



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

CB/GLT/25

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT

MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO EM INSTALAÇÕES DE CORRENTE CONTÍNUA – DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE MEDIÇÃO PARA ATENDIMENTO AOS LIMITES DEFINIDOS PELA ANEEL

Athanasio Mpalantinos Neto (*)
CEPEL

Carlos Ruy N. Barbosa
CEPEL

Luís Adriano M. C. Domingues
CEPEL

Paulo Roberto G. de Oliveira
CEPEL

Rafael M. C. Silva
ELETROBRAS

Júlio César A. de Aguiar
ELETROBRAS

RESUMO

A construção de grandes linhas de transmissão associadas aos projetos do Madeira e Belo Monte expôs a carência de ferramentas de cálculo e dados de medições em instalações em operação para linhas de transmissão em corrente contínua. Se, no caso de linhas em corrente alternada, os métodos de cálculo funcionam a contento e há um grande acervo de medições em instalações em operação, em de corrente contínua o quadro é sensivelmente diferente.

Por outro lado, a evolução da Legislação e da Regulamentação referentes à exposição a campos elétrico e magnético levou, na Resolução Normativa ANEEL 616, de 1 de julho de 2014, ao estabelecimento de limites para instalações em corrente contínua, demandando das empresas a realização de medições de campos nas instalações em operação.

Este trabalho descreve o planejamento e a realização de medições em linhas de transmissão e estações conversoras, com a finalidade de atender aos requisitos da RN 616 e também iniciar a montagem de um banco de dados de medições visando orientar e validar o desenvolvimento de métodos de cálculo específicos para instalações em corrente contínua.

Neste IT são inicialmente apresentados os instrumentos utilizados para medição de campo elétrico em corrente contínua, descritos o processo de funcionamento das sondas, o arranjo desenvolvido para os testes de laboratório, o método de ensaio para calibração das sondas e a metodologia para realização da medição no campo. Em seguida são descritas as campanhas de medição realizadas, tanto em linhas de transmissão quanto em estações conversoras, e apresentados os resultados das medições. Finalmente é feita a análise desses dados enfatizando a variabilidade elevada dos resultados e sua dependência das condições meteorológicas - temperatura, umidade, velocidade e direção do vento e indicada uma metodologia adequada para o cálculo de campo elétrico em corrente contínua.

PALAVRAS-CHAVE

Campo Elétrico, Linhas de Transmissão, Estações Conversoras, Corrente Contínua

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema de transmissão em corrente contínua no Brasil teve início com a entrada em operação dos dois bipolos de $\pm 600\text{kV}$ de Itaipu em 1984. Posteriormente o CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica realizou uma série de medições nestes bipolos para a avaliação de desempenho destes (1).

Trinta anos depois, o país voltou a construir linhas de corrente contínua, Sistema de Transmissão do Madeira - Porto Velho-Araraquara, $\pm 600\text{kV}$, em operação desde 2014, e o Sistema de Belo Monte planejado para $\pm 800\text{kV}$. A transmissão em corrente contínua se apresenta como uma alternativa e uma tendência para transmissão de grandes blocos de energia.

Em 2009 entrou em vigor a Lei 11934(2) que dispõe sobre exposição humana a campos elétricos e magnéticos, com as regulamentações da ANEEL Resoluções Normativas 398(3) e 413(4) de 2010 que estabelecem limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, porém apenas para a frequência de 60Hz. Em 2014 foi então publicada a resolução normativa 616 da ANEEL (5) que passou a incluir campos elétricos e magnéticos gerados por instalações de 50Hz e corrente contínua.

Estes trinta anos (1984-2014) representam uma grande lacuna de dados de medição em linhas de corrente contínua. Adicionalmente deve-se notar que o comportamento do campo elétrico em corrente contínua e, por consequência, os instrumentos e técnicas de medição, diferem consideravelmente da corrente alternada. As medições de campo elétrico em corrente contínua dependem muito das condições ambientais, principalmente da velocidade e direção do vento, já que este interfere diretamente no ambiente elétrico da linha de transmissão, transportando os íons gerados nos polos. Além disso, foi identificada, no laboratório e durante o processo de medição, a exigência de uma atenção maior no procedimento de calibração das sondas (zerar) a cada novo ponto de medição e também da qualidade do ponto de aterramento dos instrumentos.

