

Combinações de Dipolos Elétricos e Magnéticos de Banda Larga sobre um Plano de Terra

Karlo Q. da Costa e Victor A. Dmitriev

Resumo—Este trabalho apresenta três tipos de antenas dipolo compostas de banda larga. Estas antenas são combinações de dipolos elétricos e magnéticos horizontais a um plano de terra e com momentos de dipolos ortogonais entre si. Usando o Método dos Momentos (MoM), calculou-se o coeficiente de reflexão, os ganhos e os diagramas de radiação das antenas para diferentes geometrias. É mostrado que as antenas propostas podem ter largura de banda de até 73% ($|\Gamma| < -10\text{dB}$) a uma altura da antena ao plano de terra de 30% da maior dimensão da antena.

Palavras-Chave—Antenas de banda larga, dipolos elétricos e magnéticos, antenas compostas.

Abstract—This work presents three types of broadband compound dipole antennas. These antennas are a combination of orthogonal electric and magnetic dipoles above a ground plane and with dipole moments orthogonal. Using the Moment Method (MoM), the reflection coefficient, gain and radiation diagrams of the antennas for different geometries were calculated. It is shown that the proposed antennas can reach 73% ($|\Gamma| < -10\text{dB}$) for a height from the ground plane to the antenna of 30% of the largest dimension of the antenna.

Index Terms—Broadband antennas, electric and magnetic dipoles, compound antennas.

I. INTRODUÇÃO

Antenas que possuem banda larga, alta eficiência de radiação e baixas dimensões são de bastante interesse prático para aplicações em comunicações móveis. A primeira característica é fundamental para antenas quando se deseja transmitir sinais de banda larga, por exemplo, sinais de vídeo e sinais de dados com altas taxas de transmissão. Em teoria de antenas, sabe-se que menores antenas (em comprimento de onda) possuem menores larguras de banda e resistência de radiação, sendo que valores pequenos deste último parâmetro implicam em menores eficiências de radiação [1].

Os limites fundamentais gerais sobre o desempenho de antenas, principalmente com relação aos parâmetros citados acima, foram primeiros investigados por Wheeler [2] e Chu [3]. Estes autores obtiveram resultados similares do efeito da redução das dimensões sobre a largura de banda de uma antena qualquer. Uma de suas principais conclusões, é que o mínimo fator de radiação que uma antena qualquer pode

obter, só é possível quando esta radia somente os modos fundamentais TM_{10} e TE_{10} com energias iguais. Os campos correspondentes a estes modos são respectivamente os mesmos daqueles dos dipolos elétricos e magnéticos infinitesimais. Vale comentar aqui que menores valores do fator de radiação equivale a maiores larguras de banda [3].

Collin [4] em 1964 confirmou os resultados de Chu utilizando teoria de campo para calcular as energias envolvidas no cálculo do fator de radiação. Fante [5] em 1969, generalizou os conceitos de Collin para uma antena que radia qualquer modo esférico. Em [6], McLean faz uma verificação destes limites fundamentais utilizando dipolos infinitesimais, e propõe um método mais simples para obtê-los. Os resultados obtidos também confirmam os anteriores. Trabalhos recentes que comprovam estas teorias podem ser encontrados em [7]-[9].

Em [10] são apresentados quatro tipos de combinações de dipolos elétricos e magnéticos no espaço livre e com simples alimentação. Os autores mostraram teoricamente que, dependendo das dimensões dos dipolos, estas antenas podem possuir banda larga de frequências ($B < 86\%$), e que para isto deve-se combinar os dipolos elétricos e magnéticos de tal forma que seus momentos sejam ortogonais entre si. Nesta situação ocorre maior interação (acoplamento) entre eles.

No presente trabalho, são apresentados três tipos de combinações de dipolos elétricos e magnéticos ortogonais entre si, com simples alimentação e acima de um plano de terra. Estas antenas são analisadas teoricamente pelo MoM [11], sendo que as dimensões destas antenas são otimizadas para que se tenha maior largura de banda. Para tais antenas, são apresentados resultados numéricos do coeficiente de reflexão, do ganho e dos diagramas de radiação. A descrição destas antenas é apresentada na Seção II. A Seção III mostra os resultados numéricos. E a Seção IV contém as conclusões.

