

Monopolo Impresso para GSM/GPRS

D.C. Nascimento, D.C.M. Maciel, Ricardo Schildberg, J.C. da S. Lacava e Lucio Cividanes

Resumo—Neste trabalho é reportado o desenvolvimento de um monopolo impresso faixa-larga para operar como antena de terminal móvel embarcado do sistema GSM/GPRS. Resultados experimentais estão em boa concordância com simulações realizadas com o programa HFSS.

Palavras-Chave—Antena impressa, monopolo faixa-larga, GPRS.

Abstract—This work reports the development of a broadband printed monopole for GPRS applications. Experiments are in good agreement with simulations using the HFSS package.

Index Terms—Printed antenna, broadband monopole, GPRS.

I. INTRODUÇÃO

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é um serviço de transferência de pacotes disponível no sistema GSM (*Global System for Mobile Communications*) de telefonia celular [1]. Essa tecnologia proporciona maiores taxas de transferência de dados, atingindo até 170 *kbps*, contra os 14,4 *kbps* disponíveis nas redes GSM convencionais com tecnologia de comutação de circuitos. Com esse serviço é possível realizar acessos do tipo ponto a ponto (PTP) ou de ponto a multiponto (PTM), suportando aplicações baseadas no protocolo IP [2]. Para realizar tal tarefa, o GSM, do ponto de vista do usuário, transmite na faixa de 1.710 a 1.785 *MHz* e recebe na faixa de 1.805 a 1.885 *MHz*. Uma vez que o GPRS está incorporado a um sistema que utiliza a mesma cobertura da telefonia celular, as antenas localizadas em estações móveis devem ter cobertura omnidirecional. Na atualidade, diversas estruturas irradiantes produzem diagramas de irradiação omnidirecionais. As mais conhecidas e utilizadas são o dipolo e o monopolo [3].

Para a aplicação em consideração, a antena que melhor se adapta é a do tipo monopolo, pois este deverá operar sobre a cobertura metálica de um veículo, que poderá ter de 1,5×2,5 *m*² até 2,5×4,5 *m*² de superfície, sendo esta o plano de terra da antena [4]. Monopolos impressos são fortes candidatas a irradiadores do sistema em consideração, pois, ao contrário dos construídos com as clássicas estruturas cilíndricas, estes permitem um maior grau de liberdade ao projetista, possibilitando o desenvolvimento de geometrias mais complexas, porém de simples implementação [5].

Neste trabalho é realizada a análise de um monopolo impresso alimentado por um conector SMA, com a finalidade de desenvolver uma antena faixa-larga para operar em terminais móveis embarcados e prover acesso ao GPRS.

D.C. Nascimento, D.C.M. Maciel, R. Schildberg e J.C.S. Lacava, Laboratório de Antenas e Propagação - LAP, ITA, São José dos Campos, SP, E-mails: danielcnascimento@gmail.com, denismangia@gmail.com, {schild, lacava}@ita.br, L. Cividanes, Divisão de Eletrônica Aeroespacial, INPE, São José dos Campos, SP, E-mail: lucio@dea.inpe.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FINEP, projetos RHODES e CAPTAER.

Inicialmente é estabelecida a geometria do elemento irradiador, tendo em vista a aplicação desejada. Em seguida é feito um estudo da faixa de passagem de impedância dessa estrutura, seguido do projeto e construção de um protótipo. Medidas realizadas são comparadas com resultados de simulações efetuadas com o programa HFSS.

Finalizando o trabalho, efeitos sobre as principais características do monopolo construído, provocados por variações nas dimensões do plano de terra, são analisados

II. MONOPOLOS IMPRESSOS

Como mencionado no item anterior, monopolos impressos foram escolhidos, no âmbito deste trabalho, como terminais móveis embarcados para o serviço GPRS. Este tipo de antena utiliza como sustentação uma fina camada dielétrica, que tem pouca influência sobre suas características elétricas, diferentemente de antenas de microfita, onde o substrato do elemento irradiador tem grande influência sobre estes parâmetros [6].

Na Fig. 1 é mostrada a topologia simples de um monopolo impresso padrão, na configuração em que este é alimentado diretamente por um conector SMA. A grande desvantagem dessa antena é a sua estreita faixa de passagem de impedância.