Visando preencher esta lacuna de dados, ao atendimento da Resolução Normativa 616 aplicada as instalações existentes e as futuras demandas do setor elétrico, o CEPEL em conjunto com a ELETROBRAS, Furnas e Eletronorte realizaram uma série de medições de campo nos bipolos do Sistema de Transmissão de Itaipu e nas Estações Conversoras de Foz do Iguaçu, Ibiúna e Araraquara, além de uma série de ensaios em laboratório para avaliação do comportamento das sondas e para definição do arranjo de medição.

Neste trabalho são inicialmente apresentados os instrumentos utilizados para medição de campo elétrico em corrente contínua, descritos o processo de funcionamento das sondas, o arranjo desenvolvido para os testes de laboratório, o método de ensaio para calibração das sondas e a metodologia para realização da medição no campo.

Em seguida são descritas as campanhas de medição realizadas, tanto em linhas de transmissão quanto em estações conversoras, e apresentados os resultados das medições.

Finalmente é feita a análise desses dados enfatizando a variabilidade elevada dos resultados e sua dependência das condições meteorológicas - temperatura, umidade, velocidade e direção do vento e indicada uma metodologia adequada para o cálculo de campo elétrico em corrente contínua.

2.0 - ENSAIOS DE LABORATÓRIO

2.1 Funcionamento das sondas

A medição de campo elétrico de corrente contínua é feita por de uma sonda, que através de um sistema de membrana vibratória, ou mecanismo de rotação, consegue ser sensibilizada com o campo elétrico contínuo. Esta sonda é ligada ao medidor de campo elétrico, que faz a leitura e interpretação das informações enviadas pela sonda.

O que se faz tradicionalmente e construir uma placa metálica, aterrada, para criar uma superfície plana, onde o campo é vertical e posicionar a sonda no centro (sem contato com placa), conforme a Figura 1 A.

Por se tratar de medições de curta duração em conversoras e linhas de transmissão e pela dificuldade de escavar o solo em alguns pontos (asfalto de arruamentos) resolveu-se adotar a configuração da Figura 1 B nos ensaio de laboratório e posteriormente no campo.

2.2 Arranjo do ensaio de laboratório

No laboratório do CEPEL foram construídas duas placas paralelas de alumínio com dimensões de 2m x 2m de bordas arredondadas. Estas dimensões foram obtidas através de simulação digital desenvolvida no programa TRICAMP (6) de forma que produzissem um campo uniforme na região central onde será colocado o arranjo placa/sonda de campo elétrico, como pode ser observado na Figura 2.

A parte de baixo no formato de uma mesa apoiada no solo foi aterrada e colocado no seu centro o arranjo placa/sonda de campo elétrico, para reproduzir a situação da Figura 1 B e a outra placa foi suspenso por uma

cadeia de isoladores a 1m da superfície da placa/sonda. Nesta última foi aplicada tensão, de polaridades positiva e negativa até 200 kV, dependendo do tipo de sonda.

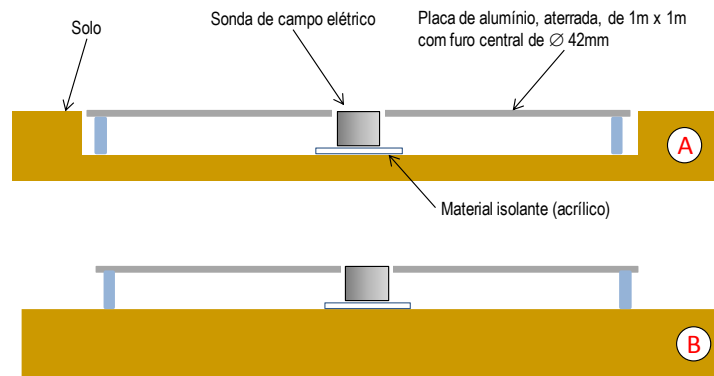


FIGURA 1 – Placa Metálica para posicionamento da sonda



FIGURA 2 – Arranjo de Ensaio

2.3 Calibração das sondas

Foram ensaiadas quatro tipos de sondas, diferenciadas pela faixa de medição de campo elétrico e pela sua montagem de fábrica (tipo E ou tipo F). As faixas de leitura estão descritas na Tabela 1.

