

ANTENAS DE MICROFITA UTILIZANDO A CURVA DE FRACTAL DE MINKOWSKI

Elder Eldervitch C. de OLIVEIRA (1); Ronaldo de A. MARTINS (2); Adaildo G. D' ASSUNÇÃO (3); João Bosco L. de OLIVEIRA (4);

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av Sen. Salgado Filho, s/n. CEP: 59072-970, Natal-RN, e-mail: elder2@ymail.com

(2) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av Sen. Salgado Filho, s/n. CEP: 59072-970, Natal-RN, e-mail: ronaldo@ufrnet.br

(3) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av Sen. Salgado Filho, s/n. CEP: 59072-970, Natal-RN, e-mail: adaildo@ct.ufrn.br

(4) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av Sen. Salgado Filho, s/n. CEP: 59072-970, Natal-RN, e-mail: bosco@sedis.ufrn.br

RESUMO

Nos últimos anos a demanda por dispositivos leves, compactos e portáteis tem aumentado o interesse dos pesquisadores e da indústria mundial. O desafio encontrado nas pesquisas atuais é reduzir as dimensões desses dispositivos sem perda de performance nas mais diversas aplicações, por exemplo, sistemas *wireless*. Antenas *patches* fractal são apresentadas nesse trabalho com a finalidade de reduzir as dimensões de uma antena *patch* retangular convencional projetada para frequência de 2,45 GHz. A curva fractal de Minkowski foi utilizada no projeto das antenas. As antenas analisadas apresentaram frequência de ressonância inferior ao *patch* retangular, essa característica nos permitirá reduzir as dimensões das antenas fractais quando re-projetadas para a frequência investigada de 2,45 GHz. Os projetos das antenas foram auxiliados através de simulações com o *software Ansoft DesignerTM* que implementa o método dos momentos (MoM). A partir destas simulações, vários protótipos de antenas foram construídos. Com o intuito de validar os resultados obtidos, foram feitas comparações entre os resultados medidos e simulados. Assim, verificou-se uma redução de até 42% na área das antenas projetadas com a curva fractal de Minkowski.

Palavras-chave: curva de Minkowski, miniaturização, antenas de microfita, antena fractal

1 INTRODUÇÃO

O avanço dos sistemas de comunicação sem fio (*wireless*) e o crescimento de suas aplicações nos últimos anos, tornaram o uso de antenas compactas multibanda/banda larga um grande atrativo e de suma importância em aplicações comerciais e bélicas. Os exemplos mais comuns são encontrados na variedade de aparelhos de comunicação sem fio portátil, tais como: telefones celulares, *handsets*, *palmtops*, *laptops*, entre outros. O surgimento de diferentes tecnologias sem fio, a exemplo do GSM (sistema global para comunicações móveis), RFID (identificação por rádio frequência), *bluetooth*, Wi-Fi e WiMAX, tem servido de motivação para impulsionar as pesquisas na busca por dispositivos mais leves, compactos e de custo reduzido, como é o caso das antenas planares em microfita. A construção de antenas com estas características, possivelmente sem perdas de desempenho, ainda é um desafio as pesquisas atuais. Este artigo aborda o conceito de fractal e como ele pode ser usado para reduzir o tamanho de antenas em microfita ou para se obter respostas em frequência multibanda.

Em particular, uma análise de antenas *patch* utilizando a curva fractal de Minkowski é realizada com a finalidade de reduzir as dimensões de uma antena *patch* retangular convencional projetada para a frequência de 2,45 GHz, banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). A seção 2 apresenta um estudo a respeito de antenas em microfita, a qual é a estrutura geradora das antenas fractais propostas. A geometria fractal utilizada neste trabalho é descrita na seção 3, situando-a no contexto histórico e descrevendo as suas propriedades e o método IFS de geração da curva de Minkowski. A estrutura da antena proposta e os resultados numéricos e experimentais são apresentados nas seções 4 e 5 respectivamente. Por fim a seção 6 apresenta as conclusões finais desse trabalho.

