



Análise da emissão eletromagnética com potencial para interferência nos sistemas de comunicação e eletrônica

Palavras-Chave: interferência, eletromagnetismo, simulação

Autores:

Theo Soares de Camargo - FEEC - Unicamp

Prof. Dr. Cesar José Bonjuani Pagan (orientador) - FEEC - Unicamp

INTRODUÇÃO:

Antenas são o elemento emissor ou receptor de energia eletromagnética dos circuitos. Embora o nome faça referência a dispositivos construídos para esta finalidade, partes de circuitos elétricos atuam como antenas sempre que submetidos à correntes variáveis no tempo. Este é um fenômeno inevitável, mas de importância variável, já que a eficiência da emissão depende de um compromisso entre o espectro em frequência do sinal e da geometria do circuito. Este projeto de iniciação científica tem como objetivo estudar teoricamente e desenvolver um programa de computador que possibilite mostrar a intensidade de radiação de diferentes arranjos de componentes de circuitos elétricos que se comportam como antenas. Foram estudados aspectos específicos de antenas, como: radiação de dipolos elementares, estudo do campo nas regiões próxima e distante, *arrays* de antenas e características como ganho e diretividade. A segunda etapa consistiu em entender os métodos gráficos relevantes para o problema. Foram estudados os diagramas de radiação para diferentes configurações de antenas, ou seja, foram feitos os planos E e H para várias distribuições de carga. A terceira etapa trata da modelagem do campo em uma superfície usando o *software* Octave. Escolheu-se utilizar esse *software* pois se trata de um programa livre e de código aberto, sendo facilmente acessível. Com esse programa foi possível gerar os diagramas de radiação mencionados anteriormente.

Este projeto é financiado pelo programa PIBIC 2020/2021.

METODOLOGIA:

A metodologia consistiu em analisar a radiação eletromagnética emitida por diferentes distribuições de carga do ponto de vista da teoria de antenas, ou seja, como elementos radiadores. Nesse sentido, os tratamentos matemáticos clássicos serão explorados, visando calcular os campos na região distante, que podem interferir em sistemas de comunicação e eletrônicos.

A teoria de antenas parte de elementos infinitesimais pelos quais se supõe que uma corrente $i(t)$ circule em condutores provocando emissão de uma onda eletromagnética. O ponto de partida é um dipolo infinitesimal hertziano $\mathbf{p} = q(t)dl \mathbf{e}_z$ (aqui z é o eixo polar das coordenadas polares), dl é o infinitesimal de comprimento sobre o eixo polar e é $q(t)$ a carga do dipolo. Usando a representação fasorial, a intensidade de campo magnético é dada por

$$d\mathbf{H} = -\mathbf{e}_\phi \frac{Idl}{4\pi} \beta^2 \sin(\theta) \left(\frac{1}{j\beta R} + \left(\frac{1}{j\beta R} \right)^2 \right) e^{-j\beta R} \quad (1)$$

e o campo elétrico

$$dE_r = \frac{-Idl}{4\pi} \eta_0 \beta^2 2 \cos(\theta) \left(\left(\frac{1}{j\beta R} \right)^2 + \left(\frac{1}{j\beta R} \right)^3 \right) e^{-j\beta R} \quad (2-a)$$

$$dE_\theta = \frac{-Idl}{4\pi} \eta_0 \beta^2 \sin(\theta) \left(\frac{1}{j\beta R} + \left(\frac{1}{j\beta R} \right)^2 + \left(\frac{1}{j\beta R} \right)^3 \right) e^{-j\beta R} \quad (2-b)$$

$$dE_\phi = 0 \quad (2-c)$$

onde

dl é o comprimento de um elemento infinitesimal alinhado na direção da corrente (vamos supor que seja o eixo z),

$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$ é o número de onda no vácuo,

R é a distância até a origem (onde está a fonte de corrente),

$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \approx 377 \Omega$ é a impedância do vácuo, e

θ é o ângulo com o eixo z , alinhado com dl .

