

AVALIAÇÃO DE FALHA EM ISOLADORES NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO MONOFILARES COM RETORNO PELA TERRA FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Márcio S. da Silva, Zanoni D. Lins, José Mauricio B. Bezerra, José Moraes Gurgel Neto
eng.marcio@hotmail.com , zanoni.lins@gmail.com , jmbb.ufpe@gmail.com, neto.gurgel.moraes@gmail.com
Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Elétrica, Recife - Pernambuco - Brasil

Resumo - Este trabalho propõe avaliar o nível de sensibilidade de isoladores utilizados em redes do tipo Monofilar com Retorno pela Terra (MRT) frente a descargas atmosféricas. Para aumentar a suportabilidade dessas redes é também proposta uma blindagem através de cabo guarda. Para que o objetivo fosse alcançado foi realizada a modelagem no ATPDraw de uma rede MRT com os seus diversos componentes. Tentou-se observar as fragilidades dos isoladores de uma rede típica MRT diante da incidência de descargas atmosféricas para em seguida, propor uma nova análise com a implementação de um sistema com cabo guarda. Mudanças nos valores da resistência de aterramento e no pico da corrente da descarga atmosférica foram realizadas para observar o comportamento do sistema de proteção diante dessas variações.

Palavras-Chave - ATPDraw, Isoladores, Descargas Atmosféricas, MRT, Cabo guarda, Blindagem.

FAILURE RATE IN ISOLATORS SINGLE WIRE EARTH RETURN POWER FRONT OF ATMOSPHERIC DISCHARGE

Abstract - This paper proposes to assess the level of sensitivity of isolators used in Single Wire Earth Return Power (SWER) in front of lightning. To improve the supportability of these networks is also proposed one shield via ground wire. For the goal was reached modeling was performed in ATPDraw of an SWER network with its various components. We tried to observe the weaknesses of the insulators of a typical SWER network before lightning to then propose a new analysis with the implementation of a system with ground wire. Changes in the values of grounding resistance and at the peak of the lightning current were conducted to observe the protection system behavior on these variations.

Keywords - ATPDraw, Insulators, Lightning, SWER, Ground Wire, Shield.

I. INTRODUÇÃO

O fornecimento de energia é um desafio até os dias de hoje para os profissionais que trabalham no setor de distribuição de energia, sobretudo quando nos referimos ao atendimento dos consumidores localizados em zonas rurais.

O sistema de distribuição de energia tipo MRT é um tipo de rede de distribuição que se encontra funcionando em diversos lugares espalhados pelo mundo, sobretudo em regiões rurais com baixas densidades populacionais, e é encontrado principalmente no Brasil, Austrália, Nova Zelândia, África, Índia, América Latina e Canadá [1]. Normalmente as cargas ligadas a esse tipo de rede são de poucos quilowatts, contudo o comprimento das redes MRT pode chegar a dezenas de quilômetros. Também é comum que essas linhas atravessem regiões que apresentam solos de valores diferentes de resistividade, o que enseja preocupação principalmente no aterramento [1]. Dada toda a relevância que as redes do tipo MRT possuem no fornecimento da energia elétrica, principalmente em regiões rurais com grande interesse social presente, e a exigência de alta confiabilidade e disponibilidade no fornecimento, mesmo com todas as falhas que esse tipo de rede pode apresentar principalmente as falhas causadas pelo fenômeno de descargas atmosféricas, pode-se analisar como os isoladores desse tipo de rede se comportam quando a rede é atingida por uma descarga atmosférica e procurar formas que possam aumentar a suportabilidade dessa rede quando atingida por um raio.

O sistema de distribuição tipo Monofilar com Retorno por Terra (MRT) possui um único condutor e o retorno da corrente para a fonte, no caso o transformador da subestação da distribuição, é realizado através do solo [2]

II. FENÔMENO DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

O fenômeno da descarga atmosférica ocorre sempre que há o rompimento da capacidade que o ar de isolar duas superfícies com cargas elétricas de polos opostos. A amplitude da corrente é determinada pelo valor da amplitude das sobretensões que surgem num sistema elétrico, bem como nos níveis máximos de solitação que a descarga atmosférica poderá causar nos componentes elétricos presentes num sistema elétrico [3]. De forma geral, no mundo, em termos gerais, 70% das descargas atmosféricas não atingem amplitude acima de 20 kA [4].



