# Rede de Antenas Miniaturizadas em UHF para Nanossatélite

Juner M. Vieira e Marcos V. T. Heckler

*Resumo*—Neste trabalho, uma rede de antenas miniaturizadas formada por quatro elementos linearmente polarizados é proposta. Seu desempenho eletromagnético é analisado através de simulações computacionais utilizando o software Ansys HFSS. Os resultados obtidos são comparados com antenas descritas em trabalhos já publicados.

Palavras-Chave—Redes de Antenas, Antenas de Microfita, Miniaturização de Antena.

*Abstract*— In this paper, a miniaturized antenna array composed of four linearly polarized elements was proposed. The electromagnetic performance is assessed by using Ansys HFSS. The results were compared to the antennas reported on references found in the open literature.

*Keywords*— Antenna Array, Microstrip Antenna, Antenna Miniaturization.

# I. INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário tecnológico, no qual é possível o desenvolvimento de sistemas eletrônicos compactos e de excelente eficiência operacional e energética, o setor aeroespacial passa a cada vez mais utilizar satélites de dimensões reduzidas, pois os sistemas embarcados passam a necessitar de um volume menor para a sua instalação. Como consequências diretas, é gerada uma redução de peso do satélite e no custo para o seu lançamento. Em face da possibilidade de execução de projetos espaciais de baixo custo, observa-se um aumento de missões que utilizam satélites de pequeno porte por parte de instituições de ensino, companhias privadas de médio porte, órgãos governamentais de pesquisa e de defesa [1].

Satélites de pequeno porte, geralmente, referem-se a
satélites com massa total que pode ser inferior a 0,1 kg
(definidos como femtossatélites), chegando a faixa de 100–
500 kg (minissatélites) [2]. Já os satélites do padrão *Cubesat*são definidos como Unidades (U) com massa inferior a 1,33 kg
e dimensões de 10x10x10 cm. Comumente, *Cubesats* possuem
fatores de 1U, 2U, 3U, 6U e 8U [3].

Dadas as dimensões dos pequenos satélites, as antenas utilizadas para estabelecer os diversos enlaces de comunicação devem apresentar características operacionais que garantam o correto funcionamento dos canais de transmissão e recepção envolvidos. Além disso, as antenas devem possuir baixa massa, pequeno volume e serem de baixo custo. Assim, há um grande desafio presente no desenvolvimento de antenas voltadas para

satélites de pequeno porte, especialmente nos aspectos relacionados às características físicas (miniaturização) e operacionais (eficiência).

Análises de diferentes topologias de antenas de microfita, utilizando laminados de RF espessos e com constante dielétrica alta, para serem usadas em um nanossatélite ambiental são descritas por [4]–[8]. Em [4], antenas de microfita com polarização linear e circular são propostas, a fim de comporem uma rede de antenas com quatro elementos. Para ambas as antenas, foram considerados os substratos TMM6 e TMM10i da Rogers Corporation. Em [5] e [6], é proposta uma antena de microfita circularmente polarizada utilizando o laminado de RF Taconic CER-10, que também é utilizado nas antenas de microfita descritas em [8]. Já em [7], o elemento simples de uma antena circularmente polarizada foi projetado, sendo utilizado o laminado TMM10i.

Neste artigo, uma rede de antenas miniaturizadas aplicada para estabelecer o canal de subida de um nanossatélite ambiental é proposta. A operação deste nanossatélite está dentro do contexto do Projeto CONASAT, que visa atualizar o segmento espacial do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA). Para atender os critérios operacionais do canal de subida do SBCDA, a antena deve operar em 401 MHz, apresentar uma largura de banda de 4 MHz e polarização circular à direita (RHCP). As simulações eletromagnéticas foram feitas utilizando o *software* Ansys HFSS. O desempenho operacional e as dimensões físicas da antena proposta foram comparados com as antenas descritas em [4]–[8].

Este artigo está estruturado em cinco seções. Na seção II, as características dos sistemas de transmissão e recepção de dados ambientais do SBCDA são apresentadas. O projeto da antena miniaturizada é descrito na seção III, enquanto que o desempenho operacional de uma rede composta por tais antenas é avaliado na seção IV. Finalmente, as considerações finais são feitas na seção V.

