

Projeto e Análise de Dispositivos Fractais de Microfita Para a Faixa de Micro-Ondas

Marieliton MENDES BARBOSA (1); Paulo Henrique da FONSECA SILVA (2)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Av. 1º de Maio, 720 - Jaguaribe CEP: 58.015-430 - João Pessoa / PB, e-mails: mmb.letto@gmail.com, henrique@ifpb.edu.br

RESUMO

Este artigo descreve o uso de modelos empíricos aproximados, métodos numéricos de onda-completa e ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*) para projeto e análise de dispositivos fractais de microfita com aplicações para a faixa de micro-ondas. Além disso, aborda procedimentos experimentais de fabricação e medição dos dispositivos fractais de micro-ondas. A análise dos resultados é feita através de estudos comparativos entre os resultados teóricos e experimentais obtidos. Através desta metodologia, pretende-se realizar a caracterização de antenas, filtros e superfícies seletivas em frequência (FSS), contribuindo para o fortalecimento da linha de pesquisa da eletrodinâmica fractal no grupo pesquisa GTEMA do IFPB. Os softwares comerciais MATLAB® (*Matrix Laboratory*) e Ansoft Designer™, entre outros, são usados em diferentes etapas de desenvolvimento dos dispositivos fractais abordados.

Palavras-chave: Dispositivos de microfita, micro-ondas, fractais, dispositivos fractais

1 INTRODUÇÃO

Inicialmente utilizada no projeto de antenas fractais compactas e multibanda, as aplicações da geometria fractal para a engenharia têm avançado para o projeto de outros dispositivos de micro-ondas, tais como: filtros, acopladores, superfícies seletivas em frequência (FSS), entre outros. De fato, a união entre a geometria fractal e o eletromagnetismo originou um novo campo de pesquisa denominado eletrodinâmica fractal. Este artigo aborda a utilização de modelos empíricos aproximados, métodos numéricos de onda-completa e ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*) para o projeto, análise e fabricação de dispositivos fractais de microfita para a faixa de micro-ondas. Em particular, neste trabalho é feita uma caracterização numérica e experimental de antenas do tipo *patch*, filtros em linhas de microfita e superfícies seletivas em frequência, que são construídos com base em fractais geométricos, tais como, a curva de Koch e a ilha de Gosper. Para validação da metodologia usada são feitos estudos comparativos entre os resultados teóricos e experimentais.

2 A GEOMETRIA FRACTAL

As formas irregulares, investigadas por matemáticos desde o século XIX, atualmente são denominadas fractais. Os tipos mais comuns de fractais incluem os fractais orbitais, os fractais aleatórios, os atratores em sistemas dinâmicos caóticos e os fractais geométricos. Estes últimos são bastante utilizados na Engenharia de Micro-Ondas. Entre os tipos de fractais geométricos mais usados, destacam-se os fractais de: Sierpinski, Koch, Minkowski, Peano, Hilbert, Dürer, Gosper, entre outros.

Os fractais, que são um desenvolvimento da geometria moderna, têm sido aplicados em diversas áreas do conhecimento humano. Por exemplo, na área da Engenharia Elétrica, a união entre a geometria fractal e o eletromagnetismo originou o campo da Eletrodinâmica Fractal. Neste campo de pesquisa, as propriedades únicas dos fractais mostram-se úteis para o desenvolvimento de configurações novas de dispositivos de microfita, possibilitando soluções práticas em aplicações na faixa de micro-ondas.

Os dispositivos de microfita abordados nesta pesquisa são amplamente utilizados nos aparelhos de comunicação modernos, uma vez que atende a requisitos de peso, custo, baixo perfil e fácil integração com

circuitos eletrônicos de comunicação. A escolha destes dispositivos de micro-ondas foi motivada pelas facilidades encontradas em nível local para análise teórica, fabricação e medição dos mesmos.

