



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GSE/23
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO –VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

SIMULAÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO EM SUBESTAÇÕES PARA ATENDIMENTO A RN 398 ANEEL DE MARÇO DE 2010 - ANÁLISE PARAMÉTRICA DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE REPRESENTAÇÃO NO RESULTADO FINAL

Rogério Régis da Silva(*)
UNIFEI/TSE

Manuel Luiz Barreira Martinez
LAT/UNIFEI

Livia Maria Alburquerque
UNIFEI/TSE

RESUMO

A publicação da RN ANEEL Nº 398 de março de 2010 gerou uma grande demanda de serviço de cálculo de campos elétrico e magnético em subestações e linhas de transmissão, o que, por sua vez, expôs o número reduzido de engenheiros qualificados e com experiência para realização de tal tarefa no Brasil. Este trabalho apresenta uma análise da influência do nível de representação da subestação no resultado final dos cálculos realizados através do programa CEMIEE, tendo em vista o atendimento à resolução normativa ANEEL.

PALAVRAS-CHAVE

Campo elétrico, subestações, RN 398 ANEEL

1.0 - INTRODUÇÃO

Em 23 de março de 2010, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) baseada em [2], publicou a resolução normativa Nº 398 [4], a qual dispõe sobre a exposição humana aos campos elétricos e magnéticos gerados pelas instalações do Sistema Elétrico de Potência (SEP), obrigando todos os agentes a verificarem a conformidade de suas instalações com a referida resolução.

Face à grande demanda pela determinação do campo elétrico em instalações do SEP, gerada pela publicação de [4], a escassez de ferramentas de simulação específicas e o número reduzido de profissionais do setor com preparo para tal tarefa, este trabalho pretende apresentar um estudo dos aspectos influentes no cálculo do campo elétrico para a obtenção de um resultado adequado, tendo em vista a determinação dos máximos valores de campo elétrico gerado pelas instalações do SEP.

Para a obtenção dos resultados foi desenvolvido o software CEMIEE que permite a determinação dos campos elétricos em de instalações do SEP, basicamente subestações isoladas a ar e linhas de transmissão, instalações estas que possuem facilidades de modelagem e discretização.

O Software desenvolvido se baseia no Método de Simulação de Cargas (MSC), o qual consiste em substituir a distribuição superficial de cargas de um eletrodo por um conjunto de cargas fictícias discretas situadas fora da área de simulação do campo ou potencial elétrico, como mostrado na Figura 1 a. No MSC o potencial gerado pelas cargas fictícias é tomado como uma solução particular das equações de Laplace e Poisson. As magnitudes das cargas não são conhecidas a priori e devem ser determinadas de forma que o potencial gerado pela interação destas nos pontos de contorno satisfaça as condições de contorno impostas. Como os potenciais gerados pelas cargas satisfazem a equação de Laplace ou Poisson dentro do espaço considerado, a solução é única dentro deste espaço.

Dentro de uma subestação existem basicamente três tipos diferentes de elementos que exercem influência no campo elétrico:

- Condutores de potencial conhecido - energizados ou aterrados;

(*) Rua são Judas Tadeu, nº 930 – CEP 37.500-172 Itajubá, MG, – Brasil
Tel: (+55 35) 3622 0796 – Email: regerio.silva@tse-tecnologia.br

- Condutores com potencial flutuante – sem conexão com as fases ou a terra;
- Dielétricos (isoladores de pedestal, buchas, equipamentos, etc).

Vale ressaltar que os condutores são modelados como cilindros, de raio igual ao raio do condutor real, que podem estar orientados em qualquer direção no espaço, Figura 1 a, de modo que as curvas devem ser discretizadas em segmentos de reta. Os isoladores são modelados como cilindros na vertical de raio constante, sem representação das saias, Figura 1 b.

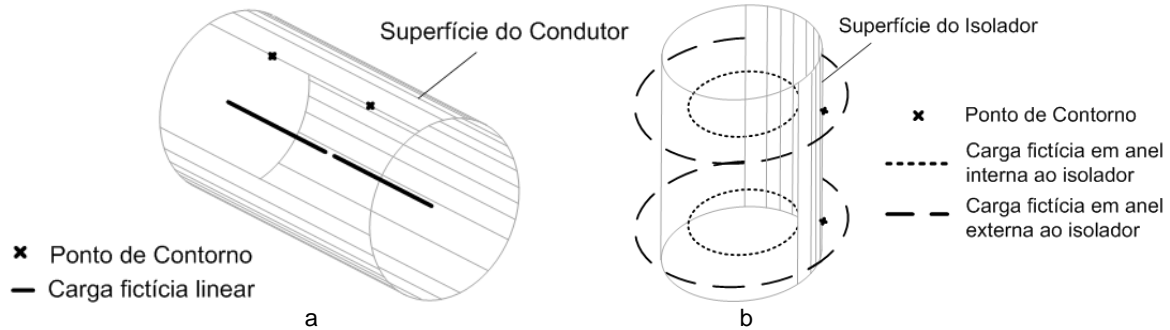


FIGURA 1 – Arranjo das cargas fictícias: (a) Condutor cilíndrico. (b) Isolador cilíndrico.

