

Antena *Yagi-Uda* Impressa para GSM/GPRS

D.C. Nascimento, R. Schildberg e J.C. da S. Lacava

Resumo—Neste trabalho é realizado o projeto de uma antena *Yagi-Uda* constituída por monopolos impressos para GSM/GPRS. Resultados são apresentados e discutidos.

Palavras-Chave—Monopolo impressos, rede *Yagi-Uda*, GPRS.

Abstract—This work describes the design of a *Yagi-Uda* antenna composed by printed monopolos for GPRS application. Results are presented and discussed.

Index Terms—Printed monopolos, *Yagi-Uda* array, GPRS.

I. INTRODUÇÃO

A antena *Yagi-Uda*, uma simples e eficiente estrutura irradiante, que na atualidade é comumente utilizada nas faixas de *VHF* e *UHF*, foi concebida em 1926, na Universidade de Tohoku, Japão, por H. Yagi e S. Uda. Naquele tempo, pouca atenção lhe foi dedicada pela comunidade científica. Porém, após ser empregada na Segunda Grande Guerra como parte vital do sistema Radar [1], seu horizonte de aplicações se ampliou.

Originalmente concebida como uma rede *end-fire* simples a elementos parasitas, sua topologia inicial, constituída por um elemento refletor, um elemento ativo e diversos diretores [1], evoluiu para outras mais complexas, como a *quase-Yagi* [2], desenvolvida para comunicações sem fio como *Bluetooth* e *WLAN* [3].

Em aplicações aeronáuticas, devido ao aumento de equipamentos aviónicos para navegação, comunicação e vigilância, várias antenas necessitam ser instaladas sobre a superfície externa das aeronaves, em um espaço bastante reduzido, o que ocasiona elevada degradação de suas características elétricas, provocada, principalmente, pelo acoplamento mútuo entre antenas. Uma possível solução é o emprego de irradiadores faixa-larga, diminuindo assim o número destas antenas. *Yagis* constituídas por monopolos têm sido concebidas para múltiplas funções, como descrito em [4-5].

Outra aplicação atual é o desenvolvimento de irradiadores para o serviço GPRS (*General Packet Radio Service*), que 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 ao sistema GSM que utiliza a mesma cobertura da telefonia celular, as antenas localizadas em estações móveis devem ter cobertura omnidirecional.

Entretanto, em situações peculiares, antenas direcionais, operando em estações remotas fixas, devem ser empregadas, de

modo a possibilitar o recebimento e o envio de sinais a uma ERB (Estação Radio Base) localizada a uma distância maior do que as usualmente utilizadas em telefonia móvel.

Antenas impressas são fortes candidatas a irradiadores deste sistema, pois, ao contrário dos construídos com as clássicas estruturas cilíndricas, estas permitem um maior grau de liberdade ao projetista, possibilitando o desenvolvimento de geometrias mais complexas, porém, de simples implementação.

Neste trabalho é descrito o desenvolvimento de uma antena *Yagi-Uda* constituída por monopolos impressos para o serviço GPRS.

II. ANTENA *YAGI-UDA* PARA GPRS

A escolha da geometria *Yagi* para a aplicação em consideração está diretamente relacionada com a quantidade de informação disponível na atualidade e na simplicidade de seu projeto. Por se tratar de uma rede constituída por elementos impressos, optou-se pela utilização de monopolos, pois estes, quando alimentados por cabos coaxiais, não necessitam de *balun*. A geometria da rede é apresentada na Fig. 1 e se baseia nos resultados realizados com *Yagis* faixa-larga de monopolos cilíndricos [5].

Optou-se por uma rede constituída por 5 elementos, isto é, um refletor, um ativo, dois diretores e um parasita, este último localizado próximo ao monopolo ativo com o objetivo de ampliar a faixa de operação da rede, pois com esta geometria compacta é possível estabelecer um ganho da ordem de 10 dBi. Como dielétrico de sustentação dos monopolos utiliza-se o FR4, por ser de baixo custo e de fácil aquisição no mercado nacional.