A forma típica de onda de uma descarga atmosférica é a forma típica de como a corrente se desenvolve ao longo do fenômeno em questão, sua duração e os valores envolvidos. Dois são os principais parâmetros relacionados: A frente de onda e sua cauda. Primeiramente, a frente de onda tem relação com o tempo necessário para o valor da corrente da descarga possa atingir seu máximo valor, ou também conhecido valor de pico, enquanto que a cauda tem relação com o tempo necessário para a corrente decaia até a metade do valor máximo atingido. Por exemplo, se tivermos uma onda do tipo $1,2 \times 50 \mu s$, isso significa que o valor máximo da corrente será atingido em um tempo de $1,2 \mu s$ e que o valor da corrente decai a 50% do valor máximo em $50 \mu s$ [3].

III. MODELAGEM DOS COMPONENTES UTILIZADOS

Para que o comportamento mais próximo do real da rede de distribuição possa ser simulado é necessário que a modelagem dos componentes que compõem a rede MRT sejam corretamente representados. Diversos modelos podem ser utilizados para representar as redes de distribuição, os isoladores e aterramentos entre outros. Os modelos mais adequados para esta avaliação são aqueles que representam o comportamento dos diversos componentes em alta frequência.

A. Rede de Distribuição

Dos modelos disponíveis para se fazer a modelagem da rede de distribuição, o modelo de J.Martí é mais indicado pois evita problemas relacionados a estabilidade numérica e pode ser aplicado para uma vasta gama de frequências. Esse modelo considera as perdas distribuídas e a dependência dos parâmetros da rede com a frequência. Esse modelo é mais bem representado no domínio da frequência [5].

O modelo de J. Martí considera que os parâmetros da rede são distribuídos e que dependem da frequência [5].

É muito importante que se considere a dependência dos valores dos parâmetros com a frequência, portanto o modelo adotado para a modelagem e simulação da rede elétrica em questão será o modelo de J. Martí [6][7][8].

O programa ATP possui uma rotina, para efetuar os cálculos necessários à simulação de linhas de transmissão, um bloco chamado de LCC, conforme é apresentado na Figura 1.



Fig. 1. Rotina para Linha ou Rede de transmissão do ATPDraw.

B. Isoladores

Muitas redes deixaram de utilizar as cruzetas, sendo os isoladores fixados diretamente nos postes, assumindo o papel de ser o único responsável pelo nível de isolamento do sistema. Normalmente os isoladores em estruturas de ancoragem, possuem um maior nível de isolamento do que aqueles usados em estruturas de tangência, onde são usados isoladores fixados em pino [9].

Os isoladores utilizados em estudos de coordenação de isolamento são considerados como chaves controladas por tensão, onde o valor da tensão que controla a chave é a tensão disruptiva, e em paralelo é colocado um capacitor de valor de capacitância concentrada. Tipicamente o valor dessa capacitância é de 60 pF [12]. A Figura 2 apresenta o mecanismo de funcionamento elétrico do isolador.

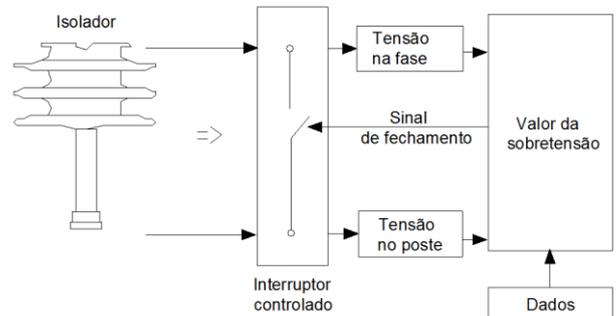


Fig. 2. Mecanismo do modelo do isolador no ATP-Draw.

C. Postes

Nos sistemas de distribuição, os postes são modelados por resistências onde para cada seção do poste teremos um valor de impedância que evita reflexões da onda, sendo que todas elas estão ligadas em serie, assim como a resistência de aterramento da base do poste [8].

