

O uso do método FDTD na análise das características de irradiação de antena corneta bidimensional – Plano-H com lentes dielétricas.

Ronaldo O. dos Santos e Carlos L. da S.S. Sobrinho
Universidade Federal do Pará (UFPA), DEE, CEP: 66075-900, Belém, PA

Resumo — O método FDTD é usado na análise das características de irradiação de antena corneta bidimensional, setorial plano-H e modo TM, com lentes dielétricas. Os materiais dielétricos utilizados foram escolhidos de forma a terem baixa constante dielétrica, para que pequenas reflexões ocorram na interface ar-dielétrico. Mesmo usando-se materiais de baixa constante dielétrica, observou-se consideráveis mudanças na amplitude e fase dos campos irradiados.

Palavras chaves — Método FDTD, antenas cornetas, lentes dielétricas.

I- INTRODUÇÃO

O método das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) foi introduzido por Yee em 1966 [1], e representa uma forma simples e eficiente de resolver as equações de Maxwell quando escritas na forma diferencial-domínio do tempo. Na proposta de Yee, as componentes do campo elétrico e magnético são intercaladas no espaço e no tempo, de tal maneira que haja reciprocidade entre elas. Nos últimos anos tem havido um aumento cada vez maior do número de usuários deste método graças a redução dos custos de sua implementação, o que pode ser atribuído ao surgimento de novas gerações de computadores e do desenvolvimento de novas técnicas numéricas que possibilitaram o uso do método FDTD para modelar estruturas abertas [2]-[8]. O método FDTD tem sido usado na caracterização de antena corneta [9-11]. Em [9] e [10], o método FDTD é usado para determinar a distribuição de campo (fase e amplitude) na abertura da corneta assim como o diagrama de irradiação, para os casos bidimensional e tridimensional, respectivamente e, em [11], o método (stepped-edge) é introduzido e aplicado no cálculo do diagrama de irradiação de várias antenas de abertura. O uso de lentes dielétricas para corrigir a distribuição de fase e/ou da potência na abertura de antena corneta é bastante comum e, em [12], resultados experimentais, para lentes triangulares, têm sido apresentados, considerando-se lentes com baixo índice de refração. Este trabalho tem como objetivo principal analisar as características de irradiação de antena corneta bidimensional, setorial plano-H, utilizando lentes dielétricas com geometria parabólica como proposta de correção de fase, através do método FDTD.

II- TEORIA

Na Fig.1 mostra-se a seção transversal do modelo bidimensional, para a corneta setorial plano-H, a ser analisada neste trabalho.

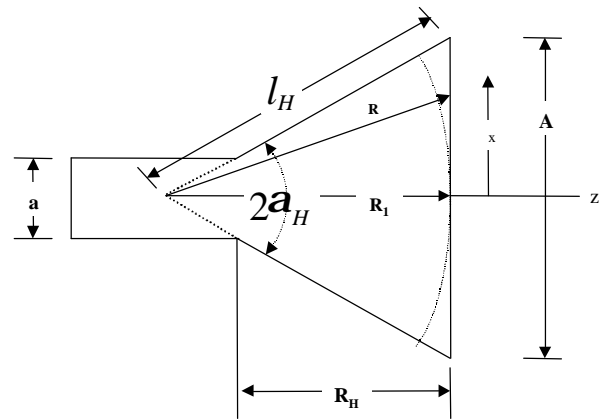


Fig. 1. Antena corneta setorial plano-H.

