



## **Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT**

### **Análise de procedimento de manutenção em linha viva e desenvolvimento de soluções para aumento de segurança dos eletricitistas**

**LUIS ADRIANO DE MELO CABRAL DOMINGUES(1); ATHANASIO MPALANTINOS NETO(1); CARLOS RUY NUNEZ BARBOSA(1); PAULO ROBERTO GOMES DE OLIVEIRA(1); GERSON VALE DE RESENDE(2); CEPEL(1);Furnas(2);**

#### **RESUMO**

As características do sistema de transmissão no Brasil, com presença de linhas longas e redundância ainda insuficiente, requerem a necessidade de realizar atividades de manutenção em linha viva. Os elevados requisitos de segurança impostos nestas atividades demandam o estudo e aperfeiçoamento constantes das normas e práticas em uso. Note-se que, como muitos países puderam abdicar desta prática, este desenvolvimento é conduzido em poucos países, não havendo os plenos benefícios de intercâmbio técnico.

A segurança de pessoas expostas em ambientes com campos elétrico e magnético elevados envolve dois fenômenos distintos: a exposição do organismo aos campos elétrico e magnético (efeitos diretos), circulação de correntes elétricas no organismo através de contato com objetos metálicos num ambiente onde há presença de campos eletromagnéticos (efeitos indiretos).

A proteção contra efeitos indiretos, que apresentam risco mais imediato à saúde, devido à possibilidade de passagem de corrente elétrica pelo corpo, é garantida por conjunto integrado de práticas consolidadas e continuamente aperfeiçoadas de segurança do trabalho em locais de risco, equipamentos e instrumentos especializados, procedimentos de verificação e controle durante a execução dos trabalhos, tudo isso ancorado em normas como, por exemplo, a NR-10.

Este trabalho, realizado em 2017, apresenta o desenvolvimento e conclusão de um trabalho de avaliação de um procedimento particular de trabalho em linha viva - troca de espaçadores.

O trabalho foi desenvolvido por CEPEL e FURNAS, para investigar a causa de relatos de desconforto e choques elétricos, fora do comum, em eletricitistas de uma empresa terceirizada por Furnas, durante a realização de trabalhos de troca de espaçadores em linha viva.

O trabalho seguiu as etapas de análise, identificação e verificação do problema. A seguir foi desenvolvida uma hipótese explicativa do problema que foi testada em campo. Finalmente foi desenvolvido um dispositivo para proteção dos eletricitistas. Após a realização destas etapas as atividades de manutenção foram retomadas sem relatos de novos incidentes.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Campo Elétrico, Campo Magnético, Limite de Exposição, Manutenção em Linha Viva

## 1.0 - INTRODUÇÃO

A segurança de pessoas expostas em ambientes com campos elétrico e magnético elevados envolve dois fenômenos distintos: a exposição do organismo aos campos elétrico e magnético (efeitos diretos) e a circulação de correntes elétricas no organismo em função do contato com objetos metálicos num ambiente onde há presença de campos eletromagnéticos (efeitos indiretos).

Para proteção contra efeitos diretos, a Lei 11.934 de março 2009, cuja aplicação nas instalações do Setor Elétrico foi posteriormente regulamentada pela ANEEL, nas Resoluções Normativas n<sup>os</sup> 398, 413 e 616, estabelece limites para a exposição humana a campos elétrico, magnético e eletromagnético em todo o território nacional (1-4). Os limites determinados pela ANEEL são os recomendados pela ICNIRP (*'International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection'*) (5, 6), complementados pelo Standard IEEE (*'Institute of Electrical and Electronic Engineers'*) (7) para campos em corrente contínua.

A proteção contra efeitos indiretos, que apresenta risco mais imediato à saúde, devido à possibilidade de passagem de corrente elétrica pelo corpo, é garantida por conjunto integrado de práticas de segurança de trabalho em locais de risco, consolidadas e continuamente aperfeiçoadas, equipamentos e instrumentos especializados, procedimentos de verificação e controle durante a execução dos trabalhos, tudo isso ancorado em diversas normas, como a NR-10 (8).