II. DESCRIÇÃO DAS ANTENAS

As geometrias das três antenas que foram analisadas são mostradas na Figura 1. Em todas estas configurações, a fonte de alimentação foi colocada no centro do dipolo reto, sendo que as espiras próximas deste dipolo estão acopladas apenas eletromagneticamente com o dipolo reto. Nesta figura, são mostradas espiras quadradas. Para efeito de comparação, estas mesmas configurações foram também analisadas com espiras circulares no lugar das quadradas. Nestes casos, os

Karlo Q. da Costa e Victor A. Dmitriev, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - DEEC, Universidade Federal do Pará, Belém/PA, Brasil, E-mails: karlocosta@yahoo.com.br, victor@ufpa.br. Este trabalho foi financiado pelo CNPq.

diâmetros das espiras circulares são iguais aos lados da espira quadrada correspondente.

Em todas estas antenas, L_d representa o comprimento do dipolo reto e L_e o lado de uma espira quadrada (ou o diâmetro no caso de uma espira circular). No primeiro caso mostrado na Figura 1(a), utilizou-se um dipolo reto (dipolo elétrico) e uma espira (dipolo magnético), estes dois elementos estão centralizados em relação às origens dos eixos x e y , mas em planos diferentes, o primeiro está no plano $z=h_d$ e o segundo no plano $z=h_e$. A Figura 1(b) também mostra uma combinação de um dipolo e uma espira, a diferença deste caso para o caso anterior é que a espira está deslocada de uma distância d_l do dipolo. Na Figura 1(c) existem um dipolo e duas espiras sendo que estes três elementos estão centralizados em relação às origens dos eixos x e y , mas em planos diferentes, o dipolo está no plano $z=h_d$ e as espiras estão nos planos $z=h_{e1}$ e $z=h_{e2}$.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

A análise numérica das antenas por MoM foi feita por meio de cinco programas desenvolvidos no Matlab 6. Neste modelo utilizamos funções base pulso retangular e funções teste delta de Dirac. Utilizamos 15 segmentos de discretização para o dipolo horizontal, 16 para espiras circulares e 5 em cada lado de uma espira quadrada.

A. Coeficiente de reflexão e ganho

Para os três tipos de antenas descritos acima, foram realizadas diversas simulações variando as dimensões L_e , L_{e1} , L_{e2} , h_d , h_{e1} , h_{e2} e d_l , e o tipo de espira circular e quadrada. Em todas as simulações fixamos a altura do dipolo horizontal em $h_d=0,3L_d$ e o raio da seção transversal dos condutores em $a=L_d/200$. As antenas que tiveram os melhores resultados, em termos de maior largura de banda, são apresentados na Tabela 1. Os valores dos parâmetros nesta tabela são normalizados com o comprimento do dipolo horizontal L_d .

TABELA I
DIMENSÕES DAS ANTENAS COM MAIOR LARGURA DE BANDA B

	Caso 1		Caso 2		Caso 3	
	Circular	Quadrada	Circular	Quadrada	Circular	Quadrada
L_e	0,25	0,25	0,30	0,25	-	-
L_{e1}	-	-	-	-	0,25	0,20
L_{e2}	-	-	-	-	0,25	0,25
h_e	0,35	0,35	0,27	0,27	-	-
h_{e1}	-	-	-	-	0,24	0,32
h_{e2}	-	-	-	-	0,33	0,33
d_l	-	-	0,03	0,03	-	-

Os resultados numéricos obtidos destas antenas (Tabela 1) de casamento de entrada ($\Gamma=|(Z_{in}-Z_0)/(Z_{in}+Z_0)|$, onde Z_0 é a impedância da linha de alimentação) e ganho são mostrados nas Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7. Os valores destas grandezas estão dB e o ganho é na direção normal ao plano de terra (+z). Este ganho é da componente de polarização na direção x . O ganho da componente de polarização na direção y é nulo. Nestas

