

Antena de Microfita Invertida por um Sobrestrato Caracterizado por uma Estrutura Fotônica

José Felipe Almeida e Carlos Leonidas da S. S. Sobrinho

Resumo—Este trabalho analisa uma antena de microfita invertida, por uma estrutura fotônica, sobre seu substrato homogêneo. Usando-se um fino substrato, os resultados mostram que esse tipo de antena opera com 100% de eficiência de impedância casada, porém em faixa estreita. Um aumento na largura de banda é obtido, quando um substrato mais espesso é analisado. Essa abordagem é feita por FDTD.

Palavras-Chave—Antena de microfita invertida, estrutura fotônica, largura de banda, método FDTD.

Abstract—This work analyzes an inverted microstrip antenna, using a photonic structure on its homogeneous substrate. When is used a thin substrate, the results show that antenna type operates with 100% of efficiency due to impedance matched, however inside a narrow bandwidth. An increase in the bandwidth is obtained by using a thicker substrate. This analysis is implemented by the FDTD method.

Index Terms—Bandwidth, Inverted microstrip antenna, photonic structure, FDTD method.

I. INTRODUÇÃO

As MSA (*microstrip/stripline antennas*) desempenham um importante papel na tecnologia moderna de antenas. Na telefonia celular, esse tipo de antena pode ser usado na forma invertida-F [1], a qual opera em dupla frequência. Nesse caso, o aumento da largura de banda em sua frequência de operação, é de fundamental importância. Por outro lado, em atividade num sistema de *arrays*, a antena *patch* opera ao mesmo tempo como sendo elemento irradiador e ressoador do oscilador integrado [2]. Para este uso, os harmônicos fora da faixa de frequências de interesse podem causar sérios problemas ao sistema irradiador.

Tanto em modo de transmissão como de recepção, o substrato dessas antenas tem importante contribuição para o seu desempenho. O desempenho dessas antenas também está relacionado com os modos que se propagam no seu interior. Devido às características dielétricas dos substratos, estas ondas ficam submetidas a efeitos de reflexão e refração. Quando usada como transmissor apenas uma parte dessas ondas é emitida, a outra parte fica armazenada na antena, devido à mudança entre meios caracterizados por diferentes índices de refração [3]. Por causa dessa estocagem de energia generalizada a todas as frequências, esse processo gera ondas de superfície sobre o seu plano de terra. Como resultado, quando estes efeitos não são levados em conta, essas antenas possuem uma faixa estreita de operação – em torno de 1% [4]. Além disto, quando os modos de ordem superior estão presentes estes também cumprirão a mesma tarefa, resultando em acoplamentos de campos com outros dispositivos que – como no caso de um conjunto dessas antenas – participam do mesmo substrato.

Várias técnicas têm sido empregadas para solucionar o problema da largura de banda [5], em uma MSA. Aumentando a espessura do substrato teoricamente se poderia resolver essa questão, porém, isso implica em baixa eficiência de operação dessas antenas [6]. Uma forma de melhorar esse tipo de eficiência – relacionada com o casamento de impedância – é manter um fino ($h/\lambda_0 < 0.01$) substrato dielétrico e baixa permissividade. Por outro lado, com esse método, a largura de banda obtida é reduzida e a antena opera em torno de apenas 4% dentro da faixa [7].

Na última década, as estruturas fotônicas (PBG (*photonic band gap*)) foram desenvolvidas para serem empregadas na faixa de microondas [8]. A idéia dessa utilização é uma analogia ao regime de propagação de ondas eletromagnéticas na faixa óptica. O uso desse tipo de estrutura, em antenas do tipo MSA, leva a alguns comprometimentos em relação ao volume total da antena. Porém, dependendo do interesse, a geometria de um arranjo PBG associada à estrutura homogênea dessas antenas, resulta em eliminar os modos de propagação indesejáveis e, com isto, dar melhor eficiência a uma determinada faixa de frequência de ressonância. Muitos trabalhos, que utilizam a teoria de bandas fotônicas (PBG) têm sido publicados com a finalidade de obter um aumento da largura de banda [9-11]. As mesmas características, também têm sido analisadas utilizando FSS [12-14].