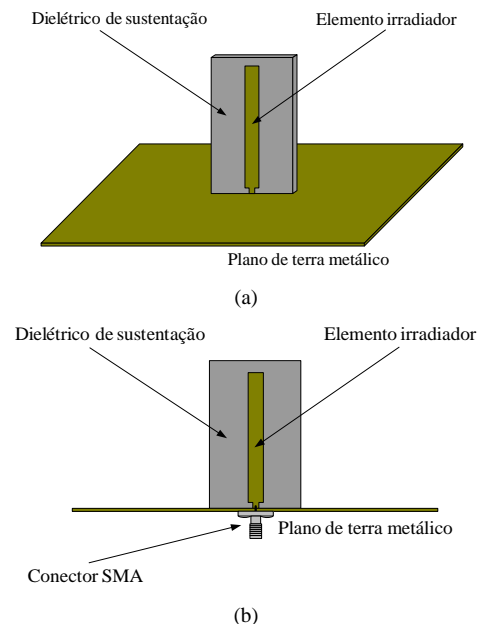


Fig. 1. (a) Vista superior e (b) vista lateral da geometria de um monopolo impresso alimentado por um conector SMA.

Como a faixa de passagem exigida para o GPRS é de 1,710 a 1,885 *GHz* (cerca de 9,7%), o monopolo impresso, para cumprir esta especificação, tem que ser faixa-larga. Assim sendo, admitindo que o monopolo está alimentado diretamente por um conector SMA com 50 Ω de impedância característica, a impedância de entrada do monopolo deve se manter próxima a esta,

de modo que seu coeficiente de onda estacionária VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) seja menor do que 1,5 ao longo de toda faixa acima especificada.

Geometrias para monopolos faixa-larga podem ser encontradas em [7-9]. Destas, optou-se por utilizar a que possui um elemento parasita retangular [9], tal como ilustrado na Fig. 2. Uma vez que o parasita está fortemente acoplado ao monopolo, na realidade, este último atua como uma microfita que o alimenta. O parasita, por sua vez, irradia a energia que a ele é acoplada pela microfita. O desempenho elétrico desta geometria é semelhante ao do monopolo retangular reportado em [8].

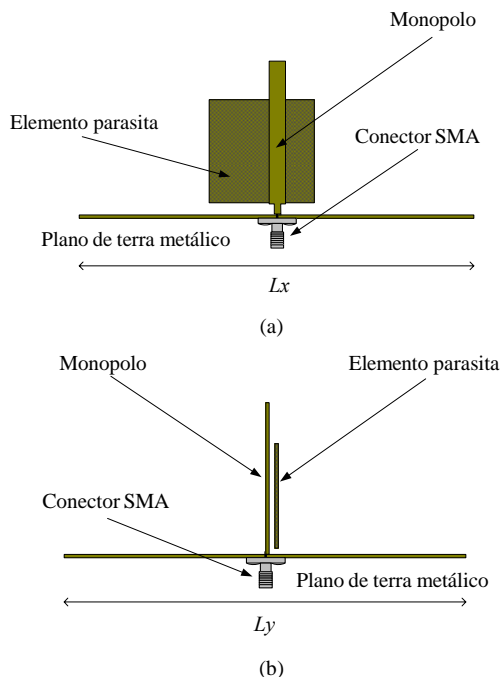


Fig. 2. (a) Vista frontal e (b) vista lateral da geometria do monopolo faixa-larga.

No trabalho original [9], o monopolo e seu parasita são confeccionados com placas de cobre de 0,2 mm de espessura e encontram-se posicionados sobre um plano de terra de 320×300 mm², tendo o ar como dielétrico. Com essa estrutura foi possível a obtenção de uma faixa de passagem de impedância de 1:8, com o diagrama de irradiação semelhante aos apresentados em [7-8]. A escolha da geometria mostrada na Fig. 2, ao invés das reportadas em [7-8], se deve ao fato desta possibilitar maior flexibilidade de projeto, principalmente quando do ajuste do diagrama de irradiação e de sua impedância de entrada.