## II. ESTRUTURA E SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

O SBCDA é um sistema de monitoramento climático do Brasil que está em operação desde 1993. Esse sistema é composto por plataformas de coleta de dados (PCDs), satélites de recepção e transmissão de dados e Centro de Missão e Coleta de Dados (CMCD). O sistema possui como função a coleta, o processamento, o armazenamento e a distribuição de dados ambientais para diversas instituições no Brasil e exterior [9]. Esses dados estão relacionados aos seguintes tópicos: hidrologia, meteorologia, oceanografia, química da atmosfera, qualidade da água, monitoramento do nível de reservatórios de usinas hidrelétricas, entre outros [10].

<sup>Juner M. Vieira e Marcos V. T. Heckler, Laboratório de Eletromagnetismo,
Micro-ondas e Antenas (LEMA), Universidade Federal do Pampa, AlegreteRS, E-mails: juner.vieira@gmail.com, marcos.heckler@unipampa.edu.br.
O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de
Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de
Financiamento 001; e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico
e Tecnológico (CNPq), Processo 305958/2015-1.</sup> 

Os canais necessários para os enlaces PCDs–Nanossatélite– CMCD envolvem dois conjuntos de antenas distintos como interfaces entre o espaço e o transceptor de dados do satélite (carga útil). O cenário de operação do sistema de aquisição e transmissão de dados do nanossatélite CONASAT é mostrado na Figura 1. O canal de subida (*uplink*) está alocado em 401 MHz (faixa UHF), enquanto que o canal de descida (*downlink*) opera em 2,26 GHz (banda S) [9].



Fig. 1: Cenário de operação da constelação de nanossatélites.

O modelo do nanossatélite utilizado no projeto CONASAT possui uma estrutura baseada em uma plataforma *Cubesat 8U*, cujas dimensões das arestas são iguais a  $20 \times 20 \times 20$  cm. A estrutura conta, ainda, com quatro abas articuladas que oferecem uma maior área para a instalação de painéis solares [10]. É sobre essas abas articuladas que as antenas do canal em UHF serão instaladas. Na Figura 2, o modelo CAD simplificado da estrutura do nanossatélite com as abas articuladas incluídas é apresentado.



Fig. 2: Diagrama esquemático da estrutura do nanossatélite  $\mathcal{8}U$  com abas articuladas.

## **III. PROJETO DO ELEMENTO SIMPLES**

Nessa seção, o projeto da antena miniaturizada partindose de uma antena de microfita quadrada será descrito. Para o processo de miniaturização da antena, foi utilizada uma parede elétrica para gerar um curto-circuito entre o *patch* e o plano de terra (GND). Junto à estrutura de cada antena, foi implementado um plano de terra estendido, para diminuir a irradiação traseira deste tipo de antena. Este método foi descrito e utilizado, inicialmente, em [5].

### A. Antena de Microfita com Patch Quadrado

Buscando obter uma estrutura compacta com a largura de banda desejada, o substrato utilizado deverá ser espesso.

Por isso, o laminado considerado é o Taconic CER-10, que apresenta uma constante dielétrica  $\varepsilon_r \cong 10$  e espessura h = 3,18 mm. Conforme descrito em [5], o fato de a dimensão do GND da antena ser eletricamente pequeno  $(0,254 \lambda_0)$  em relação ao comprimento de onda de operação no espaço livre  $(\lambda_0 = 0,748 \text{ m})$ , a antena apresenta forte irradiação traseira, resultando em um baixo nível de ganho na direção *boresight*. Para contornar esse problema, foi implementado um GND estendido com o uso de fitas metálicas flexíveis, que se abrirá somente após o lançamento do nanossatélite. Este recurso também é aplicado nas antenas propostas neste artigo. O esquemático da antena de microfita com *patch* quadrado é apresentado na Figura 3, na qual, também, são descritos os parâmetros do projeto da antena e as dimensões do GND expandido.



Fig. 3: Vista superior esquemática da antena de microfita para UHF com plano de terra estendido ( $W_{GND}$  = 190 mm;  $L_1 = W_1 = 117,55$  mm;  $W_2 = 13$  mm;  $L_2 = 100$  mm;  $x_0 = 38,05$  mm).

Após otimização dos parâmetros construtivos da antena para o melhor casamento de impedância, os resultados computacionais obtidos em termos de parâmetros S e ganho são os mostrados nas Figuras 4 e 5, respectivamente. A banda de operação obtida, que é a faixa de frequência para a qual  $|S_{11}| < -10$  dB, encontra-se destacada na Figura 4 e equivale a 2,52 MHz (0,6 % da frequência de operação). Já os níveis de ganho e de razão frente-costas foram de 2,4 dBi e 10,4 dB, respectivamente.