Este trabalho apresenta uma análise pelo método FDTD de

J. F. Almeida, Instituto de Estudos Superiores da Amazônia-IESAM, Belém do Pará, Brasil, E-mail: jfelipe@ufpa.br

C. L. da S.S. Sobrinho, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação/PPGEE-UFPa, E-mail: leonidas@ufpa.br,

Este trabalho foi financiado pelo CNPq com a participação da Ericsson do Brasil e Amazônia Celular.

uma estrutura periódica em uma MSA. Os procedimentos para esta abordagem levam em conta a espessura do substrato. A validação dos resultados é obtida, em parte, por comparação com os dados medidos da antenna convencional utilizada [15].

II. MODELAGEM DE UMA MSA INVERTIDA POR PBG

Neste trabalho, é analisado o efeito sobre as frequências de ressonância de uma MSA, alimentada por uma linha de fita, devido à presença de uma estrutura periódica caracterizada por PBG. Essa antenna foi projetada usando-se a forma invertida por esse material sobre sua estrutura dielétrica homogênea. A forma convencional da antenna, tomada como referência (Fig. 1(a)), traz um substrato homogêneo de permissividade relativa $\epsilon_r=2,2$. O sobrestrato PBG é feito desse mesmo material, porém no seu interior são incluídos elementos de alta permissividade elétrica ($\epsilon_r=10,2$), usando-se blocos cilíndricos de base circular. Estes blocos são dispostos em forma de uma rede PBG (na forma de uma rede Cristalina) arrumados de tal maneira que são usados apenas dois planos paralelos de simetria dispostos nos arredores acima do *patch*. (Fig. 1(b)). Desse modo, a profundidade de tal estrutura é feita variar e os efeitos sobre a largura de banda da antenna são investigados em termos do parâmetro de espalhamento S.

A. Dimensionamento da MSA

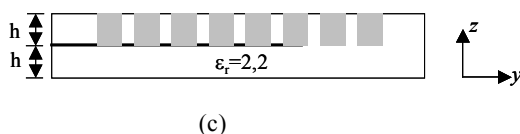
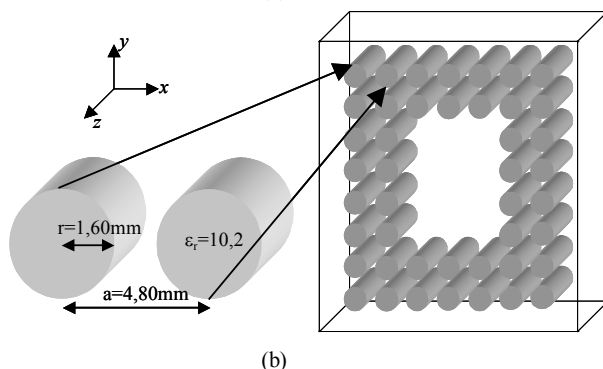
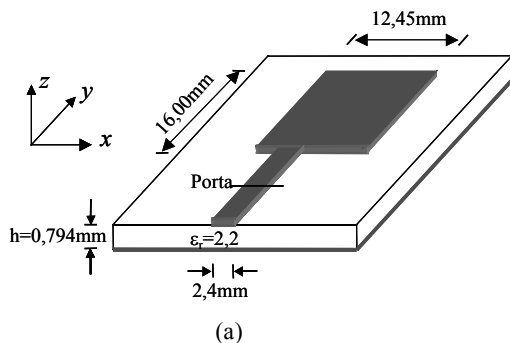


Fig. 1. a) MSA usada como referência [15]; b) e c) Geometria da estrutura fotônica utilizada como sobrestrato da MSA invertida.

