

Avaliação de Desempenho de Para-Raios Inteligentes em Redes de Distribuição de Energia

A. Manarin ¹  orcid.org/0000-0002-0164-9886

B. Anacleto ²  orcid.org/0000-0002-6180-645X

T.I.A.H. Mustafa ³  orcid.org/0000-0002-2748-2543

L.H. Meyer ³  orcid.org/0000-0003-0569-2416

¹ Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB), Santa Catarina, Brasil.

³ CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A, Blumenau, Santa Catarina, Brasil.

² Professor do Departamento de Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, FURB, Santa Catarina, Brasil.

E-mail do autor principal: andersonmanarin@hotmail.com

Resumo

Atualmente, os eventos de descargas atmosféricas em redes de distribuição podem ser considerados como as principais causas de interrupções no fornecimento de energia elétrica. Assim, a avaliação do comportamento das redes de distribuição frente a estes eventos, bem como da proteção associada, torna-se algo relevante. Dentro desse contexto, assume especial importância a análise de desempenho de para-raios que podem ser empregados em redes de distribuição, com vistas a atenuar e até mitigar os efeitos provocados por descargas diretas ou induzidas. Neste trabalho é apresentado uma avaliação de um tipo de para-raios, o para-raios inteligente ou multi-câmaras, ainda não utilizado por concessionárias de energia brasileiras. Esse novo tipo de dispositivo promove uma descarga superficial do arco elétrico, de forma estendida e através câmaras de extinção, sendo aparentemente bem mais eficaz que os dispositivos tradicionais. Além estudo analítico, foi realizada modelagem de circuitos e simulações de transitórios de alta frequência para avaliar o desempenho destes dispositivos. Desta forma, se indicam os níveis de suportabilidade de sobretensões auxiliando na escolha do posicionamento para instalação desses dispositivos em um sistema de distribuição piloto de uma concessionária de energia.

Palavras-Chave: Redes de Distribuição, Proteção, Descargas Atmosféricas, Para-raios Inteligentes;

Abstrac

Currently, lightning events in distribution networks can be considered as the main causes of interruptions in the supply of electricity. Thus, the assessment of the behavior of the distribution networks in the face of these events, as well as the associated protection, becomes relevant. Within this context, it is particularly important to analyze the performance of surge arresters that can be used in distribution networks, with a view to mitigating and even mitigating the effects caused by direct or induced discharges. This work presents an evaluation of a type of arrester, the intelligent or multi-chamber arrester, not yet used by Brazilian energy utilities. This new type of device promotes a superficial discharge of the electric arc, in an extended way and through extinguishing chambers, being apparently much more effective than traditional devices. In addition to an analytical study, circuit modeling and simulations of high frequency transients were used to evaluate the performance of these devices. In this way, the levels of support of overvoltages are indicated and assisting in the choice of positioning for installation of these in a pilot distribution system of an energy utility.

Keywords: Distribution Networks, Lightning, Protection, Smart Arresters.

1 Introdução

Os para-raios ditos inteligentes ou multi-câmaras, diferentemente dos para-raios convencionais apresentam uma tecnologia que promete um equipamento com maior eficiência, revolucionando assim as redes de distribuição de energia elétrica. Trata-se de um dispositivo de alto rendimento e alta durabilidade, o que certamente beneficiará os índices de DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) de concessionárias de energia, colocando em prática a sustentabilidade do sistema, que é um fator primordial nos dias de hoje.

Sabe-se também que em redes de distribuição, as descargas atmosféricas, sejam elas descargas diretas ou induzidas, são as principais causas de interrupções no fornecimento de energia elétrica. Essa constatação tem impulsionado diversas pesquisas no sentido de buscar soluções cada vez mais eficientes, para diminuir os efeitos dessas descargas.

Dessa forma, uma avaliação precisa do comportamento das redes de distribuição frente às descargas atmosféricas e da proteção associada a essas redes, torna-se algo importante para pesquisadores e técnicos que buscam melhorar a proteção dos sistemas de distribuição.