A equação que define o valor da resistência do poste é apresentada na equação 1 [8].

$$R_{\text{poste}} = 60 \cdot \ln \left(2\sqrt{2} \cdot \frac{Hc}{rc} \right) - 60 \quad (1)$$

Onde:

- R_{poste} - Resistência do poste em Ohms.
- Hc - Altura média dos poste em metros.
- rc - Raio da base dos poste em metros.

O aterramento do poste (R_g) é adotado de forma simplificada por uma resistência de valor igual a 10Ω [9]. Na Figura 3 temos a representação do modelo de um poste em uma rede MRT.

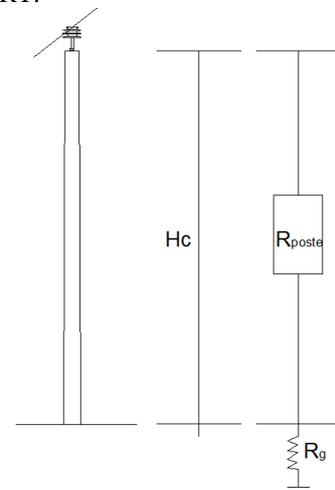


Fig. 3. Modelo de poste de distribuição MRT.

D. Aterramento

Em se tratando do valor e comportamento do sistema de aterramento em situações de alta frequência, como é o caso quando o sistema está sujeito a uma onda de corrente impulsiva provocada por uma descarga atmosférica, a determinação desse valor é muitas vezes complexo e bastante dispendioso, pois dependerá da frequência e de efeitos não lineares como aqueles oriundos de disrupções no solo.

Para a modelagem do sistema de aterramento será adotado o modelo HEM (Hybrid Eletromagnetic Model) que possibilita o cálculo da resposta no domínio da frequência e possui a representação conforme a Figura 4 [10]:

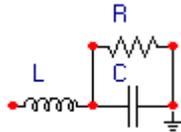


Fig. 4. Circuito equivalente do sistema de aterramento.

Esse modelo adota como valor da resistência de aterramento 0,119 do valor da resistividade do solo e o valor da capacitância como sendo 0,0743 da permissividade relativa do solo [10]. Serão considerados para efeito de simulação o solo com resistividade de 1000 $\Omega \cdot m$ e 20 para a permissividade relativa do solo.

E. Transformador

Para a modelagem do transformador foi adotado um modelo de um circuito RLC, que é válido para operação em vazio, que representa a transferência de surtos atmosféricos do primário para o secundário. Esse modelo tem por objetivo reproduzir o comportamento do transformador no domínio da frequência [13]. Na Figura 5 temos a representação do circuito de acordo com esse modelo.

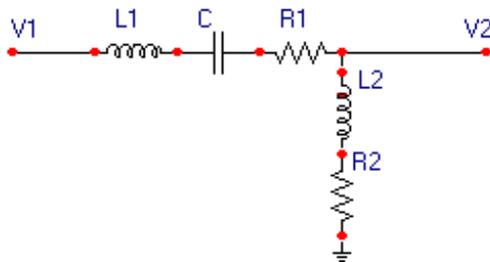


Fig. 5. Modelo em alta frequência do transformador.

Os parâmetros para esse modelo tem valores, para um transformador de 15 kVA, de $L1=246 \mu H$, $L2=54 \mu H$, $R1=70 \Omega$, $R2=90 \Omega$ e $C=320 pF$ [13].

F. Supressor de Surto

Os supressores de surto ou para-raios são instalados nas redes de distribuição e tem como finalidade a proteção contra as sobretensões, preservando assim os equipamentos e o alimentador contra altos valores de tensão.

Os supressores de Oxido de Zinco (ZnO) são construídos a partir, basicamente, de uma serie de resistores não-lineares

colocados um após o outro. Esse tipo de para-raios não utiliza dispositivo centelhador se tornando, sobretudo indicado para sistemas que possuam o neutro aterrado, oferecendo uma proteção mais eficaz contra sobretensões que tem como característica uma frente lenta.

As modelagens do supressor de surto devem levar em consideração, em simulações de altas frequências, as capacitâncias parasitas e a indutância do cabo de ligação.

A Figura 6 apresenta o modelo do supressor de surto utilizado em fenômeno de solitação rápida [13].