Utilizando-se as condições de contorno para cada tipo de carga fictícia, considerando-se os condutores de potencial conhecido, potencial flutuante e isoladores, pode-se formular o sistema linear, apresentado a seguir, para a determinação das cargas desconhecidas:

$$\begin{bmatrix} P_{cc} & P_{fc} & 0 & P_{dc} & 0 \\ P_{cf} & P_{ff} & 0 & P_{df} & -I_f^T \\ 0 & 0 & P_a & -P_d & 0 \\ (\epsilon_{dr} - 1)F_c^n & (\epsilon_{dr} - 1)F_f^n & \epsilon_{dr}F_a^n & -F_d^n & 0 \\ 0 & I_f & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Q_c \\ Q_f \\ Q_a \\ Q_d \\ V_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_c \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sendo:

P_{cc} , P_{fc} , P_{cf} e P_{ff} – Sub-matriz dos coeficientes de potencial dos condutores de potencial conhecido e flutuante;

P_{dc} , P_{df} , – Sub-matriz dos coeficientes de potencial entre dos condutores de potencial conhecido/flutuante e os isoladores;

P_a , P_d – Sub-matrizes dos coeficientes de potencial dos isoladores;

F_c^n , F_f^n , F_a^n e F_d^n – Sub-matrizes da componente normal do campo elétrico nos pontos de contorno dos isoladores;

Com a solução deste sistema linear determinam-se as cargas fictícias, a partir das quais o campo elétrico pode ser calculado em qualquer ponto do ar. Para o cálculo do campo elétrico pode ser utilizada uma técnica numérica ou algébrica, sendo que o CEMIEE faz o cálculo de maneira algébrica.

Toda a validação do software, bem como detalhes do método de simulação de carga são apresentados em [6].

Com a metodologia apresentada, o CEMIEE está apto a representar os problemas mais comuns de cálculo de campo elétrico em subestações do SEP. A seguir serão apresentados os parâmetros influentes no cálculo do campo elétrico.

2.0 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS INFLUENTES NO CÁLCULO DO CAMPO ELÉTRICO

Para a análise dos parâmetros influentes no cálculo de campo elétrico no interior de subestações, primeiramente deve-se definir os parâmetros a serem utilizados na análise. Os parâmetros definidos, na realidade, são os níveis de representação da subestação no software e se dividem basicamente em duas categorias:

- Parâmetros de simulação: parâmetros internos do software que podem ter impacto na resposta final do campo elétrico. São eles: número de cargas fictícias utilizadas; resolução da simulação (quantidade de pontos de cálculo);
- Parâmetros de modelagem: parâmetros relativos ao tipo e qualidade de representação dos elementos considerados no estudo. São eles: representação de condutores de potencial flutuante; representação das colunas de isoladores; representação das estruturas metálicas; representação dos subcondutores ou condutor equivalente; representação das flechas dos condutores;

2.1 Parâmetros de simulação

Os parâmetros de simulação têm impacto direto nos níveis de campo elétrico calculado, sendo que, o número de cargas fictícias utilizadas em cada condutor ou isolador influencia na precisão da solução do sistema de equações utilizado na determinação das cargas, enquanto que o número de pontos de cálculo do campo elétrico influencia apenas na apresentação dos resultados.

De maneira geral, a utilização de um número de segmentos de carga adequado por condutor é imprescindível para uma boa precisão nos resultados obtidos, no entanto, do ponto de vista de determinação do máximo valor de campo elétrico dentro de subestações, uma boa precisão de simulação nem sempre implica em um elevado número destes. Todas as simulações realizadas no presente trabalho consideram um número adequado de segmentos de carga

Com relação ao número de pontos de cálculo do campo elétrico ao nível do solo, ainda que eles não influenciem na precisão da determinação das cargas fictícias, e consequentemente do campo elétrico, uma baixa quantidade de pontos pode mascarar eventuais picos de intensidade deste campo. Felizmente, os campos elétricos no interior de subestações isoladas a ar são, em geral, relativamente bem comportados em pontos não muito próximos de estruturas metálicas e bases de equipamentos, o que permite a utilização de uma distância de 0,5 a 2 m entre os pontos de cálculo. Neste trabalho, todas as simulações são apresentadas com 1 m de distância entre pontos de cálculo.

Uma análise mais detalhada da influência do número de segmentos de carga utilizados na representação dos condutores e da quantidade de pontos de simulação é encontrada em [6].

2.2 Parâmetros de Modelagem

Neste item são apresentados os resultados da influência dos parâmetros de modelagem no perfil final do campo elétrico. A análise das influências de cada parâmetro, apresentada nos subitens de 2.2.2 a 2.2.6, será realizada através de um gráfico que apresenta as diferenças em kV/m, em cada ponto de cálculo, com relação ao modelo tradicionalmente mais empregado para a simulação de campos elétricos, o qual é apresentado no subitem 2.2.1, e que considera apenas condutores de potencial conhecido: condutores de fases e elementos aterrados. O intuito desta análise é verificar possíveis limitações deste modelo, e avaliar determinadas premissas normalmente aplicadas. Todas as simulações do presente trabalho foram realizadas a 1,5 [m] de altura, conforme [4].

A Figura 2 mostra o modelo 3D da subestação, com todos os elementos modelados, enquanto as Figuras 3 e 4 apresentam o corte e a planta do modelo desenvolvido. Estas figuras apresentam a seguinte legenda de cores: Segmentos vermelhos: fase A; segmentos verdes: fase B; segmentos azuis: fase C; segmentos cianos: potencial flutuante; segmentos pretos: elementos aterrados e isoladores.

