



Grupo de Estudo de Desempenho de Sistemas Elétricos-GDS

Discussão de Técnicas de Melhoria do Desempenho de Linhas de Transmissão Frente às Descargas Atmosféricas

SANDRO DE CASTRO ASSIS(1); WALLACE DO COUTO BOAVENTURA(2); JOSE OSVALDO SALDANHA PAULINO(2); IGOR LUIZ DE MELLO MOTTA(3); WESLEY EDNEY DE SOUSA(4); ALEXANDRE PIANTINI(5); ADRIANO A. DELLALLIBERA(6); ELILSON EUSTÁQUIO RIBEIRO(7); EDGAR JOSÉ OLIVEIRA RIBEIRO(7); JORGE LUIZ DE FRANCO(8); MURILO MAGALHÃES NOGUEIRA(9); Cemig D(1);UFMG(2);Cemig D(3);Cemig D(4);USP(5);BALESTRO(6);NSA(7);TIME ENERGY IC(8);CYMI(9);

RESUMO

Para interligar a geração de energia elétrica com os sistemas de distribuição e os consumidores necessita-se de extensas linhas de transmissão. Essas linhas estão sujeitas a transitórios de diversas naturezas, como surtos gerados por manobras no sistema elétrico ou por descargas atmosféricas. Segundo estatísticas nacionais e internacionais, aproximadamente 65% dos desligamentos não programados são oriundos da interação entre descargas atmosféricas e linhas de transmissão. Neste informe técnico são discutidas algumas das técnicas de melhoria de desempenho frente às descargas atmosféricas, buscando quantificar os custos para adequações de linhas que possuem um desempenho insatisfatório, estabelecendo comparativos entre os pontos positivos e negativos para o projeto da linha dentre as alternativas avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE

Linhas de transmissão, Cabo Para-raios, *Underbuilt Wire*, Para-raios de ZnO, Falso-estais

1.0 - INTRODUÇÃO

O objetivo das concessionárias distribuidoras e transmissoras de energia elétrica é de atender seus clientes com qualidade adequada, maximizando a eficiência na transmissão, reduzindo os tempos de desligamentos e as perdas técnicas de forma a obter um retorno sobre os ativos disponíveis para prestação do serviço público sob sua responsabilidade. A matriz energética do Brasil é composta em sua maior parte por fontes hídricas e nos últimos anos tem-se observado uma crescente geração em usinas eólicas e fotovoltaicas instaladas em regiões específicas. Dessa forma, os grandes centros consumidores, geralmente, estão situados a grandes distâncias dos centros geradores, necessitando de extensas linhas de transmissão para estabelecer a conexão entre geração e consumidores. O desempenho das linhas de transmissão é fundamental para uma interligação com qualidade. As linhas estão sujeitas a transitórios de diversas naturezas, como surtos gerados por manobras no sistema elétrico ou por descargas atmosféricas. Segundo estatísticas nacionais e internacionais, aproximadamente 65% dos desligamentos não programados são oriundos da interação entre descargas atmosféricas e linhas de transmissão [1-4]. Estes desligamentos causam às empresas de energia perdas de faturamento, possibilidade de sanções pelos órgãos reguladores e prejudicam a imagem das empresas junto aos consumidores. Em muitos casos, os desligamentos transitórios ou permanentes resultantes causam importantes perdas aos consumidores finais da energia elétrica.

Em linhas de transmissão de alta tensão, providas de cabos para-raios, com tensão nominal de até 345 kV, o risco de ocorrer o fenômeno de falha de blindagem é bastante reduzido com o correto posicionamento dos cabos para-raios em relação aos cabos condutores. Desta forma, o fenômeno de falha de blindagem geralmente pode ser desconsiderado na análise de desempenho destas linhas frente às descargas atmosféricas (exceção feita em

casos específicos, como, por exemplo, vãos com torres muito altas e em regiões com elevada densidade de descargas atmosféricas). Assim sendo, o principal fenômeno capaz de provocar desligamentos por descargas atmosféricas nas linhas de transmissão, com tensão nominal até 345 kV é o *backflashover* (descarga reversa), que pode ocorrer quando a descarga atinge a torre ou um dos cabos para-raios das LTs. Nessa situação podem ocorrer elevados níveis de sobretensões impostas nas cadeias de isoladores, o que, por sua vez, pode promover uma disrupção elétrica através de uma ou mais cadeias (arco elétrico da torre para uma ou mais fases).

É objetivo deste informe técnico avaliar e analisar a eficiência de métodos passíveis de prover uma melhoria no desempenho de linhas de transmissão frente às descargas atmosféricas, bem como quantificar os custos para adequações de linhas que possuem um desempenho insatisfatório, estabelecendo comparativos entre os pontos positivos e negativos para o projeto da linha e implantação de cada uma das alternativas estudadas.

Os resultados obtidos nas diversas análises para duas linhas de transmissão, uma de 138 kV e outra de 230 kV, permitem um aprendizado no projeto de coordenação de isolamento de linhas de transmissão e possibilitam um direcionamento inicial em linhas que possuam desempenho frente às descargas atmosféricas abaixo do desejado.