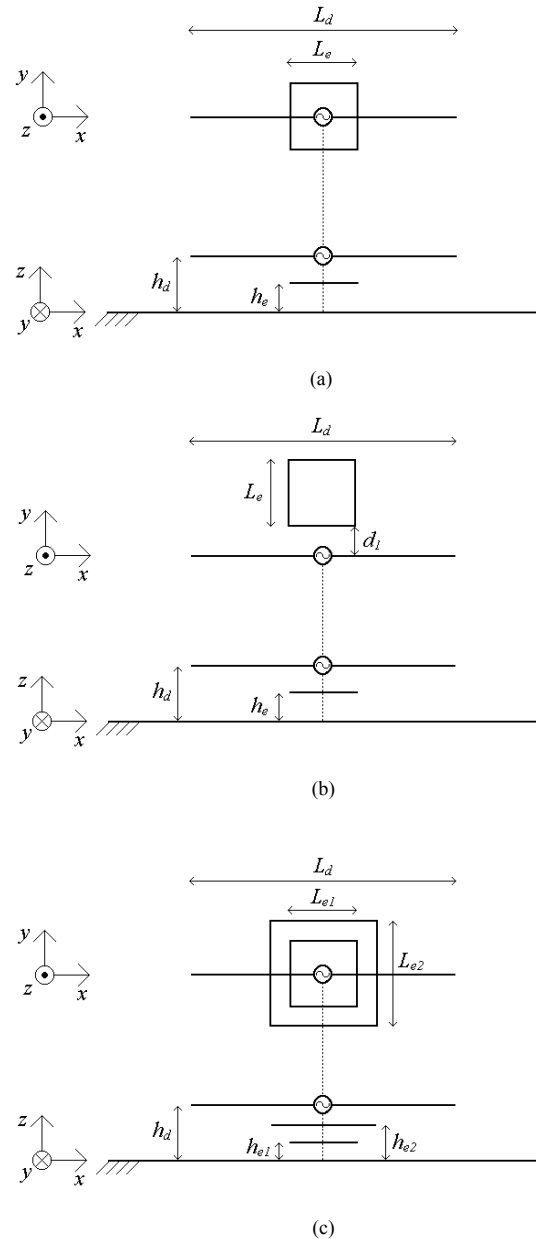


Fig. 1. Geometrias dos três tipos de combinações de dipolos elétricos e magnéticos propostos. (a) Caso 1. (b) Caso 2. (c) Caso 3.

figuras são mostrados também os valores do coeficiente de reflexão de apenas um dipolo horizontal de comprimento L_d e altura $h_d=0,3L_d$. A largura de banda deste dipolo é 5%, utilizando-se $Z_0=30$ Ohms.

A Tabela 2 mostra um resumo das larguras de banda incrementais percentuais ($B=200 \times (f_s - f_i) / (f_s + f_i)$) destas antenas, sendo f_s a frequência superior e f_i a frequência inferior para o nível de -10dB do coeficiente de reflexão). Nesta tabela também é apresentado o comprimento normalizado central L_d/λ_c , onde λ_c é o comprimento de onda da frequência central $f_c=(f_s+f_i)/2$, e os valores utilizados para a impedância característica da linha de alimentação Z_0 .

TABELA II
LARGURA DE BANDA B DAS ANTENAS ANALISADAS

	Espira	B (%)	Z_0 (Ohms)	L_d/λ_c
Caso 1	Circular	60	350	1,41
Caso 1	Quadrada	45	500	0,85
Caso 2	Circular	45	550	0,86
Caso 2	Quadrada	49	450	0,87
Caso 3	Circular	73	320	1,01
Caso 3	Quadrada	43	400	0,81

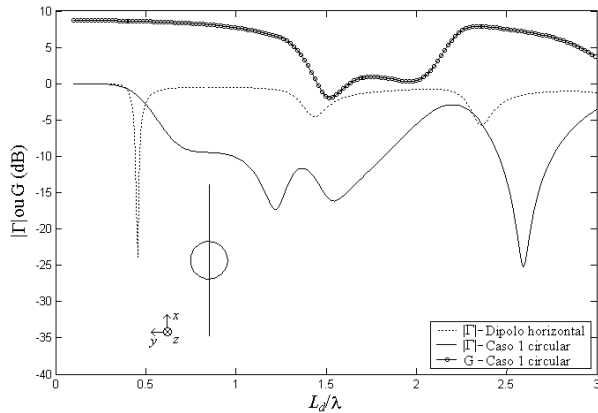


Fig. 2 Coeficiente de reflexão e ganho da antenna composta Caso 1 circular.