Devido à elevada complexidade dos fenômenos envolvidos em ambientes de campos elétrico e magnético elevados, há uma permanente avaliação e estudo das situações de trabalho e dos procedimentos, visando aumentar a segurança, onde necessário. Este relatório apresenta o desenvolvimento e conclusão de um trabalho de avaliação de um procedimento particular de trabalho em linha viva - troca de espaçadores.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido por CEPEL e FURNAS, para investigar a causa de relatos de desconforto e choques elétricos em eletricitistas da empresa contratada, empresa terceirizada por Furnas, durante a realização de trabalhos de troca de espaçadores em linha viva.

O trabalho seguiu as etapas abaixo:

1. análise dos relatos de incidentes durante a realização dos trabalhos e ida a campo para coleta de informações complementares;
2. identificação de possíveis causas físicas para os efeitos relatados;
3. verificação de cada hipótese face às evidências colhidas no campo;
4. construção de uma hipótese explicativa atendendo as diversas evidências;
5. ida a campo para medições e verificações visando testar a hipótese elaborada;
6. projeto de um dispositivo para proteção dos eletricitistas.

O estágio final consistiu na retomada dos trabalhos e acompanhamento, conduzido por Furnas.

## 3.0 - RELATOS DE OCORRÊNCIAS E DADOS GERAIS

A linha onde ocorreram os eventos objeto desta investigação é a LT 500 kV Araraquara-Campinas (LT ARCA). Trata-se de uma linha com torre tipo "cara-de-gato", com 3 cabos "rail" por fase. Na figura 1, a seguir, apresenta-se uma vista da LT.

Os trabalhos de troca de espaçadores podem ser realizados por 1 eletricitista que faz a retirada e colocação do novo espaçador, ou por equipe de 2 eletricitistas, quando o primeiro vai retirando os espaçadores antigos e o segundo vai colocando os novos. Durante os deslocamentos os eletricitistas podem utilizar uma "cadeira" ou "bicicleta" para os deslocamentos, saindo dela na ocasião do procedimento de troca. A figura 2 mostra esse equipamento.

A sequência de eventos e ações que foram objeto deste trabalho iniciou-se com relatos de três ocorrências durante trabalhos de manutenção em linha viva, para troca de espaçadores, nas quais foram reportados desconforto e choques elétricos.

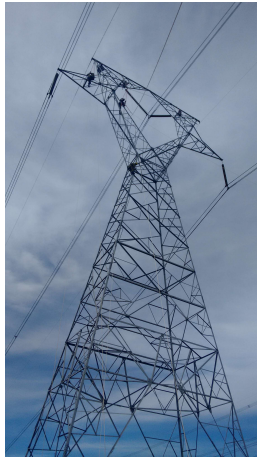


FIGURA 1 – Vista da Torre Típica da LT ARCA



Figura 2 - Cadeira utilizada nos deslocamentos ao longo da fase

Para consolidar essas informações e realizar investigações adicionais foi programada uma ida a campo, com técnicos de Cepel, Furnas e da empresa contratada para realizar a troca de espaçadores.

Nos encontros com os eletricitistas que participaram dos trabalhos foram repassados os eventos e feito um rápido questionário, visando consolidar as informações relatadas.

Foram realizadas medições de campo elétrico e magnético na vizinhança da LT e em posições onde os eletricitistas se posicionam durante as atividades, visando caracterizar com maior detalhe o ambiente eletromagnético onde são realizados os trabalhos. Em todos os casos os valores registrados de campo elétrico e campo magnético estão dentro do padrão de normalidade, como se pode verificar no levantamento de campos eletromagnéticos em condições de trabalho em linha viva realizado pelo Cepel (9, 10).

Uma verificação especial foi feita colocando medidores de campo elétrico dentro da roupa condutiva, durante simulações das manobras reais, de modo a verificar a efetiva capacidade de blindagem das roupas utilizadas. Note-se que as medições normalizadas já haviam sido realizadas caracterizando o desempenho adequado dessas roupas, porém foi considerado prudente fazer esta verificação complementar. A análise dos registros dos medidores confirmou que as roupas estão com a capacidade de blindagem intacta, eliminando a possibilidade de haver efeitos diretos de campo elétrico no corpo dos eletricitistas.