Partindo da geometria disponível em [5], estabelecida para operar na frequência de 1,1 GHz, os cinco elementos da rede da Fig. 1 foram escalonados para a faixa de operação do GPRS, inicialmente sem considerar o efeito do FR4. As larguras das fitas impressas foram determinadas, segundo [6], como sendo 4 vezes o raio do cilindro dos elementos da rede inicial [5]. Para evitar que estas fitas se tornassem demasiadamente largas, foi realizada uma análise, com o programa HFSS, de monopolos constituídos por fitas paralelas impressas em ambos os lados do dielétrico de sustentação, como ilustrado na Fig. 1(b), resultando em 3,0 mm para os elementos parasitas e 4,0 mm para o elemento ativo da *Yagi* impressa.

Em seguida, empregando o mesmo programa de análise numérica, otimizações foram realizadas com o objetivo de manter o coeficiente de onda estacionária da antena impressa, dentro da faixa de operação do serviço GPRS, menor do que 1,5. As dimensões obtidas para a rede parasita, após o processo de otimização acima citado, são apresentadas na Tabela I.

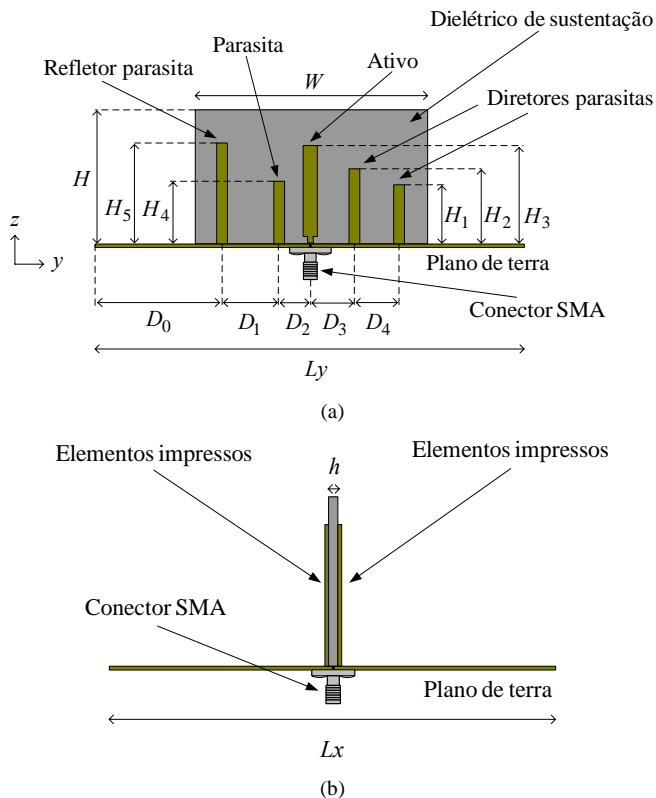


Fig. 1. Visão (a) lateral e (b) frontal da Yagi-Uda de monopolos impressos.

TABELA I

DIMENSÕES DA ANTENA YAGI-UDA PARA GPRS

| Tamanho do dielétrico e plano de terra. | | Distâncias entre os monopolos. | | Alturas dos monopolos. | |
|---|----------|--------------------------------|---------|------------------------|---------|
| W | 90,0 mm | D_0 | 38,3 mm | H_1 | 20,0 mm |
| H | 50,0 mm | D_1 | 23,8 mm | H_2 | 24,4 mm |
| h | 1,524 mm | D_2 | 7,9 mm | H_3 | 43,4 mm |
| Lx | 115 mm | D_3 | 9,0 mm | H_4 | 21,1 mm |
| Ly | 180 mm | D_4 | 15,8 mm | H_5 | 48,0 mm |

Na Fig. 2 é apresentado o gráfico da impedância de entrada, normalizada para 50Ω , traçado sobre a carta de Smith. Nota-se deste gráfico que os resultados para a impedância de entrada cumprem a especificação de $VSWR < 1,5$ para frequências contidas na faixa de 1.710 a 1.885 MHz.

