



MÉTODO ELETROGEOMÉTRICO: MODELAGEM MATEMÁTICA PARA CÁLCULO DA CORRENTE QUE MANTÉM A BLINDAGEM NAS ESTRUTURAS DAS LINHAS DE SUBTRANSMISSÃO

Claudia Timoteo de Oliveira Rufino ¹
Alexsandro Aleixo Pereira da Silva ²

RESUMO

As descargas atmosféricas são eventos naturais, aleatórios e incontroláveis, formadas por um canal conduzindo uma corrente de alta intensidade que pode incidir sobre as redes elétricas, causando grandes prejuízos às concessionárias de energia. Uma forma de proteger as linhas é através da aplicação do método eletrogeométrico, o qual especifica uma área de blindagem promovida por um cabo para-raios colocado acima dos condutores de fase, de forma a absorver as descargas a partir de um determinado valor de corrente. Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma modelagem matemática para determinar os valores de corrente mínima que mantém a blindagem da estrutura. Através de simulações realizadas utilizando os softwares Excel, VBA e AutoCAD constatou-se que a proteção da estrutura está atrelada a configuração da estrutura, bem como a altura dos postes.

Palavras-chave: Descarga atmosférica, eletrogeométrico, blindagem, para-raios, linhas aéreas.

INTRODUÇÃO

A incidência de descargas atmosféricas sobre as linhas de transporte de energia tem ocasionado grandes prejuízos às empresas distribuidoras de energia, pois acarreta desligamentos não programados que causam perdas aos consumidores, diminuição a qualidade da energia, aumenta os indicadores das concessionárias, além de gerar danos materiais decorrentes da queima de equipamentos.

Mesmo com a instalação de cabos guarda, as linhas têm suportado descargas que muitas vezes ocasionam a interrupção do fornecimento de energia. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019), 70% dos desligamentos ocorridos nas linhas de transmissão e 40% dos ocorridos nas linhas de distribuição foram motivados por descargas atmosféricas.

Diante da probabilidade de ocorrência de uma descarga direta sobre as linhas, os projetistas utilizam o método de proteção eletrogeométrico para definir a área de blindagem da estrutura, porém a natureza imprevisível e aleatória do raio não garante a conexão com a linha,

¹ Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Centro Universtário Vale do Ipojuca – UNIFAVIP/WYDEN-PE, clautimoteo@hotmail.com.

² Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, alexsandro.aleixo@yahoo.com.br.



bem como poderá ocorrer uma falha na blindagem conforme a amplitude de corrente de descarga diminui. Em linhas de transmissão é comum a utilização de cabos para-raios para blindagem, porém na subtransmissão ainda não há um consenso.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo desenvolver uma modelagem matemática para cálculo da corrente de descarga que mantém a blindagem das estruturas, através da aplicação do método de proteção eletrogeométrico. A relevância do estudo decorre da necessidade de estabelecer o benefício da aplicação de cabos para-raios para proteger uma linha, de acordo com a amplitude média de corrente de descarga incidente na região e com as medidas paramétricas de cada estrutura. O método de proteção eletrogeométrico evidencia que a estrutura apresenta áreas desprotegidas, mesmo com a existência do cabo guarda, conforme a amplitude da corrente de descarga diminui, devendo os projetistas avaliar a necessidade de utilizar outro método de proteção contra descarga atmosférica ou reforçar o isolamento da rede, tendo em vista o índice cerâmico local, a resistividade da terra e a importância da linha.

O trabalho foi executado utilizando softwares computacionais para calcular as correntes mínimas de descarga que mantém a blindagem da estrutura, bem como criar as figuras geométricas condizentes com o modelo da linha e a aplicação do método eletrogeométrico, observando a existência de áreas descobertas e propondo formas de manter a blindagem da linha, através da instalação de cabos para-raios ou da modificação de elementos da estrutura analisada.

1. AS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

1.1 A Origem e formação das descargas atmosféricas

A vida na Terra é assegurada pelo equilíbrio das condições ambientais, mantido pela dinâmica dos processos elétricos e magnéticos do planeta. Eletricamente, pode-se descrever o planeta como sendo composto por duas camadas condutoras, o solo e a ionosfera, as quais estão separadas por uma camada de baixa condutividade, o ar, onde estão posicionadas as nuvens de tempestade. O solo estará carregado com cargas predominantemente positivas e a ionosfera com cargas negativas. A corrente circula do topo das nuvens, carregada com cargas positivas, para a ionosfera, carregada com cargas negativas, retornando ao solo pela região sem tempestade. A base da nuvem será composta por cargas negativas, formando as descargas atmosféricas, transferindo uma parcela das cargas através dos raios (VISACRO FILHO, 2005, p.27).