O modelo, de uma MSA [15], usado como referência neste trabalho, está mostrado na Fig.1(a). Esta antenna é modelada com um sobrestrato PBG (Fig.1(c)) cujas dimensões de seus elementos, constante de rede, geometria de seus planos de simetria e valores elétricos estão mostrados na Fig.1(b). Os valores requeridos para os incrementos espaciais foram $\Delta x=0,20\text{mm}$, $\Delta y=0,20\text{mm}$ e $\Delta z=0,1588\text{mm}$. Dessa forma, as dimensões do patch da antenna são projetadas para serem $64\Delta x$ por $80\Delta y$. A espessura do substrato da antenna de referência é igual a $h_0 = 5\Delta z$. Para essas simulações usou-se esse valor de h_0 , no primeiro caso, e $h = 10\Delta z$ para o outro. Em todos os casos analisados, a largura da linha de alimentação foi mantida com $12\Delta x = 2,4\text{mm}$. Deve-se observar que o valor da impedância característica de uma linha de fita depende da espessura de seu substrato, assim, quando esta espessura é igual a h_0 tem-se 50Ω e 78Ω quando h for usado. A espessura da sobrecamada PBG será indicada em cada simulação. Neste trabalho, o comprimento da linha de alimentação, no interior da região de análise, foi de $30\Delta y$. A porta elétrica (Fig.1(a)), para o cálculo do coeficiente de perdas por reflexão ($|S_{11}|$), ficou localizada a $10\Delta x$ do *patch* da antenna. O raio de cada um dos blocos, da estrutura PBG (Fig. 1(b)), e a constante de rede foram feitos iguais a $r = 1,60\text{mm}$ e $a = 4,80\text{mm}$, respectivamente. Em todos os casos, esses blocos foram afastados do *patch* por $8\Delta x$ ao longo da direção do eixo-x e por $12\Delta y$ ao longo direção do eixo-y.

B. Medidas Utilizadas

Os resultados obtidos, neste trabalho, levam em conta valores de medidas que estabelecem a validade do uso do método FD-TD. Assim, com o intuito de manter a condição de Courant, para a discretização temporal, foi usado $\Delta t=0,43691\text{ps}$. Para a fonte de excitação foi considerado um pulso Gaussiano cuja largura de Banda foi mantida em 22,00 GHz com duração de $T=22,0\text{ns}$. Em todos os casos analisados, 10452 passos no tempo foram necessários para obter o estado estacionário.

C. ABCs

As condições de fronteiras absorventes (ABCs), utilizadas neste trabalho, foram implementadas através da técnica conhecida como UPML [16]. Sua implementação foi feita usando-se coordenadas retangulares. Usaram-se 10 camadas e seus parâmetros restantes foram ajustados da mesma maneira como se encontra em [17], para análise da MSA convencional [15]. Esta técnica de simulação de fronteiras absorventes é uma das mais precisas para as aplicações em problemas de eletrodinâmica usando o método FDTD [18].

III. RESULTADOS NUMÉRICOS

Com o intuito de validar o desempenho do código computacional fez-se a comparação com os resultados obtidos por experimento em [15]. Esta comparação está mostrada na Fig. 2, em termos do coeficiente de reflexão $|S_{11}|$, medido em decibéis.

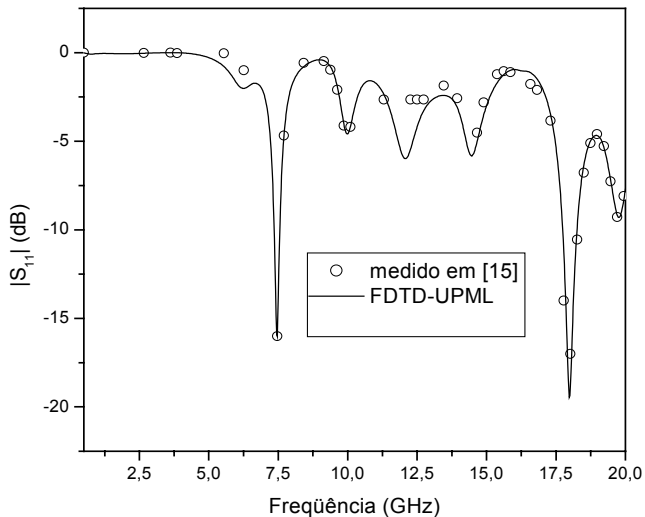


Fig.2 – Comparação entre as perdas de retorno da antena de microfita simulada e medida experimentalmente em [15], após 10452 iterações, em função da frequência.