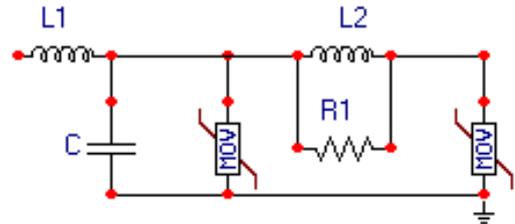


Fig. 6. Circuito equivalente do sistema de aterramento.

Os valores dos parâmetros desse modelo são $L1=0,48 \mu H$, $L2=1,75 \mu H$, $R1=3,5 \Omega$ e $C=0,1 nF$ [13].

G. Descarga Atmosférica

As descargas atmosféricas foram modeladas com um formato de $1,2 \times 50 \mu s$ sendo aplicada no ponto mais alto ao longo do comprimento da rede MRT.

A forma de onda de Heidler, apresentada na Figura 7, faz parte da biblioteca do ATPDraw, foi utilizada para essa modelagem bastando para isso configurar seus parâmetros.



Fig. 7. Ícone da fonte geradora da forma de onda Heidler.

Além da fonte de Heidler, faz-se necessária a colocação em paralelo a fonte uma resistência que representa o canal de ionização. Para efeito das simulações que serão feitas, o valor dessa impedância será 400 Ω .

IV. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

As simulações realizadas no ATPDraw da rede de distribuição MRT da CELPE foram feitas para verificar qual o valor de corrente de pico de descarga atmosférica causa a falha do isolador imediatamente instalado no ponto onde a descarga atinge a rede. Uma falha do isolador em uma situação como essa provoca o desligamento da rede de distribuição. Para verificar se existe um aumento da imunidade da rede frente a valores maiores de pico de corrente de descarga atmosférica será considerado em um segundo momento a instalação de um cabo guarda. A Figura 8 apresenta a modelagem completa da rede MRT, sem cabo guarda, no ATPDraw.

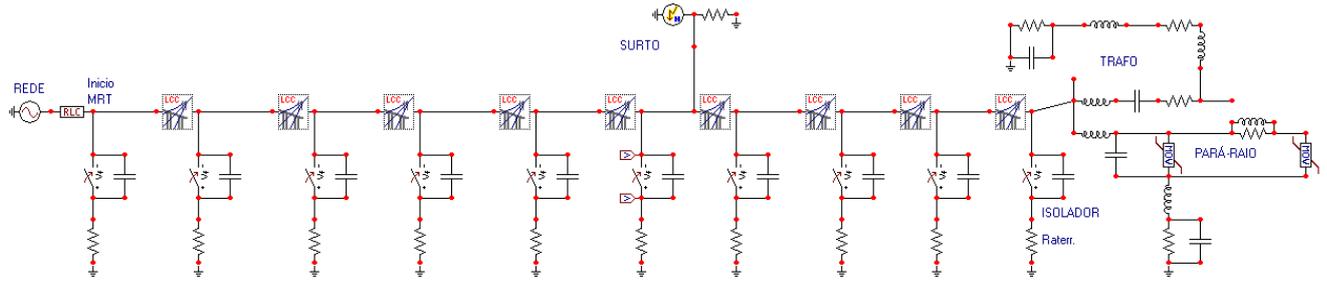


Fig. 8. Circuito para simulação da rede MRT.

A rede MRT possui nove vãos respectivamente de comprimentos 120m, 140m, 130m, 150m, 140m, 210m, 190m, 100m e 250m e um transformador de 15 kVA.

As tensões sobre os pontos nos extremos do isolador da fase foram medidos com referência ao terra remoto e caso a sobretensão produzida sobre os extremos do isolador ultrapasse 110 kV [11], tensão crítica chamada de CFO (Critical Flashover Overvoltage), ocorrerá o fenômeno de flashover ou backflashover.