Nesse trabalho é considerada a estrutura ilustrada na Fig. 3, na qual uma camada dielétrica sustenta tanto o parasita como o monopolo. É utilizado o substrato *CuClad 250 GX* da *Arlon* com permissividade relativa $\epsilon_r = 2,55$ e tangente de perdas igual a 0,0022. A utilização de um substrato de baixas perdas, neste caso, é necessária devido ao forte acoplamento entre o parasita e o monopolo. Um substrato com altas perdas, como o FR4, resultaria em uma baixa eficiência de irradiação.

Inicialmente uma análise da estrutura em consideração é realizada com o objetivo de estabelecer as bases do projeto do monopolo faixa-larga. Como ponto de partida dessa análise são utilizadas as dimensões propostas em [9], com apenas duas modificações: no tamanho do plano de terra, redefinido para

100×100 mm², e na distância entre os elementos verticais, agora controlada pela espessura do dielétrico de sustentação, da ordem de 0,762 mm. Esta espessura, que corresponde a do laminado mais fino disponível no LAP (Laboratório de Antenas e Propagação do ITA), foi empregada objetivando verificar se com esta já seria possível estabelecer a faixa de passagem desejada.

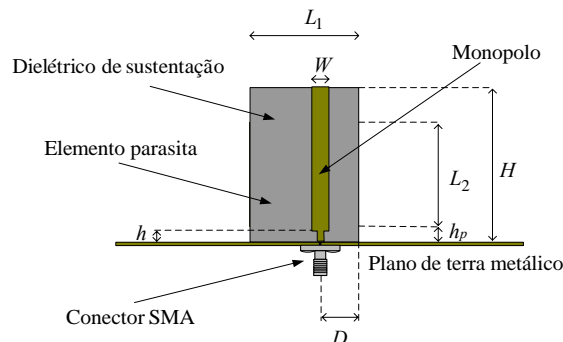


Fig. 3. Geometria para o monopolo faixa-larga sustentado por um dielétrico.

Definidas as dimensões iniciais de análise e as características do dielétrico de sustentação, a impedância de entrada do monopolo foi então avaliada com auxílio do programa HFSS. Em todas as simulações realizadas utilizou-se uma frequência de discretização de 4,5 GHz e 7 passos de convergência, limitando assim as análises realizadas à frequência de 4 GHz. Esta escolha está relacionada com as dimensões da estrutura em questão frente à atual capacidade computacional do LAP.

Na Fig. 4 são apresentadas curvas simuladas para o VSWR em função da frequência, para diferentes alturas H_m , dada pela equação (1), buscando avaliar o efeito deste parâmetro na faixa de passagem do monopolo em questão.

$$H_m = H - h \quad (1)$$

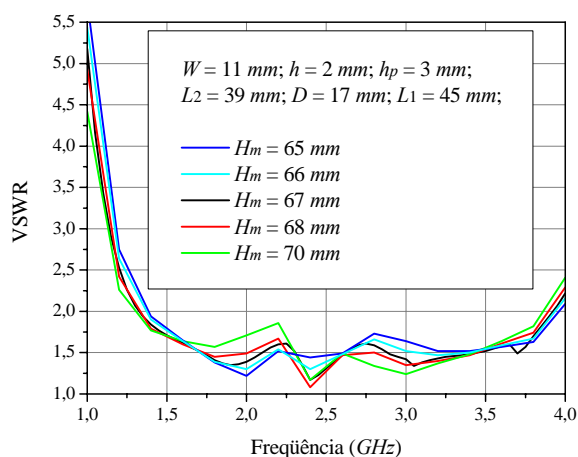


Fig. 4. Curvas do coeficiente de onda estacionária em função da frequência, para diferentes tamanhos do monopolo.

Das curvas apresentadas na Fig. 4 nota-se que a altura do monopolo pouco influencia na sua faixa de passagem, que é de aproximadamente 2,55 GHz, se valores para VSWR menores que 2 forem considerados. Entretanto, verifica-se uma tendência de melhora no casamento da impedância de entrada do monopolo, com a do conector SMA que o alimenta, ao se diminuir a altura H_m .

Buscando por outra dimensão do monopolo que auxilie no aumento de sua faixa de passagem, novas simulações foram realizadas. Na Fig. 5 é apresentado o gráfico do VSWR em função da frequência, para diferentes larguras L_1 do parasita, no caso em que $D = 16\text{ mm}$.