Nas entrevistas com os profissionais das equipes de manutenção foram confirmados alguns pontos importantes como:

- os incidentes ocorreram sempre no horário de 11h00minh-15h00min h, geralmente associado a maior carregamento da linha;
- a sensação de choques ocorre predominantemente no abdômen, pernas e sob os braços, mesmo com o eletricitista sentado dentro do feixe;
- na última ocorrência, quando foi necessário o desligamento para resgate do eletricitista, este estava paralisado em função da intensidade do choque elétrico a que estava submetido.

#### 4.0 - ANÁLISE DAS OCORRÊNCIAS

Com as informações recolhidas e consolidadas passou-se a uma análise das possíveis causas dos fenômenos relatados, visando identificar a causa desses eventos para, na sequência, propor medidas corretivas e sua posterior validação no campo.

Normalmente eventos ligados a descargas e choques elétricos em ambientes de alta tensão são devidos a efeitos diretos de campo elétrico, induções eletrostáticas ou induções magnéticas, como descrito simplificada a seguir:

- em ambientes de campo elétrico elevado (tipicamente acima de 15 kV/m) as extremidades do corpo acumulam carga elétrica (efeito análogo ao conhecido 'efeito de pontas') havendo, em algum momento formação de descarga elétrica nessa parte do corpo (p.e.: dedos, nariz, orelha); este processo assemelha-se ao de descargas corona e ocorre repetidamente enquanto a pessoa ficar no ambiente de campo intenso, sendo uma experiência comum quando se circula sob linhas de transmissão em tensões muito elevadas (500/750 kV). Estas descargas normalmente não apresentam riscos, porém sua repetição tem um efeito de incômodo muito marcante.
- as induções eletrostáticas são do tipo 'efeitos indiretos', e ocorrem pela circulação de correntes entre a pessoa e objetos metálicos que, em algum momento, ficam em potenciais diferentes; estas correntes podem atingir valores elevados e ser extremamente perigosas, pelo que os procedimentos de trabalho em instalações energizadas contemplam medidas de segurança para evitar esta possibilidade.
- choques decorrentes de indução magnética podem ocorrer em ambientes de campo muito elevado, induzindo a circulação de correntes em objetos condutivos (o corpo humano é condutivo); no entanto, nos níveis de campo magnético determinados pela legislação e resoluções Aneel (1-7) este efeito não é significativo.

As informações obtidas e listadas anteriormente foram confrontadas com cada um destes mecanismos de modo a validar ou eliminar cada um deles.

A hipótese de descargas (tipo corona) por efeito direto é invalidada pelo fato de os eletricitistas utilizarem roupas condutivas que proporcionam uma blindagem eficaz para o eletricitista, sobretudo levando em conta que os choques ocorreram em larga escala na região abdominal, pernas e sob os braços, onde não há acúmulo de carga por efeito de pontas. O relato de ocorrência de choques intensos com o eletricitista sentado dentro do feixe também invalida esta hipótese, pois no interior do feixe o campo elétrico é praticamente nulo, uma vez que o feixe de condutores define uma superfície quase equipotencial. A predominância de horários das ocorrências é relativamente neutra para esta hipótese, pois, por um lado o fato de o ar estar mais seco favoreceria um pouco a formação das descargas, porém como a voltagem da linha varia em limites estreitos, o campo elétrico é praticamente constante no tempo, não havendo assim motivo aparente para a ocorrência de choques mais intensos num horário restrito.