Fig. 4: Resultado computacional do parâmetro S da antena de microfita proposta.



Fig. 5: Diagrama de irradiação simulado no plano  $\phi = 0^{\circ}$ .

#### B. Antena Miniaturizada

A antena descrita acima foi projetada para operar em seu modo dominante, ou seja,  $TM_{10}^z$ . Devido a isso, a intensidade de campo elétrico no plano de simetria AB, ou seja, na parte central do *patch* e para este modo ressonante, é nula. Na vista transversal da antena com a distribuição do campo elétrico ao longo de x, apresentada na Figura 6, é possível notar que na parte central do *patch* o campo é nulo. Tal fato permite incluir, nesta posição, uma parede elétrica, gerando, assim, um curto-circuito entre o *patch* e o plano de terra. Esse procedimento permite obter uma antena com metade de comprimento físico, sem afetar a distribuição do campo elétrico na estrutura resultante [11].



Fig. 6: Distribuição de campo elétrico em uma antena de microfita.

Assim, uma antena com a metade do comprimento da antena de microfita descrita na subseção III-A foi projetada e seu desempenho eletromagnético foi avaliado considerando a antena já instalada sobre a estrutura da aba do nanossatélite, a fim de caracterizar o plano de terra efetivo da antena. O modelo computacional da antena miniaturizada posicionada sobre a estrutura da aba do nanossatélite é mostrada na Figura 7. Buscando conciliar uma maior banda de operação (BW)e uma estrutura de baixo perfil e peso, foram analisadas três situações nas quais foi variada a altura (h) do substrato dielétrico. Os três valores de h considerados foram: 3,18 mm, 6,36 mm e 12,72 mm. Os resultados obtidos, para os três casos, em termos de parâmetros S e ganho são comparados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. O melhor desempenho alcançado foi com a antena de h = 12,72 mm, sendo obtido BW = 4,32 MHz e 4 dBi de ganho. As dimensões finais desta antena são  $L_2 = 63,34$  mm e  $W_2 = 126,8$  mm. Com os resultados obtidos, nota-se que, conforme o dielétrico fica

mais espesso, a largura de banda e o ganho aumentam. Em contrapartida, um h maior ocasiona um aumento no volume e peso da antena.



Fig. 7: Antena de microfita miniaturizada ( $L_2 = 63,34 \text{ mm}$ ;  $W_2 = 126,8 \text{ mm}$ ).



Fig. 8: Resultado computacional do parâmetro S da antena miniaturizada com diferentes alturas de substrato dielétrico.



Fig. 9: Diagramas de irradiação simulados da antena miniaturizada com diferentes alturas de substrato dielétrico no plano  $\phi = 0^{\circ}$ .

A fim avaliar a antena proposta neste artigo, os parâmetros operacionais e físicos, como largura de banda (BW), ganho (G), volume (V) e massa (m), foram comparados com antenas de microfita voltadas ao sistema de *uplink* do projeto CONA-SAT descritas em outros artigos. A densidade dos laminados TMM6 e TMM10i da Rogers Corporation, utilizados nos projetos das antenas descritas em [4] e [7], são, respectivamente, 2,37 g/cm<sup>3</sup> e 2,77 g/cm<sup>3</sup> [12]. Já a densidade do laminado de RF Taconic CER-10, utilizado por [5], [6], [8] e no presente trabalho, possui densidade de 3,05 g/cm<sup>3</sup> [13]. As dimensões L e W das antenas descritas em [4], [5] e [6]

são 20x20 cm, enquanto que, em [8], estas são 19x19 cm. As vistas transversais das antenas utilizadas como referência são mostradas na Figura 10. Já os valores das figuras de mérito das antenas encontradas na literatura e os da antena proposta neste artigo são descritos na Tabela I. Dos valores expostos, é possível verificar que a antena proposta oferece ganho maior do que as projetadas em [4], [5] e [8]. Já em termos de massa total, a antena descrita neste artigo possui a menor massa entre todas as topologias de antenas analisadas, tendo 1/4 da massa total da antena proposta por [4].



Fig. 10: Vista lateral das antenas propostas nos trabalhos de referências.