O modelo simulado apresenta as seguintes características:

- Configuração da subestação: Barra principal e transferência;
- Altura do primeiro nível de condutores ao solo: 4,5 [m];
- Altura das barras nos pontos de ancoragem: 10,5 [m];
- Altura dos condutores dos vãos de transferência nos pontos de ancoragem: 15,5 [m];
- Configuração utilizada para simulação:
 - Barra principal energizada;
 - Barra e vãos de transferência desligados (com potencial flutuante);
- Condutores utilizados:
 - Fase: 1 ou 2 x CAA Hawk ($R = 1,09$ cm) e Tubo rígido de Alumínio 3" IPS;
 - Pára-raios: Aço HS 3/8";
- Flecha dos cabos: 5% do vão;
- Tensão de fase: 138 [kV];
- As bases dos equipamentos são representadas por condutores cilíndricos de 10 [cm] de diâmetro;

2.2.1 Modelo base

O modelo base é o modelo tradicionalmente utilizado para a simulação do campo elétrico em subestações, o qual considera apenas condutores de potencial conhecido, ou seja, condutores de fase e elementos metálicos aterrados, sendo este utilizado como base para a comparação com os demais modelos estudados, apresentados nos subitens 2.2.2 a 2.2.6. Neste modelo as catenárias são consideradas por meio de quatro segmentos de reta. A Figura 5 apresenta o gráfico do campo elétrico no interior da subestação, do qual se nota que o valor máximo encontrado foi de 7,044 [kV/m].

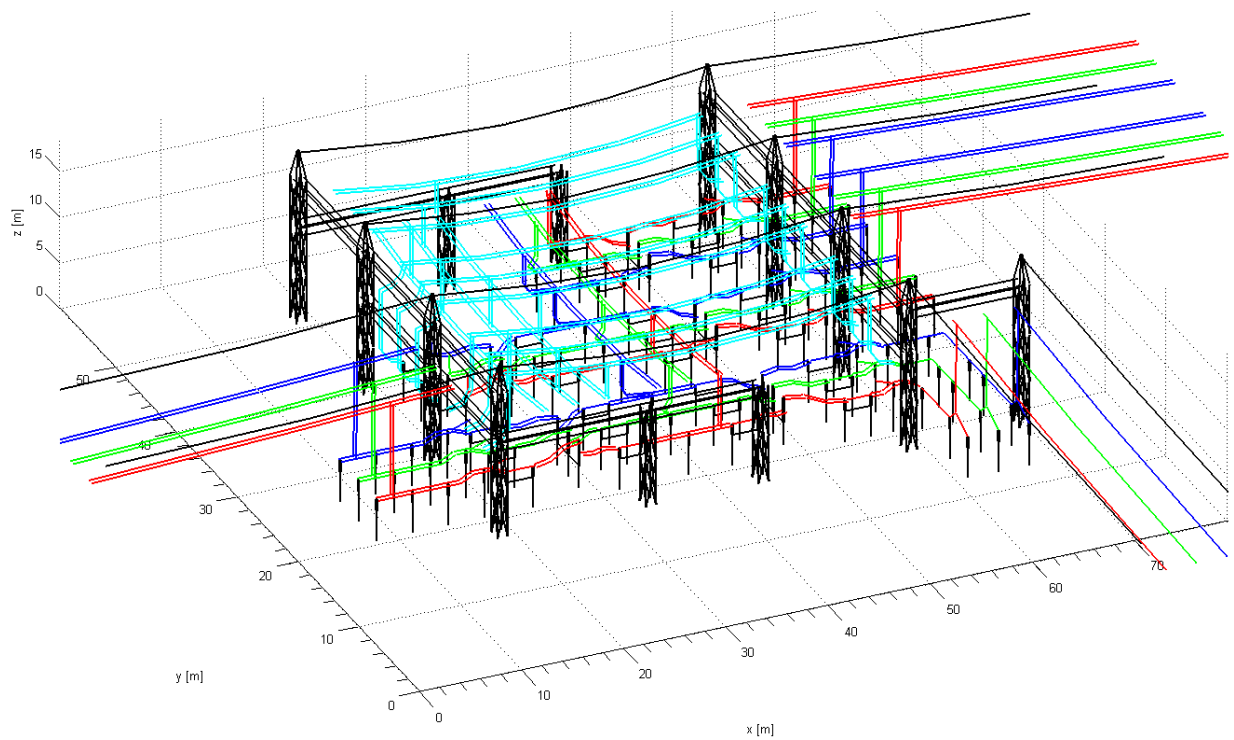


FIGURA 2 – Modelo 3D da subestação analisada.

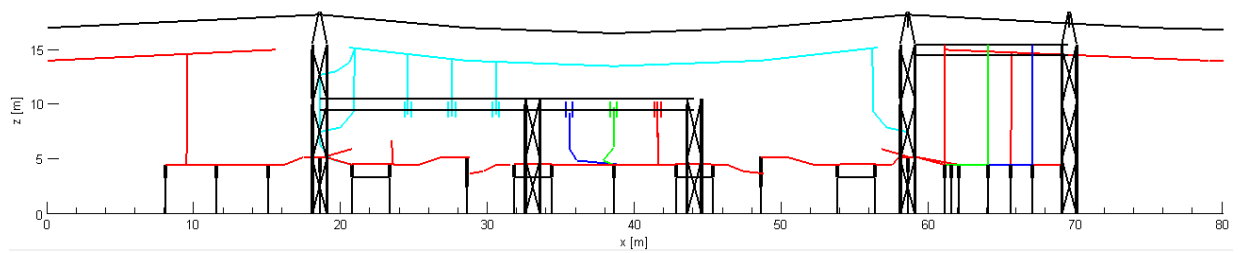


FIGURA 3 – Corte da subestação analisada.

