

# Simulação de Dipolos Retangulares de Grafeno na Faixa de Terahertz no COMSOL

Felipe Bamberg Soares, Rodrigo G Azevedo e Karlo Q. da Costa

**Resumo**— Neste trabalho é apresentado um estudo teórico de dipolos de grafeno utilizando o *software* COMSOL. São analisadas antenas na faixa do terahertz com diferentes dimensões e alimentadas por fonte de tensão. Os resultados obtidos mostram uma boa concordância quando comparados com os resultados calculados com um programa baseado no método dos momentos (MatLab) e com dados existentes na literatura.

**Palavras-Chave**—Dipolos de grafeno, radiação na faixa do terahertz, COMSOL, antenas.

**Abstract**—This paper shows the study about antennas dipole of graphene with different dimensions being excited by voltage source. For that it will be used the software COMSOL Multiphysics 4.4, and the results will be compared with a program based on the Method of Moments (MatLab), and by references from the literature.

**Keywords**—Dipole of graphene, radiation in the terahertz range, COMSOL, antennas.

## I. INTRODUÇÃO

O grafeno é formado por átomos de carbono que se arranjam em forma de hexágonos em uma estrutura bidimensional, é um material promissor atualmente devido a sua excelente condutividade elétrica, propriedades eletromagnéticas e eletromecânicas. Essas características proporcionam a construção de antenas, o que permite a implementação em equipamentos sem ocupar muito espaço, por exemplo. A sua elevada condutividade elétrica, combinada com a sua resistência, flexibilidade e transparência, tornam o grafeno um material ideal para aplicações em dispositivos eletrônicos que sejam flexíveis. Devido à vantagem proveniente da elevada mobilidade dos elétrons, o grafeno é ideal na conexão de transistores de alta frequência para aplicações exigentes no domínio da eletrônica, moduladores, eletrônicos orgânicos [1] e na área farmacêutica [2].

Devido as suas propriedades de suportarem ondas plasmônicas de superfície (surface- plasmon polaritons - SPP) [3], antenas baseadas em grafeno com dimensões de poucos micrometros apresentam baixa frequência de ressonância na faixa do terahertz [4], e alta eficiência de radiação quando comparadas com as antenas do tipo metálicas.

O estudo de antenas que trabalham na faixa de Terahertz é bastante requisitado atualmente, devido ao aumento do uso das demais faixas de frequências e que ficam cada vez mais sobrecarregadas. A próxima geração em comunicação via wireless requerer antenas com uma largura de banda grande, com baixa potência de transmissão e com uma alta mobilidade.

## II. MODELAGEM TEÓRICA

Será utilizado o *software* COMSOL Multiphysics 4.4 para a simulação do dipolo de grafeno com alimentação por fonte de tensão localizada no centro do gap (Fig. 1).

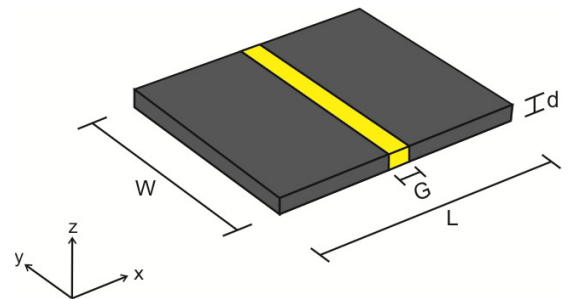


Fig. 1. Geometria do dipolo retangular de grafeno analisado.

A geometria do nanodipolo de grafeno é retangular onde  $W$  é a largura do dipolo,  $L$  o comprimento,  $d$  a espessura e  $G$  o comprimento do gap. Essa fonte de tensão pode ser um photomixer na prática [5].

