo se enquadra na situação de exposição não controlada pela população em geral e as fontes de CEM operam na frequência de 2.05 GHz, serão adotados como valores limites para a exposição apenas os apresentados na tabela 1 [2].

TABELA 1- LIMITES PARA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO EM GERAL A CEMRF NA FAIXA DE RADIOFREQUÊNCIAS ENTRE 2 GHZ A 300 GHZ (VALORES EFICAZES NÃO PERTURBADOS).

Faixa de Radiofrequências	Intensidade de Campo E (V/M)	Intensidade de Campo H (A/M)
2 GHz a 300 GHz	61	0,16

B. Equipamentos Utilizados

Nos procedimentos de calibração e medição das características das antenas monopolo, medição das perdas nos cabos utilizados nas antenas monopolo e de recepção, medição da impedância da antena de recepção e medidas de potência no interior do automóvel foram utilizados: um gerador de sinais Rohde & Schwarz modelo 5M300 acoplado via cabo coaxial (cabo RG58 C/U de 1,45m) a base de cada antena monopolo pelo conector tipo SMA, um analisador de malha Agilent modelo E5062A acoplado via cabo coaxial (cabo HFU2) à antena de recepção- log-periódica Rohde&Schwarz 12-144980 e um analisador de espectro Agilent CSA- N1996A que também foi conectado à antena de recepção.

C. Fontes de CEM

Cada antena monopolo foi modelada por uma haste metálica de 37,5 mm (diâmetro de 1.8 mm) e plano de terra composto por três hastes de 25 mm separadas 120° entre si. Na etapa seguinte foi simulada a operação da antena com o software MS-CST. Cada antena foi enumerada para identificação, alimentada com potência de 500 mW e posicionada para transmissão de polarização vertical. A antena de recepção foi posicionada para a captação do campo incidente na máxima resposta da antena monopolo.

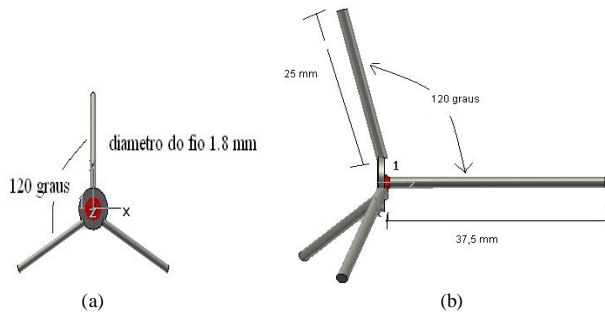


Fig. 1. Projeto de antena monopolo para a faixa de frequência de 1,8 a 2,1GHz: (a) vista de topo e (b) vista lateral.

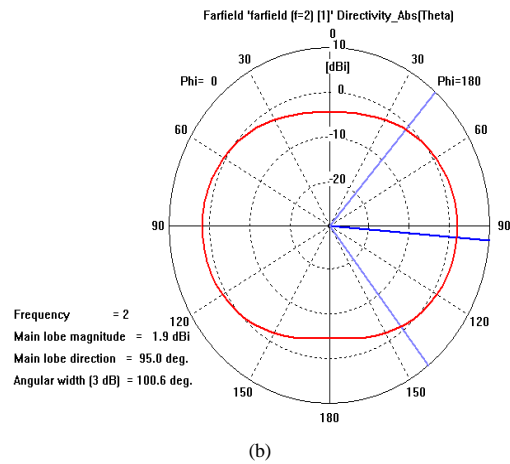
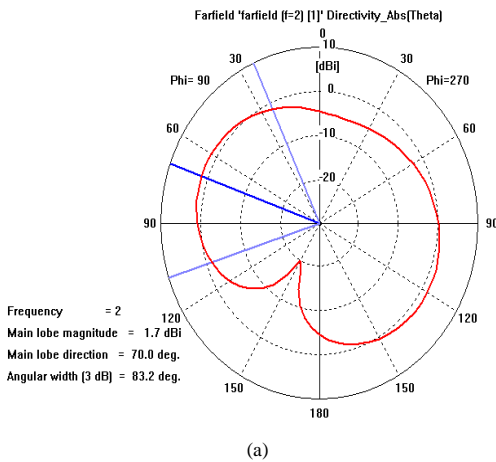


Fig. 2. Diagramas de irradiação 2D da antena monopolo simulada no software computacional CST: (a) Vertical, (b) Horizontal.