2 ANTENA DE MICROFITA

Inicialmente proposta por Deschamps et al. (1953), antenas em microfita têm-se tornado bastante popular devido principalmente à facilidade com que é construída e ao baixo custo de fabricação, associado a sua capacidade de integração com outros circuitos e módulos multicamada. Conforme ilustra a Figura 1, uma antena *patch* em microfita consiste basicamente de duas placas condutoras, paralelas, separadas por um substrato dielétrico, sendo uma das placas o elemento irradiante (*patch*) e a outra o plano de terra.

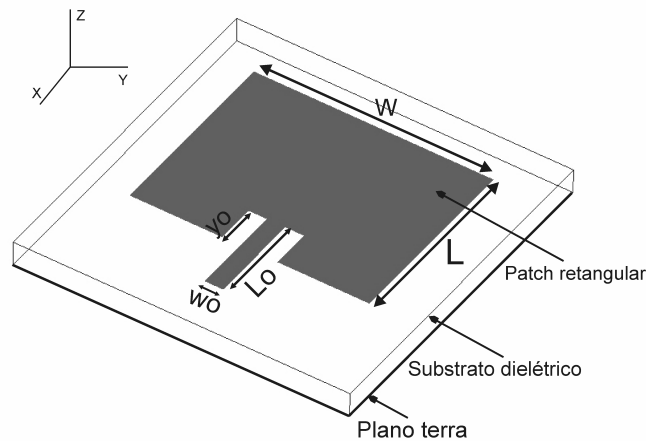


Figura 1 – Antena de microfita

O elemento irradiante pode ser alimentado normalmente por linha de microfita (Figura 1) ou ponta de prova coaxial (BALANIS, 1997). O *patch* normalmente é feito de cobre, em algumas exceções utiliza-se um laminado de ouro e pode assumir várias formas geométricas, contudo as mais comumente utilizadas são os polígonos regulares, por exemplo, retângulo, círculo, triângulos e mais recentemente as formas fractais (COHEN, 1997). Além de apresentar baixo custo de fabricação e dimensões reduzidas, como citado anteriormente, inúmeras são as vantagens de uma antena em microfita em relação a outras antenas para a faixa de microondas, tais como:

- Perfil planar baixo e conformidade a vários tipos de estruturas;
- Compatibilidade com sistemas embarcados, a exemplo os aparelhos celulares, *paggers*, entre outros;
- Antenas em microfita podem se ajustar a superfícies onduladas, o que torna possível aplicação em fuselagens de aviões e mísseis;

3 GEOMETRIA FRACTAL - A CURVA DE MINKOWSKI

O geometria fractal introduzida inicialmente na década de 70 por Benoit Mandelbrot refere-se a objetos construídos recursivamente, onde um aspecto do objeto limite é infinito e outro é finito, e onde em qualquer interação, algum pedaço do objeto é uma versão em escala reduzida do objeto na interação anterior (MANDELBROT, 1991). Puente et al. (1998) e Cohen et al. (1997) foram os pioneiros nos estudos e desenvolvimento de antenas com elementos fractais, reduzindo as dimensões da antena sem, no entanto, degenerar seu desempenho. Diferente da geometria Euclidiana, a geometria fractal apresenta duas propriedades comuns que a caracteriza, são elas: o preenchimento do espaço e a auto-similaridade (PUENTE, 1998). A propriedade de auto-similaridade pode ser usada para projetar antenas fractais multibanda, por sua vez, a propriedade de preenchimento do espaço, é responsável pela miniaturização das dimensões da antena. A dimensão fractal é um parâmetro importante de um fractal. De acordo com a propriedade de auto-similaridade, a dimensão fractal ou dimensão auto-similar é definida por

$$D = \frac{\log(N)}{\log(r)} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Em que, N é o número total de cópias distintas do elemento original e r é o fator de escala de redução.

