

## ANTENA VIVALDI ANTIPODAL COM CAVIDADES LATERAIS COM GEOMETRIA FRACTAL DE HILBERT

Raimundo Eider Figueredo<sup>1</sup>, Alexandre Maniçoba de Oliveira<sup>1</sup>, Marco Antônio B. Pinto<sup>1</sup>, Gustavo F. Vicentine<sup>1</sup>, Heitor G. da Costa<sup>1</sup>, Alexandre J. R. Serres<sup>1,2</sup>, Marcelo B. Perotoni<sup>1,3</sup>, João F. Justo<sup>1,4</sup>, Arnaldo de Carvalho Jr.<sup>1</sup>, Alfredo Gomes Neto<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Maxwell de Micro-Ondas e Eletromagnetismo Aplicado (LABMAX), Instituto Federal de São Paulo, Brasil, {raimundo, amanicoba, m.antonio, Gustavo, alexandreserres, jjusto, adecarvalhojr}@labmax.org;

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Campina Grande, Brasil;

<sup>3</sup>Universidade Federal do ABC, Brasil, marcelo.perotoni@ufabc.ed.br;

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.

<sup>5</sup>Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado (GTEMA), Instituto Federal da Paraíba, Brasil, alfredogome@ifpb.edu.br

**Resumo** – Este artigo aborda o desenvolvimento, em ambiente de simulação numérica, de uma Antena Vivaldi Antipodal (AVA), denominada HC-FSE-AVA, utilizando fractais de Hilbert nas suas bordas laterais e diferentes substratos. O intuito é melhorar o ganho, diminuir o side lobe level (SLL) e averiguar o comportamento da radiação das antenas utilizando substratos com constantes dielétricas de 2,0, 4,3 e 6,6. A antena proposta apresentou melhor desempenho utilizando o substrato Rogers RT5880LZ com  $\epsilon_r = 2,0$  e tangente de perda 0,0021, obtendo ganho de 9,40, SLL de -11,90 dB e estrabismo - 0,10 graus. Esta versão da antena foi denominada HC2.0-FSE-AVA. Os resultados demonstram que os fractais são capazes de melhorar a radiação das antenas devido às suas características de auto-similaridade e auto-afinidade e que as antenas propostas podem ser usadas em sistemas de banda ultra larga.

**Palavras-chave:** Antenas com Fractais; Banda Ultra Larga; Substratos; Radiação de Antenas.

### INTRODUÇÃO

As Antenas Vivaldi Antipodal (AVA) são utilizadas em sistemas de bandas ultra largas (*Ultra Wideband - UWB*) devido a seu baixo custo, ângulo de varredura, dimensões compactas, fácil integração com dispositivos planares e baixo consumo de energia [1], [2]. Além disso, possuem amplas aplicabilidades em veículos aéreos não tripulados [1], radares [2], imagens médicas [3], bloqueadores de sinais (*Jammer*) [4] e radares de penetração de solo [5].

Dentre as tantas técnicas possíveis para desenvolver uma AVA, neste trabalho optou-se pelo emprego da técnica *Fractal Slot Edge* (FSE) [6] utilizando os fractais de Hilbert nas bordas laterais para reduzir os altos níveis de lóbulos laterais (*Side Lobe Level - SSL*) provocados pelas longas bordas da AVA [3], e a utilização de três diferentes tipos de substratos com constantes dielétricas ( $\epsilon_r$ ) diferentes, pois os campos elétricos interagem de formas diferentes de acordo com a  $\epsilon_r$ .

Este artigo está dividido nas Seções de Desenvolvimento, Resultados e Conclusão.

### DESENVOLVIMENTO

A AVA foi baseada no trabalho de [7] e a antena proposta foi denominada de HC-FSE-AVA, em que HC é referente ao fractal da curva de Hilbert, FSE é a técnica utilizada e AVA a antena Vivaldi antipodal. Os parâmetros das antenas são apresentados na Fig. 1 e as dimensões com os parâmetros na Tabela 1.

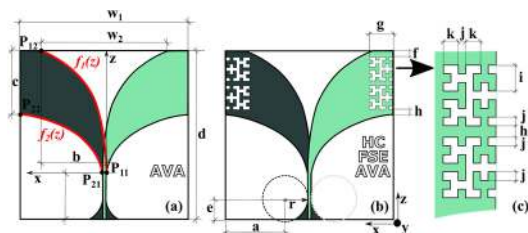


Figura 1 – Parâmetros das antenas. (a) AVA. (b) HC-FSE-AVA. (c) fractal de Hilbert nas bordas HC-FSE-AVA.

TABELA 1 – Parameters and Dimensions of AVA and HC-FSE-AVA.