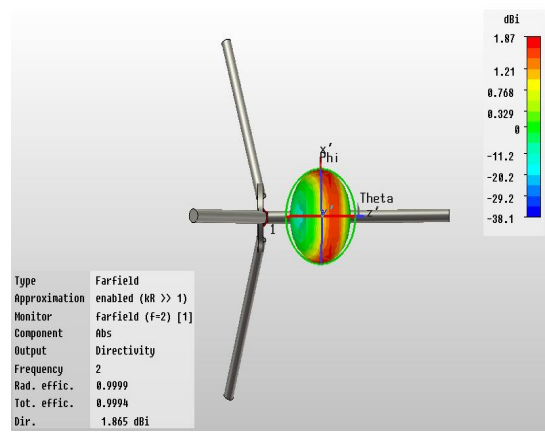


Fig. 3. Diagrama de irradiação 3D da antena monopolo simulada no software computacional CST.

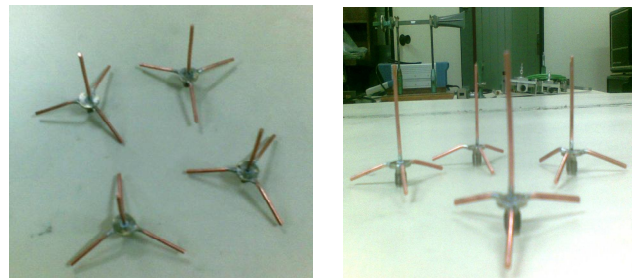


Fig. 4. Fotos das antenas monopolos construídas no LEMA- Laboratório de Eletromagnetismo e Microondas Aplicados- DEE/CEEI/UFCG.

Cada antena monopolo foi calibrada individualmente e verificados parâmetros de espalhamento (S11 e S21), razão de onda estacionária (SWR) e carta de Smith, de forma que estas puderam ser consideradas aproximadamente iguais. Foram medidos também os níveis de recepção e de transmissão (que

apresentaram valores praticamente iguais para cada monopolo, obedecendo assim o Teorema da Reciprocidade) para a distância entre a antena de recepção e o monopolo mais próximo desta no interior do automóvel (81 cm) e para a distância entre a antena de recepção e o monopolo mais distante desta no interior do automóvel (1,20 m).

A antena log-periódica, de acordo com a carta de calibração, apresenta para a frequência de 2.05 GHz, fator de antena de 28,8 dB (fator multiplicativo de 27,7) e uma impedância de $Z = (47 + j7,8) \Omega$.

Para os cálculos de campo elétrico e campo magnético provenientes de cada monopolo e densidade de potência de onda plana incidente são consideradas a perda ôhmica no cabo utilizado com a antena log-periódica (-2,54 dB) e a parte resistiva da impedância de entrada desta antena. Assim, temos [4]:

$$P_{ant} (W) = 10^{-3} \times 10^{[P_{anali} (dBm) - P_{cabo} (dB)]} \quad (2)$$

$$V_{antena} = \sqrt{R_{antena} \times P_{antena}} \quad (3)$$

$$E (V/m) = V_{antena} (V) \times AF (1/m) \quad (4)$$

$$H (A/m) = E/377 \quad (5)$$

$$S (W/m^2) = E^2/377 \quad (6)$$

Onde: P_{ant} = Potência da antena de recepção; P_{anali} = Potência do sinal medida com o analisador; P_{cabo} = Perda ôhmica no cabo de alimentação; V_{antena} = Tensão nos terminais da antena de recepção; $R_{antena} = 47\Omega$; E = Campo Elétrico incidente na antena de recepção e AF = Fator de antena da antena de recepção, H = Campo Magnético incidente e 377 é valor da impedância do espaço livre em Ohms.

