



APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LPM (LEADER PROGRESSION MODEL)

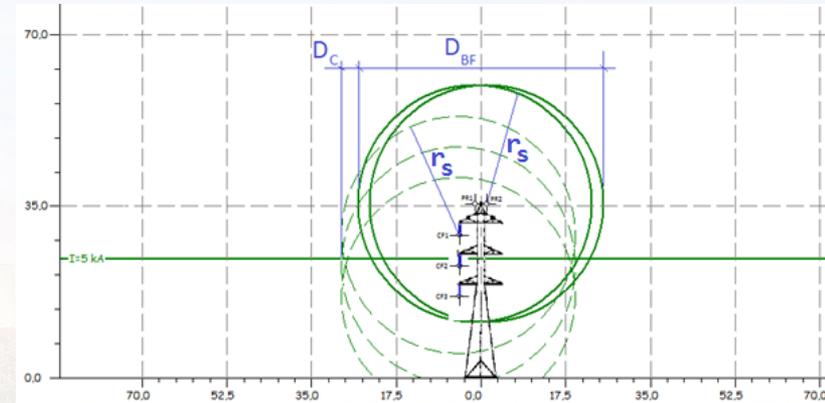
GDS

Pablo M. Miguel - TgDelta

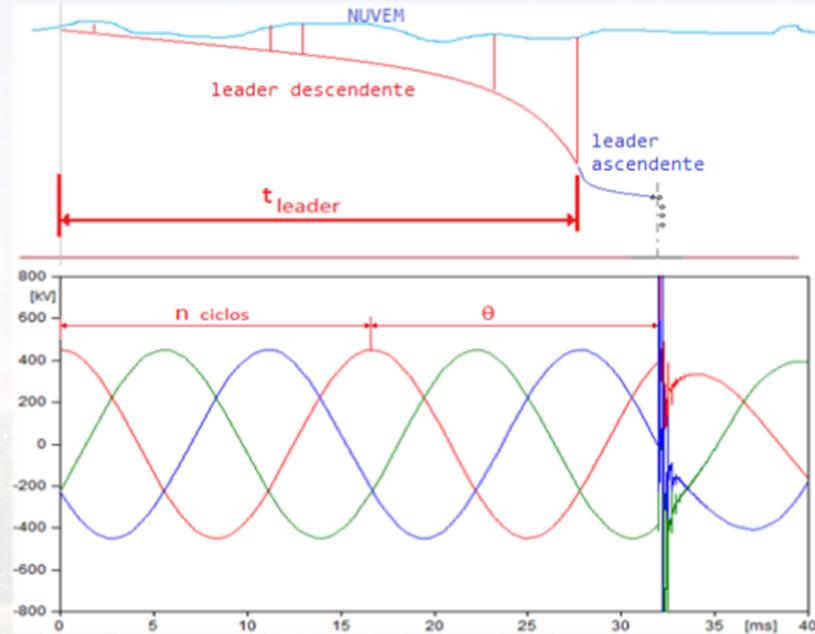
Delmo M. Correia - ONS

A. C. C. Carvalho - ONS

- O modelo eletrogeométrico (EGM) é a ferramenta tradicional para estimar o desempenho de LTs em condutores de fase na atração do raio para um frente a descargas atmosféricas. A vantagem do EGM é a sua simplicidade, posto que depende apenas da geometria da linha.
- Devido a discrepâncias entre os índices de I_{MAX} (maior valor de corrente para o qual ocorre o *backflashover*) e I_{BF} (menor valor de corrente para o qual ocorre o *backflashover*), pode vir a ocorrer uma taxa de blindagem; desligamento estimados e os observados na operação de linhas de 345 e 525 kV [2,3],
- O EGM sofreu ao longo do tempo algumas alterações [4,5]. Essas alterações consistiram basicamente no ajuste dos coeficientes de amplitude superior a I_{MAX} . Apesar disso, esses impactos ocorrem, principalmente nas classes de tensão mais elevadas.