O leitor das sondas é o mesmo para todos os tipos e a leitura do campo elétrico não é direta. Para cada tipo de leitor existe um fator de conversão do valor mostrado no visor do leitor para o valor do campo elétrico, para cada tipo de sonda usado.

As sondas foram ensaiadas aplicando-se diferentes níveis de tensão de acordo com seu tipo, Tabela 1, com polaridade positiva e negativa. A tensão aplicada, devido às condições do ensaio, foi limitada no máximo de 200 kV.

Tabela 1 – Faixa de leituras das sondas

| Tipo de sonda | Faixa de campo elétrico (kV/m) | Tensão de ensaio (kV) | Passo (kV) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|------------|
| E2 ou F2 | 0 a 10 | 0 a 10 | 5 |
| E3 ou F3 | 0 a 100 | 0 a 100 | 10 |
| E4 ou F4 | 0 a 1.000 | 0 a 200 | 20 |
| E5 ou F5 | 0 a 2.000 | 0 a 200 | 20 |

Todas as sondas foram testadas "embutidas na placa", Figura 1 B, e acomodadas em cima da mesa, tanto as do tipo F como as do tipo E, constatou-se uma melhor resposta quando estão montadas conforme a figura 1 B.

As sondas dos tipos E3 ou F3 foram as mais utilizadas pelo CEPEL para as medições de campo elétrico nas estações conversoras e nas linhas de transmissão por seu melhor desempenho uma vez que sua faixa de leitura ser mais compatível com os valores encontrados em campo.

3.0 - MEDIÇÕES DE CAMPO

3.1 Instrumentos utilizados nas campanhas de medição

O CEPEL utilizou os seguintes instrumentos para a realização das medições:

- Medidor e sonda de campo elétrico CC
- Medidor de campo magnético CC
- Medidor de temperatura e umidade relativa do ar Vaisala
- Anemômetro Brunton-ADC-Wind

Todos os instrumentos estavam com o certificado de calibração válido. As fotos dos mesmos podem ser observadas nas figuras 3, 4, 5 e 6.



Figura 3 – Medidor de campo elétrico



Figura 4 – Medidor de campo magnético



Figura 5 – Medidor de temperatura e umidade relativa do ar



Figura 6 – Anemômetro Brunton-ADC-Wind

3.2 Metodologia Desenvolvida

Os instrumentos e por conseguinte as técnicas de medição de corrente contínua diferem consideravelmente das de corrente alternada.

A primeira tarefa, em geral realizada ainda no escritório, foi a de, a partir das plantas e imagens da linha de transmissão e da estação conversora, definir os pontos onde serão realizadas as medições. Já no local, estes pontos pré-definidos são reavaliados e confirmados logo no início dos trabalhos. As premissas para a escolha destes pontos em linhas de transmissão e na estação conversora são descritos a seguir.

Para a linha de transmissão foram definidos perfis transversais a linha de transmissão e nestes perfis pontos que proporcionem uma comparação tanto com outras medições quanto a valores calculados. Foram medidos pontos no limite da faixa de servidão, no centro e a 15 m dos pólos.

Para a estação conversora na área energizada, de acesso apenas de trabalhadores (espaço ocupacional), foram medidos em lugares de maior circulação e arruamentos. Também foram escolhidos alguns pontos nas áreas externas, onde pode haver circulação de todo o público.

Para cada ponto de medição os equipamentos foram acomodados em uma mesa, Figura 7, as sondas calibradas e acondicionadas na placa metálica, Figura 8, e realizado o aterramento do medidor de campo elétrico e da placa equalizadora. A seguir foram verificados os valores de campo elétrico, direção e velocidade do vento, umidade e temperatura de forma simultânea.

