

# Análise pelo Método dos Momentos do Diagrama de Radiação de Dipolos de Grafeno com Diferentes Potenciais Químicos

Fabricio M. de Sousa e Karlo Q. da Costa

**Resumo**—Este artigo apresenta uma análise de um dipolo de grafeno com dois potenciais químicos diferentes em cada braço. A análise numérica é feita pelo Método dos Momentos (MoM) com uma impedância superficial, onde os seguintes parâmetros da antena são investigados: impedância de entrada, distribuição de corrente, ganho e diagrama de radiação. Os resultados mostram como o diagrama de radiação desta antena pode ser controlado eletronicamente como em um arranjo de fase.

**Palavras-Chave**—Antenas de grafeno; radiação em terahertz; diagrama de radiação controlável.

**Abstract**— This article presents an analysis of a graphene dipole with two different chemical potentials in each arm. Numerical analysis is performed by the Method of Moments (MoM) with a surface impedance, where the following antenna parameters are investigated: input impedance, current distribution, gain and radiation diagram. The results show how the radiation pattern of this antenna can be electronically controlled as in a phase arrangement.

**Keywords**— Graphene antennas; radiation in terahertz; controllable radiation diagram

## I. INTRODUÇÃO

No decorrer das últimas décadas o tráfego de dados sem fio vem aumentando drasticamente, o que causa uma crescente demanda por comunicação sem fio de velocidade muito mais alta em qualquer lugar e a minituarização dos dispositivos [1].

Uma solução para atender à essas demandas trata-se da comunicação na banda de terahertz (THz) e de um mais importantes materiais que podem ser usados nesta banda chamado de grafeno [2].

O presente artigo analisa teoricamente um dipolo de grafeno com diferentes potenciais químicos em cada braço do dipolo (dois potenciais químicos em cada). A antena tem geometria planar retangular, com alimentação por fonte de tensão no centro, e a análise é feita na faixa do *terahertz* de 0,5-2,0 THz. O método dos momentos bidimensional, com impedância superficial do grafeno, foi utilizado para análise teórica [3]. São apresentados cálculos dos seguintes parâmetros: impedância de entrada e diagrama de radiação em função de diferentes valores dos potenciais químicos em cada braço do dipolo.

## II. MODELAGEM E MÉTODOS

A geometria do dipolo de grafeno analisado, Fig. 1a, tem as mesmas dimensões:  $L = 17 \mu\text{m}$ ,  $W = 10 \mu\text{m}$  e  $g = 2 \mu\text{m}$ , da antena utilizada em [11]. Os braços do dipolo possuem

potenciais químicos  $\mu_{c1}$ ,  $\mu_{c2}$ ,  $\mu_{c3}$  e  $\mu_{c4}$ . Para o valor de permissividade efetiva equivalente do meio considerou-se  $\epsilon_r = 2,4$  [4]. Na Fig. 1b é mostrado um modelo de diagrama de radiação.

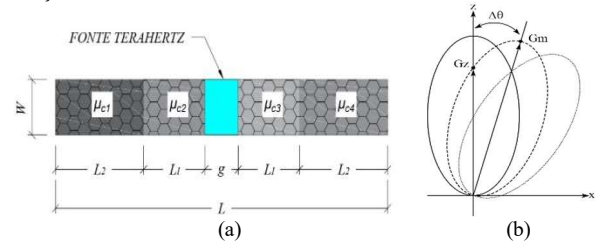


Fig. 1. (a) Geometria do dipolo planar retangular de grafeno. (b) Ilustração da variação do diagrama de radiação para diferentes potenciais químicos em cada braço do dipolo.

A condutividade superficial do grafeno é assumida considerando uma folha de espessura infinitesimal, de modo que  $\sigma = (\omega, \mu_c, \Gamma, T, B_0)$ , em que  $\omega$  é frequência angular da radiação  $\mu_c$  é o potencial químico e  $\Gamma = \frac{1}{2\tau_0}$  é a taxa de espalhamento,  $\tau_0$  é o tempo de relaxação,  $T$  é a temperatura e  $B_0$  o campo magnético externo aplicado [5], conforme a Eq. 1:

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

## A. Método dos Momentos (MoM)

Através da condutividade superficial do grafeno, o método dos momentos bidimensional (MoM-2D) foi utilizado para analisar numericamente a antena de grafeno deste trabalho, como em [6].

