



**XXIII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GLT/01
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

METODOLOGIAS INOVADORAS DE INTERVENÇÃO EM LINHAS DE 69 kV NÃO PROVIDAS DE CABOS DE BLINDAGEM PARA MELHORIA DE DESEMPENHO FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

**Silvério Visacro¹ (*),
Fernando H. Silveira¹**

**Victor Gomes Gonçalves Filho²
Marcelo Pinheiro C. Alves²**

**LRC – Lightning Research Center¹
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais¹**

CELPE - Companhia Energética de Pernambuco²

RESUMO

Este trabalho apresenta os principais aspectos de metodologia de proteção inovadora em linhas de 69 kV não providas por cabos de blindagem frente a incidência direta de descargas atmosféricas.

A solução avaliada consiste na instalação de dispositivos extensores para sustentação de cabos de blindagem, acima do poste da linha e a definição de arranjos de eletrodos de aterramento para provimento de desempenho satisfatório do sistema. Como medida complementar para os casos de solo de elevada resistividade, apresenta-se o uso de técnica não convencional consistindo na adição de cabos inferiores aterrados (*underbuilt wire*), que tem efeito equivalente à redução da resistência de aterramento a aproximadamente metade de seu valor.

PALAVRAS-CHAVE

Desempenho de linhas de transmissão frente a descargas atmosféricas, Descargas Atmosféricas, Aterramentos elétricos, Linhas não providas de cabos de blindagem, Uso de cabos inferiores aterrados.

1.0 - INTRODUÇÃO

Grande parte das linhas de transmissão de 69 kV instaladas no Nordeste do Brasil não são providas de cabos de blindagem para sua proteção contra descargas atmosféricas, baseado na hipótese de baixa expectativa de incidência de descargas nas linhas, decorrente da reduzida densidade média de *flashes* local.

A ausência deste cabo, no entanto, torna a linha susceptível à incidência direta de descargas em seus condutores energizados (cabos fase), causando sobretensões muito elevadas sobre seus isoladores, o que resulta no estabelecimento de arcos elétricos de contornamento destes isoladores e, fatalmente, em desligamentos para a maior parte das correntes de descargas incidentes na linha.

Dois aspectos contemporâneos têm levado as concessionárias de energia a adotar cuidados com o desempenho destas linhas. Primeiramente, em alguns casos têm sido observados níveis comprometedores de desempenho das linhas da empresa. Por outro lado, os requisitos atuais de qualidade requerem desempenhos muito superiores àqueles aceitos no passado.

Além das limitações relativas aos aspectos mecânicos envolvidos na eventual intervenção nestas linhas para provê-las de cabos de blindagem, outras características das linhas tornam ineficientes a simples adoção deste expediente, notadamente a condição de aterramento elétrico muito pobre, usualmente caracterizado pela instalação de uma ou de poucas hastes junto aos pés da torre (ou poste). Assim, a simples intervenção para implementar tal modificação, apenas transferiria a ocorrência do número de desligamentos causados por *flashover* para igual número daqueles decorrentes de *backflashover*, que ocorrem quando a corrente de eventual descarga incidente na torre (ou nos cabos de blindagem) ao fluir para o solo encontra elevada impedância de aterramento.

(*) Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha – CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil
Tel: (+55 31) 3409-4872 – Fax: (+55 31) 3409-5455 – Email: LRC@cpdee.ufmg.br

Neste contexto, foi desenvolvido um projeto de pesquisa a partir de parceria entre a CELPE e a equipe do LRC da UFMG, para desenvolvimento de uma solução integral para o problema, que envolvesse a abordagem das questões de natureza mecânica e elétrica associadas e que tivesse viabilidade técnica e econômica de implantação, com abordagem de técnicas avançadas e com recurso a metodologias não-convencionais de melhoria de desempenho.

