

# **Redução de Tensões Induzidas por Descargas Atmosféricas na Cadeia de Isoladores de Torres de Transmissão Através de Melhorias no Sistema Aterramento e do uso de Falsos-Estais**

GDS /Marco Sussuarana  
Júlio A. S. do Nascimento





- Incidência de uma descarga atmosférica na LT produz sobretensões que podem ultrapassar o NBI nos isoladores de linha.
- O sistema de aterramento deve transferir a corrente transitória para o terra durante a ocorrência de descarga atmosférica ou outro surto.
- Fatores: condições do solo, configuração geométrica do aterramento e a forma de onda do pulso incidente.
- Elementos que compõem o sistema de aterramento: cabos-guarda, eletrodos, cabos-contrapeso, estrutura metálica da torre.
- Relevância da análise de transitórios eletromagnéticos para obter uma visão completa dos sistemas de aterramento.
- Análise do transitório do problema é feita através da avaliação dos sinais de tensão e corrente calculados através do método FDTD.



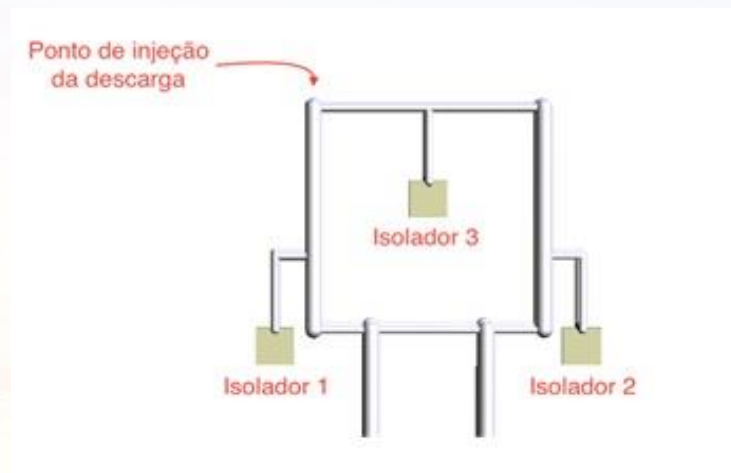
➤ Na Figura 1, é ilustrada a representação no ambiente do *software* SAGS (6) para os casos analisados neste trabalho. A região de análise considerada contém  $500 \times 140 \times 200$  células cúbicas de Yee com arestas medindo  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0,5$  m.

➤  $\rho = 5000 \Omega \cdot m$ ,  $\epsilon_r = 5$

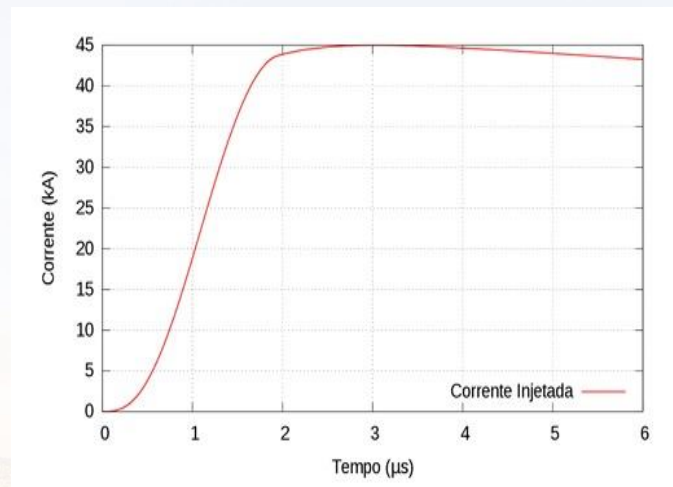
➤ Nas simulações, os isoladores foram representados como materiais dielétricos com os seguintes parâmetros: S/m,  $\epsilon_r = 7,5$  e  $\mu_r = 1$ . A descarga atmosférica foi representada como um pulso de corrente com a forma de onda ilustrada na Figura 2-(b). Na Figura 2, é indicado o ponto no qual o pulso de corrente é injetado através de um canal de descarga. Conforme ilustra a Figura 1-(a), o canal de descarga penetra na região absorvente CPML, tendo portanto comprimento efetivo infinito.