	Pof	Pol	$\mid h \mid$	BW	G	V	m
	Kei.	1 01.	(cm)	(MHz)	(dBi)	(cm <sup>3</sup> )	(g)
	[4]	LP	1,4605	6,6	2,74	584,2	1385
	[4]	LP	1,4605	6,3	2,61	584,2	1618
	[5]	CP	0,6360	6,7	3,32	254,4	775,9
	[6]	CP	0,6360	5,8	4,79	254,4	775,9
	[7]	СР	0,7620	5,3	4,21	304,8	722,4
	[8]	CP	0,3180	2,9	3,75	114,8	350,1
ĺ	Este artigo	LP	1,272	4,3	4,00	101,8	310,4

TABELA I: Comparação de parâmetros para estruturas implementadas.

## IV. REDE DE ANTENAS MINIATURIZADAS

Na seção III, dois modelos de antenas foram projetados e descritos. O melhor desempenho obtido foi considerando uma antena miniaturizada com h = 12,72 mm. A fim de aumentar o ganho da antena do canal de subida, uma rede de antenas foi implementada com quatro elementos instalados nas abas articuladas da estrutura do nanossatélite, conforme mostrado na Figura 11. Polarização circular empregando elementos linearmente polarizados é obtida com o uso de rotação sequencial entre os elementos [14]. Além disso, cada antena deve ser excitada por correntes de mesma amplitude e fase progressiva de  $\pm 90^{\circ}$ , para evitar soma vetorial destrutiva dos campos irradiados na direção *boresight* [11]. O sinal  $\pm$  define se o sentido de rotação do campo elétrico será à direita (RHCP) ou à esquerda (LHCP).

Após a inclusão das antenas na estrutura do nanossatélite, houve um descasamento de impedância de entrada das antenas, por isso foi necessária uma nova otimização. Após o ajuste



Fig. 11: Rede de antena de microfita miniaturizada.

da frequência de ressonância, as dimensões obtidas foram  $L_3 = 62,365$  mm e  $W_3 = 124,73$  mm. Os resultados dos parâmetros S, diagrama de irradiação e razão axial são mostrados nas Figuras 12, 13 e 14, respectivamente. Em termos de diagrama de irradiação, o ganho obtido foi de 5,7 dBi. Um bom resultado em termos de razão frente-costas foi alcançado, obtendo-se um nível de 19 dB para este parâmetro. A razão axial obtida na direção *boresight*, em 401 MHz, foi de 0,155 dB.



Fig. 12: Resultados computacionais dos parâmetros S da rede de antenas miniaturizadas.



Fig. 13: Diagrama de irradiação simulado da rede de antenas miniaturizadas.

Na Tabela II, estão descritos os valores de ganho, razão frente-costas (FBR) e massa total das redes de antenas de microfita propostas nos trabalhos referências, bem como os resultados obtidos para a rede de antenas projetada neste ar-



Fig. 14: Resultado computacional da variação da razão axial pela frequência da rede antena de microfita na direção  $\phi = \theta = 0^{\circ}$ .

tigo. Não estão sendo considerados os trabalhos [5] e [7], pois neles são feitas análises somente de um elemento de antena de microfita. Levando-se em conta o fator limitante de massa máxima do nanossatélite (10 kg), percebe-se que as antenas propostas em [4] correspondem a 55 % e 64 % de massa máxima do nanosat, o que torna muito difícil sua aplicação no nanossatélite 8U do projeto CONASAT. As antenas propostas no presente trabalho equivalem a 12,4 % da massa máxima permitida. Além disso, a rede de antenas miniaturizadas possui um ganho maior do que as antenas descritas em [4]. Porém, obteve-se um menor ganho do que as antenas descritas em [6] e [8]. Contudo, em termos de massa total, a rede de antenas aqui descrita possui 40 % da massa total da rede sugerida em [6] e é mais leve que a rede de antenas descrita em [8]. Por fim, o resultado obtido pela rede de antenas miniaturizadas, em termos de razão frente-costas, é superior do que todos os casos das referências.

TABELA II: Comparação de ganho e massa total das redes de antenas implementadas.