A modelagem do grafeno se dá através da equação da condutividade elétrica superficial que leva em consideração os efeitos de intrabanda da equação de Drude [6-7].

$$\sigma(\omega) = \frac{2e^2 k_B T}{\pi \hbar^2} \ln \left[ 2 \cosh \left( \frac{\mu_c}{2k_B T} \right) \right] \frac{-j}{\omega - j\tau^{-1}} \quad (1)$$

onde  $\tau = 10^{-12} s$  é o tempo de acomodação,  $\mu_c$  é o potencial químico,  $T = 300K$  é a temperatura,  $\hbar = 1,0546 \times 10^{-34} J.s$  é a constante de Planck reduzida,  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} J.K^{-1}$  é a constante de Boltzmann,  $\omega$  é a frequência dada em radianos/segundo,  $e = 1,6 \times 10^{-19} C$  é o valor da carga de um elétron e  $j$  é o símbolo imaginário. Para faixas de frequências abaixo de 5 THz, os efeitos de interbanda serão bem pequenos, ou seja, serão desprezados, a simulação é realizada no intervalo de 0,5 THz à 2 THz. A antena é discretizada usando tetraedros, assim como o meio onde se encontra a antena que tem permissividade relativa  $\epsilon_r = 2,4$ .

A Perfectly Matched Layer (PML), necessária para absorver as ondas refletidas pelas fronteiras por condição de espalhamento, é discretizada usando swept que seriam como folhas. A média de elementos gerados pela malha foi de 100000 elementos.

III. RESULTADOS

Nesse tópico é apresentado os resultados de dois exemplos de dipolos de grafeno com diferentes dimensões e a simulação dessas antenas permite a comparação com resultados da literatura [5] e do MoM. Os parâmetros de cada antena são mostrados na tabela 1, onde cada antena foi nomeada de Antena 1 e 2. A figura 2 mostra as antenas discretizadas no COMSOL.

Pelo fato da fonte de alimentação ser de tensão, um dos resultados mostrados serão as impedâncias de entrada (Fig. 3) para ambos os casos simulados com a comparações.

TABELA I. PARAMETROS DAS ANTENAS.

Antena	$\mu_c$	L	W	G	d
1	0,13eV	17 $\mu m$	10 $\mu m$	2 $\mu m$	100nm
2	0,25eV	23 $\mu m$	20 $\mu m$	2 $\mu m$	100nm

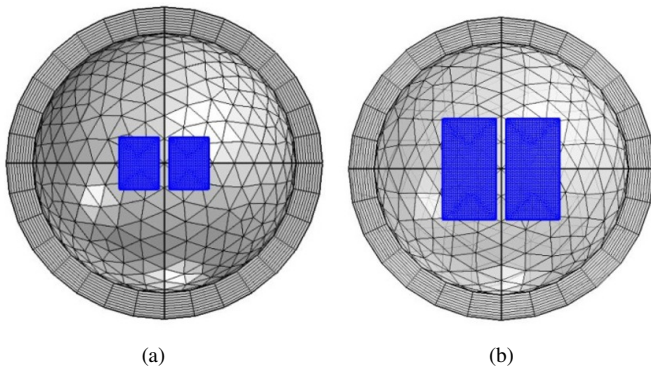


Fig. 2. Malha gerada para a simulação do dipolo de grafeno, sendo (a) Antena 1 e (b) Antena 2.