A geometria fractal utilizada neste trabalho para o projeto e construção das antenas investigadas foi baseada na curva de Minkowski. Conforme ilustra a Figura 2, a obtenção da curva de Minkowski se dá pelo método IFS (*iterative function system*) a partir de 8 (oito) transformações afins $q_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ dado pela [Eq. 02] (MANDELBROT, 1991).

$$q_i(x, y) = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_i \\ f_i \end{pmatrix} \quad [\text{Eq. 02}]$$

As oito transformações fazem a contração de $1/4$; A segunda transformação (q_2) faz uma rotação de $\pi/2$ rad e uma translação de 1 unidade para cima; q_3 realiza uma translação de 1 unidade para a direita e 1 unidade para cima; q_4 faz uma rotação de $\pi/2$ rad e uma translação de 2 unidades para a direita; q_5 realiza uma rotação de $-\pi/2$ rad e uma translação de 2 unidades para a direita; q_6 faz uma translação de 2 unidades para a direita e um deslocamento de 1 unidade para baixo; q_7 faz uma rotação de $-\pi/2$ rad e uma translação de 3 unidades para a direita; por fim, q_8 realiza uma translação de 3 unidades para a direita.

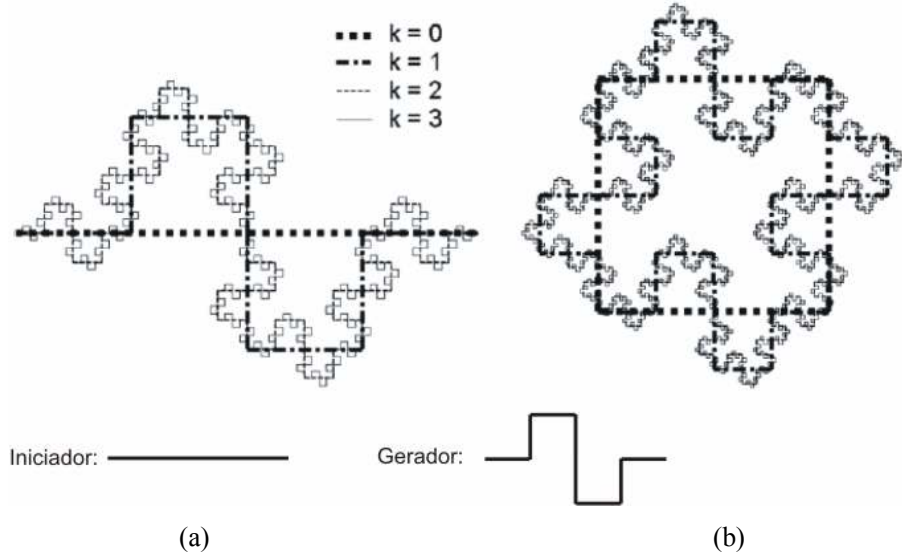


Figura 2 – Diferentes níveis do fractal de Minkowski: (a) curva; (b) ilha de Minkowski

4 ESTRUTURA DAS ANTENAS PROPOSTAS

Todos os *patches* foram impressos em um substrato fibra de vidro (FR4) com permissividade elétrica de 4,4 e espessura igual a 1,5 mm. As dimensões do *patch* retangular (A0) é 29,094 mm x 37,234 mm. A frequência de ressonância é calculada segundo o modelo dado pela [Eq. 03] (BALANIS, 1997).

$$Fr_{mn} = \frac{c}{4L\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{(m)^2 + (n)^2} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Em que, Fr_{mn} é a frequência no modo (mn) ressonante, c é a velocidade da luz. A correspondente frequência (fundamental) de projeto é 2,45 GHz de acordo com o modelo acima.

A Figura 3 apresenta a geometria das antenas com contornos fractais de Minkowski propostas e as respectivas dimensões físicas (em mm) associadas. A partir da antena geradora do tipo *patch* retangular, designada como nível zero (A0), as antenas fractais propostas foram projetadas aplicando a curva de Minkowski a margem radiante e não radiante da antena A0, obtendo dessa maneira as antenas *patches* Minkowski de níveis 1 e 2 (M1 e M2) respectivamente. Pode-se observar que a curva de Minkowski foi aplicado em apenas três dos quatro lados da antena *patch* A0. O lado que não contém o contorno fractal é justamente utilizado para realizar a excitação das antenas através de uma linha de microfita e conector (tipo

SMA). A fim de se evitar reflexões indesejáveis, o casamento de impedâncias entre a linha de microfita e o *patch* foi alcançado com o uso de duas fendas no *patch*, cada uma com a largura da linha de alimentação. O comprimento y_0 destas fendas, parâmetro geométrico associado ao casamento de impedâncias, foi otimizado por meio de simulações precisas das antenas propostas com o auxílio do *software Ansoft DesignerTM* que implementa o método dos momentos (MoM).