2.0 - CARACTERIZAÇÃO DOS CASOS ESTUDADOS

Para avaliar e quantificar a influência de medidas passíveis de prover uma melhoria no desempenho frente às descargas atmosféricas, foram estabelecidos os seguintes casos a serem considerados: a instalação de para-raios de óxido de zinco (ZnO), instalação de falsos-estais, incremento das distâncias de isolamento em estruturas típicas e instalação de cabos para-raios adicionais sob as fases (*underbuilt wires*). A melhoria dos sistemas de aterramento das estruturas não foi aqui considerada por ser a primeira ação a ser adotada, além de as propostas de melhorias serem dependentes dos arranjos dos sistemas de aterramento adotados na implantação da linha de transmissão, bem como da resistividade do solo local de cada torre.

Nas análises cujos resultados são aqui apresentados, foi realizada uma modelagem dos elementos em programa de transitórios eletromagnéticos da família do *Electromagnetic Transients Program* (EMTP). Os modelos dos elementos do sistema elétricos adotados (linhas, aterramentos, etc.), privilegiaram modelos simples de engenharia, porém que possibilitam a obtenção de resultados confiáveis. A metodologia adotada nas simulações é apresentada em [5]. As correntes de descargas foram modeladas como sendo dupla rampa, sendo que os valores da amplitude e di/dt das correntes de descargas foram definidos aplicando o método de Monte Carlo, considerando as distribuições de amplitude e taxas de crescimento das descargas atmosféricas medidas na estação do Morro do Cachimbo, localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. O tempo de meia onda em todas as descargas é assumido como sendo 65 μ s. O método de Monte Carlo também é aplicado para definir o local da incidência da descarga. É adotado que em 60% dos casos a descarga incide na torre e nos demais 40% incide no meio do vão. São simulados quatro vãos para cada lado da torre central.

As silhuetas das estruturas de 138 kV e 230 kV adotadas nas análises são apresentadas na Figura 1, com a indicação das alturas dos cabos nas torres. O ponto F é o local de fixação do cabo *underbuilt*. Na tabela 1 são apresentados dados básicos das linhas em análise.

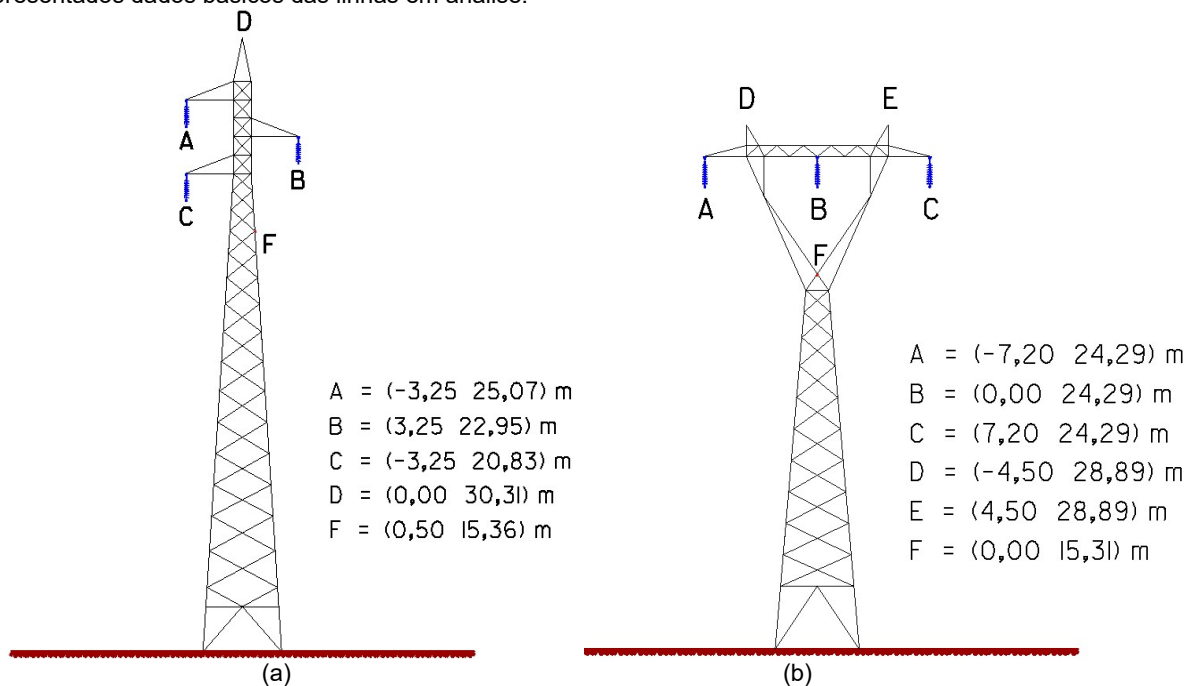


Figura 1 – Silhuetas das torres (a) 138 kV e (b) 230 kV.

Tabela 1 – Dados principais das linhas em análise

	LT 138 kV	LT 230 kV
Tensão nominal	138 kV	230 kV
Vão médio	400 m	400 m
Condutor	CAA 336,4MCM Linnet	CAA 900MCM Ruddy
Flecha para cabo condutor	13,83 m	16,79 m
Cabo para-raios	Aço 5/16" HS	Aço 3/8" HS
Flecha do cabo para-raios	10 m	9,9 m
Cadeia de isoladores (número de discos padrão)	9	15

Nas análises foram consideradas reduzidas alturas cabo-solo, dentro do exigido pelas normas e critérios de projetos, por esse ser um critério de projeto eletromecânico das linhas na fase de projeto, que busca reduzir os custos de implantação das linhas, com menor altura das torres (menor tonelada de aço adquirido para construção).