A hipótese de induções eletrostáticas - efeitos indiretos - ocorre quando existe uma diferença de potencial entre a pessoa e algum objeto metálico em contato. O tipo de choque produzido por este mecanismo de indução - choque continuado - é compatível com o relatado pelos eletricitistas. Porém, pela possível gravidade deste fenômeno há um conjunto extenso e rigoroso de precauções aplicadas no trabalho em instalações energizadas para eliminar o risco. A principal é, além do uso da roupa condutiva, a equalização do eletricitista com o potencial da parte energizada; durante a aproximação aos elementos sob tensão - antes de haver o contato, utiliza-se um dispositivo, tipo gancho que é colocado no potencial havendo um condutor que liga à roupa do eletricitista. Este procedimento garante que o eletricitista está sempre no potencial, não havendo diferença de tensão para causar a passagem de corrente. Mesmo na eventualidade - raríssima - de uma falha nessa equalização, não é plausível que isso ocorresse repetidas vezes. Por fim, analogamente ao que se ponderou na hipótese de descargas eletrostáticas, esta hipótese também não é compatível com a concentração de ocorrências em determinados horários nem com a ocorrência com o eletricitista sentado dentro do feixe.

Choques por indução magnética podem ocorrer com exposição a campos magnéticos muito elevados. Neste caso o relato que as ocorrências sempre foram em horários de carga pesada apoiam esta hipótese porém, como mencionado anteriormente, foram medidos os níveis de campo magnético em diversas situações que ocorrem nos trabalhos de linha viva, tendo-se verificado que os valores máximos atendem os limites legais (Lei - Resoluções Aneel – ICNIRP) (1-6), quando se pode garantir que os efeitos diretos de indução não são significativos. Além disso, as correntes induzidas por este mecanismo provocariam aquecimento dos tecidos do corpo, não a sensação de choques com características de paralisia muscular (eletrocução).

Assim, eliminadas as hipóteses usuais, passou-se a uma reanálise do problema, em busca de um mecanismo plausível que possa explicar as ocorrências relatadas.

Uma observação, retirada dos relatos consolidados, mereceu atenção especial pois é totalmente inusitada à luz dos casos conhecidos de desconforto por descargas elétricas em alta tensão: a ocorrência dos choques com o eletricitista sentado dentro do feixe, recebendo choques sob os braços, no abdômen e nas pernas. A parte do corpo no interior do feixe está bastante protegida da exposição a campo elétrico, pois embora o feixe não forme uma 'gaiola de Faraday' perfeita, sua envoltória é uma quase equipotencial e o campo no interior é praticamente nulo. Neste ponto foi avaliada uma hipótese que foi chamada de "correntes de equalização no feixe". Este fenômeno ocorre pelo fato de os condutores num feixe não serem eletromagneticamente simétricos, em virtude de diferenças nas distâncias ao solo e aos demais condutores na LT. Assim as correntes nos condutores de uma mesma fase não são idênticas, o que provocaria uma diferença de tensão entre os subcondutores ao longo da LT. Por este motivo é necessário haver uma equalização entre os subcondutores, mediante uma corrente transversal que equilibre eletricamente os cabos do feixe. Isto ocorre normalmente nos espaçadores e ferragens de suspensão, que são distribuídos ao longo de toda a linha, de modo que este efeito é neutralizado, não adquirindo maiores proporções.

Uma razão para este efeito não ter sido identificado anteriormente em trabalhos em linha viva decorre do fato de, sendo os espaçadores e ferragens bons contatos elétricos entre os subcondutores, ao longo da linha, a equalização faz-se preferencialmente por estes caminhos, sendo desprezível a parcela de corrente que passa pelo eletricitista que apresenta uma impedância muito maior, da ordem de milhares de ohms (7, 14, 15).

A possibilidade de estar ocorrendo à passagem de uma parcela significativa de corrente pelo corpo dos eletricitistas pode decorrer, segundo se aventou, do desgaste e oxidação de ferragens e espaçadores, que pode aumentar muito a resistência de contato entre estas peças e os cabos. Este desgaste e oxidação são naturais uma vez que a LT ARCA tem cerca de 40 anos em operação, e deve-se considerar que a troca dos espaçadores foi motivada pelo estado de desgaste observado nas inspeções. As idas a campo confirmaram, ao menos visualmente, um grau de desgaste perceptível nos componentes da linha.

