

Verificação Através de Simulação no CST da Regra de Mudança de Escala para Nanoantenas Cilíndricas

Elielton C. Frazão e Karlo Q. da Costa

Resumo—Este artigo apresenta uma verificação da regra de mudança de escala do comprimento de onda efetivo de nanoantenas cilíndricas, através de simulações utilizando o software CST Studio. Serão consideradas nanobarras cilíndrica de 50 à 300 nm de comprimento e 5 à 20 nm de raio. Os resultados serão comparados com um modelo analítico aproximado disponível na literatura.

Palavras-Chave—Nanoantena, CST Studio, nanobarra.

Abstract—This paper presents the verification of the rule effective wavelength scaling for cylindrical nanoantennas, through simulation using the software CST Studio. Will be considered cylindrical nanorods from 50 to 300 nm long and 5 to 20 nm radius. The results will be compared with an approximate analytical model available in literature.

Keywords—Nanoantenna, CST Studio, nanorods.

I. INTRODUÇÃO

A plasmônica ou nanoplasmônica, ramo da ciência que estuda a interação da luz em nanoestruturas metálicas, está em crescente desenvolvimento e as nanopartículas de metais nobres estão sendo largamente estudadas, sobretudo a sua resposta ótica a incidência de ondas eletromagnéticas em frequências elevadas. Estas produzem um campo eletromagnético intenso na superfície do metal provocando o aparecimento de frequências ressonantes, cuja característica das oscilações dependem das condições envolvidas, tais como dimensões e propriedades elétricas do metal, bem como a forma da onda incidente. As futuras aplicações dessas estruturas é o que está despertando grande interesse no seu estudo, visto ser possível sua utilização em diversas áreas da atividade humana, como a medicina, informática, armazenamento de dados, comunicações óticas, etc [1]-[2].

Estas estruturas atuam como antenas, que são equipamentos que transmitem e recebem ondas eletromagnéticas; e uma nanoantena é uma estrutura metálica construída na escala nanométrica, que transmite, recebe, confina e amplifica a luz [2]-[3]. Em [1] temos exemplos teóricos e práticos de monopólos e arranjos de monopólos. Em [2]-[3] são apresentadas antenas formadas por esferas metálicas. Em [4] temos exemplos de nanoantenas usadas para amplificação e confinamento do campo próximo. Em [5] é apresentada uma antena monopolo e em [6] são apresentadas diversas geometrias para uma antena dipolo.

Neste trabalho será analisada, a regra de mudança de escala do comprimento de onda efetivo para nanoantenas cilíndricas, a fim de se verificar o resultado analítico aproximado do modelo descrito em [7]; para isto foram realizadas algumas

simulações com nanoantenas de diferentes comprimentos e raios utilizando o programa CST Studio.

II. ANÁLISE TEÓRICA

O objeto em análise neste artigo é um problema de espalhamento eletromagnético, que consiste na incidência de uma onda plana sobre uma nanobarra de ouro e a posterior análise dos campos irradiados pela nanobarra, conforme mostrado na Fig. 1.

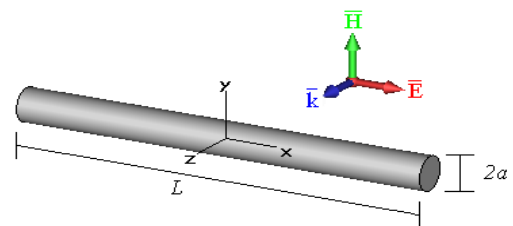


Figura 1 – Geometria do Problema de espalhamento da nanoantena.

Será utilizado o modelo de Drude para a permissividade complexa da barra de ouro, este é dado pela equação (1):

$$\varepsilon'(\lambda) = \varepsilon_{\infty} - \lambda^2 / \lambda_p^2 \quad (1)$$

sendo $\varepsilon_{\infty} = 11$ e λ o comprimento de onda e $\lambda_p = 138\text{nm}$, o comprimento de onda da frequência de plasma. Esta equação pode ser escrita em função de ω_p , ficando na forma:

$$\varepsilon'(\lambda) = \varepsilon_{\infty} - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (2)$$

onde $\omega_p = \frac{2\pi c}{\lambda_p} = 1,3659 \times 10^{16} \text{ rad/s}$.

Com base nos resultados obtidos será realizada uma comparação com o seguinte modelo analítico aproximado obtido em [7].

$$\frac{\lambda_{eff}}{2\pi R} = 13.74 - 0.12[\varepsilon_{\infty} + \varepsilon_s 141.04] / \varepsilon_s - \frac{2}{\pi} + \frac{\lambda}{\lambda_p} 0.12 \sqrt{\varepsilon_{\infty} + \varepsilon_s 141.04} / \varepsilon_s \quad (3)$$

onde $\lambda_{eff} = 2L$, ε_s a permissividade relativa do meio ao redor da barra, que o caso considerado aqui é o ar.

Analisamos nanobarras com comprimento $L = 50, 100, 150, 200, 250$ e 300nm , e raio $a = 5, 10$ e 20nm para cada um dos comprimentos, sendo realizadas ao todo 18 simulações, todas com o critério de discretização de $\lambda/60$, precisão de -80 dB e ponto de observação a 10 nm da extremidade direita da

nanobarra, no ponto ($x=0,5L+10\text{nm}$, $y=0$, $z=0$) (Fig. 1). Usando como condição de contorno, espaço livre do tipo convolution PML, em um espaço computacional em média ($x=289\text{nm}$, $y=239\text{nm}$, $z=239\text{nm}$).