O incremento das distâncias de isolamento foi analisado com a adição de um isolador de disco padrão para cada arranjo, totalizando uma cadeia de suspensão com 10 discos para a LT de 138 kV e 16 discos para a LT de 230 kV.

Quando da consideração de instalação de para-raios de ZnO, estes são normalmente instalados primeiramente na fase inferior, que em função do menor acoplamento com os cabos para-raios geralmente tem suas cadeias de isoladores submetidas às maiores sobretensões. A Figura 2 apresenta as curvas VxI dos para-raios de ZnO adotadas nas análises.

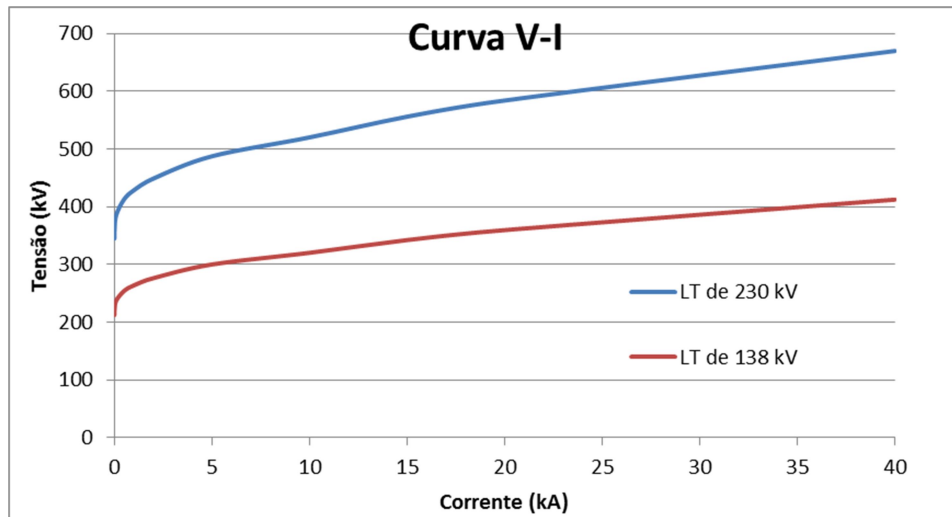


Figura 2 – Curvas V x I dos para-raios de ZnO utilizados nas análises.

A instalação de cabos metálicos interligando as estruturas autoportantes ao solo, funcionando como “falsos-estais”, tem como fundamento prover mais caminhos elétricos entre o topo da torre e o sistema de aterramento da estrutura. Estes caminhos adicionais promovem uma redução na impedância de surto equivalente da torre, gerando uma alteração na amplitude do surto que desce pela estrutura e do coeficiente de reflexão. O valor da impedância de surto de cada estai foi calculado conforme apresentado em [6].

O cabo *underbuilt* possibilita uma alteração na distribuição da corrente da descarga atmosférica incidente na estrutura. Além disto, como esse cabo metálico adicional é instalado abaixo dos cabos fase, existe um incremento no acoplamento eletromagnético entre eles, o que reduz as sobretensões aplicadas sobre as cadeias de isoladores. Nas análises realizadas, considerou-se os cabos instalados abaixo da cota dos cabos condutores em 1,54 m e 2,09 m, no meio do vão, para as linhas de 138 kV e 230 kV, respectivamente.

3.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 2 são apresentados valores de correntes críticas para algumas impedâncias impulsivas de aterramento (Z_p) para a geometria de 138 kV em análise, enquanto que na Tabela 3 são apresentados os valores para a geometria de 230 kV. A corrente crítica é a mínima corrente da descarga capaz de gerar sobretensões acima da suportabilidade da cadeia de isoladores. Em ambos os casos considerou-se uma taxa de inclinação (di/dt) de 40 kA/ μ s.

Tabela 2 – Correntes críticas (em kA) para a geometria de 138 kV analisada ($di/dt = 40 \text{ kA}/\mu\text{s}$).

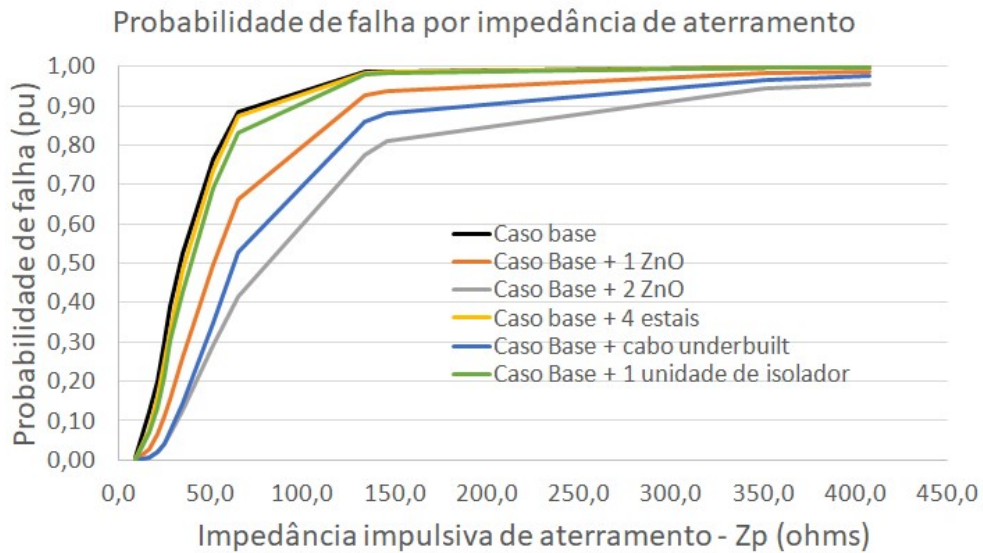
Z_p (Ω)	Caso base	4 estais	1 ZnO	2 ZnO	Underbuilt	Acréscimo de 1 disco na cadeia
	I_{critica} (kA)					
10	90,7	124,3	135,4	165,0	173,9	101,5
30	47,6	50,0	59,7	72,6	70,0	51,8
50	31,9	31,8	44,9	57,0	53,1	35,2
100	18,3	18,1	26,8	35,7	32,0	20,2