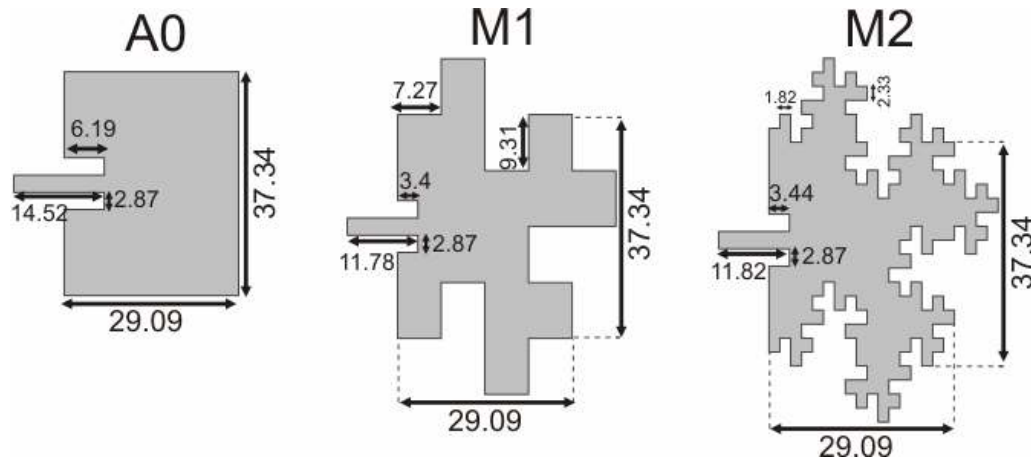


Figura 3 – Estrutura das antenas *patches* propostas com contornos fractais de nível 0, 1 e 2

As medições de seus parâmetros elétricos foram realizadas com um analisador de redes vetorial N5230A. O processo de fabricação de cada antena envolveu quatro etapas (ver Figura 4): (a) elaboração precisa do leiaute com auxílio de um *software* de CAD (neste caso usou-se o *CorelDrawTM*); (b) preparação da placa de FR4 e confecção de máscara adesiva com os respectivos leiautes de impressão ; (c) corrosão das faces de cobre, descobertas pela máscara de impressão, por imersão da placa de FR4 em solução de perclorato de ferro; (d) instalação e soldagem dos conectores.