3 DISPOSITIVOS FRACTAIS EM MICROFITA

3.1 Antenas Patch

A estrutura da antena fractal de Koch proposta neste trabalho, é obtida a partir da aplicação de contornos fractais de Koch (quadrados e triangulares) aos quatro lados de uma antena *patch* quadrada. A curva de Koch é caracterizada por dois fatores: o fator de iteração e o número de iterações. Quando o número de iterações vale zero, nenhuma iteração fractal foi efetuada, e nós temos a figura geradora, neste caso uma antena *patch* quadrada, de comprimento e largura iguais a L , que corresponde à antena fractal de Koch de nível 0 (K0) (ver Figura 1(a)). Quando se aplica um fator de iteração fractal igual a $1/2$ em cada lado da antena geradora, são criadas as antenas fractais de Koch de nível 1 quadrada (KQ1) e triangular (KT1) (Figuras 1(b) e (d), respectivamente). O fractal de nível 2 é obtido através da aplicação do mesmo fator de iteração fractal em cada lado da antena de nível 1, logo são geradas as antenas fractais de Koch de nível 2 quadrada (KQ2) e triangular (KT2) (Figuras 1(c) e (e), respectivamente).

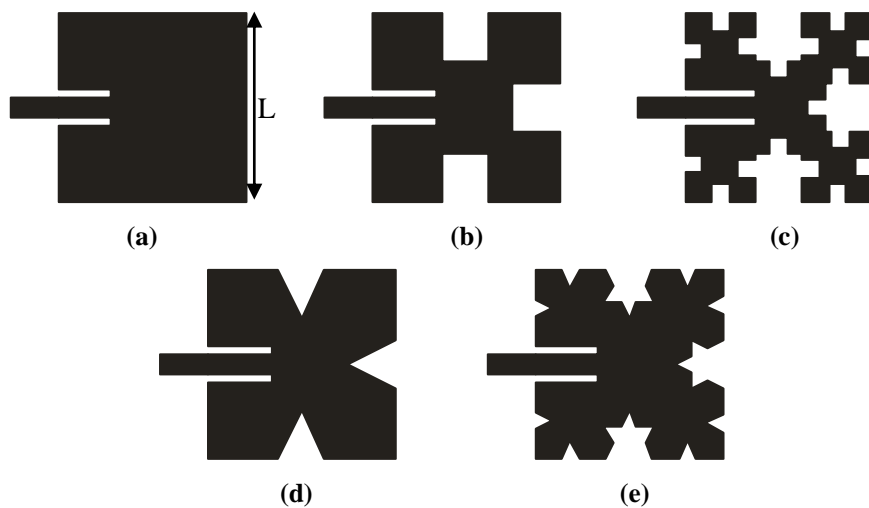


Figura 1 - Antenas *inset-fed patch* com curvas fractais de Koch: (a) K0; (b) KQ1; (c) KQ2; (d) KT1; (e) KT2

3.2 Filtros

Para este dispositivo foi analisada a influência das curvas fractais de Minkowski em filtros passa-faixas de microfita. Para realizar a construção deste dispositivo, foram feitas duas iterações fractais no filtro passa-faixa original (FPF0) (ver Figura 2(a)). A aplicação dos contornos fractais foi feita no ressonador que consiste da seção de linha de microfita vertical do filtro. Os filtros fractais de Minkowski propostos, de nível 1 (FPF1) e 2 (FPF2), são apresentados nas Figura 2(b) e (c), respectivamente.

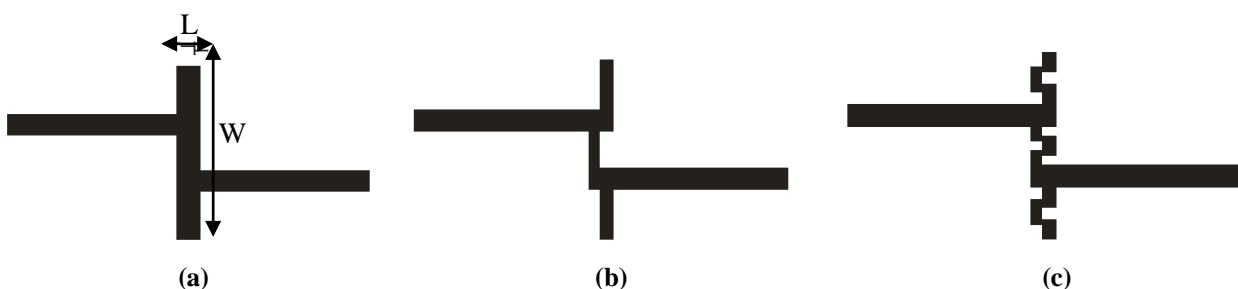


Figura 2 - Filtros passa-faixas com curvas fractais de Minkowski: (a) FPF0; (b) FPF1; (c) FPF2