Tabela 3 – Correntes críticas (em kA) para a geometria de 230 kV analisada ($di/dt = 40 \text{ kA}/\mu\text{s}$).

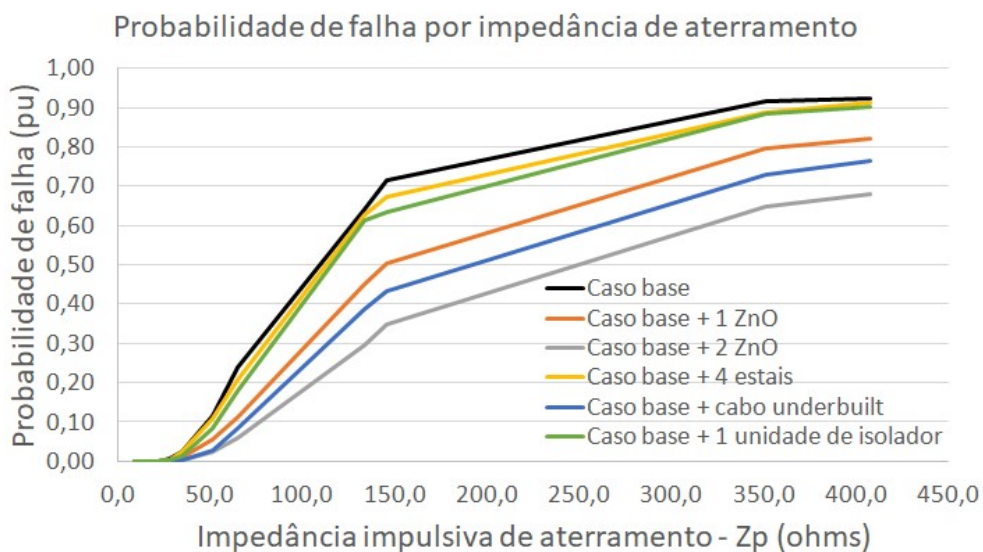
Z_p (Ω)	Caso base	4 estais	1 ZnO	2 ZnO	Underbuilt	Acréscimo de 1 disco no isolador
	I_{critica} (kA)					
10	310,0	332,0	(1)	(1)	(1)	(1)
30	89,0	97,0	101,6	136,3	129,0	93,6
50	67,0	69,0	77,2	87,8	82,2	70,4
100	42,3	42,0	52,1	61,6	56,1	45,0

Nota (1) - Não foi avaliada a corrente crítica para este caso, pois a corrente crítica para o caso base já foi elevada.

Na Figura 3 são apresentadas as probabilidades de falha para diversos valores de impedância impulsiva, considerando um caso base (linha convencional), a presença de falsos-estais, ZnO, cabo *underbuilt* ou o incremento da cadeia de isoladores.



(a)



(b)

Figura 3 – Probabilidades de falha para geometria (a) 138 kV e (b) 230 kV.

Como é sabido, a resposta do sistema de aterramento depende da geometria adotada e da resistividade do solo, além da forma de onda injetada. Além disto, as configurações típicas dos sistemas de aterramento adotados em linhas de transmissão com tensão nominal de 69 kV a 500 kV não sofrem alterações significativas, sendo, via de regra, compostas com arranjos com 4 ou 6 cabos contrapeso. Tendo como base as duas distribuições de impedâncias de aterramento apresentadas na Figura 4, foram analisados os desempenhos obtidos para as silhuetas de 138 kV e 230 kV, para as alternativas avaliadas.

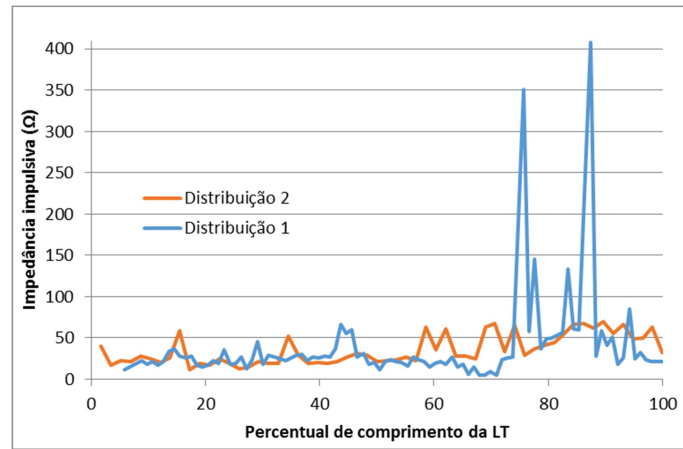


Figura 4 – Distribuições de impedâncias impulsivas de aterramento (Z_p) ao longo de duas linhas de transmissão.

