

# ESTUDO EXPERIMENTAL DA RELAÇÃO ENTRE A DIMENSÃO DO PLANO TERRA E O DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO DE ANTENAS PLANARES

Claudio R. Fernández, Antonio C. O. Pedra, Márcio B. Machado, Gléderson L. Santos e Alvaro. A. A. de Salles,

**Resumo** — O efeito da redução da dimensão do plano de terra e do substrato dielétrico em antenas planares é estudado experimentalmente em antenas de disco circular. Os resultados obtidos mostram para os protótipos estudados uma redução da relação frente-costas da antena com a diminuição do diâmetro do plano de terra.

**Palavras Chave** — Antena planar, *patch* circular, telefonia celular, dimensões do plano de terra.

**Abstract** — An experimental study of the ground plane and dielectric plane size reductions of circular disk patch antennas is presented. Antennas at 820 MHz were made on low loss dielectric substrates and the measured results show a decrease on the front-to back ratio when the ground plane size is reduced.

**Index Terms** — Planar antenna, circular *patch*, cellular phone, ground plane size.

## I. INTRODUÇÃO

As antenas atualmente em uso na telefonia celular são na sua maioria do tipo monopolo (ou *whip*). O diagrama de irradiação no plano horizontal destas antenas é simétrico, fazendo com que grande parte da energia seja irradiada em direção à cabeça do usuário. Esta energia, que é absorvida pelos tecidos biológicos, configurando uma situação de risco potencial à saúde, não é aproveitada para a comunicação.

Uma alternativa para reduzir esses riscos e melhorar a comunicação é o uso de antenas planares de diretividade moderada [1] e [2]. Estas antenas podem ser incorporadas ao corpo do transceptor, necessitando para isso ter pequenas dimensões. Neste sentido, diferentes técnicas para a redução conjunta da frequência de ressonância das antenas e das dimensões do elemento irradiante têm sido apresentadas. Foram propostos, entre outros, o uso de: substratos de elevada constante dielétrica [3]; *stubs* ou aberturas [4]; e de

pontos de curto-circuito entre o elemento irradiante e o plano de terra [5].

Para diminuir as dimensões totais da antena, é necessário, além da redução das dimensões do elemento irradiante, reduzir as dimensões do plano de terra e do substrato dielétrico. Esta limitação do plano de terra nem sempre é adequadamente considerada nas ferramentas de síntese e análise disponíveis para o projeto e simulação de antenas (modelo analítico de cavidades ressonantes e alguns *softwares* de simulação) [2] e [6], uma vez que nelas, por exemplo, se assume a hipótese simplificadora do plano de terra com dimensões infinitas. Num trabalho anterior [6], foram realizadas simulações numéricas, que levam em conta adequadamente a limitação do plano de terra, utilizando um código de diferenças finitas no domínio do tempo, FDTD. No referido trabalho as simulações foram comparadas com as medidas do diagrama de irradiação de uma antena com plano de terra de dimensões reduzidas, em duas situações: (a) com aterramento efetivo; e (b) permitindo ao plano de terra flutuar livremente (situação semelhante à verificada em um telefone celular, onde não há aterramento). Os resultados medidos neste último caso mantiveram uma grande concordância com as simulações FDTD.

No presente trabalho o problema da dimensão do plano de terra é abordado experimentalmente, apresentando os resultados medidos para os diagramas de irradiação no plano horizontal de um conjunto de antenas planares que diferem apenas nas dimensões dos planos de terra e substratos. Estas antenas, mesmo com planos de terra reduzidos, podem ser uma alternativa adequada para melhorar o desempenho de dispositivos de comunicação móveis e para reduzir os níveis de energia não ionizante absorvida pela cabeça dos usuários de telefonia celular, diminuindo os riscos à saúde dos mesmos.

## II. PROJETO E MEDIDAS DAS ANTENAS

As antenas escolhidas para teste são antenas de disco circular simples cujo projeto é bem documentado [8]-[12].

