

Comité de Estudio C3 - Desempeño Ambiental del Sistema

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DOS CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM ÁREAS DE
LIVRE ACESSO AO PÚBLICO -
SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA FLORIANÓPOLIS AGRONÔMICA**

Athanasio Mpalantinos Neto Rafael Monteiro da Cruz Silva
Carlos Ruy N. Barbosa Luís Adriano M. C. Domingues * César Augusto Cedrola Jr.
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Brasil

Sidney Luiz Correa

Mônica Accioly da Costa

CELESC Distribuição S.A.

Brasil

RESUMO - *O processo de expansão das redes elétricas das empresas concessionárias de energia é realizado de tal forma que se atenda ao crescimento da demanda dos seus centros consumidores sem prejuízos à segurança e continuidade do fornecimento de energia elétrica.*

Em geral, reforços e ampliações da rede necessitam de investimentos na construção de novas subestações e linhas de transmissão, e/ou modernização e recapitação das instalações já existentes, que por sua vez, devem estar sempre associados a um controle efetivo de possíveis impactos ambientais.

O controle dos efeitos indiretos decorrentes da interação dos campos eletromagnéticos produzidos pelas instalações elétricas e objetos próximos sempre foi requisito de projeto e operação dessas instalações.

A proposta do trabalho foi incorporar a estes projetos (ampliação e reforço de sistemas) a avaliação da exposição direta aos campos assegurando que atendam às normas que regulamentam a exposição a campos elétrico e magnético de baixa frequência.

Por se tratar de empreendimentos localizados em área urbana, com grande densidade populacional, existe a preocupação com relação aos níveis dos campos gerados em locais de livre acesso ao público em geral. Desta forma as empresas concessionárias de energia elétrica têm procurado incorporar a avaliação dos campos elétricos e magnéticos aos projetos de ampliação e reforço de seus sistemas, assegurando que atendam às normas que regulamentam a sua exposição.

Neste informe técnico é apresentado o estudo que avaliou o desempenho do projeto de construção da subestação de Florianópolis Agronômica quanto aos níveis dos campos em locais de acesso público, verificando se estavam em conformidade com os estabelecidos por normas de exposição e legislação pertinente, nacionais e internacionais. O estudo realizado apoiou o processo de obtenção das licenças para construção e operação deste empreendimento.

Neste estudo são apresentados:

Um panorama dos critérios existentes de avaliação da exposição a campos elétricos e magnéticos;

As medições de campo realizadas na vizinhança de uma subestação de mesmo nível de tensão, já em operação, e do levantamento dos campos atualmente existentes na área de construção da futura subestação, visando estabelecer um padrão comparativo de desempenho;

A avaliação dos níveis de campo elétrico e magnético da futura SE Agronômica, que foi desenvolvida utilizando uma abordagem metodológica que consistiu em simulações utilizando modelos computacionais desenvolvidos pelo CEPEL;

As alternativas e soluções técnicas desenvolvidas para mitigação dos valores dos campos, o que permitiu uma redução adicional desses valores e conseqüentemente a exposição a campos eletromagnéticos na vizinhança da futura subestação.

PALAVRAS-CHAVE: *Campos elétricos e magnéticos, impactos ambientais, subestação, linhas de transmissão, mitigação.*

1. INTRODUÇÃO

O processo de expansão das redes elétricas das empresas concessionárias de energia é realizado de tal forma que se atenda ao crescimento da demanda dos seus centros consumidores sem prejuízos à segurança e continuidade do fornecimento de energia elétrica.

O fornecimento de energia elétrica à Ilha de Florianópolis atingiu um estado crítico especialmente a região próxima a Beira Mar onde a CELESC – responsável pelo abastecimento – não conseguia atender a demanda de expansão nem o atendimento na alta temporada do turismo, ocorrendo inclusive interrupção do fornecimento. As principais causas são a impossibilidade de expandir a subestação próxima – Ilha Centro e o limite térmico da LT 138 kV. A solução adotada foi construir uma subestação de forma a unir, em anel, as subestações de Trindade e Ilha Centro.