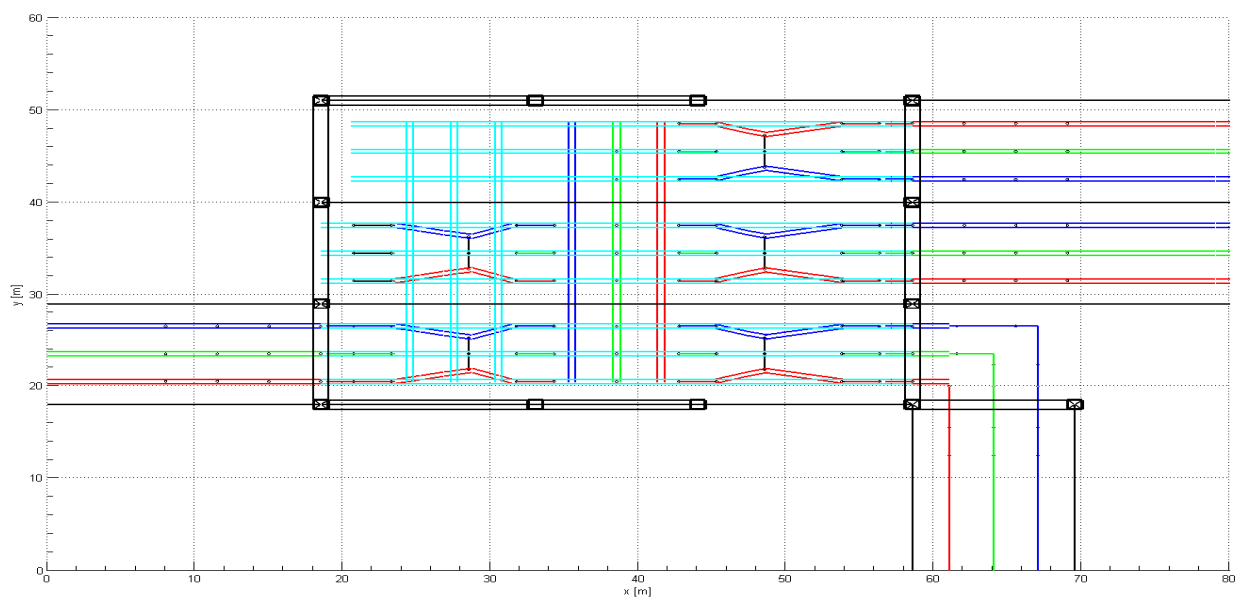


FIGURA 4 – Planta da subestação analisada.

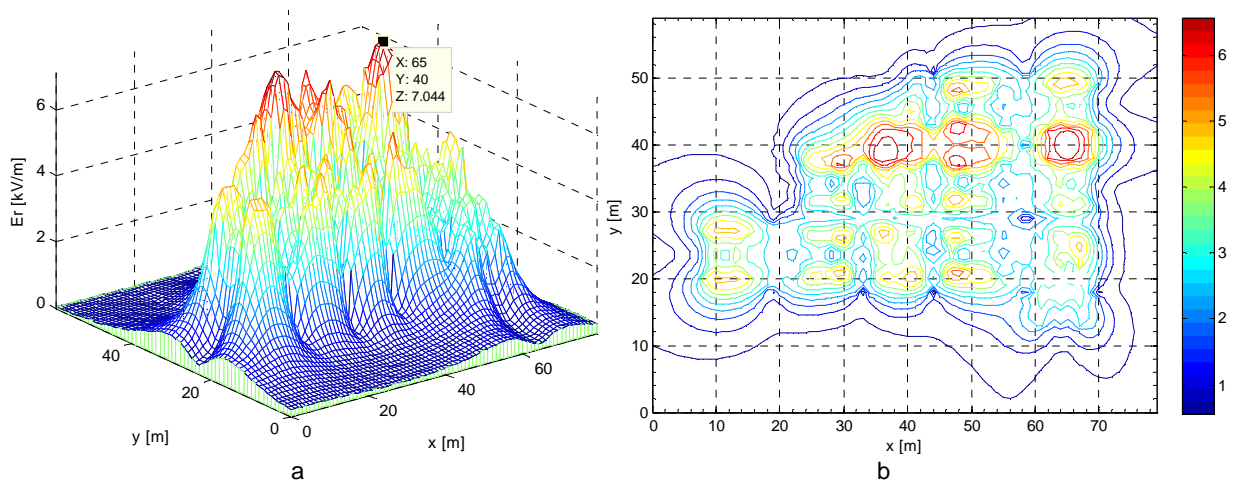


FIGURA 5 – Intensidade de campo elétrico para o modelo base [kV/m]. (a) – Gráfico de Superfície; (b) – Curvas de Nível.

2.2.2 Influência da representação dos elementos metálicos

Os elementos metálicos da subestação são basicamente as estruturas metálicas dos pórticos, as bases de equipamentos, transformadores, reatores, cabos pára-raios, e cercas. Como estes elementos estão aterrados estes exercem um efeito de blindagem do campo elétrico em suas proximidades.

O campo elétrico para a simulação sem estruturas metálicas é apresentado na Figura 6 a. A Figura 6b apresenta a diferença em [kV/m] entre os valores de campo elétrico calculados com as estruturas metálicas (modelo base apresentado no subitem 2.2.1) e sem estas.