Foi constatado, tanto no campo quanto em laboratório, a importância de assegurar o bom aterramento dos equipamentos e a calibração das sondas a cada novo ponto de medição para obtenção de resultados confiáveis.

Foram realizadas 10 verificações dos valores medidos com o intervalo de 1 min, conforme definido nos ensaios de laboratório. Este valores são registrados em uma planilha, apresentada na Figura 9, para posterior digitalização e análise.



FIGURA 7 – Mesa de instrumentos



FIGURA 8 – Placa metálica

| PLANILHA DE MEDIÇÃO DE PERFIS DE CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO EM LINHA DE TRANSMISSÃO | | ELETROBRAS CEPEL | |
|--|--|---------------------|---|
| EMPRESA: | | | |
| IDENTIFICAÇÃO | | | |
| POSTO # | DATA:/...../201# | HORA # INICIO # | FIM # |
| LOCAL # | | | |
| PERFIL # | | | |
| MEDIÇÃO EM RE # | <input type="checkbox"/> PÚBLICO EM GERAL - <input type="checkbox"/> OCUPACIONAL | | |
| MEDIÇÃO EM LINHA | TORRE INICIAL (T1) # | TORRE FINAL (T2) # | DIST: T1 (m) # |
| CONDIÇÕES DA MEDIÇÃO | | | |
| TENSÃO (kV) # | CORRENTE (A) # | TEMP (°C) # | UR (%) # |
| CAMPO ELÉTRICO (CE) E MAGNÉTICO (CM) | | | |
| MEDIDOR CE # | TIPO DE MED. SONDAS | CABO # | <input type="checkbox"/> CURTO - <input type="checkbox"/> LONGO |
| BONDA - CE # | MODELO # | SÉRIE # | ZERO # |
| MEDIÇÕES DE CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO NO PONTO # | | | |
| MEDIÇÃO CE | | MEDIÇÃO CM | |
| VOLTA | VALOR | VALOR | VENTO |
| 1# | CE (kV/m) | CM (mG) | Dir: (°) Vel: (m/s) |
| 2# | " | " | " |
| 3# | " | " | " |
| 4# | " | " | " |
| 5# | " | " | " |
| 6# | " | " | " |
| 7# | " | " | " |
| 8# | " | " | " |
| 9# | " | " | " |
| 10# | " | " | " |
| 11# | " | " | " |
| 12# | " | " | " |
| 13# | " | " | " |
| 14# | " | " | " |
| 15# | " | " | " |
| FATOR SONDAS CE (CE) = FATOR SONDAS CM (CM) = FATOR SONDAS VE (VE) = FATOR SONDAS DIR (DIR) = | | | |
| CP = # PIRAS # FATOR # FATOR SONDAS VE (VE) = FATOR SONDAS DIR (DIR) = FATOR SONDAS VE (VE) = FATOR SONDAS DIR (DIR) = | | | |
| *MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO NO PONTO # | | | |
| *MEDIÇÃO DE CAMPO ELÉTRICO E MAGNÉTICO NO PONTO # | | | |

FIGURA 9 – Planilha

4.0 - CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Visando prover as Empresas ELETROBRAS de dados sobre suas instalações de corrente contínua, ao atendimento da Resolução Normativa 616 aplicada as instalações existentes e as futuras demandas do setor elétrico, o CEPEL em conjunto com a ELETROBRAS, Furnas e Eletronorte realizaram uma série de medições de campo nos bipolos do Sistema de Transmissão de FURNAS e nas Estações Conversoras de Foz do Iguaçu, Ibiúna e Araraquara.

A seguir serão apresentados as medições realizadas na linha de transmissão e na estação conversora de FURNAS de forma a exemplificar o desenvolvimento do trabalho de medição e os resultados obtidos.

4.1 Linha de Transmissão

Foram realizados perfis de campo elétrico, ao nível do solo, em um vão da linha de transmissão corrente contínua de ± 600 kV de FURNAS. O processo de montagem dos equipamentos no vão da linha de transmissão para medição pode ser observado nas Figuras 10 e 11.