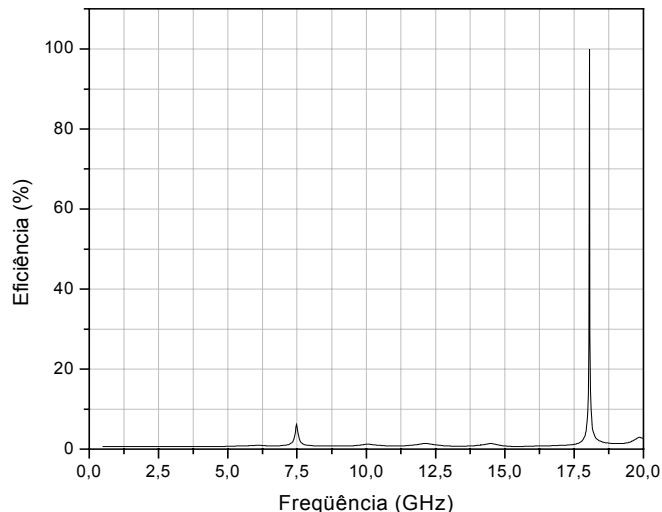


Fig.4 – Eficiência da antena de microfita da Fig.1(a) utilizando como sobrecamada a estrutura PBG da Fig.1(b).

Na Fig.4 é mostrado o gráfico de eficiência da antena de microfita invertida em valores quantitativos. A partir desse resultado, observa-se que a fina camada de substrato utilizado impede que haja qualquer aumento na largura da faixa de operação dessa antena. Esse efeito já é bastante conhecido na literatura, para o caso das antenas convencionais. É observado ainda neste gráfico que esse modelo produz um largo *stopband* nas baixas frequências da antena.

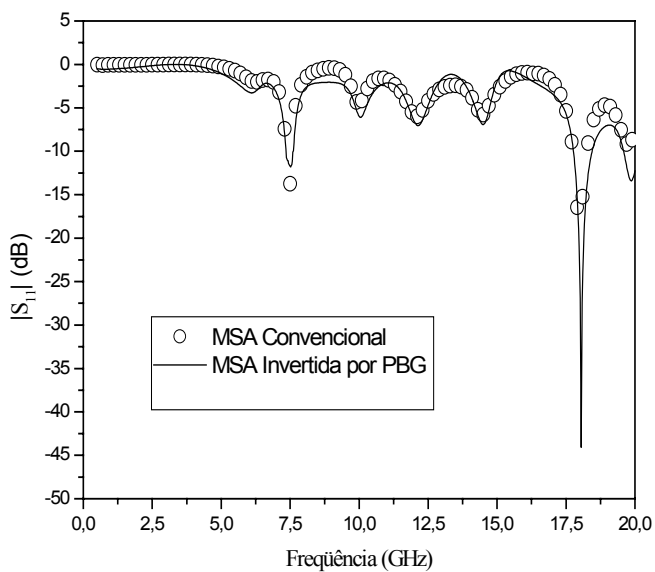


Fig.3 – Comparação entre as perdas de retorno da antena convencional [15] com a mesma antena sendo invertida por um sobrestrato com PBG.

No gráfico da Fig.3, é mostrado um gráfico comparativo, obtido por simulação, entre as perdas de retorno da antena de microfita convencional com a mesma antena, agora invertida por PBG sobre seu substrato homogêneo. A espessura do sobrestrato PBG é a mesma que a da estrutura homogênea mantida abaixo do *patch* ($h_0=0,794$ mm). Embora não se tenham as medidas experimentais desta antena (invertida por PBG usando um fino substrato), os resultados obtidos por simulação mostram que quando construídas dessa forma essas antenas podem operar com 100% de eficiência (relacionada com o casamento de impedância) em frequências (no caso 18,00 GHz (Fig.4)) mais altas.