Para campos distantes, na região conhecida como região de Fraunhofer ($2\pi R \gg \lambda$), o campo de um dipolo hertziano é dominado pelos termos inversamente a R , presentes em (1) e (2-b), o que resulta em campos magnético dH_ϕ e elétrico dE_θ na forma

$$dE_\theta = \eta_0 dH_\phi = j \frac{Idl}{4\pi} \left(\frac{e^{-j\beta R}}{R} \right) \eta_0 \beta \sin(\theta). \quad (3)$$

Esta forma (eq. 3) de resolver o problema é possível apenas para fontes emissoras concentradas em uma pequena região (comparada com R), quando todos os segmentos de corrente estão alinhados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Com as equações escritas, foi possível modelar o comportamento de diferentes distribuições de carga utilizando o software Octave. Foi dado o enfoque no padrão de irradiação plano E. Para descrever tal diagrama, se faz necessário obter o fator $|F(\theta)|$, que é a função padrão (do inglês, *pattern function*) do plano E.

Tomaremos como exemplo a antena de dipolo linear, representada na figura 1.

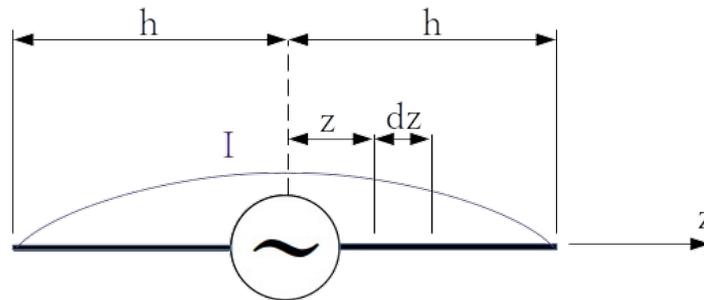


Figure 1: Antena dipolo linear

Integrando a equação 3, temos o campo elétrico E_θ na região distante:

$$E_\theta = \eta_0 H_\phi = j \frac{I_m \eta_0 \beta \sin(\theta)}{2 \pi R} e^{-j\beta R} \int_0^h \sin \beta(h-z) \cos(\beta z \cos \theta) dz, \quad (4-a)$$

$$E_\theta = \frac{j 60 I_m}{R} e^{-j\beta R} F(\theta), \quad (4-b)$$

em que

$$F(\theta) = \frac{\cos(\beta h \cos \theta) - \cos \beta h}{\sin \theta}. \quad (5)$$

Substituindo as variáveis para a antena de dipolo linear, temos:

$$F(\theta) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \quad (6)$$

A partir de $|F(\theta)|$, foi possível gerar os diagramas de irradiação apresentados abaixo, nas figuras 2 e 3. Para além da simples criação do diagrama, também foi desenvolvida uma Interface Gráfica do Usuário (do inglês: GUI, *Graphical User Interface*) que permite uma interação maior com a aplicação. Nela se pode escolher o tipo de antena, suas dimensões e frequência de operação. A interface está representada na figura 4.