Proporcionando a diminuição dos custos na execução de projetos de rede, a identificação de sistemas vulneráveis e seus impactos efetivos, tendo em vista, os prejuízos socioeconômicos que podem ocorrer em função dos desligamentos de linhas e a falta de energia elétrica.

Dentro desse contexto, assume especial importância a análise de desempenho de diferentes tipos de para-raios, que podem ser empregados em redes de distribuição, com vistas a atenuar e até mitigar os eventos que afetam diferentes equipamentos elétricos conectados a uma rede de distribuição, provocando quedas de energia e conseqüentemente perdas para os diferentes setores da economia.

Especificamente neste trabalho são modelados e apresentados os resultados do desempenho de uma inovadora tecnologia aplicada aos dispositivos de

para-raios, os para-raios inteligentes ou os *Smart Arresters* [1,2], utilizados para a proteção de redes de distribuição. Esse novo equipamento faz com que boa parte da energia de uma descarga elétrica seja dissipada no ar, sem a necessidade de utilizar aterramento exclusivo. A análise de desempenho foi realizada em uma rede piloto de distribuição de 13,8 kV da CELESC- Centrais Elétricas de Santa Catarina, concessionária do sul do Brasil, que vem sofrendo com uma alta incidência de descargas atmosféricas. Para tanto, foi modelado parte do ramal desta rede no ATP (*Alternative Transient Program*) [3], para avaliação dos níveis de sobretensão a que equipamentos, como transformadores, estariam sujeitos devido a descargas na rede. Os parâmetros utilizados para a modelagem do ramal seguiram informações fornecidas pela concessionária e pelo fabricante dos para-raios inteligentes, o qual disponibilizou dois modelos comerciais para utilização por parte da concessionária.

2 O Para-Raios inteligente ou Multi-Câmaras

No sentido de reduzir o número elevado de desligamentos, que frequentemente causam diversos problemas em redes de distribuição, um novo modelo de para-raios tem sido estudado, quanto a sua real aplicação, o *Smart Arrester* (Sai20z) ou com o é chamado, o para-raios inteligente ou multi-câmaras (MCA) [1,2]. Esse dispositivo é composto de muitos eletrodos, separados por lacunas ou orifícios montados em um perfil no formato de uma foice, e que podem ser conectados juntos aos isoladores de estruturas da rede de distribuição. Nesse perfil, os vários orifícios compõem pequenas câmaras que promovem a disrupção ou a descarga da sobretensão do interior dessas câmaras para o ambiente externo (ar), ao invés dessa disrupção ocorrer nos isoladores. Portanto, essa tecnologia não utiliza resistores como parte de sua estrutura e sim um invólucro feito de silicone, eletrodos e canais de extinção do arco elétrico, conforme é mostrado na figura 1.



Figura 1: Modelo de um para-raios multi-câmaras, SAI20z [2].

Observa-se também na Fig.1 que o modelo SAI20z não necessita de um sistema de aterramento, o que simplifica e diminui os custos com sua instalação. Isso ocorre porque tal tecnologia é a única capaz de fazer com que boa parte da energia de um arco elétrico seja extinta no ar, sem a necessidade de utilizar o aterramento como fuga. O modelo apresentado na Fig. 1 é aplicável para suprimir descargas induzidas em linhas de distribuição de classe até 24 kV e possui algumas características que os para-raios convencionais não possuem como, por exemplo, realizar a extinção da descarga atmosférica em até 8 ms e também descarregar até 18 impulsos de 16 kA durante 200 μ s [4].

Assim, o processo de atuação do para-raios multi-câmaras se dá por centelhamento, pois somente a diferença entre o potencial do condutor de fase, esse com a energia da descarga, e o potencial do pino do isolador, esse próximo de um valor nulo, é necessária para dar condições ao processo de ruptura dielétrica do ar. Esse processo de extinção da descarga é ilustrado na Fig. 2.

O fato de não utilizar um aterramento específico e sim a própria condutividade da cruzeta e também do poste, trazem algumas vantagens. Quando ocorre uma descarga atmosférica seja ela direta ou induzida, um arco será gerado entre o terminal do eletrodo e o cabo de rede, este arco será estendido através dos eletrodos colocados em série e dissipado através dos canais de extinção.