As soluções envolvem a instalação de dispositivos extensores para provimento de cabos de blindagem, com posicionamento geométrico estritamente definido (para atender os requisitos associados ao desempenho elétrico) e de características de robustez mecânica especificadas, baseadas em cálculos estruturais desenvolvidos pela equipe. Em adição, a solução é casada necessariamente com definições específicas de intervenção no aterramento dos postes ou torres (em termos de arranjo, dimensão e impedância e da conexão com os cabos de blindagem) e, de acordo com as condições locais de solo, pode envolver o uso da técnica não convencional designada “underbuilt wire”, que tem efeito equivalente à redução da resistência de aterramento à metade de seu valor. Os parâmetros para definição das especificações das práticas de proteção e aterramento recomendados decorreram de simulação computacional sistemática com emprego de elaborada modelagem eletromagnética para verificação do impacto da intervenção (em cada condição analisada) na sobretensão resultante nos isoladores da linha decorrente da incidência de descarga e da avaliação da eventual ocorrência de backflashover nestes isoladores, adotando-se o modelo DE (disruptive effect model).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os desenvolvimentos e resultados desta pesquisa, denotando os principais aspectos práticos de aplicação da proposta de solução de proteção das linhas de 69 kV não providas de cabos de blindagem, que poderiam levar à disseminação da técnica às demais concessionárias locais. Além disso, serão apresentados os aspectos construtivos e de aplicação dos extensores, além das especificações em termos das práticas complementares de proteção e aterramento associadas, bem como os fundamentos que determinam o bom desempenho da linha frente a descargas.

2.0 - DESENVOLVIMENTOS

2.1 Problema do sistema atual

A ausência de cabo de blindagem nas linhas de transmissão torna a linha susceptível à incidência direta de descargas em seus condutores energizados (cabos fase). As sobretensões resultantes desse processo são extremamente elevadas, podendo resultar na ruptura elétrica do isolamento da linha.

A Figura 1 apresenta de forma ilustrativa o problema em foco. Assumindo a incidência direta de descarga no condutor fase da linha com valor de pico de corrente da ordem de 30 kA e considerando a impedância de surto da linha como sendo aproximadamente 400 Ω , têm-se a expectativa de sobretensões da ordem de 6 MV, valor extremamente elevado que certamente resultará na ruptura elétrica dos isoladores da linha. Este resultado denota a necessidade de se dotar a linha com um sistema de proteção que minimize a incidência de descargas diretamente no condutor fase.

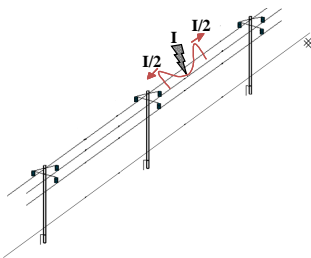


FIGURA 1 – Incidência direta de descarga no condutor fase de uma linha de transmissão sem cabo de blindagem.

2.2 Metodologia de proteção proposta: Extensores para sustentação de cabo de blindagem

A metodologia de proteção proposta consiste na colocação de cabo pára-raios acima do topo do poste de modo a captar as descargas eventualmente incidentes na região da linha e direcionar suas correntes para o solo através de conexão a eletrodos de aterramento das estruturas, projetados especificamente para esta aplicação. Particularmente, considera-se a colocação de extensores no topo dos postes da linha de transmissão para sustentação de cabo pára-raios, conforme ilustrado na Figura 2.

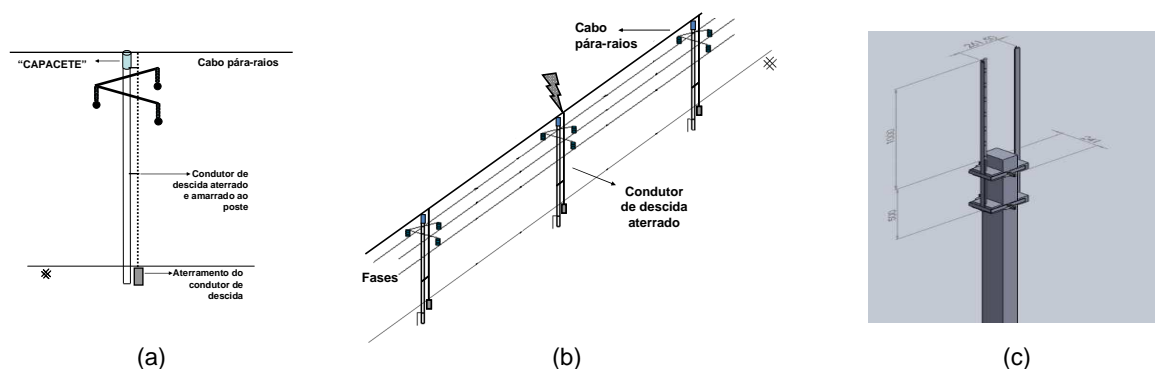


FIGURA 2 – Dispositivo extensor instalado no topo do poste da linha para sustentação de cabo de blindagem. (a) Visão detalhada (b), Visão geral. (c) Representação física do extensor por duas cantoneiras.