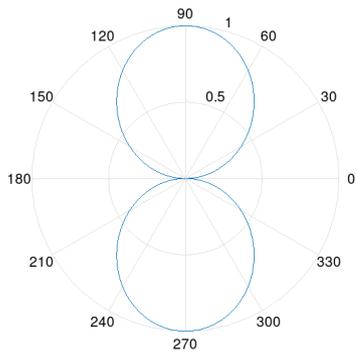


Figure 3: Antena dipolo linear de meia onda

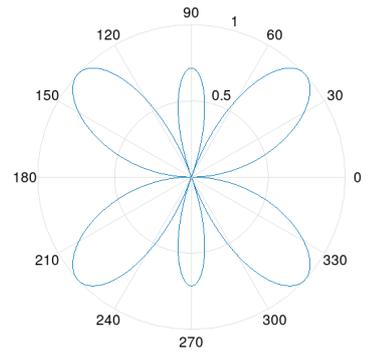


Figure 2: Antena dipolo linear de 3/2 de onda

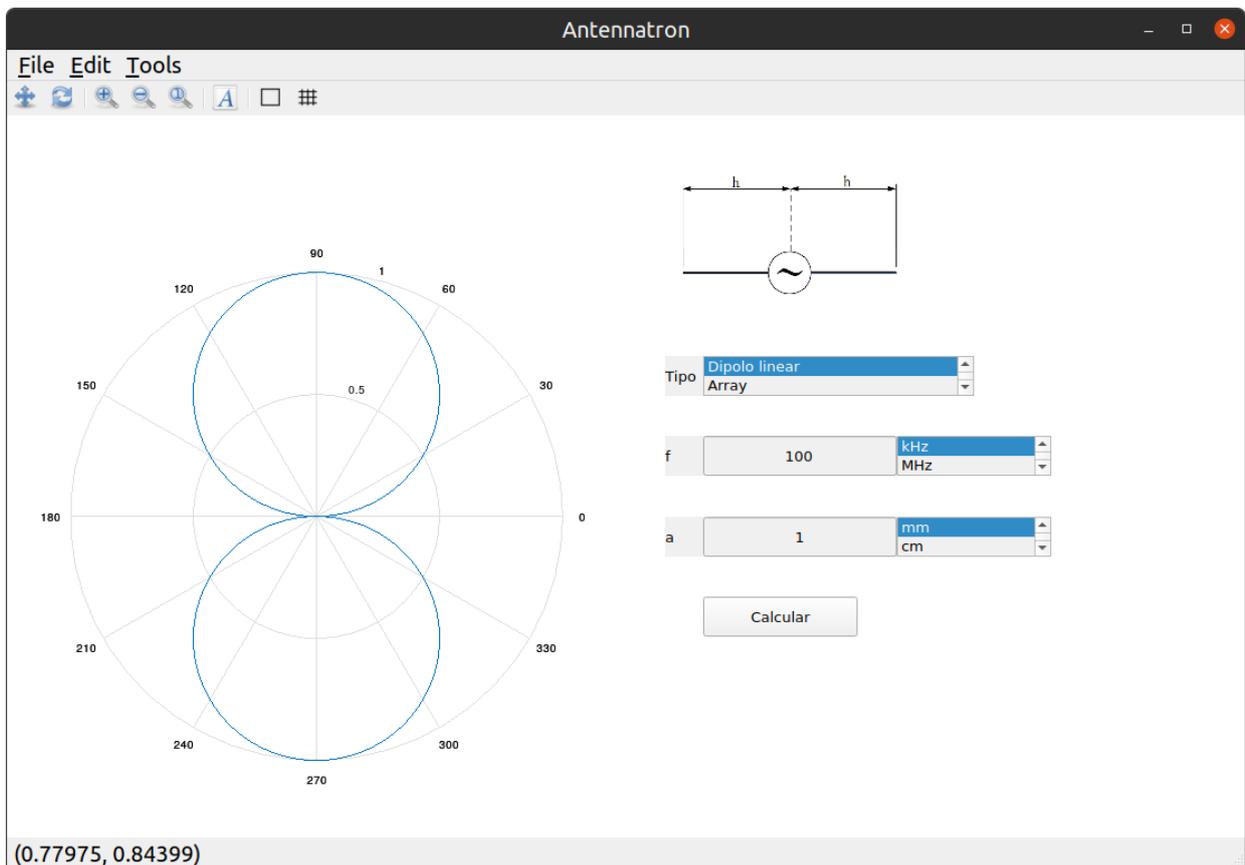


Figure 4: Captura de tela do Octave mostrando a GUI

CONCLUSÕES:

O cronograma, contido no plano de trabalho, foi parcialmente cumprida. Isso se deve ao fato de que não foi possível realizar os testes em laboratório devido às condições de distanciamento social impostas pela pandemia de SARS-CoV-2. Entretanto, foi possível desenvolver uma aplicação computacional que poderá ser usada nos laboratórios de ensino do curso de Engenharia Elétrica, em especial na disciplina “Laboratório de Eletromagnetismo. O formato final do programa, em estágio bastante avançado de desenvolvimento, incluirá a possibilidade de um arranjo linear de antenas do tipo dipolo, o qual poderá ser programado para produzir diagramas de radiação através da variação da distância e da fase entre as antenas. O autor agradece o apoio do programa PIBIC/CNPq ao projeto.

BIBLIOGRAFIA

- ARFKEN G.B, WEBER, H.J. and HARRIS, F.E., **Mathematical Methods for Physicists**, 7. ed., Elsevier, 2013;
- CARDOSO, J. R., **Engenharia Eletromagnética**, Elsevier, 2011;
- CHENG, D. K., **Field and Wave Electromagnetics**, 2. ed., Addison-Wesley, 1989;
- GRIFFITHS, D. J., **Eletrodinâmica**, 3. ed., Pearson Addison Wesley, 2011;
- KRAUS, J. D., **Antennas**, 2. ed., McGraw-Hill, 1988;
- OTT, H., **Electromagnetic Compatibility Engineering**, Wiley, 2009;
- PAUL, C. R., **Introduction to Electromagnetic Compatibility**, 2. ed., Wiley Inter-Science, 2008;
- PURCELL, E. M. and MORIN, D. J., **Electricity and Magnetism**, 3. ed., Cambridge Press, 2013.