

## Uma Antena Planar Compacta Baseada na Geometria Matrioska

Elayne Cristina Lino Donato (IFPB, Campus João Pessoa), Marcus Vinicius Rocha Cohen (IFPB, Campus João Pessoa), Raffaella Lima Henrique (IFPB, Campus João Pessoa), Jefferson Costa e Silva (IFPB, Campus João Pessoa), Alfredo Gomes Neto (IFPB, Campus João Pessoa).

**E-mails:** [elayne.lino@academico.ifpb.edu.br](mailto:elayne.lino@academico.ifpb.edu.br), [marcus.rocha@academico.ifpb.edu.br](mailto:marcus.rocha@academico.ifpb.edu.br), [rafaella.lima@academico.ifpb.edu.br](mailto:rafaella.lima@academico.ifpb.edu.br), [jefferson@ifpb.edu.br](mailto:jefferson@ifpb.edu.br), [alfredogomes@ifpb.edu.br](mailto:alfredogomes@ifpb.edu.br).

**Área de conhecimento (Tabela CNPq):** 3.04.06.01-3 Teoria Eletromagnética, Microondas, Propagação de Ondas, Antenas.

**Palavras-chave:** geometria matrioska; antena planar; mtk-la; miniaturização.

### 1. Introdução

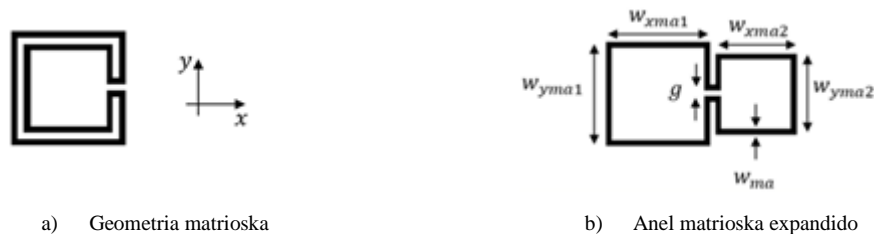
A demanda por redes de comunicação mais eficientes e de maior desempenho, tem aumentado significativamente, requerendo dispositivos com características cada vez mais específicas. Entretanto, recursos como baixo custo, dimensões reduzidas e facilidade de integração com outros dispositivos aparecem entre os requisitos mais comuns. Além do uso comum em sistemas de telecomunicações, a coleta de energia [1], sensores [2], detecção de descarga parcial [3], antenas implantáveis [4], RFID [5], imagens de micro-ondas [6], entre outros, são exemplos de aplicações de antenas, cada uma com seus requisitos específicos (dimensões, largura de banda, direcionamento de feixe, etc.). Para atender a esses requisitos, novas configurações de antena são continuamente propostas [7]-[9].

Neste trabalho, propõe-se uma antena planar compacta baseada na geometria Matrioska, denominada MTK-LA. A principal característica dessa configuração é a miniaturização significativa, com área equivalente à aproximadamente  $0,052 \lambda_0 \times 0,052 \lambda_0$ , sendo  $\lambda_0$  o comprimento de onda no espaço livre na frequência de ressonância. Embora este estudo não esteja vinculado a uma aplicação específica, a metodologia de projeto adotada permite ajustar as dimensões da antena para operar em diferentes frequências, o que a torna versátil para diversas aplicações em comunicações sem fio.

### 2. Materiais e métodos

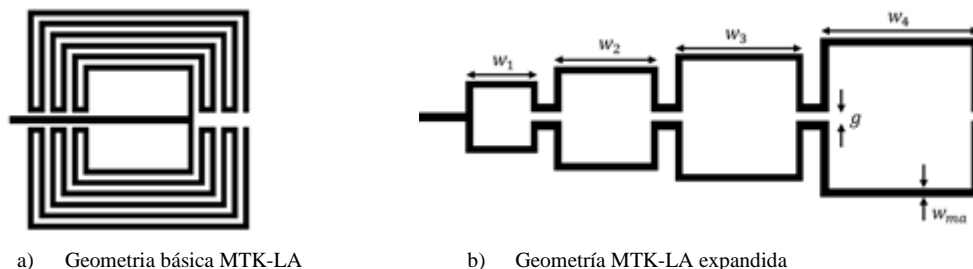
Basicamente, a geometria matrioska é composta de anéis concêntricos e interconectados, Fig. 1. À medida que os anéis são interconectados, o comprimento efetivo do anel matrioska aumenta, sem aumentar a área ocupada, limitada à área do anel concêntrico mais externo.