A área em questão é urbana e turística, a primeira tentativa de escolha de um local não foi bem sucedida. A preocupação do público local quanto à possibilidade de algum risco de exposição a campos elétricos e magnéticos, associado ao desconhecimento do assunto, a arquitetura típica das subestações, mesmo as abrigadas e o alto valor imobiliário do local escolhido inviabilizaram a obtenção da licença para construção em audiência pública.

Para solucionar o problema a CELESC escolheu um novo local, Agronômica, que dará nome a subestação, e solicitou ao CEPEL que avaliasse os níveis dos campos elétricos e magnéticos nas futuras instalações (SE abrigada Agronômica e LTs 138 kV subterrâneas, que fecharão o anel), verificasse se estes níveis estão dentro das normas e recomendações brasileiras e internacionais para exposição do público a campos de baixa frequência e que prestasse esclarecimentos a população na audiência pública para aprovação do novo local.

Para atender a solicitação o CEPEL realizou medições em uma SE e LT semelhantes as que seriam construídas e através de simulações numéricas calculou os níveis de campos elétricos e magnéticos nas imediações da futura SE.

Nos últimos anos as empresas concessionárias de energia elétrica têm procurado incorporar a avaliação dos campos elétricos e magnéticos aos projetos de ampliação e reforço de seus sistemas, assegurando que atendam às normas que regulamentam a exposição a CEM. [1,2,3]

2. CRITÉRIOS DE EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

As mais importantes Diretrizes de exposição a campos (ICNIRP e IEEE) adotam a seguinte estrutura:

1. São determinados valores para grandezas físicas (correntes, campos) que quando superados podem provocar efeitos fisiológicos indesejáveis no corpo.
2. São aplicados fatores de redução, baseados em critérios de segurança (fator 5, ICNIRP, e fator 1/3, IEEE) definindo os máximos valores admissíveis para estas grandezas – Restrições Básicas.

As restrições básicas compreendem valores de densidades máximas de correntes (ICNIRP) e campo elétrico induzido em certas regiões do corpo (IEEE), em que se evitam efeitos como estimulação do sistema nervoso central e dos nervos periféricos. A partir desses valores são aplicados fatores de redução distintos para as duas categorias de exposição consideradas: a ocupacional e o público em geral. O que resulta em níveis de exposição mais restritivos para o público em geral, o que oferece proteção adicional, considerando a maior heterogeneidade nas condições de saúde dessa categoria.

3. Calculam-se os valores dos campos aplicados externamente (elétrico e magnético) que se pode assegurar que não induzirão aqueles níveis determinados. Estes limites de CEM's são os Níveis de Referência.

Os Níveis de Referência das principais Diretrizes, especificamente para o público em geral, encontram-se reunidos na Tabela 1.

No Brasil, entre as principais ações a respeito da regulamentação da exposição a campos eletromagnéticos estão:

- Desenvolvimento da norma NBR 15415 (Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos nas frequências de 50 Hz e 60 Hz) que, além de definir os níveis de referência e critérios da ICNIRP para utilização nos empreendimentos no Brasil, ainda define critérios para realização de medições de campo.
- O projeto de Lei n 2.576, que dispõe sobre a instalação de fontes emissoras de radiação eletromagnética, em tramitação no congresso nacional

Em virtude do desenvolvimento da Norma NBR 15415 e da possibilidade de adoção em futura legislação dos Níveis de referência propostos pela ICNIRP, utilizou-se os níveis recomendados por essa comissão como critério de exposição a campos eletromagnéticos.

TABELA 1 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA O PÚBLICO EM GERAL – 60 Hz

Diretriz	Campo Elétrico (kV)	Campo Magnético (mG)
ICNIRP	4,2	833
IEEE	5	9040

3. SUBESTAÇÃO FLORIANÓPOLIS AGRONÔMICA

3.1 Contexto

A CELESC identificou a necessidade de construção de uma nova subestação na cidade de Florianópolis, mais especificamente no bairro Agronômica, para aumentar a confiabilidade e flexibilidade na operação do sistema, tendo em vista a projeção de aumento de consumo nessa região.