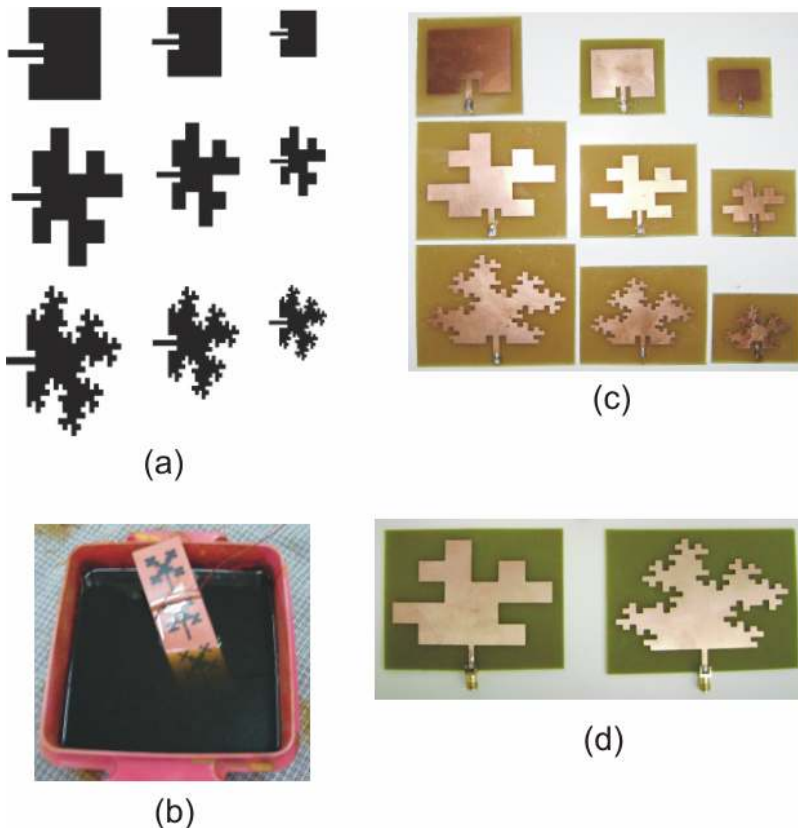


Figura 4 – (a) leiautes das máscaras de impressão das antenas *patches* projetadas; (b) Imagem da placa de FR4 durante a imersão em solução corrosiva; (c) Imagem das antenas após a corrosão e o corte; (d) Imagem das antenas *patches* com contornos fractais após a instalação dos conectores

5 RESULTADOS SIMULADOS E EXPERIMENTAIS

Os primeiros resultados obtidos foram simulados no *software Ansoft Designer*TM para análise das estruturas modeladas. A Figura 5 ilustra os resultados obtidos para a perda de retorno das três antenas mostradas anteriormente (ver Figura 3). Estes resultados são resumidos na Tabela 1.

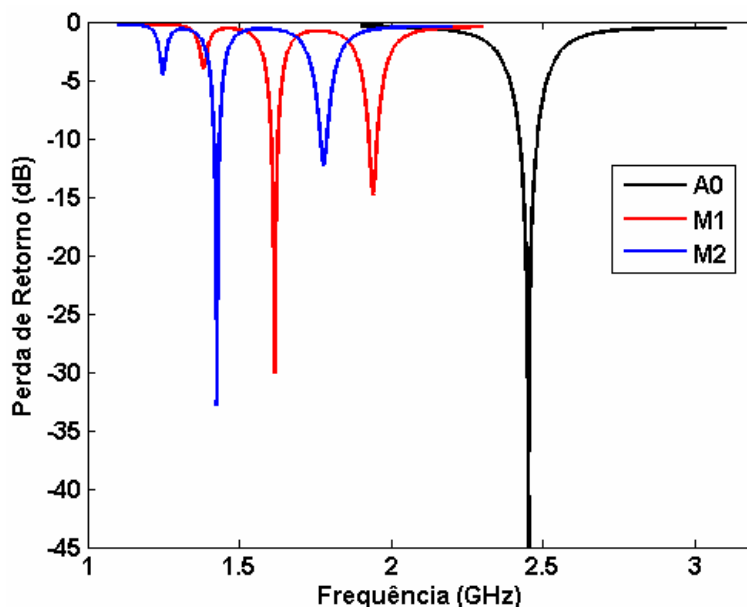


Figura 5 – Resultado simulado da perda de retorno para as antenas propostas

Tabela 1 – Resultados simulados para as antenas projetadas

Antenas	A0	M1	M2
Frequência de Ressonância	2,45 GHz	1,62 GHz / 1,94 GHz	1,42 GHz / 1,78 GHz
Largura de Banda	60 MHz	26 MHz / 30 MHz	21 MHz / 21 MHz
Perda de Retorno	-47 dB	-30,05 dB / -14,8 dB	-32,81 dB / -12,5 dB
Fator de Compressão (%)	—	33,9	42

Desse resultado preliminar, se pode observar uma redução considerável na frequência de ressonância as antenas M1 e M2 quando comparado ao *patch* retangular (A0). Essa redução na frequência de ressonância para a antena M1 é responsável por uma redução em sua dimensão de aproximadamente 33,9% na sua área, quando uma vez re-projetada para a frequência de 2,45 GHz. Por sua vez, a antena *patch* M2 apresentou uma frequência de ressonância ainda menor, o que caracteriza uma redução de aproximadamente 42% em relação à antena A0 quando a mesma for re-projetada para opera na frequência de 2,45 GHz.