## MODELAGEM NO AMBIENTE DO SOFTWARE SAGS



(a)

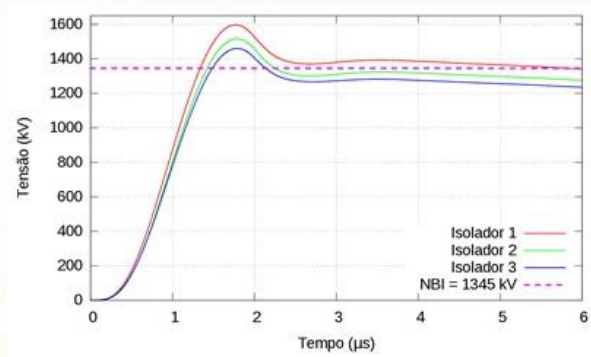


(b)

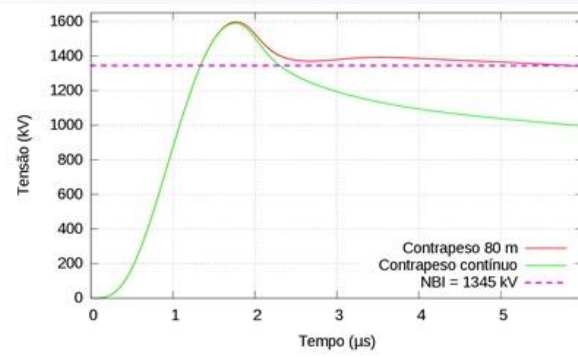
FIGURA 2 – Modelagem no ambiente do *software* SAGS: (a) representação do ponto de injeção da descarga (parte superior da torre) e os isoladores, (b) corrente injetada em função do tempo.

➤ Nas simulações numéricas, são analisados os sinais de tensão avaliados nos isoladores de linha ilustrados pela Figura 2-(a). Na Figura 3-(a), são mostrados os sinais de tensão nos isoladores obtidos por meio de uma simulação numérica na qual é aplicado o pulso atmosférico da Figura 2-(b). Nota-se que o sinal de tensão avaliado entre os terminais do Isolador 1 apresenta o maior valor de pico. Logo, os próximos resultados serão analisados com base na tensão deste isolador, pois este é o caso mais crítico do problema. Cabe ressaltar que o valor de pico da tensão nos terminais dos três isoladores ultrapassa o valor do NBI da linha de transmissão estudada neste trabalho.





(a)

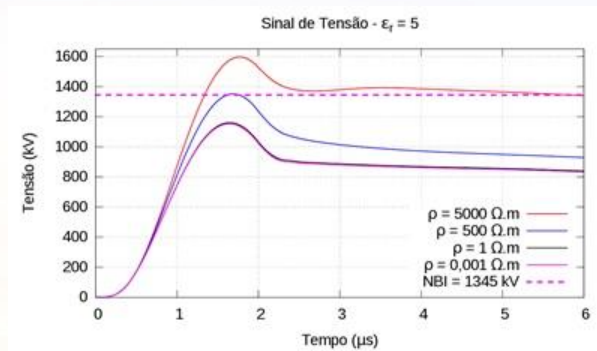


(b)

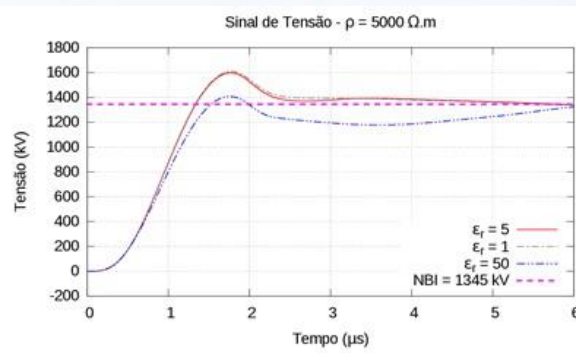
FIGURA 3 – Sinais obtidos por simulação numérica: (a) Tensões induzidas nos três isoladores (cabo-contrapeso de 80 m), (b) Tensões induzidas no Isolador 1 para os casos com cabo-contrapeso de 80 m e contínuo.



## Modelagem no ambiente do software SAGS



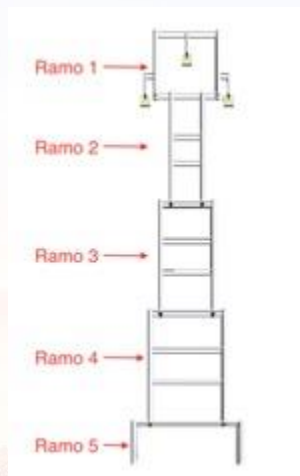
(a)



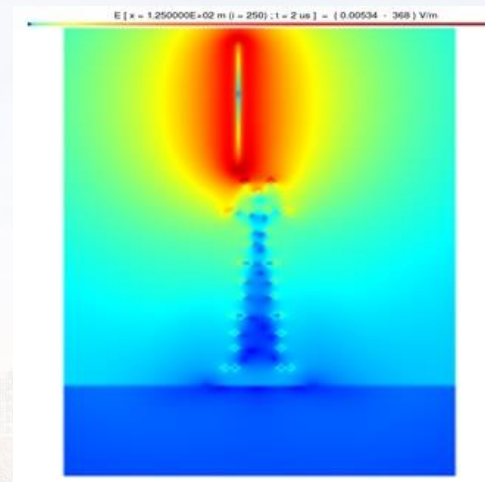
(b)

FIGURA 4 – Sinais de tensão obtidos por simulação numérica. (a) Mantendo o valor de  $\epsilon_r = 5$  e alterando o valor de  $\rho$ , (b) Mantendo o valor de  $\rho = 5000 \Omega.m$  e alterando o valor de  $\epsilon_r$ .