Este fenômeno de corrente de equalização já fora analisado em detalhe pelo Cepel, pela primeira vez, nos estudos para repotencialização de LTs 230 kV no corredor P.Afonso – Banabuiú – Milagres – Fortaleza, onde se utilizou, em cada fase, um cabo adicional diferente do original, para aumentar a capacidade das LTs. (8). Esta solução criou uma assimetria incomum na distribuição de correntes entre os subcondutores de cada fase. Um problema especial ocorre nas torres de transposição, onde a mudança na posição relativa dos cabos gera correntes de equalização significativas (~100 A) exigindo cuidados especiais com a seleção e instalação das ferragens, 'jumpers' e conectores. Esta solução foi, por este motivo, detalhadamente estudada pelo Cepel, juntamente com a Chesf, e foi aplicada em 2003, estando em operação desde então, sem relatos de problemas.

## 5.0 - ESTUDO DA HIPÓTESE DE CORRENTES DE EQUALIZAÇÃO

A hipótese de os choques relatados pelos eletricitistas serem decorrentes de correntes de equalização, embora inusitada à primeira vista, é corroborada por alguns dos relatos consolidados:

- ocorrência de choques intensos com o eletricitista sentado no feixe: pernas, abdômen e sob os braços (obs: sentado no feixe o eletricitista fica com os braços para fora, passando sobre os condutores superiores);
- o horário de carga pesada também é favorável à hipótese em análise, pois quanto maior a corrente total maior será a corrente de equalização;
- ocorrências em vários locais ao longo da fase: como este fenômeno depende da corrente, não do campo elétrico, é de se esperar que não tenha localização preferencial;
- o tipo de choque, doloroso e continuado é compatível com corrente sustentada de 60Hz, não com descargas eletrostáticas.

Na sequência foi realizado um estudo visando confirmar a plausibilidade desta hipótese. Os cálculos e simulações foram realizados utilizando modelos e programas computacionais desenvolvidos pelo Cepel para os estudos de campos eletromagnéticos e seus efeitos (9 - 13).



Inicialmente foi consultado o registro operacional da LT, no período onde ocorreram os eventos, para verificar o carregamento da LT e verificar a faixa de variação das correntes de carga, com vistas às simulações posteriores. Na figura 3, a seguir, apresenta-se o registro da maior corrente diária para os meses de maio e junho.

Verifica-se que no período o carregamento da linha estava elevado, o que reforça a necessidade de aprofundar o estudo desta hipótese. Na sequência foi simulada a distribuição de correntes nos vários subcondutores da LT para estimar a ordem de grandeza das correntes de equalização. Na figura 4 apresenta-se a tela de entrada do Programa PLT com a configuração da LT 500 kV Araraquara - Campinas, com configuração conhecida como 'cara-de-gato'. As simulações foram feitas para correntes de fase na faixa de 1000 a 1600 A.

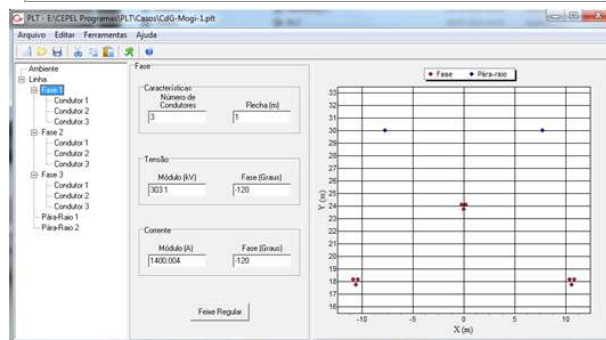
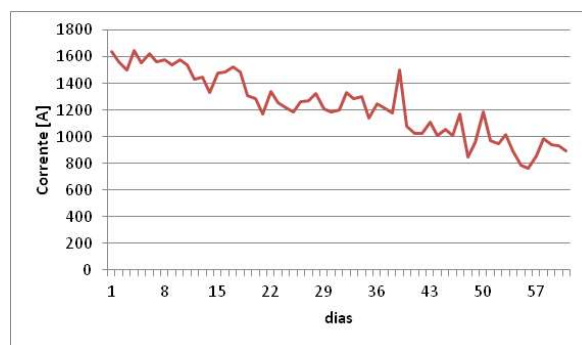


FIGURA 3 – Registro das correntes máximas diárias para o período maio-junho de 2017

FIGURA 4 – Simulação da LT ARCA no programa PLT

Na Tabela 1 a seguir apresentam-se as correntes por subcondutor, para uma corrente de fase de 1400 A.