A Figura 6 apresenta as curvas obtidas com os valores simulados da frequência de ressonância em função das dimensões de cada antena e do nível do contorno fractal Minkowski. Os resultados medidos também são sobrepostos a estas curvas. A boa concordância entre os resultados simulados e medidos apontam para a validação da metodologia de projeto/otimização utilizada, bem como, dos procedimentos experimentais realizados durante a medição das antenas. Com o resultado esboçado na curva, percebe-se claramente que para uma mesma frequência de ressonância a antena *patch* M2 apresentou as menores dimensões. Após uma série de simulações os protótipos das respectivas antenas projetadas foram construídos com a finalidade de

validar os resultados simulados. O equipamento utilizado nas medições foi o analisador de rede vetorial modelo N5230A.

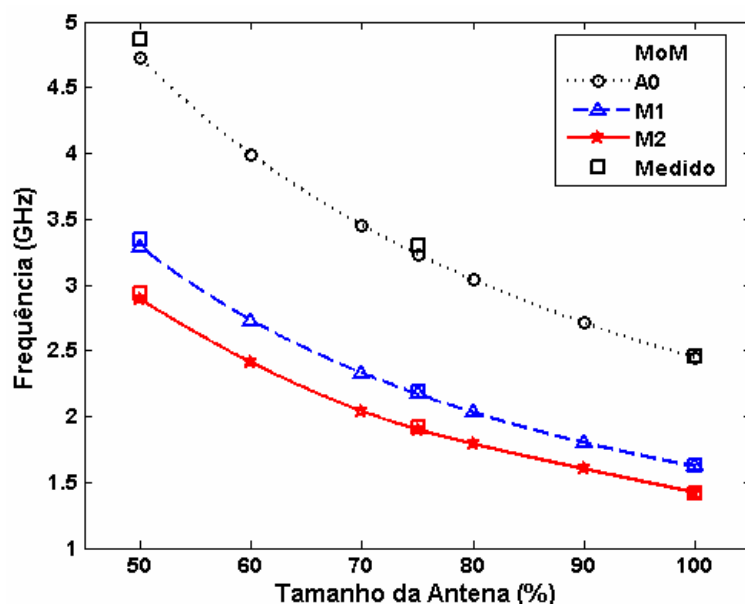


Figura 6 – Frequência de ressonância em função das dimensões das antenas

As Figuras 7, 8 e 9 ilustram respectivamente um comparativo entre simulação e medição para as antenas analisadas, em que se observa uma boa concordância entre os resultados. Esses resultados se encontram resumidos na Tabela 2.

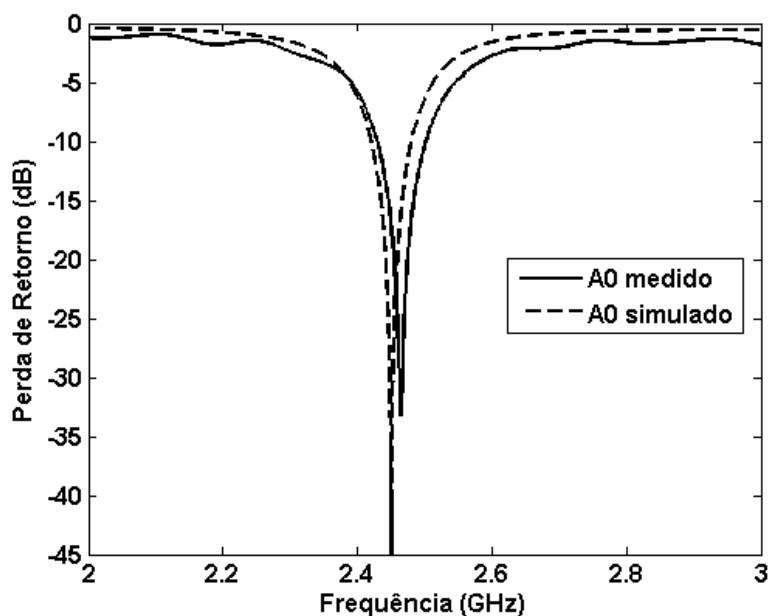


Figura 7 – Comparação entre simulação e medição para a antena A0

Tabela 2 – Resultados medidos para as antenas projetadas

Antenas	A0	M1	M2
Frequência de Ressonância	2,46 GHz	1,62 GHz / 1,96 GHz	1,42 GHz / 1,79 GHz
Largura de Banda	76 MHz	26 MHz / 35 MHz	23 MHz / 30 MHz

