



XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

Definição de Limites Operacionais em Para-raios a Óxido Metálico com base na corrente de fuga

Tulio Teles Vieira	Walter Pinheiro	Marco A. A. Menezes
CELG	Matrix Engenharia em Energia	Matrix Engenharia em Energia
tulio.tv@celg.com.br	walter.pinheiro@matrixenergia.com.br	marco.menezes@matrixenergia.com.br
Manuel L B Martínez	Estácio T W Neto	Sérgio Lucio S Cabral
Universidade Federal de Itajubá	Universidade Federal de Itajubá	Matrix Engenharia em Energia
martinez@lat-efei.org.br	estacio@lat-efei.org.br	Sergio.cabral@matrixenergia.com.br

Palavras-chave

Corrente de fuga

Inspeção

Óxido metálico

Óxido de zinco

Supressores de surto

Resumo

O trabalho consiste na análise da degradação de supressores de surto (para-raios) com base na medição da corrente de fuga, através de ensaios em laboratório e modelagem estatística dos resultados. O objetivo é determinar parâmetros que possam ser utilizados como critério de avaliação da condição de para-raios instalados durante as inspeções de rotina programadas pela empresa. Para isso foram realizados ensaios em laboratório em amostras de para-raios em bom estado e defeituosos em diferentes condições, para que pudessem representar de forma significativa os para-raios em campo. Buscou-se utilizar uma metodologia simples e equipamento de medição compacto, resultando em uma metodologia rápida e fácil para aplicação em campo.

1. Introdução

Este trabalho tem como principal apresentar resultados estudos realizados visando a determinação de limites de utilização dos supressores de surto a óxido metálico, baseando-se apenas no critério da corrente de fuga.

Os supressores de surto, conhecidos como para-raios, são dispositivos de proteção elétricos contra sobretensões provenientes tanto de descargas atmosféricas quanto de manobras e anormalidades na própria rede.

A Figura 1 a seguir mostra a relevância da atuação do para-raios na limitação da tensão. A figura compara possíveis tensões sem para-raios, as tensões suportáveis e as tensões limitadas por para-raios.

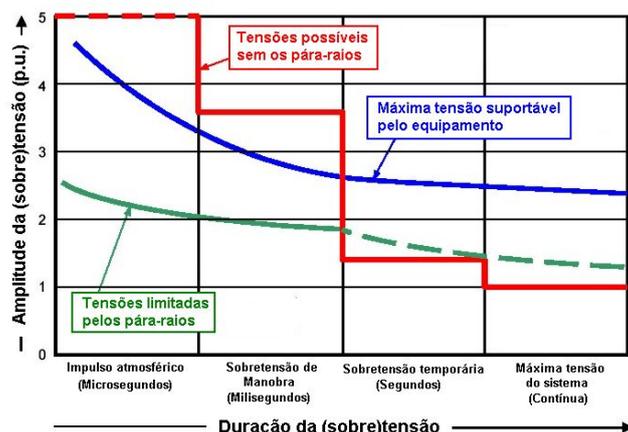


Figura 1 – Tensões possíveis no sistema [1].

Em campo, normalmente se conduz uma inspeção visual para detectar para-raios defeituosos. Entretanto, neste tipo de inspeção, apenas os para-raios com defeito em sua estrutura ou com desligador atuado são detectados. Sendo que para-raios defeituosos nem sempre apresentam evidências do defeito em sua estrutura externa. Desse modo, é bem possível que em uma inspeção visual, certa quantidade de equipamentos com problemas ou na iminência de falhar fique em operação. Tendo em vista a importância da proteção exercida pelos para-raios na limitação das tensões impostas aos sistemas, bem como, da necessidade de um procedimento adequado para manutenção preventiva dos para-raios de ZnO, a CELG elaborou um projeto de P&D para definição de um Sistema e de Procedimentos Operacionais e de Manutenção para Medição da Corrente de Fuga dos para-raios instalados em seu sistema de distribuição de energia, cujos resultados estão apresentados nesse trabalho.

Para isto foi feita a análise das correntes de fuga em para-raios de óxido de zinco sob diferentes condições. Para as medições de corrente, foi utilizado um amperímetro alicate da marca Fluke®, modelo 360, e uma bancada de testes experimental. Os dados colhidos foram modelados e analisados estatisticamente utilizando-se o software Minitab®14. O estudo utilizou 175 amostras para colher os dados, sendo o conjunto formado por: para-raios novos, para-raios em operação retirados em campo para os testes previstos no projeto e para-raios retirados de operação, com desligador atuado.

2. Desenvolvimento

2.1 Tipos de para-raios¹

a) Para-raios de carboneto de silício (SiC) com centelhadores

Muitos supressores de surto presentes no sistema elétrico são de carboneto de silício com centelhadores. Estes são formados basicamente por um resistor não linear de SiC em série com centelhadores.