Tabela 1. Distribuição de correntes por subcondutor para corrente de fase de 1400 A

Fase	Condutor	I[A]
A	1	465,1
	2	472,1
	3	462,8
B	1	470,5
	2	462,7
	3	466,8
C	1	463,4
	2	462,8
	3	473,8

Note-se que não apenas a distribuição de correntes nas fases laterais é diferente da fase central, o que é esperado, mas também as duas fases laterais têm distribuição de correntes por subcondutor diferente. Isto se deve ao fato de linhas trifásicas serem simétricas do ponto de vista de campo elétrico mas não de campo magnético onde uma das fases laterais tem a fase vizinha com a corrente em avanço, e a outra em atraso.

Nesta simulação verifica-se que há diferenças de corrente entre subcondutores da ordem de 10-11 A, o que é considerável. Esta diferença é a fonte das chamadas correntes de equalização. Naturalmente para carregamentos mais elevados, como 1600-1800 A, como chegou a ser registrado, esse desbalanço será proporcionalmente ainda maior. Esta simulação refere-se a um trecho de linha de 1 km. Como o vão médio desta LT tem cerca de 450 m e os espaçadores criam sub-vãos menores é necessário aprofundar o estudo para identificar a faixa de correntes de equalização que pode estar efetivamente ocorrendo nesta linha.

Um ponto importante, para equacionar a análise da circulação de correntes nos eletricitistas é estimar qual pode ser a corrente de choque, considerando os relatos disponíveis. A literatura consolidada (14-15) apresenta estudos e testes com voluntários sobre efeitos de correntes elétricas no corpo humano. De forma resumida, a partir de correntes muito baixas e aumentando essas correntes temos uma progressão de fases de percepção das correntes, apresentada na Tabela 2. Resumidamente a sequência é: percepção, 'let-go' (perda de controle muscular), dor intensa, fibrilação cardíaca.

Tabela 2. Descrição dos diferentes efeitos da circulação de corrente elétrica no corpo humano

I [mA]	Efeito
0,4	Corrente de percepção para 0,5% das pessoas (descrito como leve formigamento)
1,1	Corrente de percepção para 50% das pessoas
6	Corrente de 'let-go' para 0,5% das mulheres
9	Corrente de 'let-go' para 0,5% dos homens
10,5	Corrente de 'let-go' para 50% das mulheres
16	Corrente de 'let-go' para 50% dos homens
100	Corrente de fibrilação para 0,5% dos adultos com cerca de 60 kg.
250	Corrente de fibrilação para 50% dos adultos com cerca de 60 kg

Estas faixas de valores de correntes foram obtidas em vários testes com voluntários, cerca de 150 em cada experimento, até valores um pouco acima do limiar de 'let-go'. Os valores de correntes de fibrilação foram obtidos por extrapolação a partir de testes com animais, considerando o peso corporal.

A corrente de 'let-go' representa o limiar de perda de controle muscular, quando uma pessoa não consegue soltar voluntariamente um condutor ou objeto energizado. Este ponto já é relatado como doloroso. Na faixa entre este limiar e o de fibrilação cardíaca a sensação de dor é progressiva. Considerando os relatos de dor intensa e perda de controle muscular em todo o corpo, e que os eletricitistas são homens adultos, e em boa condição física, estimou-se, conservativamente, que a corrente nos eletricitistas possa ter chegado a algo na faixa de 30-40 mA.

Como a corrente de equalização calculada para 1km ficou em torno de 10 A temos uma corrente no corpo dos eletricitistas que representa entre 1/250 a 1/350 da corrente de desbalanço. Por outras palavras, se a relação de impedâncias entre o caminho convencional e o caminho pelo corpo for dessa ordem de grandeza é plausível que os choques relatados tenham esta origem. Considerando que os vãos da LT têm cerca de 450m de extensão e há 5 a 6 espaçadores por vão podemos estimar 10 sub-vãos em 1km de linha. Se a corrente de equalização por sub-vão ficar em torno de 1A essa relação fica entre 25 e 30, igualmente possível.