Perda de Retorno	-33 dB	-54,6 dB / -17,3 dB	-43 dB / -15,8 dB
Fator de Compressão (%)	—	33,9	42

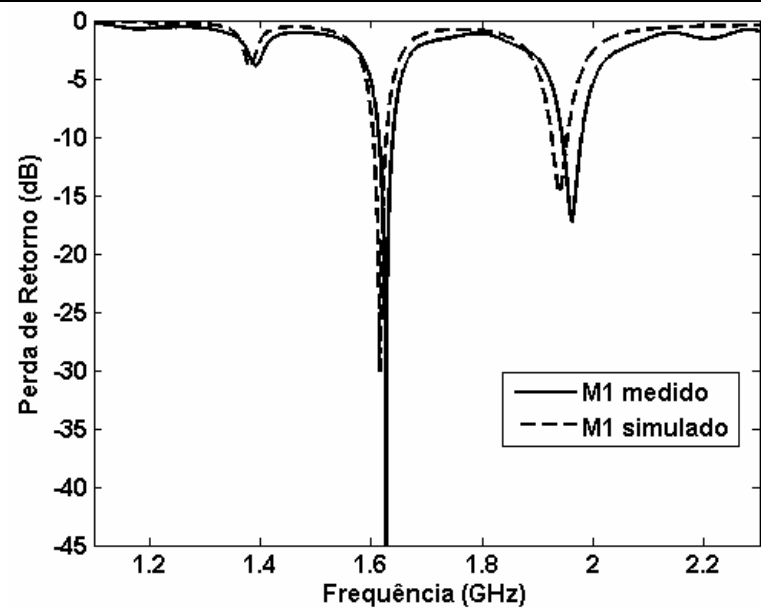


Figura 8 – Comparação entre simulação e medição para a antena M1

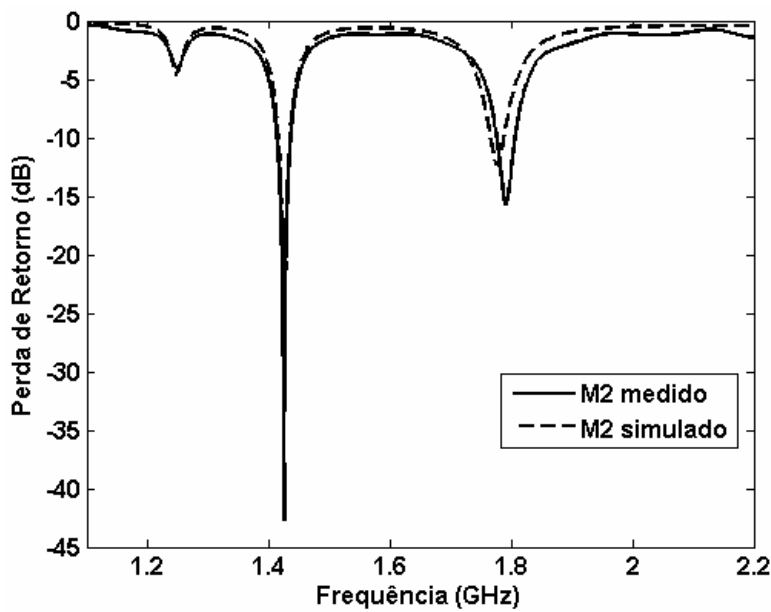


Figura 9 – Comparação entre simulação e medição para a antena M2

A Figura 10 ilustra os resultados simulados do diagrama de radiação 3D e da distribuição de corrente no *patch* irradiante para as antenas analisadas. Observa-se um diagrama de radiação semelhante ao de uma antena *patch* retangular convencional, em que o máximo da radiação no campo distante ocorre na direção perpendicular ao elemento radiante (*broadside*).