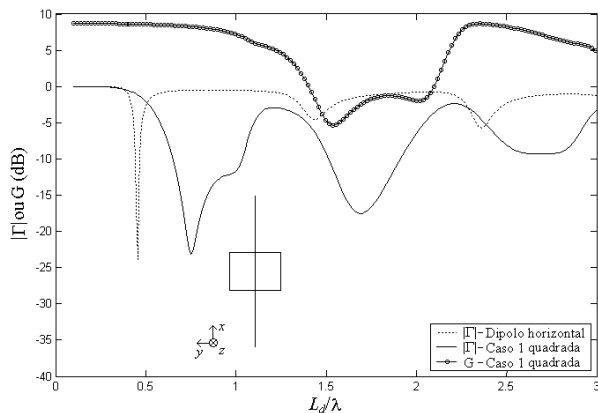


Fig. 3 Coeficiente de reflexão e ganho da antenna composta Caso 1 quadrada.

B. Diagramas de radiação

Os diagramas de radiação das antenas cujas dimensões são mostradas na Tabela 1 são mostrados nas Figura 8, Figura 9, Figura 10, e Figura 11, Figura 12 e Figura 13. As frequências onde foram calculados estes diagramas correspondem àqueles valores de L_d/λ_c mostrados na Tabela 2. Nestas figuras, θ e ϕ são as coordenadas esféricas usuais. Estes gráficos mostram a componente de polarização x . A componente de polarização y é nula, conforme dito antes.

O diagrama de radiação da antenna do Caso 1 circular no plano xz (Figura 8(a)) apresenta lóbulos secundários, isto é devido ao comprimento de onda central $\lambda_c=1,41$ onde foi calculado este diagrama. O diagrama de radiação de um dipolo elétrico convencional nesta frequência apresenta

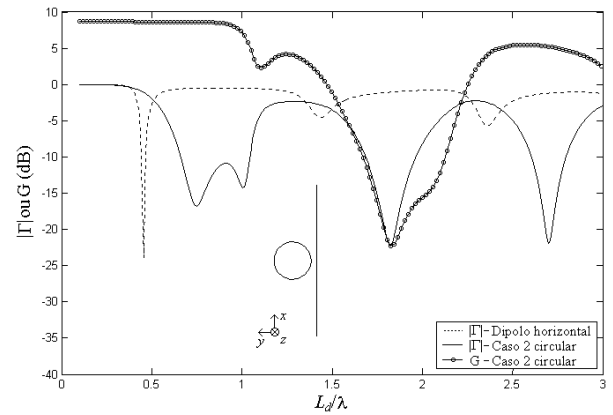


Fig. 4 Coeficiente de reflexão e ganho da antenna composta Caso 2 circular.

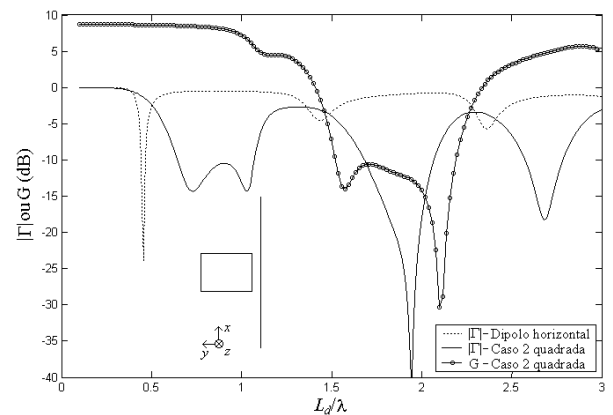


Fig. 5 Coeficiente de reflexão e ganho da antenna composta Caso 2 quadrada.