O substrato usado para a confecção das antenas foi uma amostra do tipo AR1000<sup>TM</sup> fabricado por ARLON MMD [13], com constante dielétrica  $\epsilon_r = 9,8 \pm 0,5$ , tangente de perdas  $tg\delta = 0,0035$  e altura do dielétrico  $h = 2,36 \pm 0,13$  mm.

A. A. A. de Salles, C. R. Fernández e A. C. O. Pedra atuam junto ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS 90035-190, Brasil (fone: ++55-51-3316-3517; fax: ++55-51-3316-3293; e-mail: [aasalles@vortex.ufrgs.br](mailto:aasalles@vortex.ufrgs.br), [fdez@iee.ufrgs.br](mailto:fdez@iee.ufrgs.br)).

M. B. Machado e G. L. Santos atuam junto ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Pelotas – Rio Grande do Sul (CEFET-RS), Pelotas, RS 96015-368, Brasil (fone: ++55-53-284-5045; e-mail: [marciobm@cefetrs.tche.br](mailto:marciobm@cefetrs.tche.br), [gled@ufpel.tche.br](mailto:gled@ufpel.tche.br)).

Para este substrato, projetou-se de acordo com [8] e [9] o raio do disco irradiante para uma frequência central de operação  $f_r = 820 \text{ MHz}$ , e o ponto de alimentação de impedância de entrada de  $50 \text{ ohms}$  no modo fundamental  $TM_{110}$ . O raio calculado foi  $a = 33,8 \text{ mm}$  e a distância desde o centro do disco até onde se localiza o ponto de  $50 \text{ ohms}$  foi  $r = 7,1 \text{ mm}$ , de acordo com [9]:

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right] \right\}^{1/2}}, \quad (1)$$

onde

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}, \quad (2)$$

sendo  $a$  o raio em  $cm$ ,  $h$  a altura do dielétrico em  $cm$  e  $f_r$  a frequência de ressonância em  $Hz$ .

Para a impedância de entrada, tem-se, de [9],

$$Z_{in} = \frac{1}{G_r} \frac{J_1^2 \left( \frac{1,841 \cdot r}{a} \right)}{J_1^2 \left( \frac{1,841 \cdot a_{eff}}{a} \right)}, \quad (3)$$

sendo o raio efetivo

$$a_{eff} = \frac{1,8412c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}}, \quad (4)$$

e  $G_r$  a condutância total.

Foram construídos, utilizando uma única placa de substrato dielétrico, três protótipos de antenas de disco com o mesmo diâmetro para o elemento irradiador, mas com diferentes diâmetros do plano de terra, conforme mostra a fotografia da Fig. 1. O diâmetro do plano de terra da antenna maior,  $D_1 = 20 \text{ cm}$ , corresponde a aproximadamente  $\frac{1}{2}\lambda$  (meio comprimento de onda), enquanto a menor apresenta um diâmetro do plano de terra próximo a  $\frac{1}{4}\lambda$ . A terceira antenna tem um diâmetro do plano de terra com valor intermediário. Utilizou-se:  $D_1 = 20 \text{ cm} = 0,55\lambda$ ;  $D_2 = 15 \text{ cm} = 0,4\lambda$ ; e  $D_3 = 10 \text{ cm} = 0,27\lambda$ , sendo que para todas estas antenas o diâmetro do elemento irradiante foi de  $6,76 \text{ cm}$ . Para garantir a precisão das dimensões e dos perfis circulares, as antenas foram realizadas em torno de precisão. Todas as antenas foram alimentadas por conectores coaxiais tipo SMA, a uma distância  $r = 7,1 \text{ mm}$  do centro, onde  $Z_{in} = 50 \Omega$  de acordo com a eq. (3).