Os centelhadores são dispositivos que permitem a passagem de correntes intensas empregando para isto a ionização do espaço entre os eletrodos. Sua finalidade é assegurar, sob quaisquer condições, uma característica de interrupção regular com uma rápida extinção da corrente subsequente, fornecida pelo sistema. A atuação do Para-raios só ocorre quando o mesmo é submetido a um valor de sobretensão suficiente para promover a descarga elétrica no centelhador.

Este tipo de dispositivo tem sido substituído atualmente por supressores de surto a óxido metálico sem centelhadores, que utilizam elementos a óxido de zinco no lugar do carboneto de silício.

b) Para-raios de óxido de zinco (ZnO)

Os para-raios fabricados atualmente utilizam, como elemento não-linear, resistores a ZnO em substituição ao SiC. São formados basicamente por resistores não lineares compostos a partir de uma mistura de óxido de zinco em maior proporção e outros óxidos metálicos, como o antimônio, o manganês, o bismuto e o cobalto.

Os para-raios a óxido metálico dispõem de uma característica resistiva altamente não-linear e não utilizam centelhadores, além de apresentarem uma maior capacidade de dissipação térmica. A ausência de centelhadores reduz os problemas relacionados à umidade interna e a imprecisão na atuação do para raios, a qual dependia do processo de ruptura do centelhador.

A Figura 2 mostra que uma curva característica típica de um para-raios a ZnO de 12 kV. Para tensões próximas à tensão nominal, a corrente de fuga é da ordem de microamperes (μA) e para valores de 1,5 p.u., por exemplo, a corrente já é da ordem de quiloamperes (kA). Pode-se dizer que o para-raios está sempre atuante, monitorando constantemente a tensão em seus terminais independente de um valor mínimo necessário para dar início a ruptura (caso dos para-raios com centelhadores).

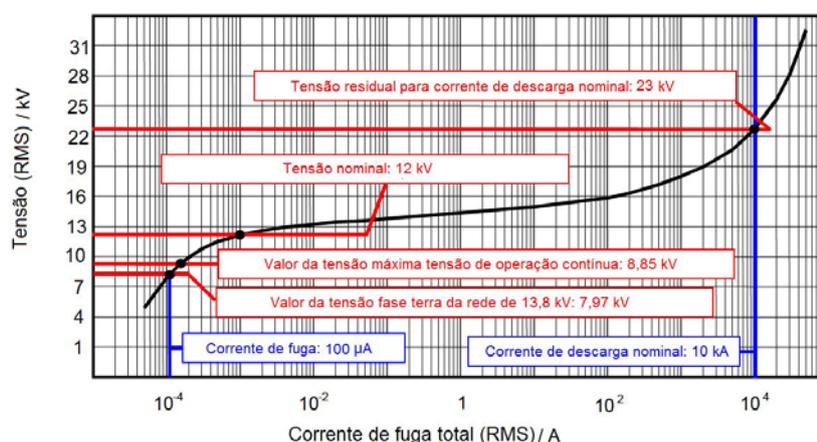


Figura 2 – Curva V x I dos resistores de ZnO [1].

Um para-raios a ZnO pode ser representado por um circuito equivalente constituído por um resistor não linear em paralelo com um capacitor. Sob tensão nominal, a corrente de fuga é predominantemente capacitiva, visto que, nestas condições, o ramo resistivo apresenta uma elevada impedância, constituindo praticamente um circuito aberto. A medida que a tensão nos terminais aumenta, a impedância resistiva diminui de modo que uma corrente elevada passa a ser conduzida.

Pode-se dizer que a corrente de fuga é o principal parâmetro de caracterização do para-raios, de modo que o seu valor está diretamente relacionado ao valor de tensão aplicada sobre o mesmo ou às suas condições operacionais. Sendo assim, a corrente de fuga é um parâmetro adequado para monitoramento do estado do para-raios.

Varistores não linear degradados produzem correntes excessivas e, de modo complementar, correntes excessivas provocam a degradação dos varistores não linear, numa reação cíclica que, tornando-se permanente, provoca a destruição do varistor não linear.

No estudo em questão, foi utilizado apenas este tipo de para-raios, por se tratar de uma tecnologia que vem gradativamente substituindo os dispositivos a SiC.

Os para-raios instalados nos sistemas elétricos são utilizados juntamente com um desligador automático em série. Este tem a função de atuar durante a ocorrência de surtos muito severos, no limite da região de proteção do para raios, desligando-o do sistema para garantir a continuidade de operação e sinalizando a necessidade de sua substituição.