Como parte integrante dos requisitos legais para obtenção da licença de construção e operação de uma subestação na cidade de Florianópolis, a CELESC fez uma avaliação dos níveis de campo elétrico e magnético a que podem ser expostas pessoas na vizinhança da nova instalação, de modo a comprovar a adequação desses níveis e o atendimento às Normas Técnicas Nacionais e Internacionais. Essa avaliação foi realizada conjuntamente com o CEPTEL, que efetuou medições e simulações computacionais visando determinar a intensidade dos campos na vizinhança da futura SE. [4,5]

3.2 Descrição do Estudo Técnico

Em sua primeira etapa, o estudo técnico compreendeu a realização de uma série de medições de campo elétrico e magnético na vizinhança de uma subestação de mesmo nível de tensão, já em operação, e do levantamento dos campos atualmente existentes na área de construção da futura SE [5], visando estabelecer um padrão comparativo de desempenho.

Foram medidos os valores de campo elétrico e magnético em perfis que acompanharam o muro da subestação, área de acesso do público em geral.

Para o campo elétrico, os valores encontrados foram sempre muito baixos - zero ou próximos de zero. Estes resultados eram esperados já que os circuitos aéreos de 13,8 kV na vizinhança da Subestação estão a alturas superiores a 6 m, com a presença de cabos de aço aterrados, e os subterrâneos são de cabos blindados.

Já para o campo magnético, baseado nos resultados das medições e da dosimetria, pode-se afirmar que os valores medidos nas vizinhanças da subestação são inferiores aos normalizados para o público em geral.

Também foram realizadas avaliações dosimétricas do campo magnético no terreno da futura subestação para comparação com os valores que serão medidos após a sua construção e energização. Pode-se observar, como era esperado, valores próximos de zero.

Em sua segunda etapa o estudo teve por objetivo mapear os níveis dos campos que serão gerados quando da implantação da SE Agrônômica, com detalhe em especial para as calçadas vizinhas a SE, onde poderá haver circulação do público.

O projeto da nova SE prevê que todos os alimentadores (138 kV e 13,8 kV) serão construídos utilizando cabos enterrados, em disposição horizontal de fases. Pelas características construtivas, incluindo as blindagens metálicas dos cabos, além da própria característica condutiva do solo, os estudos realizados indicam uma completa proteção com relação ao campo elétrico, cujos valores na superfície são totalmente desprezáveis. Assim todas as simulações apresentadas a seguir referem-se a campos magnéticos em 60 Hz.

A intensidade do campo magnético gerado pelos cabos é dependente do carregamento das diversas linhas.

Para esse estudo foi adotada uma abordagem conservativa utilizando-se o carregamento máximo cuja ocorrência é prevista para um horizonte estimado em 25 anos.

Considerou-se uma corrente de 800 A por fase nos alimentadores de 138 kV e para os alimentadores de 13,8 kV, considerou-se uma corrente de 430 A também por fase.

Nas condições usuais de operação, quando os níveis de corrente estiverem abaixo desses valores limites, os campos gerados serão proporcionalmente menores

3.3 Comparação de Alternativas

Para efeito ilustrativo são apresentados na FIGURA 1 os perfis de campo magnético a 1 m do solo da solução prevista no projeto, LT 138 kV subterrânea, e o de uma configuração convencional, LT aérea.

Analisando-se a Fig. 1 observa-se que o campo magnético máximo para a LT subterrânea é de 12 % maior que o verificado para a LT aérea, no entanto, a partir de 1 m do centro da configuração o campo magnético máximo da LT subterrâneo se torna inferior ao campo da LT aérea.

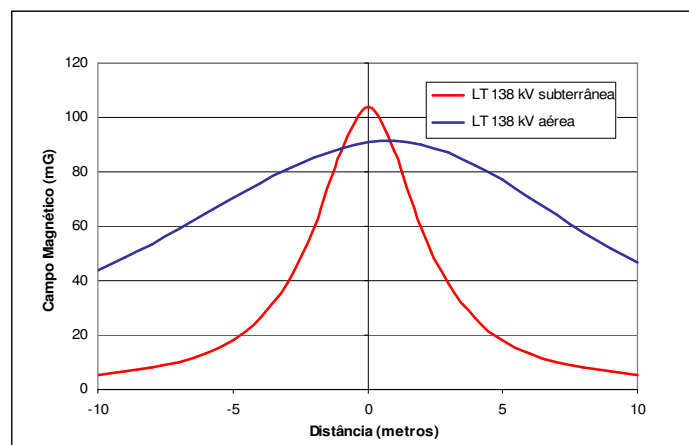


Fig. 1 – Perfil transversal de campo magnético a altura de 1 m do solo, centrado no eixo da LT 138 kV, comparando-se as alternativas para a LT

3.4 Resultados

Na seqüência são apresentados os resultados das simulações dos campos magnéticos na freqüência de operação (60 Hz) para o projeto da nova subestação Agrônômica a ser construída em Florianópolis.

