

Estudando campos elétricos de linhas trifásicas pelo método da cuba eletrolítica

(*Studying electric fields from three-phase lines by the electrolytic tray method*)

Everton Lüdke¹ e Cláudio O. Graça

Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Universitário, Santa Maria, RS, Brasil
Recebido em 6/10/2009; Aceito em 15/1/2010; Publicado em 21/3/2011

Neste artigo, discutimos a implementação de um experimento simples destinado a laboratórios didáticos de eletromagnetismo como material de apoio para a investigação de campos elétricos provenientes de linhas trifásicas, empregando o clássico método da cuba eletrolítica. O experimento mostra que é possível obter informações sobre regiões de segurança para exposição de trabalhadores e estudos sobre o possível impacto ambiental de torres de redes de distribuição de energia elétrica intermunicipais.

Palavras-chave: campos elétricos, linhas trifásicas, cuba eletrolítica.

In this paper, we discuss a simple experimental setup to be employed by laboratories aiming academic teaching in electromagnetism, as a support material to investigate electric fields due to three phase lines, employing the classical method of potential analysis of electrolytic trays. The experiment shows that it is possible to gather information regarding safety in working conditions and the exposition of technical staff and workers to electrical fields, as well as to perform further studies of the possible environmental impact of power lines used by electrical energy distribution networks between cities.

Keywords: electric fields, three-phase lines, potential trays.

1. Introdução

A determinação experimental das propriedades do campo elétrico, \mathbf{E} , e as superfícies equipotenciais associadas em laboratórios de física básica requer não somente experimentos de baixo custo e fácil construção, mas que forneçam dados que permitam aos alunos, estudar os conceitos de eletromagnetismo de uma maneira eficiente e atrativa.

O objetivo desse artigo é discutir a aplicação do método de estudo de potenciais elétricos normalmente empregado para a solução de problemas eletrostáticos simples, com o uso da cuba eletrolítica [1,2], normalmente empregada em medidas de potenciais em problemas eletrostáticos simples, para a análise de linhas de transmissão trifásicas de alta tensão disponíveis para distribuições intermunicipais de energia.

A necessidade principal de descrever campos eletromagnéticos sob linhas de transmissão de alta voltagem surge do fato de existirem evidências epidemiológicas da ação dos campos na fisiopatologia de diversas doenças [3], as quais emergem como principal aspecto do impacto ambiental e biológico da distribuição de energia elétrica.

Assim, espera-se que os alunos sejam capazes de descrever as propriedades do potencial e campo elétrico sob as linhas de transmissão e prever o comportamento das linhas reais a partir de ensaios obtidos através da análise de um modelo utilizando cubas eletrolíticas e multímetros digitais de baixo custo, ao invés de empregar dispendiosos medidores de campo eletromagnético normalmente utilizados pelas empresas distribuidoras de energia para esse fim [4,5]. Tais atividades tem em vista a necessidade de investigar efeitos ambientais de campos eletromagnéticos em baixa frequência, o que é motivo de interesse na literatura [6,7] pelo possível impacto em temas relevantes sobre saúde pública.

2. A torre de alta tensão

A Fig. 1 mostra a geometria da torre de alta tensão tipo "GN" normalmente empregada na região sul do Brasil para sustentar linhas de transmissão entre 130 e 550 kV, sendo 238 kV o padrão de voltagem trifásica mais comum. Na figura, as linhas de transmissão V_1 , V_2 e V_3 podem ser caracterizadas por sinais senoidais de amplitude de 238 kV com respeito ao plano de terra e com uma diferença de fase de 120° entre os cabos.

¹E-mail: eludke@smail.ufsm.br.

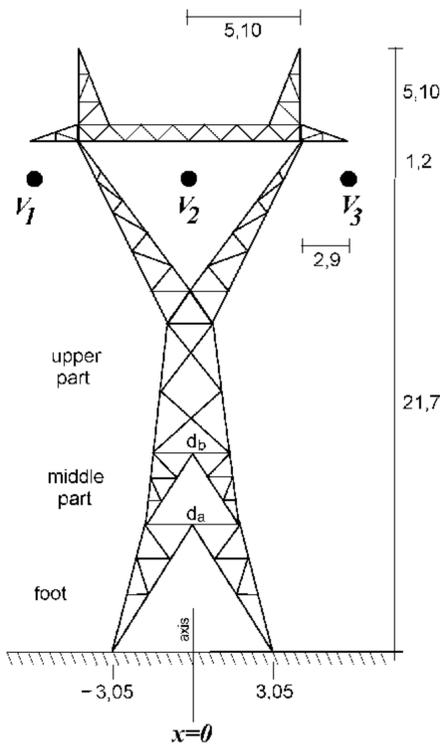


Figura 1 - Geometria de uma torre trifásica tipo GN empregada pela empresa CEEE para distribuição de energia na região sul do Brasil, em redes de 238 kV. Dimensões dadas estão em metros.