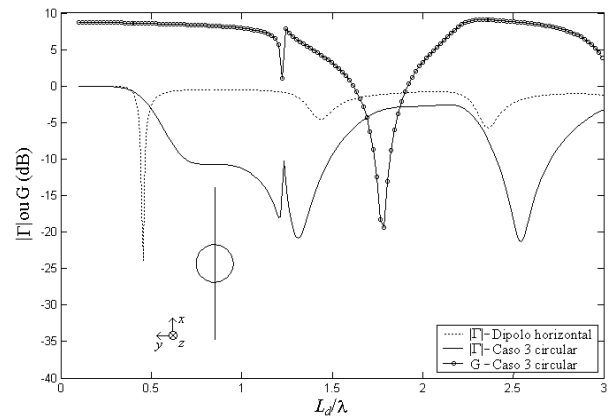


Fig. 6 Coeficiente de reflexão e ganho da antenna composta Caso 3 circular.

lóbulos secundários [1]. Os diagramas de radiação das outras antenas não apresentam lóbulos secundários. Observamos destes diagramas que apenas as antenas do Caso 1 apresentam um pouco de assimetria. Esta assimetria pode ser observada no plano yz das Figura 10(b) e Figura 11(b). Os outros casos possuem simetria nos dois planos xz e yz . Estes resultados estão de acordo com as geometrias das antenas mostradas na Figura 1.

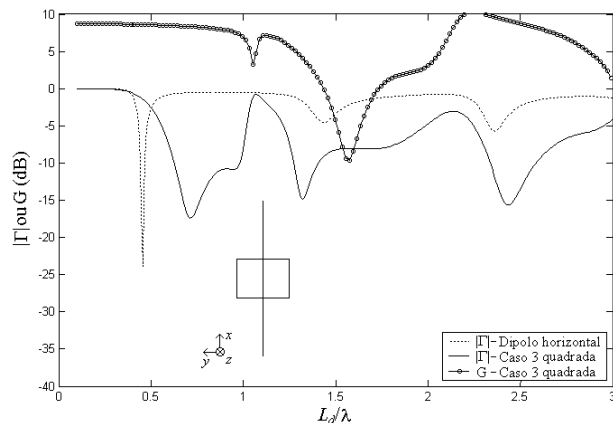


Fig. 7 Coeficiente de reflexão e ganho da antena composta Caso 3 quadrada.

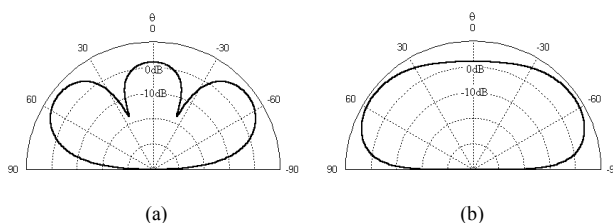


Fig. 8. Diagramas de radiação da antena Caso 1 circular em $L_d/\lambda_c=1,41$. (a) Plano xz. (b) Plano yz.

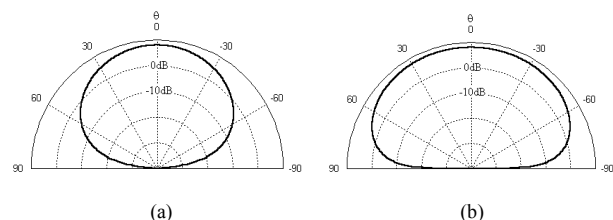


Fig. 9. Diagramas de radiação da antena Caso 1 quadrada em $L_d/\lambda_c=0,85$. (a) Plano xz. (b) Plano yz.

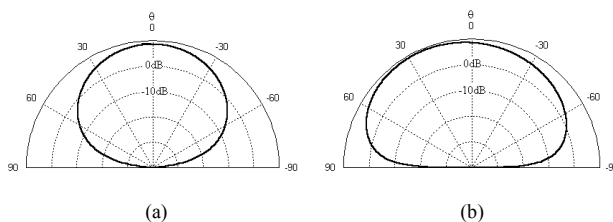


Fig. 10. Diagramas de radiação da antena Caso 2 circular em $L_d/\lambda_c=0,86$. (a) Plano xz. (b) Plano yz.