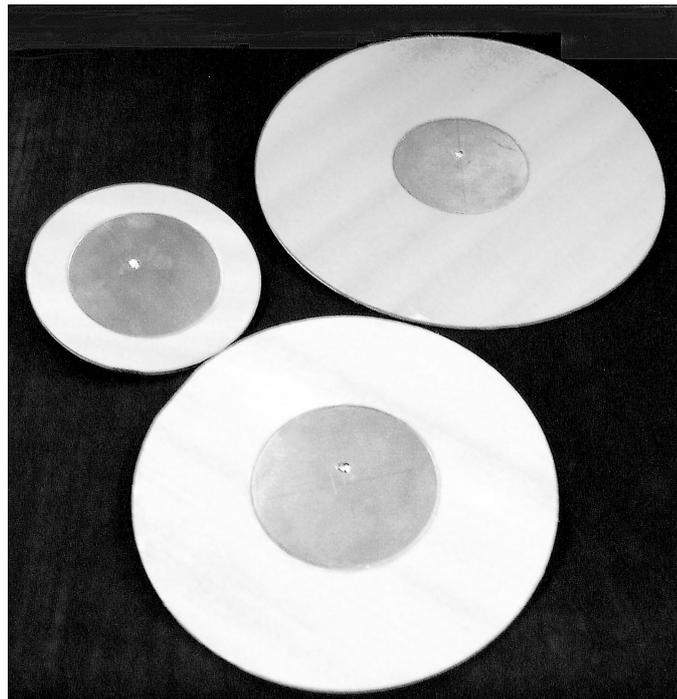


Fig. 1. Três protótipos de antenna de disco planar, diferindo apenas no diâmetro do plano terra (todas possuem elemento irradiante de igual diâmetro).

Antes de realizar as medidas do diagrama de irradiação das antenas verificou-se a adaptação de impedância das mesmas. Para isto mediu-se a taxa de onda estacionária (SWR) das antenas utilizando um analisador escalar ANRITSU MS251B. As Fig.2 e Fig. 3 mostram as medidas para as antenas com diâmetro do plano de terra de  $20 \text{ cm}$  e  $10 \text{ cm}$ .

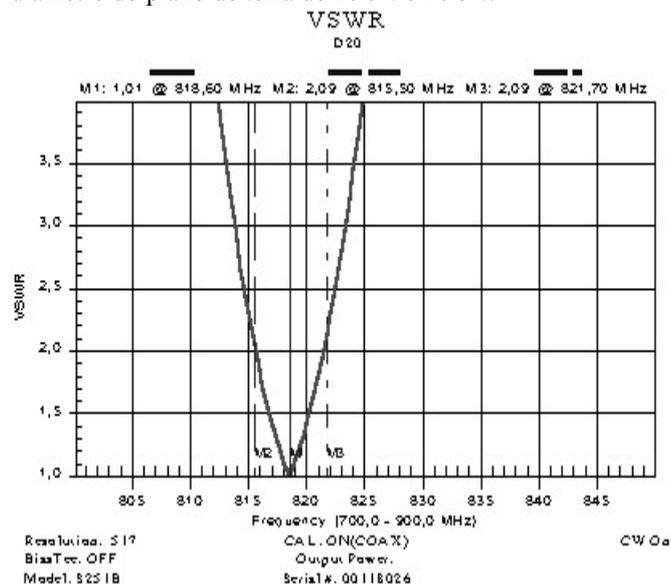


Fig.2. SWR medido para a antenna de disco com plano de terra de  $20 \text{ cm}$  de diâmetro.

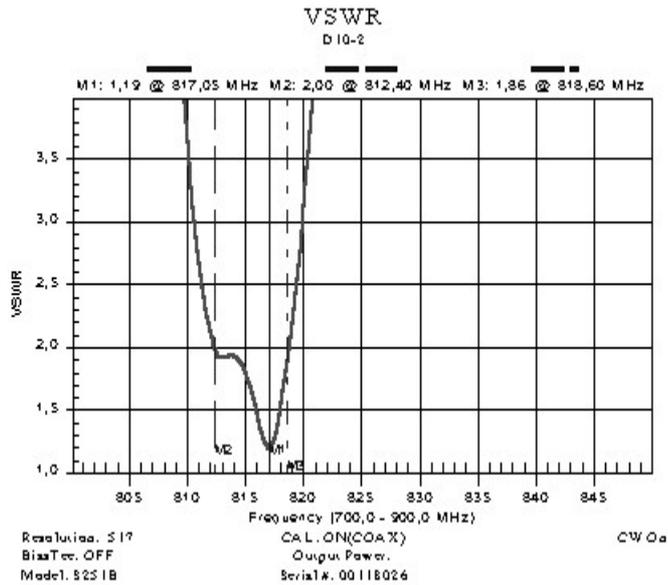


Fig.3. SWR medido para a antena de disco com plano de terra de 10 cm de diâmetro.