- O LPM incorpora conceitos da física das descargas, simulando o efeito da ionização do ar. Com isso a propagação do canal ionizado (**leader** descendente)
- Os **leaders** ascendentes são iniciados em instantes apropriados, dependendo da distribuição de campo elétrico no espaço entre a nuvem e o solo. Conforme esse **leader** avança, mais intenso o campo próximo ao solo.
- A presença do campo elétrico faz com que se formem canais ionizados a partir de elementos metálicos com potencial referido ao solo (cabos, guarda-estruturas e condutores de fase). [5], [6] e [7]. Esses canais se propagam em direção ao **leader** descendente e são denominados **leaders** ascendentes.

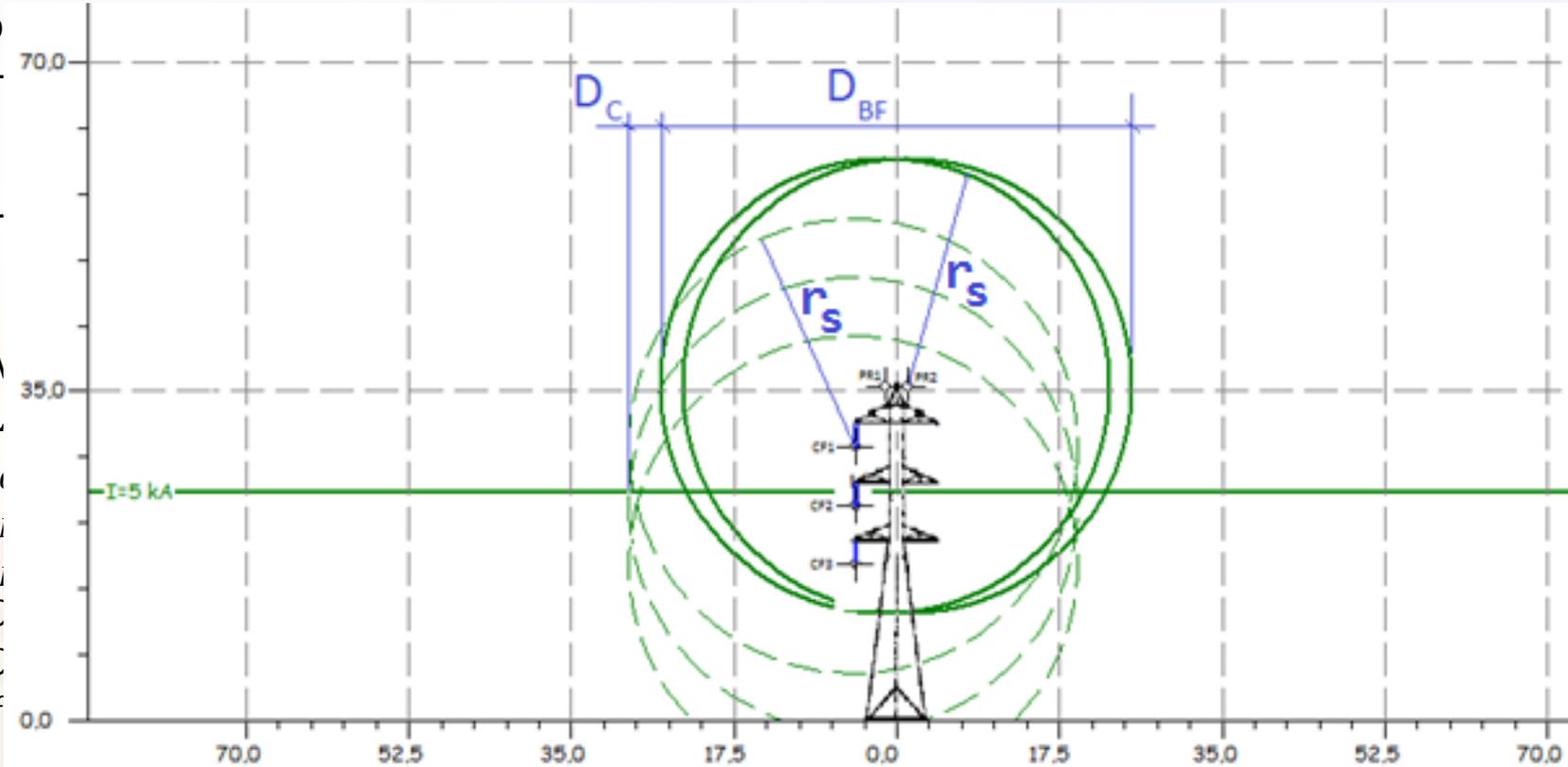


O desemp

- SFOR -

- BFOR -

- Λ
- L
- I_1
- I_1
- I_1
- L
- L
- f



No dist

São

A p

de

•

•

•

•

•

•

•

•

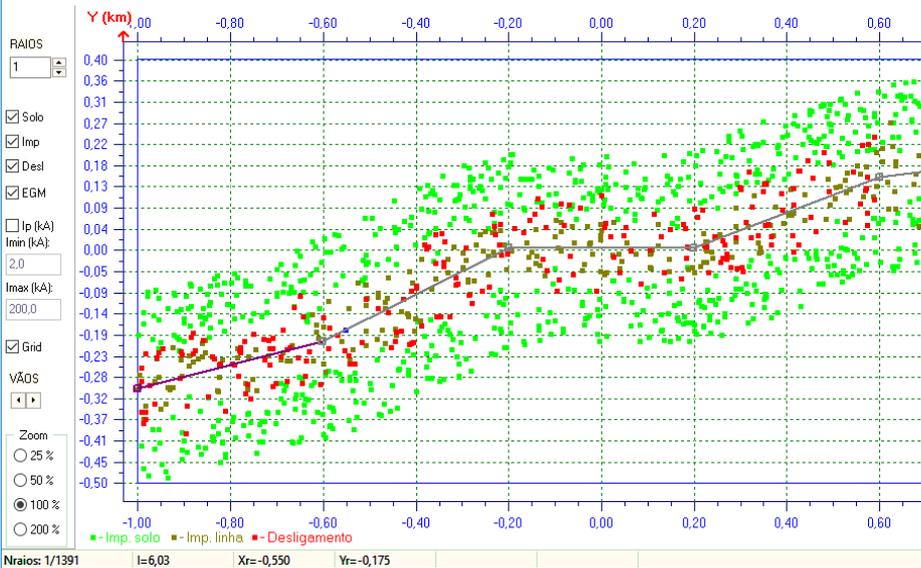
•

•

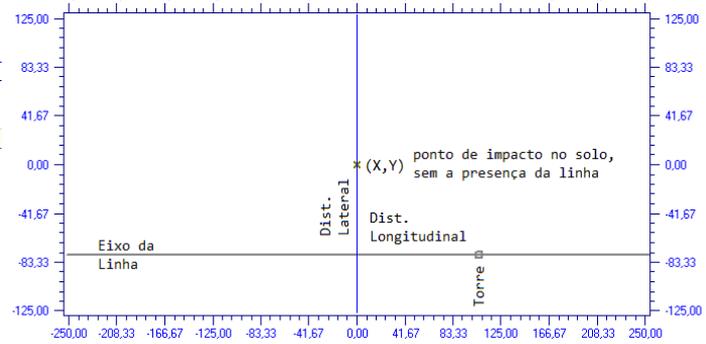
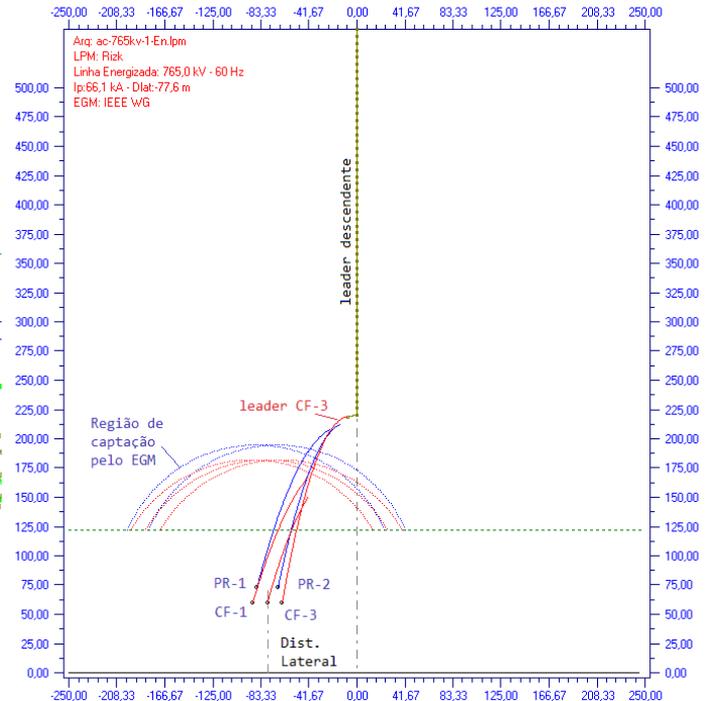
•