D. Região de Campos Distantes

As medidas do presente trabalho foram realizadas na região de campos distantes das antenas determinada a partir das condições a seguir [1]:

$$\begin{aligned} r &> \frac{2D^2}{\lambda} \text{ quando } D > 2,5\lambda \\ r &> 1,6\lambda \text{ quando } D < \frac{1}{3}\lambda \\ r &> 5D \text{ quando } \frac{1}{3}\lambda < D < 2,5\lambda \end{aligned} \quad (7)$$

Em que: r = distância da antena ao campo distante [m]; D = máxima dimensão linear da antena [m]; λ = comprimento de onda na frequência de operação [m]. Substituindo $\lambda \approx 0.15$ (em 2.05 GHz) e $D = 0.048m$ chega-se a $r = 24$ cm.

E. Experimento no Interior do Automóvel

As antenas monopolo foram posicionadas no interior do automóvel- marca Fiat, modelo Uno Mille Fire Flex, ano

2006- de modo a simular a altura do aparelho celular em uso por um ser humano adulto. As antenas foram dispostas da seguinte forma: uma antena no banco de passageiro dianteiro e as outras três no banco traseiro de modo que estas ficaram com as seguintes distâncias para a antena de medição: 81 cm, 90 cm, 104 cm e 126 cm.

A antena de recepção (log periódica) foi colocada no exterior do automóvel, mas em visada direta com as fontes (antenas monopolo). O automóvel encontrava-se com as janelas das quatro portas abertas.

Para avaliação do ambiente eletromagnético, ou seja, da distribuição de campo no interior do automóvel proveniente das quatro antenas em operação ou não, foram realizadas 16 medidas de potência com o analisador de espectro, utilizando-se do princípio de contagem do sistema de numeração posicional binário (antena ativa, antena inativa). Para a alimentação das fontes (antenas monopolo) foi utilizado um gerador de sinais e um distribuidor.

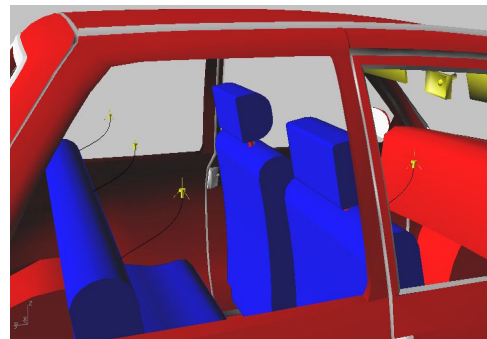


Fig. 5. Perspectiva do interior do automóvel Marca Fiat/ Modelo Uno Mille e posicionamento das antenas monopolo criadas no software computacional Rhinoceros.

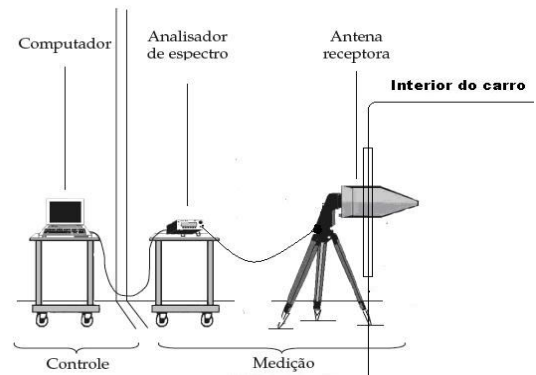


Fig. 6. Esquema da disposição da antena de recepção, log-periódica, e dos equipamentos para medição no exterior do automóvel

Para os cálculos de campo elétrico e densidade de potência de onda plana no experimento com o automóvel foram consideradas as equações (2), (3) (4) e (6).

III. RESULTADOS

As figuras 7 e 8 apresentam os parâmetros de espalhamento S11 e S21 medidos com o analisador de malhas para as antenas monopolo na frequência de operação de 2,05 GHz fabricadas em laboratório. É possível observar que as quatro antenas monopolo ressoam de forma satisfatória na frequência de 2,05 GHz através dos gráficos do S11 e também através das respostas do S21, que na mesma frequência, as antenas apresentam um nível satisfatório para a potência de transmissão. Os valores das impedâncias de entrada das antenas monopolo na frequência de 2,05 GHz medidos com o analisador de malhas encontram-se na tabela 2.