O desligador, constituído geralmente de agentes explosivos, atua devido ao elevado aquecimento

provocado pela condução de correntes elevadas durante um determinado tempo. É conveniente citar que o desligador atuado, porém, não necessariamente indica que o para-raios está defeituoso. Isso ocorre porque os valores de corrente que causam a explosão do desligador não são precisos de modo que podem atuar com a passagem de correntes inferiores aos limites que representam riscos de danos ao para-raios.

2.2 Medições e análises

Conforme citado anteriormente, o objetivo desse trabalho é o de definir recomendações e metodologias adequadas para o monitoramento e avaliação do estado operacional de para-raios em campo. Para isto foi feita uma série de ensaios permitindo a coleta de dados em conjuntos de amostras de para-raios de 12 kV e de 30 kV de diferentes fabricantes. Com base nos dados coletados, análises estatísticas foram feitas de modo a estimar uma tendência de comportamento da corrente de fuga dos para-raios instalados na rede. A descrição das atividades e os resultados são detalhados a seguir.

a) Medições da Corrente de Fuga^{2,3}

Para as medições de corrente de fuga, foram utilizados dois equipamentos diferentes com a finalidade de se comparar os resultados obtidos com cada um deles: uma bancada experimental mostrada na Figura 3 a seguir e um alicate amperímetro.



Figura 3 – Bancada com Gerador de sinais, Amplificador e Sistema de aquisição de dados.

A bancada experimental é constituída de um transformador alimentado por um amplificador de potência em cuja entrada está conectada uma fonte de tensão perfeitamente senoidal (livre de harmônicos). A medição dos valores de tensão e corrente é feita por meio de um divisor resistivo e um resistor shunt, conforme esquema da Figura 4.

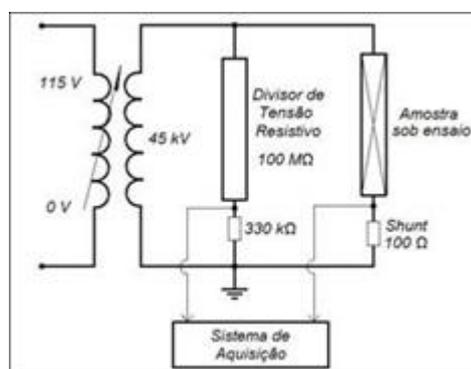


Figura 4 – Divisor de tensão e Shunt.

Os sinais de tensão e corrente são enviados através de cabos coaxiais a uma placa de aquisição de

dados que, através de um software específico, permite visualizar as formas de onda, harmônicos e valores de tensão, corrente total, corrente resistiva e potência dissipada pelo para-raios, conforme visto na Figura 5 - para um para-raios de 12 kV em bom estado.

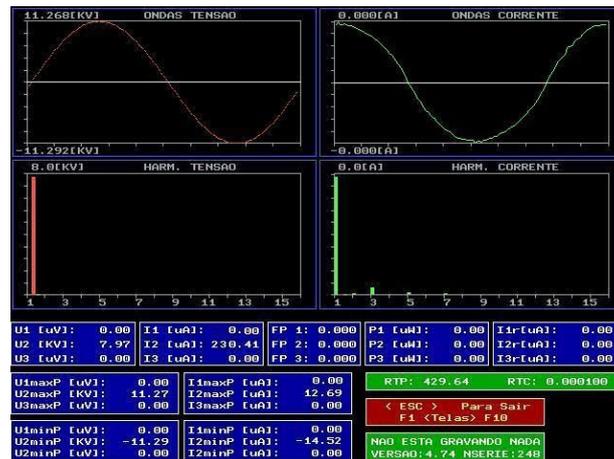


Figura 5 – Tela principal do software – para-raios de 12 kV em bom estado.

As Figuras 6, 7 e 8 mostram respectivamente, a tela principal para um para-raios de 12 kV com indícios de degradação, tela para um para-raios de 30 kV em bom estado e tela para um para-raios de 30 kV em degradação.

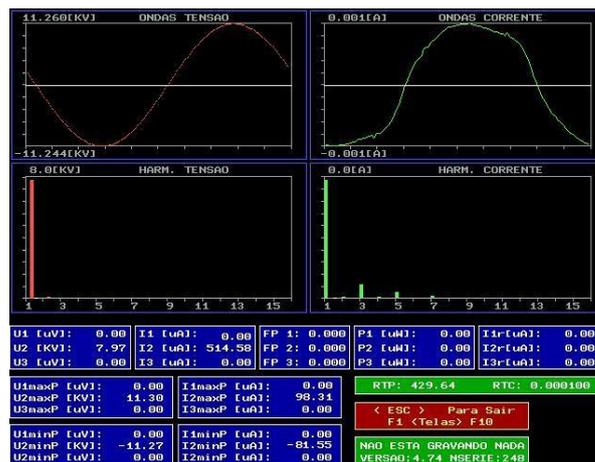


Figura 6 – Tela principal do software – para-raios de 12 kV em degradação.