Para possibilitar uma discussão mais centrada nas características e custos de cada solução, e não nas características específicas de cada instalação (LTs), decidiu-se por apresentar os resultados de simulações onde considerou-se a aplicação de cada solução integralmente em toda LT, ou seja, quando analisado o desempenho com os falsos-estais considerou-se que esta solução foi adotada em todas as torres. Foi considerada uma incidência de 50 descargas em cada 100 km de linha. A Tabela 4 sintetiza os resultados dos desempenhos calculados.

Tabela 4 – Desempenho considerando as distribuições de impedâncias de aterramento apresentadas na Figura 4.

Caso analisado	Desligamentos / 100 km / ano			
	Distribuição 1		Distribuição 2	
	LT 138 kV	LT 230 kV	LT 138 kV	LT 230 kV
Caso base	18,19	3,14	23,14	3,23
Caso base + 4 estais em cada torre	16,33	2,95	21,27	2,89
Caso base + 1 ZnO em cada torre	10,14	2,03	13,44	1,51
Caso base + 2 ZnO em cada torre	5,95	1,36	7,45	0,74
Caso base + cabo <i>underbuilt</i> em toda linha	6,79	1,64	9,06	0,99
Caso base + 1 unidade de isolador em cada cadeia	14,94	2,66	19,61	2,39

4.0 - DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Analisando os resultados apresentados no item anterior, verifica-se que:

- 1) A utilização de falsos-estais não melhora significativamente o desempenho das LTs frente às descargas atmosféricas. Esta solução pode ser aplicada em situações onde o desempenho é marginalmente superior ao desempenho desejado. Em LTs onde as torres de suspensão são estaiadas mecanicamente, a presença desses estais irá contribuir no desempenho frente a descargas atmosféricas.
- 2) Quando da consideração de instalação de para-raios de ZnO, as fases que possuem para-raios instalados não irão sofrer desligamentos frente à descarga atmosférica. Por efeitos de reflexão, a(s) fase(s) desprotegida(s) apresentam uma maior corrente crítica. Logo, a LT pode apresentar significativa melhoria de desempenho. A instalação de para-raios de ZnO pode ser feita após o início de operação da LT. Normalmente, as torres das linhas não sofrem com os esforços (basicamente peso) dos para-raios de ZnO, sendo esta uma alternativa técnica eficiente para adequação do desempenho de LTs existentes. A instalação de 1 para-raios por fase irá eliminar por completo a possibilidade de desligamentos por descargas atmosféricas na torre contemplada. É importante ressaltar que, por se tratar de um equipamento, desligamentos podem acontecer por falhas de dimensionamento, instalação, degradação ou fabricação. Quando da presença desses equipamentos na LT, a equipe de manutenção de linhas deve ter seus procedimentos atualizados e ser capacitada a identificar equipamentos que apresentaram alguma anomalia (normalmente a identificação é feita através da constatação da atuação do desligador automático), de forma a evitar desligamentos.
- 3) O cabo *underbuilt* causa uma significativa melhora no desempenho da LT frente às descargas atmosféricas, apresentando um desempenho intermediário ao obtido entre a aplicação de 1 e 2 para-

raios de ZnO por estrutura. Em função da carga mecânica adicional, podem ser demandados reforços mecânicos das torres e fundações. Nos projetos recentes, principalmente de LTs da rede básica que apresentam elevado nível de otimização, a aplicação de cabo *underbuilt* pode ser inviabilizada caso não seja concebida no projeto original uma solução conjunta de esforços mecânicos e desempenho elétrico. Em linhas antigas, onde os projetos das torres apresentavam maiores coeficientes de segurança, a instalação de um cabo adicional costuma demandar um reforço mecânico da ordem de 5 a 30% do peso da torre. Se, durante a fase do projeto, for detectado que a LT atravessa uma região com elevada resistividade de solo, que conduzirá a valores altos de impedâncias impulsivas, e a adoção de cabo *underbuilt* for escolhida, poderá ser necessária a utilização de torres mais altas para garantir alturas cabo-solo mínimas, especialmente se o terreno tiver um perfil plano. Se o perfil do terreno for acidentado, a instalação de um cabo adicional abaixo dos condutores pode não violar alturas normativas. Estas situações são ilustradas na Figura 5. Devem ser observadas as distâncias mínimas entre os condutores fase e o cabo *underbuilt*, inclusive em situações de balanço dos cabos. Para linhas existentes com altura cabo-solo no limite do especificado em norma, a adoção do cabo *underbuilt* deve ser avaliada criteriosamente considerando a necessidade de alteamento e reforços mecânicos das estruturas.