Parâmetros e Dimensões (mm)					
a	53,50	f	5,00	k	6,00
b	58,36	g	21,00	r	20,00
c	55,00	h	4,00	w <sub>1</sub>	150,00
d	150,00	i	9,00	w <sub>2</sub>	113,71
e	18,10	j	3,00		

Os parâmetros a, b, c, d, e, r, w<sub>1</sub> and w<sub>2</sub> são comuns as ambas antenas e os f, g, h, i, j e k são exclusivos da HC-FSE-AVA.

As equações para determinar a curva exponencial de  $f_1(z)$  e  $f_2(z)$  são detalhadas em [7]. Foram desenvolvidas três HC-FSE-AVA, com dimensões 150 x 150 x 1,6 mm<sup>3</sup>, e realizadas simulações numéricas com três diferentes substratos. A HC2.0-FSE-AVA usa Rogers RT5880LZ com  $\epsilon_r = 2,0$  e tangente de perda ( $tg$ ) de 0,0021, a HC4.3-FSE-AVA utiliza FR4  $\epsilon_r = 4,3$  e  $tg = 0,025$  e a HC6.6-FSE-AVA com o Rogers R3206 com  $\epsilon_r = 6,6$  e  $tg = 0,027$ . Os números usados nas denominações das antenas propostas correspondem as constantes dielétricas dos substratos usados em cada antena.

A Fig. 2 demonstra as três primeiras iterações da curva de Hilbert. O fractal apresenta razão  $\frac{1}{2}$ , dimensão fractal  $D = 2$ , que é capacidade do fractal preencher espaço com eficiência [8], além do comprimento total da curva tendendo ao infinito [8], o que provoca grandes comprimentos elétricos [1] que podem diminuir a frequência de operação e interferem no comportamento das correntes de superfície [9]. Foi aplicado na borda o fractal com três iterações.

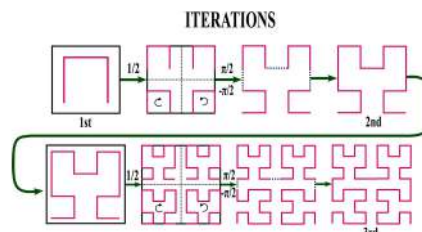


Figura 2 – Primeiras três iterações do fractal de Hilbert.

## RESULTADOS

A Fig. 3 apresenta o parâmetro S11 da AVA e das antenas propostas, HC-FSE-AVA. É possível notar que HC6.6-FSE-AVA apresentou uma banda mais estreita que as demais devido aos  $E$ , que estão mais confinados no substrato de maior  $\epsilon_r$  [1]. As cavidades laterais com a curva de Hilbert também são responsáveis por mudança no parâmetro S11 e pelo fluxo da corrente nas bordas da AVA [5].

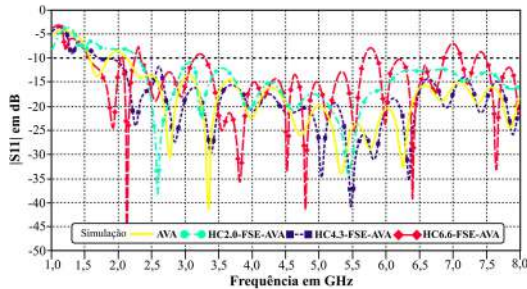


Figura 3 – Parâmetros S11 da AVA, HC2.0-FSE-AVA, HC4.3-FSE-AVA e HC6.6-FSE-AVA.

A Fig. 4 apresenta o ganho, com destaque para frequência de 6,0 GHz, em que as antenas HC2.0-FSE-AVA e a HC6.6-FSE-AVA apresentaram resultados superiores a 10 dBi.

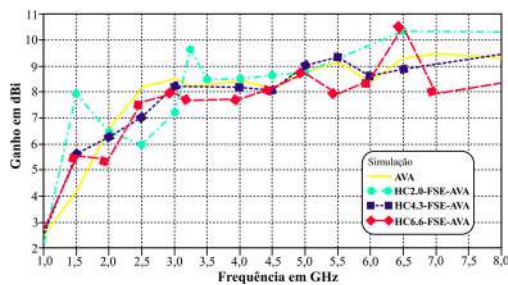


Figura 4 – Ganho da AVA, HC2.0-FSE-AVA, HC4.3-FSE-AVA e HC6.6-FSE-AVA.

A Fig. 5 apresenta a eficiência de radiação das antenas propostas. Devido aos  $E$  estarem mais desprendidos do substrato com menor  $\epsilon_r$ , a HC2.0-FSE-AVA apresenta maior eficiência de radiação em relação as demais com constante dielétricas maiores [1], conforme é possível notar na Fig. 5. Outro destaque é que ao aumentar a frequência da antena que utiliza o FR4 a eficiência diminui consideravelmente em relação as demais. Já a HC6.6-FSE-AVA, que usa o substrato R3206, portanto com maior  $\epsilon_r$ , apresenta uma constancia na eficiência no decorrer das frequências analisadas, porém sua eficiência é menor que a HC2.0-FSE-AVA, isso ocorre devidos aos  $E$  estarem mais confinados [1] no substrato com  $\epsilon_r = 6,6$ , ou seja, o maior analisado.