Para o projeto da corneta, utilizou-se $R_1 = 8\lambda$ e $A = 4\lambda$. Em nossa análise somente o modo TM é considerado, de forma que o problema se reduz as seguintes componentes (H_x , H_y) para o campo magnético e (E_z) para o campo elétrico, as quais são expressas (obtidas das equações de Maxwell) por:

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = -\frac{1}{m} \frac{\partial E_z}{\partial y}, \quad \frac{\partial H_y}{\partial t} = -\frac{1}{m} \frac{\partial E_z}{\partial x},$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{e} \left(\frac{\partial H_x}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial x} \right) \quad (1)$$

As equações acima são, então, resolvidas numericamente mediante o método FDTD [1]. Na discretização da região de interesse utilizou-se uma malha uniforme bidimensional com células de dimensões no espaço $\lambda/20$ por $\lambda/20$ e no tempo $\Delta t \leq \Delta x / 2c$ obedecendo o critério de estabilidade sugerido por Courant et al.[13], na frequência central (f_c). Como função de excitação usou-se o pulso gaussiano modulado em seno, expresso por:

$$f(t) = 1,484 \exp[(t - 3\tau_0) / \tau_0]^2 \sin[2\pi f_c t],$$

onde

$\tau_0 = [\pi(f_h - f_c)]^{-1}$, $f_h = 15 \text{ GHz}$, $f_c = 10 \text{ GHz}$, $\Delta t = \lambda / (40.c)$, $c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$, com $t = n \cdot \Delta t$. Sendo, esta fonte, posicionada à $\lambda/4$ da parte traseira do guia.

Com o objetivo de truncar a malha FDTD (Fig.2), optou-se pela técnica da PML anisotrópica uniaxial desenvolvida por S.D. Gedney [14], pelo fato da mesma mostrar-se mais eficiente, sob o aspecto computacional, que a PML de Berenger [8]. Na Fig. 2 mostra-se os detalhes do posicionamento de todos os elementos considerados em nossa análise. Aqui, as distâncias são espessas em número de células, onde i e j representam o número de células na direção x e y , respectivamente. A superfície (S) de transformação de campo próximo para campo distante é definida pelos planos $Ia1=37$; $Ia2=273$; $Jb1=37$; e $Jb2=211$. A fonte de excitação se encontra na posição $i=IL=47$. O parâmetro $A = 80$ (4λ) representa a largura da abertura da corneta. O guia de onda possui comprimento $Ic2-Ic1 = 2\lambda$ e altura $Jc2-Jc1 = \lambda/2$. O parâmetro $i=IA = 221$ indica a posição da boca da corneta. Utilizou-se uma região de 20 células, em torno da região de análise, como PML.

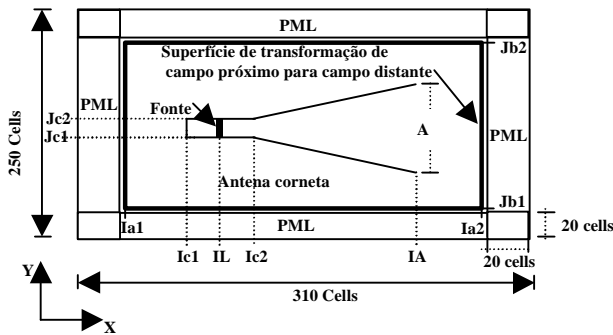


Fig. 2. Zona do grid FDTD.

A. Transformação – Campo próximo para campo distante

Para obtenção do campo distante uma superfície fictícia S (superfície formada pela linha mais grossa da Fig. 2) é definida de forma a envolver a antena na região de campo denominado de região de campo espalhado. Sobre S , as componentes tangenciais dos campos elétrico (E^s) e magnético (H^s) espalhados são inicialmente obtidos usando-se o método FDTD. Utilizando a transformada de Fourier obtém-se estas componentes tangenciais no domínio da frequência. Após o que, um problema equivalente é estabelecido para a região externa à S , onde as densidades de correntes superficiais, elétrica (J_s) e magnética (M_s), são as novas fontes de excitação para encontrar os campos espalhados distantes [9-10].