Figura 1 - Geometria Matrioska



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Fig. 2 Geometrias MTK-LA básicas e expandidas



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Ao expandir a geometria do MTK-LA, Fig. 2(b), observa-se que seu comprimento efetivo aumenta consideravelmente, no entanto, a área ocupada é limitada pela área do anel mais externo. Observe que, na Fig. 2(b), foram considerados anéis quadrados, ou seja,  $w_{xmai} = w_{ymai} = w_i$ , e apenas 4 anéis concêntricos foram expandidos.

Com o objetivo de melhorar o casamento de impedância e reduzir a frequência de ressonância, foi incorporado um plano de terra parcial em formato de L, além de um patch triangular acoplado ao plano de terra. Como aproximação inicial, a estrutura pode ser modelada como um dipolo, permitindo estimar a frequência de ressonância por meio da equação [12]:

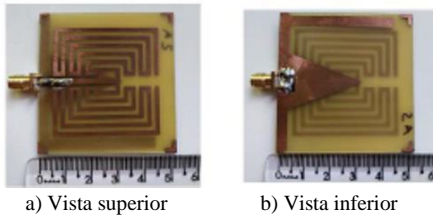
$$f_{res} = \frac{3 \times 10^8}{2L_{efe}\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (1)$$

Sendo  $L_{efe} = w_1 + w_n + 2 \sum_{i=1}^n w_i$ , e  $n$  o número de anéis. A constante  $\epsilon_{reff}$  é a constante dielétrica efetiva para um guia de onda coplanar, sem plano de aterramento, com espessura do substrato  $h$ , e constante dielétrica  $\epsilon_r$ , largura do traço  $w_{ma}$ , e espaçamento do plano de aterramento  $s = \frac{w_{subx}}{2n}$ . Como sugestão inicial de dimensões, adotou-se  $L_{gdx} = w_{subx}$ ,  $L_{gdy} = 0.8w_{suby}$ , para  $w_{subx} = w_{suby}$ ,  $w_{gdx} = w_{gdy} = 0.08w_{subx}$ . As dimensões do patch triangular ( $w_{trx}, w_{try}$ ) foram ajustadas numericamente com base na resposta simulada.

### 3. Resultados e discussão

Um protótipo foi projetado, fabricado e caracterizado, utilizando um substrato de fibra de vidro FR-4 de baixo custo ( $\epsilon_r = 4,4$ , tangente de perda 0,02) com dimensões totais de  $50 \times 50 \times 1 \text{ mm}^3$ . A Fig. 3 mostra a antena fabricada, enquanto a Tabela 1 apresenta as dimensões da MTK-LA.

Figura 3 - Protótipo fabricado



a) Vista superior

b) Vista inferior

Tabela 1 - Dimensões do MTK-LA (valores em mm)

$w_{subx}$	$w_{suby}$	$w_{gdx}$	$w_{gdy}$	$L_{gdy}$	$w_{trx}$	$w_{try}$	$w_{ma}$
50,0	50,0	4,0	4,0	40,0	24,0	32,0	1,5
$g$	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$h$
4,0	10,0	16,0	22,0	28,0	34,0	40,0	1,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os resultados numéricos foram obtidos usando o software ANSYS HFSS, enquanto os resultados medidos foram adquiridos no Laboratório de Medidas em Telecomunicações do GTEMA/IFPB, utilizando um analisador de rede de duas portas Agilent E5071C. Com base na análise do gráfico da Fig. 4, obteve-se uma frequência de ressonância numérica de 312 MHz, e medida de 318 MHz, o que indica uma diferença de 1,9%. Para a largura de banda, o valor obtido foi de 6 MHz. Ao utilizar as equações (1) e (2), obteve-se uma frequência de ressonância de 330 MHz, uma diferença percentual de 5,8% em relação à numérica, sendo uma boa aproximação entre os valores para validar as equações de projeto. Além disso, com os resultados numéricos, foi obtido um ganho máximo da antena em 0,3 dB, o qual pode ser visualizado através do padrão de radiação 3D na Fig. 5.

Figura 4 - Resposta em frequência da MTK-LA

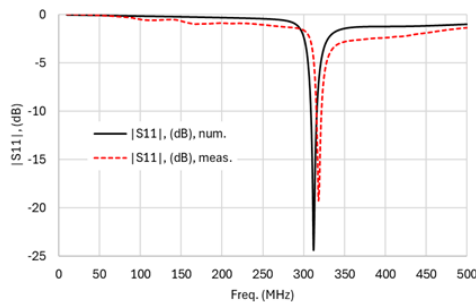
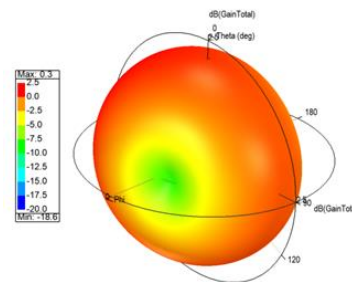