As tabelas 3 e 4 apresentam os níveis de recepção para as antenas monopolo na frequência de operação de 2,05 GHz, calculados nos terminais da antena de recepção e os níveis dos campos elétrico e magnético calculados provenientes de cada monopolo para duas distâncias destas a antena de recepção no interior do carro, 81cm e 1,20 m respectivamente. Os valores encontrados das grandezas eletromagnéticas em questão foram muito próximos para as quatro antenas.

A tabela 5 apresenta a numeração designada para as várias configurações de status das antenas no interior do automóvel durante as medições. A tabela 6 apresenta para cada caso de configuração das antenas, os valores medidos de potência com o analisador e os valores calculados de campo elétrico e densidade de potência de onda plana equivalente.

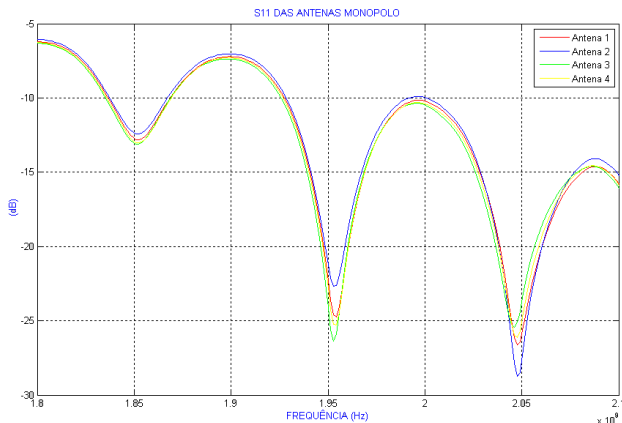


Fig 7. Respostas do Parâmetro de Espalhamento S11 das quatro antenas monopolo.

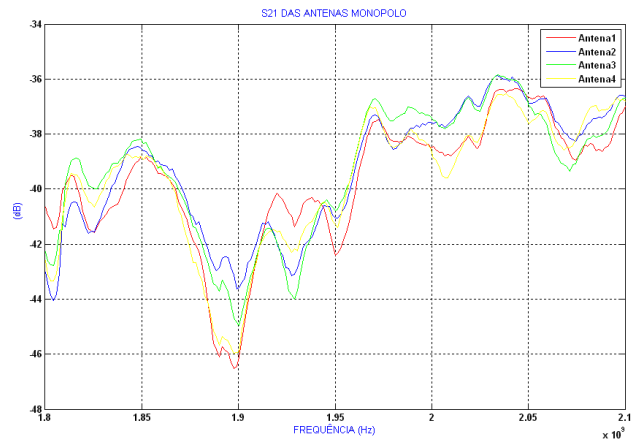


Fig 8. Respostas do Parâmetro de Espalhamento S21 das quatro antenas monopolo.

TABELA 2- VALORES DAS IMPEDÂNCIAS DE ENTRADA DOS MONOPOLOS NA FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO DE 2,05 GHz.

	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
Impedância de Entrada	50 Ω	50 Ω	50 Ω	50 Ω

TABELA 3- NÍVEIS DE POTÊNCIA E DE CAMPO ELÉTRICO E DE CAMPO MAGNÉTICO DOS MONOPOLOS OPERANDO EM 2.05 GHz A 81 CM DE DISTÂNCIA DA ANTENA DE MEDIÇÃO.

Antenas	Nível de recepção nos terminais da log-periódica P _{antena} (μW)	Campo elétrico proveniente de cada monopolo E (V/m)	Campo magnético proveniente de cada monopolo H (mA/m)
1	103,27	1,93	5,12
2	108,89	1,98	5,25
3	108,64	1,98	5,25
4	105,92	1,95	5,17

TABELA 4- NÍVEIS DE POTÊNCIA E DE CAMPO ELÉTRICO E DE CAMPO MAGNÉTICO DOS MONOPOLOS OPERANDO EM 2.05 GHz A 1,20 M DE DISTÂNCIA DA ANTENA DE MEDIÇÃO.