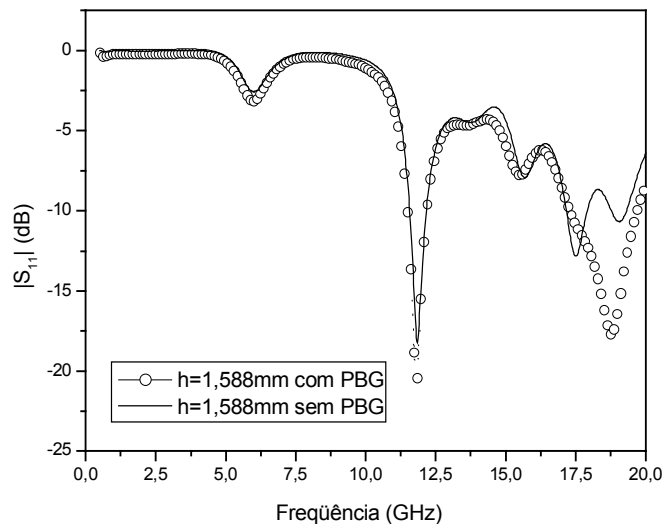


Fig.5 – Comparação entre as perdas de retorno das antenas, com e sem PBG, na qual a espessura do substrato vale $h = 1,588$ mm.

Para obter a Fig.5 a espessura ($h = 1,588$ mm) do substrato das antenas, com e sem PBG, foram aumentadas até o dobro de seu valor usado na análise anterior ($h = 2 h_0$). A espessura da sobrecamada PBG foi simulada com um valor igual a $2h/3$. Com essa mudança foram comparados os efeitos sobre os modos de propagação no interior da antena devido à presença do sobrestrato PBG. Esse aumento de espessura influencia diretamente na largura de banda da antena que, no caso da

antena sem PBG, fica comprometida devido às acentuadas reflexões provenientes de toda a estrutura. Isso é causado pelo fato de que num substrato mais espesso as ondas de superfície são evidenciadas pela refração. Entretanto, com essa maneira de abordar esse tipo de problema, essas antenas têm seu volume aumentado – tornando-se inviável para determinadas aplicações. De certa forma, esse aumento no volume total, desse tipo de dispositivo, é compensado pelo aumento de sua largura de banda, quando um sobrestrato PBG é usado.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi proposta uma MSA invertida por PBG. Dessa forma, uma sobrecamada PBG foi modelada com a mesma espessura do substrato da antena, no primeiro caso e com 2/3 desse valor no segundo. A partir dos resultados obtidos, fez-se uma comparação entre o desempenho da antena, em cada situação, e se verificou o aumento ou a diminuição da sua largura de banda, assim como da sua eficiência relacionada com o casamento de impedância. Embora seja bem conhecido que o aumento da espessura do substrato eleva o volume deste tipo de antena, isso foi feito aqui com o propósito de evidenciar as ondas de superfície. Por outro lado, esse aumento de espessura foi compensado pela diminuição nas dimensões laterais de todo o dispositivo, pois foram usados apenas dois planos paralelos com simetria PBG. Foi observado que para os primeiros modos de irradiação esse dimensionamento exerce pouca influência sobre a operação da antena. Mostrou-se que para a antena invertida que opera usando um fino substrato é obtido uma melhor eficiência, porém operando dentro de uma faixa estreita de frequências. Além do quê, para essa antena é mostrado um largo *stopBand*, nas suas frequências mais baixas. Mostrou-se ainda o caso de uma condição de aumento de largura de banda, para essa antena, quando a sua estrutura dielétrica interna é mais espessa. Por fim, vale ressaltar a indiscutível potencialidade que o método FD-TD oferece para esse tipo de estudo. O qual foi complementado com o uso da técnica de truncagem da região de análise conhecida como UPML. Ainda, como recurso, utilizou-se o processamento paralelo na execução do programa. O código computacional aqui desenvolvido foi escrito em linguagem FORTRAN e rodou em um *Cluster* com arquitetura *Beowulf* composto de oito nós, sendo gerenciado pelo gerenciador de nós MPI para Linux. Com esse aparato, o tempo de execução para esse tipo de problema foi de aproximadamente 25 minutos. Observou-se ainda que o *Speedup*, relativo ao tempo de processamento, estabiliza-se com a utilização de 6 máquinas.