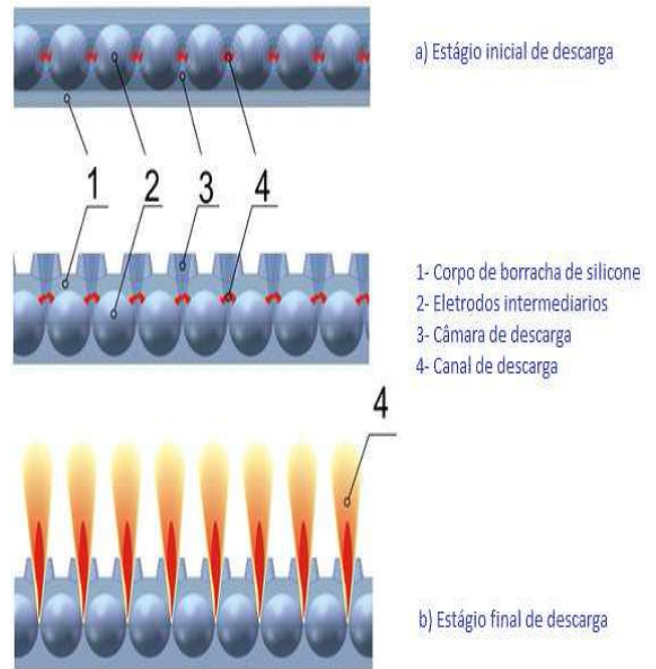


Figura 2: Representação da extensão e extinção do arco elétrico [5].

Na mesma Fig. 2 pode-se observar que após a ionização do ar entre os eletrodos, uma descarga é direcionada através dos canais de descarga existentes entre cada par de eletrodos. Estas chamas se devem a própria energia do arco elétrico sendo dissipada.

A Fig. 3 mostra a atuação do modelo SAI20z em ensaio realizado no Laboratório de Alta Tensão LAT/FURB (Fundação Universidade Regional de Blumenau) e demonstra como a descarga é parcialmente dissipada no ar, atenuando o surto de sobretensão para proteger o sistema de distribuição.

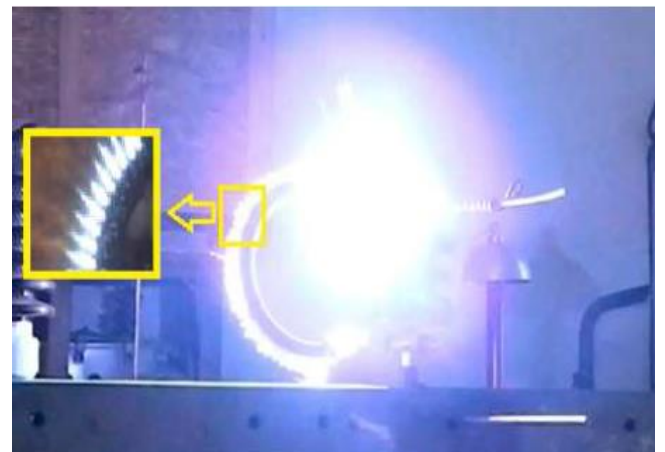


Figura 3: Atuação do modelo SAi20z no ensaio em laboratório.

Outro modelo de para-raios inteligente (SAd20z) utilizado neste estudo e aplicado para descargas diretas na rede é apresentado na Fig.4 . Observa-se que o equipamento possui o mesmo invólucro de silicone e canais de extinção do modelo anterior, mas este não possui o gap característico entre o cabo de rede e o terminal do eletrodo, a descarga é conduzida através de um cabo secundário conectado à rede e ao próprio dispositivo.



Figura 4: Modelo SAd20z instalado no pino de fixação do isolador [5].

Na Tabela I são apresentados alguns dos resultados realizados em laboratório, no que diz respeito à comparação com o para-raios poliméricos comumente utilizados em redes de distribuição e para-raios inteligentes (modelo SAi20z).