Antenas	Nível de recepção nos terminais da log-periódica. [P _{antena} (μW)	Campo elétrico proveniente de cada monopolo E (V/m)	Campo magnético proveniente de cada monopolo H (mA/m)
1	45,92	1,29	3,41
2	46,99	1,30	3,45
3	38,81	1,18	3,14
4	43,05	1,25	3,30

TABELA 5- NUMERAÇÃO DESIGNADA PARA AS VÁRIAS CONFIGURAÇÕES DE STATUS DAS ANTENAS NO INTERIOR DO AUTOMÓVEL

Configuração das antenas no interior do automóvel.	Status das antenas			
	Antena 1	Antena 2	Antena 3	Antena 4
1	Inativa	Inativa	Inativa	Inativa
2	Inativa	Inativa	Inativa	Ativa
3	Inativa	Inativa	Ativa	Inativa
4	Inativa	Inativa	Ativa	Ativa
5	Inativa	Ativa	Inativa	Inativa
6	Inativa	Ativa	Inativa	Ativa
7	Inativa	Ativa	Ativa	Inativa
8	Inativa	Ativa	Ativa	Ativa
9	Ativa	Inativa	Inativa	Inativa
10	Ativa	Inativa	Inativa	Ativa
11	Ativa	Inativa	Ativa	Inativa
12	Ativa	Inativa	Ativa	Ativa
13	Ativa	Ativa	Inativa	Inativa
14	Ativa	Ativa	Inativa	Ativa
15	Ativa	Ativa	Ativa	Inativa
16	Ativa	Ativa	Ativa	Ativa

TABELA 6- VALORES MEDIDOS DE POTÊNCIA COM O ANALISADOR E OS VALORES CALCULADOS DE CAMPO ELÉTRICO E DENSIDADE DE ONDA PLANA EQUIVALENTE.

Configuração das antenas	Potência de recepção da antena log-periódica. $P_{\text{antena}} (\mu\text{W})$	Campo elétrico resultante $E (\text{V/m})$	Densidade de potência de onda plana equivalente $S (\text{W/m}^2)$
1	0,047	0,041	0.0045
2	467,7	4,1	44.59
3	97,05	1,87	9.28
4	220,29	2,82	21.09
5	57,94	1,44	5.50
6	404,58	3,82	38.71
7	3,19	0,34	0.31
8	299,23	3,28	28.54
9	53,58	1,39	5.12
10	522,4	4,34	49.96
11	28,77	1,02	2.76
12	208,93	2,74	19.91
13	186,21	2,59	17.79
14	258,23	3,05	24.68
15	41,3	1,22	3.95
16	644,17	4,82	61.62

IV. CONCLUSÃO

Comparando os valores calculados dos campos elétrico e magnético incidentes no interior do automóvel com os limites de exposição estabelecidos pela ANATEL para a população em geral aos CEMRF na faixa de 2 GHz a 300 GHz, considerando os valores de campos não perturbados, ou seja, valores medidos na ausência de indivíduos expostos e sem a introdução de objetos absorvedores ou refletores de CEMRF durante o processo de medição [2], concluímos que os valores calculados não excedem os valores preconizados pelo regulamento. Contudo, é sabido que a exposição pública a telefones móveis pode ser reforçada pela reflexão de microondas em ambientes fechados [3], motivando assim a continuidade do estudo do efeito da reflexão nesses ambientes para a avaliação do risco à saúde da população.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Bansal., The far-field: how far is far enough?, Applied Microwave and Wireless, November, 1999.
- [2] Brasil, Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Anexo à Resolução 303, <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do#>
- [3] T. Hondou et al., *Passive Passive Exposure to Mobile Phones: Enhancement of Intensity by Reflection*, Journal of the Physical Society of Japan, vol. 75, n° 8, August 2006.
- [4] K. L. Kaiser, *Electromagnetic Compatibility Handbook*, CRC Press, USA.