## Modelagem no ambiente do software SAGS



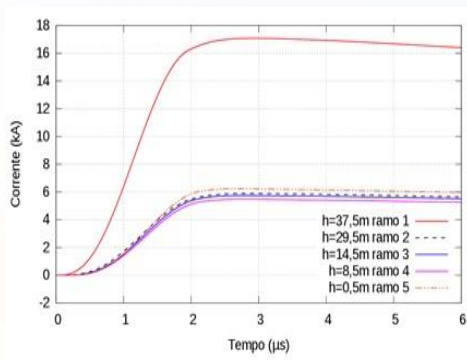
(a)



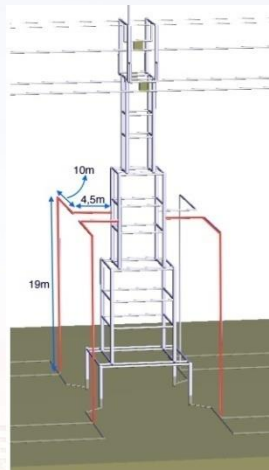
(b)

FIGURA 5 – (a) Indicação dos Ramos, (b) Distribuição do campo elétrico no espaço ( $t = 2 \mu\text{s}$ ).

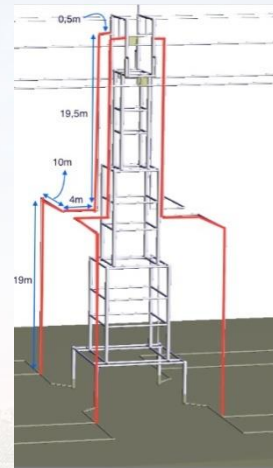
## Modelagem no ambiente do software SAGS



(a)



(b)



(c)

FIGURA 6 – Correntes na torre e instalação dos estais: (a) Correntes nos ramos, (b) Falso-estai Ramo 3, (c) Falso-estai Ramo 1.



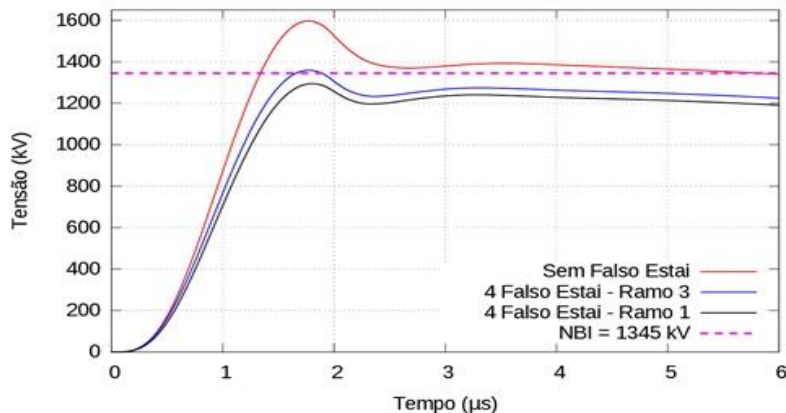


FIGURA 7 – Correntes na torre e instalação dos estais: (a) Correntes nos ramos, (b) Falso-estai Ramo 3, (c) Falso-estai Ramo 1.

Tipo de aterramento	Tensão Pico (kV)	Diferença percentual em relação ao NBI de 1345 kV
Sem falso-estai	1593	18,44%
Falso-estai no Ramo 3	1359	1,04%
Falso-estai no Ramo 1	1296	-3,64%

Tabela 1 – Tensões de pico nos isoladores para  $\rho = 5000 \Omega.m$  e contrapeso de 80 m.