FIGURA 10 - Detalhe do aterramento da placa metálica



FIGURA 11 – Localização do ponto de medição - equipamentos aterrados e calibrados

Nas figuras 12 e 13 são apresentados o croqui com os pontos medidos no perfil e um gráfico com os valores de campo elétrico medidos. Na Tabela 2 são apresentados os valores e a direção predominante do vento durante o processo de medição.

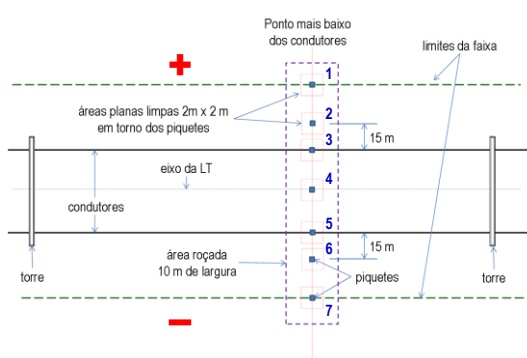


FIGURA 12 – Croqui do Perfil de medição

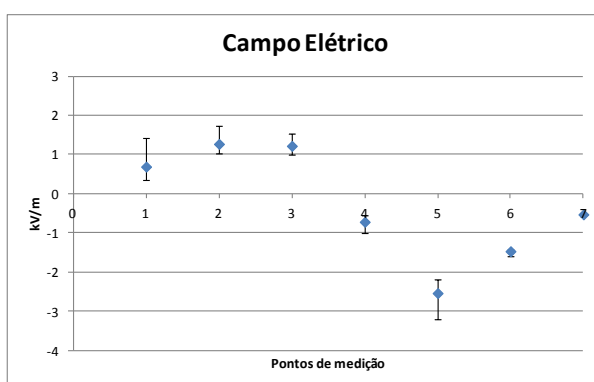


FIGURA 13 – Valores de campo elétrico

Tabela 2 – Valores e Direção do Vento

| Pontos | Vento (m/s) | | Direção |
|--------|-------------|------|---------|
| | Max. | Min. | |
| 1 | 3,5 | 1,5 | A |
| 2 | 4,5 | 1,8 | A |
| 3 | 3,7 | 0,0 | A |
| 4 | 4,0 | 1,3 | B |
| 5 | 2,3 | 0,0 | A |
| 6 | 3,5 | 1,6 | A |
| 7 | 2,6 | 0,9 | A |

A = transversal a LT na direção do polo negativo

B = 45° a LT na direção do polo negativo

Durante a medição na linha de transmissão os valores de tensão e corrente nos polos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de Tensão e Corrente

| Polo 1 | | Polo 2 | |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| Tensão (kV) | Corrente (A) | Tensão (kV) | Corrente (A) |
| 600 | 2.500 | 605 | 2.510 |

4.2 Estação Conversora

Para a Estação Conversora de Foz do Iguaçu foram levantados os pontos de interesse que podem ser observados no croqui apresentado na Figura 14. Os valores de campo elétrico e a direção predominante do vento medidos nestes pontos são apresentados nas Tabelas 4 e 5. A direção predominante do vento está relacionada ao sentido do perfil na conversora. Sendo assim (A) representa o sentido longitudinal, (B) a 45° na direção do perfil, (C) transversal ao perfil e (D) 45° na direção oposta ao perfil.

Durante o processo de medição os valores da corrente nas linhas de transmissão IBIUNA 1 e IBIUNA 2 foram de 2.450 A e 2.480 A, respectivamente.