Verificou-se que a frequência de ressonância, projetada inicialmente para 820 MHz a partir do modelo de cavidades e com plano de terra infinito [8] e [9], diminuiu para 818,60 MHz na antena com plano de terra de 20 cm de diâmetro. Referente à antena com plano de terra de 10 cm de diâmetro, constatou-se a ressonância em 817,05 MHz. Esta observação está de acordo com as medidas de [3]. Embora este desvio na frequência de ressonância das antenas seja significativo em relação à pequena largura de banda das mesmas, a frequência desejada pode ser conseguida com ajustes de projeto. A Fig. 4 mostra a medida de SWR para uma segunda antena de disco com plano de terra de 10 cm de diâmetro, ajustada nas dimensões do raio para se obter a frequência de ressonância desejada (820 MHz).

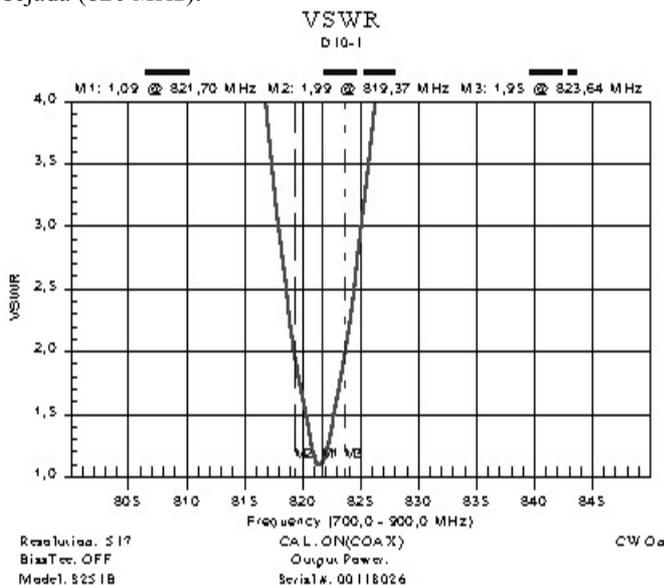


Fig.4. SWR medido para uma antena de disco com plano terra de 10 cm de diâmetro, ajustada para ter sua frequência de ressonância aumentada de 817 MHz para 820 MHz.

De acordo com [8] e [9], uma vez que foi utilizado um substrato com elevada permissividade ( $\epsilon_r = 9,8$ ) essas antenas apresentam um elevado fator de qualidade total  $Q_t$ , então a largura de banda (BW) é reduzida. Estas referências mostram que a largura de banda normalizada

$$\frac{\Delta f}{f_o} = \frac{1}{Q_t}, \tag{5}$$

e, numa análise de escala [9] pode se mostrar que

$$BW \propto \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}, \tag{6}$$

Essa largura de banda, também diminuiu com a redução do diâmetro do plano de terra, conforme pode se observar das Fig. 2 e Fig. 4. Esta observação está de acordo com as medidas apresentadas em [3]. Para a antena de  $D_1 = 20$  cm foi medida uma largura de banda de 6,2 MHz com a  $SWR < 2$  (Fig.2). Para a antena de  $D_3 = 10$  cm,  $BW = 4,3$  MHz (Fig.4), também com a  $SWR < 2$ .

Os diagramas de irradiação no plano horizontal das três antenas foram medidos com as antenas ligadas a um analisador de espectro ANRITSU MS2711 como receptor, tendo como transmissor um gerador de sinais HP 8656. Esses diagramas de irradiação estão mostrados na Fig.5.