A estrutura física do extensor considera o uso de um ou dois perfis metálicos do tipo cantoneira, feitas em aço ABNT 1020, comumente utilizado no mercado. Define-se o posicionamento do cabo pára-raios a 1 m do topo do poste. A Figura 2(c) apresenta a aplicação do extensor constituído por 2 hastes. A definição das especificações da estrutura se baseou na realização de análises de sensibilidade, considerando o cálculo estrutural para avaliação dos esforços solicitantes do problema em análise.

2.3 Considerações relativas às simulações computacionais para análise do desempenho da metodologia de proteção

A influência da aplicação da metodologia de proteção baseada em uso de extensor para sustentação de cabo pára-raios no desempenho das linhas de 69 kV frente a descargas atmosféricas considerou a realização de simulações utilizando a ferramenta computacional HEM (*Hybrid Electromagnetic Model*) (1) para cálculo das sobretensões resultantes nos isoladores da linha em decorrência da incidência de descargas no topo do poste na presença do extensor e do cabo de blindagem, conforme indicado na Figura 2 (b).

As simulações consideraram a forma de onda realista de corrente de descarga ilustrada na Figura 3. Esta onda de corrente reproduz o formato típico das ondas individuais de corrente de primeira descarga medidas na estação de Monte San Salvatore, além de contemplar os valores medianos de pico de corrente e tempos de frente e de meia onda (T10, T30 e T50) associados a este tipo de evento (2).

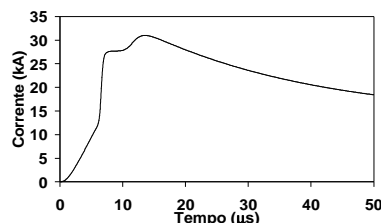


FIGURA 3 – Representação de ondas de corrente de primeira descarga considerando parâmetros medianos de corrente medidos na estação do Monte San Salvatore (2). Adaptado de (3).

Com base nas sobretensões resultantes nas cadeias de isoladores e a aplicação do método da integração (4) para análise da condição de ruptura do isolamento da linha, são definidas as correntes críticas capazes de causar backflashover. A utilização de distribuição tradicional de probabilidade acumulada do valor de pico da corrente de descarga (5) permite definir a probabilidade de ocorrência de arco elétrico na cadeia de isoladores e, conseqüentemente, a taxa de desligamentos da linha por backflashover.

A linha de 69 kV sob análise é representada por postes com 16 m de altura, vão entre postes de 180 m e espaçamento vertical entre condutor fase e braço do poste de 1,05 m. A Tensão Crítica para Ruptura (CFO) da linha é igual a 350 kV, de acordo com informações de (6).

A Figura 4 ilustra a configuração de aterramento investigada para a melhoria de desempenho da linha. As análises de sensibilidade consideraram valores de resistividade do solo entre 300 e 2000 Ωm . A variação dos parâmetros do solo com a frequência é representada nas simulações com base nos desenvolvimentos de (7).

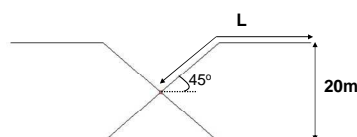


FIGURA 4 – Configuração de aterramento simulada.

3.0 - RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Sobreensão na cadeia de isoladores da linha

A Figura 5 apresenta as sobreensões desenvolvidas na cadeia de isoladores superior da linha, considerando a incidência de descarga no cabo pára-raios para um solo de $1000 \Omega\text{m}$ em função do comprimento dos eletrodos horizontais de aterramento. Conforme esperado, o aumento do comprimento dos eletrodos de aterramento contribui para a redução das sobreensões desenvolvidas ao longo da cadeia de isoladores. Especificamente este valor de resistividade do solo, reduções da ordem de 6% e 12% nos valores de pico de sobreensão são observadas com o aumento do comprimento de aterramento de 20 m para 30 m e 50 m, respectivamente.