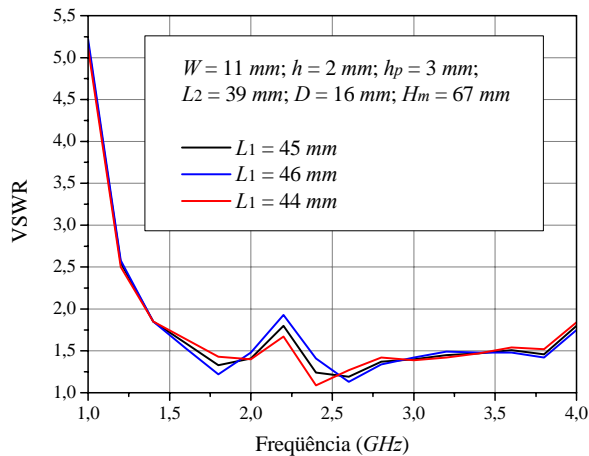


Fig. 5. Curvas do coeficiente de onda estacionária em função da frequência para diferentes larguras L_1 do elemento parasita.

Destas curvas é possível notar dois resultados importantes. Com a diminuição da posição D foi possível aumentar a faixa de passagem do monopolo, fazendo com que este opere acima de 4 GHz . Por outro lado, o aumento da largura L_1 resultou em um melhor casamento na faixa do GPRS.

III. PROJETO DO MONOPOLO PARA GPRS

Comprovada a possibilidade de se obter um monopolo impresso com $VSWR \leq 1,5$, na faixa de operação do GPRS, o passo seguinte foi a escolha do plano de terra a ser utilizado no protótipo. Por questão de custo e material disponível no LAP, optou-se por empregar um laminado de FR4, com cobre nos dois lados, como plano de terra, ao invés da chapa metálica padrão. Como a alimentação do monopolo será realizada por um conector SMA, seu condutor central deverá atravessar o referido laminado. Assim, para se precaver da possibilidade de excitação de ondas confinadas entre os condutores de cobre do laminado, pinos de curto-circuito foram introduzidos nos quatro furos de fixação do conector. Estes pinos podem ser vistos no detalhe do conector SMA, em cor vermelha, no ambiente do HFSS, como ilustrado na Fig. 6.

Na Fig. 7 são apresentados resultados simulados para o coeficiente de onda estacionária em função da frequência e diversas larguras W do monopolo, com o novo plano de terra e seus pinos de curto-circuito. Nestas simulações foram utilizadas dimensões para D e L_1 maiores que as anteriores, de forma a diminuir a variação brusca do VSWR próximo a 2 GHz e manter seus valores dentro da especificação de projeto. Com relação aos planos de terra, não foram notadas diferenças na impedância de entrada para os diferentes tipos, tão pouco para pequenas variações na largura do monopolo.

Após estas análises, o protótipo foi dimensionado de modo a satisfazer as especificações com relação à impedância de entrada e diagramas de irradiação.

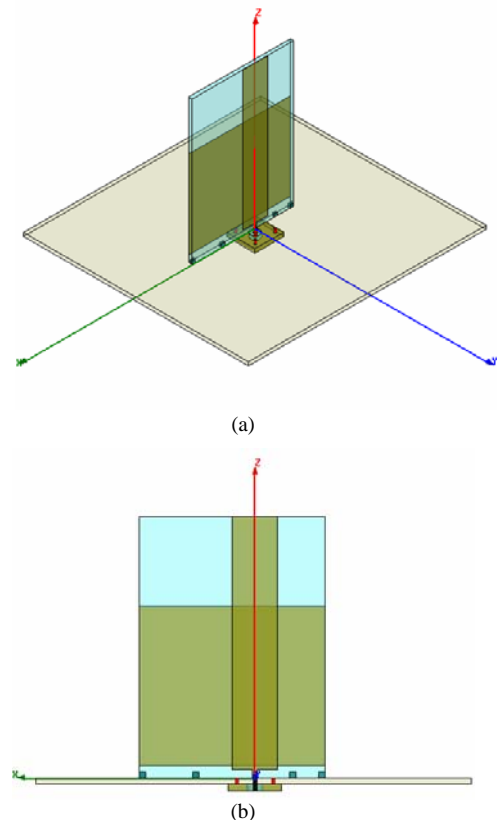


Fig. 6. (a) Vista superior e (b) vista lateral da geometria do monopolo com um laminado de FR4 no plano de terra no ambiente HFSS.