Na prática, isoladores cerâmicos de 1,0 metro de comprimento suspendem as linhas abaixo da estrutura metálica da torre. Os elementos geométricos da torre consiste nos pés separados por uma distância de 6,10 metros, uma parte média e uma parte superior, sendo que a parte média é delimitada por um diafragma inferior d_a e um diafragma superior d_b .

Um modelo em escala é desenhado em papel milimetrado e os eletrodos que correspondem aos potenciais trifásicos são colocados nas posições V_1 , V_2 e V_3 a partir de uma tomada trifásica de bancada e um plano condutor de terra colocado no nível do solo, conforme mostrado na Fig. 2. A escala gráfica do papel milimetrado possibilita obter as coordenadas para medida do potencial sondando a cuba eletrolítica que contém uma solução de baixa condutividade, com a ponta de prova de um multímetro digital usada para obter a diferença de potencial entre um ponto de coordenadas (x, y) e o plano terra.

3. Descrição do experimento

O aparato experimental se encontra ilustrado na Fig. 2. Por razões de segurança, a conexão dos terminais correspondentes aos elementos da linha de transmissão na cuba eletrolítica deve ser feita à tomada trifásica por um circuito limitador de corrente. A cuba deve ser firme para evitar molhar as mãos do operador, que deverá estar utilizando luvas de borracha. Como meio dielétrico para a cuba, empregamos água destilada.

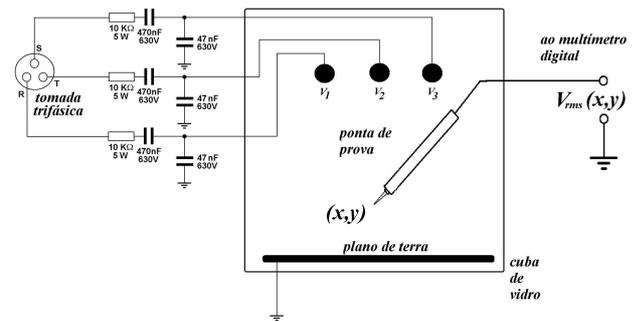


Figura 2 - Ilustração das conexões da cuba eletrolítica à tomada trifásica.

O aterramento elétrico deve ser o mesmo da tomada trifásica, sendo conectado a uma barra de cobre subterrânea, independente do aterramento das tomadas bifásicas do laboratório para melhorar o balanceamento das voltagens em cada eletrodo. Os eletrodos foram confeccionados com chapas de cobre ou latão e são coincidentes com um modelo em escala traçado sobre uma folha de papel milimetrado colocado sob a cuba, o que possibilita a leitura das coordenadas cartesianas (x, y) com respeito ao centro geométrico da torre. Na nossa escala, cada subdivisão quadrada correspondente a cinco milímetros no papel corresponde a 0,67 metros de dimensões reais da torre.

Os alunos medem o potencial em intervalos de 5 mm com o multímetro digital de baixo custo, que possui um circuito retificador e integrador interno em modo de medida de tensão alternada. A voltagem indicada pelo multímetro em modo AC não é r.m.s. verdadeiro, mas que certamente é diretamente proporcional à tensão elétrica r.m.s. $V_{rms}(x, y)$ do sinal senoidal $V(x, y, t)$, que é dado pela expressão

$$V_{rms}(x, y) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(x, y, t) dt} \quad (1)$$

No presente experimento, foi medido uma diferença de potencial de 176 V entre cada eletrodo trifásico da maquete e a terra e as medidas resultaram em tabelas de pontos entre 0,5 e 56 V para a matriz de pontos entre o plano de terra $y = 0$ e o diafragma d_b ilustrado na Fig. 1. Essa voltagem em escala foi normalizada a 238 kV multiplicando os pontos obtidos por $238 \times 10^3 / 176$, para obter os potenciais estimados para a torre real a partir do modelo da cuba eletrolítica.

4. Resultados

A Fig. 3 mostra os potenciais estimados para uma distância horizontal de 40 metros de extensão centrada em $x = 0$ como mostra a geometria da Fig. 1 e para uma altura de $y = 1,2$ metros que corresponde a um padrão de obtenção de medidas para fins de normas de segurança no trabalho.

Na figura, pode-se ver que os dados normalizados para a torre real a partir dos potenciais do modelo coincidem muito bem com a curva teórica obtida pelo método das diferenças finitas [8] implementado em um programa FORTRAN, mostrando um formato de curva em sela. Tal comportamento do potencial e dos campos elétricos também calculados na literatura por vários autores, empregando diversos métodos [9,10] que podem ser estudados por alunos de laboratórios didáticos de física e eletricidade oferecidos em cursos de engenharia elétrica.

