



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GDS/03

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - GDS**

**GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GDS**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL EM FDTD PARA CÁLCULO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS  
FRENTE ÀS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**VICTOR A. S. MELO  
UFMG**

**FERNANDO H. SILVEIRA  
UFMG**

**SILVÉRIO VISACRO  
UFMG**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta resultados referentes à ferramenta computacional baseada no método das diferenças finitas (FDTD), desenvolvida para investigações relativas ao desempenho de sistemas elétricos frente às descargas atmosféricas. A aplicação do método requer somente o conhecimento da geometria do sistema sob investigação e as constantes elétricas do meio, como resistividade e permissividade, sem que sejam adotadas simplificações para a representação dos elementos do sistema, como adotado em ferramentas do tipo ATP/EMTP. Os resultados de elevação de potencial do solo e sobretensão em isoladores de LT mostram excelente concordância com dados reais de medição e calculados por modelagem eletromagnética avançada.

**PALAVRAS-CHAVE**

Aterramentos elétricos, Descargas atmosféricas, Desempenho de LTs frente às descargas atmosféricas, Modelagem computacional, FDTD.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

As descargas atmosféricas são responsáveis por grande parte dos desligamentos que ocorrem nos sistemas elétricos de potência, afetando a qualidade de energia fornecida ao consumidor. O estudo da interação entre as descargas e seus efeitos e as redes elétricas é de grande importância para que medidas de proteção adequadas sejam tomadas de modo a garantir a integridade e o correto funcionamento dos sistemas elétricos.

A literatura apresenta diversas abordagens para estudo da interação entre as descargas atmosféricas e o sistema elétrico, estando elas associadas a desenvolvimentos experimentais e computacionais, estes últimos buscando a modelagem do problema em foco para a realização de análises de sensibilidade e avaliação de desempenho dos sistemas elétricos.

Dentre os diversos tipos de modelagens apresentadas na literatura, merecem destaque especial as abordagens analíticas, por parâmetros de circuitos distribuídos e com enfoque eletromagnético. Apesar das duas primeiras formas de representação estar associadas a menores tempos de processamento, sua validade de aplicação requer a verificação a cada configuração de problema investigado.

A evolução dos recursos computacionais tem proporcionado o desenvolvimento de representações mais apuradas dos componentes do sistema elétrico, bem como o uso de abordagens de cálculo mais elaboradas. Nos últimos anos, tem sido uma tendência a utilização de ferramentas computacionais com enfoque eletromagnético para se determinar a elevação de potencial no solo e as sobretensões resultantes nas cadeias de isoladores de LTs atingidas por descargas atmosféricas. A aplicação desse tipo de abordagem permite a obtenção de resultados mais precisos e de validade generalizada em relação aos obtidos por modelagens com abordagem analítica ou de representação por parâmetros de circuitos. A solução do problema contempla automaticamente os complexos

acoplamentos eletromagnéticos entre os elementos e considera os efeitos de propagação sem simplificações que possam afetar os resultados.

Nesse contexto, o modelo HEM (*Hybrid Electromagnetic Model*) (1) tem sido amplamente utilizado na literatura para as mais diversas aplicações referentes à análise de desempenho de sistemas elétricos frente aos efeitos de descarga, com destaque especial, nos últimos anos, para a análise do comportamento impulsivo dos aterramentos elétricos e o cálculo de desempenho de LTs frente às descargas atmosféricas. Os detalhes deste modelo e de sua aplicação, bem como a sua validação com base em resultados experimentais, são apresentados em diversas publicações da literatura (2-7).

Uma abordagem eletromagnética interessante e poderosa para esse tipo de problema consiste no uso da técnica FDTD – Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (*Finite-Difference Time-Domain*). Desenvolvida na década de 60 (8), essa técnica considera a discretização do espaço sob análise e o cálculo dos campos eletromagnéticos, tensões e correntes no sistema com base nas equações básicas do eletromagnetismo. Nos últimos anos, a aplicação dessa técnica para problemas relativos aos sistemas elétricos de potência (modelagem e análise de tensões e correntes no sistema) tem apresentado crescimento. Por ser uma técnica no domínio do tempo, sua implementação tem potencialidade para tratar de problemas não-lineares como a operação de dispositivos para-raios sujeitos a correntes de descarga e os efeitos de ionização do solo. Além disso, apresenta um menor tempo de processamento em relação às abordagens eletromagnéticas no domínio da frequência, como o modelo HEM.