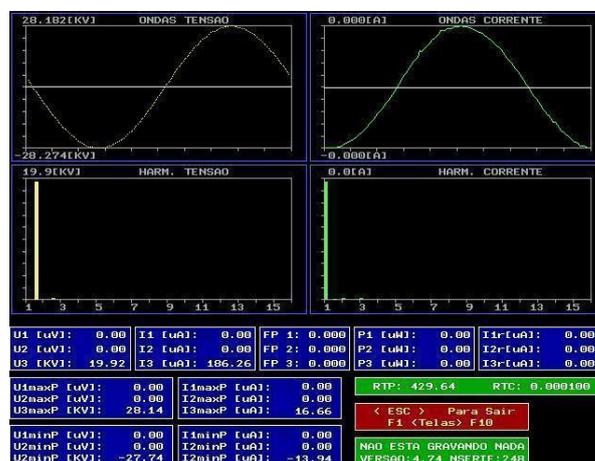


Figura 7 – Tela principal do software – para-raios de 30 kV em bom estado.



Figura 8 – Tela principal do software – para-raios de 30 kV degradado.

O alicate amperímetro foi utilizado simultaneamente com a bancada, medindo o valor da corrente de fuga total. O objetivo era comparar os resultados obtidos com as duas metodologias e verificar se os erros apresentados na medição com o alicate amperímetro eram baixos o suficiente para que um dispositivo semelhante pudesse ser utilizado nas medições em campo apresentando uma confiabilidade aceitável.

As amostras utilizadas foram distribuídas da seguinte forma:

- 43 Para-raios de 12 kV novos (sem uso);
- 43 Para-raios de 30 kV novos;
- 40 Para-raios de 12 kV em operação retirados em campo para os testes previstos no projeto;
- 40 Para-raios de 30 kV em operação retirados em campo para os testes previstos no projeto;
- 9 Para-raios de 12 kV dados como defeituosos retirados de operação com o desligador atuado;

Para cada classe de tensão, foram definidos quatro valores de tensão que deveriam ser aplicadas às amostras ensaiadas:

- Para-raios de 12 kV: ensaiados com tensões aplicadas de 7,17 kV – 7,97 kV – 10,20 kV – 12,00 kV;
- Para-raios de 30 kV: ensaiados com tensões aplicadas de 17,10 kV – 19,9 kV – 24,40 kV – 30 kV.

Tais tensões foram definidas com base nas características operacionais dos para-raios com tensões possíveis às quais o equipamento é submetido em operação normal. Estes valores correspondem à tensão fase-terra da rede, tensão fase terra reduzida em 10%, máxima tensão de operação contínua e tensão nominal.

Para os grupos de para-raios novos foi medido o valor RMS da corrente de fuga para cada um dos níveis definidos de tensão de ensaio, à temperatura ambiente e a 80°C.

A temperatura de 80°C representa uma estimativa de operação em condição de falha (efeito térmico da corrente elevada)^{4,5,6,7,8}.

Para os para-raios usados, as medições foram feitas apenas à temperatura ambiente.

As medições foram realizadas no LAT – Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Itajubá, e os equipamentos retirados dos sistemas da CELG – Companhia Energética de Goiás.

É importante salientar que a retirada dos equipamentos do sistema foi totalmente aleatória e que cada grupo é composto por modelos de diferentes fabricantes. O objetivo é generalizar os resultados obtidos.

b) Validação do alicate amperímetro

Após a medição das correntes de fuga foi iniciado um estudo envolvendo separação dos dados, detecção de erros grosseiros (medições fora do padrão), elaboração de gráficos e aplicação dos resultados. Primeiramente, era necessário testar a confiabilidade do equipamento de medição a ser utilizado no campo, comparando os dois métodos mencionados anteriormente.

Após coletados alguns dados, foram calculados os erros médios nas medições com o alicate. No Para-raios de 12 kV, foram de 0,41% na temperatura ambiente e 1,49% a 80°C.

O erro maior obtido para os ensaios a 80°C se deve ao fato de que as correntes neste caso apresentam uma elevada distorção harmônica não levada em consideração no cálculo do valor RMS feito pelo alicate, já que o mesmo não utiliza o cálculo baseado no “TRUE-RMS”, ao contrário da bancada de ensaio.

Para os supressores de surto de 30 kV, os erros médios para a corrente foram de 1,39% para a temperatura ambiente e 4,82% para 80°C. Isso mostra a total viabilidade de se utilizar o equipamento FLUKE® modelo 360 em medições de corrente de fuga. Passou-se, portanto, a trabalhar na análise estatística das correntes.