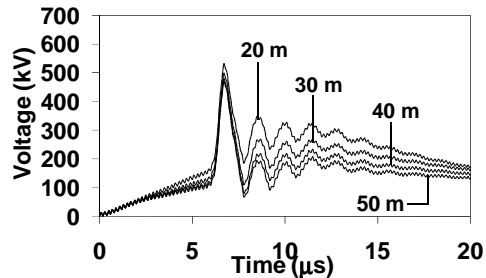


FIGURA 5 – Efeito do comprimento L dos eletrodos horizontais de aterramento nas sobreensões na cadeia de isoladores superior para um solo de $1000 \Omega\text{m}$.

As Tabelas 1 a 4 estendem essa análise para resistividade do solo entre 300 e $2000 \Omega\text{m}$, indicando os valores de pico de sobreensão.

Tabela 1 – Valores de pico das sobreensões na cadeia de isoladores superior. $\rho_0 = 300 \Omega\text{m}$.

L (m)	V_p (kV)	Variação (%)
10	442,2	-
14	428,7	-3,1
20	409,3	-7,4

Tabela 2 – Valores de pico das sobreensões na cadeia de isoladores superior. $\rho_0 = 500 \Omega\text{m}$.

L (m)	V_p (kV)	Variação (%)
10	509,1	-
20	457,3	-10,2
30	433,7	-14,8
40	427,2	-16,1

Tabela 3 – Valores de pico das sobreensões na cadeia de isoladores superior. $\rho_0 = 1000 \Omega\text{m}$.

L (m)	V_p (kV)	Variação (%)
20	530,7	-
30	497,9	-6,2
40	480,0	-9,6
50	469,6	-11,5

Tabela 4 – Valores de pico das sobreensões na cadeia de isoladores superior. $\rho_0 = 2000 \Omega\text{m}$.

L (m)	V_p (kV)	Variação (%)
40	537,7	-
50	520,3	-3,2
60	509,1	-5,3
70	501,6	-6,7

3.2 Análise da melhoria relativa de desempenho proporcionada pela colocação de cabos de blindagem, sustentados por extensores, e aterramentos

Com base nas ondas de sobreensão calculadas nas cadeias de isoladores da linha e o uso do método da integração, é possível obter as sobreensões e correntes críticas, capazes de causar a disrupção elétrica do isolamento da linha.

Neste contexto, a relação entre os valores de corrente crítica e a distribuição de probabilidade acumulada de picos de corrente de primeira descarga permite definir a melhoria de desempenho relativa que determinado arranjo de eletrodos de aterramento (configuração e comprimento) é capaz de proporcionar em relação ao caso de linha sem cabo de blindagem. Este contexto considera que, para a condição da linha desprovida de cabo de blindagem,

basicamente a incidência de qualquer corrente de descarga deve resultar na ruptura do isolamento da linha (aproximadamente 100% dos casos) independentemente da condição do aterramento dos postes.

Os resultados apresentados nas Tabelas 5 a 8 indicam a melhoria percentual de desempenho obtida em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento para resistividades do solo ρ_0 entre 300 e 2000 $\Omega\cdot m$. Tal melhoria se refere à redução percentual dos níveis de correntes de descarga que levariam ao desligamento da linha. Os valores de corrente crítica para os quais a linha está protegida em cada um dos casos também estão incluídos.

Tabela 5 - Corrente crítica e melhoria percentual de desempenho em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento ($\rho_0=300 \Omega\cdot m$).

L (m)	Ic(kA)	Melhoria percentual de desempenho (%)
10	49,3	77
14	55,8	82,2
20	64,5	87

Os resultados indicam que a simples colocação do extensor no topo do poste para sustentação do cabo para-raios e o uso de eletrodos de aterramento com 10 m de comprimento promove uma melhora de desempenho superior a 70% em relação ao desempenho da linha sem cabo de blindagem, considerando solo de 300 $\Omega\cdot m$. Quanto maior o comprimento L do eletrodo para um mesmo valor de resistividade do solo, mais significativa é a melhoria de desempenho da linha. Melhoria de desempenho da ordem de 87% é obtida com o uso de eletrodos de aterramento com 20 m de comprimento.

Tabela 6 - Valores de corrente crítica e melhoria percentual de desempenho em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento. ($\rho_0=500 \Omega\cdot m$).