Apesar das potencialidades da técnica, a literatura ainda não conta com uma ferramenta computacional de fácil aplicação baseada em FDTD e que esteja completamente ajustada, principalmente, para o cálculo de sobretensões nas cadeias de isoladores de LT e, conseqüentemente, para aplicação sistemática para a análise de desempenho de linhas frente às descargas atmosféricas. A principal contribuição desse trabalho está justamente na elaboração desse tipo de ferramenta, ajustada para o cálculo dessas sobretensões, de forma consistente e apurada, e com reduzido tempo de processamento, da ordem de técnicas por parâmetros de circuitos. A representação do sistema físico é realizada a partir da geometria dos condutores envolvidos e das constantes dos meios nos quais estes estão imersos, sendo que a solução do problema já contempla automaticamente os complexos acoplamentos eletromagnéticos e os efeitos de propagação.

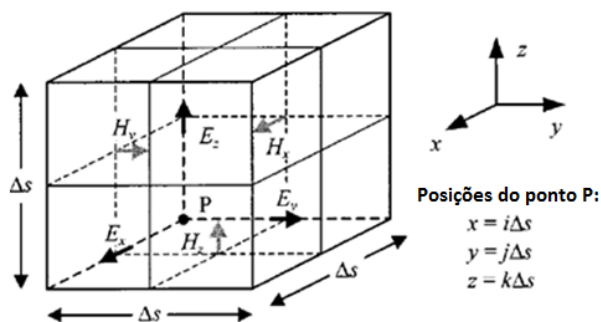
Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados preliminares relativos ao desenvolvimento de uma ferramenta computacional avançada baseada no Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (*FDTD – Finite-Difference Time-Domain*) para estudos relativos ao desempenho de sistemas elétricos frente aos efeitos de descargas, com enfoque nos aterramentos elétricos e linhas de transmissão. São apresentadas comparações de resultados com dados de medição obtidos em configurações reais de aterramentos elétricos, bem como resultados de sobretensões em linhas de transmissão submetidas às correntes de descargas atmosféricas.

Os primeiros resultados obtidos indicam a potencialidade da ferramenta para estudos relativos aos sistemas elétricos. Sua simplicidade de aplicação aliada à sua versatilidade para representação de diversas configurações do sistema elétrico torna esse tipo de modelagem um poderoso recurso com custo computacional moderado para a análise de desempenho de sistemas elétricos frente às descargas atmosféricas.

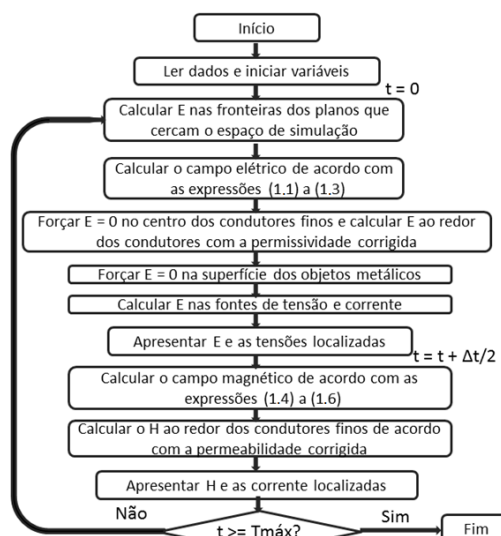
## 2.0 - O MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS NO DOMÍNIO DO TEMPO

O Método FDTD (*Finite-Difference Time-Domain*) foi criado em 1966 pelo matemático chinês Kane S. Yee (8) e é largamente aplicado para a solução de sistemas eletromagnéticos nas mais diversas áreas da engenharia (9,10,11). Trata-se de um método que utiliza as tradicionais equações rotacionais de campo elétrico e magnético discretizadas de acordo com o método das diferenças finitas para calcular a propagação de campos elétricos e magnéticos em um ambiente de simulação isolado (12).

Diferentemente de métodos baseados em teoria de circuitos por parâmetros distribuídos, como o ATP (*Alternative Transient Program*) (13), a aplicação do método FDTD requer somente o conhecimento da geometria do sistema sob investigação e as constantes elétricas do meio, como resistividade, permissividade e permeabilidade. O espaço do problema é dividido em células cúbicas nas quais são calculadas as componentes dos campos elétricos e magnéticos nas três direções (X, Y e Z, conforme apresentado na Figura 1-(a)) associadas à propagação dos efeitos referentes a uma fonte de tensão ou corrente posicionada no espaço, de forma a representar, por exemplo, a incidência de uma descarga atmosférica.