3.3 Superfícies Seletivas em Frequência (FSS)

Uma FSS é uma estrutura periódica de elementos de abertura ou patch que funcionam como filtros de ondas espaciais. Para ilustrar o uso de elementos fractais em FSSs foi usado o fractal de Gosper, que é gerado a partir de uma FSS convencional com *patches* hexagonais. A célula unitária de uma FSS fractal de Gosper (ver Figura 3) é determinada através da periodicidade dos elementos dada por $tx = ty = T$; L e H denotam o lado e a altura do hexágono, respectivamente, e estão relacionados através da [Eq. 01].

$$H = L\sqrt{3} \quad [\text{Eq. 01}]$$

A lei de formação de um fractal de Gosper, baseado em uma geometria hexagonal, é expressa pela [Eq. 02]:

$$L(k) = \frac{L(k+1)}{\sqrt{7}} \quad [\text{Eq. 02}]$$

em que, $k=0,1,2,3,\dots$ é o número de iteração fractal (ou nível). Para o elemento gerador considera-se $k = 0$. Quatro protótipos de FSS construídas com elementos fractais de Gosper de níveis 0, 1, 2 e 3 são mostrados nas fotografias da Figura 4.

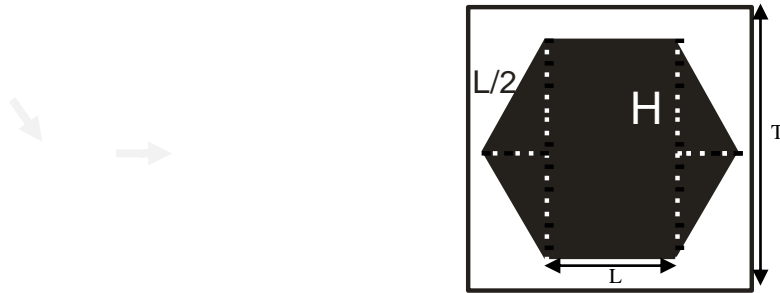


Figura 3 – Célula unitária de uma FSS hexagonal

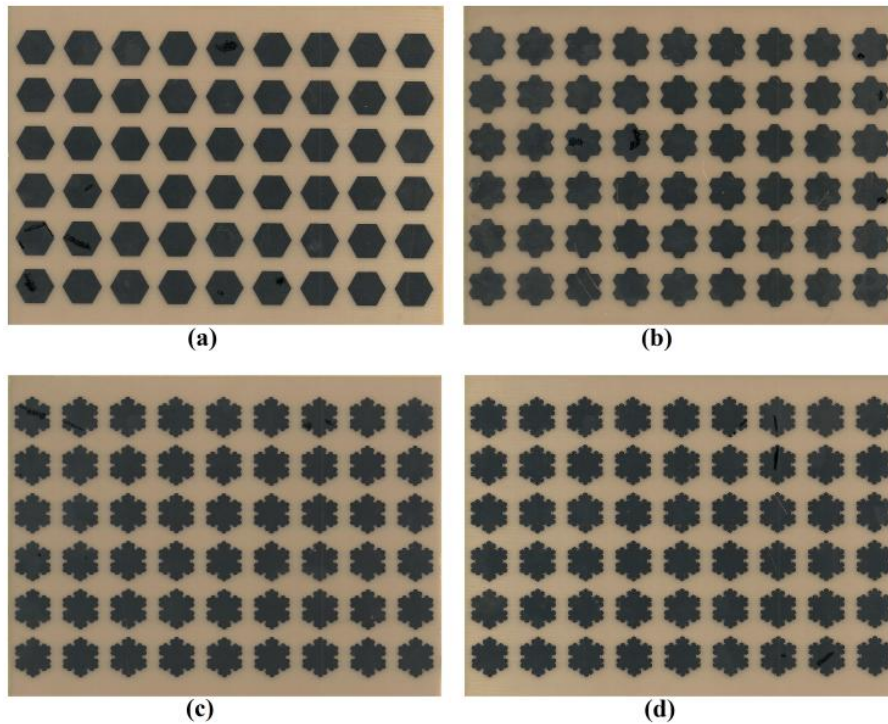


Figura 4 – FSS construídas usando o fractal de Gosper: (a) nível 0; (b) nível 1; (c) nível 2; (d) nível 3