III- RESULTADOS NUMÉRICOS

A antena corneta como mostra a Fig. 2 Foi primeiramente analisada sem qualquer tipo de lente, observando-se estabilidade após 800 iterações no tempo. A Fig.3 apresenta a variação de fase na abertura da corneta. O atraso de fase ocorrido na sua abertura é de 85° . A amplitude do campo elétrico na abertura da corneta é mostrado na fig. 4. Na fig.5 mostra-se a distribuição do campo elétrico na estrutura para uma dado instante de tempo ($n = 700$). É possível observar, por meio de animação, as múltiplas reflexões das ondas nas paredes da corneta através da função *movie* do software *Matlab*, sendo a fig. 5 apenas um quadro desta animação. Na fig. 6 é mostrado a magnitude do campo elétrico ao longo do contorno de transformação de campo próximo para campo distante. Essa magnitude é calculado após 800 iterações, observando-se maior intensidade de campo na parte frontal da abertura. O diagrama de campo distante para 10 GHz, obtido da transformação de campo próximo para campo distante é mostrado na Fig. 7 com as seguintes características: Largura de feixe de meia potência, $HPBW = 17,54^\circ$ e nível do primeiro lóbulo lateral de -28dB . Este diagrama apresenta boa concordância com aquele apresentado por [9] (solução analítica) para uma parâmetro de erro de fase $t = A^2 / 8IR_1 = 1/4$.

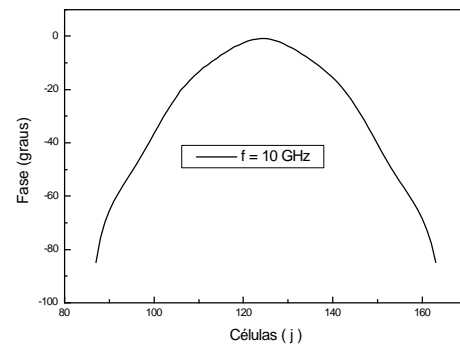


Fig. 3 – Fase Normalizada na abertura da corneta setorial Plano-H

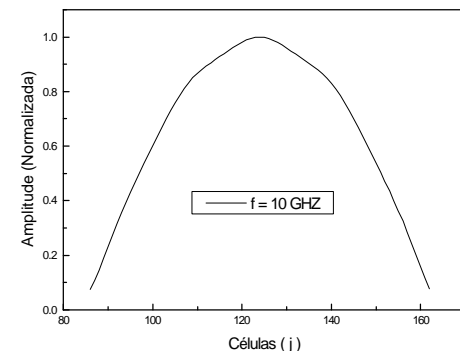


Fig. 4. Amplitude Normalizada na abertura da corneta setorial Plano-H.

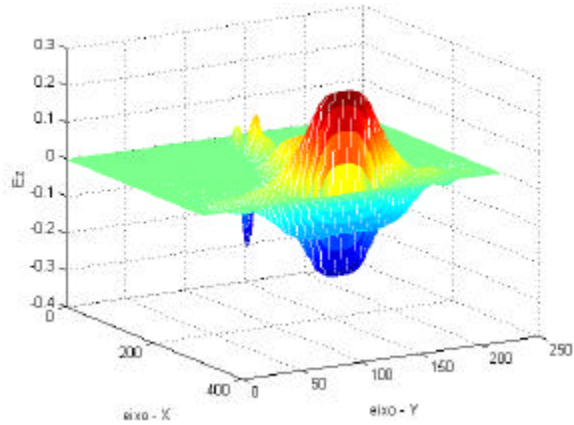


Fig. 5. Variação espacial da onda na corneta. Quadro observado após 700 iterações no tempo.

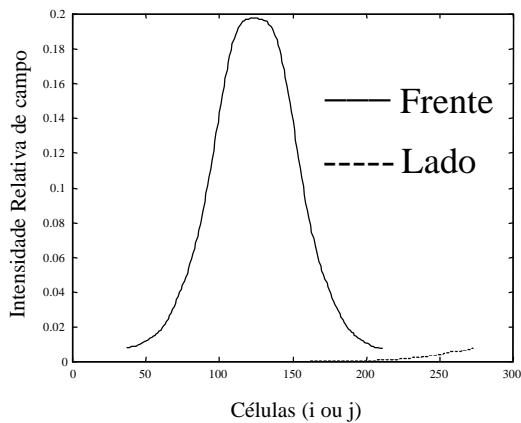


Fig. 6 – Amplitude do campo elétrico na superfície de transformação do campo próximo para o campo distante após 800 iterações.