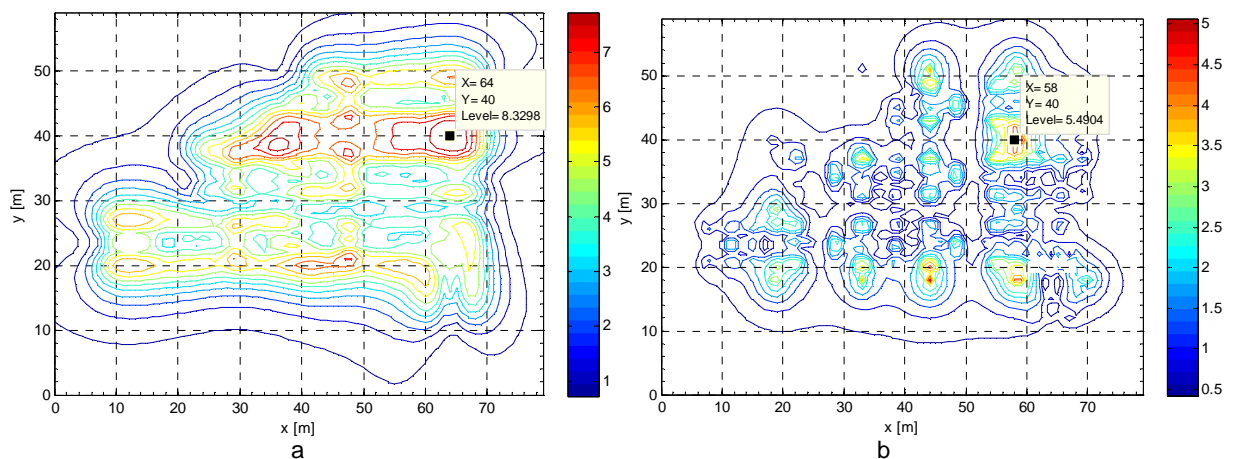


FIGURA 6 – a – Intensidade de campo elétrico para o modelo sem elementos metálicos aterrados. b – Diferença entre as simulações com e sem os elementos metálicos aterrados - [kV/m].

Da Figura 6b observa-se uma grande discrepância entre as simulações com e sem elementos metálicos aterrados, com o maior valor da diferença, 5,49 [kV/m], ocorrendo nas coordenadas $X = 58$ [m] e $Y = 40$ [m]. Este ponto se localiza no interior da estrutura metálica do pórtico, o que evidencia bem o efeito de blindagem supracitado. Do ponto de vista do máximo valor de campo elétrico, o ponto de ocorrência deste foi o mesmo do caso base, e o valor passou de 7,044 [kV/m] com as estruturas, para 8,329 [kV/m] no caso sem as estruturas, o que representa uma elevação de 18,25%.

Estes dados mostram que a representação apenas dos condutores de fase leva a resultados bastante pessimistas, sendo de grande importância a representação de elementos metálicos aterrados.

2.2.3 Influência da representação dos condutores de potencial flutuante

Os condutores de potencial flutuante são os condutores que se encontram desligados e não aterrados. Nesta situação, tais condutores ficam submetidos a um potencial desconhecido, a priori, que é devido ao acoplamento eletrostático entre os condutores energizados e estes.

A diferença do valor do campo elétrico entre as simulações com e sem os condutores flutuantes é apresentada na

Figura 7b. Observa-se que o maior valor ocorre nas coordenadas X = 28 [m] e Y = 42 [m] e seu valor foi de 0,046 [kV/m]. Esta região é justamente onde não existem condutores de fase à altura de 4,5 [m].

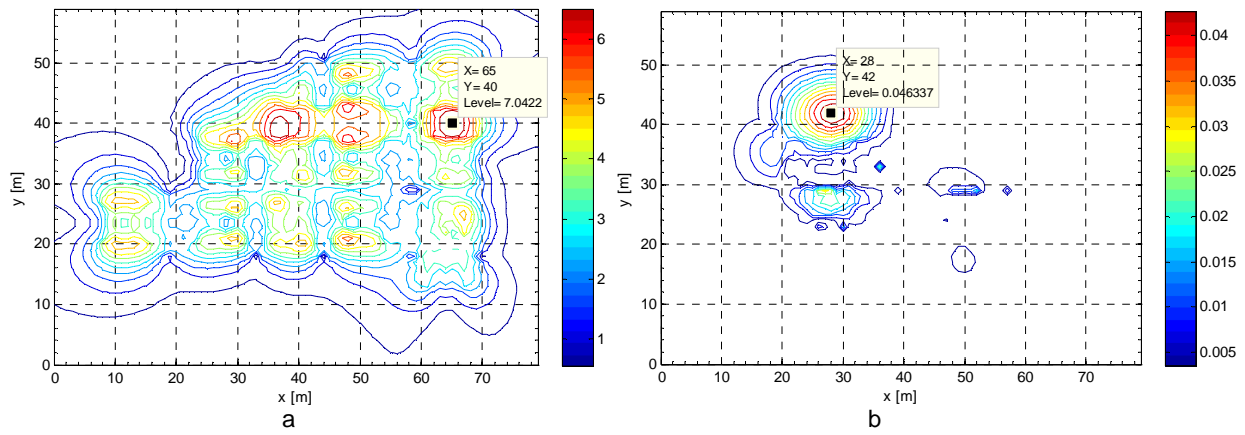


Figura 7 – a – Intensidade de campo elétrico para o modelo com condutores de potencial flutuante. b – Diferença entre as simulações com e sem condutores de potencial flutuante [kV/m].