Na Tabela 2 são apresentados os valores de campo magnético máximo em torno da SE, em locais onde pode haver circulação de pessoas, correspondendo à condição referida como público em geral [2].

Os trajetos dos perfis de simulação estão indicados a seguir na Fig. 2.

TABELA 2 – CAMPO MAGNÉTICO MÁXIMO OBSERVADO EM CADA PERFIL

Perfil	CM Máximo (mG)	% em relação (ICNIRP)
1	75	9.0
2	60	7.2
3	185	22.2
4	130	15.6
5	13	1.6
6	125	15.0
7	200	24.0

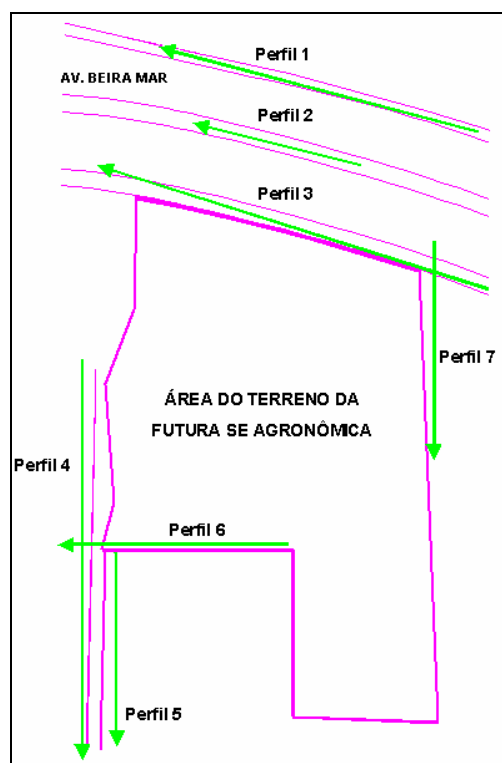


Fig. 2 – Vista esquemática da planta da SE com a identificação dos perfis de cálculo ao longo de vias de circulação do público em torno da SE

O valor máximo do campo magnético ao nível do solo é cerca de 40 % do valor indicado na diretriz da ICNIRP, conforme apresentado na Fig. 3.

Na fig. 4 é apresentada a distribuição de campo magnético máximo na superfície do solo na condição de carregamento máximo. Na Fig. 5 é apresentada uma comparação entre os perfis transversais de campo magnético no solo e a um metro do solo com o valor do UCNIRP.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2 e Figs. 3, 4, e 5, a análise dos campos elétricos e magnéticos que serão gerados pela SE Agronômica indicam que o projeto proposto para esta SE apresenta excelente desempenho no que se refere ao quesito de exposição a campos eletromagnéticos, no sentido de que os valores nas áreas acesso livre ao público são reduzidos, muito abaixo dos valores recomendados nas normas nacionais e internacionais [1, 2, 3].

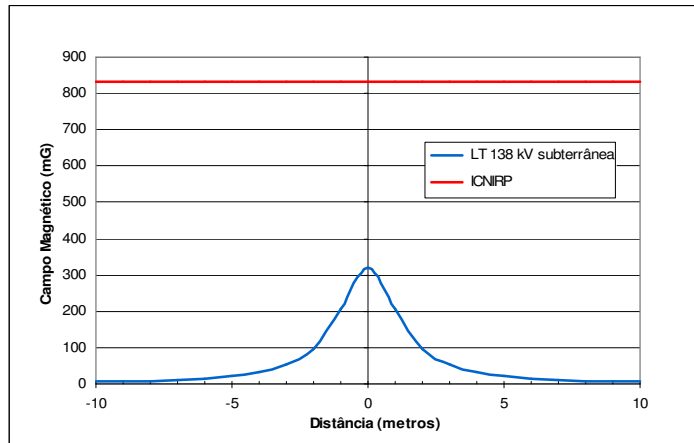


Fig. 3 – Perfil transversal de campo magnético da LT 138 kV ao nível do solo em comparação ao valor ICNIRP