(a)



(b)

Figura 1 – Célula de Yee com as componentes de campo elétrico e magnético dispostas no espaço (14) (a). Fluxograma com os passos utilizados para a aplicação do método FDTD (Adaptado de (14)) (b).

Detalhes da formulação são apresentados em referências tradicionais como (12,14,15,16). A base do método consiste na discretização das equações de básicas do eletromagnetismo no tempo e no espaço para solução dos campos elétrico e magnético, além das tensões e correntes em regiões específicas de interesse para o estudo em questão.

O fluxograma da Figura 1-(b) denota os principais passos referentes à execução do método FDTD para cálculo da distribuição de correntes no sistema em estudo.

Mesmo se tratando de uma metodologia com enfoque eletromagnético, a técnica FDTD permite a representação de elementos básicos de circuitos elétricos como resistores e fontes (de tensão ou corrente). No caso específico das fontes, estas são modeladas no sistema em estudo ao se modificar os campos elétricos e/ou magnéticos apropriadamente em determinadas células do espaço.

Por adotar um enfoque eletromagnético, os elementos do sistema em análise como torres, cabos fase, cabos para-raios e aterramentos são representados seguindo sua geometria, através de filamentos condutores. A representação desses filamentos, chamados na literatura de fios finos por normalmente possuírem um diâmetro menor que a largura das células que dividem o espaço, é feita de maneira simples, bastando zerar as componentes de campo elétrico em seu interior. Para garantir uma impedância de surto adequada para estes fios, as componentes de campo elétrico e magnético ao seu redor devem ser corrigidas de acordo com um fator que depende do seu raio e da largura das células do meio. Desse modo, é possível representar fios com raios diferentes, com valores variando de 0,01% a 90% da largura da célula (14 e 17).

O espaço em análise é limitado por fronteiras absorventes que atuam de modo a reduzir ou eliminar as reflexões das componentes de campo que ali chegam. Este artifício é necessário para evitar interferências, pois as extremidades do ambiente de simulação funcionam como superfícies condutoras devido ao truncamento do espaço. Detalhes referentes às fronteiras absorventes são apresentados em (12) e (15).

### 3.0 - RESULTADOS PRELIMINARES

A ferramenta computacional baseada no método FDTD foi validada através da comparação de seus resultados com dados reais de medição em aterramentos elétricos (9 e 10) e com resultados obtidos com a aplicação de modelagens tradicionais avançadas para o cálculo de sobretensões em linhas de transmissão (1).

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos a seguir. Os testes relativos aos aterramentos elétricos consideram 2 tipos de configuração: haste vertical e anel. As análises relativas às linhas de transmissão consideram uma configuração típica de LT de nível de tensão 138 kV instalada nos Estados Unidos e Canadá.

### 3.1 Aterramentos elétricos

#### 3.1.1 Configuração 1: Eletrodo vertical

Tanabe em (9) apresenta dados de medição de elevação de potencial no solo para o sistema de aterramento ilustrado na Figura 2, constituído por um eletrodo vertical com 3 m de comprimento e área de seção transversal de  $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$ , enterrado em um solo de aproximadamente  $440 \Omega \cdot \text{m}$  e permissividade relativa 50.

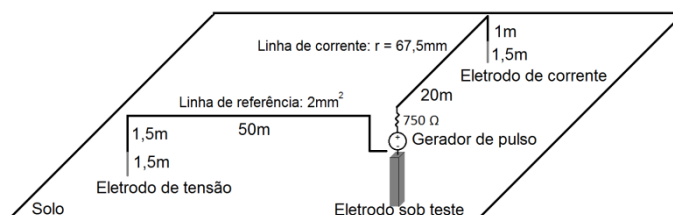


Figura 2 – Sistema de aterramento testado – eletrodo vertical (os condutores em cinza estão enterrados) (9)

A Figura 3 apresenta a forma de onda de tensão aplicada ao sistema (Amplitude: -500 V; tempo de frente: 63 ns; tempo de meia onda  $500 \mu\text{s}$ ).

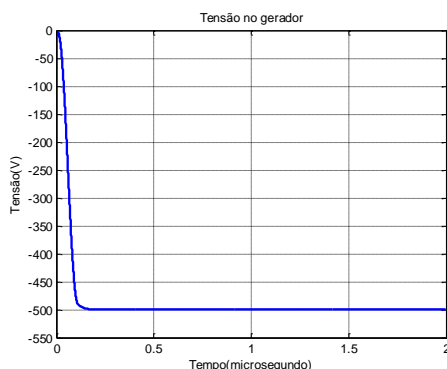


Figura 3 – Forma de onda da aplicada ao sistema de aterramento (haste vertical).