III. PROTÓTIPO CONSTRUÍDO

Com as dimensões da Tabela I, um protótipo da Yagi-Uda foi construído no LAP (Laboratório de Antenas e Propagação do ITA) com auxílio prototipador T-Tech PCB modelo AMC 2500. 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 o elemento ativo será alimentado 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. Fotos do protótipo são mostradas na Fig. 3, onde se pode notar que os parasitas construídos com fitas paralelas também servem para dar maior estabilidade à rede, pois necessitam ser conectados ao plano de terra. No protótipo em questão foram soldados a este plano.

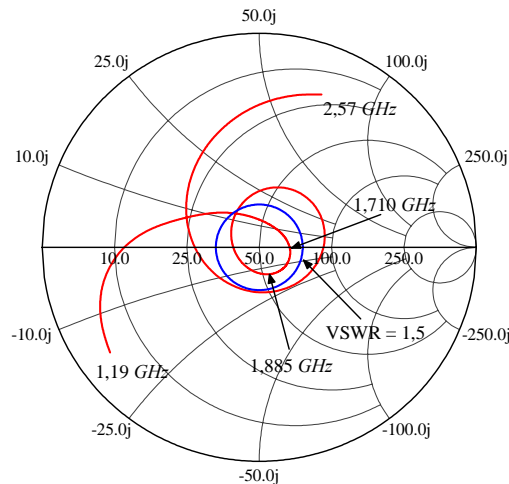
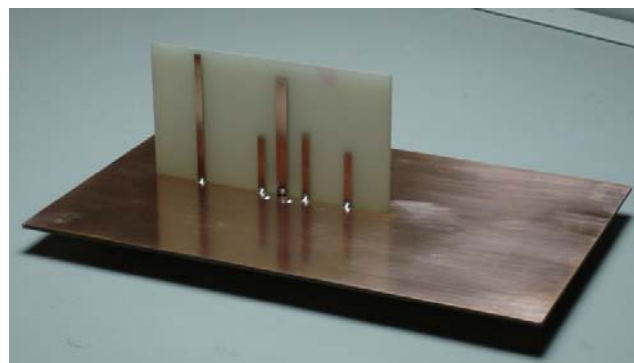
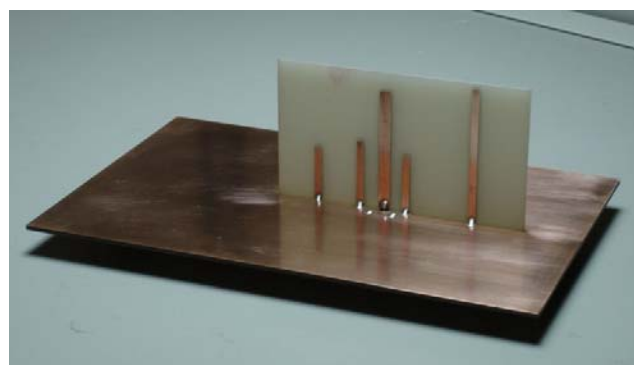


Fig. 2. Impedância de entrada simulada para a Yagi-Uda.



(a)



(b)

Fig. 3. Fotos do protótipo da Yagi-Uda com plano de terra $115 \times 180 \text{ mm}^2$.

A medida do coeficiente de onda estacionária do protótipo foi realizada com auxílio do analisador de redes vetorial da Agilent Technologies N5230A, e encontra-se mostrada na Fig. 4, juntamente com o resultado simulado com o programa HFSS. Dessa figura nota-se que a antenna construída possui uma impedância de entrada que cumpre as especificações de projeto,

com faixa de passagem de impedância, para $VSWR < 1,5$, de 1,45 a 2,1 GHz. Esses resultados atestam a grande capacidade de análise do programa utilizado.