O valor da máxima diferença de campo elétrico encontrada é extremamente baixo frente aos valores máximos encontrados normalmente no interior de subestações do SEP. Assim, em termos práticos, a contabilização dos condutores de potencial flutuante, nos arranjos usualmente utilizados em subestações, não traz ganhos apreciáveis de precisão, o que justifica sua não utilização. Do ponto de vista do máximo valor do campo elétrico e seu ponto de localização, este praticamente não se altera ficando em 7,04 [kV/m] nas coordenadas X = 65 [m] e Y = 40 [m].

2.2.4 Influência da representação dos condutores de fase por meio de um condutor de raio equivalente

De acordo com [5], para cálculos de campos elétricos de feixes de condutores regulares (regular bundle) em pontos distantes dos condutores é conveniente representar estes por meio de um condutor equivalente, de diâmetro dado pela equação (1), na qual: d_{eq} o diâmetro do condutor equivalente; D o Diâmetro do feixe; n o número de subcondutores do feixe; d o diâmetro dos subcondutores;

$$d_{eq} = D \cdot \left(\sqrt[n]{\frac{n \cdot d}{D}} \right) \quad (1)$$

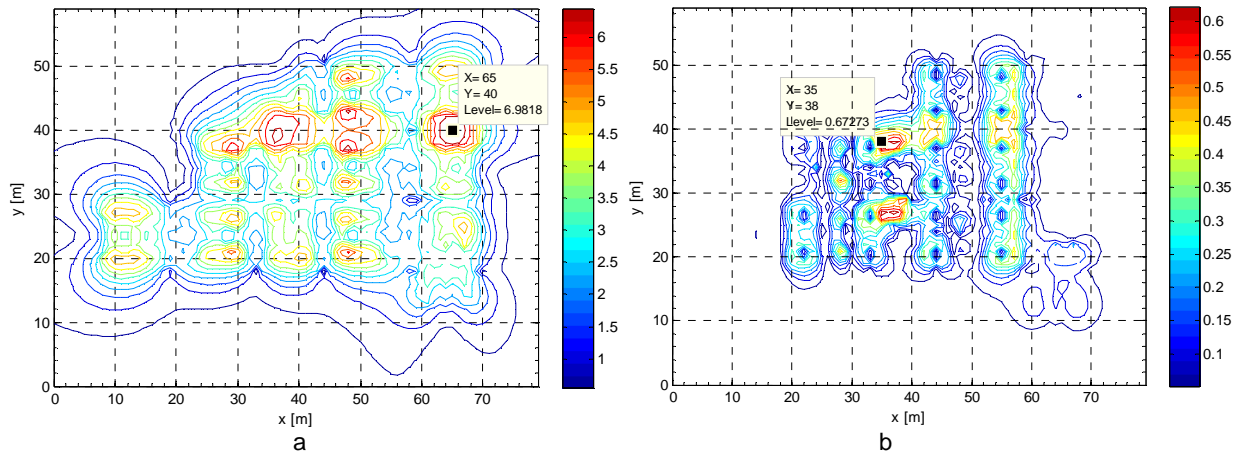


Figura 8 – (a) – Intensidade de campo elétrico para o modelo com condutor equivalente. (b) – Diferença entre as simulações com e sem condutor equivalente [kV/m].

Em subestações com mais de um condutor por fase, a utilização de condutores de diâmetro equivalente pode trazer considerável redução de trabalho na modelagem. No entanto, uma das premissas para a utilização deste recurso é que os condutores estejam distantes do ponto de cálculo, o que pode não ocorrer em determinadas situações no interior de subestações.

Nesta simulação, nos trechos que utilizam dois condutores CAA Hawk, com diâmetro de 2,18 [cm], e um espaçamento de 45,7 [cm] entre subcondutores, obteve-se um diâmetro equivalente de 14,12 [cm]. Os resultados

obtidos são apresentados na Figura 8. A Figura 8b mostra o valor da maior diferença encontrada, 0,67 [kV/m], a qual ocorreu nas coordenadas $X = 35$ [m] e $Y = 38$ [m]. Esta diferença representa 9,978% com relação ao modelo base. Para o ponto de maior campo elétrico, observa-se uma redução de 7,044 [kV/m] no modelo base para 6,9818 [kV/m] no modelo com o condutor equivalente, o que representa 0,883 %. Desse modo, apesar do valor da máxima diferença (9,978 %) ser relativamente elevado, no ponto de maior campo elétrico esta ficou em apenas 0,883 %. Ressalta-se que a utilização do condutor equivalente deve ser aplicada com certo cuidado, uma vez que estas diferenças dependem de vários fatores, como a altura dos condutores, a quantidade de subcondutores por fase e, também, do arranjo da subestação utilizada, o que pode acentuar as diferenças.

2.2.5 Influência da representação das colunas de isoladores

Neste subitem é avaliada a representação das colunas de isoladores no resultado final do campo elétrico no interior da subestação em estudo. A Figura 9a mostra o valor do campo elétrico para a simulação sem os isoladores considerados, enquanto a Figura 9b mostra a diferença entre o modelo em questão e o modelo base.