As descargas ocorrem devido ao acúmulo de cargas elétricas em regiões da atmosfera, em geral dentro de nuvens de tempestades, conhecidas por *Cumulus Nimbus*. Elas se iniciam quando o campo elétrico produzido por estas cargas rompe a rigidez dielétrica do ar num local na atmosfera, que pode ser dentro da nuvem ou próximo ao solo. Ao quebrar a rigidez, tem início um rápido movimento de elétrons de uma região de cargas negativas para uma região de cargas positivas (INPE, 2019).

Segundo Kindermann (2009, p. 15), o campo elétrico formado pelo acúmulo de cargas elétricas na nuvem induz no solo a formação de outro campo elétrico de sinal oposto, com dimensão correspondente ao tamanho da nuvem. Os campos elétricos se deslocam juntos, paralelamente, conforme a nuvem é arrastada pelo vento, induzindo o acúmulo de cargas positivas em todos os corpos que estejam na sua área de atuação, sejam pessoas, animais, edifícios, morros, postes, etc. A propriedade física conhecida como “poder das pontas” explica porque nos corpos carregados eletricamente as cargas concentram-se nas extremidades do corpo, aumentando o campo elétrico no local, de acordo com Visacro Filho (2005, p. 37). Esta propriedade também esclarece o motivo da ruptura do isolamento ao redor dos corpos eletricamente carregados iniciar em suas pontas, onde o campo elétrico é mais intenso e tem maiores condições de ionizar o ar, romper a camada isolante e originar os canais de descarga.

No momento em que o campo elétrico formado excede a rigidez dielétrica do ar, uma descarga preliminar no interior da nuvem dá início ao canal precursor de descarga, também chamado líder escalonado ou descarga piloto. O líder escalonado desenvolve um trajeto tortuoso, movendo-se em etapas de dezenas de metros de comprimento, cada uma com duração típica de um microssegundo e com pausa de 50 microssegundos entre cada etapa, buscando o caminho mais fácil para a formação do canal. A corrente média do líder escalonado é de cerca de 1 kA e é transportada em um núcleo central do canal com alguns centímetros de diâmetro (INPE, 2019). O trajeto do líder escalonado determina o canal descendente que se aproxima do solo aumentando o campo elétrico na superfície, o que pode originar as descargas elétricas ascendentes. O canal de descarga, por sua vez, é formado quando o canal descendente e um dos canais ascendentes se aproximam, de tal forma, que a distância entre eles atinge um valor inferior a um determinado limite. Nesta situação, os canais são interligados por meio de uma descarga, estabelecendo assim o canal entre a nuvem e o solo (VISACRO FILHO, 2005, p. 39).

A partir de então, ocorre o surgimento da chamada corrente de retorno, a qual é responsável por neutralizar as cargas aglomeradas nos canais. As cargas acumuladas movem-se para baixo ao longo do centro do canal, estabelecendo uma corrente de alta intensidade, que



pode apresentar amplitudes média de cerca de 30 kA. É importante frisar que pode haver a formação de novas descargas através do mesmo canal, caracterizando assim, as descargas subsequentes (INPE, 2019).

De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2019), os raios têm uma duração média de 250 ms. Durante este período, percorrem na atmosfera trajetórias com comprimentos desde alguns quilômetros até algumas dezenas de quilômetros. Já a corrente elétrica sofre grandes variações que vão desde algumas centenas de *ampères* até centenas de *quiloampères*. Fonseca (1987, p. 57) afirma que a intensidade da corrente independe do valor de resistência do ponto final da descarga, tendo em vista que a impedância do canal de descarga é bastante elevada, podendo ter milhares de *ohms*. Segundo Mamede Filho (2005, p. 15), as intensidades das descargas atmosféricas menores que 10 kA tem 97% de probabilidade de ocorrer, enquanto que descargas com maiores intensidades são mais eventuais.

Em relação às linhas de transporte de energia, somente as descargas nuvem-solo podem provocar as sobretensões que, muitas vezes, causam os desligamentos da linha. De acordo com dados do INPE (2019), cerca de 90% das descargas são negativas. Por esse motivo, apenas esse tipo de descarga será considerado neste trabalho.