V. REFERÊNCIAS

- [1] M. S. Tong, M. Yang, Y. Chen, and R. Mittra, "Finite-Difference Time-Domain Analysis of a Stacked Dual-Frequency Microstrip Planar Inverted-F Antenna for Mobile Telephone Handsets," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 49, pp. 367-375, Mar. 2001
- [2] L. C. Kretly, and A. Tavora, "A PBG-Photonic Band Gap-Static Phase-Shifter for Steerable Antenna Array," Int. Microwave and Optoelectronics Conf., Brazil, 2003.
- [3] H. Mosallael, and Y. Rahmat-Samii, "Photonic-Band Gap (PBG) versus Effective Index: A Case Study of Dielectric Nanocavities," *IEEE Press*, 2000.
- [4] D. M. Pozar, and D. H. Schaubert, *Microstrip Antennas*. Piscataway: *IEEE Press*, 1995.
- [5] C. L. Mak, K. M. Luk, K.F. Lee, and Y. L. Chow, "Experimental Study of a Microstrip Patch Antenna with an L-Shaped Probe," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, pp. 777-783, May 2000.
- [6] E. Chang, S. A. Long, and W. F. Richards, "Experimental Investigation of Electrically Thick Rectangular Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, pp. 767-772, 1986.
- [7] G. A. E. Vandenbosch and A. R. Van De Capelle, "Study of the Capacitively Fed Microstrip Antenna Element," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, pp.1648-1652, 1994.
- [8] E. Yablonovitch, "Photonic band-gap structures," *J. Opt. Soc. Amer B*, vol. 10, pp. 283-294, 1993.
- [9] D. Sievenpiper, L. Zang, R. F. J. Broas, N. G. Alexopoulos, and E. Yablonovitch, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp 1509-1514, 1999.
- [10] Y. Qian, R. Coccioli, D. Sievenpiper, V. Radisic, E. Yablonovitch, T Itoh, "Microstrip Patch Antenna Using Novel PBG Structures," *Microwave Journal*, vol. 42, pp. 66-76, 1999.
- [11] K. Agi, M. Mojahedi, B. Minhas, E. Schamiloglu, and K. J. Malloy, "The Effects of na Electromagnetic Cristal Substrate on a Microstrip Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 50, pp. 455-456, 2002.
- [12] Y. Horii, and M. Tsutsumi, "Harmonic Control by Photonic Bangap on Microstrip patch Antenna," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 9, pp. 13-15, 1999.
- [13] F. Yang, Y Qian, and T. Itoh. "A Novel Uiplanar Compact PBG Structure for Filter and Mixer Applications," *IEEE MTTT-S Dig.*, WE1C-6, pp. 919-922, 1999.
- [14] T. Kim, C. Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter of Wide Stopband," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, pp. 13-15, Jan. 2000.
- [15] D. M. Sheen, S. M. Ali, M. D. Abouzahra, "Application of Three-Dimensional Finite Difference Time Domain Method to the Analysis of Planar Microstrip Circuits," *IEEE, Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-38, pp.849-857, July 1990.
- [16] S. D. Gedney, "An Anisotropic Perfectly Matched Layer-Absorbing Medium for the Truncation of FDTD Lattices," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 1631-1639, Dec. 1996.
- [17] A. Taflove, *Finite Difference Time Domain Methods for eletrodynamic Analysis*. New York: Artech, 2000.
- [18] J. F. Almeida, R. O. Santos, C. L. da S. S. Sobrinho, J. S. Aratijo, "Efeito da Posição da Linha de Alimentação sobre a Impedância de uma Antena de Microfita Usando o Método FDTD com Processamento Paralelo," V CBMag/2002, Gramado-RS, Nov. 2002.