A ferramenta computacional em FDTD foi utilizada para representar as mesmas condições adotadas na medição realizada em (9). O espaço de simulação foi representado por um prisma de dimensões  $30 \times 80 \times 50 \text{ m}$ , limitado por fronteiras absorventes de Liao de segunda ordem para evitar reflexões das componentes de campo elétrico e magnético (15). A técnica do fio fino foi aplicada para representar os eletrodos de tensão e corrente (14).

A Figura 4 apresenta a comparação entre os resultados medidos e calculados pela ferramenta em FDTD, em termos da corrente injetada no solo e da elevação de potencial resultante.

Conforme pode ser observado, as ondas medidas e calculadas são muito parecidas, indicando a potencialidade da técnica em reproduzir dados reais de medição. Em relação à onda de corrente, a maior diferença observada entre as amplitudes foi inferior a 9%, sendo na média de aproximadamente 2%. Comportamento semelhante é observado entre as ondas de elevação de potencial no solo, que apresentam uma diferença máxima de 3,5% quando próximo ao instante  $2 \mu\text{s}$ .

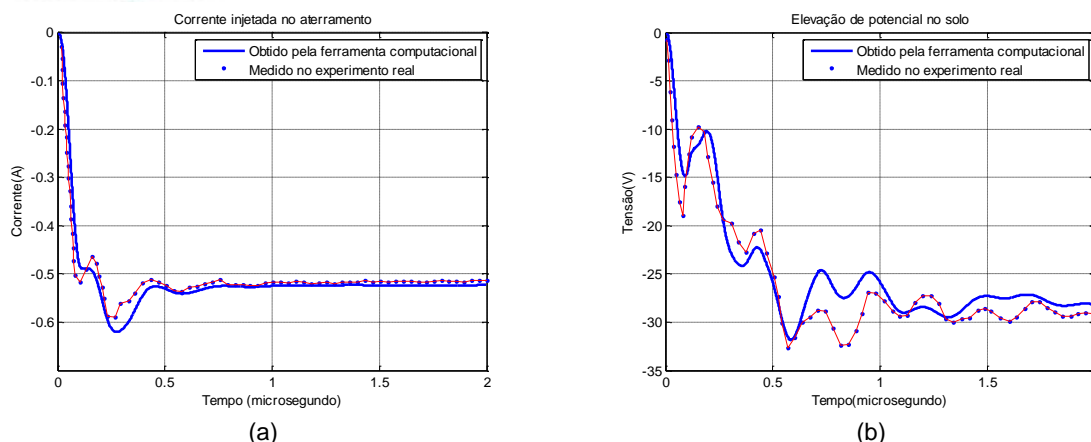


Figura 4 – Comparação entre os resultados de medição e calculados pela ferramenta em FDTD (a). Corrente injetada no solo; (b) Elevação de potencial no solo.

### 3.1.2 Configuração 2: Eletrodo em anel

A segunda configuração de aterramento avaliada consiste em eletrodos em forma de anel enterrados em um solo de  $260 \Omega$  e permissividade relativa 50, conforme ilustrado na Figura 5-(a). As hastes que formam o anel quadrado possuem raio 6,5 mm e comprimento de 7,5 m. As medições realizadas por Tanabe (10) consideraram a mesma forma de onda de tensão ilustrada na Figura 3, porém com a polaridade positiva.