2. O MÉTODO DE PROTEÇÃO ELETROGEOMÉTRICO

Baseado no conceito de “Raio de Atração” (R_a), é um dos métodos utilizados para definir a possível área de incidência de uma descarga atmosférica. É também denominado método eletrogeométrico (EGM) e fundamenta-se na distância estimada entre o canal descendente e a estrutura fixada na terra, onde se formará o canal ascendente, de forma que se presume que caso essa extensão seja alcançada, ocorrerá a conexão entre os canais, originando a descarga de retorno e demais subsequentes (VISACRO FILHO, 2005, p. 219).

De acordo com Kindermann (2009, p. 146), através de estudos realizados a partir das medições da forma e do valor da corrente dos raios, do uso de técnicas de simulação e de modelagem matemática, bem como, da análise de registros fotográficos, verificou-se que a área de proteção contra as descargas atmosféricas é totalmente dependente da corrente do raio.

A partir da aplicação do método EGM, foram definidos outros métodos, como por exemplo, o Método das Esferas Rolantes, muito utilizado nos Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), na proteção de estruturas edificadas, conforme especifica a NBR 5419-1 (2015). O método EGM é geralmente aplicado nos projetos das linhas de



transmissão para especificar a área de blindagem do sistema diante da ocorrência de uma descarga atmosférica, a fim de proteger a linha contra uma descarga direta.

A NBR 5419-1 (2015) adota a seguinte expressão para definição do raio de atração:

$$R_a = 10 \cdot I_p^{0,65} \quad (1)$$

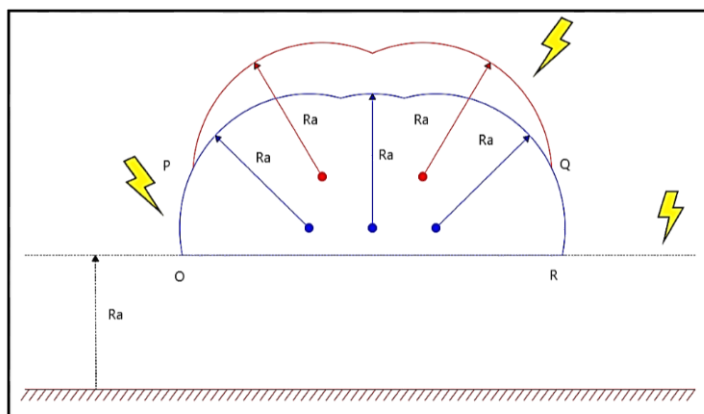
Onde:

I_p é a corrente do raio em kA

Os parâmetros constantes em (1) foram definidos pelo Grupo de Trabalho GT-33, do Comitê Internacional de Grandes Sistemas Elétricos – CIGRÉ, em 1991, de acordo com Kindermann (2009, p. 147).

O raio de atração calculado para uma descarga atmosférica com um determinado valor de corrente de pico é definido como a maior distância em que a descarga será atraída por um sistema de proteção ou pela terra (KINDERMANN, 2009, p. 146). Utilizando como exemplo uma estrutura de alta tensão, constituída por três condutores de fase horizontais, dois cabos para-raios, denominados condutores de blindagem, e definindo um determinado valor de corrente de descarga em kA, é possível definir a área de incidência da descarga através da aplicação do conceito de raio de atração, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 - Aplicação do método EGM numa estrutura de alta tensão com falha na blindagem



Na figura estão desenhadas as circunferências com centro no eixo de cada condutor da estrutura e amplitude de raio igual ao valor do raio de atração (R_a), calculado através da aplicação de (1). A linha horizontal, com altura também idêntica ao raio de atração, representa a distância de condução da descarga ao solo. Os desenhos correspondem a representação bidimensional de superfícies cilíndricas e do plano paralelo à superfície do solo.