- 4) O acréscimo de uma unidade de isolador padrão nas cadeias de isolamento gera um acréscimo na distância de arco, o que eleva a suportabilidade do arranjo isolante, aumentando o valor da corrente crítica. Desta forma o desempenho da LT apresenta uma melhoria quando comparado ao caso base. O acréscimo desta unidade reduz a altura cabo-solo. Se este acréscimo ocorrer em vãos projetados no limite das alturas cabo-solo, ocorrerá uma violação normativa. Os esforços mecânicos devidos à inserção de uma unidade são reduzidos, cabendo ser verificadas as distâncias da cabeça da torre, em função do balanço de cadeias de isoladores e aproximação dos cabos com ferragens do corpo da estrutura (coordenação de isolamento da estrutura). Pode ser solução para algumas torres ou trechos específicos.

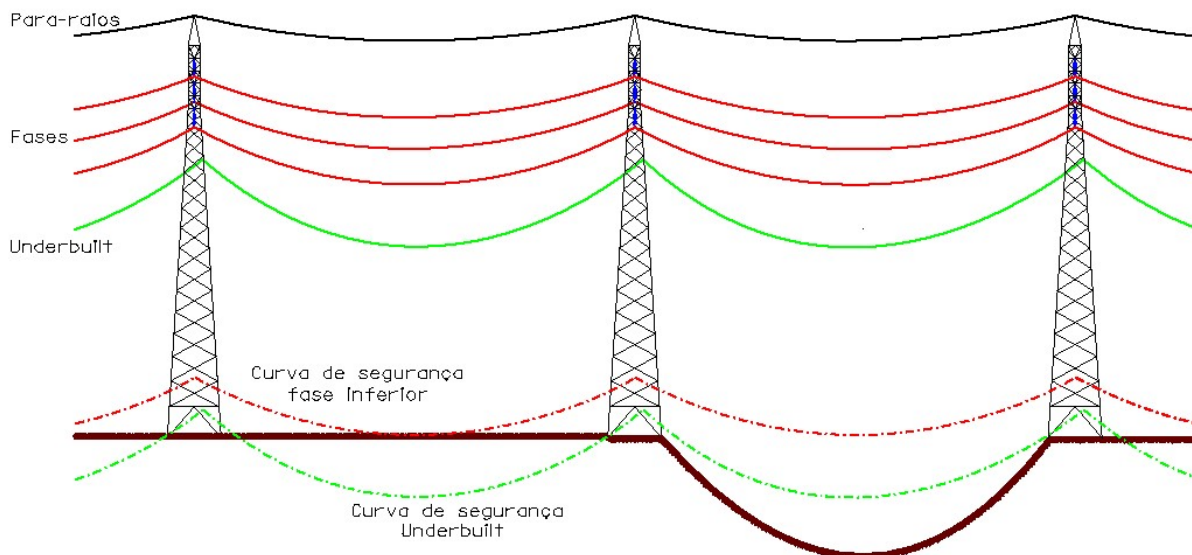


Figura 5 – Alturas cabo-solo em terrenos plano e acidentado.

Na Tabela 5 são apresentadas referências de valores para implantação das alternativas estudadas. A orçamentação foi realizada tendo como base valores apresentados em [7]. Nestes casos não foram levados em consideração os custos de instalação de canteiro de obras, mobilização e custos de projetos, por se entender que esses custos serão similares para todas as alternativas analisadas.

Tabela 5 – Custos associados às alternativas analisadas para melhoria de desempenho de LTs frente às descargas atmosféricas.

Caso analisado	Custos para 100 km de LT	
	LT 138 kV	LT 230 kV
Instalação de 4 estais em cada torre	R\$ 448.200,00	R\$ 448.200,00
Instalação de 1 ZnO em cada torre	R\$ 1.070.700,00	R\$ 1.568.700,00
Instalação de 2 ZnO em cada torre	R\$ 2.141.400,00	R\$ 3.137.400,00
Instalação de cabo <i>underbuilt</i> ⁽¹⁾	R\$ 2.055.699,46	R\$ 3.284.310,16
Instalação de cabo <i>underbuilt</i> ⁽²⁾	R\$ 1.382.727,16	R\$ 1.761.625,36
Acréscimo de 1 unidade de isolador em cada cadeia	R\$ 793.314,00	R\$ 793.314,00

Notas:

(1) – Nesta análise, o cabo *underbuilt* foi aplicado considerando um perfil de terreno plano. Considerou-se que as torres foram elevadas na fase de construção das LTs em 1,54 m e 2,09 m, respectivamente para as LTs de 138 kV e 230 kV, de forma a garantir alturas cabo-solo normativas. Considerou-se um reforço mecânico nas estruturas de 5% do peso total.

(2) – Nesta análise, o cabo *underbuilt* foi aplicado considerando um perfil de terreno acidentado, não sendo necessária a elevação de estruturas. Considerado um reforço mecânico nas estruturas de 5% do peso total.

Analisando os dados apresentados na Tabela 5, observa-se que a solução com cabo *underbuilt*, quando o terreno possui um perfil plano, apresenta custos similares aos obtidos com a instalação de 2 para-raios de ZnO, alternativa que possui melhor o desempenho frente a descargas atmosféricas dentre os casos analisados. Quando o terreno apresenta perfil mais acidentado, os valores envolvidos na instalação do cabo *underbuilt* ficam bastante competitivos.

Os menores custos obtidos são referentes à instalação do estais, que entretanto apresentam eficácia limitada na melhoria do desempenho da linha. O incremento da cadeia apresenta custos intermediários, sendo necessário avaliar o impacto da altura cabo-solo e da redução das distâncias para as estruturas quando da escolha desta opção. A instalação de para-raios de ZnO é prática de ser realizada quando a LT já está em funcionamento. Adicionalmente, a instalação de para-raios de ZnO, na revisão atual do manual de controle patrimonial do setor elétrico [8] pode ser classificada como investimento.