III. RESULTADOS

Na Fig. 2 é apresentada a frequência de ressonância obtida na simulação, para uma nanobarra de 300 nm de comprimento e raio de 5 nm, sendo que o pico máximo do campo elétrico ocorre aproximadamente em $\lambda/2$, e a frequência de ressonância obtida nesta simulação foi de 116.5THz. Os outros picos que aparecem nesta figura correspondem aos modos de ordem superior da barra de $\lambda/2+n\lambda$, onde n um número inteiro.

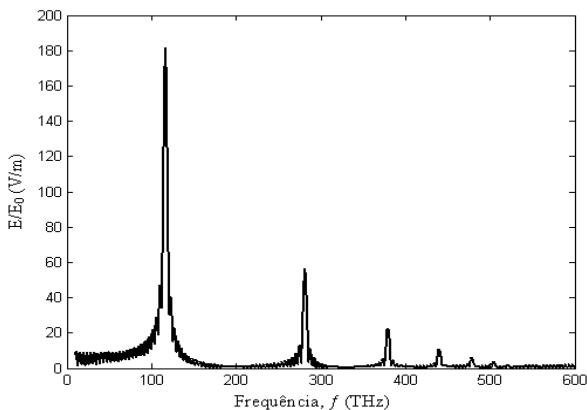


Figura 2 – Variação do campo elétrico normalizado no ponto ($x=0,5L+10\text{nm}$, $y=0$, $z=0$) (Fig. 1) em função da frequência para $L = 300\text{ nm}$, $a = 5\text{ nm}$.

Em seguida, na Fig. 3, é apresentada a distribuição do campo elétrico para nanobarra com $L = 300\text{ nm}$ e $a = 5\text{ nm}$. Calculada na frequência de ressonância do modo principal $\lambda/2$ da Fig. 1, ou seja, em $f=116.5\text{ THz}$. Observamos desta figura o comportamento característico do modo $\lambda/2$.

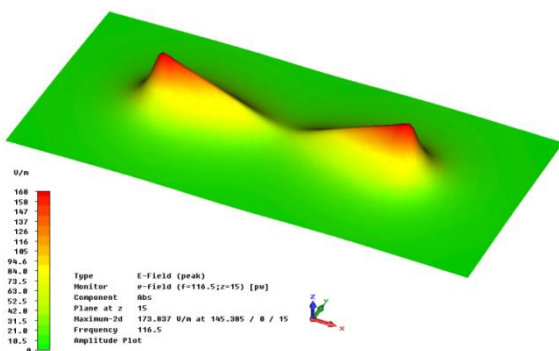


Figura 3 – Distribuição do Campo Elétrico no plano $z=15\text{nm}$ para a nanoantena cilíndrica de dimensões $L = 300\text{ nm}$, $a = 5\text{ nm}$.

Já a Fig. 4, mostra a comparação entre os resultados obtidos nas simulações e o modelo analítico dado por (3).

Como podemos observar, a dependência linear da escala em relação à L é mantida, assim como na escala de microondas, porém com uma inclinação diferente; pois na escala de microondas, por exemplo, para o dipolo de meia onda temos $\lambda_{\text{res}}=2L$, fornecendo uma inclinação constante igual a 2. Já para nanoantenas esta inclinação é dependente do raio, e maior que 2.

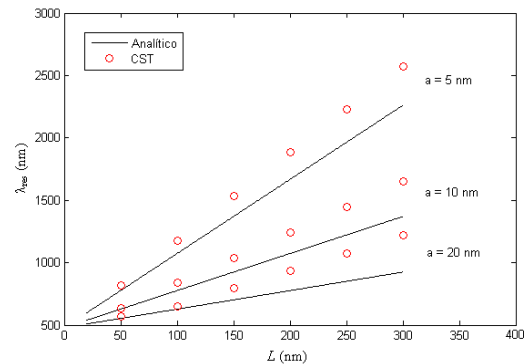


Figura 4 – Comparação da variação do comprimento de onda ressonante versus o comprimento para diferentes raios, do modelo Analítico versus CST.

IV. CONCLUSÕES

O uso de softwares para a solução de problemas de antenas é bastante difundido, e através das simulações realizadas verificou-se que os resultados obtidos estão próximos daqueles obtidos pelo modelo analítico aproximado, mostrando que a regra de linearidade da escala para nanoantenas cilíndricas se mantém. Sendo que para este caso, a inclinação da dependência linear é diferente, onde quanto maior o raio da nanoantena cilíndrica, menor é esta inclinação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Karlo Queiroz da Costa pela sua orientação neste trabalho e ao Campus de Tucuruí - UFPA.

REFERENCES

- [1] O. L. Muskens, V. Giannini, J. A. Sánchez-Gil and J. G. Rivas, "Optical scattering resonances of single and coupled dimer plasmonic nanoantennas", *Optics Express*, vol. 15, N26, pp. 17736-17746, December 2007.
- [2] K. Q. da Costa e V. A. Dmitriev, "Estudo do campo próximo de nanoantenas formadas por partículas esféricas de ouro", *Sbtr 2009*, Outubro 2009.
- [3] R. Kappeler, D. Ernil, C. Xudong and L. Novotny, "Field computations of optical antennas", *J. Comput. Theor. Nanosci.*, vol 4, N3, pp. 686-691, 2007.
- [4] B. Hecht, et. al., "Prospects of resonant optical antennas for nano-analysis", *Chimia*, vol. 60, N11, pp. 765-769, 2006.
- [5] T. H. Taminiau, et. al., "Near-field driving of a optical monopole antenna", *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, vol. 9, pp. S315-S321, 2007.
- [6] H. Fischer and O. J. F. Martin, "Engineering the optical response of plasmonic nanoantennas", *Optics Express*, vol. 16, N12, pp. 9144-9154, June 2008.
- [7] L. Novotny, "Effective wavelength scaling for optical antennas", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 98, N26, pp. 26802, 2007.