As extremidades de cada curva e a linha horizontal são consideradas as fronteiras e constituem os primeiros pontos de contato caso uma eventual descarga ocorra nas proximidades



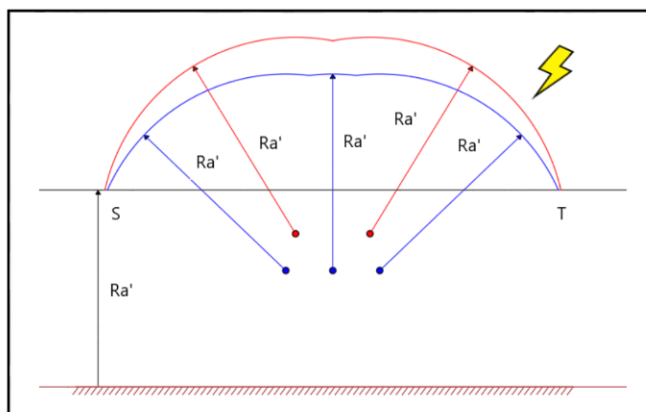
da linha. Presume-se que na ocorrência de o canal de descarga tocar em algum dos trechos haverá a conexão com o condutor associado (VISACRO FILHO, 2005, p. 221).

Analisando Figura 1 é possível verificar que caso um canal se aproxime da linha pelo trecho OP ou QR, a descarga incidirá sobre os condutores de fase, ocorrendo o que se chama de falha na blindagem, pois para esse valor de corrente as fases apresentam áreas expostas, mesmo com a presença dos cabos para-raios. Porém, se o canal se formar nas proximidades do trecho PQ, a descarga será absorvida pelo cabo para-raios e na eventualidade de tocar a linha horizontal, recairá na terra.

A Figura 2 demonstra a aplicação do método EGM para a mesma estrutura, no entanto, com a ocorrência de uma corrente de descarga de amplitude maior que a anteriormente analisada.

Verifica-se que para a intensidade de corrente aplicada houve a blindagem total da estrutura, pois caso um canal de descarga se forme nas proximidades do trecho ST a descarga incidirá sobre os cabos para-raios, protegendo integralmente os condutores de fase.

Figura 2 - Aplicação do método EGM para uma estrutura de alta tensão totalmente blindada



Conforme declara Visacro Filho (2002, p. 222), “A probabilidade de falha de blindagem de um sistema de proteção é tanto maior quanto menor for a amplitude da corrente de descarga”.

METODOLOGIA

CÁLCULO DA CORRENTE DE DESCARGA

A área de blindagem de uma estrutura está diretamente relacionada com a corrente de descarga, conforme explicitado no método de proteção eletrogeométrico. Então, inicialmente à concepção desse trabalho, foi necessário o desenvolvimento de uma modelagem matemática para expressar o valor de corrente de descarga mínima, de maneira que mantenha a blindagem

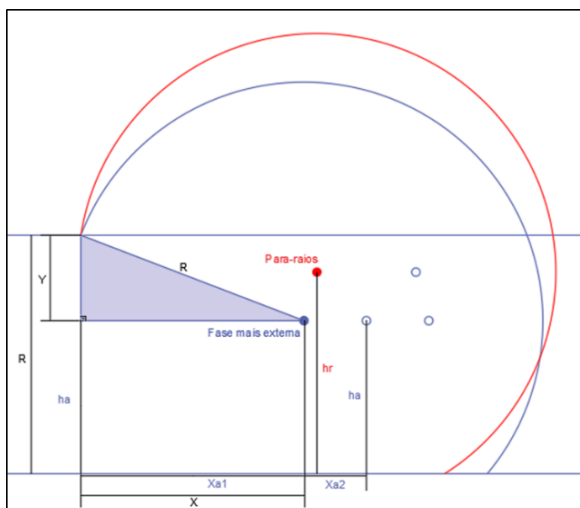


da linha, de acordo com os dados paramétricos de cada estrutura utilizada nos projetos das linhas de distribuição e subtransmissão.

Esse modelo matemático foi realizado utilizando os conceitos da equação reduzida da circunferência, analisando os pontos de intersecção entre o círculo com centro no para-raios, o círculo com centro na fase mais externa e a reta que define a altura da descarga no solo, quando da aplicação do método EGM na estrutura, de maneira a manter a blindagem.

Exemplificando com uma estrutura trifásica de arranjo horizontal que dispõe de 2 (dois) cabos para-raios no topo, com alturas e distâncias entre si definidas de acordo com o que dispõe a normatização vigente para cada classe de tensão, ao aplicar o método EGM e conectar os pontos de intersecção, pode-se verificar a formação de um triângulo retângulo, conforme demonstra a Figura 3.

Figura 3 - Demonstração das áreas de descarga entre a fase mais externa e o para-raios.