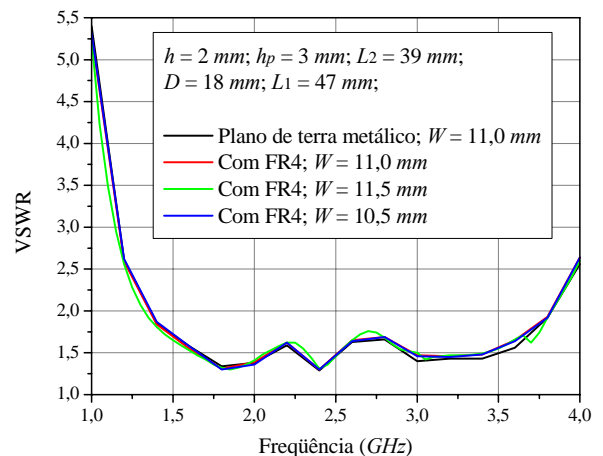


Fig. 7. Curvas do coeficiente de onda estacionária em função da frequência para diferentes tipos de plano de terra e larguras do monopolo.

Para aumentar a resistência mecânica da estrutura, que deverá operar em terminais móveis embarcados, é utilizado um dielétrico com $1,524\text{ mm}$ de espessura, como sustentação do monopolo e do parasita, ambos montados sobre um plano de terra com $210 \times 200\text{ mm}^2$, buscando obter tanto o diagrama de irradiação como a impedância de entrada mais próximos dos obtidos para monopolos posicionados sobre planos de terra com maiores dimensões.

Com as novas orientações para o plano de terra e dielétrico de sustentação, simulações e otimizações foram realizadas no HFSS, resultando nas dimensões mostradas na Tabela I.

TABELA I
DIMENSÕES DO MONOPOLO PARA GPRS

Dimensões do plano de terra e posição do SMA.		Dimensões do monopolo.		Dimensões do elemento parasita.	
L_x	210 mm	W	11,0 mm	L_1	45,0 mm
L_y	200 mm	H	64,0 mm	L_2	39,0 mm
D	17,0 mm	h	2,0 mm	h_p	3,0 mm

IV. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com as dimensões apresentadas na Tabela I foi confeccionado no LAP, com auxílio do prototipador *T-Tech PCB*, modelo *AMC 2500*, um protótipo do monopolo para GPRS. A medida do coeficiente de onda estacionária foi realizada com o analisador de redes vetorial da *Agilent Technologies N5230A*, e encontra-se mostrada na Fig. 8, juntamente com o resultado simulado no HFSS. Dessa figura nota-se que o monopolo construído possui uma impedância de entrada que cumpre as especificações de projeto. Da curva teórica observa-se que o monopolo tem uma faixa para $VSWR \leq 1,5$ de 1,15 a 2,1 GHz, enquanto que a experimental é de 1,19 a 2,02 GHz. Esses resultados comprovam a grande capacidade de análise do programa utilizado.

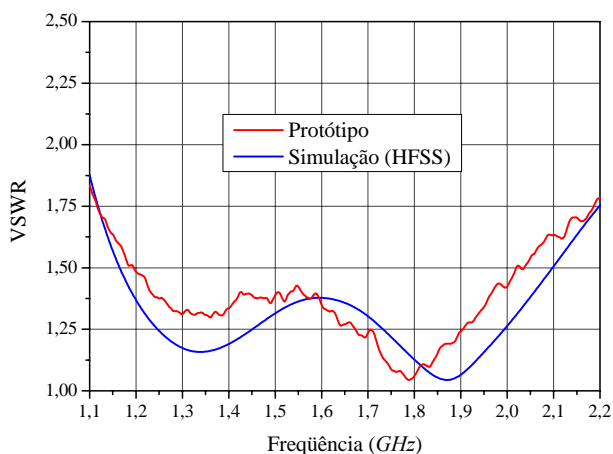


Fig. 8. Curvas teórica e experimental do coeficiente de onda estacionária do monopolo construído.