Nesta análise deve-se lembrar que, na situação em que um eletricitista vai retirando espaçadores antes que o segundo coloque os novos, os choques foram mais frequentes e severos. Isto é normal, segundo a hipótese em análise, pois ao retirar espaçadores reduzem-se mais ainda os caminhos para circulação das correntes de equalização, aumentando a parcela circulando pelo corpo.

Neste ponto, considerando a impossibilidade prática de verificar as resistências de contato dos espaçadores e ferragens planejou-se outra atividade no campo para medir e confirmar as correntes de desbalanço e de equalização na linha energizada. Esta atividade foi realizada tendo sido providenciados, além dos materiais, ferramentas e instrumentos usuais, amperímetros tipo alicate para correntes elevadas e cordoalhas para medição das correntes circulando entre os subcondutores das fases.

Foram feitos diversos registros em dois dias de medições nas fases central e lateral. A Tabela 3 representa um resumo ilustrativo que sustenta as conclusões. São apresentados: a corrente total na fase, as correntes em cada subcondutor dessa fase e as correntes de equalização entre subcondutores, obtidas ligando esses cabos por uma cordoalha e medindo a corrente com o amperímetro tipo alicate.

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

Tabela 3. Registros no dia 3, 14:00 h., fase central

Correntes entre subcondutores [A]			
subcondutores	c/ espaçadores	s/ 1 espaçador	s/ 2 espaçadores
1-2	1,7	0,8	1,5
2-3	0,6	1,7	1,2
3-1	0,9	3,5	0,7

Numa análise geral pode-se observar que, embora todas as medições não pareçam totalmente coerentes e apresentem uma alguma dispersão, há que considerar a dificuldade de executar essas medidas em condições de trabalho ao potencial, com os eletricitistas posicionados nos feixes, com condições operativas variáveis e dificuldades práticas para fixar as cordoalhas com as garras adaptadas. Ainda assim pode-se observar - Tabela 3 - que o desbalanço de corrente entre os cabos da mesma fase foi ainda maior que o calculado, indicando que a precariedade dos contatos elétricos nos espaçadores e ferragens pode ser maior que o estimado, estendendo-se por trechos longos da LT.

As correntes de equalização medidas foram elevadas, por vezes na ordem de 1-3 A, o que é preocupante. Levam-se em conta que estas correntes foram medidas com ligação metálica sólida entre os cabos, ao passo que o corpo, na situação de trabalho, oferecerá uma impedância mais elevada. Contudo a possibilidade de correntes na faixa de dezenas de miliamperes nos eletricitistas é bastante elevada.

O passo seguinte consiste em verificar a possibilidade de desenvolver algum dispositivo ou procedimento que permita controlar este fenômeno, eliminando as correntes no corpo dos eletricitistas, sem que seja necessário recorrer ao desligamento da linha, o que tem um custo muito elevado para a empresa transmissora.

## 6.0 - CONCEPÇÃO DE DISPOSITIVO PARA PROTEÇÃO DOS ELETRICISTAS

Em princípio é relativamente fácil resolver este problema, visto que basta assegurar um caminho elétrico por meio metálico, com contatos firmes, próximo ao corpo, para que a corrente através do eletricitista seja praticamente nula. Houve o cuidado de discutir a concepção deste dispositivo com os profissionais de manutenção de FURNAS e da empresa contratada, para garantir não só a praticidade de construção e transporte do equipamento, como também a facilidade de aplicação nas situações de trabalho, para não sobrecarregar os profissionais que já têm uma rotina extremamente difícil.

Chegou-se à concepção de um dispositivo em "Y", constituído por cordoalha utilizada em aterramentos (flexível, robusta e boa condutora elétrica) com terminações em garra, para fixação nos cabos. A figura 5, a seguir, ilustra esse dispositivo e sua colocação no feixe de condutores.