Analisando os elementos que compõe a figura e conhecendo a equação que define uma circunferência, temos para o círculo com centro na fase mais externa e raio de valor R a seguinte expressão:

$$(X_{a1} - X_{a2})^2 + (Y_{a1} - Y_{a2})^2 = R^2 \quad (2)$$

E para o círculo com centro no para-raios e raio de valor também R:

$$(X_{p1} - X_{p2})^2 + (Y_{p1} - Y_{p2})^2 = R^2 \quad (3)$$

Desenvolvendo as equações e definindo o ponto de conexão entre os círculos, de forma que (2) e (3) são iguais, obtém-se a seguinte expressão:

$$X_{a1}^2 - 2X_{a1}X_{a2} + X_{a2}^2 + Y_{a1}^2 - 2Y_{a1}Y_{a2} + Y_{a2}^2 = X_{p1}^2 - 2X_{p1}X_{p2} + X_{p2}^2 + Y_{p1}^2 - 2Y_{p1}Y_{p2} + Y_{p2}^2 \quad (4)$$

Sabendo que no ponto em que os círculos se encontram:



$$X_{a1} = X_{p1} \quad \text{e} \quad Y_{a1} = Y_{p1} = R$$

E sabendo que as expressões:

$$Y_{a2} = h_a \quad \text{e} \quad Y_{p2} = h_{pr}$$

Onde:

h_a = altura da fase, em metros.

h_{pr} = altura do para-raios, em metros.

E isolando o termo X_{a1} , tem-se:

$$X_{a1} = \frac{X_{p2}^2 - X_{a2}^2 + Y_{p2}^2 - Y_{a2}^2 + 2R(Y_{a2} - Y_{p2})}{2(X_{p2} - X_{a2})} \quad (5)$$

Analisando o triângulo retângulo formado pelo raio do círculo da fase mais externa, no ponto em que toca na reta:

$$R^2 = Y^2 + X^2 \quad (6)$$

No entanto, nesse ponto tem-se que:

$$Y = R - h_a \quad (7)$$

E tomando a fase central como referência:

$$X = X_{a1} - X_{a2} \quad (8)$$

Substituindo as expressões definidas em (7) e (8) na equação (6) e novamente isolando X_{a1} , tem-se que:

$$X_{a1} = X_{a2} \pm \sqrt{2Rh_a - h_a^2} \quad (9)$$

Igualando (5) e (9) e reorganizando:

$$\pm \sqrt{2Rh_a - h_a^2} = \frac{R(h_a - h_{pr})}{(X_{p2} - X_{a2})} + \frac{X_{p2}^2 + X_{a2}^2 + h_{pr}^2 - h_a^2 - 2X_{a2}X_{p2}}{2(X_{p2} - X_{a2})} \quad (10)$$

Substituindo as seguintes expressões e elevando todos os termos ao quadrado:

$$\begin{aligned} \frac{(h_a - h_{pr})}{(X_{p2} - X_{a2})} &= a \\ \frac{X_{p2}^2 + X_{a2}^2 + h_{pr}^2 - h_a^2 - 2X_{a2}X_{p2}}{2(X_{p2} - X_{a2})} &= b \\ \pm \sqrt{2Rh_a - h_a^2} &= Ra + b \\ R^2 + \frac{R(2ab - 2h_a)}{a^2} + \frac{b^2 + h_a^2}{a^2} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Aplicando a fórmula matemática para equação quadrática e desenvolvendo a equação, obtém o seguinte resultado:

$$R = \left(\frac{1}{a^2}\right) \left[(h_a - ab) \pm \sqrt{h_a^2 \left(1 - \frac{2ab}{h_a} - a^2\right)} \right] \quad (12)$$



Sabendo que a equação para encontrar o raio de atração, adotada pela NBR 5419-1, com as constantes definidas pelo GT 33, é:

$$R = 10 \cdot I_p^{0,65} \quad (13)$$

Substituindo:

$$10 \cdot I_p^{0,65} = \left(\frac{1}{a^2}\right) \left[(h_a - ab) \pm \sqrt{h_a^2 \left(1 - \frac{2ab}{h_a} - a^2\right)} \right] \quad (14)$$

Resultando na seguinte expressão para definição da corrente mínima de descarga que mantém a blindagem da estrutura:

$$I_p = \left(\left(\frac{1}{10a^2} \right) \left((h_a - ab) \pm \sqrt{h_a^2 \left(1 - \frac{2ab}{h_a} - a^2\right)} \right) \right)^{\left(\frac{20}{13}\right)} \quad (15)$$

Onde:

I_p é a corrente de descarga, em kA

A Equação (15) define o valor mínimo de corrente que sustenta a blindagem da estrutura, considerando os aspectos paramétricos da mesma, tais como altura e distâncias horizontais dos condutores de fase e os cabos para-raios.