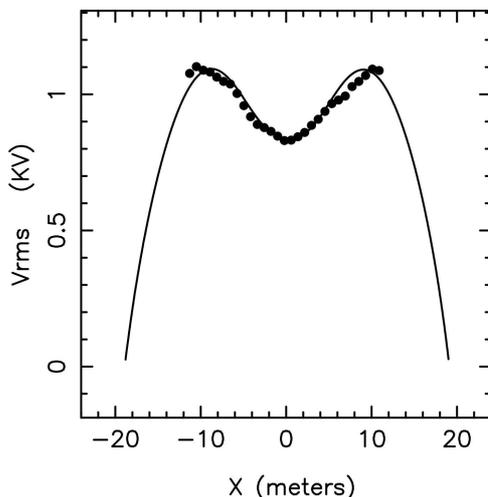


Figura 3 - Superposição dos pontos medidos de V_{rms} normalizadas a 238 kV e a curva teórica obtida por simulações do potencial pelo método das diferenças finitas.

Os alunos podem explorar a origem desses campos por simulações computacionais com o método de diferenças finitas e concluir que o formato de sela resulta das características fasoriais da linha e que o módulo médio de cerca de 1 kV a 1,2 metros de altura consiste em um valor elevado de campo elétrico que certamente pode ter algum impacto ambiental.

Também pode ser observado pelos alunos, dentro dessa atividade, que a região de segurança máxima consiste em se manter a mais de 12 metros de distância da reta de alinhamento entre os centros dos pés das torres ou diretamente no ponto de mínimo da sela ilustrada na Fig. 1, sendo que o potencial assume um máximo imediatamente abaixo das linhas de transmissão colaterais (V_1, V_3) à linha central (V_2).

Os alunos podem obter a descrição técnica das torres de distribuição de energia intermunicipais em cidades vizinhas, nos seus estados, e estudar os potenciais produzidos para outras geometrias de torres, modificando facilmente o aparato experimental discutido nesse artigo.

Os resultados das nossas medidas possibilitam confirmar facilmente que esses campos não são desprezíveis mesmo a uma altura pequena do solo, o que propicia amplas discussões adicionais sobre uma atividade didática que inclua normas de segurança no trabalho com eletricidade para diferentes modelos de torre, além

da comprovação dos conteúdos teóricos envolvidos na determinação quantitativa dos campos e potenciais elétricos.

5. Conclusões

O trabalho apresentado aqui explora a possibilidade de análise de questões de segurança no trabalho e propriedades dos potenciais elétricos sob linhas de transmissão de 238 kV em linhas de transmissão trifásicas interestaduais e intermunicipais, empregando o método das medidas de potenciais com o método da cuba eletrolítica.

A comparação dos resultados com as previsões pelo método das diferenças finitas fornece uma boa aproximação aos dados coletados.

O procedimento experimental sugere uma atividade muito interessante para que os alunos aprendam sobre os princípios básicos de transmissão de energia por linhas de alta tensão e os campos elétricos gerados pelas linhas na superfície da terra.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto “Estudo de riscos das radiações não-ionizantes, medida e simulação de campos eletromagnéticos de baixa frequência, propondo novas metodologias e planos de investigação no âmbito da área de transmissão da CEEE (Companhia Energia Elétrica Estadual) do Rio Grande do Sul” em convênio UFSM/CEEE/ANEEL.

Referências

- [1] W.H. Hayt, *Eletromagnetismo* (Editora LTC, São Paulo, 1983), 3ª ed, p.137-152.
- [2] J.R. Reitz, F.J. Milford e R.W. Christy, *Fundamentos da Teoria Eletromagnética* (Editora Campus, São Paulo, 1982), p. 145.
- [3] I. Marcilio, M. Habermann e N. Gouveia, *Rev. Bras. Epidemiol.* **12**, 105 (2009).
- [4] C. Garrido, A.F. Otero and J. Cidrás, *IEEE Trans. on Power Deliv.* **18**, 1310 (2003).
- [5] J.A. Ramírez, *Anais Workshop Nacional: Efeitos Biológicos Devidos à Ação de Campos Eletromagnéticos* (EDUSP, São Paulo, 2001), pp. 132-138.
- [6] G. Theriault, M. Goldberg, A.B. Miller, et al., *Am. Jour. Epid.* **139**, 550 (1994).
- [7] I.E. Mattos e S. Koifman, *Rev. Saúde Pública* **30**, 564 (1996).
- [8] M. Sadiku, *Elements of Electromagnetics* (Oxford University Press, New York, 2006), 3rd ed., p. 660-713.
- [9] A.E. Tzinevrakis, D.K. Tsanakas and E.I. Mimos, *IEEE Trans. on Power Deliv.* **23**, 1495 (2008).
- [10] A.E. Tzinevrakis, D.K. Tsanakas and E.I. Mimos, *IET Gener. Transm. Distrib.* **falta volume**, 509 (2009).