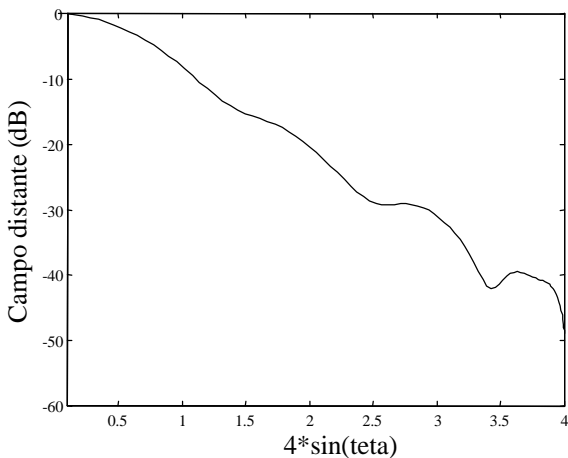


Fig. 7 . Diagrama Retangular da corneta setorial plano H (abertura de 14°).

Com o objetivo de corrigir o atraso de fase que ocorre na abertura da corneta [Fig. 2], é utilizado uma lente dielétrica com geometria parabólica:

A - Lente parabólica.

Deseja-se observar o efeito deste tipo de lente no diagrama de irradiação da corneta [fig. 2], assim como, a distribuição de fase na sua abertura. Para isso, variou-se a posição do vértice da lente de $\lambda/2$ em $\lambda/2$, utilizando-se lente com constante dielétrica de 1,3. Para o diagrama de irradiação, as principais características observadas foram o aumento da largura de meia potência em relação ao da Fig.7 (sem lente), e o aumento da diretividade quando o vértice da lente é deslocado em direção a boca da antena corneta (de $i=150$ até $i=180$).

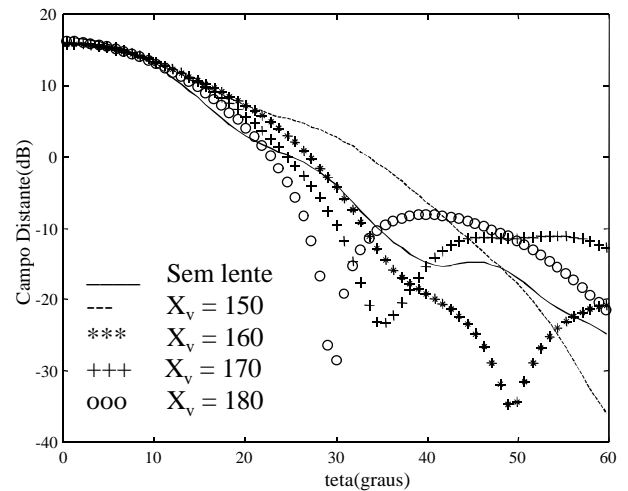


Fig. 8. – Influência da variação da posição do vértice da lente parabólica no campo distante da corneta setorial plano-H.

Na Fig. 9 é observado a distribuição de fase somente do centro para uma das bordas da corneta. Como pode-se observar nesta figura, não se consegue uma boa correção de fase próximo as bordas da corneta.

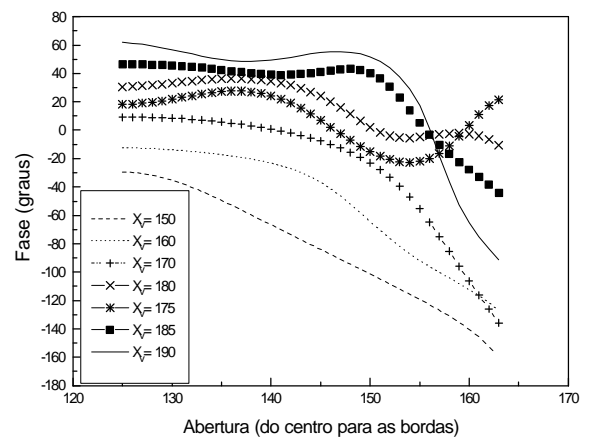


Fig. 9. – Influência da lente dielétrica parabólica na fase de uma corneta setorial plano H, para uma constante dielétrica de 1.3 .