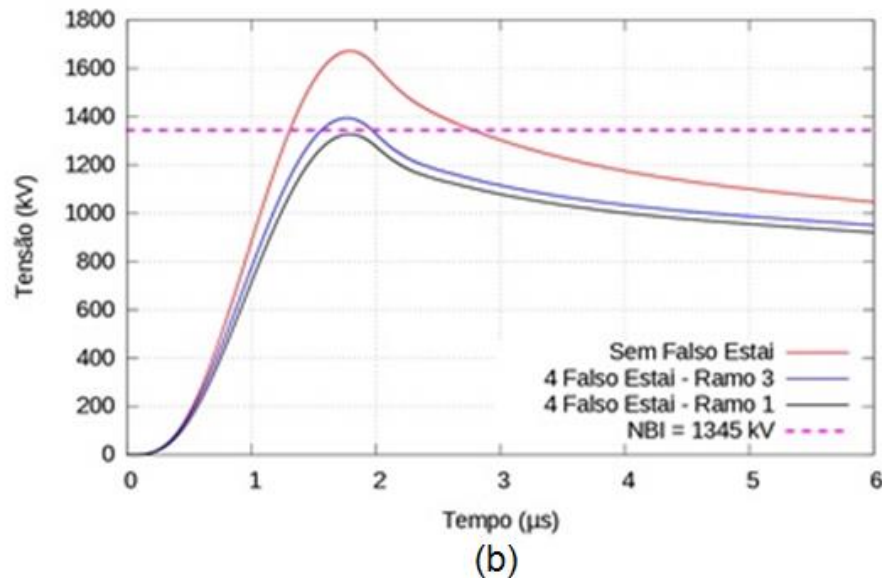
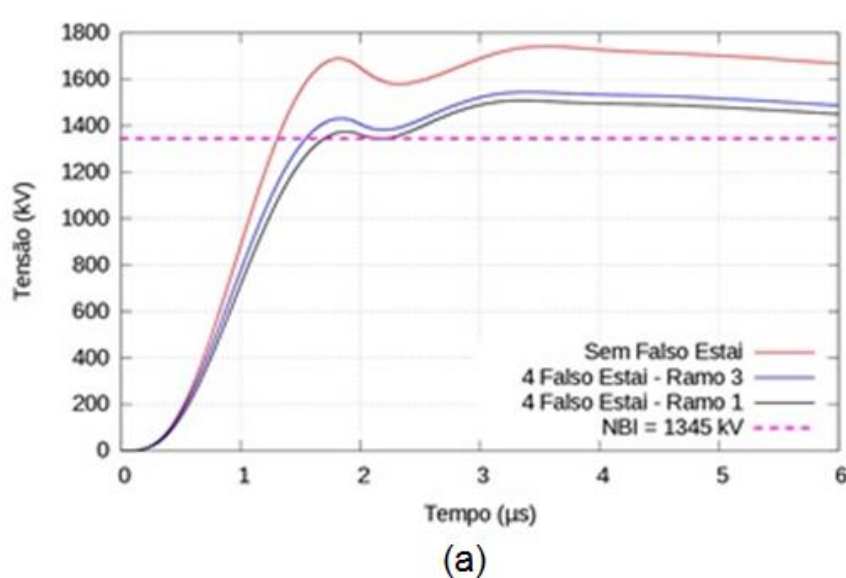


FIGURA 8 – Sinais de tensão obtidos por meio de simulações numéricas para um solo com  $\rho = 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ : (a) com contrapeso de 80 m, (b) com contrapeso contínuo.

## SIMULAÇÕES E ANÁLISE DO PROBLEMA – PROPOSTA DE MELHORIA/CONCLUSÕES

- Na Tabela 2, apresentam-se os resultados obtidos nos casos com  $\rho = 10 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ . Observa-se que a tensão de pico na configuração original com contrapeso contínuo ultrapassa em 24,46% o NBI da linha de transmissão, a configuração com o falso-estai e contrapeso contínuo no Ramo 3 ultrapassa o NBI da linha de transmissão em 3,72%, e o valor de pico da tensão induzida fica 1,30% abaixo do NBI na utilização do falso-estai e contrapeso contínuo conectado ao Ramo 1.
- A inclusão do conjunto falso-estai e cabo-contrapeso reduziu significativamente do valor de pico do sinal de tensão nos isoladores de linha.



## Modelagem no ambiente do software SAGS

Tipo de aterramento	Tensão Pico (kV)	Diferença percentual em relação ao NBI de 1345 kV
Contrapeso de 80 m	1744	29,65%
Estai no Ramo 3 80 m	1544	14,76%
Estai no Ramo 1 80 m	1508	12,08%
Contrapeso contínuo	1674	24,46%
Estai no Ramo 3 contínuo	1395	3,72%
Estai no Ramo 1 contínuo	1328	-1,30%

Tabela 2 – Tensão de pico nos isoladores para  $\rho = 10000 \Omega.m$ .

## Marco Sussuarana / JULIO A. S. DO NASCIMENTO

---

 (91) 3252 -7500

 [julio.nascimento@eletronorte.gov.br](mailto:julio.nascimento@eletronorte.gov.br)

 [www.eln.gov.br](http://www.eln.gov.br)