Descrição	SAi20z	Polimérico	SAi20z + Polimérico
Tensão Aplicada (kV)	125	125	125
Tensão de Corte (kV)	106,45	47,9	45,91
Corrente de Corte (A)	147,21	67,13	64,91

TABELA I – Comparativo entre para-raios polimérico e o modelo SAi20z.

Como pode ser observado o para-raios polimérico possui uma atuação mais rápida no momento da

descarga atmosférica, devido a conexão direta com a rede através de resistores não lineares com uma tensão de corte em 47,9 kV contra 106,45 kV obtido no modelo SAi20z. Observa-se também que os valores obtidos nesses ensaios foram realizados considerando apenas descargas diretas na rede e o modelo do para-raios inteligente testado é aplicado preferencialmente para descargas induzidas, portanto neste caso a sua resposta de atuação é mais lenta.

3 Método de análise para a instalação de para-raios inteligentes

Neste tópico apresenta-se um método de avaliação para instalação de para-raios multicâmaras em linhas aéreas.

Um estudo analítico deve ser realizado para casos específicos de redes de distribuição de energia, considerando os diferentes parâmetros e configurações de rede. Dessa forma pode-se dividir uma linha aérea de distribuição em seções que apresentam as mesmas características gerais. Dentre essas características, consideram-se os seguintes aspectos:

1. Densidade de raios por km²/ano;
2. Resistividade do Solo (Ω m);
3. Presença de elementos de blindagem;
4. Presença de cabo de blindagem;
5. Sobretensão Crítica de Descarga na linha;
6. Altura dos postes ao longo da linha;
7. Localização da seção.

Neste trabalho um trecho de um ramal de distribuição de energia da CELESC da regional de Blumenau/SC foi utilizado para avaliação do desempenho de para-raios inteligentes. O mesmo é alimentado em uma tensão de 13,8 kV, com uma extensão aproximada de 4 km, instalado em relevo bastante acidentado (Morro do Cachorro – 857 metros) e contendo 15 estruturas de postes. O ramal possui uma extensão total de aproximadamente 12 km e tem como consumidores, unidades de transmissão de sinal de televisão e telefonia celular, como também transmissores de rádio utilizados pela própria concessionária para comunicação e transferência de dados. Tal local foi selecionado pela alta incidência de descargas atmosféricas e também por ter uma condição de

acesso limitada, o que sempre dificultou o acesso às equipes de operação e manutenção.

Seguindo uma prévia inspeção e análise desse ramal realizada por técnicos e engenheiros da CELESC o seguinte planejamento de instalação dos para-raios inteligentes foi proposto e implementado na simulação realizada no programa de análise de transitórios ATP:

1. Instalação de uma unidade do para-raios (modelo SAi20z) para descargas induzidas nas estruturas 1 a 9 e na estrutura 12, intercalando as fases por estruturas;
2. Instalação de três unidades, uma para cada fase, do para-raios (modelo Sad20z) para descargas diretas nas estruturas 10 a 15;
3. E, por último, a utilização combinada com três para-raios poliméricos, em conjunto, na estrutura 15, devido a existência de um equipamento transformador.

4 Modelagem e simulações no ATP

Para a avaliação do desempenho de para-raios inteligentes em redes de distribuição de energia elétrica, o ramal de distribuição piloto utilizado neste estudo foi modelado no ATP [3] e serviu de base para simulações e análises dos níveis de sobretensões no transformador no final da rede, considerando somente descargas diretas na rede. Na figura 5, parte da modelagem desse ramal é apresentada.

Na representação do circuito desde o alimentador na Subestação Blumenau II, o ramal foi modelado conforme parâmetros e informações técnicas fornecidas pela concessionária de energia. A Fig. 6 mostra o circuito equivalente do alimentador da subestação (13,8 kV) até o ponto inicial desse ramal.