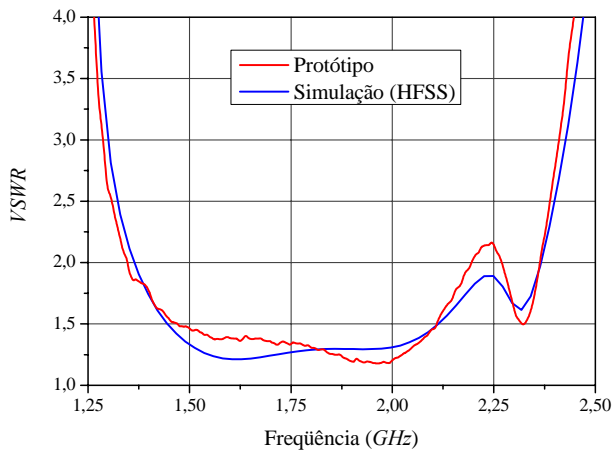


Fig. 4. Curvas teórica e experimental para o coeficiente de onda estacionária em função da frequência da *Yagi-Uda* de monopolos impressos.

Com a impedância de entrada cumprindo a especificação de projeto, resta avaliar os diagramas de irradiação da antena. Medidas foram realizadas 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. 5 são mostrados os resultados medidos e simulados para os diagramas de irradiação, no plano xy , das componentes θ e ϕ , na frequência central do GPRS (1,7975 GHz). Na Fig. 6 são apresentados os resultados obtidos para o plano yz . Nota-se uma concordância muito boa entre os diagramas simulados e os medidos.

No plano xy os diagramas confirmam a natureza direcional da *Yagi*, porém o protótipo apresenta elevada polarização cruzada, estabelecida pela componente ϕ , de -7 dB, em direções outras que a de máxima irradiação. No entanto, no plano yz , a polarização cruzada está 50 dB abaixo da principal, razão pela qual não é apresentada. Neste último diagrama também é possível notar que o máximo de irradiação ocorre em $\theta = 55^\circ$, e não no plano xy , efeito este ocasionado pelo plano de terra finito da antena.

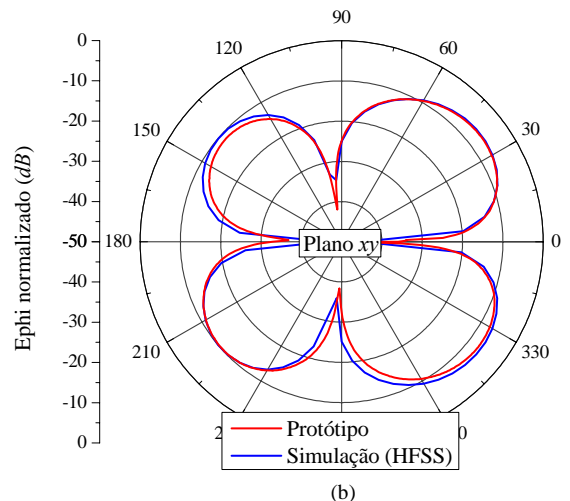
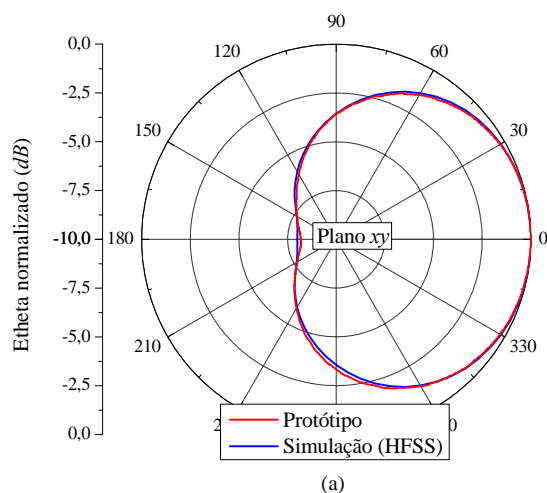


Fig. 5. Diagramas de irradiação no plano xy para a frequência de 1,7975 GHz: (a) a componente θ e (b) componente ϕ do campo elétrico irradiado.