Figura 14 – Pontos de medição - Estação Conversora

Tabela 4 – Valores de Campo Elétrico – Estação Conversora – Seção A

| Ponto de Medição | Campo Máximo (kV/m) | Campo Mínimo (kV/m) | Vento Max. (m/s) | Vento Min. (m/s) | Direção |
|------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|---------|
| 1 | -2,17 | -1,86 | 4,0 | 1,8 | C |
| 2 | -2,53 | -2,29 | 4,0 | 1,3 | C |
| 3 | 4,75 | 2,93 | 3,5 | 1,1 | B |
| 4 | 2,00 | 1,71 | 3,6 | 1,0 | B |
| 5 | -0,60 | -0,10 | 3,2 | 1,4 | B |
| 6 | -1,34 | -1,02 | 4,2 | 2,1 | B |
| 7 | -1,24 | -0,75 | 4,0 | 1,5 | B |
| 8 | 4,56 | 3,00 | 3,9 | 1,9 | B |
| 9 | 2,18 | 1,90 | 3,9 | 1,1 | B |

Obs. Os pontos, 1, 4, 6 e 9 estão localizados a 15 m dos polos. E os pontos 2, 3, 7 e 8 embaixo dos polos.

Tabela 5 – Valores de Campo Elétrico – Estação Conversora – Seção B

| Ponto de Medição | Campo Máximo (kV/m) | Campo Mínimo (kV/m) | Vento Max. (m/s) | Vento Min. (m/s) | Direção |
|------------------|---------------------|---------------------|------------------|------------------|---------|
| 1 | -3,20 | -1,89 | 2,9 | 0,7 | C |
| 2 | 2,28 | 2,04 | 3,6 | 0,9 | C |

Obs. Os pontos 1 a 2 estão localizados embaixo das barras de transferência.

5.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

O comportamento do campo elétrico em instalações em corrente contínua difere sensivelmente do que ocorre em corrente alternada em virtude de diferenças no ambiente elétrico e na dinâmica dos fenômenos. Para analisar os resultados de medições ou avaliar métodos de cálculo é importante considerar em detalhes estas diferenças, que ajudam a entender e interpretar.

Para tensões abaixo da tensão de início de corona nos condutores, ocorre sob a linha um campo eletrostático. Acima da tensão de início de corona, os condutores positivos e negativos da linha de transmissão geram íons de mesma polaridade. Por isto, uma carga espacial de polaridade positiva ocorre sob o condutor positivo e uma carga espacial negativa sob o condutor negativo. Entre os dois polos da linha de transmissão, ocorrem uma mistura de carga espacial positiva e negativa, proporcionando uma recombinação iônica.

A carga espacial produzida pelo corona em um condutor de uma linha de transmissão em corrente contínua tem o efeito de reduzir o campo elétrico na vizinhança da superfície do condutor e aumentar o nível de campo elétrico no solo. O campo elétrico resultante sob uma linha de corrente contínua com corona pode ser assumido como composto de dois componentes: um componente de "campo eletrostático", produzido pela tensão aplicada à linha e pela geometria da mesma, e outro componente de "campo de cargas espaciais", produzido pela carga espacial iônica na região entre os eletrodos.

A carga espacial gerada perto de cada condutor é conduzida pelo campo elétrico resultante tanto em direção ao solo, como em direção ao condutor de polaridade oposta, resultando em uma corrente de condução entre os polos

e para o solo. Assim há um comportamento "unidirecional" no sentido que as cargas se deslocam ao longo das linhas de campo em direção ao solo ou ao polo oposto, diferentemente do que ocorre em corrente alternada, onde o campo inverte a direção a cada ciclo elétrico, de modo que as cargas ficam sempre na vizinhança dos condutores, sendo recombinadas na sua maioria, não formando uma massa de cargas espaciais importante. Além das cargas geradas por corona ocorrem também cargas geradas por ionização natural, em especial agrupamentos de moléculas (clusters) que perdem um ou mais elétrons, tornando-se eletricamente carregadas; partículas de poluição frequentemente se enquadram neste caso, sendo deslocadas por ação do campo elétrico até algum condutor de polaridade oposta ou aterrado. Isto explica porque é usual ver condutores, equipamentos, paredes enegrecidas em instalações em corrente contínua.

O campo elétrico sob uma linha de transmissão em corrente contínua deve portanto ser caracterizado em termos de três parâmetros básicos:

- campo elétrico - E (kV/m);
- densidade de carga espacial - ρ (C/m³);
- densidade de corrente iônica - j (A/m²).