Neste trabalho, para efeito de comparações e discussões, considerou-se que a solução analisada foi aplicada em toda a extensão de linha. A melhoria do desempenho de uma linha específica deve ser objeto de análises criteriosas e pode ser obtida também através de soluções mistas dentre as alternativas apresentadas neste informe técnico, ou seja, a solução pode ser composta por alguns trechos com para-raios de ZnO, outros com cabo *underbuilt* e outros sem intervenções, por exemplo.

5.0 - CONCLUSÃO

O informe técnico analisou e comparou a eficiência de quatro técnicas distintas para a melhoria do desempenho frente às descargas atmosféricas de linhas aéreas de 138 kV e 230 kV. Foi avaliada a efetividade do aumento do nível de isolamento das cadeias de isoladores, através da utilização de um isolador adicional, da utilização de estais adicionais nas torres, da instalação de para-raios de linha e da instalação de um cabo adicional, abaixo das fases (*underbuilt*). Todas as técnicas utilizadas no estudo levaram a uma melhoria do desempenho das linhas analisadas.

Os estudos de desempenho realizados tanto para a linha de 138 kV quanto para a linha de 230 kV indicam que a técnica mais eficiente para a redução do número de desligamentos devido à incidência de descargas atmosférica nas linhas é a instalação de dois para-raios de ZnO em cada torre. A segunda técnica mais eficiente é a instalação de um cabo *underbuilt*, a terceira é a instalação de um para-raios de linha em cada torre, a quarta é o acréscimo de um isolador na cadeia de isoladores e a quinta é a instalação de 4 estais adicionais por torre autoportante.

A Tabela 4 mostra os desempenhos esperados com a aplicação de cada uma das técnicas em relação ao desempenho esperado para o caso base.

As dificuldades de aplicação de cada uma das técnicas foram discutidas no Item 4 e os custos associados a cada uma das alternativas foi também avaliado no mesmo item.

O estudo foi realizado com a utilização de metodologia de cálculo confiável, e os resultados obtidos indicam a possibilidade concreta de melhoria do desempenho de linhas frente às descargas atmosféricas.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Cherchiglia, L. C. L., Bezerra, A. C. G., Markiewicz, R. L., Carmo, L. S., Carvalho, A. M., Amorim, G. E. S., Otimização de sistema computacional para estimativa do desempenho de LT's sob a ação de descargas atmosféricas e sua aplicação para melhoria do desempenho de LT's da CEMIG", VII Encontro Regional Latino-Americano da CIGRÉ, Argentina, 1997;
- (2) Carvalho, A. M., Abreu, M. S., Filho, A. C., Carvalho, A. C., Cherchiglia, L. C. L., Diniz, J. H., Tecnologias para análise e melhoria do desempenho de instalações de transmissão frente a descargas atmosféricas, XV SNPTEE, Foz do Iguaçu, 1999;
- (3) AIEE Committee Report, Report of Joint AIEE-EEI Subject Committee on Line Outages, in Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems, vol. 71, no. 1, pp. , Jan. 1952.doi:10.1109/AIEEPAS.1952.4498444;
- (4)Kappenman, J.G.; House, D.L.V. - Location centered mitigation of lightning-caused disturbances - Minnesota Power, 1996;
- (5) S. C. Assis, W. C. Boaventura, J. O. S. Paulino, R. L. Markiewicz, "Lightning performance of transmission line with and without surge arresters: comparison between a monte carlo method and field experience", *Electric Power System Research*, no. 149, pp. 169-177, 2017;

(6) CIGRE, WG 33.01, "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines," CIGRE Brochure 1991, Brochura 063;

(7) Resolução homologatória nº 758, de 6 de janeiro de 2009 – Banco de Preços – Acessada em 25/04/2019;

(8) Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico – MCPSE, instituído pela Resolução Normativa nº 674/2015, ANEEL, agosto de 2015.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Sandro de Castro Assis possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 2004, 2006 e 2017, respectivamente. Atualmente é engenheiro sênior de projetos de sistemas elétricos de linhas de transmissão e subestações da CEMIG Distribuição e professor do IEC PucMinas no curso de Transmissão e Distribuição. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão de Energia Elétrica, Estudos Elétricos em SEP, inclusive em área industrial. É membro dos comitês de estudo CE-C4 - Desempenho de Sistemas Elétricos, CE-B3 – Subestações, CE-B2 – Linhas de Transmissão do Cigré Brasil.



Wallace do Couto Boaventura possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 1988 e 1990, respectivamente. Obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas, Campinas, Brasil, em 2002. É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG desde 1992. Suas áreas de pesquisa incluem compatibilidade eletromagnética e processamento de sinais aplicados aos sistemas elétricos de potência



José Osvaldo Saldanha Paulino possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 1979 e 1985, respectivamente. Obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas, Campinas, Brasil, em 1993. É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG desde 1980. Suas áreas de pesquisa incluem compatibilidade eletromagnética, descargas atmosféricas e alta tensão.



Eilson Eustáquio Ribeiro nasceu em 1961 em Morada Nova de Minas, MG. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1984 e mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 1987. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão de Energia Elétrica, Estudos Elétricos em SEP, inclusive em área industrial. É diretor da NSA Consultoria e professor da PUC Minas.