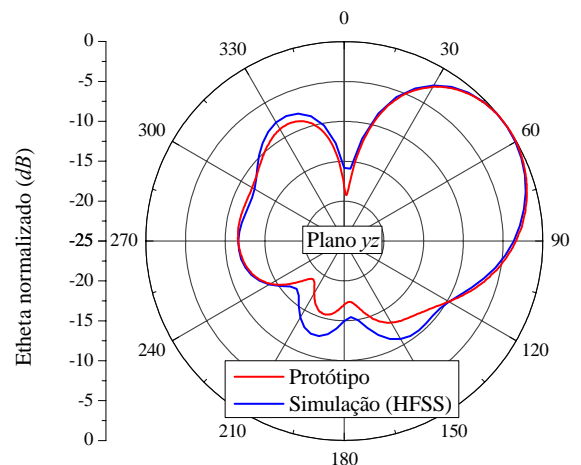


Fig. 6. Diagramas de irradiação da componente θ do campo elétrico irradiado, traçados no plano yz para a frequência de 1,7975 GHz.

IV. SIMULAÇÕES ADICIONAIS

Finalizando estudo da *Yagi-Uda* em questão, foi avaliado o seu comportamento quando posicionada sobre um plano de terra quadrado com 1.500×1.500 mm². Devido às elevadas dimensões deste plano, este estudo foi realizado com auxílio do programa HFSS e executado em um computador com 12 GB de memória RAM e dois processadores AMD *Opteron* de 64 bits com *clock* de 2,2 GHz. Para essa dimensão do plano de terra foi feita uma discretização em 2 GHz com 4 passos de convergência, necessitando de aproximadamente 11 GB de memória RAM e outros 11 GB de *swap* em disco rígido para análise de 5 frequências na faixa de operação do GPRS. Na Fig. 7 é apresentado o resultado para o coeficiente de onda estacionária, de onde se pode concluir que a *Yagi* manteve o desempenho próximo ao obtido com planos de terra menores.

Nas Figs. 8 e 9 são apresentados os diagramas de irradiação nos planos xy e yz desta *Yagi*. São considerados somente os diagramas traçados em 1,7975 GHz, pois os diagramas são semelhantes a estes em toda a faixa de operação do GPRS.

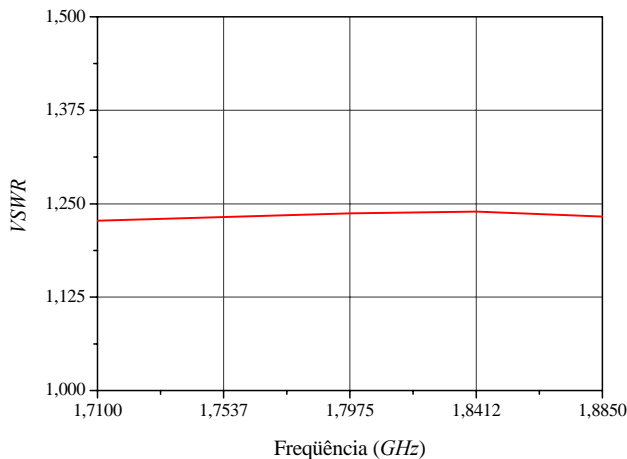


Fig. 7. Coeficiente de onda estacionária para a *Yagi-Uda* sobre um plano de terra com $1.500 \times 1.500 \text{ mm}^2$.