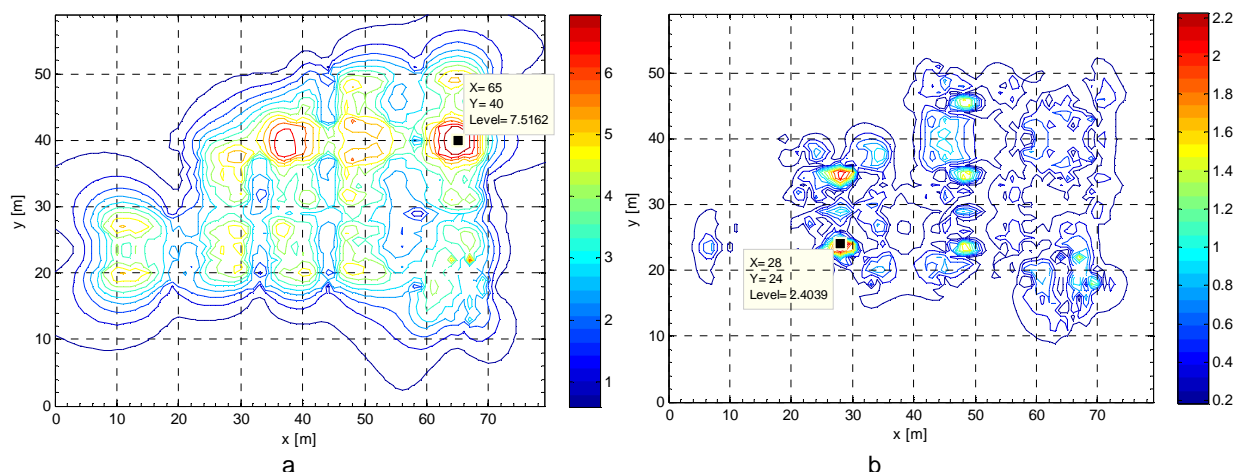


Figura 9 – (a) – Intensidade de campo elétrico para o modelo com isoladores representados. (b) – Diferença entre as simulações com e sem isoladores [kV/m].

Da Figura 9 b se observam valores bastante elevados de diferença do campo elétrico em determinadas áreas da subestação, com a maior diferença (2,4039 [kV/m]) ocorrendo nas coordenadas $X = 28$ [m] e $Y = 24$ [m], que corresponde às proximidades do disjuntor de linha. De fato, as maiores diferenças foram encontradas nas proximidades dos disjuntores, o que era de se esperar, uma vez que estes equipamentos possuem as maiores colunas de isoladores, as bases metálicas mais baixas e apresentam os pontos mais baixos dos condutores na subestação.

Nas proximidades das chaves seccionadoras da subestação as maiores diferença foram de aproximadamente 1,0 [kV/m]. Já, próximo aos demais equipamentos como transformadores de medidas e Isoladores de pedestal as diferenças variaram de 0,5 a 1,5 [kV/m].

As diferenças encontradas não são desprezíveis, o que mostra a importância da consideração dos isoladores na determinação da distribuição espacial do campo elétrico com maior precisão, no entanto, para este caso, o ponto onde ocorre a maior diferença não é o ponto de maior intensidade do campo elétrico. O ponto de maior intensidade do campo elétrico manteve-se o mesmo do modelo base, porém com uma diferença de 0,472 [kV/m] (pontos máximos mostrados na Figura 9a para o modelo com isoladores – 7,516 [kV/m] – e na Figura 5a para o modelo base – 7,044 [kV/m]) o que representa uma diferença de 6,7 %.

É importante notar que o campo elétrico se altera de forma abrupta nas proximidades das bases dos equipamentos, o que faz com que o valor da diferença seja extremamente sensível às variações nos pontos de cálculo.

Deste modo, os resultados obtidos com esta comparação mostram que podem existir grandes diferenças quando da contabilização ou não dos isoladores, ainda assim, a diferença no ponto de valor máximo de campo elétrico pode ser baixa.

2.2.6 Influência da representação das flechas dos condutores

Modelar as catenárias exatas dos condutores no programa desenvolvido não é possível, no entanto, pode-se discretizar esta em vários segmentos de reta, de modo que, quanto maior o número de segmentos, melhor a aproximação. No modelo base, as catenárias foram aproximadas por quatro segmentos de reta, representando uma flecha de 5% do vão.

Como estabelecido em [4] deve ser considerada a mínima distância entre condutor solo para o cálculo do campo elétrico. Desse modo, o modelo apresentado neste subitem é construído com os condutores sem flechas à sua altura mínima com relação ao solo.

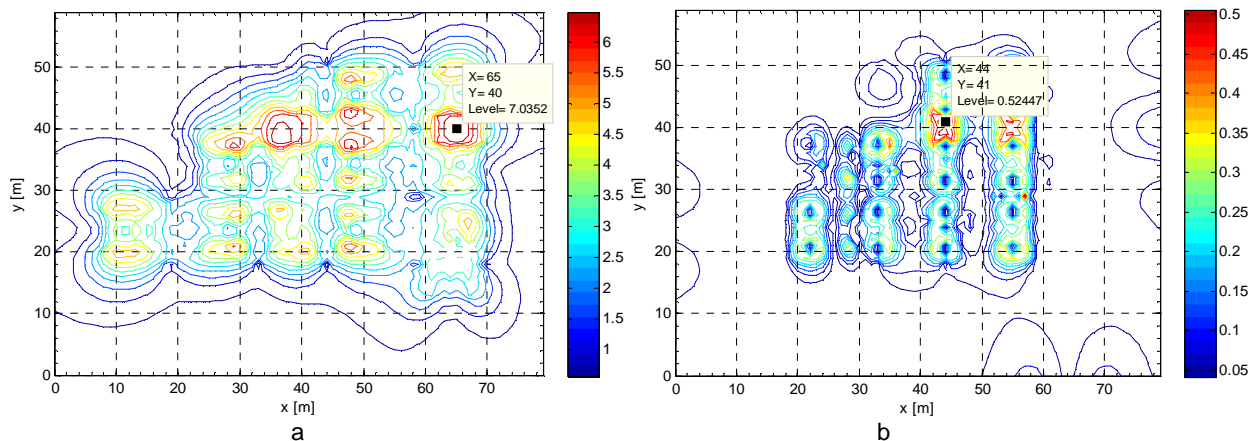


Figura 10 – (a) – Intensidade de campo elétrico para o modelo com isoladores representados. (b) – Diferença entre as simulações com e sem isoladores [kV/m].