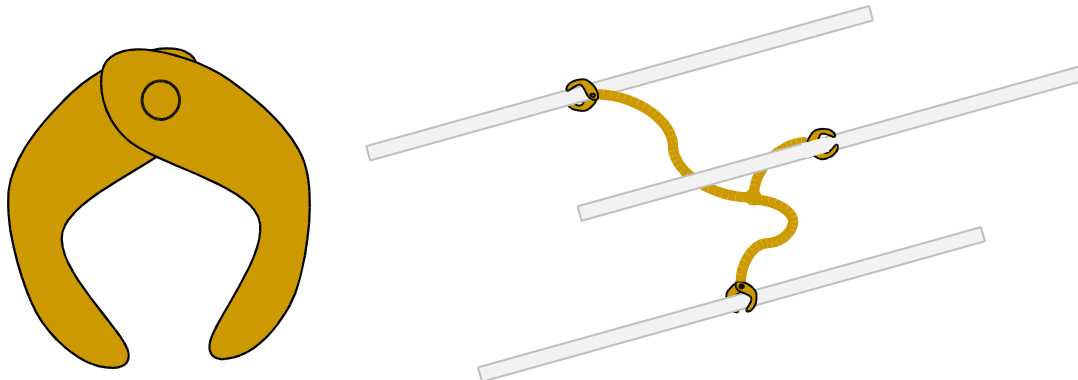


FIGURA 5– Ilustração do dispositivo para proteção dos eletricitistas e de sua utilização n linha

## 7.0 - CONCLUSÕES

As análises efetuadas em decorrência dos relatos de choques nos eletricitistas durante atividades de manutenção em linha viva conduziram à formulação e verificação da hipótese de equalização dos desbalanços de corrente entre os subcondutores das fases.

A hipótese foi confirmada em ensaios no campo, levando ao desenvolvimento de um dispositivo para proteção dos eletricitistas.

As atividades de manutenção foram retomadas sem relatos de novos incidentes.

## 8.0 - REFERÊNCIAS

- (1) Lei 11934, de 5 de maio de 2009.
- (2) Resolução Normativa ANEEL, nº 398, de 23 de março de 2010.
- (3) Resolução Normativa ANEEL, nº 413, de 3 de novembro de 2010.
- (4) Resolução Normativa ANEEL, nº 616, de 1 de julho de 2014.
- (5) ICNIRP Guidelines 1998: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).
- (6) ICNIRP Guidelines 2010: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz).
- (7) 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.
- (8) NR-10 – “Segurança em Instalações e serviços em eletricidade”, Portaria GM n.º 598, de 07 de dezembro de 2004.
- (9) Dart, F.C., Domingues, L.A.M.C., et alii, "Projetos de Linhas de Transmissão não convencionais - uma alternativa a ser considerada no Planejamento da Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro", XVIII SNPTEE, Curitiba, PR, Outubro 2005.
- (10) Domingues, L.A.M.C., et alii, "Análise da exposição a campo elétrico e campo magnético durante procedimentos de manutenção em linha viva", Relatório Técnico CEPEL nº DLE 32013/15.
- (11) Domingues, L.A.M.C., et alii, "Avaliação da exposição de trabalhadores de linha viva a campos elétrico e magnético de linhas de transmissão de 500 kV da CHESF - modelagem computacional e medições de campo", XX SNPTEE, novembro de 2009, Recife.
- (12) 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.
- (13) Domingues, L. A. M. C., Silva, R. M. C., Mpalantinos Neto, A. Barbosa, C. R. N., "Application of computational methods to assess electromagnetic field exposure condition of live line workers on 500 kV



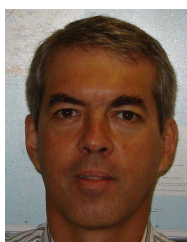
**XXV SNPTEE**  
**SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E**  
**TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

4326  
GLT/16

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

- transmission lines”, 5<sup>th</sup> International Workshop of Electromagnetic Compatibility – CEM2008, Predeal, Romania, 2008.
- (14) Dalziel, C., Lagen, J. "Effects of Electric Current on Man", Electrical Engineering, 1941.
- (15) Transmission Line Reference Book – 345 kV and Above / Second Edition, Electric Power Research Institute, 1982.

#### 9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**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 e Modelagem de equipamentos.