A análise realizada com o plano de terra com maiores dimensões mostrou, segundo a Fig. 8, uma redução drástica da polarização cruzada, melhorando em 13 dB com relação a antena com plano de terra menor. No plano yz , percebe-se que o máximo de irradiação ocorre em $\theta = 70^\circ$, tendendo para $\theta = 90^\circ$ com o aumento do plano de terra. O ganho G_0 da *Yagi*, obtido com o plano de terra quadrado, é de 10 dBi, como reportado [5], contra 5,75 dBi da *Yagi* com plano de terra $115 \times 180 \text{ mm}^2$.

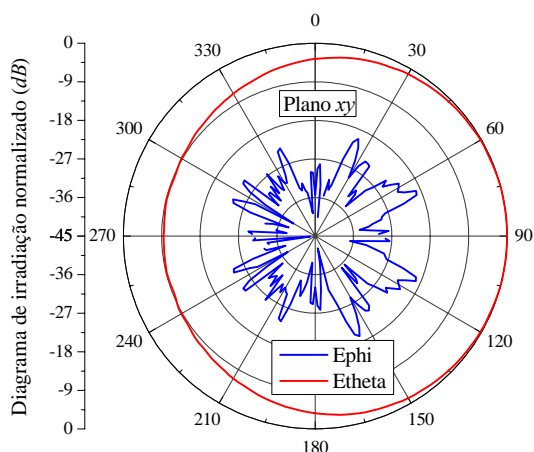


Fig. 8. Diagramas de irradiação das componentes θ e ϕ do campo elétrico irradiado, traçados no plano xy para a frequência de 1,7975 GHz.

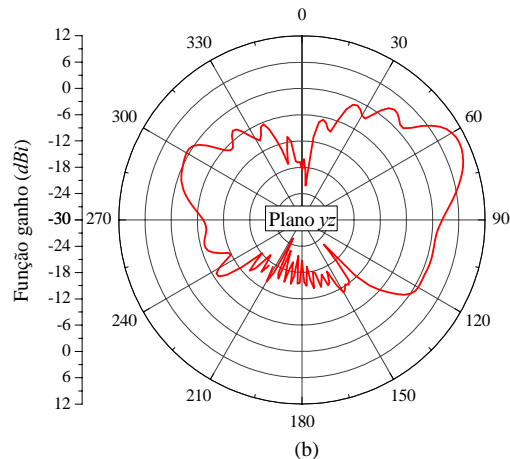
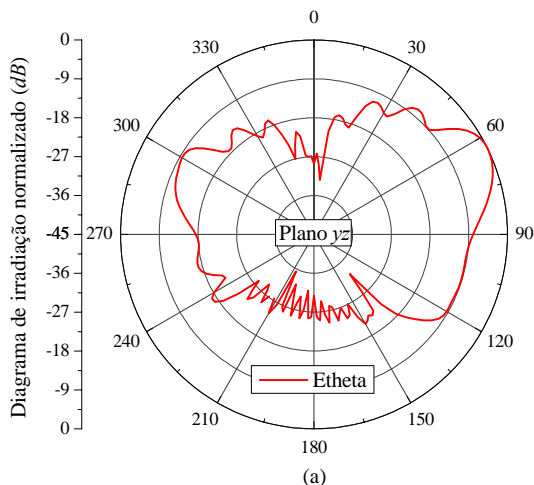


Fig. 9. Diagramas de irradiação: (a) da componente θ do campo elétrico irradiado e (b) da função ganho, traçados no plano yz para a frequência de 1,7975 GHz.

Na Fig. 10 é mostrado o diagrama 3D da função ganho, traçado na frequência de 1,7975 GHz, do qual se pode ter uma visão global das características de irradiação da *Yagi-Uda* com plano de terra com $1.500 \times 1.500 \text{ mm}^2$, principalmente quanto ao ângulo de elevação ao longo do qual a irradiação máxima se processa.