A Figura 10b evidencia que a maior diferença ocorreu nas proximidades da barra II, no ponto $X = 44$ [m] e $Y = 41$ [m] e foi de $0,524$ [kV/m], o que representa $10,7\%$ com relação ao modelo base. Vale lembrar que os vão à altura de $15,5$ [m] e a barra I (localizada próxima à $X = 30$ [m]) estão desligados. Caso estes estivessem energizados esta diferença poderia ser acentuada. É importante notar que esta subestação é pequena, e que no caso de subestações de grande porte, com flechas maiores, as diferenças podem resultar também maiores. Do ponto de vista do valor máximo, este baixou de $7,044$ [kV/m] para $7,032$ [kV/m], o que representa $0,17\%$ com relação ao modelo base.

2.3 Tempo Computacional

Para as simulações com todos os condutores e estruturas metálicas representadas, 1247 condutores, com 6 segmentos de carga por condutor (sistema linear de ordem 7482), o tempo para a simulação ficou em torno de 30 minutos em um computador com processador Intel i5 2,3 GHz, 64 bits e 8 GB de memória RAM. Para uma representação precisa dos isoladores foram necessários 50 anéis de carga por coluna de isolador, sendo um total de 150 isoladores modelados. Nesta situação, o sistema linear obtido tem ordem $1247 \times 6 + 2 \times 150 \times 50 = 22482$, o que representa um total de 7,53 GB memória para armazenamento da matriz, lembrando que cada elemento da matriz é complexo, ocupando 2 unidades de memória, e um tempo computacional aproximadamente 12 h.

3.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os principais aspectos influentes no resultado final do cálculo de campo elétrico em subestações. Dos resultado obtidos verifica-se que o modelo base, na prática, apresenta resultados satisfatórios, no entanto, sua principal limitação é a não contabilização dos isoladores da subestação, o que pode gerar discrepâncias consideráveis nos valores finais. Os limites de referência estabelecidos em [2] e [4] são obtidos para uma exposição a um campo elétrico não perturbado, de modo que não é claro se eventuais picos de campo elétrico, encontrados nas proximidades dos equipamentos, devem, ou não, ser considerados. O software desenvolvido se apresentou uma boa ferramenta na determinação dos valores de campo elétrico no interior de subestações, podendo auxiliar no desenvolvimento de projetos otimizados com relação ao campo elétrico.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Singer, H., Steinbigler, H., and Weiss, P.: 'A charge simulation method for the calculation of high-voltage fields', IEEE Trans. Power Appar. Syst., 1973, 93, pp. 1660–1668;
- [2] ICNIRP - Guidelines For Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1Hz – 100 KHz);
- [3] Aleksandar Rankovic - Generalized charge simulation method for calculation of electric field in high voltage substations; Springer Link, Electrical Engineering - Volume 92, Issue 2, pp 69-77, July 2010;
- [4] Resolução Normativa ANEEL Nº 398 de 23 de março de 2010;
- [5] EPRI - "Transmission Line Reference Book 345 and Above" – 1982;
- [6] Silva, R. R. – "Análise Paramétrica do Cálculo de Campos Elétricos em SEs pelo Método de Simulação de Cargas" Dissertação de Mestrado – UNIFEI – 2013;

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rogério Regis da Silva

Nasceu em Juruiaia (MG), em 1984. Graduado pela UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá) em 2009, tendo recebido o título de Engenheiro Eletricista. Mestre pela UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá) em 2013, em estudos de campos elétricos e magnéticos em subestações. Atualmente trabalha na TSE – Tecnologia em Sistemas Elétricos, na área de sistemas elétricos de potência.



Manuel Luis Barreira Martinez

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (1982), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (1993), doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2000). Aperfeiçoamento em Pequenas Centrais Hidrelétricas, Sistemas Elétricos de Potência, Equipamentos de Manobra, Descargas Atmosféricas em Linhas e Subestações, Pára-raios de Resistor Não Linear para Sistemas de Potência, Técnicas de Alta Tensão, entre outros. Possui experiência no projeto e construção de equipamentos, componentes e sistemas de ensaios em Alta Tensão. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal de Itajubá e Coordenador do Laboratório de Alta Tensão – LAT-EFEI. É autor e co-autor de aproximadamente 270 artigos divididos entre seminários nacionais, internacionais e periódicos.



Lívia Maria Alburquetti

Nasceu em Campinas (SP), em 1986. Graduada pela UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá) em 2009, tendo recebido o título de Engenheira Eletricista. Mestre pela UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá) em 2013, em estudos de campos elétricos e magnéticos em subestações. Atualmente trabalha na TSE – Tecnologia em Sistemas Elétricos, na área de sistemas elétricos de potência.