Ap

LPM - Distribuição Espacial dos raios



Nraios: 1/1391	I=-6,03	Xr=-0,550	Yr=-0,175
----------------	---------	-----------	-----------



RAIOS

861

Grid

Zoom

25 %

50 %

100 %

200 %

500 %

1000 %

2000 %

Verbose

EGM

Energizada

EvoLeader

Monta ATP

Salvar

Cancelar

Uma comparação entre o EGM e o LPM se faz necessária. Como o EGM não considera o efeito da tensão no processo de atração da descarga, a primeira comparação será efetuada considerando o LPM com a LT desenergizada. Observa-se uma concordância razoável entre os dois métodos, com o EGM se apresentando mais conservador.

Comparação entre EGM e LPM com linha desenergizada

Met	R _{PE} (Ω)	230 kV CA		345 kV CA		525 kV CA		765 kV CA		600 kV CC		800 kV CC	
		SFOR	BFOR										
EGM [8]	10	0	2,0	0	0,6	0	0	0	0,2	0	0	0,9	0
	20	0	10,0	0	6,2	0	3,0	0	0,3	0	1,4	0	1,1
	40	0	30,4	0	22,2	0	13,6	0,2	4,2	0	8,2	0	6,3
LPM Rizk [9]	10	0	1,4	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	7,2	0	4,2	0	2,6	0	0	0	0,8	0	0,1
	40	0	23,8	0	16,2	0	10,4	0	2,5	0	5,6	0	3,1
Isoladores por cadeia		14		18		24		42		34		46	

- Taxas de desligamento (desligamentos/100 km/ano)
- Densidade de descargas – 5,4 raios/km²/ano
- Intervalo de 1000 anos

A comparação a seguir considera o LPM com a LT energizada. Com a linha desenergizada, o EGM foi mais conservador e os resultados são bastante próximos. Com a linha energizada o LPM prevê um aumento considerável dos desligamentos por falha de blindagem, para LTs acima de 525 kV.

Comparação entre EGM e LPM com linha energizada

Met	R _{PE} (Ω)	230 kV CA		345 kV CA		525 kV CA		765 kV CA		600 kV CC		800 kV CC	
		SFOR	BFOR										
EGM [8]	10	0	2,0	0	0,6	0	0	0	0,2	0	0	0,9	0
	20	0	10,0	0	6,2	0	3,0	0	0,3	0	1,4	0	1,1
	40	0	30,4	0	22,2	0	13,6	0,2	4,2	0	8,2	0	6,3
LPM Rizk [9]	10	0	1,4	0	0,2	0	0	8,7	0	10,9	0	48,0	0
	20	0	7,4	0	4,2	0	2,6	8,7	0	10,9	0,6	48,0	0,1
	40	0	24,0	0	16,8	0	10,6	8,7	2,2	10,9	4,2	48,0	1,4
Isoladores por cadeia		14		18		24		42		34		46	



Efeito da altura da LT nos índices de desligamento estimados pelo EGM e pelo LPM

Verificou-se anteriormente que para LTs de 525 kV, a divergência entre os índices estimados pelo EGM e pelo LPM é pequena, com o EGM sendo mais conservador. Em princípio seria mais conveniente continuar usando o EGM para linhas dessa classe de tensão.