IV- CONCLUSÕES

Lentes dielétricas com geometria parabólica foram utilizadas para a correção de fase na abertura de uma corneta setorial plano-H com ângulo de 14° . O principal efeito dessas lentes no diagrama de irradiação foi o aumento da largura de feixe e da diretividade em relação aos do diagrama original [Fig. 7]. Os materiais utilizados para a construção dessas lentes, aqui analisadas (para uma abertura da corneta de 14°), devem apresentar baixas constantes dielétricas ($\epsilon_r < 1,3$) para evitar perdas no sinal. O uso de lentes hiperbólicas para correção de fase com grandes constantes dielétricas ($\epsilon_r > 1,3$) é utilizado em cornetas cuja o ângulo de abertura é superior à 40° , como pode ser observado em [15].

V – AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio financeiro do CNPq. Os autores desejam também agradecer ao departamento de Engenharia Eletrônica do Queen Mary and Westfield College – University of London, por permitir que utilizássemos toda sua infra-estrutura, onde parte deste trabalho foi desenvolvido.

VI - REFERÊNCIAS

- [1] K.S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-14, pp. 302-307, May 1966.
- [2] B. Engquist and A. Majda, "Radiation boundary conditions for acoustic and elastic wave calculations," *Commun Pure Appl. Math.*, vol. 32, pp. 313-357, 1979.
- [3] G. Mur, "Absorbing boundary conditions for finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic field equation," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-23, pp. 1073-1077, Nov. 1981.
- [4] K.R. Umashankar and A. Taflove, "A novel method to analyze electromagnetic scattering of complex objects," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-24, pp. 397-405, Nov. 1982.
- [5] A. Taflove and K.R. Umashankar, "Radar cross section of general three-dimensional scatterers," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-25, pp. 433-440, Nov. 1983.
- [6] A. Taflove, K.R. Umashankar, and T.G. Jurgens, "Validation of FD-TD modeling of the radar cross section of the three-dimensional structures spanning up to 9 wave wavelengths," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, pp. 662-666, June 1985.
- [7] T.G. Jurgens, A. Taflove, K.R. Umashankar, and T.G. Moore, "Finite-difference time-domain modeling of curved surfaces," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, to appear.

- [8] Berenger, J.P., "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves," *J. Computational Physics*, vol. 114, 1994, pp. 185-200.
- [9] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed., John Wiley, New York, 1998.
- [10] A. Taflove, *Advances in Computational Electromagnetics – The Finite-Difference Time-Domain Method*, Artech House, Boston-London, 1998.
- [11] D.S. Katz, M.J. Picket-May, A. Taflove, and K.R. Umashankar, "FDTD Analysis of Electromagnetic Wave Radiation from Systems Containing Horn Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, NO. 8, Aug. 1991.
- [12] L.L. Oh, S.Y. Peng, and C.D. Lunden, "Effects of Dielectrics on the Radiation Patterns of an Electromagnetic Horn," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, July, 1970.
- [13] E. Isaacson and H.B. Keller, *Analysis of Numerical Methods*, Wiley, New York, 1967
- [14] S.D. Gedney, "An Anisotropic Perfectly Matched Layer-Absorbing Medium for the Truncation of FDTD Lattices," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-44, No. 12, pp. 1630-1639, Dec. 1996.
- [15] R.E. Collin and F.J. Zucker, *Antenna Theory*, part 1, McGraw – Hill, New York, 1969.