A modelagem matemática da corrente foi inserida numa planilha do *software Excel*, onde os valores de corrente de descarga mínima foram calculados de acordo com as coordenadas verticais e horizontais dos elementos de fase e para-raios de cada tipo de estrutura e, através de rotina criada no programa *Visual Basic for Applications – VBA*, os dados foram transferidos para o software computacional de desenho *AutoCAD*, com a finalidade de criar a visualização gráfica das áreas de incidência de cada elemento da estrutura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

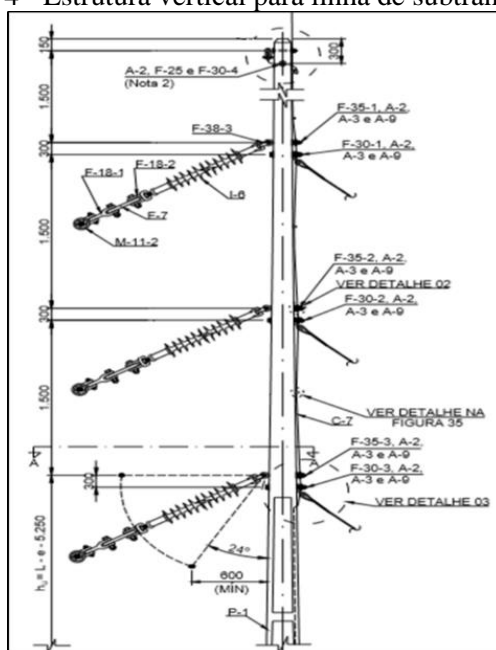
Tomando como exemplo uma estrutura da linha de subtransmissão, conforme especificada na Figura 4, que é constituída de um poste de concreto de seção duplo “T” ou circular e três cadeias de isoladores tipo *Line Post* horizontal, sendo utilizada na linha para suspensão em alinhamento. As fases apresentam-se com disposição plana vertical, com espaçamento entre si de 1,80 m. O cabo para-raios está localizado 0,15 m abaixo do topo do poste e a aproximadamente 1,80 m da fase mais alta, neste estudo chamada de Fase A. As fases subsequentes foram denominadas de Fase B e Fase C.



As hipóteses consideradas foram:

- Nível de tensão: 69 kV
- Tipo de isolador: polimérico com 1,04 m
- Ângulo entre o isolador e o poste de 60°
- Alturas dos postes: 18, 20 e 24 m

Figura 4 - Estrutura vertical para linha de subtransmissão



Fonte: Norma VR01.04-00.008 (2013)

A Tabela 1 mostra os valores mínimos de corrente de descarga, calculadas através da aplicação da Equação 15, para os quais o cabo para-raios deveria promover a blindagem, avaliando cada fase individualmente.

Tabela 1 – Resultado das simulações: correntes e raios

Fase de intersecção	Altura poste (m)	Altura do para-raio (m)	Altura das fases (m)	Corrente mínima p/blindagem (kA)	Raio - EGM (m)
A	18	15,45	12,98	3,269	21,525
B	18	15,45	11,18	2,209	16,738
C	18	15,45	9,38	1,77	14,492
A	20	17,25	14,78	3,928	24,335
B	20	17,25	12,98	2,687	19,01
C	20	17,25	11,18	2,183	16,609
A	24	20,85	18,38	5,368	29,812
B	24	20,85	16,58	3,735	23,552
C	24	20,85	14,78	3,094	20,839

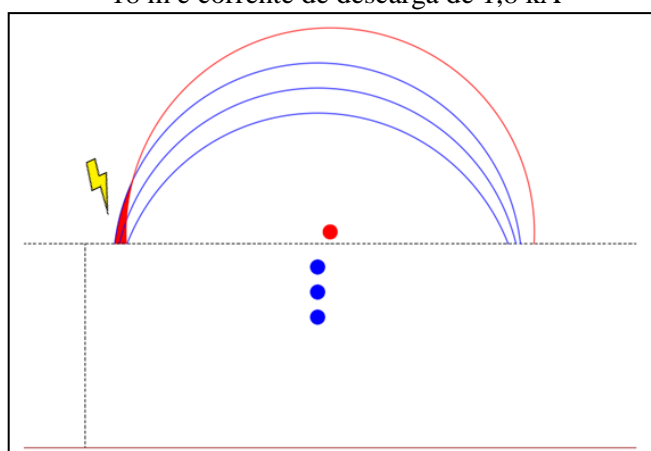
Os valores de corrente calculados foram aplicados em simulações através dos *softwares* VBA e *AutoCAD* para visualizar graficamente se sustentavam a blindagem em toda estrutura,