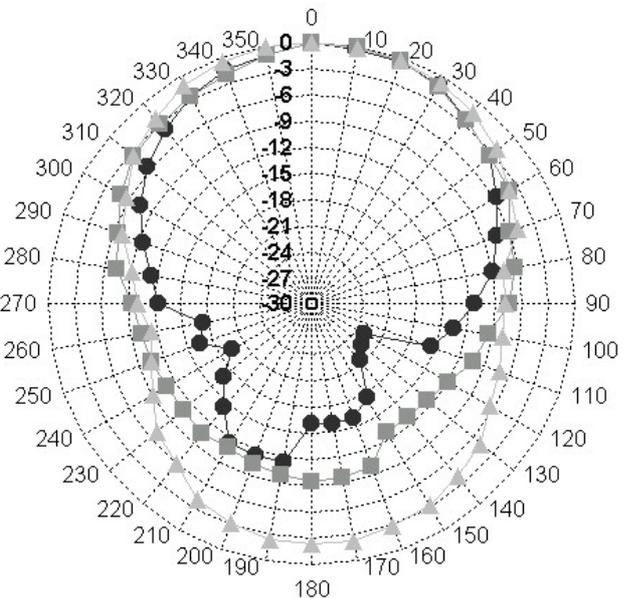


Fig.5 Diagramas de irradiação no plano horizontal medidos para os três protótipos, com plano terra de diâmetro 20 cm [●], 15 cm [■] e 10 cm [▲].

Durante as medidas dos diagramas de irradiação observou-se que o ganho da antena aumenta com o aumento do plano de terra, sendo que a antena com plano de terra de 20 cm de diâmetro teve um ganho 3 dB acima daquele da antena com plano de terra de 10 cm de diâmetro. Estes valores guardam

concordância com o modelo apresentado em [7]. Parte dos resultados mostrados nas Fig.2 a Fig. 5 são resumidos nas Tabelas I e II. As potências recebidas se referem a um enlace de 4 m de distância e uma potência transmitida de 13 dBm e foram comparados com o valor recebido por um monopolo padrão de 18 cm de comprimento que forneceu, nas mesmas condições -36 dBm. Observa-se então que essas antenas apresentam moderada eficiência.

TABELA I  
CARACTERÍSTICAS MEDIDAS DAS ANTENAS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO PLANO DE TERRA (1)

Diâmetro do plano terra	Potência recebida	SWR	Impedância
0,55 λ	-30 dBm	1,01	50,29 -j4,86
0,40 λ	-33 dBm	1,46	33,23 +j13,41
0,27 λ	-33 dBm	1,19	48,94 +j0,91

Note-se que o valor da potência recebida para a antena com plano de terra de 0,40λ (15 cm) de diâmetro foi menor que o valor esperado, devido à maior SWR dessa antena, decorrente possivelmente de imprecisão no posicionamento do conector de alimentação.

Os valores de impedância de entrada mostrados na Tabela I foram medidos com os analisadores vetoriais HP 8753E e HP 8712ET.

TABELA II  
CARACTERÍSTICAS MEDIDAS DAS ANTENAS EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DO PLANO DE TERRA (2)

Diâmetro do plano de terra	f <sub>c</sub> (MHz)	BW (MHz)	Relação Frente-Costas
0,55 λ	818,6	6,2	15 dB
0,40 λ	852,7	5,8	10 dB
0,27 λ	817,1	4,3	3 dB

O desvio observado na frequência de ressonância quando o diâmetro do plano de terra é 0,40λ não pode ser facilmente explicado pela teoria [7]-[9], nem por imprecisões na realização ou por erros de medidas. Este desvio merece um estudo mais detalhado. Por exemplo, poderia ser atribuído a efeito de ondas de superfície [12].

Os valores de largura de banda mostrados na Tabela II correspondem a um critério de SWR < 2. Embora estes valores de BW sejam pequenos, podem ser suficientes para algumas aplicações ou para sistemas com um grande range dinâmico (por exemplo, em sistemas de telefonia celular), onde outros critérios possam ser aplicados para determinar a largura de banda. Na Fig. 6 são mostrados os parâmetros de transmissão medidos com analisador vetorial, para um enlace onde se utilizaram antenas de disco com plano de terra de 10 cm de diâmetro na transmissão e na recepção.