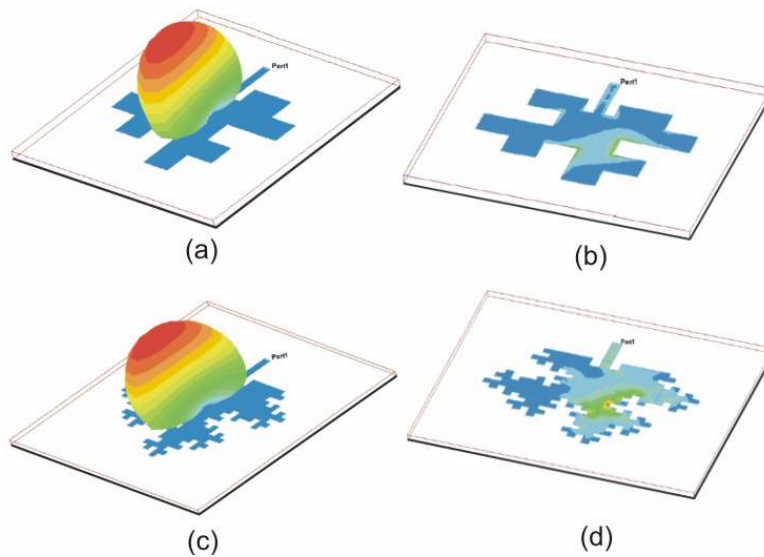


Figura 10 – (a) e (c) Diagrama de radiação 3D para as antenas M1 e M2; (b) e (d) Distribuição de corrente no patch irradiante

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho a curva fractal de Minkowski foi utilizada no projeto de antenas *patches* fractais com a finalidade reduzir suas dimensões sem no entanto degradar sua performance. Foi demonstrado que o uso dessa curva possibilitou uma redução considerável nas dimensões da antena, obtendo-se uma redução de até 42% quando comparado a um *patch* retangular (A0) operando em 2,45 GHz. Essas dimensões reduzidas mostram que as antenas fractais podem ser uma boa escolha para aplicações em dispositivos que requeiram baixo perfil. Entretanto, a redução das dimensões produziu uma redução na largura de banda, o que não é desejável. Houve boa concordância entre os resultados simulados e os medidos. Para trabalhos futuros, pretende-se investigar a redução das dimensões sem diminuir o desempenho das antenas, visando sua aplicação em sistemas *wireless*.

REFERÊNCIAS

- BALANIS, C. A. **Antenna Theory-analysis and Design**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- MANDELBROT, B. B. **Objetos Fractais: forma, acaso e dimensão**, Lisboa: Gradiva Publicações, 1991.
- COHEN, N. **Fractal Antenna Applications in Wireless Telecommunications**. Proceedings of Electronics Industries Forum of New England, p. 43-49, 1997.
- DESCHAMPS, G. A., **Microstrip Microwave Antennas**. In: III USAF Symposium on Antennas, 1953.
- HANSEN, R C. **Fundamental Limitations in Antennas**. Proceedings of IEEE, Vol. 69, No. 2, 1981.
- HARRINGTON, R. F. **Effect of antenna size on gain, bandwidth and efficiency**. J. Res. Nat. Bureau Standards-D, Radio Propagation, Vol. 64D, p. 1-12, 1960.
- LIEBENDORFER, M. and DERSCH, U. **Wireless LAN diversity antenna system for PCMCIA card integration**, IEEE Vehicle Technology Conference, p. 2022-2026, 1997.
- LO, T. K. HO, C. HWANG, Y. LAM E. and LEE, B. **Miniature aperture-coupled microstrip antenna of very high permittivity**. Electronic Letters, Vol.33, No. 1, p. 9-10, 1997.
- PUENTE, C. ROMEU, J. POUS, R. CARDAMA, A. **On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 46, No. 4, p. 517-524, 1998.