Estas grandezas se relacionam através da seguinte expressão:

$$j = k \cdot \rho \cdot E, \text{ onde } k \text{ é mobilidade iônica.}$$

O campo elétrico em uma linha de transmissão em corrente contínua, Figura 13 e Tabela 2, é muito influenciado por condições ambientais, tais como: velocidade e direção do vento, umidade relativa, a presença e natureza dos aerossóis no ar etc.

Dentre as variáveis atmosféricas o vento (velocidade e direção) é a mais influente, por deslocar a massa de íons, alterando todo o padrão elétrico da LT. Com a ação do vento as cargas não se movem apenas por ação do campo elétrico, mas pelo efeito resultante de campo elétrico e vento.

Dos resultados apresentados pode-se ressaltar a necessidade, tanto na medição quanto no cálculo, de se levar em consideração o vento (velocidade e direção). Neste sentido e apoiado nas medições realizadas pelo CEPEL (1), nas medições apresentadas e nas futuras medições a serem realizadas nos novos projetos em corrente contínua, será iniciada a montagem de um banco de dados de medições visando orientar e validar o desenvolvimento de métodos de cálculo específicos para instalações em corrente contínua. Em paralelo serão desenvolvidos estudos no sentido de levar em consideração a influência das variáveis climáticas na metodologia para cálculo do campo elétrico em corrente contínua (7).

6.0 - CONCLUSÕES

- Este trabalho apresenta os resultados da campanha de medição em linhas de transmissão e nas estações conversoras das empresas ELETROBRAS.
- É apresentada a metodologia utilizada para realização destas medições.
- Foi realizada a análise desses dados enfatizando a variabilidade elevada dos resultados e sua dependência das condições meteorológicas, principalmente o vento (velocidade e direção) e a importância da implementação desta variável nos métodos de cálculo.
- Finalmente o próximo passo, a partir das medições realizadas pelo CEPEL, será o desenvolvimento de banco de dados visando orientar e validar o desenvolvimento de métodos de cálculo específicos para instalações em corrente contínua.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Dart, F. C., Silva Filho, J. I., Andrade, V. H. G., Domingues, L. A. C. M., "Linhas de Transmissão de Corrente Contínua – Avaliação de Campos Interferentes", XIX SNPTEE, Rio de Janeiro, 2007.

(2) Lei 11943, de 5 de maio de 2009.

(3) Resolução Normativa ANEEL, nº 398, de 23 de março de 2010.

(4) Resolução Normativa ANEEL, nº 413 de 3 de novembro de 2010.

(5) Resolução Normativa ANEEL, nº 616 de 1 de julho de 2014

(6) Domingues, L. A. M. C., Fernandes, C., Dart, F. C., Barbosa, C. R. N., "Cálculo de Campo Elétrico pelo Método de Simulação de Cargas", Relatório Técnico 923/95 – DTI/ACET, CEPEL, Rio de Janeiro, 1989.

(7) Maruvada, P. S., "Electric Field and Ion Current Environment of HVDC Transmission Lines: Comparison of Calculations and Measurements", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 27, n°. 1, January, 2012.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Athanasio Mpalantinos Neto - Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1987) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005). Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. Tem experiência em Medições e Modelagem Numérica de Campos Eletromagnéticos em Linhas de Transmissão, Subestações e Equipamentos e Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos.

Carlos Ruy Nunez Barbosa – Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1987), especialização em Pós Graduação Em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro(1995) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro(2005). Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em medições e modelagem numérica de campos eletromagnéticos em Linhas de Transmissão, Subestações e Equipamentos e Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos.

Luis Adriano de Melo Cabral Domingues - Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1980), especialização em Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Coordenação de Programas de Pós-graduação em Engenharia(1981) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro(2002). Atualmente é Pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Linhas de Transmissão, Subestações e Equipamentos. Atuando principalmente nos seguintes temas:Linhas de transmissão, Modelos matemáticos, Modelagem de equipamentos.

Paulo Roberto Gonçalves de Oliveira – Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Veiga de Almeida (1991). Atualmente é pesquisador I do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Tem experiência em medições dos fenômenos relacionados à corona e aos campos eletromagnéticos em linhas de transmissão e subestações em corrente alternada e corrente contínua e em sistema de aquisição de dados;