A. Considerando a rede MRT sem cabo guarda

Para se observar o comportamento dos isoladores da rede com a incidência direta da descarga atmosférica, foi injetado um surto na fase, aproximadamente no meio do comprimento da rede (ponto de medição), com os seguintes resultados:

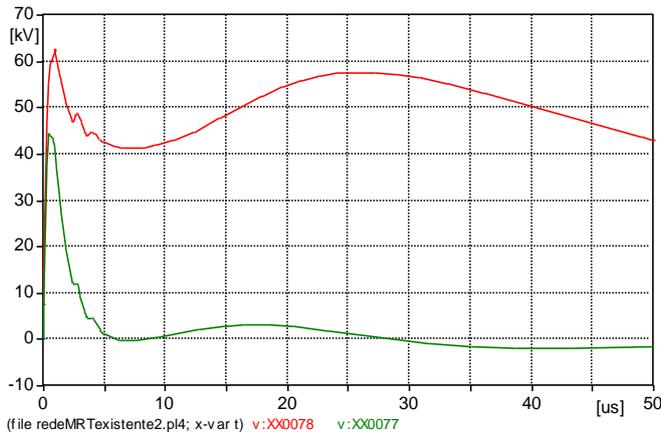


Fig. 9. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 0,5 kA.

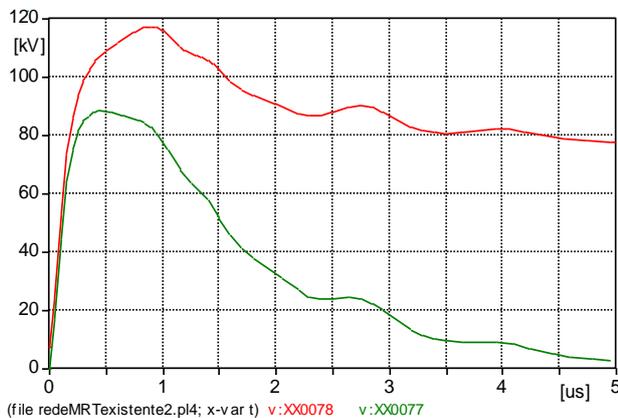


Fig. 10. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 1 kA.

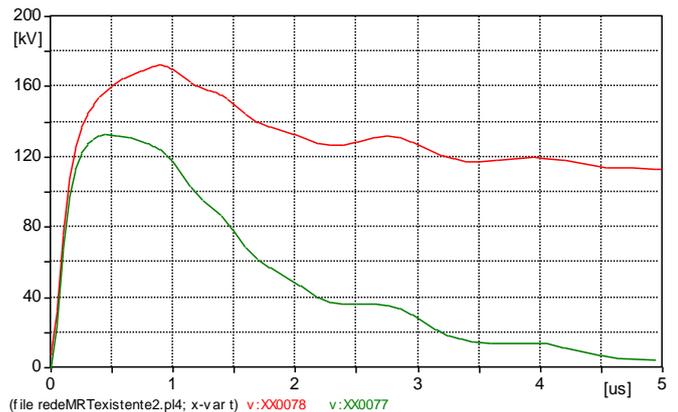


Fig. 11. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 1,5 kA.

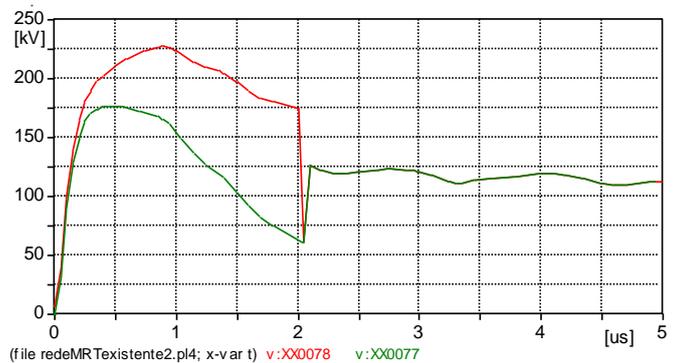


Fig. 12. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 2 kA

As grandezas em vermelho e verde representam as tensões no topo do isolador e no pino deste, respectivamente.

Pode ser observado nas Figuras 9, 10 e 11 que não ocorreu o flashover para as correntes de 0,5 kA, 1 kA e 1,5 kA, mas na Figura 12, corrente de 2 kA, fica evidenciado o flashover sobre o isolador próximo do instante 2 μ S, ou seja, rompimento da suportabilidade do isolador.

B. Considerando a rede MRT com cabo guarda

Para se verificar o desempenho da rede MRT foi proposta uma configuração que não é encontrada nos padrões convencionais de rede das concessionárias de energia.