## III. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados numéricos das propriedades radiativas de cinco dipolos de grafeno com diferentes configurações de potenciais químicos  $\mu_c$ . A tabela 1 apresenta os valores utilizados de  $\mu_c$  para cada antena.

TABELA I. POTENCIAIS QUÍMICOS  $\mu_{c1}$ ,  $\mu_{c2}$ ,  $\mu_{c3}$  E  $\mu_{c4}$  DOS CINCO EXEMPLOS DE DIPOLOS CONSIDERADOS

Antena	$\mu_{c1}$ (eV)	$\mu_{c2}$ (eV)	$\mu_{c3}$ (eV)	$\mu_{c4}$ (eV)
1	0,06	0,06	0,06	0,06
2	0,08	0,08	0,08	0,08
3	0,10	0,10	0,10	0,10
4	0,12	0,12	0,12	0,12
5	0,06	0,08	0,10	0,12

### A. Impedância de entrada

A Fig. 2 mostra as impedâncias de entrada das antenas da Tabela 1. As primeiras quatro antenas são dipolos convencionais com potenciais químicos iguais em cada braço, onde observamos que com o aumento dos potenciais químicos nos dois braços de cada antena, as ressonâncias da curva de  $Z_{in}$  são deslocadas para direita, para altas frequências (segundas frequências de ressonância:  $f_1 = 0,93 \text{ THz}$ ,  $f_2 = 1,06 \text{ THz}$ ,  $f_3 = 1,16 \text{ THz}$  e  $f_4 = 1,28 \text{ THz}$ ). A antena 5 apresenta as curvas de  $Z_{in}$  aproximadamente com as mesmas características das outras quatro antenas.

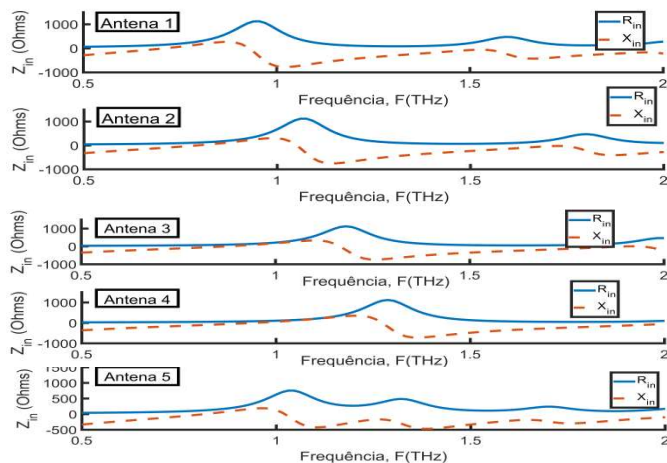


Fig. 2.  $Z_{in}$  versus frequência para os dipolos de grafeno da Tabela 1

### B. Distribuição de corrente

O comportamento ressonante da distribuição de corrente das antenas da Tabela 1 pode ser analisado através do módulo (A/m) e da fase (rad) da componente de corrente  $J_x$  nas antenas. Na Fig. 3 observa-se uma assimetria na distribuição de corrente da antena 5, o que pode ser explicado pelo fato de os braços do dipolo possuírem diferentes valores de condutividade superficial. Para as outras antenas observou-se distribuições simétricas nos braços dos dipolos.

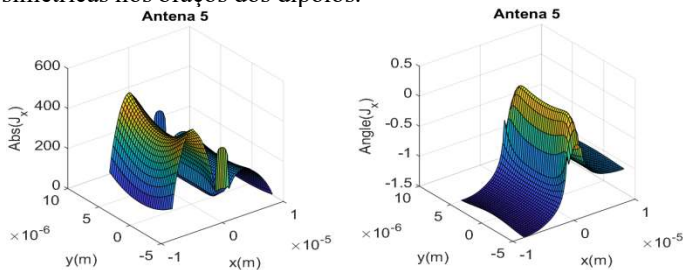


Fig. 3. Distribuição do módulo e fase da componente de corrente  $J_x$  das antenas da Tabela 1

### C. Ganho e Diagrama de Radiação

De acordo com a Fig. 1 defini-se o ganho na direção  $z$  ( $G_z = U_z/4\pi P_{in}$ ), onde  $U_z$  é a intensidade de radiação na direção  $z$  ( $\theta = 0$ ) e  $P_{in}$  é a potência de entrada.