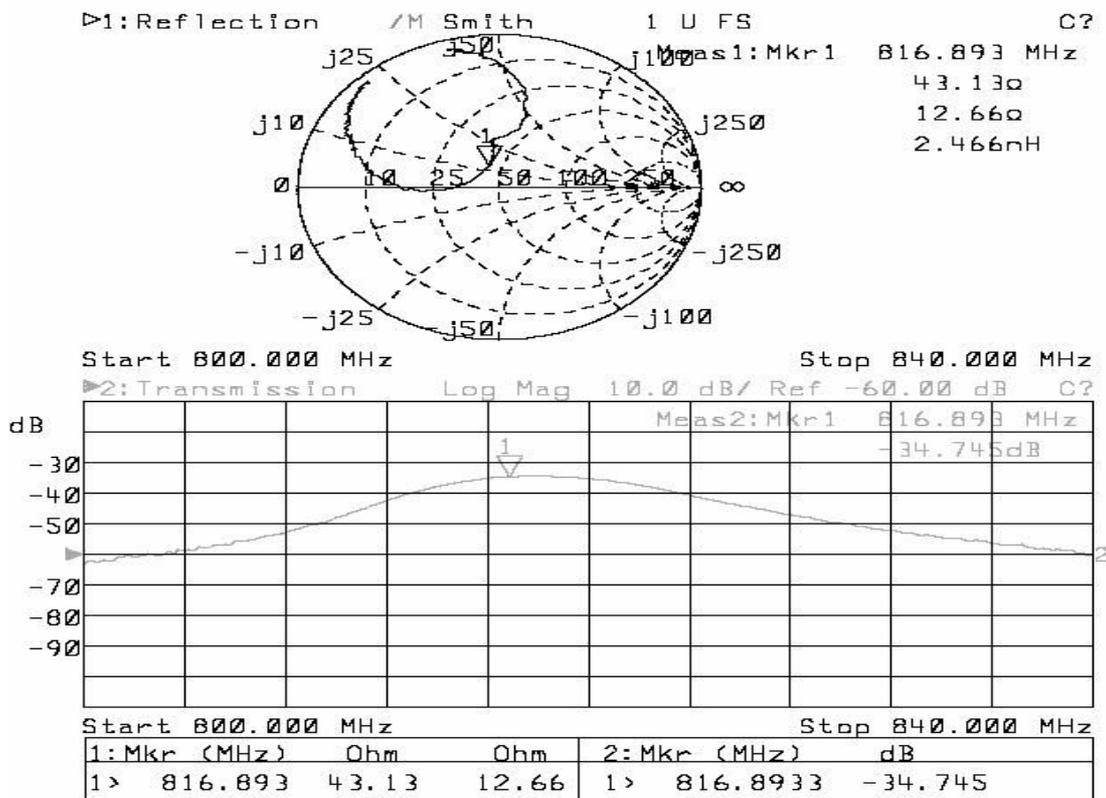


Fig.6. Diagrama de transmissão para um enlace com duas antenas de disco circular com plano de terra de 10 cm de diâmetro.

Da Fig.6. observa-se que se um *range* dinâmico de 30 dB for tolerado a largura de banda, obtida com esse critério, seria de 36 MHz.

## I. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os resultados apresentados indicam uma tendência de degradação da relação frente-costas com a diminuição do diâmetro do plano de terra. Este resultado deve ser esperado, pois, num dos casos extremos, quando o plano de terra tem dimensões infinitas não pode haver campo irradiado na direção por ele isolada (para trás) e, portanto a relação frente-costas deve aumentar significativamente, tendendo ao infinito, com o aumento do plano de terra. No outro caso extremo, quando o plano de terra tem dimensões semelhantes ao elemento irradiante, podem se observar as semelhanças desta configuração com uma antena dipolo, de diagrama de irradiação simétrico no plano perpendicular ao dipolo. Poder-se-ia dizer que a diminuição do plano de terra provoca a “dipolização” da antena planar o que pode ser uma característica desejada em aplicações onde se procure uma cobertura mais próxima da omnidirecional, e, inversamente, limita as vantagens do seu uso em aplicações que necessitem maior diretividade.