Com a impedância de entrada validada, resta analisar os diagramas de irradiação da estrutura na faixa de operação do GPRS. Foram executadas medidas na câmara anecóica do IFI/CTA, nos planos xz , yz , e xy , para as componentes θ e ϕ do campo elétrico irradiado, sendo os diagramas estáveis em toda a faixa operacional. Por questões de espaço, na Fig. 9 são mostrados somente os resultados medidos e simulados para os diagramas de irradiação, no plano xy , das componentes θ e ϕ do campo elétrico irradiado, na frequência de 1,75 GHz. Nota-se uma concordância muito boa entre os diagramas simulados e os medidos.

Como esperado, o monopolo possui um diagrama de

irradiação omnidirecional para a polarização principal (componente θ) no plano xy . Entretanto, a polarização cruzada (componente ϕ), no mesmo plano, é elevada, da ordem de -5 dB no ponto de máximo.

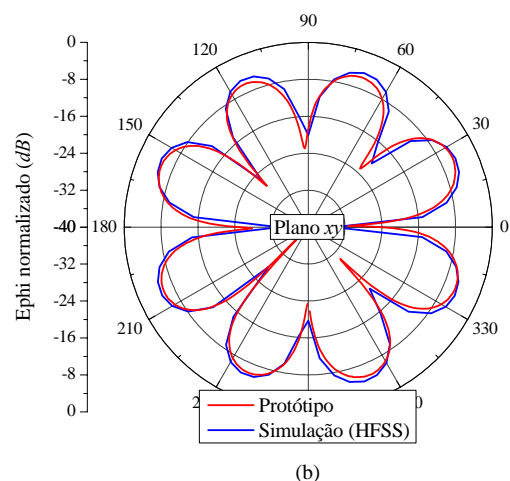
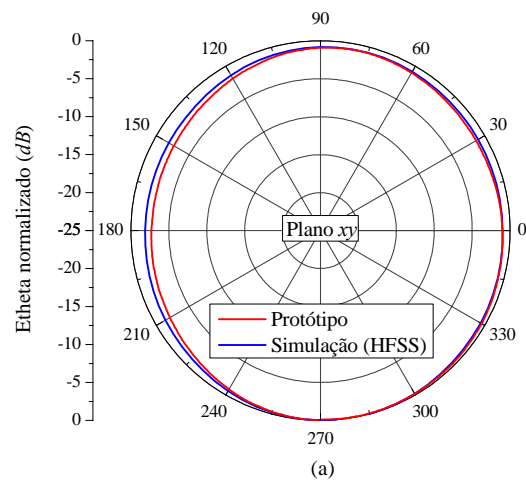


Fig. 9. Diagramas de irradiação no plano xy para a frequência de 1,75 GHz: (a) componente θ e (b) componente ϕ do campo elétrico irradiado.

V. SIMULAÇÕES ADICIONAIS

O protótipo construído tem um plano de terra com $210 \times 200 \text{ mm}^2$. Entretanto, como esta antena poderá operar sobre um plano de terra com dimensões maiores que estas, simulações adicionais foram realizadas com um plano de terra quadrado com $1.500 \times 1.500 \text{ mm}^2$. Devido às elevadas dimensões deste plano, estas simulações foram efetuadas em um computador com 12 GB de memória RAM e dois processadores AMD *Opteron* de 64 bits com *clock* de 2,2 GHz. Essa análise foi feita no HFSS com uma frequência de discretização de 2 GHz e 4 passos de convergência, empregando aproximadamente 11 GB de memória RAM e outros 11 GB de *swap* em disco rígido. Foram necessárias quase 20 horas para o cálculo de apenas 5 frequências da faixa de operação do GPRS. Na Fig. 10 é apresentado o resultado para o coeficiente de onda estacionária, de onde se pode concluir que a antena manteve o desempenho próximo ao obtido com planos de terra menores.

Na Fig. 11 é apresentado o diagrama de irradiação no plano xy do monopolo. São apresentadas somente as curvas geradas em 1,7975 GHz (frequência central do GPRS), pois os diagramas são equivalentes em toda a faixa analisada.