L (m)	Ic(kA)	Melhoria percentual de desempenho (%)
10	37,8	62,6
20	49,9	77,5
30	58,9	84,1
40	62,3	86

Considerando a adoção de eletrodos de aterramento com 10 m de comprimento em solos de 500 $\Omega\cdot m$, observa-se uma redução na taxa de desligamentos da ordem de 63% em relação ao desempenho da linha sem cabo de blindagem. A adoção de comprimentos de eletrodo de 20, 30 e 40 m resulta em desempenhos aproximadamente 78%, 84% e 86% melhores em relação ao desempenho da linha sem cabo de blindagem.

Tabela 7 - Valores de corrente crítica e melhoria percentual de desempenho em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento. ($\rho_0=1000 \Omega\cdot m$).

L (m)	Ic(kA)	Melhoria percentual de desempenho (%)
20	35,3	58,4
30	41,9	68,6
40	47,7	75,4
50	51,8	79,1
60	54,6	81,3
70	56,1	82,4
80	56,7	82,8
90	57,0	83

Observa-se que, para resistividades do solo de 1000 $\Omega\cdot m$, comprimentos de eletrodos de 30 m asseguram desempenho aproximadamente 69% melhor em relação ao caso da linha sem cabo de blindagem. A adoção de eletrodos com 50 m de comprimento promove melhoria de desempenho da ordem de 80%.

Tabela 8 - Valores de corrente crítica e melhoria percentual de desempenho em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento. ($\rho_0=2000 \Omega\cdot m$).

L (m)	Ic(kA)	Melhoria percentual de desempenho (%)
40	34,4	56,7
50	38,1	63,1
60	41,5	68,2

70	44,3	71,7
80	46,5	74,2
90	48,4	76,1

Os resultados indicam melhorias de desempenho da ordem de 63% para linha com eletrodos de aterramento de 50 m de comprimento. A adoção de eletrodos com 90 m de comprimento eleva essa melhora para aproximadamente 76%.

A Tabela 9 apresenta de forma resumida os valores mínimos de comprimento de eletrodos de aterramento e as equivalentes melhorias percentuais de desempenho da linha.

Tabela 9 – Valores mínimos de comprimento de eletrodo de aterramento e a redução percentual da taxa de desligamentos da linha.

ρ ($\Omega.m$)	L (m)	Melhoria percentual de desempenho (%)
300	10	77
	20	87
500	20	77,5
	40	86
1000	40	75,4
	60	81,3
2000	60	68,2
	80	74,2

Quanto maior o valor da resistividade do solo, maior também é o comprimento do eletrodo de aterramento necessário para que seja obtido um determinado desempenho da linha. Os resultados obtidos mostram que reduções das taxas de desligamentos superiores a 75% são garantidas com eletrodos de aterramento a partir de 10 m (300 $\Omega.m$), 20 m (500 $\Omega.m$), 40 m (1000 $\Omega.m$) e 90 m (2000 $\Omega.m$).

A obtenção de melhoria de desempenho superior às indicadas anteriormente, principalmente em solos de elevada resistividade, requer o uso de comprimentos de eletrodos de aterramento muito longos.

Neste caso, avaliou-se como medida complementar a adoção da técnica de cabos inferiores aterrados (*underbuilt wires*) conectados aos condutores de descida dos postes. O impacto dessa técnica no desempenho da linha é apresentado na próxima seção.

3.3 Melhoria relativa de desempenho proporcionada pela adição complementar de cabo inferior aterrado em conjunto ao uso de extensor no topo dos postes

Os resultados aqui apresentados se referem à adição de 1 cabo metálico não energizado a uma altura de 9,8 m. A Figura 6 ilustra a condição avaliada nas simulações. Mais detalhes da aplicação desse tipo de técnica de proteção não-convencional em linhas de transmissão de alta tensão são apresentados em (8,9).

