

# Análise Ressonante de Nanobarras Metálicas Alimentadas por Feixe Gaussiano pelo MoM

Janilson L. de Souza e Karlo Q. da Costa

**Resumo** — Este artigo apresenta uma análise ressonante de nanobarras metálicas cilíndricas alimentadas por um feixe Gaussiano. A solução numérica da equação integral do campo elétrico foi feita pelo Método dos Momentos (MoM) com aproximação linear da corrente, funções base senoidal e impedância superficial finita. Para um comprimento de onda fixo, são apresentados os resultados da variação da corrente em função dos parâmetros geométricos da nanoestrutura e as distribuições de campo próximo nas ressonâncias.

**Palavras-Chave** — Nanobarras metálicas cilíndricas, Método dos Momentos, impedância superficial finita, feixe gaussiano.

**Abstract** — This article presents a resonant analysis of metallic cylindrical nanorods fed by a Gaussian beam. The Method of Moments (MoM) with linear current approximation, sinusoidal basis functions, and finite surface impedance was used to solve numerically the electric field integral equation. For a fix wavelength, we present the variation of the current distribution in function the geometric parameters of the nanostructure, and the near electric field distribution on the resonances.

**Keywords** — Metallic cylindrical nanodipoles, Method of Moments, finite surface impedance, Gaussian beams.

## I. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da plasmônica surgiu o conceito de antenas ópticas que são dispositivos projetados para transmitir e receber campos ópticos de forma localizada [1]. Além de realçar e confinar campos ópticos [1]. Tais dispositivos exploram as propriedades físicas únicas de nanoestruturas metálicas que se comportam como plasmas fortemente acoplado em frequências ópticas [2]. Estas propriedades intrigantes implicam em um grande potencial para aplicação na biologia, química, informática, microscopia óptica, etc [1].

Recentemente nanoantenas estão sendo empregadas para o desenvolvimento de nanocircuitos plasmônicos eficientes, sendo estas em formato de um par de nanobarras acoplados, separados por uma pequena abertura para recepção de energia que é guiada por uma OTL [3]-[4] e recebida por uma nanoantena emissora. Nesta configuração quando alimentadas por um feixe Gaussiano [3], trabalham em uma frequência fixa, já para uma fonte de tensão [4], a frequência é variável.

Neste trabalho, uma nanobarra cilíndrica será analisada teoricamente utilizando o MoM, em uma frequência fixa, com o objetivo de verificar quais são as dimensões ótimas da estrutura, através dos seus comprimentos ressonantes.

## II. DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

O problema de análise de antenas da Fig. 1 (a) consiste em um campo elétrico  $E_i$  proveniente de um feixe Gaussiano (Fig. 1 (b)), este feixe produz corrente elétrica no condutor que por sua vez irá radiar um campo  $E_e$ . Esta nanobarra cilíndrica é constituída de ouro de comprimento finito  $L$ , raio de seção transversal  $a$  e é alimentada por um feixe de raio  $w$  e cintura  $w_0$ . A nanobarra está sobre o eixo  $x$ , e o feixe Gaussiano se propaga na direção  $z$ .

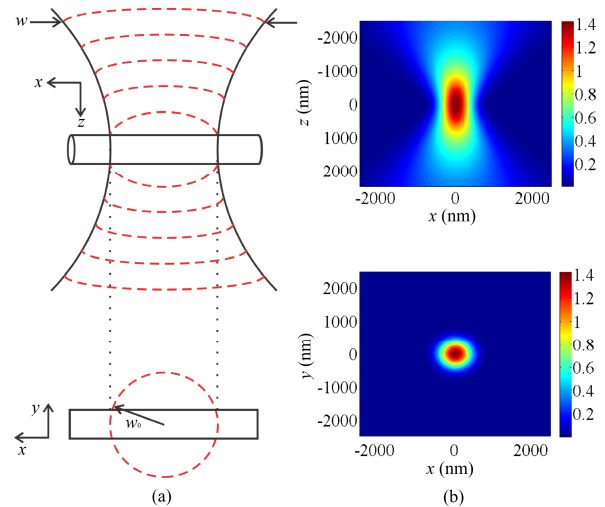


Fig. 1. Geometria de uma nanoantena cilíndrica (a) de comprimento de  $L$ , raio  $a$ , alimentada por um feixe gaussiano (b) de raio  $w$  e cintura  $w_0$ .