Agora será verificado se a altura das torres pode modificar os índices estimados pelo LPM.

Comparação entre EGM e LPM com linha energizada para LTs 525 kV com diferentes alturas de torre

Met	R _{PE} (Ω)	H=37,5 m Energizada		H=37,5 m Desenergizada		H=100 m Energizada		H=100 m Desenergizada	
		SFOR	BFOR	SFOR	BFOR	SFOR	BFOR	SFOR	BFOR
EGM [8]	10	0	0	0	0	3,9	0,1	3,7	0,1
	20	0	3,0	0	3,0	3,9	5,5	3,7	5,5
	40	0	13,6	0	13,6	3,9	21,4	3,7	21,4
LPM Rizk [9]	10	0	0	0	0	13,5	0	0	0
	20	0	2,6	0	2,6	13,5	1,6	0	2,8
	40	0	10,6	0	10,4	13,5	10,8	0	12,3

Este artigo visou comparar duas diferentes metodologias para a estimativa do desempenho de LTs frente a descargas atmosféricas:

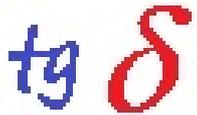
- O tradicional EGM [4,8]
- O LPM [5,6,7]

O objetivo era de quantificar e qualificar a diferença nos índices estimados por cada metodologia. Dessa forma se espera obter mais informações sobre a conveniência de manter o EGM como procedimento de projeto ou avançar, onde necessário, para o LPM.

As conclusões alcançadas foram:

- Para LTs até 525 kV, o EGM é mais conservador do que o LPM e os índices estimados são próximos;
- Para LTs acima de 525 kV, sejam de AC ou DC, o LPM indica um aumento considerável nos índices de desligamento por falha de blindagem e um correspondente decréscimo nos índices de desligamento por *backflashover*;
- O LPM mostra a possibilidade de ocorrência de falhas de blindagem frente a descargas de elevada amplitude.

- Para LTs até 525 kV, o LPM não se faz necessário podendo ser utilizado o EGM;
- Uma exceção são as LTs de 525 kV com altura de torre acima de 70 m, onde a utilização do LPM se mostra necessária;
- Para LTs de 765 kV AC e 600 e 800 kV DC a utilização do LPM é recomendável:
 - Para estas LTs, como os desligamentos passam a ocorrer principalmente por falha de blindagem e não por backflashover, a redução da impedância de aterramento das torres de mostra menos eficaz na melhora do desempenho frente a descargas atmosféricas.



REP-Pergunta 1

Os autores apresentam no informe taxas de desligamentos para as linhas EATCA e UATCC obtidas pelo LMPMODEL mais de 50 vezes superiores às obtidas pelo EGM. Posto que em ambos os casos há LTs em operação no mundo, foi verificado se nestas LTs ocorrem realmente tais centenas de desligamentos por quilômetro por ano, posto que este subsídio é fundamental para corroborar a metodologia do LPM, alvo do informe?

Os desligamentos ocasionados por descargas atmosféricas podem ocorrer por:

- Backflashover – para esta situação, o EGM apresenta estimativas mais elevadas do que o LPM;
- Falha de blindagem
 - Linha desenergizada – os resultados do EGM e LPM se equivalem;
 - Linha energizada – o LPM apresenta um número consideravelmente mais elevado de desligamentos para as linhas de AC 765 kV e DC 600 e 800 kV, devido ao efeito da tensão nos condutores de fase.

Quanto à experiência com linhas de EATCA e UATCC em operação, apesar de as linhas às quais o autor teve acesso estarem em região com densidade de 2 descargas/km²/ano, o aumento no número desligamentos por falha de blindagem foi confirmado.