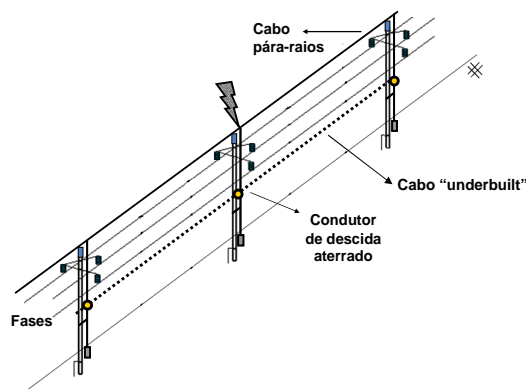


FIGURA 6 - Adição complementar de cabo inferior aterrado (*underbuilt wire*).

As Tabelas 10 e 11 apresentam as melhorias percentuais de desempenho promovidas pelo uso de cabo inferior aterrado em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento para resistividades de solo 1000 e 2000 $\Omega.m$.

Para efeito de comparação, incluiu-se também os dados referentes à melhoria percentual relativa ao uso apenas do extensor para sustentação do cabo de blindagem no topo dos postes.

Tabela 10 – Efeito da adição de cabo inferior aterrado (*underbuilt wire*) na melhora percentual de desempenho da linha em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento. ($\rho_0=1000 \Omega.m$).

L (m)	Melhoria percentual de desempenho (%)	
	Sem cabo inferior aterrado	Com cabo inferior aterrado
20	58,4	77,8
40	75,4	86,5
60	81,3	88,9
90	83	89,5

Tabela 11 – Efeito da adição de cabo inferior aterrado (*underbuilt wire*) na melhora percentual de desempenho da linha em função do comprimento L dos eletrodos de aterramento. ($\rho_0=2000 \Omega.m$).

L (m)	Melhoria percentual de desempenho (%)	
	Sem cabo inferior aterrado	Com cabo inferior aterrado
40	56,7	76,4
60	68,2	82,4
80	74,2	85,4
90	76,1	86,3

Como pode-se observar, a inclusão de cabos inferiores aterrados promove um ganho significativo no desempenho da linha frente às descargas atmosféricas, permitindo a adoção de menores comprimentos de eletrodo de aterramento para a obtenção de taxa de melhoria de desempenho almejada. Analisando especificamente os resultados referentes ao solo de $1000 \Omega.m$, observa-se que uma melhoria de desempenho da ordem de 75% é obtida com eletrodos de aterramento de 40 m. A adoção complementar de cabos inferiores aterrados permite a obtenção da mesma melhoria percentual de desempenho, porém com comprimento dos eletrodos de aterramento de 20 m.

4.0 - COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho apresenta metodologia inovadora para a melhoria de desempenho de linhas de 69 kV que não possuem cabo de blindagem em sua configuração original.

A metodologia consiste na instalação de dispositivos extensores no topo dos postes para sustentação de cabos de blindagem, definições específicas de intervenção no aterramento dos postes de acordo com as condições locais de solo e uso complementar de técnica não convencional designada “*underbuilt wire*” para condições de solo de elevada resistividade elétrica.

Considerando o contexto no qual para a condição da linha desprovida de cabo de blindagem, a incidência de qualquer corrente de descarga deve resultar na ruptura do isolamento da linha, os resultados aqui apresentados permitem a projeção da melhora relativa de desempenho da linha em relação à condição original da linha.

Análises referentes a solos de $300 \Omega.m$ indicaram que a adoção de eletrodos de aterramento de 10 m de comprimento garante a redução da taxa de desligamentos da linha em aproximadamente 77%. Taxa de melhoria de desempenho semelhante é obtida em solos de $500 \Omega.m$ para eletrodos de aterramento com 20 m de comprimento.

O aumento do valor da resistividade do solo resulta no crescimento do comprimento do eletrodo de aterramento necessário para que seja obtida determinada redução da taxa de desligamentos da linha. Análises referentes a solos de 1000 e $2000 \Omega.m$ mostraram reduções da ordem de 75% nas taxas de desligamentos com o uso de eletrodos de aterramento de 40 e 90 m, respectivamente.

O uso, como medida complementar, da técnica de cabos inferiores aterrados (*underbuilt wires*) conectados aos condutores de descida dos postes em solos de alta resistividade permitiu a adoção de menores comprimentos de eletrodo de aterramento.