O feixe Gaussiano [5] é descrito por funções matemáticas que formam uma solução da forma paraxial da equação de Helmholtz (1), onde o resultado no formato de uma função gaussiana representa a amplitude complexa do campo elétrico, que se propaga juntamente com o campo magnético correspondente, derivados da função potencial (2), como uma onda eletromagnética num feixe. A potência do feixe é expressa por  $P_{feixe}=(u_0^2 kw)/(2\mu_0)$ .

$$u = u_0 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{w(z)} \exp\left(\frac{-\rho^2}{w^2}\right) \exp\left[-j\left(\frac{k\rho^2}{2R} - \phi\right)\right] \quad (1)$$

$$\bar{A} = \psi \hat{x} = u(x, y, z) e^{-jkz} \hat{x} \quad (2)$$

onde:  $u_0$  é a amplitude do feixe,  $R$  é o raio de curvatura da frente de onda,  $w$  é o raio do feixe, para  $z=z_0$ ,  $w$  tem um valor mínimo chamado de cintura do feixe ( $w_0=w(z_0)=(2s/k)^{1/2}$ ), sendo  $s$  um parâmetro confocal.

O ouro apresenta uma permissividade  $\epsilon_r$  na faixa óptica ( $\lambda > 500\text{nm}$ ) e uma impedância superficial  $Z_s$  [4]. Após ter todos

os parâmetros da Fig. 1 (a), aplica-se a condição de contorno do campo elétrico na superfície do metal (3).

$$(\vec{E}_e + \vec{E}_i) \cdot \vec{a}_i = Z_s I \quad (3)$$

Ao ser substituída a equação integral do campo elétrico  $E_e$  [4] em (3) e aplicando o MoM com funções base senoidal e funções teste pulso retangular e a aproximação linear da corrente [6] na Fig. 1 (a), obtemos o seguinte sistema de equações

$$V_m = Z_s I_m \Delta + \sum_{n=1}^{N-1} Z_{mn} I_n, \quad m = 1, 2, \dots, N-1 \quad (4)$$

onde  $V_m$  é a tensão em um segmento genérico  $m$ , os elementos de  $Z_{mn}$  representam a impedância mútua entre os pontos  $m$  e  $n$ .

### III. RESULTADOS

Com base na teoria apresentada acima foi desenvolvido dois programas computacionais no *software* MatLab. Um programa é o principal, onde é calculada a corrente na nanobarra variando seu comprimento e raio, e o outro programa calcula o campo elétrico próximo em um plano paralelo ao plano  $xy$ . As simulações serão feitas a partir do MoM aplicando um feixe Gaussiano com  $\lambda=830\text{nm}$  ( $F=361,45$  THz),  $w_0=340\text{nm}$ ,  $P_{\text{feixe}}=1\text{nW}$  e com um determinado valor de  $N$  segmentos em  $L$  no qual este deverá satisfazer um critério de estabilidade do método de  $(\Delta L/2a) \geq 1$ .

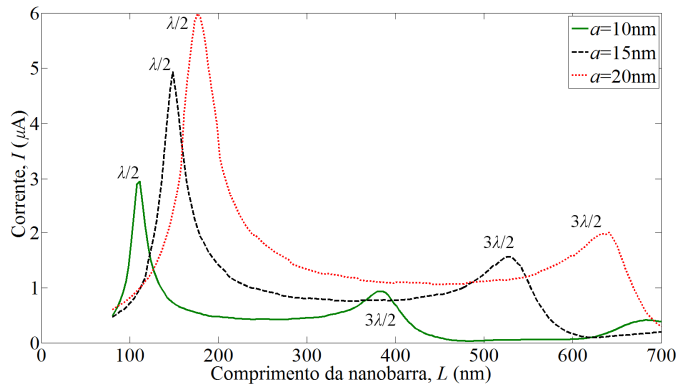


Fig. 2. Variação da amplitude corrente no centro da nanobarra ( $I$ ) em função de  $L$  para  $a=10, 15$  e  $20\text{nm}$ .

A Fig. 2 apresenta a variação da corrente no centro da nanobarra em função da variação do comprimento  $L$  de 80 à 700nm para  $a=10, 15$  e  $20\text{nm}$ . Os resultados mostram a nanobarra operando com comprimentos ressonantes nos modos  $L_{\lambda/2}$  e  $L_{3\lambda/2}$ , sendo que para cada um dos raios mostrados têm-se estes modos (Tabela I) que representam a melhor geometria da nanoantena cilíndrica (Fig. 1), para cada um dos raios mostrados, para absorção da energia proveniente do feixe. Na figura é visível o aumento da corrente com o aumento de  $a$ , isso ocorre devido ao aumento da área de absorção da potência do feixe. Além disso, existe um deslocamento nas curvas para a direita dos modos ressonantes com o aumento de  $a$ . Isto significa em um aumento dos comprimentos ressonantes ( $L_{\lambda/2}$  e  $L_{3\lambda/2}$ ). Estes resultados para o feixe Gaussiano estão em concordância com aqueles observados para o caso de excitação por uma onda plana [1].