sendo então verificado que apenas a aplicação do método na Fase A promove a blindagem de toda a estrutura. As demais fases, mesmo apresentando valores de corrente de descarga menores, deixam alguns trechos das fases superiores descobertos, onde poderá incidir uma descarga atmosférica e advir o desligamento da linha.

Conforme pode ser observado na Figura 5, se um canal de descarga se formar próximo da estrutura e conduzir uma corrente com amplitude de 1,8 kA, poderá ocorrer uma descarga no condutor da Fase A, pois pela configuração da estrutura, com um poste de 18 m, esta fase não estará completamente protegida pelo cabo para-raios.

Figura 5 – Simulação do método EGM para a estrutura vertical da linha de subtransmissão, poste de 18 m e corrente de descarga de 1,8 kA



Para promover a blindagem total estrutura, foram realizadas outras simulações, desta feita, analisando as correntes de descarga calculadas na Tabela 1, de acordo com a altura de cada poste, e foram alteradas as alturas das fases, de modo a encontrar a distância entre o condutor da Fase A e o cabo para-raios que sustente a blindagem completa da estrutura, considerando a menor amplitude de corrente. Foi verificado que independente da altura do poste, para proteger toda estrutura, atendendo as hipóteses levantadas, a distância mínima entre o condutor da Fase A e o cabo para-raios dever ser 6,07 m.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As descargas atmosféricas são eventos naturais existentes desde o início dos tempos, sendo a elas atribuída a responsabilidade pela manutenção contínua do equilíbrio elétrico da terra. São também conferidos aos raios a formação da camada de ozônio que protege a terra contra os efeitos danosos dos raios solares (KINDERMANN, 2009, p. 3).



Uma forma de determinar a área de proteção contra as descargas atmosféricas nas linhas de transporte de energia é através da aplicação do método de proteção eletrogeométrico, o qual especifica a área de blindagem do sistema, a fim de proteger a linha contra uma descarga direta. Essa área de blindagem é analisada através da corrente de descarga que presumidamente se aproxima da linha. O líder escalonado é o responsável pela formação do canal de descarga e conduz uma corrente média de 1 kA, o que justifica a análise da blindagem das estruturas, através do método eletrogeométrico, para as menores amplitudes de correntes.

A amplitude da corrente de descarga mínima que mantém a blindagem da estrutura pode ser calculada através da modelagem matemática especificada na Equação 15, podendo ser aplicada para quaisquer tipos de estrutura e níveis de tensão. Em relação aos valores de corrente de descarga mínimas que mantém a blindagem foi observado que eles crescem conforme aumentam as alturas dos postes. Dependendo da configuração da estrutura, mesmo com a aplicação do cabo para-raios, para as menores correntes de descarga calculadas algumas fases poderão ficar desprotegidas, devendo ser acrescida a distância entre a fase mais alta e o cabo guarda, de maneira a promover a blindagem de toda a estrutura, independente da altura do poste.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas - Parte 1: Princípios gerais**. Rio de Janeiro. 2015.

FONSECA, C. D. S. Sobretensões atmosféricas. In: D'AJUZ, A.; AL., E. **Transitórios elétricos e coordenação de isolamento**: aplicação em sistemas de potência de alta tensão. Rio de Janeiro: FURNAS, 1987. Cap. 4.

GRUPO NEOENERGIA. **VR01.04-00.008: Projeto de Linha de Subtransmissão Rural de 69kV**. [S.l.]. 2013.

INPE. Corrente elétrica do raio. **Grupo de Eletricidade Atmosférica - ELAT**, 2019.

Disponível em:

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php>>. Acesso em: 02 Agosto 2019.

KINDERMANN, G. **Proteção contra descargas atmosféricas em estruturas edificadas**. 4ª ed. ed. Florianópolis: Labplan, 2009.

MAMEDE FILHO, J. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 4 ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

VISACRO FILHO, S. **Descargas Atmosféricas**: uma abordagem de engenharia. São Paulo: Artliber, 2005.