4 METODOLOGIA

A metodologia usada neste estudo sobre dispositivos fractais de microfita inclui: projeto, análise teórica, fabricação, medição, coleta de dados e análise de resultados. Os programas computacionais MATLAB® (*Matrix Laboratory*) e Ansoft Designer™ são usados para o projeto e a análise teórica dos dispositivos fractais. O programa Corel Draw é usado para a elaboração precisa dos leiautes dos dispositivos fractais projetados. A fabricação destes dispositivos é feita em substratos laminados de fibra de vidro recobertos de cobre. A partir dos leiautes desenhados em forma de adesivos (ver Figura 5) ou como serigrafia, estes são impressos sobre as faces de cobre do substrato laminado. A etapa final do processo de fabricação consiste na corrosão das faces expostas de cobre em solução de perclorato de ferro, corte dos laminados e instalação de conectores. A medição dos dispositivos fractais fabricados é efetuada com um analisador de redes vetorial (ver Figura 6), que mede os parâmetros de espalhamento dos dispositivos de microfita. Após a coleta de dados, os resultados numéricos e experimentais foram comparados para a validação dos métodos e procedimentos usados nas etapas anteriores.

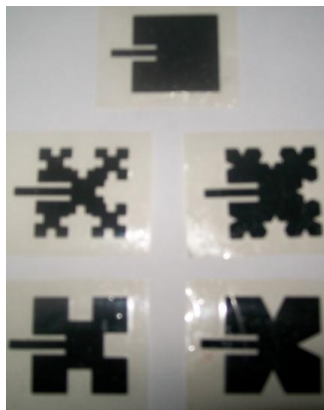


Figura 5 – Adesivos confeccionados para a fabricação dos dispositivos

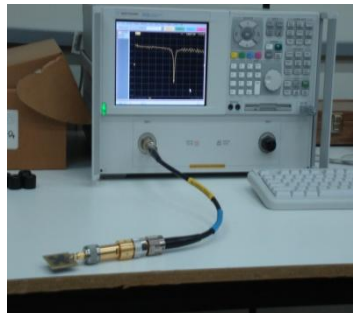


Figura 6 - Analisador de redes vetorial (modelo N5230A, Agilent Technologies)

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da caracterização numérica e experimental dos dispositivos fractais de microfita abordados são apresentados em gráficos gerados no MATLAB[®]. As Figuras 7, 8 e 9 apresentam as comparações entre os resultados medidos e simulados para a perda de retorno da antena *inset-fed patch* quadrada que é a estrutura geradora (K0) ou antena de referência (Figura 7) e dos *patches* fractais de Koch quadrados e triangulares.

As Figuras 10 e 11 apresentam as respostas em frequência dos filtros fractais de Minkowski de níveis 0, 1 e 2. Pode-se observar que a rejeição fora da banda passante do filtro de Minkowski aumenta conforme se aumenta o nível do fractal.

A Figura 12 apresenta os resultados para os quatro protótipos de FSS construídas com elementos fractais de Gosper de níveis 0, 1, 2 e 3 são mostrados nas fotografias da Figura 4. Como pode ser visto, estas FSSs apresentam um comportamento *dual band*, rejeitando duas faixas de frequências. Além disso, o aumento do nível do fractal reduz as frequência de ressonância da FSS de Gosper, mantendo-se a mesma área de superfície da estrutura periódica geradora. Esta propriedade é bastante interessante para o projeto de FSSs mais compactas.