A Figura 9 a seguir mostra o alicate amperímetro utilizado.



Figura 9 – Alicate amperímetro em estudo.

c) Definição dos limites operacionais

O desafio era o de estabelecer limites máximos e mínimos para cada corrente de fuga, em cada tensão de ensaio. Foi utilizado o Minitab® 14^o para testar os grupos de medições, com o objetivo de encontrar a distribuição na qual aqueles dados melhor se encaixam.

O teste é feito com base no critério AD – Anderson-Darling. Deve-se plotar os pontos que correspondem aos valores de corrente medidos e comparar com os pontos de várias distribuições conhecidas. O resultado está mostrado a seguir, no exemplo da Figura 10.

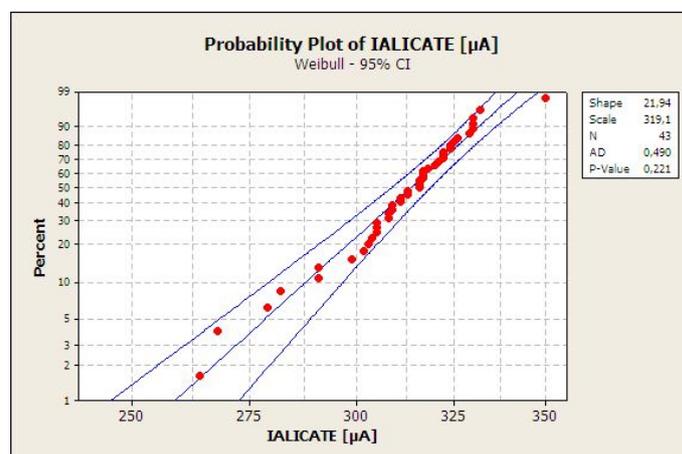


Figura 10 – Determinação da distribuição adequada.

O gráfico da Figura 10 mostra a comparação entre as correntes medidas em 10,20 kV no Para-raios de 12 kV com os dados da distribuição Weibull. Analisando de forma simples, no eixo x temos a “corrente de fuga” e no eixo y a “probabilidade da corrente ser no máximo igualada”; os pontos em vermelho são os valores medidos e as linhas azuis constituem a faixa de tolerância da distribuição. O Minitab® calcula a estatística de Anderson-Darling usando a distância quadrática ponderada entre a linha de ajuste do gráfico de probabilidade e o ponto da medição com pesos maiores na cauda da distribuição.

Ao aplicar este procedimento para várias distribuições diferentes, pode-se analisar e verificar qual distribuição se aproxima mais das correntes de fuga medidas em laboratório. Com isso, chegou-se a uma função densidade, mostrada a seguir.

A Figura 11 mostra o ensaio a 7,17 kV em Para-raios novos de 12 kV. A curva é a distribuição Weibull, que melhor se enquadrou para o grupo de correntes em questão.

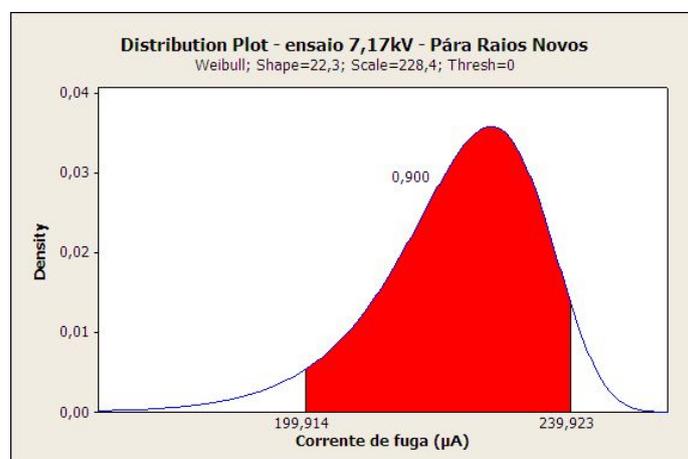


Figura 11 – Densidade de Probabilidade.

Fica estabelecido, com este gráfico, que correntes medidas aleatoriamente, na situação apresentada, têm 90% de probabilidade de estar na faixa de valores destacada em vermelho.

Após repetir o procedimento para todas as medidas, foi possível elaborar tabelas e gráficos indicando o comportamento da corrente de fuga em cada nível de tensão. As tabelas 1 e 2 apresentam os valores de corrente de fuga em Para-raios de 12 kV obtidos após a análise:

TABELA 1 – VALORES DE CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE 12 kV À TEMPERATURA AMBIENTE.