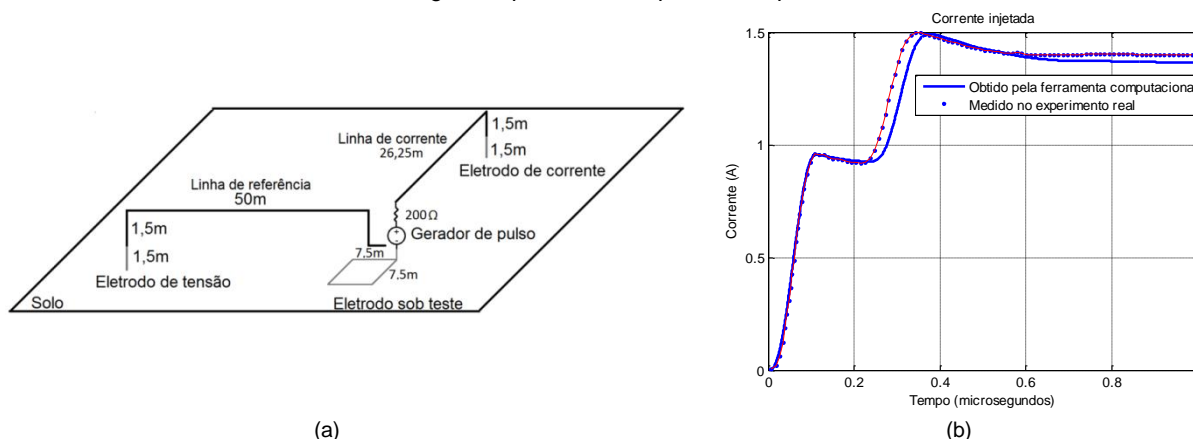


Figura 5 – Sistema de aterramento testado – eletrodos em anel (os condutores em cinza estão enterrados) (a). Forma de onda da corrente injetada no eletrodo (b).

A simulação realizada com a ferramenta computacional em FDTD seguiu os mesmos preceitos da simulação anterior. Os resultados obtidos estão destacados nas Figuras 5-(b), 6-(a) e 6-(b), que ilustram, respectivamente, as formas de onda de corrente injetada no solo, elevação de potencial no solo e resistência transitória. Esse último conceito empregado por Tanabe considera o quociente ponto-a-ponto das amplitudes de tensão e corrente ao longo do tempo. Conforme pode-se observar, os resultados calculados estão muito próximos dos dados de medição apresentados na referência (10).

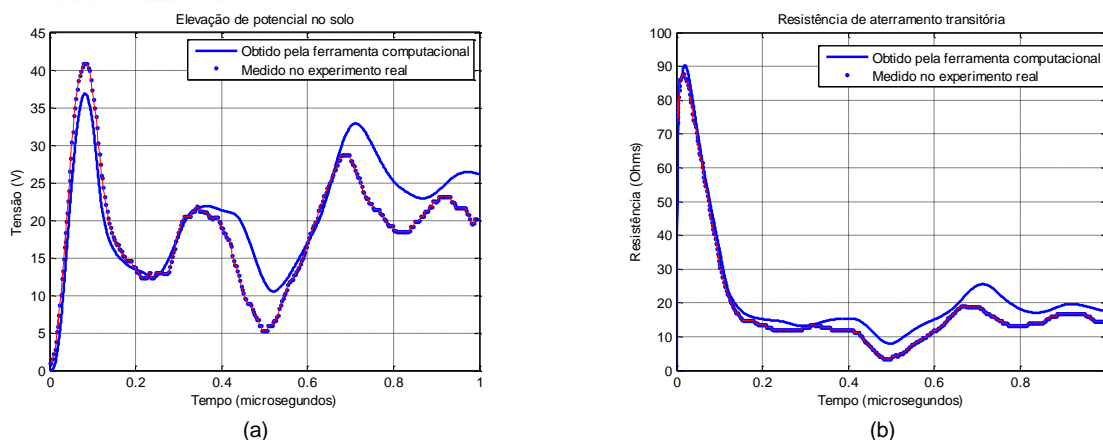


Figura 6 – Elevação de potencial no solo (a) e Resistência de aterramento transitória (b).

### 3.2 Linha de transmissão

Este item apresenta a comparação entre os resultados de sobretensão na cadeia de isoladores de uma linha de transmissão real de nível de tensão 138 kV, circuito duplo, instalada entre os Estados Unidos e o Canadá, calculadas pelo modelo HEM (1) e pela ferramenta em FDTD, assumindo a incidência de descarga no topo da torre. Os detalhes da configuração da torre estão ilustrados na Figura 7-(a). Trata-se de uma torre autoportante com altura típica de 30 m.

As simulações consideraram um vão de 270 m entre torres adjacentes. A forma de onda de corrente de descarga adotada é ilustrada na Figura 7-(b). Trata-se da forma de onda de corrente duplo pico (18) que representa as principais características observadas em ondas individuais de correntes medidas, notadamente a concavidade da frente de onda e a presença de múltiplos picos.