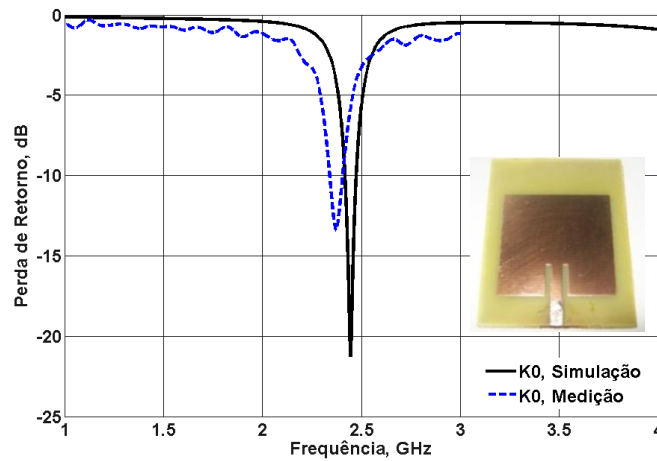


Figura 7 – Comparação dos resultados da antena K0

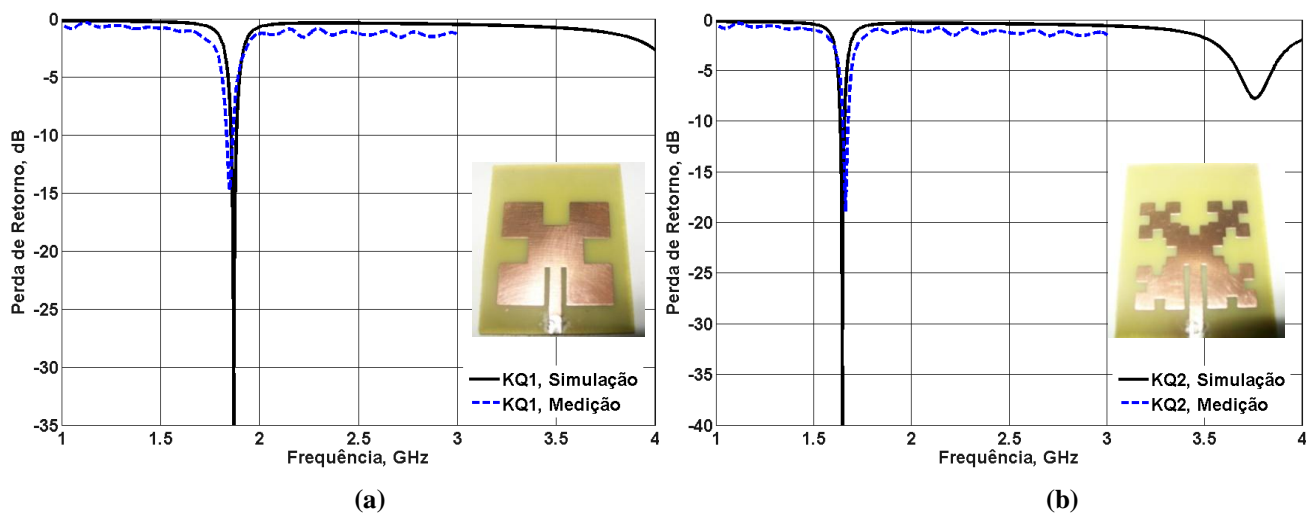


Figura 8 - Comparação dos resultados das antenas fractais: (a) KQ1; (b) KQ2

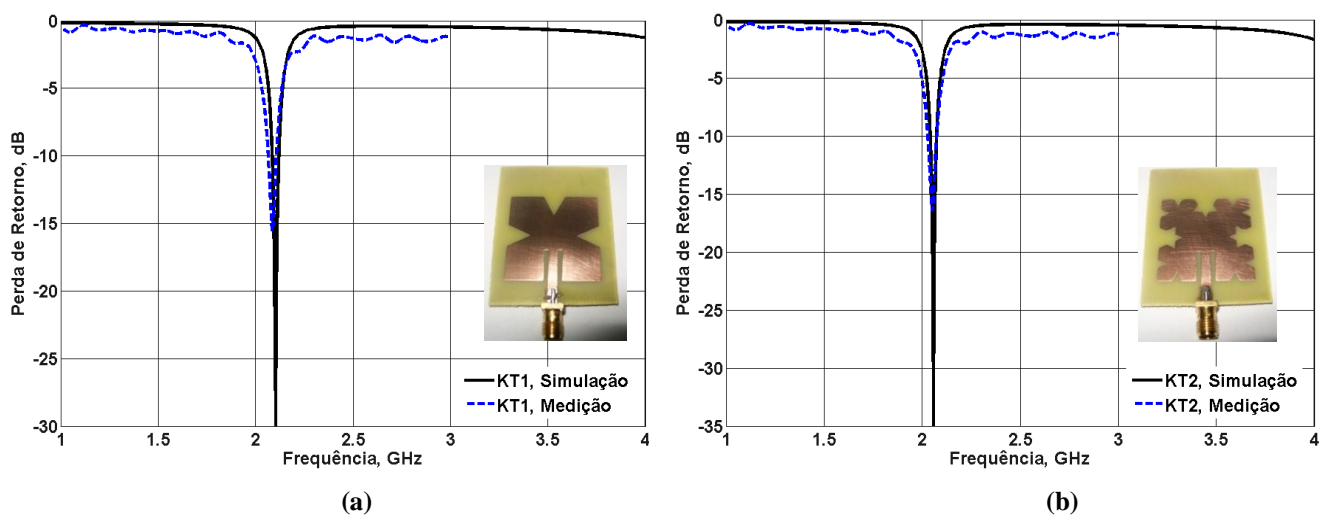


Figura 9 - Comparação dos resultados das antenas fractais: (a) KT1; (b) KT2

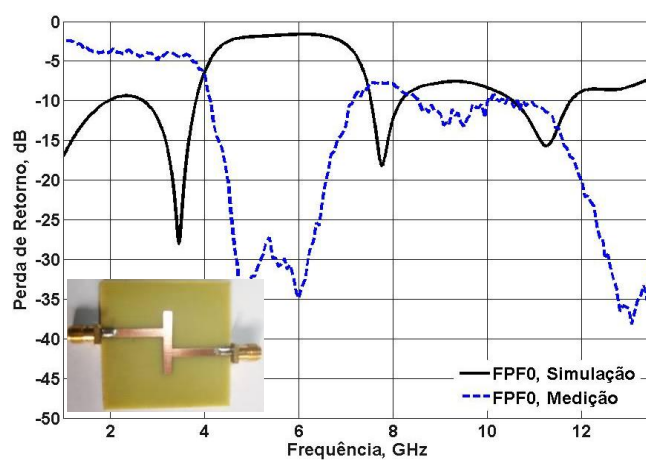


Figura 10 – Comparação dos resultados do filtro FPF0

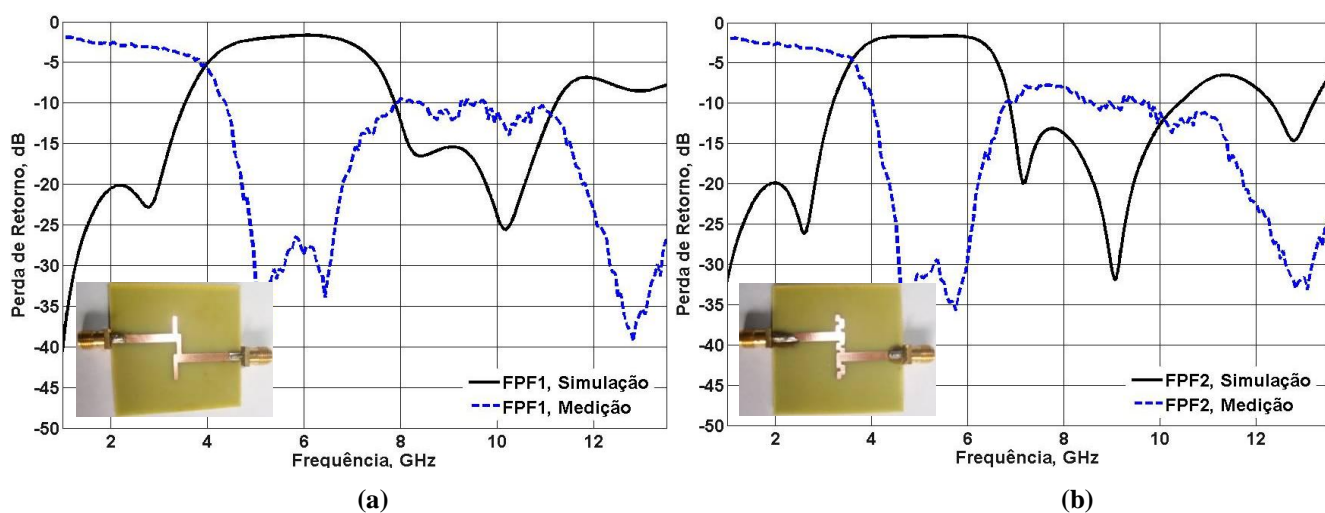


Figura 11 – Comparação dos resultados dos filtros: (a) FPF1; (b) FPF2

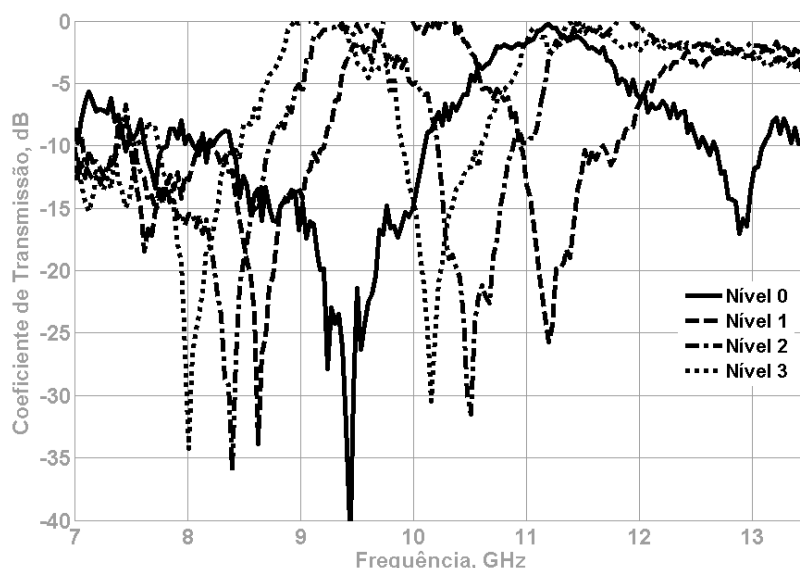


Figura 12 – Comparação dos resultados das FSS construídas

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da geometria fractal para o projeto de dispositivos fractais de micro-ondas apresenta vantagens promissoras em relação às suas contrapartidas Euclidianas. Em particular, no desenvolvimento de dispositivos de microfita com fractais geométricos torna-se viável a fabricação de dispositivos de baixo custo, mais leves e compactos que os atuais e com características multibanda. Neste trabalho foram caracterizados três tipos de dispositivos fractais de microfita: antena *patch*, filtro passa-faixa e