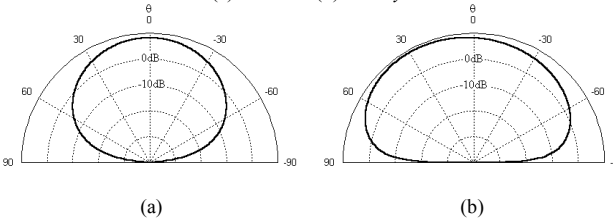


Fig. 11. Diagramas de radiação da antena Caso 2 quadrada em $L_d/\lambda_c=0,87$. (a) Plano xz. (b) Plano yz.

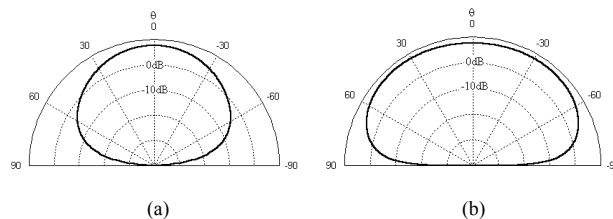


Fig. 12. Diagramas de radiação da antena Caso 3 circular em $L_d/\lambda_c=1,01$. (a) Plano xz. (b) Plano yz.

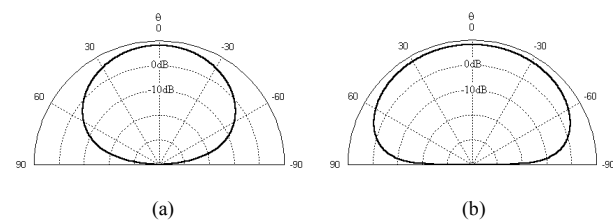


Fig. 13. Diagramas de radiação da antena Caso 3 quadrada em $L_d/\lambda_c=0,81$. (a) Plano xz. (b) Plano yz.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou propostas de combinações de dipolos elétricos e magnéticos de banda larga acima de um plano condutor. Os melhores resultados obtidos mostraram valores de até 73% para a largura de banda, para uma altura fixa de $h_d=0,3L_d$. Observamos que a largura de banda diminuiu para menores alturas h_d . Em todas as simulações realizadas a largura de banda das antenas esteve em média entre $20 < B(\%) < 40$.

Os resultados apresentados mostraram que estes tipos de antenas possuem polarização linear na direção normal ao plano de terra e que os valores do ganho nesta direção, na faixa de casamento ($|\Gamma| < -10\text{dB}$), são maiores que 5dB.

REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed., Ed. New York: John Wiley, 2005.
- [2] H. A. Wheeler, "Fundamental limitations of small antenna", *Proc. IRE*, vol. 35, pp. 1479-1484, December 1947.
- [3] L. J. Chu, "Physical limitations of omni-directional antennas", *J. Appl. Phys.*, vol. 19, pp. 1163-1175, December 1948.
- [4] R. E. Collin, S. Rothschild, "Evaluation of antenna Q", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. AP-12, pp. 23-27, January 1964.
- [5] R. L. Fante, "Quality factor of general ideal antennas", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. AP-17, pp. 151-155, March 1969.
- [6] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 44, N5, pp. 672-675, May 1999.
- [7] W. Geyi, P. Jarmuszewski, Y. Qi, "The foster reactance theorem for antennas and radiation Q", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 48, N3, pp. 401-408, March 2000.
- [8] W. Geyi, "Physical limitations of antenna", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 51, N8, pp. 2116-2123, August 2003.
- [9] W. Geyi, "A method for the evaluation of small antennas Q", *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 51, N8, pp. 2124-2129, August 2003.
- [10] Karlo Q. da Costa, Victor A. Dmitriev, "Combinações de dipolos elétricos e magnéticos com simples alimentação para aumento da largura de banda", XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT, Belém - PA, UNAMA Br, 6 a 9 de Setembro de 2004.
- [11] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Method*, Ed. New York: Macmillan, 1968, pp. 62-81.