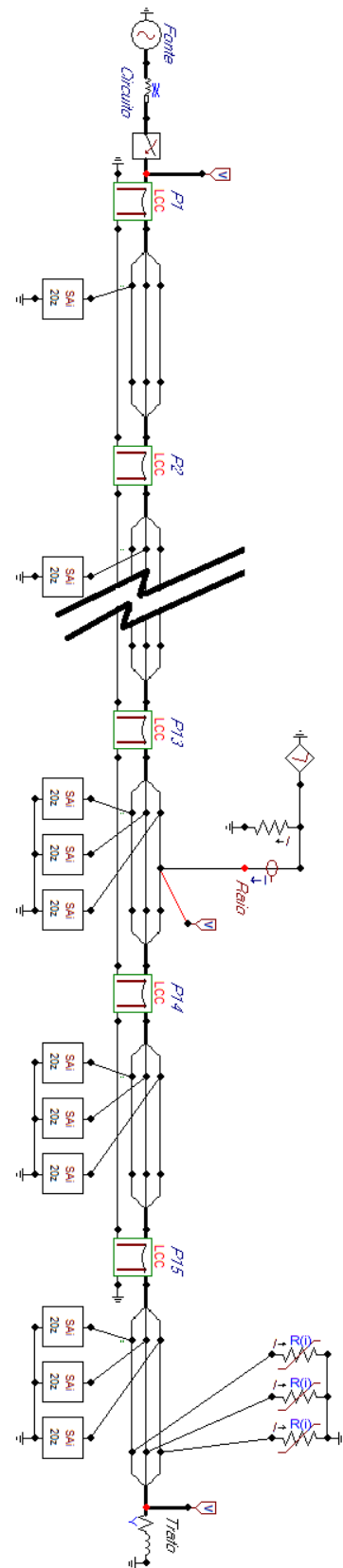


Figura 5: Apresentação parcial do ramal modelado em ATP.

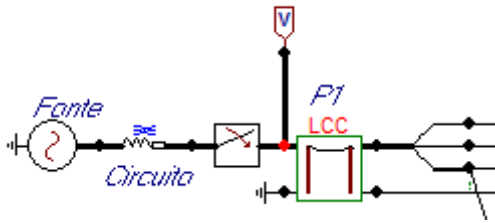


Figura 6: Circuito representa a impedância equivalente entre a subestação alimentadora e o ponto inicial do ramal onde foram aplicados os para-raios inteligentes.

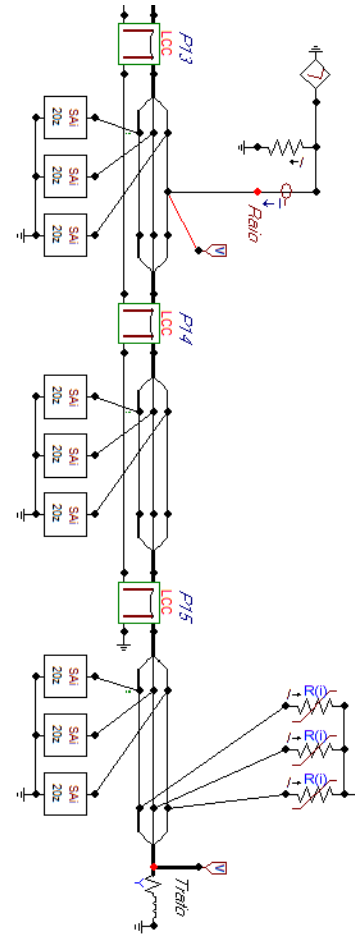
Para as estruturas de postes existentes, foram distribuídas quinze unidades de blocos LCC – Line/Cable (Bloco para modelagem de linhas de transmissão ou distribuição no ATP) considerando os parâmetros como os tipos de cabos utilizados, cabo de cobertura, distâncias entre as estruturas e altura das estruturas. Ao final do ramal, um transformador responsável por alimentar antenas de telefonia e televisão foi modelado como uma carga considerando sua potência nominal.