Wesley Edney de Sousa nasceu em 1975 em Belo Horizonte, MG. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), Belo Horizonte, Brasil, em 2002. Especialização em Gestão, ênfase em projetos, pela Fundação Dom Cabral (FDC), Belo Horizonte, Brasil, em 2010 e mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFMG (PPGEE/UFMG) em 2017. É técnico especialista de projetos do sistema elétrico da CEMIG Distribuição. Atua na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em projetos de linhas de transmissão de energia, estudos e projetos de cabos condutores especiais aplicados a linhas de transmissão e distribuição de energia.



Alexandre Piantini graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFPR em 1985 e obteve os títulos de Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da USP em 1991 e 1997, respectivamente. Ingressou na USP em 1986, onde atualmente atua como Professor Livre-Docente no Programa de Pós-Graduação em Energia do IEE/USP. Suas principais áreas de interesse estão relacionadas a transitórios eletromagnéticos, qualidade de energia e modelagem de fenômenos associados a descargas atmosféricas e seus impactos em sistemas elétricos. É "Senior Member" do IEEE e coordenador do Centro de Estudos em Descargas Atmosféricas e Alta Tensão (CENDAT/USP). Atuou como membro de diversos grupos do CIGRE, tendo coordenado o CIGRE WG C4.408 ("Lightning Protection of Low-Voltage Networks"). Preside o "International Symposium on Lightning Protection" (SIPDA) e integra os comitês científicos de vários eventos internacionais. É membro fundador do "Institute for Lightning Protection and Safety" (ILPS) e membro do "Award Committee of the Sun & Grzybowski IEEE Award". É Editor Associado dos periódicos "IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility", "Electric Power Systems Research", "Electrical Engineering" e "High Voltage" e autor ou coautor de 4 CIGRE "Technical Brochures", 4 capítulos de livro e mais de 200 artigos publicados em revistas ou em anais de congressos nacionais e internacionais.



Murilo Magalhães Nogueira nasceu em 1964 no Rio de Janeiro, RJ. Diretor Técnico na Cymi do Brasil, é Engenheiro Eletricista pela UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro (1986), Bacharel em Administração de Empresas (1989) e Bacharel em Informática (1994) pela UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Mestre em Metrologia para Qualidade e Inovação pela PUC Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2005). Trabalha há mais de 30 anos no setor elétrico, nas áreas de subestações, linhas de transmissão aéreas e subterrâneas e equipamentos elétricos de alta tensão até 800 kV. Participou de mais de 20 projetos de P&D. Possui 2 patentes e mais de 30 artigos técnicos publicados, no Brasil e exterior, dos quais 15 como autor principal.



Adriano A. Dellalibera nasceu em 1963 em São Paulo, SP. Formado em Eletrotécnica, trabalha desde 1985 na Indústria Eletromecânica Balestro no departamento de engenharia e no laboratório de alta tensão, onde esteve envolvido com design de equipamentos, testes de alta tensão, ensaios de aplicação de para-raios. Atualmente trabalha focado em novas tecnologias e engenharia de aplicação. Ele é atualmente presidente do Comitê de Estudos de Para-raios da ABNT, membro do Cigré desde 2001 e membro brasileiro do TC 37 do IEC.



Igor Luiz de Mello Motta, nascido em Belo Horizonte em 16/07/1962, graduado em Engenharia Elétrica pelo CEFET-MG com especialização em Engenharia de Segurança pela FEAMIG. Trabalha há mais de 30 anos no setor elétrico, nas áreas de subestações, linhas de transmissão aéreas e subterrâneas de alta tensão até 500 kV, com atuação nas atividades de construção, projeto e planejamento.



Edgar José Oliveira Ribeiro nasceu em 1994 em Belo Horizonte, MG. Engenheiro eletricitista pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em 2017. É engenheiro da NSA Consultoria, onde atua nas áreas de interferências eletromagnéticas de LTs, dimensionamento de sistemas de aterramento de LTs e SEs e cálculo de campos elétrico e magnético, dentre outros.



Jorge Luiz de Franco nasceu em Petrópolis - RJ em 6/11/1962. Engenheiro eletricitista pela Universidade Católica de Petrópolis - UCP em 1985, Mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal da Paraíba - UFPb em 1993. Trabalhou no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL durante 10 anos, participando de diversos estudos e projetos relacionados a ensaios e aplicação de para-raios. De 1995 a 2013 atuou como Consultor Técnico, sendo Sócio Administrador da Franco Engenharia. Membro das Comissões de Estudo da ABNT/COBEI CE 37-7 “Para-raios de Óxido Metálico sem centelhadores” e da CE 37-4 “Guia de Aplicação de Para-raios”, e dos Grupos de Manutenção das Comissões Técnicas TC37/ MT4 "Metal Oxide Surge Arresters" e TC37 / MT10 “Surge Arresters Application Guide”, da IEC. Participa da Comissão de Estudos CE A.3 - Equipamentos de Alta Tensão do CIGRÉ - Brasil, e como membro correspondente do WG A3.25 - “Surge Arresters” do CIGRÉ Internacional; Desde 2013 trabalha na TE Connectivity onde atualmente é Gerente Global Isoladores e Para-raios da TE Connectivity.