Observou-se inclusive a ocorrência de falha de blindagem com corrente de 45 kA, que não seria admissível com as premissas usadas no EGM [CIGRE WG C4.26 – Evaluation of Lightning Shielding Methods for EHV and UHC DC and AC Transmission Lines – capítulo 4 – pg. 127 – foto 4.4.1]. Essa possibilidade de ocorrência de falhas de blindagem em descargas de elevada amplitude foi também umas das observações obtidas no presente artigo.

Em análises do desempenho de LTs frente à incidência de descargas atmosféricas, os autores relatam que uma execução do programa LPMODEL pode levar várias horas. Assim, caso se precise fazer várias execuções do cálculo para ajuste do posicionamento dos cabos para-raios, dimensionamento do comprimento da cadeia de isoladores, e estimativa de valores adequados das impedâncias de aterramento das torres e de onda das estruturas poder-se-ia levar dias de cálculo. Qual a sugestão dos autores nesta situação?

O presente estudo analisou diversas metodologias de LPM, algumas se mostram demoradas e outras são mais rápidas. O procedimento de análise visava comparar as metodologias, cobrindo de forma estatística a variação dos principais parâmetros característicos de uma descarga atmosférica. A metodologia formulada por Rizk, se mostra suficientemente rápida para utilização com os computadores disponíveis atualmente. Cada execução de caso, mesmo com a variação aleatória da amplitude, do tempo de frente e do ponto de impacto, pode ser analisada em menos de 15 minutos por caso. Assim, o reposicionamento de condutores e as alterações no comprimento da cadeia de isoladores pode ser concluído em menos de um único dia de trabalho.

Convém ressaltar que o presente trabalho visava comparar as metodologias LPM entre si e essas com o EGM. Uma vez determinadas as metodologias LPM mais adequadas, o programa em questão será melhorado com a remoção das rotinas referentes às metodologias LPM que forem abandonadas. O programa elaborado atualmente já considera os impactos na linha e calcula as sobretensões ao longo da linha e na chegada das subestações. O efeito dos para-raios, se presentes, é calculado. Ou seja, o procedimento usado nesta avaliação já inclui a coordenação de isolamento dos vãos de entrada da linha. Em uma utilização comercial, essa parte pode ser removida e permitir que o tempo de execução seja reduzido ainda mais. Porém, como autor, a minha opinião é que após o uso desse programa ninguém cogitará em remover esses itens, pelo contrário, será solicitada a inclusão de novas funcionalidades.

Em LTs com tensão inferior, as descargas atmosféricas que atingem o solo próximo, as descargas indiretas, podem levar a sobretensões importantes nas LTs. Os autores já implementaram o LPM também para esta situação e verificaram as respectivas variações nos resultados com relação àqueles obtidos com o EGM?

Linhas com tensão de 69 kV, que são mais afetadas por descargas nas proximidades, não foram analisadas. O procedimento usado neste trabalho envolveu simulações em linhas de 230 kV e acima. Foram avaliados estatisticamente os seguintes efeitos:

- Amplitude da corrente de descarga;
- Tempo de frente da onda de corrente de descarga – para descargas nas vizinhanças de uma LT, a taxa de variação da corrente em relação ao tempo afeta fortemente a tensão induzida nos condutores;
- Distância entre o ponto de impacto no solo sem a presença da linha e o eixo da LT.

Com relação aos impactos no solo, o LPM permite detectar um efeito da linha que provoca o deslocamento do ponto de impacto no solo, aproximando-o da linha. No entanto, para tensões até 525 kV esse efeito de aproximação do ponto de impacto não se mostra relevante de forma a alterar a representatividade da distância de salto na estimativa de impactos de descargas atmosféricas na linha. Tanto assim que o EGM apresenta estimativas de falhas de blindagem mais alta do que o LPM, ou seja, a distância de salto foi ajustada ao longo das diversas revisões do EGM para compensar esse efeito.

Pablo Mourente Miguel

 (21) 3396-7308

 (21) 99369-5743

 pmiguel@tgdelta.com.br

 www.tgdelta.com.br