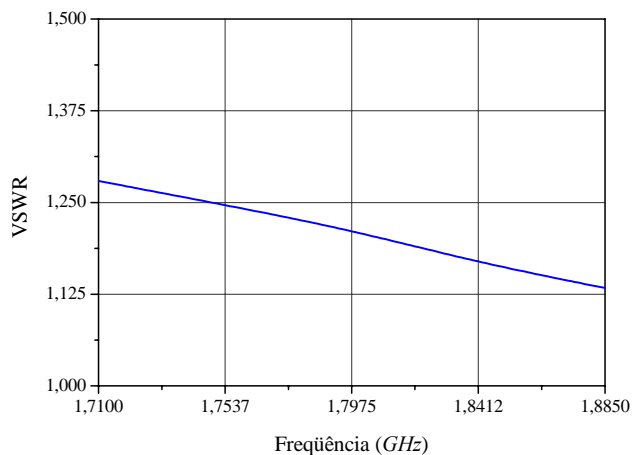


Fig. 10. Coeficiente de onda estacionária em função da frequência para o monopolo sobre um plano de terra com $1.500 \times 1.500 \text{ mm}^2$.

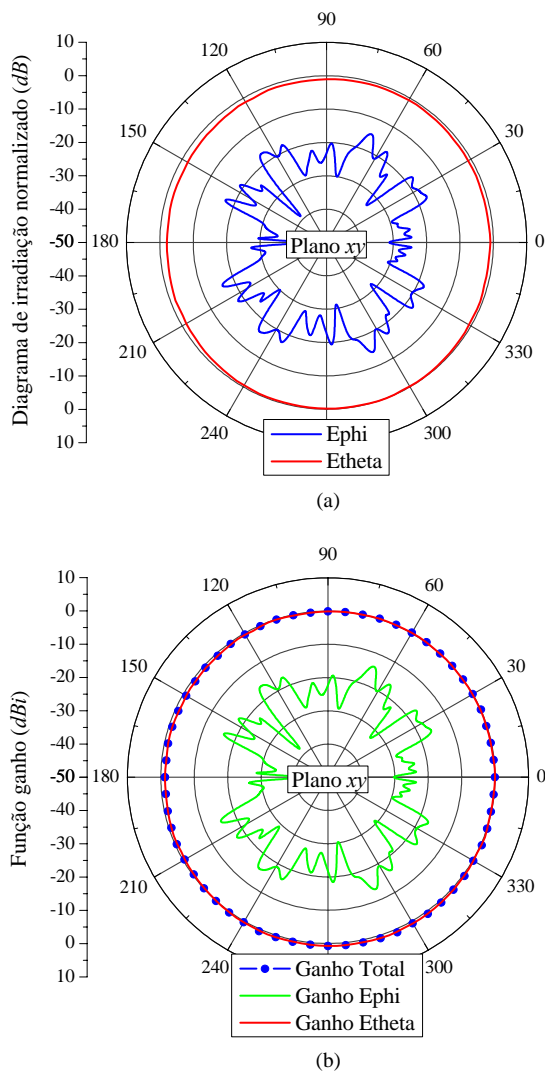


Fig. 11. Diagramas de irradiação traçados no plano xy para a frequência de 1,7975 GHz: (a) componentes θ e ϕ do campo elétrico e (b) função ganho.

A análise do monopolo com um plano de terra de maiores dimensões mostrou, segundo a Fig. 11, uma redução drástica da polarização cruzada, alcançando -15 dB contra -5 dB quando montado sobre um plano de terra menor. Este fato é evidenciado na Fig. 11 (b) com o traçado do diagrama de irradiação da função ganho no plano xy . Sendo baixa a polarização cruzada, neste plano, o diagrama da função ganho total é substancialmente equivalente ao da função ganho da componente θ . Nota-se também que o monopolo possui 0 dB de função ganho, em relação à antena isotrópica, em qualquer direção deste plano, confirmando sua característica omnidirecional.