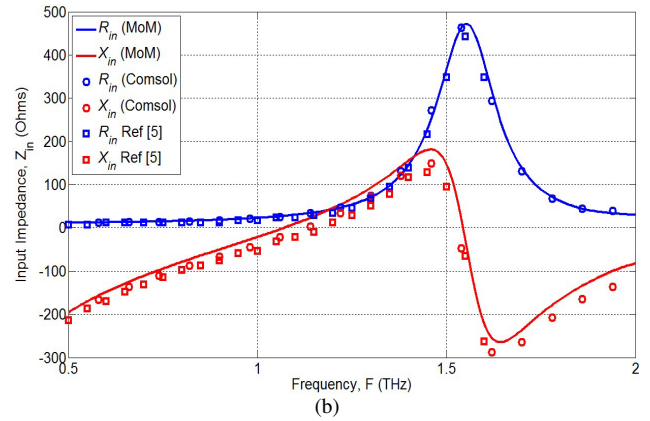
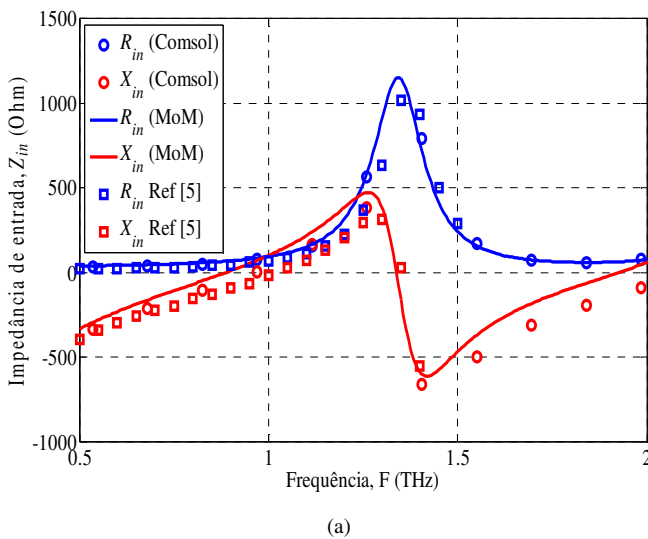


Fig. 3. Impedância de entrada em função da frequência para (a) Antena 1 e para (b) Antena 2.

TABELA II. FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIAS.

	Antena 1	Antena 2
COMSOL	F1 = 0,97THz F2 = 1,33THz	F1 = 1,13THz F2 = 1,53THz
MoM	F1 = 0,89THz F2 = 1,34THz	F1 = 1,07THz F2 = 1,54THz
Artigo [5]	F1 = 1,02THz F2 = 1,35THz	F1 = 1,17THz F2 = 1,53THz

F1 - Primeira frequência de ressonância.  
F2 - Segunda frequência de ressonância.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se simulações de dipolos de grafeno com nanômetros e trabalhando na faixa de THz, utilizando o software COMSOL Multiphysics 4.4. Usou-se este software devido a linguagem usada ser visual e o método de cálculo ser o método dos elementos finitos. Para as análises e para efeito de comparação, calculou-se os dipolos no MatLab usando o método dos momentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Anand, D. Sriram Kumar, Ren Jang Wu, and Murthy Chavali, "Graphene nanoribbon based terahertz antenna on polyimide substrate", *Opkit – Int. J. Light Electron Opt.*, 2014.
- [2] Mi-Gyeong Kim, Joo Y. Park, Yuna Shon et al, "Pharmaceutical Applications of Graphene-based Nanosheets", Bentham Science Publishers, 2013.
- [3] L. Falkovsky, e S. Pershoguba, "Optical far-infrared properties of a graphene monolayer and multilayer," *Physical Review B*, vol. 76, pp. 1–4, 2007.
- [4] J. M. Jornet, e I. F. Akyildiz, "Graphene-based nano-antennas for electromagnetic nanocommunications in the terahertz band," *Proc. 4th European Conf. on Antennas and Propagation*, 2010.
- [5] M. Tamagnone, J. S. Gómez-Díaz, J. R. Mosig, e J. Perruisseau-Carrier, "Analysis and design of terahertz antennas based on plasmonic resonant graphene sheets", *Journal of Applied Physics*, 2012.
- [6] I. Latser, et al, "Graphene-based nano-patch antenna for terahertz radiation", *Phot. And Nano., Fund. AndApplic.*, Maio 2012.
- [7] K. Q. Costa, V. Dmitriev, C.M. Nascimento, e G. L. Silvano, "Graphene Nanoantennas with Different Shapes", *International Microwave and Optoelectronics Conference, IMOC*, 2013.