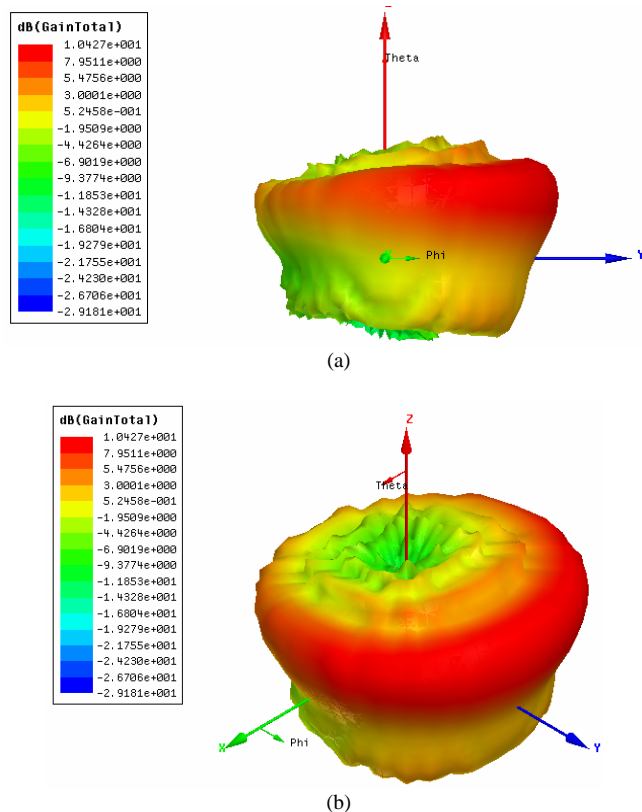


Fig. 10. Diagramas 3D da função ganho traçados na frequência de 1,7975 GHz.

V. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi descrito o procedimento utilizado no projeto de uma antena *Yagi-Uda* faixa-larga, constituída por monopolos impressos, para aplicação em GPRS. Inicialmente o número de elementos da rede foi estabelecido de modo a

permitir que a rede atingisse um ganho da ordem de 10 *dBi*. Em seguida, esta topologia foi otimizada no programa HFSS, com o objetivo de estabelecer a geometria capaz de satisfazer a condição $VSWR \leq 1,5$ na faixa de operação do GPRS. Uma vez determinadas as dimensões da rede que cumpriu esta especificação, simulações foram realizadas com o objetivo de verificar se a mesma satisfazia outras características importantes como ganho e diagramas de irradiação.

Concluída esta parte, um protótipo foi construído e ensaiado, sendo obtidos resultados compatíveis com os especificados no projeto.

Finalizando o trabalho, simulações foram conduzidas no sentido de verificar as implicações de se operar com a geometria estabelecida para a *Yagi-Uda*, em situações onde o plano de terra tem dimensões muito maiores que as empregadas no protótipo. Sendo os resultados satisfatórios, concluiu-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] S. Uda and Y. Mushiake, *Yagi-Uda antenna*. Sendai: Sasaki Printing and Publishing, 1954.
- [2] Y. Quian, W.R. Deal, N. Kaneda, and T. Itoh. "A microstrip fed quasi-Yagi antennas with broadband characteristics," *Electronics Letters*, vol. 34, No. 23, pp. 2194-2196, Nov. 1998.
- [3] A.S. Tanenbaum, *Computer Networks*, 4th edition, Upper Saddle River, Prentice-Hall, 2003.
- [4] Y. Taguchi, Q. Chen, and K. Sawaya, "Aeronautical low-profile Yagi-Uda antenna," *Electronics and Communications in Japan*, Part 1, Vol. 81, No. 12, 1999.
- [5] Y. Taguchi, Q. Chen, and K. Sawaya, "Broadband monopole Yagi-Uda antenna," *Electronics and Communications in Japan*, Part 1, Vol. 85, No. 1, 2002.
- [6] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*, 2nd edition, New York, John Wiley, 1997.