Para-raios de 12 kV – Temperatura ambiente				
Tensão [kV]	Corrente de fuga [µA]			Distribuição Utilizada
	Mínima	Esperada	Máxima	
7,17	199,676	224,809	240,302	Weibull
7,97	219,645	246,673	263,302	Weibull
10,20	278,696	313,812	335,461	Weibull
12,00	344,032	386,889	413,285	Weibull

TABELA 2 – VALORES DE CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE 12 kV A 80°C.

Para-raios de 12 kV – 80°C				
Tensão [kV]	Corrente de fuga [µA]			Distribuição utilizada
	Mínima	Esperada	Máxima	
7,17	211,442	278,609	367,113	Loglogistic
7,97	232,223	304,892	400,302	Loglogistic
10,20	342,785	398,319	497,104	Largest Extreme Value
12,00	457,335	526,601	649,812	Largest Extreme Value

As tabelas 3 e 4 apresentam os valores de corrente de fuga em Para-raios de 30 kV obtidos após análise:

TABELA 3 – VALORES DE CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE 30 kV À TEMPERATURA AMBIENTE.

Para-raios de 30 kV – Temperatura ambiente				
Tensão [kV]	Corrente de fuga [μ A]			Distribuição utilizada
	Mínima	Esperada	Máxima	
17,91	99,810	203,245	261,388	Smallest Extreme Value
19,90	113,179	226,212	289,756	Smallest Extreme Value
24,40	157,142	273,603	373,685	Weibull
30,00	198,563	377,354	541,387	Weibull

TABELA 4 – VALORES DE CORRENTE DE FUGA EM PARA-RAIOS DE 30 kV A 80°C.

Para-raios de 30 kV – 80°C				
Tensão [kV]	Corrente de fuga [μ A]			Distribuição utilizada
	Mínima	Esperada	Máxima	
17,91	271,700	294,696	319,638	Loglogistic
19,90	308,657	334,400	360,143	Normal
24,40	388,474	431,823	508,933	Largest Extreme Value
30,00	609,709	667,777	731,376	Lognormal

Com os valores mínimos, esperados e máximos da corrente em cada nível de tensão, foram construídos os gráficos das Figuras 12 e 13, definindo três regiões de operação:

- ✓ **Região de operação normal (azul):** faixa operacional na qual os valores de correntes de fuga correspondem a um Para-raios em bom estado de funcionamento. É determinada a partir dos valores de corrente de fuga obtidos nos ensaios à temperatura ambiente;
- ✓ **Região de operação com falha (vermelha):** faixa operacional na qual os valores de correntes de fuga correspondem a um para-raios defeituoso, com substituição recomendada. É determinada com base nos de corrente obtidos nos ensaios a 80°C;
- ✓ **Região intermediária:** Nesta região, entre a faixa azul e vermelha, o para-raios apresentam um comportamento intermediário ou duvidoso, não sendo possível afirmar com certeza se o mesmo encontra-se já em processo de degradação, sendo recomendado o seu acompanhamento constante.

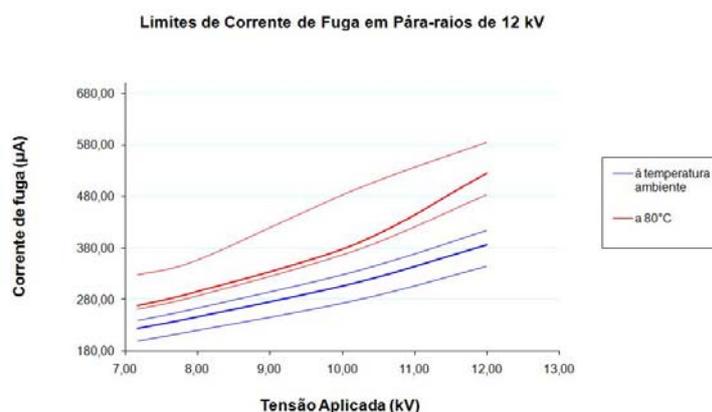


Figura 12 – Limites de correntes de fuga em para-raios de 12 kV.

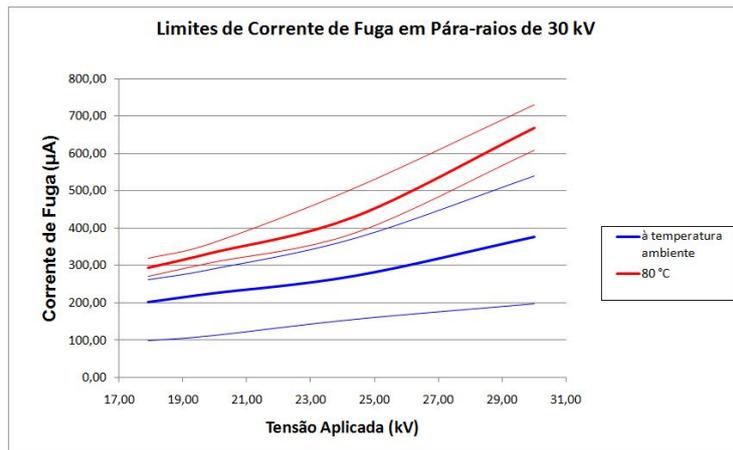


Figura 13 – Limites de correntes de Fuga em para-raios de 30 kV.