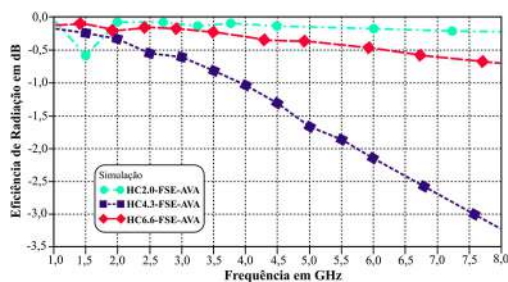


Figura 5 – Eficiência de radiação da HC2.0-FSE-AVA, HC4.3-FSE-AVA e HC6.6-FSE-AVA.

Na Fig. 6 é apresentado o diagrama de radiação das antenas com destaque para o ganho no lóbulo principal da antena HC2.0-FSE-AVA. Já na Tabela 2 são apresentados os resultados de ganho, SLL, estrebismo e largura angular do feixe central de radiação que são extraídos da Fig. 6.

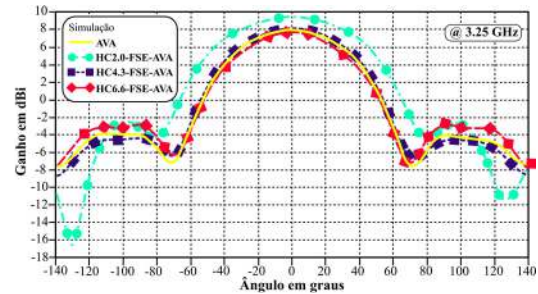


Figura 6 – Diagrama de radiação 2D da HC2.0-FSE-AVA, HC4.3-FSE-AVA e HC6.6-FSE-AVA.

TABELA 2 – Resultados da AVA e HC-FSE-AVA.

Resultados em 3,25 GHz				
Antenas	Ganho (dBi)	SLL (dB)	Estrabismo (graus)	Largura Angular (graus)
AVA	8,07	-10,00	0,50	72,40
HC2.0-FSE-AVA	9,40	-11,90	-0,10	86,60
AVA	8,02	-12,40	0,50	73,70
HC4.3-FSE-AVA	7,67	-10,60	-0,30	68,10
AVA				

## CONCLUSÃO

A HC2.0-FSE-AVA obteve melhor desempenho atingindo os objetivos traçados neste trabalho, mas as outras propostas obtiveram êxito no quesito de diminuição dos níveis de SLL. Essas antenas se mostram capazes de serem aplicadas em sistemas UWB devido terem melhorado a radiação da AVA.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Instituto Federal de São Paulo, Campus Cubatão, por fomentar essa pesquisa através do edital PIBIFSP-CBT nº 011/2019.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. A. BALANIS, "Antenna theory: analysis and design". New Jersey, USA: John Wiley & sons, 2006.
- [2] I. T. NASSAR, and T. M. WELLER, "A novel method for improving antipodal Vivaldi antenna performance". IEEE Trans. Antennas Prop., vol. 63, no. 7, pp. 3321–3324, Jul. 2015.
- [3] A. M. DE OLIVEIRA, *et al.* "A palm tree antipodal Vivaldi antenna with exponential slot edge for improved radiation pattern". IEEE Antennas Wireless Propag Lett. vol. 14, pp. 1334–1337, 2015.
- [4] G. TENI, *et al.* "Research on a novel miniaturized antipodal Vivaldi antenna with improved radiation". IEEE Antennas and wireless propagation letters, vol. 12, pp. 417–420, Mar. 2013.
- [5] J. BAI, S. SHI, and D. W. PRATHER, "Modified compact antipodal vivaldi antenna for 4-50-GHz UWB application," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 59, no. 4, pp. 1051–1057, Apr. 2011.



- [6] A. M. DE OLIVEIRA, *et al.* "A high directive Koch fractal Vivaldi antenna design for medical near-field microwave imaging application". *Microw Opt Technol Lett.* vol. 59, no. 2, pp 337-346. Feb. 2017.
- [7] A. M. DE OLIVEIRA, *et al.* "Ultra-directive palm tree Vivaldi antenna with 3D substrate lens for  $\mu$ -biological near-field microwave reduction applications". *Microwave and Optical Technology Letters.* vol. 61, no. 3, pp. 713-719, 2019.
- [8] C. P. SERRA, E. W. KARAS, and R. BILOTI, "Fractais: propriedades e construção." Depto de Matemática, Univ. Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- [9] Y. K. CHOUKIKER, S. K. SHARMA, and S. K. BEHERA, "Hybrid fractal shape planar monopole antenna covering multiband wireless communications with MIMO implementation for handheld mobile devices". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 3, pp. 1483-1488, 2013.