Figura 5 - Padrão de radiação 3D da MTK-LA na frequência de 312 MHz



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

### 5. Considerações finais

Neste trabalho, foi projetada, fabricada e caracterizada uma antena planar baseada na geometria matrioska, a qual obteve uma boa concordância entre os resultados numéricos e medidos relacionados. A frequência de ressonância numérica foi de 312 MHz e o valor medido igual a 318 MHz. Ademais, obteve-se uma largura de banda de 6 MHz. Portanto, o procedimento de projeto proposto mostrou-se viável. Em relação às dimensões, a MTK-LA apresentou

dimensões reduzidas, alcançando uma dimensão geral de  $0,052\lambda_0 \times 0,052\lambda_0$ , sendo viável para aplicações de baixas frequências (dezenas de MHz). Destaque-se que com o procedimento de projeto descrito há a possibilidade de aplicar a MTK-LA em frequência mais altas.

#### Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil, sob o projeto 309412/2021-8, em parte pelo Instituto Federal da Paraíba (IFPB), sob os projetos 20/2024 e 56/2023, e pelo Programa de Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE-IFPB.

#### Referências

- [1] M. A. Ullah, R. Keshavarz, M. Abolhasan, J. Lipman, K. P. Esselle and N. Shariati, "A Review on Antenna Technologies for Ambient RF Energy Harvesting and Wireless Power Transfer: Designs, Challenges and Applications," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 17231-17267, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3149276.
- [2] J. G. D. Oliveira, J. G. Duarte Junior, E. N. M. G. Pinto, V. P. Silva Neto, and A. G. D'Assunção, "A New Planar Microwave Sensor for Building Materials Complex Permittivity Characterization," *Sensors* 20, no. 21: 6328. <https://doi.org/10.3390/s20216328>.
- [3] J. Tian et al., "Design of a Flexible UHF Hilbert Antenna for Partial Discharge Detection in Gas-Insulated Switchgear," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 22, no. 4, pp. 794-798, April 2023, doi:
- [4] A. Alghamdi, A. Alshammari, L. Chang, A. Iqbal and I. B. Mabrouk, "Miniaturized Implantable Antenna with Ultra-Wide Bandwidth Characteristics for Leadless Pacemakers," *2024 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Glasgow, United Kingdom, 2024, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP60739.2024.10501669.
- [5] A. Vena, I. Dedieu, J. Podlecki and B. Sorli, "Toward Biodegradable Passive UHF RFID Tags," *2024 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and INC/USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/INC-USNC-URSI)*, Firenze, Italy, 2024, pp. 1543-1544, doi: 10.1109/AP-S/INC-USNC-URSI52054.2024.10686930.
- [6] H. M. E. Misilmani, T. Naous, S. K. A. Khatib and K. Y. Kaban, "A Survey on Antenna Designs for Breast Cancer Detection Using Microwave Imaging," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 102570-102594, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2999053.
- [7] S. Abulgasem, F. Tubbal, R. Raad, P. I. Theoharis, S. Lu and S. Iranmanesh, "Antenna Designs for CubeSats: A Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 45289-45324, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3066632.
- [8] N. Muchhal, R. Z. Vintimilla, Y. Fares, M. Elkhoully, "Review on Recent Trends and Applications of Vivaldi Antenna in the Range of 1 GHz – 40 GHz," *SPACOMM 2023 : The Fifteenth International Conference on Advances in Satellite and Space Communications*, Venice, Italy, 2023
- [9] Y. Wang, L. Sun, Z. Du and Z. Zhang, "Review Antenna Design for Modern Mobile Phones: A Review," in *Electromagnetic Science*, vol. 2, no. 2, pp. 1-36, June 2024, doi: 10.23919/emsci.2023.0052.
- [10] A. Gomes Neto, A. G. D'Assunção, J. C. e. Silva, A. N. da Silva, H. d. P. A. Ferreira and I. S. S. Lima, "A proposed geometry for multi-resonant frequency selective surfaces," *2014 44th European Microwave Conference*, Rome, 2014, pp. 897-900. doi: 10.1109/EuMC.2014.6986580.
- [11] A. Gomes Neto, J. C. e Silva, J. N. de Carvalho, and C. Peixeiro, "Planar Printed Structures Based on Matryoshka Geometries: A Review," *Micromachines*, vol. 15, no. 4: 469, 2024. <https://doi.org/10.3390/mi15040469>.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna Theory – Analysis and Design*, 4<sup>th</sup> ed., Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [13] <https://www.microwaves101.com/calculators/864-coplanar-waveguide-calculator>. Accessed: August 24, 2024