Do exposto observa-se que essas antenas apresentam moderada eficiência de irradiação. Suas dimensões podem ser reduzidas por diferentes alternativas, de acordo com [3]-[5]. Também, através de projetos adequados [8], as larguras de banda podem ser aumentadas, para atender diferentes especificações.

Um estudo semelhante a este está sendo desenvolvido, visando comparar as características de outras antenas planares (p.ex., tipo *patch* retangular e triangular) com a variação das dimensões do plano de terra.

Finalmente, entre outros, foram medidas antenas planares com dimensões reduzidas e moderada eficiência, que apresentam uma relação frente-costas maior que 10 dB. Estes resultados podem promover uma melhoria na qualidade da comunicação, uma redução no consumo da bateria e uma significativa redução da potência absorvida na cabeça dos usuários, caso estas antenas venham a ser utilizadas em telefones móveis, com a conseqüente redução dos riscos à saúde.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos funcionários, alunos e professores da UFRGS e do CEFET-RS que colaboraram na elaboração das antenas e nas suas medidas. Também às empresas TSM (de Santa Maria, RS) e ALR (de Porto Alegre, RS) pela colaboração em algumas medidas.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. A. Jensen and Y. Rahmat-Samii, “EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications”, *Proc. of the IEEE*, vol. 83, nº 1, pp. 7-17, January 1995.

- [2] A. A. de Salles, C. R. Fernández e M. Bonadiman, “Far Field, Near Field and SAR Simulation for Cell Phones Operating Close to the Head” *IEEE – COMSOC International Telecommunications Symposium (ITS2002)*, Natal – RN, September 2002.
- [3] A. Hoorfar and A. Perrotta, “An Experimental Study of Microstrip Antennas on Very High Permittivity Ceramic Substrates and Very Small Ground Planes”, *Trans. Antennas & Propagat.*, vol. 49, nº 4, pp. 838-840, April 2001.
- [4] W. S. Chen, C. K. Wu and K. L. Wong, “Novel Compact Circularly Polarized Square Microstrip Antenna”, *Trans. Antennas & Propagat.*, vol. 49, nº 3, pp. 340-342, March 2001.
- [5] J. T. Rowley and R. B. Waterhouse, “Performance of Shorted Microstrip Patch Antennas for Mobile Communications Handsets at 1800 MHz”, *IEEE Trans. Antennas & Propagat.*, vol. 47, nº 5, pp. 815-822, May 1999.
- [6] A. A. de Salles, C. R. Fernández, M. Bonadiman, J. A. Lisboa, P. I. Serafini e L. N. de Souza, “Simulações FDTD e Medidas de Antenas Planares para Comunicações Pessoais” *SBMag V Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo (CBMag2002)*, Gramado – RS, Novembro 2002.
- [7] A. K. Bhattacharyya, “Effects of Finite Ground Plane on the Radiation Characteristics of a Circular Patch Antenna”, *IEEE Trans. Antennas & Propagat.*, vol. 38, nº 2, pp. 152-159, February 1990.
- [8] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House 2001, ISBN 0-89006-513-6.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley & Sons, 1997, ISBN 0-471-59268-4, ch.14.
- [10] P. Bhartia, K. V. S. Rao and R. S. Tomar, *Millimeter-Wave Microstrip and Printed Circuit Antennas*. Artech House 1991, ISBN 0-89006-333-8
- [11] J. R. James, P. S. Hall and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*. Peter Peregrinus 1981, ISBN 0-906048-57-5
- [12] S. de Assis Fonseca, A. J. Giarola, “Surface Wave Excitation of Microstrip Disk Antennas”, *Antennas and Propagat. Soc. Int. Symp. 1984*, vol. 22, pp. 426-429, June 1984.
- [13] Materials for Electronics Division, Arlon™: Microwave Products – AR1000™ Data Sheet. Available from World Wide Web: <<http://www.arlon-med.com/micro.html>>.