Dof	Ganho	FBR	massa total	
KCI.	(dBi)	(dB)	(g)	
[4]	4,30	10,5	5536,0	
[4]	3,10	8,5	6472,0	
[6]	8,46	10,4	3103,6	
[8]	8,31	8,9	1400,4	
Este artigo	5,70	19,0	1241,6	

# V. CONCLUSÕES

Neste artigo, o projeto de uma antena miniaturizada foi descrito. Três estruturas de diferentes espessuras foram consideradas. O máximo ganho obtido foi para o caso da antena com espessura h = 12,72 mm, sendo alcançado o nível de 4 dBi. Quatro elementos desta antena foram utilizados para compor uma rede de antenas para instalação na estrutura de um nanossatélite 8U. O desempenho eletromagnético e características físicas foram comparados com antenas descritas na literatura. Em termos de massa total, a rede de antenas propostas neste artigo é mais leve do que todas as consideradas como referências. O resultado da razão frente-costa para a antena projetada neste trabalho foi maior que os da redes de antenas da literatura.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo 305958/2015-1.

## REFERÊNCIAS

- Y. Rahmat-Samii, V. Manohar, and J. M. Kovitz, "For Satellites, Think Small, Dream Big: A review of recent antenna developments for CubeSats," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 59, no. 2, pp. 22–30, Abr. 2017, DOI: 10.1109/MAP.2017.2655582.
- [2] S. Gao, Y. Rahmat-Samii, R. E. Hodges, and X. Yang, "Advanced antennas for small satellites," *Proceedings of the IEEE*, vol. 106, no. 3, pp. 391–403, Mar. 2018, DOI: 10.1109/JPROC.2018.2804664.
- [3] T. Wekerle, J. A. B. Pessoa Filho, L. A.-s. E. V. L. d. Costa, and L. A.-s. G. Trabasso, "Status and Trends of Smallsats and Their Launch Vehicles An Up-to-date Review," *Journal of Aerospace Technology and Management*, vol. 9, pp. 269 – 286, 09 2017, DOI: 10.5028/jatm.v9i3.853.
- [4] M. P. Magalhães, M. V. T. Heckler, J. C. M. Mota, A. S. B. Sombra, and E. C. Moreira, "Design and analysis of microstrip antenna arrays for meteorological nano-satellites for UHF uplink," in 2014 International Telecommunications Symposium (ITS), São Paulo-SP, Ago. 2014, pp. 1–5, DOI: 10.1109/ITS.2014.6947985.
- [5] J. M. Vieira, M. P. Magalhães, M. V. T. Heckler, J. C. M. Mota, and A. S. B. Sombra, "Microstrip Antenna with Extended Ground Plane for Meteorological Nano-Satellites," in XXXIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT 2015), Juiz de Fora-MG, Set. 2015, pp. 477– 481.
- [6] J. Vieira, M. Magalhães, M. V. Heckler, J. C. Mota, and A. S. Sombra, "Development of an UHF 2 x 2 Microstrip Antenna Array for Nano-Satellites," *Journal of Communication and Information Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 137–145, Jun. 2016, DOI: 10.14209/jcis.2016.13.
- [7] E. C. Moreira, A. S. B. Sombra, J. C. M. Mota, M. V. T. Heckler, and M. P. Magalhães, "Microstrip Antenna with Extended Ground Plane for Meteorological Nano-Satellites," in *XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT 2016)*, Santarém-PA, Set. 2016, pp. 125–128.
- [8] J. M. Vieira, E. Yoshimoto, F. G. Ferreira, V. M. Pereira, and M. V. T. Heckler, "UHF and S-band antenna arrays for nano-satellite-based datarelay," in *12th European Conference on Antennas and Propagation* (*EuCAP 2018*), Abr. 2018, pp. 1–5, DOI: 10.1049/cp.2018.0984.
- [9] W. Yamaguti, V. Orlando, and S. P. Pereira, "Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais: Status e Planos Futuros," in *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal-RN, Abr. 2009, pp. 1633– 1640.
- [10] M. J. M. Carvalho, J. S. S. Lima, L. S. Jotha, and P. S. Aquino, "CONASAT - Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais," in XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu-PR, Abr. 2013, pp. 9108–9115.
- [11] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd ed. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 2005.
- [12] TMM Thermoset Microwave Materials, Rogers Corporation, Chandler, AZ, 2018. [Online]. Available: https://www.rogerscorp.com/acs/products/50/TMM-10i-Laminates.aspx
- [13] ORCER CER-10, Taconic, Petersburgh, NY, 2018. [Online]. Available: http://www.4taconic.com/page/cer-10-317.html
- [14] J. Huang, "A technique for an array to generate circular polarization with linearly polarized elements," *IEEE Transactions on Antennas* and Propagation, vol. 34, no. 9, pp. 1113–1124, Sep. 1986, DOI: 10.1109/TAP.1986.1143953.