Assim como a modelagem do ramal, foram parametrizados modelos de para-raios inteligentes cujos dados foram fornecidos pelo fabricante de para-raios multi-câmaras [5], assim como os para-raios poliméricos comumente utilizados em redes de classe de tensão 13,8 kV, cujos dados também foram disponibilizados por fabricantes e introduzidos na modelagem. A distribuição dos para-raios seguiu o planejamento proposto na seção anterior e a figura 7 mostra o final da rede com a inclusão dos para-raios, bem como a representação do transformador.

Para avaliação dos níveis de sobretensões no transformador, foi aplicada um impulso atmosférico, sendo esse modelado como uma fonte de corrente com amplitude de 10 kA, aplicado diretamente na fase C entre as estruturas 13 e 14, como mostrado na figura 7.

Três configurações foram simuladas e avaliadas, conforme sequência a seguir:

1. Sem a utilização de para-raios entre a descarga e o transformador;
2. Utilização de para-raios inteligentes em todo o ramal e inclusive na estrutura do transformador;
3. Utilização de para-raios inteligentes em todo o ramal, mas na estrutura do transformador



o uso combinado dos para-raios inteligentes e poliméricos.

Figura 7: Impulso atmosférico ocorrendo entre as estruturas 13 e 14.

A figura 8 apresenta o comportamento da tensão no final do ramal, sem a utilização de para-raios. Sendo assim, a sobretensão produzida descarga atmosférica irá atuar diretamente no equipamento. Conforme se pode verificar, a fase C foi a que sofreu o maior surto de tensão, chegando a uma sobretensão próxima a 2,25 MV em 3,83µs.

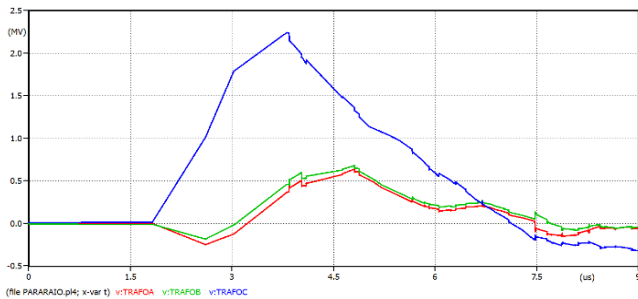


Figura 8: Níveis de sobretensão na última estrutura, sem a utilização de para-raios entre a descarga atmosférica que ocorreu após a estrutura 13.

A figura 9 mostra os níveis de sobretensão com a utilização exclusiva de para-raios inteligentes, de ambos os modelos, deixando então todo o ramal sem a utilização de para-raios convencionais. Pode-se verificar que na utilização exclusiva de para-raios inteligentes, a limitação de sobretensão no equipamento ocorre nos níveis de 130 kV num tempo de 1,91µs.

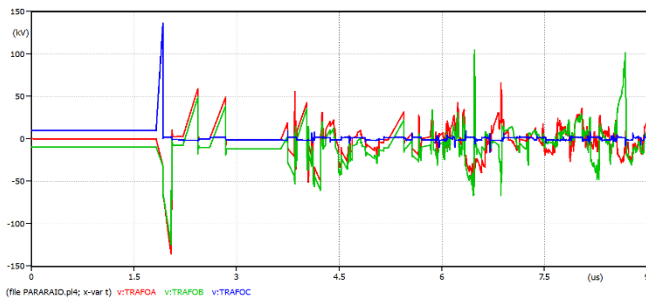


Figura 9: Níveis de sobretensão na última estrutura com a utilização exclusiva de para-raios inteligentes em todo o ramal.

Na figura 10 são apresentados os níveis de sobretensão, agora considerando a utilização combinada dos para-raios inteligentes e poliméricos na última estrutura do ramal. O resultado nessa situação mostra que o para-raios convencional tem sua atuação de corte de sobretensão agindo de forma superior ao modelo do para-raios inteligente.