Vale destacar que a definição da configuração de aterramento a ser implementada e o eventual uso complementar de cabos inferiores aterrados dependem da especificação prévia da condição a que se almeja atender, em termos do número de desligamentos permitido para a linha.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VISACRO, S.; SOARES, A. HEM: A Model for Simulation of Lightning-Related Engineering Problems. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 20, n. 2, p. 1026-1028, abr. 2005.
- (2) ANDERSON, R. B., ERIKSSON, A. J., "Lightning parameters for engineering application," Electra, vol.69, pp. 65-102, 1980.
- (3) DE CONTI, A., VISACRO, S., "Analytical representation of single- and double-peaked lightning current waveforms," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.49, No.2, pp.448-451, Maio,2007.
- (4) HILEMAN, A. H., Insulation coordination for power systems. Boca Raton, FL: CRC, 1999, pp. 627-640.
- (5) ANDERSON, J. G., Lightning Performance of Transmission Lines. In: Transmission Line Reference Book – 345 kV and Above. 2. ed. California: Electric Power Research Institute – EPRI, 1982. p. 545-597.
- (6) VR01.04-00.008, Projeto de Linha de Subtransmissão Rural de 69 kV, CELPE-Grupo Neoenergia.
- (7) VISACRO, S., ALÍPIO, R., Frequency dependence of soil parameters: experimental results, predicting formula and influence on the lightning response of grounding electrodes, IEEE Trans. Power Del., vol. 27, no. 2, pp. 927–
- (8) VISACRO, S., SILVEIRA, F.H., DE CONTI, A., The use of underbuilt wires to improve the lightning performance of transmission lines, IEEE Trans. Power Del., vol. 27, no. 1, pp. 205-213, Jan. 2012.
- (9) VISACRO, S. ; SILVEIRA, F. H. ; CONTI, A. R. . Exploração de técnica não convencional para a melhoria de desempenho de linhas de transmissão frente às descargas atmosféricas, Anais do XXI SNPTTE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2011, Florianópolis.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Silvério Visacro nasceu em Belo Horizonte em 1956. Graduiu-se (1979) e obteve o mestrado (1983) em Eng. Elétrica pela UFMG e doutorou-se na COPPE/UFRJ (1992). É Professor Titular da UFMG na área de Eng. Elétrica em Eletromagnetismo Aplicado, com ênfase nas aplicações associadas às Descargas Atmosféricas e aos Aterramentos Elétricos. Em 2001, com o suporte da CEMIG constituiu o LRC - Lightning Research Center, avançado centro de pesquisa dos raios e seus efeitos, onde lidera equipe de 50 membros, dentre docentes, pós-doutorandos e alunos (doutorandos, mestrandos e de Iniciação Científica) na realização de pesquisas de alto nível. É autor de dois livros, respectivamente nos temas Aterramentos Elétricos e Descargas Atmosféricas, e de mais de 300 artigos (52 em periódicos), além de 3 capítulos de livros internacionais. É um dos editores do Journal of Lightning Research e preside o GROUND & LPE: Intern. Conference on Grounding and Earthing & Lightning Physics and Effects. Atua no Comitê Científico de outros eventos internacionais da área: SICEL e SIPDA e Coordena a Rede Brasileira de Sobretensões Atmosféricas. Foi ou é representante brasileiro em vários grupos de trabalho do CIGRE, sendo inclusive o coordenador dos WG C4.406 e C4.33.



Fernando H. Silveira possui graduação (1999), mestrado (2001) e doutorado (2006) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é professor adjunto II, dedicação exclusiva, do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG e pesquisador associado ao LRC (Lightning Reserach Center) da UFMG. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: desempenho de linhas de transmissão frente às descargas atmosféricas, eletromagnetismo aplicado, descargas atmosféricas (modelagem física do fenômeno), tensões induzidas por descargas atmosféricas, efeitos causados em redes de energia elétrica e unidades consumidoras pela incidência de descargas atmosféricas em estruturas elevadas e proteção de sistemas elétricos contra os efeitos associados às descargas. É autor ou coautor de mais de 20 artigos em periódicos e 75 artigos em conferências. É membro do

IEEE, sendo revisor regular do IEEE Transactions on Power Delivery e IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. É representante brasileiro do WG C4.37 da CIGRE (*Electromagnetic Computation Methods for Lightning Surge Studies with Emphasis on the FDTD Method*) e membro do GT4 BR01 (Desempenho de Linhas de Transmissão frente a Descargas Atmosféricas) do CIGRE-Brasil.