A mesma rede então foi modelada novamente no ATPDraw, com o cabo guarda instalado acima do condutor fase com um afastamento de 60 cm entre eles. A Figura 13 apresenta a modelagem completa da rede MRT, com cabo guarda, no ATPDraw

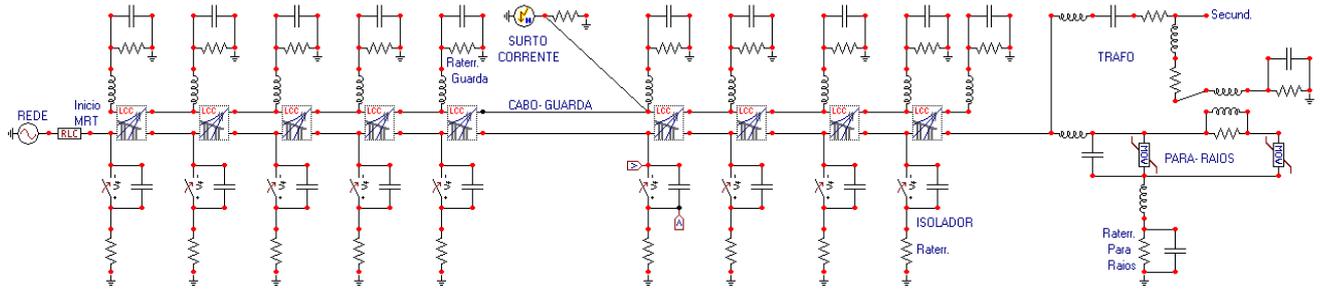


Fig. 13. Circuito para simulação da rede MRT com cabo guarda.

Nessa proposta o condutor fase é sempre ancorado no poste através de isoladores de suspensão e fixado através do isolador de pino polimérico. O valor da resistência de aterramento considerada em cada estrutura foi de 119 Ω . O cabo guarda é lançado por cima do condutor fase com a finalidade de blindar a rede MRT. Esse cabo é fixado no topo da estrutura através de parafuso olhal, conforme Figura 14.

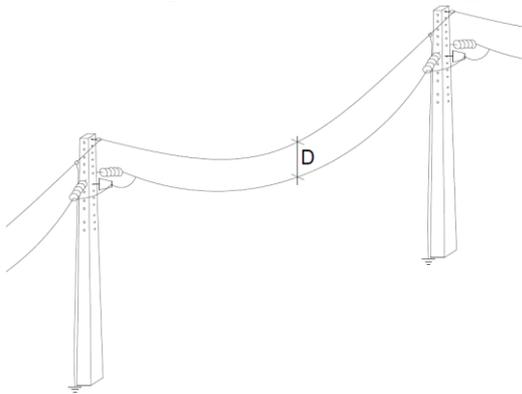


Fig. 14. Rede MRT proposta com instalação de cabo guarda.

O cabo escolhido para ser o cabo guarda foi o cabo de aço 9,52 mm de alta resistência (HS) e zincagem dupla (classe A) utilizado também em muitos casos como cabo mensageiro em redes de distribuição compactas.

Para se observar o comportamento dos isoladores da rede com a incidência direta da descarga atmosférica, foi injetado um surto no cabo guarda, aproximadamente no meio do comprimento da rede (ponto de medição), com os seguintes resultados de surtos transferidos para o condutor fase:

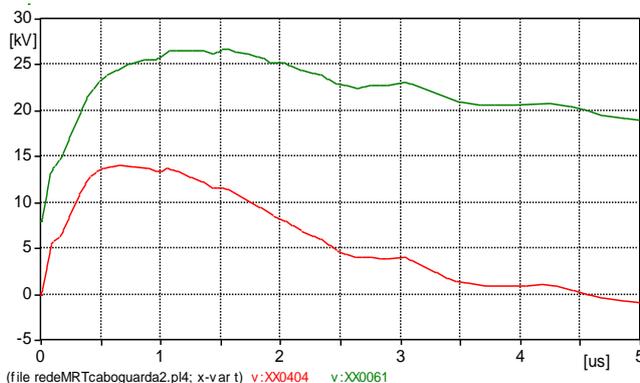


Fig. 15. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 1 kA.