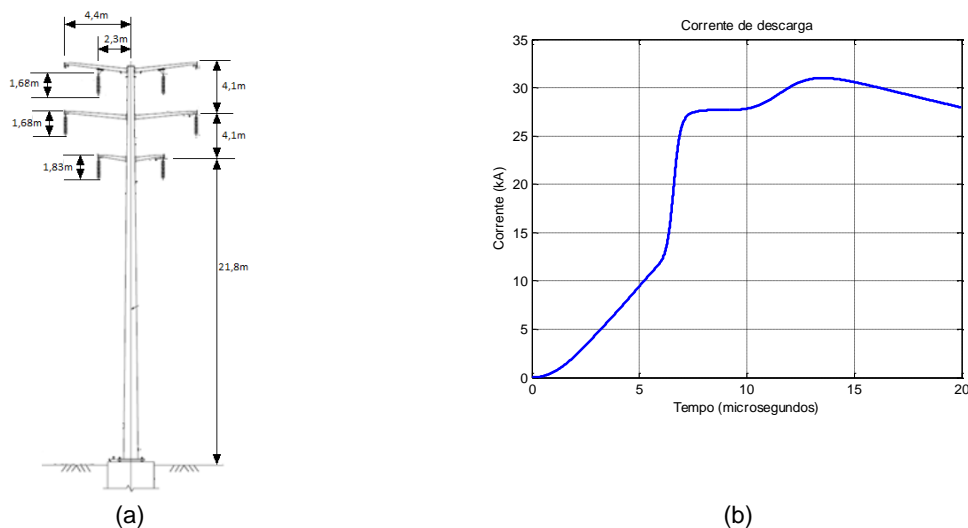


Figura 7 – Configuração da linha de transmissão de 138 kV avaliada (a). Forma de onda de corrente injetada no topo da torre. Contempla os parâmetros medianos medidos na estação de Monte San Salvatore (19) (b).

Os resultados das sobretensões calculadas na torre, no condutor fase superior (tensão induzida) e na cadeia de isoladores superior estão destacados nas Figuras 8 e 9. Foi considerada resistência de aterramento de pé-de-torre (Rat) igual a 20  $\Omega$ .



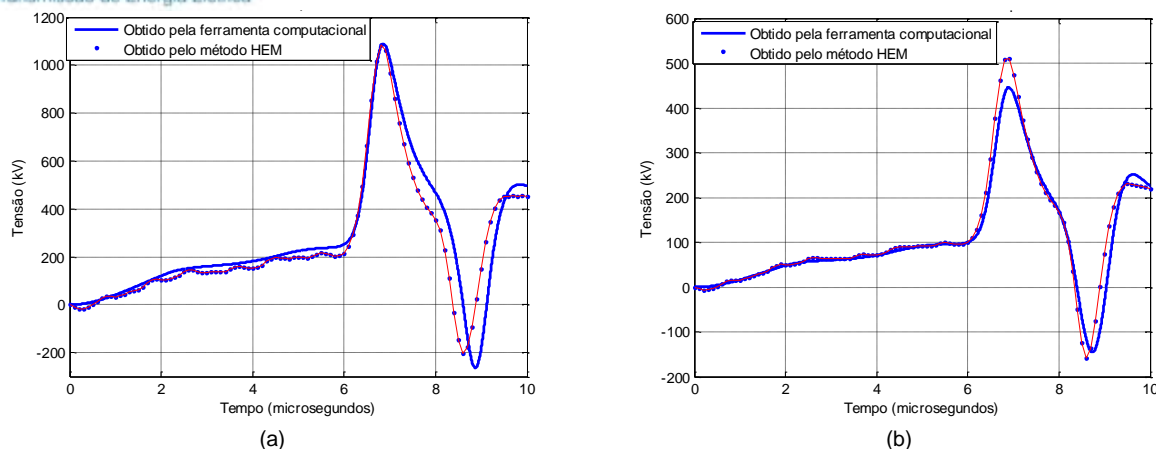


Figura 8 – Sobretensões calculadas na torre (a) e no condutor fase superior (b) (Rat = 20 Ω)

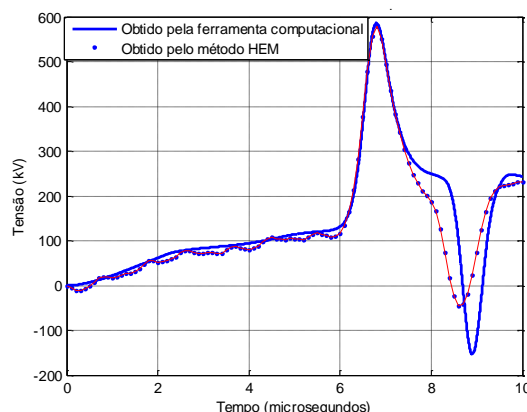


Figura 9 – Sobretensões calculadas na cadeia de isoladores superior. (Rat = 20 Ω).