Na Fig. 12 é apresentado o diagrama de irradiação 3D da função ganho total. Deste, observa-se que o máximo da função ganho, isto é, o ganho da antena em relação à antena isotrópica, é da ordem de 9 dB e não ocorre em $\theta = 90^\circ$, mas sim em $\theta = 75^\circ$. Entretanto, como era de se esperar, esse valor tende a 90° com o aumento das dimensões do plano de terra. Isso é evidenciado da simulação com plano de terra menor, que indicou a ocorrência do máximo em $\theta = 55^\circ$. Este fato também foi observado experimentalmente.

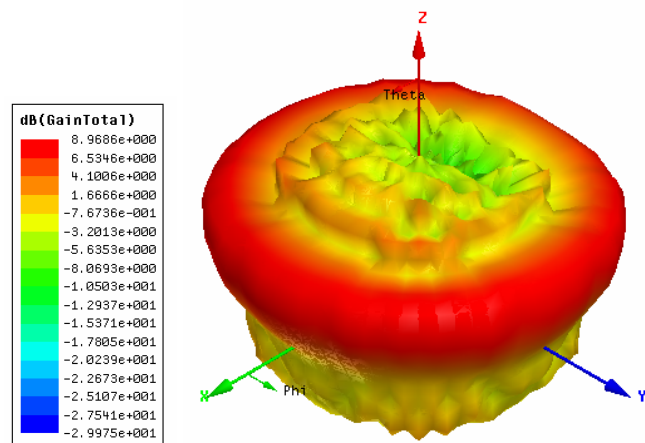


Fig. 12. Diagrama de irradiação 3D da função ganho total, traçado na frequência de 1,7975 GHz.

CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi realizada a análise de um monopolo impresso, fortemente acoplado a um elemento parasita retangular, com a finalidade de desenvolver uma antena faixa-larga para operar em terminais móveis embarcados e prover acesso ao GPRS.

Inicialmente foi feito um estudo para avaliar o efeito das dimensões da antena na sua faixa de passagem de impedância, buscando pela geometria que satisfizesse a especificação de $VSWR \leq 1,5$ na faixa de operação do GPRS.

Após a definição dessa geometria, simulações foram realizadas com o objetivo de verificar se suas características elétricas, tais como, ganho e diagrama de irradiação, também cumpriam as especificações de projeto.

Obtendo resultados satisfatórios, um protótipo do monopolo impresso foi construído. Medidas comprovaram o bom desempenho deste e a grande capacidade de análise da atual versão do programa HFSS.

Finalizando o trabalho, simulações foram conduzidas no sentido de verificar as implicações de se operar com a geometria estabelecida para o monopolo, em situações onde o plano de terra tem dimensões muito maiores que as empregadas no protótipo. Sendo os resultados satisfatórios, conclui-se pela operacionalidade da antena desenvolvida.

AGRADECIMENTOS

Ao IFI (Instituto de Fomento e Coordenação Industrial) por permitir a utilização de sua câmara anecóica.

REFERÊNCIAS

- [1] GSMWORLD, <http://www.gsmworld.com/technology/gprs/index.shtml>: acesso em maio de 2007.
- [2] Ericsson Telecomunicações SA, *Entendendo telecomunicações 2*. Editora Érica LTDA, 2000.
- [3] C.A. Balanis, *Antenna Theory: analysis and design*, 2nd edition. New York: John Wiley, 1997.
- [4] Especificações para o projeto de antenas embarcadas: *Projeto RHODES*, 2006.
- [5] J.A. Mores Jr., D.C. Nascimento, D.C.M. Maciel, R Schildberg e J.C.S. Lacava, “Análise e projeto de monopolos impressos,” *MOMAG 2006*, CD-ROM, Agosto 2006.
- [6] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip antenna design handbook*. Norwood: Artech House Inc., 2001.
- [7] N.P. Agrawall, G. Kumar and K.P. Ray, “Wide-band planar monopole antennas,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, pp. 294-295, February 1998.
- [8] K.P. Ray, P.V. Anob, R. Kapur and G.Kumar, “Broadband planar rectangular monopole antennas,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 28, pp. 55-59, January 2001.
- [9] Z.N. Chen and Y.W.M. Chia, “Broadband monopole antenna with parasitic planar element,” *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 27, pp. 209-210, January 2000.