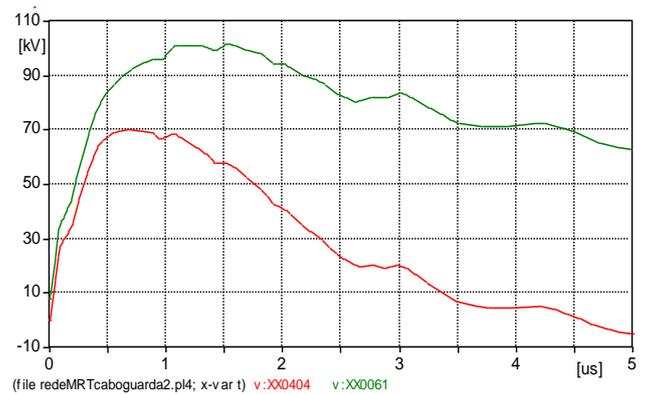


Fig. 16. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 5 kA

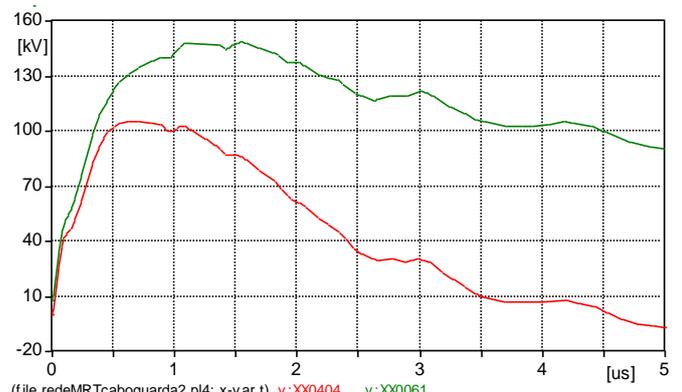


Fig. 17. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 7,5 kA.

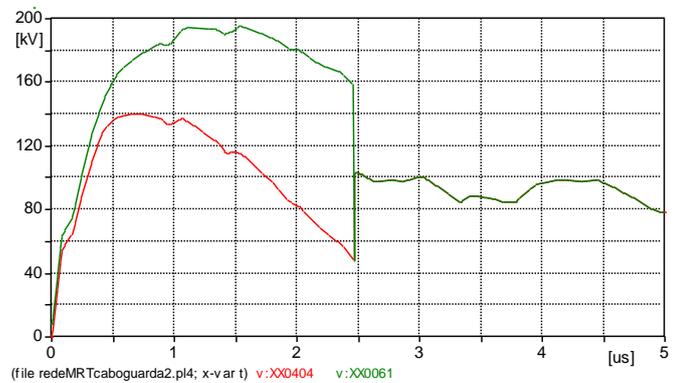


Fig. 18. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 10 kA.

As grandezas em vermelho e verde representam as tensões no topo do isolador e no pino deste, respectivamente.

Pode ser observado nas Figuras 15, 16 e 17 que não ocorreu o fenômeno de backflashover sobre o isolador para as correntes de 1 kA, 5 kA e 7,5 kA mas para 10 kA, como mostrado na Figura 18, fica evidenciado o backflashover sobre o isolador próximo do instante 2,5 μ S, ou seja, rompimento da suportabilidade do isolador.

Para se verificar como a resistência de aterramento influencia no fenômeno, o valor da resistência de aterramento do cabo guarda em cada estrutura foi reduzida de 119 Ω para 31 Ω e uma corrente de surto de 15 kA foi aplicada ao sistema com cabo guarda. O resultado é apresentado na Figura 19.

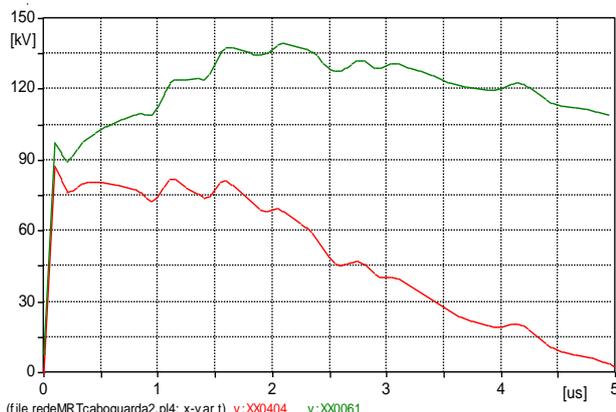


Fig. 19. Tensões sobre o isolador para uma corrente de 15 kA e resistência de aterramento de 31 Ω .