De modo geral, os resultados obtidos indicam uma grande concordância entre as formas de onda calculadas pelos dois modelos, indicando a potencialidade da ferramenta em FDTD em ser ajustada para o cálculo de sobretensões em linhas de transmissão sujeitas às correntes de descargas. A maior diferença observada se refere ao pico de sobretensão na fase, da ordem de 8%. Tal diferença pode estar associada a ajustes nos tamanhos das células e aos arredondamentos existentes devido à discretização do tempo utilizados na aplicação do método FDTD.

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo apresentar os principais aspectos e os resultados preliminares de uma ferramenta computacional avançada, com enfoque eletromagnético, baseada no método das diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD), dedicada à análise de desempenho de sistemas elétricos frente às descargas atmosféricas, notadamente, dos aterramentos elétricos e linhas de transmissão.

A despeito dos diversos trabalhos referentes à técnica, a literatura não conta com uma ferramenta computacional de fácil aplicação baseada em FDTD e que esteja ajustada para cálculos de sobretensões nas cadeias de isoladores de LT e, conseqüentemente, para aplicação sistemática em avaliações de desempenho de LTs frente às descargas. O desenvolvimento dessa ferramenta busca preencher essa lacuna, ao possibilitar o cálculo dessas sobretensões, de forma consistente e apurada, sem a necessidade de simplificações adotadas por abordagens do tipo ATP/EMTP. A representação do sistema físico é realizada a partir da geometria dos condutores envolvidos e das constantes dos meios nos quais estes estão imersos, sendo que a solução do problema já contempla automaticamente os complexos acoplamentos eletromagnéticos e os efeitos de propagação.

Conforme indicado, os resultados obtidos em termos, principalmente, da elevação de potencial do solo e sobretensão na cadeia de isoladores de LT apresentam uma excelente concordância (em termos de forma de onda

e amplitude) em relação aos dados reais de medição e aqueles calculados pelo modelo HEM. Diferenças inferiores a 8% são reportadas em alguns casos.

Trata-se de um estágio preliminar de desenvolvimento da ferramenta computacional. Pretende-se investir no desenvolvimento de interface amigável para operação do programa, além de se desenvolver implementações que capacitem a ferramenta a representar efeitos importantes para o desempenho de LTs frente às descargas, como a variação com a frequência dos parâmetros do solo, efeito de ionização do solo e corona nos condutores da linha de transmissão.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VISACRO, S., SOARES J, A., "HEM: A Model for Simulation of Lightning-Related Engineering Problems". IEEE Trans. Power Del., v. 20, n. 2, pp. 1026-1028, April 2005.
- (2) VISACRO, S., SILVEIRA, F.H., "The Impact of the Frequency Dependence of Soil Parameters on the Lightning Performance of Transmission Lines", IEEE Trans. Electromagn. Compat., v. 57, p. 434-441, 2015.
- (3) VISACRO, S., SILVEIRA, F.H., "Lightning Performance of Transmission Lines: Requirements of Tower-Footing Electrodes Consisting of Long Counterpoise Wires", IEEE Trans. Power Del. vol. 31, no. 4, p. 1524-1532, Aug. 2016.
- (4) VISACRO, S., SILVEIRA, F. H., "Lightning performance of transmission lines: Methodology to design grounding electrodes to ensure an expected outage rate," IEEE Trans. Power Del., vol. 30, no. 1, pp. 237–245, Feb. 2015.
- (5) SILVEIRA, F. H., VISACRO, S., DE CONTI, A., TEIXEIRA, F.M., "The Influence of Lightning Stroke Current Waveform on the Calculation of the Lightning Performance of Transmission Lines". In: APL 2015, Nagoya, p. 799-803.
- (6) SILVEIRA, F. H., VISACRO, S., "Typical line insulation flashover modeling and their effect on the calculation of backflashover outage rate of transmission lines", In: Proc. GROUND'2016 & 7th LPE, 2016. p. 204-207.
- (7) SILVEIRA, F.H., VISACRO,S., DE CONTI, A., "Lightning Performance of 138-kV Transmission Lines: The Relevance of Subsequent Strokes", IEEE Trans. Electromagn. Compat., v. 55, pp. 1195-1200, Dec. 2013.
- (8) Yee, K. S., "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, pp. 302–307, May 1966.
- (9) TANABE, K., "Novel method for analyzing the transient behavior of grounding systems based on the finite-difference time-domain method", in Proc. IEEE PES Winter Meeting, Vol. 3, 2001, pp. 1128-1132
- (10) Tanabe, K., Asakawa, A., "Computer analysis of transient performance of grounding grid element based on the finite-difference time-domain method", Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat., vol. 1, pp. 209-212, May 2003.
- (11) Thang, T. H., Baba, Y., Nagaoka, N., Ametani, A., Itamoto, N., and Rakov, V. A., "FDTD simulation of direct lightning strike to a phase conductor: Influence of corona on transient voltages at the tower," Electric Power Systems Research, vol. 123, pp. 128-136, Jun. 2015
- (12) Taflove, A., e SUSAN, C. H., Computacional Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Norwood, MA, 2000.
- (13) ATP - Electromagnetic Transients Program Rule Book, Bonneville Power Administration, Portland, 1982.
- (14) NODA, Taku; YOKOYAMA, Shigeru "Thin Wire Representation in Finite Difference Time Domain Surge Simulation" IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, N°3, Julho 2012.
- (15) Wong, H. L., Liao, Z.P. and Yuan, Y., "A transmitting boundary for transient wave analyses," Scientia Sinica (series A), vol. XXVII, pp. 1063-1076, 1984.
- (16) Baba, Y., Nagaoka, N., Ametani, A., "Modeling of thin wires in a lossy medium for FDTD simulations", IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 47, no. 1, pp. 54-60, Feb. 2005.
- (17) Asada, T., Baba, Y., Nagaoka, N., Ametani, A., "An Improved Thin Wire Representation for FDTD Transient Simulations", Electromagnetic Compatibility IEEE Transactions on, vol. 57, pp. 484-487, 2015, ISSN 0018-9375.
- (18) DE CONTI, A., VISACRO, S., "Analytical representation of single- and double-peaked lightning current waveforms," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 49, no. 2, pp. 448–451, May 2007.
- (19) ANDERSON, R. B., ERIKSSON, A.J., "Lightning parameters for engineering application," Electra, vol.69, pp. 65-102, 1980.



## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Victor A. S. Melo** nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, em 17 de maio de 1988. É engenheiro eletricitista formado pelo CEFET MG em 2013 e especialista em docência na educação profissional e tecnológica pelo SENAI CETIQT em 2015.

Foi instrutor de formação profissional no SENAI CETEM de 2010 a 2015 e tem atuado como professor do curso técnico de automação no IFMG campus Betim.

Atualmente é aluno do mestrado em engenharia de potência pela UFMG na linha de sistemas de energia.



**Fernando H. Silveira** possui graduação (1999), mestrado (2001) e doutorado (2006) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É professor adjunto IV do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG e pesquisador associado ao LRC (Lightning Research Center) da UFMG. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em desempenho de linhas de transmissão frente às descargas atmosféricas, eletromagnetismo aplicado, descargas atmosféricas (modelagem física do fenômeno). É membro do IEEE e CIGRE, sendo representante brasileiro dos grupos internacionais do CIGRE WG C4.37 (Electromagnetic Computation Methods for Lightning Surge Studies with Emphasis on the FDTD Method) e WG.C4.23 (Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines), e secretário do GT4 BR01 (Desempenho de Linhas de Transmissão frente a Descargas Atmosféricas) do CIGRE-Brasil.



**Silvério Visacro** - IEEE Fellow, "IEEE Kanda Award 2016" e "ICLP Karl Berger Award 2016".

Nasceu em Belo Horizonte em 1956. Gradou-se (1979) e obteve o mestrado (1983) em Eng. Elétrica pela UFMG e **doutorou-se na COPPE/UFRJ (1992)**. É **Professor Titular da UFMG** na área de Eng. Elétrica. Atua na área de Eletromagnetismo Aplicado, com ênfase nas aplicações em Aterramentos Elétricos, Descargas Atmosféricas e Linhas de Transmissão. Em 2001, com o suporte da CEMIG, fundou o LRC - Lightning Research Center, avançado centro de pesquisa dos raios e seus efeitos, onde lidera equipe de aproximadamente 50 membros. É **autor de dois livros**, respectivamente nos temas **Aterramentos Elétricos** e **Descargas Atmosféricas**, de **3 capítulos de livros internacionais**, além de mais de **400 artigos de periódicos e congressos**. **Presidente do GROUND & LPE** (International Conference on Grounding & Lightning Physics and Effects).