FSS. Para a antena *patch* com contornos fractais de Koch verificou-se o uso de *insets* na linha de alimentação para um melhor casamento de impedâncias. As respostas obtidas na medição dos filtros apresentaram uma divergência se comparadas com os resultados simulados, mas em todos os dispositivos fabricados manteve-se a mesma largura de banda. A FSS com elementos fractais de Gosper apresentou resposta em duas faixas de frequência, funcionando como filtro espacial rejeita-faixa para ondas eletromagnéticas com polarizações horizontais e verticais. Levando em conta que nem sempre os resultados obtidos com a medição são precisos, se comparados com os modelos ideais simulados, a boa concordância obtida entre os resultados numéricos e experimentais validou a metodologia usada para o desenvolvimento dos dispositivos fractais de microfita estudados.

REFERÊNCIAS

- COHEN, N. **The first fractal antenna**. Disponível em: <<http://www.fractenna.com>>. Acesso em: 24 de abril 2009.
- COSTA, L. F.; BIANCHI, A. G. C. A outra dimensão da dimensão fractal. **Revista Ciência Hoje**, v. 31, n. 183, p. 40-47, jun. 2002.
- FALCONER, K. **Fractal geometry: mathematical foundations and application**. 2. ed. Londres: Wiley & Sons, 2003. 337p.
- HANNA, E., et al. A novel compact dual-mode bandpass filter using fractal shaped resonators. In: **IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, CIRCUITS AND SYSTEMS**, 13, 2006,

Nice, Proceedings IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Nice, 2006, v. 10, n. 13, p. 343-346.

GIANVITTORIO, J. P., et al. Self-similar prefractal frequency selective surfaces for multiband and dual-polarized applications, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, v. 51, n. 11, p. 3088 – 3096, nov. 2003.

MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. 3. ed. Nova York: W. H. Freeman and Co., 1982. 468p.

PAIN, M. K., et al., A novel investigation on size reduction of a frequency selective surface, **Microwave and Optical Technology Letters**, v. 49, n. 11, p. 2820-2821, ago. 2007.

PARKER, E. A.; SHEIKH, A. N. A. Convolutional array elements and reduced size unit cells for frequency-selective surfaces, **IEE Proceedings-H**, v. 138, n. 1, p. 19-22, fev. 1991.

WERNER, D. H.; GANGULY, S. An overview of fractal antenna engineering research, **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, v. 45, n. 1, p. 38-57, fev. 2003.