Nota-se pela Figura 19 que não ocorre o fenômeno de backflashover sobre o isolador.

V. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi apresentado um sistema MRT típico e toda sua modelagem no ATPDraw. Seguiu-se uma análise quanto ao comportamento da suportabilidade a impulsos atmosféricos dessa rede através do estudo da relação da tensão disruptiva do isolador.

Ficou evidenciado que a rede típica apresenta níveis bastante baixos de suportabilidade, o que leva a uma interrupção da alimentação elétrica dos consumidores ligados a essa rede.

Foi visto também que a instalação de cabo guarda para a blindagem do condutor de fase aumenta a capacidade da rede de resistir aos surtos atmosféricos. As simulações indicam que um aumento próximo de quatro vezes a corrente impulsiva não é capaz de romper a capacidade dos isoladores se a rede MRT estiver protegida pelo cabo guarda. A viabilidade econômica da proteção com cabo guarda deve ser validada dentro de um estudo comparativo entre custos relacionados entre a aplicação desta técnica e custos da manutenção e interrupção do fornecimento de energia.

Também ficou comprovado que a redução da resistência de aterramento do cabo guarda em cada estrutura contribui bastante para o aumento da suportabilidade da rede elétrica.

A blindagem com cabo guarda e a redução da resistência de aterramento se mostraram soluções técnicas muito

interessantes. É preciso ainda se verificar se outras técnicas para aumentar a capacidade de isolamento da rede MRT, como por exemplo, instalação de para-raios ou aumento da capacidade de impulso atmosférico dos isoladores podem ser agregados. Essa verificação também deve incluir a tensão experimentada pelo consumidor. Ações assim podem evitar o desligamento dessas redes, muitas vezes localizadas em regiões de difícil acesso a manutenção.

REFERÊNCIAS

- [1] F. de La Rosa, S. Mak, *A look into steady state and transient performance of power lines integrating single line wire earth return circuits*, *Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1-6, June /2007.
- [2] S.R. Fernando, et al., *O método dos elementos finitos na análise do aterramento do sistema monofilar com retorno por terra*, 3. Encontro de Energia no Meio Rural, pp. 1-6, Junho /2000.
- [3] D. Ary et al., *Transitórios Elétricos e Coordenação de isolamento: Aplicação em Sistemas Elétricos de Alta Tensão*, Eduff, 1ª Edição, Rio de Janeiro: Eduff, 1987.
- [4] K. Geraldo, *Proteção contra Descargas Atmosféricas em Estruturas Edificadas*, Sagra, 2ª Edição, Florianópolis, 2003.
- [5] V. Paredes, R.V. Merchancano and J.L. Chancay, *Modelos dependientes de la frecuencia para análisis de energización y descargas atmosféricas en líneas de transmisión de 500 kV*, 2012. Acedido em 10 de Janeiro de 2016, em: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/20661>.
- [6] M.C.R. Paz, *Formulação integrada para a localização de Falhas em Sistemas de Distribuição*, Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [7] E. S. Santana, *Sobretensões de energização de Linha de Transmissão*, Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- [8] R. J. Cabral, et. al, *Desempenho de linhas de distribuição devido a descargas atmosféricas usando ATP-Draw*, in INDUSCON, Fortaleza, 2012.
- [9] V.L. Coelho, *Análise do desempenho de redes aéreas de distribuição de média tensão frente à ação das descargas atmosféricas*, Florianópolis, 2010.
- [10] D. Conti, S. Visacro, *A Simplified Model to Represent Typical Grounding Configurations Applied In Medium-Voltage And Lowvoltage Distribution Lines*, in IX International Symposium on Lightning Protection, Foz de Iguauçu, 2007.
- [11] PRYSMIAN. Isolador de Pino Polimérico. Disponível em: <http://br.prysmiangroup.com/br/files/isolador_pino_polimerico.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.
- [12] J.A.M. Jitsukawa, *Coordenação de isolamento em subestações isoladas a ar*, Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [13] M.F. Guimarães, *Sobretensões devidas a descargas atmosféricas diretas em redes de distribuição com neutro multi-aterrado*, Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.