A Fig. 4 mostra a variação de  $G_z$  em função da frequência para as antenas da Tabela 1. Os máximos dos ganhos dessas antenas ocorrem aproximadamente nas frequências:  $f_1 = 0,98 \text{ THz}$ ,  $f_2 = 1,10 \text{ THz}$ ,  $f_3 = 1,12 \text{ THz}$ ,  $f_4 = 1,33 \text{ THz}$  e  $f_5 = 1,19 \text{ THz}$ .

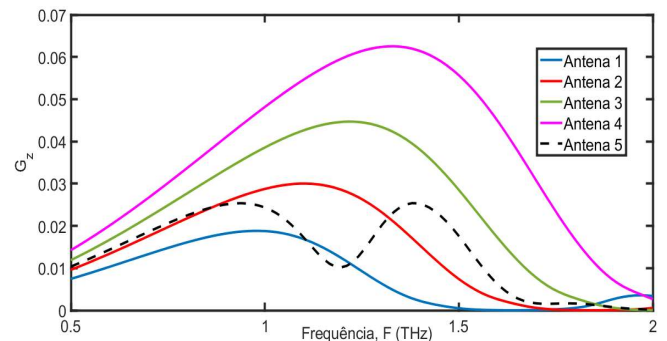


Fig. 4. Ganho absoluto  $G_z$  na direção  $z$  versus frequência

Os diagramas de radiação, Fig. 5, são plotados através dos valores de frequência no ponto máximo dos gráficos das primeiras quatro antenas e no ponto mínimo de  $G_z$  da antena 5.

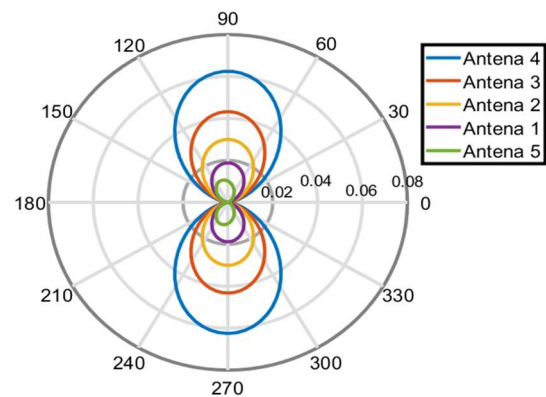


Fig. 5. Diagramas de radiação de ganho no plano  $xz$

Assim, através dos diagramas de radiação de ganho, pode-se observar que ocorre também uma assimetria no campo distante da antena, onde o diagrama de radiação, deverá apresentar um deslocamento  $\Delta\theta$  em relação ao eixo  $z$ .

## IV. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma análise de um dipolo de grafeno com diferentes potenciais químicos em cada braço. Foi observado que antenas de potenciais químicos iguais em cada braço, possuem diagramas normais em relação ao plano do dipolo, conforme esperado, enquanto antenas com diferentes potenciais químicos em cada braço apresentam diagramas assimétricos em relação a normal. Isto mostra que a antena se comporta como um arranjo de fase com fase controlável pelo potencial químico.

## REFERENCES

- [1] Ian F Akyildiz, Josep Miquel Jornet, and Chong Han. Terahertz band: Next frontier for wireless communications. *Physical Communication*, 12:16–32, 2014.
- [2] A. Geim and K. Novoselov, “The rise of graphene”, *Nature materials*, vol. 6, nº 3, pp. 183-91, Mar 2007.
- [3] K. Q. da Costa, V. Dmitriev, “Planar Monopole UWB Antennas with Cuts at the Edges and Parasitic Loops.” *InTech: Ultra Wideband Communications: Novel Trends - Antennas and Propagation*, 1st ed., pp. 143-145, 2011.
- [4] M. Tamagnone, J. Gomez-Diaz, J. Mosig, and J. Perruisseau-Carrier, “Analysis and design of terahertz antennas based on plasmonic resonant graphene sheets,” *Journal of Applied physics*, vol. 112, no. 11, p. 114915, 2012. Citado 6 vezes nas páginas 9, 10, 3, 24, 25 e 26.
- [5] G. W. Hanson, “Dyadic green’s functions for an anisotropic, non-local model of biased graphene,” *IEEE Transactions on antennas and propagation*, vol. 56, no. 3, pp. 747–757, 2008.
- [6] Gabriel S. Pinto e Karlo Q. da Costa, “Análise de Dipolos de Grafeno com Potenciais Químicos Diferentes em Cada Braço”, XXXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS – SBtT, 2018