3. Aplicação dos resultados

Com o intuito de testar os limites calculados, foram feitas análises dos equipamentos em operação considerados em bom estado, denominados usados, retirados do sistema aleatoriamente para os testes previstos no projeto e equipamentos com desligadores atuados, retirados da rede pelas equipes de manutenção. A técnica utilizada foi plotar individualmente a medição de cada para-raios, o que possibilita visualizar a densidade das amostras em cada região determinada. As medições foram feitas à temperatura ambiente e a 80 °C conforme exposto acima. Os resultados são mostrados nas Figuras 14, 15 e 16 a seguir.

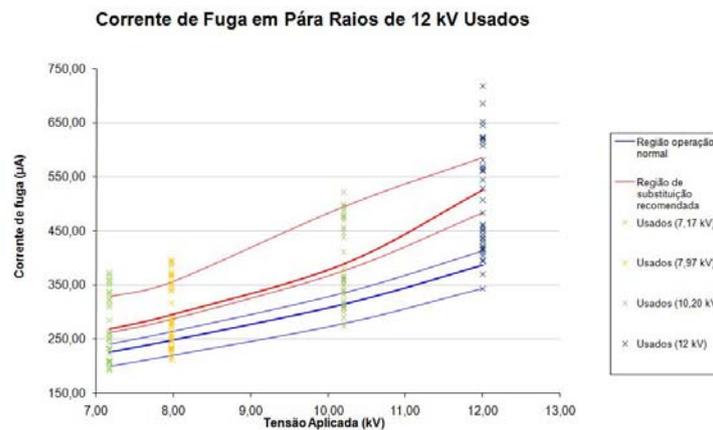


Figura 14 – Aplicação em Para-raios usados de 12 kV.

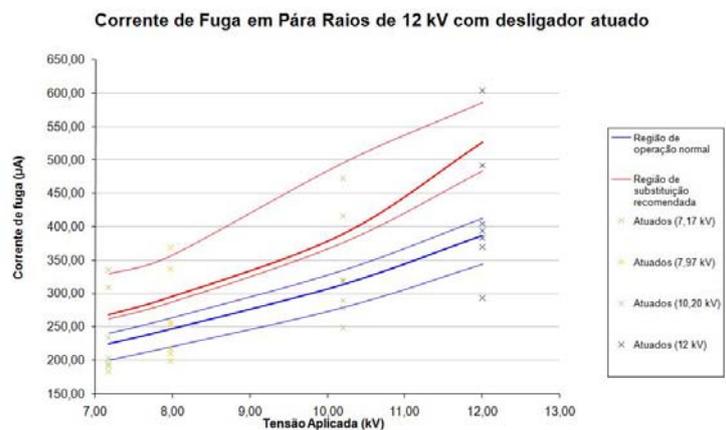


Figura 15 – Aplicação em para-raios de 12 kV usados e com o desligador atuado

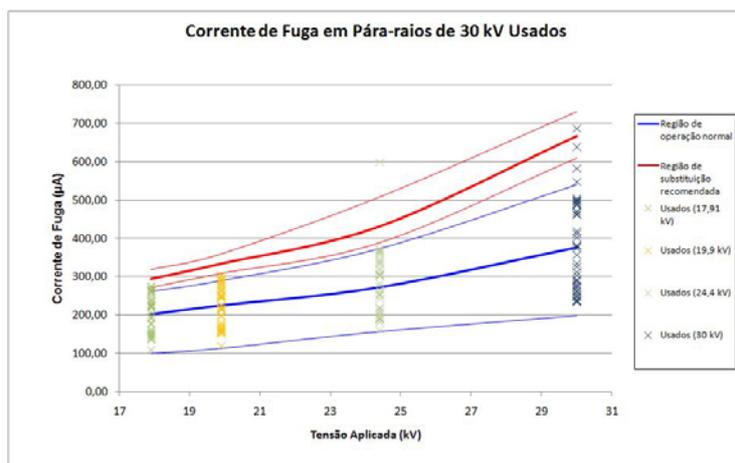


Figura 16 – Aplicação em para-raios usados de 30 kV.

Com base nos resultados destes gráficos foi possível observar que:

- ✓ Aproximadamente 50% das amostras de 12 kV retiradas do sistema estão na região de operação normal ou intermediária;
- ✓ Apenas 2 de 9 para-raios (22%) com desligador atuado mostraram-se defeituosos, segundo o critério adotado;
- ✓ Apenas 15% dos para-raios de 30 kV retirados do sistema situaram-se na região de substituição imediata.