A Tabela I mostra os comprimentos ressonantes da Fig. 2, com os seus números de segmentos  $N$  satisfazendo o critério de estabilidade pré-estabelecido anteriormente. Com os parâmetros da tabela, é mostrada na Fig. 3 a distribuição do campo elétrico total, a partir de (3), no plano  $z=a+10\text{nm}$  para os comprimentos ressonantes da Fig. 2.

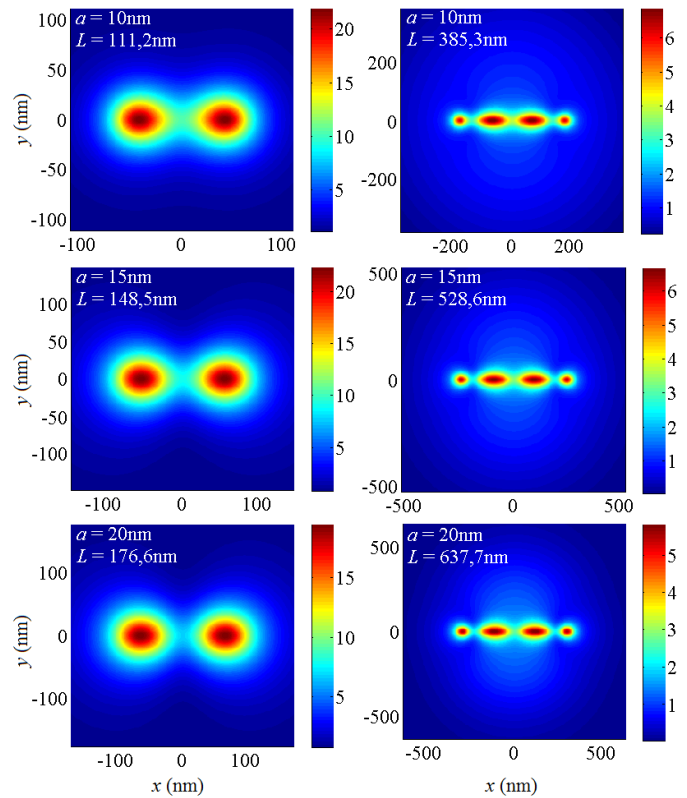


Fig. 3. Distribuição do campo elétrico (V/m) no plano  $z=a+10\text{nm}$  para  $a=10, 15$  e  $20\text{nm}$ , nos seus respectivos  $L_{\lambda/2}$  e  $L_{3\lambda/2}$  da Fig. 2.

TABELA I. COMPRIMENTOS RESSONANTES  $L$  DA NANOBARRA.

$a$ (nm)	$L_{\lambda/2}$ (nm)	$N$	$L_{3\lambda/2}$ (nm)	$N$
10	111,2	5	385,3	19
15	148,5	4	528,6	17
20	176,6	4	637,7	15

### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho analisou o comprimento ressonante de nanobarras cilíndricas alimentadas por um feixe Gaussiano com  $\lambda=830\text{nm}$  e  $w_0=340\text{nm}$ . O método dos momentos foi utilizado para modelagem numérica do problema de espalhamento em questão. Os resultados obtidos são para os comprimentos ressonantes são similares àqueles calculados para o caso de onda plana. O estudo apresentado é importante para otimizar o projeto de nanoantenas operando no modo de recepção. Esta situação pode ser aplicada como uma forma de alimentação de um nanocircuito plasmônico.

### REFERÊNCIAS

- [1] K. Q. Costa e V. Dmitriev, "Aplicação do Método dos Momentos Linear para Análise de Nanoantenas Cilíndricas", SBRT 2011 – XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – Outubro de 2011, Curitiba, PR.
- [2] L. Novotny, and B. Hecht, *Principles of Nano-Optics*, New York: Cambridge, 2006.
- [3] J.-S. Huang, et. al., "Impedance Matching and Emission Properties of Nanoantennas in an Optical Nanocircuit," *Nano Lett.*, vol. 9, N5, pp. 1897-1902, 2009.
- [4] K. Q. Costa, et. al., "Impedance Matching Analysis of an Optical Nanocircuit Fed by an Aperture Probe", *J. of Micr., Opt. and Electr. Appl.*, Vol. 12, January 2012.
- [5] K. Zhang, D. Li, *Electromagnetic Theory for Microwaves and Optoelectronics*, New York: Springer, November 12, 2007.
- [6] K. Q. Costa, and V. Dmitriev, "Software Based on MoM Model to Analyze Electromagnetic Transients in Grounding Systems," *Int. Conf. on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*, Nov. 2006.