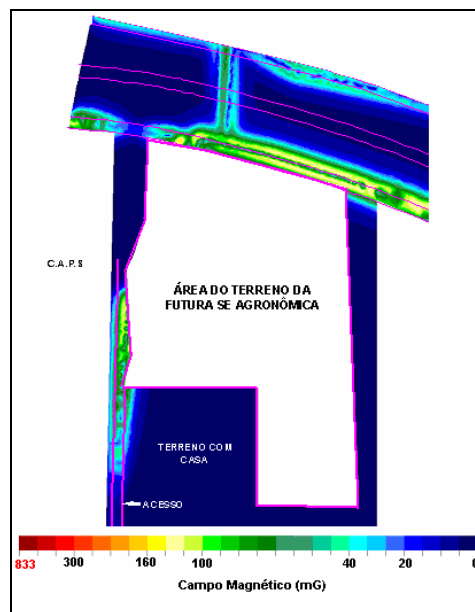


Fig. 4 – Visualização da intensidade do campo magnético máximo, gerado pela SE Agronômica, na superfície do solo, na condição de carregamento máximo das LTs (visualização por escala de cores)

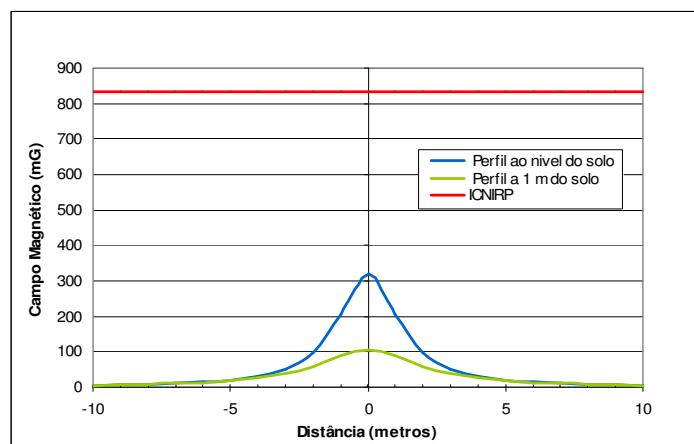


Fig. 5 – Perfis transversais de campo magnético da LT 138 kV ao nível do solo e a 1 m do solo comparados ao valor ICNIRP

4. ALTERNATIVAS DE PROJETO PARA MITIGAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Existem diversas alternativas que podem ser utilizadas para mitigação dos valores máximos de campo em projetos desta natureza: compactação dos circuitos, adoção de combinações otimizadas de faseamento no caso de circuitos múltiplos, aumento da profundidade de colocação dos alimentadores subterrâneos, colocação de chapas de aço no invólucro dos dutos de modo a defletir o campo, etc.

Na seqüência serão apresentadas duas alternativas:

- Aumento da profundidade de colocação das linhas (alternativa para as linhas em 138 kV)
- Adoção de faseamento otimizado (alternativa para as linhas em 13,8 kV)

4.1 Influência da profundidade das linhas subterrâneas

É possível reduzir os valores de campo na superfície do solo aumentando a profundidade de colocação das linhas subterrâneas. Embora esta alternativa seja de custo relativamente elevado é importante poder dimensionar os efeitos práticos de tal medida. Na Fig. 6 apresentam-se os resultados em termos de redução do campo máximo na superfície do solo em função do aumento da profundidade de colocação das linhas de 138 kV.

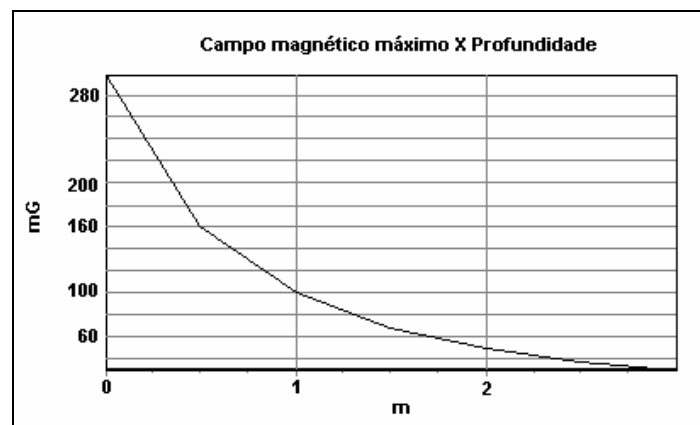


Fig. 6 – Variação do campo máximo na superfície do solo com o aumento da profundidade de colocação das linhas subterrâneas em 138 kV