4. Procedimentos de operação e manutenção

Com base nos resultados obtidos e nas características do alicate amperímetro, recomenda-se que sejam adotados os procedimentos a seguir para inspeção em campo:

- a) O micro amperímetro deve ser conduzido através de um bastão isolante até o condutor terra do para-raios;
- b) Através de dispositivo existente na base do bastão, deve-se abrir o sensor de corrente e fechá-lo sobre o condutor de aterramento (terra) medindo-se a corrente de fuga individualmente para cada para-raios. Enquanto o sensor de corrente estiver fechado sobre o condutor deve-se utilizar a função “hold” do micro amperímetro para que a leitura seja mantida no mostrador e o medidor removido do ponto de medição sem que a leitura seja eliminada;
- c) Comparar os resultados medidos com os da Tabela 5 para que seja tomada a decisão de substituir ou não os para-raios.

TABELA 5 – REFERÊNCIAS PARA AVALIAÇÃO DOS PARA-RAIOS DE ACORDO COM A CORRENTE DE FUGA

Tensão Nominal	Tensão na rede	Corrente de fuga medida	Avaliação inicial	Procedimento
12 kV	7,97 kV	Até 259 µA	Em bom estado	Mantido no sistema sem nenhuma intervenção
		Acima de 260 µA	Degradado ou em região de incerteza	Substituído e removido para avaliação
		Com desligador atuado	-	Substituído e removido para avaliação
30 kV	19,9 kV	Até 285 µA	Em bom estado	Mantido no sistema sem nenhuma intervenção
		Acima de 286 µA	Degradado ou em região de incerteza	Substituído e removido para avaliação
		Com desligador atuado	-	Substituído e removido para avaliação

5. Conclusões

A proteção contra sobretensões realizada pelos pára raios é de muita valia para o sistema elétrico. Diante disso, estabelecer parâmetros para avaliar o estado dos para-raios, bem como, detectar a operação indevida dos mesmos traz muitos benefícios ao sistema.

O critério utilizado para determinação dos limites operacionais em para-raios mostrou-se eficiente e coerente, conforme previsto, pois, de fato há uma alteração considerável da corrente de fuga nos para-raios operando com defeito.

O método estudado tornou-se uma excelente ferramenta de manutenção preventiva, que além de prática é de alta viabilidade econômica. Permite monitoramento rotineiro de para-raios, utilizando-se apenas de um alicate amperímetro, sem ser necessária a retirada dos para-raios do sistema. O alicate pode ser acoplado a um bastão isolante de modo que as medições possam ser feitas sempre que forem programadas inspeções na linha.

Os resultados obtidos estão servindo de base para a implantação deste método de monitoramento pela CELG. Neste caso, uma ultima recomendação seria a utilização de um alicate amperímetro com medição baseada no valor TRUE-RMS, tornando a medição mais precisa.

6. Referências bibliográficas

- [1] Hinrichsen, V. “Metal-Oxide Surge Arresters Fundamentals”. 1st Edition. Siemens – Power Transmission and Distribution Power Voltage Division. Berlin, 2001.
- [2] HEINRICH, C., HINRICHSEN, V.: “Diagnostics and Monitoring of Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Networks - Comparison of Existing and Newly Developed Procedures”. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 16, N° 1, January 2001.
- [3] WANDERLEY NETO, E. T., COSTA, E. G., SOUZA, R. T., MACEDO, E. C. T., MAIA, M. J. A.: “Monitoração e Diagnósticos de Para-raios a ZnO”. *Revista IEEE América Latina*, v.4, p.26 - 32, 2006.
- [4] EDA, K.: “Destruction Mechanism of ZnO Varistors Due to High Currents”. *J. Appl. Phys.*, Vol. 56, N° 10, pp. 2948 - 2954, November 1984.
- [5] MARTINEZ, M. L. B.: “Capacidade de Absorção de Energia de Resistores a Óxido Metálico – Considerações Teóricas e Métodos de Avaliação”. Tese de Doutorado. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- [6] FRANCO, J. L.: “Estudo das propriedades elétricas dos varistores de ZnO na região de baixas tensões aplicadas”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1993.
- [7] PEREIRA, M.P., DRUMOND, M.: de “Modelagem de Para-raios de ZnO para Estudos de Sobretensões Transitórias”. VIII SNPTEE, São Paulo, 1986.
- [8] NBR 5287, Pára raios de Resistor não linear a carboneto de Silício, SIC, para Sistemas de Potência-Especificação, ABNT, 1991.
- [9] MINITAB 14 ® - Statistical Software, Minitab Inc.