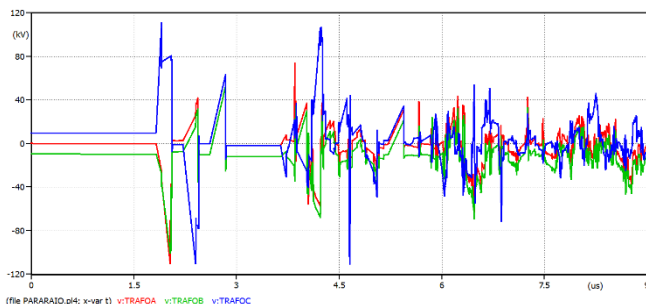


Figura 10: Níveis de sobretensão na última estrutura, utilizando para-raios inteligentes em todo ramal e considerando a utilização de para-raios inteligentes e poliméricos na última estrutura.

Na Tabela II é apresentado o resumo dos resultados obtidos nas simulações.

Situações	Tensão	Tempo
1º Caso	2,25 MV	3,83 µs
2º Caso	130 kV	1,91 µs
3º Caso	110 kV	1,90 µs

TABELA II – Níveis de sobretensão e tempos de respostas nas simulações.

5 Conclusões

Os resultados da análise de desempenho dos para-raios inteligentes demonstram o correto funcionamento desses dispositivos, conforme apresentados por fabricantes e os resultados alcançados nos ensaios realizados, tendo como comparação, a atuação do corte da sobretensão aplicada ao equipamento transformador no fim do ramal.

Na utilização de para-raios inteligentes, em sua aplicação exclusiva, os resultados demonstram que a sua atuação ocorreu num tempo mais lento em comparação ao para-raios convencionais. Isso ocorre porque o resultado da atuação do corte da sobretensão em para-raios convencionais, ocorre em um intervalo de tempo menor que nos para-raios inteligentes, confirmando assim os ensaios realizados no LAT.

Como os resultados iniciais apresentados demonstram que a utilização de para-raios inteligentes em redes de distribuição de energia elétrica é aceitável, mas tendo diferenças tampouco impactantes em comparação aos modelos convencionais.

Assim, observou-se que seguindo a utilização combinada, os para-raios poliméricos irão atuar primeiramente em relação aos inteligentes, deixando neste primeiro momento a tecnologia inteligente como retaguarda. Ressaltando que a utilização combinada ocorre somente na última estrutura, onde se possui um equipamento transformador e considerando, que grande parte da energia e sobretensão gerada pela descarga elétrica, tenham sido dissipadas nas estruturas anteriores por para-raios inteligentes. É importante destacar que os para-raios inteligentes apresentam uma vida útil superior, quando comparados com os convencionais,

tornando-os assim e quando utilizados de forma combinada, uma proteção principal com o decorrer do tempo e de atuações de descargas, e não mais de retaguarda.

Como atividade complementar dessa pesquisa, um estudo de viabilidade econômica está sendo preparado para a implantação dos para-raios inteligentes em outras redes de distribuição da CELESC. Uma vez que os resultados práticos obtidos até o momento e que ainda deverão ser publicados, tem demonstrado a eficiência técnica desses dispositivos no sentido de melhoria dos indicadores de DEC e FEC.

Isso certamente tornará as redes de distribuição das concessionárias, mais seguras em termos da continuidade e qualidade de fornecimento, seja para os setores de atividades produtivas e comerciais, como também as necessidades de conforto e confiabilidade impostas por nossa sociedade.

6 REFERÊNCIAS

- [1] G. V. Podporkin, A. D. Sivaev, "Lightning Protection of Overhead Distribution Lines by Long Flashover Arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, 1998, No. 3, July, pp. 814-823;
- [2] G. V. Podporkin, E. Yu. Enkin, E. S. Kalakutsky, V.E. Pilshikov, A. D. Sivaev, Overhead Lines Lightning Protection by Multi-chamber Arresters and Insulator-arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, No. 1, January 2011, pp.214-221;
- [3] ATP - Alternative Transient Program, Leuven EMTP Center, Herverlee, Belgium, 1987;
- [4] STREAMER. (2017). Application Guide for EasyQuench Technology;
- [5] M. Zinck, J. B. Frain , Multi-chamber Arrester Field Test Experience on Medium Voltage Overhead Line in Asia, International Conference on Power Systems Transients, IPST 2015, in Cavtat, Croatia, June 15-18, 2015.