4.2 Influência do faseamento

Como as linhas de 13,8 kV foram projetadas no sistema de banco de alimentadores, com 4 linhas em cada circuito, dispostas em pilhas verticais, o campo magnético resultante é dependente do faseamento adotado nesses circuitos.

Foi feito um estudo detalhado do desempenho das diversas alternativas de faseamento desses circuitos, chegando-se a uma configuração que apresentou redução de 87,5 % em relação à configuração original.

Na Fig. 7 são apresentados os perfis de campo magnético, na superfície do solo, para a alternativa original de projeto (abc-abc-abc-abc) e para a alternativa que apresentou melhor desempenho em termos de redução de campo (abc-cba-abc-cba).

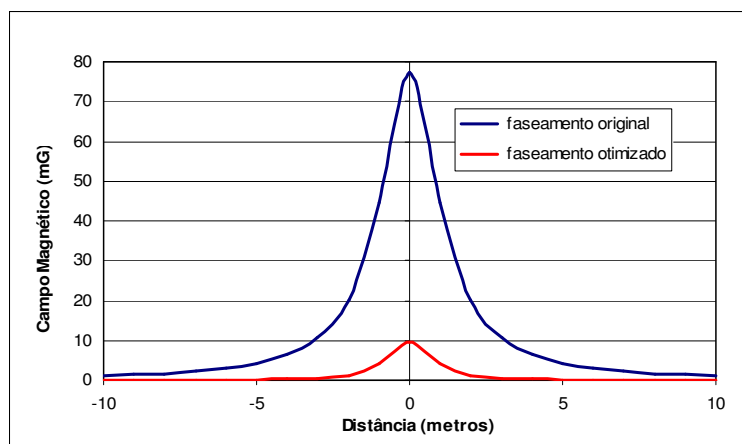


Fig 7 – Perfil transversal de campo magnético na superfície do solo, centrado no eixo do alimentador em 13,8 kV

5. CONCLUSÃO

A avaliação dos níveis de campo elétrico e magnético da futura SE Agrônômica, em Florianópolis, foi desenvolvida utilizando uma abordagem metodológica que consistiu em simulações utilizando modelos computacionais desenvolvidos pelo CEPEL, validados e consolidados por medições realizadas em instalações em operação, de características e níveis de tensão e potência comparáveis com os da futura SE.

O estudo realizado mostrou que os valores de campo na vizinhança da futura SE Agrônômica são baixos, muito inferiores aos limites das Normas Nacionais e Internacionais em vigor, mesmo considerando as condições máximas de carga previstas para um horizonte de 25 anos.

No estudo foram desenvolvidas alternativas e soluções técnicas que permitem uma redução adicional dos valores de campo reduzindo ainda mais a exposição a campos eletromagnéticos na vizinhança da SE.

6. REFERÊNCIAS

- [1] NBR 15415 - Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz, ABNT, 2006.
- [2] Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Technical Report, ICNIRP, 2001
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz (IEEE C95.6-2002). [Standard] Piscataway, N.J.: Subcommittee 3 of Standards Coordinating Committee 28, IEEE Standards Department, 2002.
- [4] Simulações de campos elétricos magnéticos da futura subestação Florianópolis Agrônômica 138 kV/13,8 kV , Relatório Técnico, DOMINGUES, L. A. M. C., CRUZ, R. M, MPALANTINOS, A., BARBOSA, C. R. N., CEDROLA Jr., C. A., Relatório Técnico DIE 49580/07.
- [5] Medições de Campos Elétricos e Magnéticos na vizinhança da subestação Ilha Centro da CELESC – 138 kV/13,8 kV – e na área da futura instalação da subestação Agrônômica, MPALANTINOS, A., BARBOSA, C. R. N., DOMINGUES, L. A. M. C., CRUZ, R. M, Relatório Técnico DIE 45010/07.