



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GSC 26  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO X**

### **GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO**

#### **NOVA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE DESLIGAMENTOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DEVIDO A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**Osmar Pinto Junior \* Kleber Pinheiro Naccarato**

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**Ricardo F. Abdo Simone A. de M. Garcia**

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

## **RESUMO**

O objetivo principal deste artigo é apresentar um novo Sistema de Análise e Alerta de Falhas (SAAD) em linhas de transmissão causadas por descargas atmosféricas. O sistema consiste num aplicativo computacional desenvolvido numa plataforma SIG compatível com qualquer tipo de banco de dados, permitindo que as informações georeferenciadas das linhas de transmissão sejam atualizadas automaticamente, e baseia-se numa metodologia inovadora a nível mundial. A metodologia considera as limitações em termos de eficiência de detecção e precisão de localização das informações provenientes de sistemas de detecção e localização de descargas atmosféricas, e as variações estatísticas associadas às características de ocorrência dos diferentes tipos de descargas, obtidas pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do INPE através de câmeras de alta velocidade.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Desligamentos, Linhas de transmissão, Descargas Atmosféricas, Metodologia

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

No Brasil a maior parte dos desligamentos transitórios ou permanentes não programados das linhas de transmissão é atribuída as descargas atmosféricas. Tais desligamentos causam distúrbios na qualidade do suprimento e da oferta de energia, ocasionando perdas de faturamento e elevação dos gastos com serviços de manutenção. Além disso, as concessionárias podem vir a ser multadas em função dos desligamentos.

Para a redução dos índices de desligamento, as empresas têm aplicado diversas técnicas, entre elas a instalação de pará-raios ZnO, a redução da resistência de aterramento de torres e a instalação de cabos-guardas. Em certas circunstâncias soluções combinadas destas técnicas têm sido empregadas.

Contudo, uma das dificuldades encontradas para a utilização efetiva destas técnicas é a determinação com confiança da origem do desligamento ser devido a descargas atmosféricas, sendo uma prática ainda comum no país atribuir-se as descargas a causa do desligamento quando não se tem uma outra causa aparente ou utilizar algoritmos simplificados que consideram a existência ou não de uma descarga individual (stroke) de uma descarga atmosférica dentro de uma faixa de extensão arbitrária ao redor da linha como o fator determinante da causa do desligamento. Tais práticas geram distorções nas informações históricas de desligamentos e impedem que as

empresas possam determinar com precisão os trechos críticos das linhas, responsáveis em boa parte pelo desempenho das linhas, e onde uma ação de proteção possa ter um retorno técnico-financeiro mais efetivo. Ao mesmo tempo, tais práticas impedem que ações operativas possam ser tomadas em tempo real com alto grau de confiabilidade.

A utilização de dados provenientes de redes de detecção de descargas atmosféricas na engenharia de proteção é uma prática recente no país e no mundo (1, 2, 3 4). Uma das primeiras iniciativas desta natureza ocorreu na metade da década de 1990, em um largo esforço desenvolvido pelo Electric Power Research Institute (EPRI) nos Estados Unidos (2), que culminou com o desenvolvimento do software FALLS (5). FALLS foi projetado para utilizar dados georeferenciados precisos das linhas de transmissão e o sistema GPS de tempo. Embora sofisticado para a época, FALLS apresentava duas limitações: ele era projetado para operar na pós-análise, e não em tempo real, e não levava em consideração as limitações de eficiência de detecção das redes de detecção em termos de strokes individuais. No Brasil, observações feitas com câmeras rápidas indicam que tal eficiência é da ordem de 50%, enquanto que a eficiência de detecção de flashes (relâmpagos) é da ordem de 80-90%. Mais recentemente, Kosmac and Djurica (6) desenvolveram um aplicativo similar aos FALLS que opera em tempo real, contudo ele também não leva em consideração as limitações de eficiência de detecção das redes de detecção em termos de strokes individuais. O uso de modo efetivo das redes de detecção para obter-se um alto grau de confiabilidade nas decisões requer que as informações geradas pelas redes sejam corrigidas levando-se em conta as limitações inerentes a esta técnica, principalmente a não detecção de todos os strokes de uma dada descarga atmosférica e a incerteza na localização dos strokes.

A baixa eficiência de detecção de strokes pelos sistemas de detecção é conseqüência de vários aspectos, entre eles a não detecção de strokes de fraca intensidade, abaixo do nível de ruído dos sensores, ou com formas de onda da radiação fora dos critérios de seleção normalmente considerados. A precisão de localização, por sua vez, depende das incertezas associadas com o instante de ocorrência e o ângulo azimutal de origem da radiação registrados pelos sensores do sistema de detecção.

Por sua vez, o conhecimento em termos probabilísticos das características espaciais e temporais dos strokes pertencentes a diferentes tipos (negativas e positivas) de descargas, entre elas à distância do ponto de contato com o solo de strokes subseqüentes em descargas bifurcadas, à distância do ponto de contato com o solo de strokes pertencentes a descargas subseqüentes, o tempo entre strokes subseqüentes de uma mesma descarga e a duração das descargas, é fundamental para a avaliação precisa de um evento de desligamento, principalmente em função da limitada eficiência de detecção de strokes pelos sistemas de detecção.

Neste trabalho é apresentada uma nova ferramenta para uso na análise de faltas denominada Sistema de Análise e Alerta de Faltas (SAAD). O (SAAD) permite as empresas determinarem de forma precisa se um desligamento é devido a descargas atmosféricas e, em caso afirmativo, o local do desligamento, a partir de algoritmo que leva em conta todas as incertezas envolvidas na detecção das descargas e nas características probabilísticas das descargas, bem como na determinação do instante de ocorrência do desligamento. O SAAD permite reavaliar todos os desligamentos registrados no passado, criando assim um banco de dados que permite determinar de forma precisa às regiões críticas das diferentes linhas de transmissão da empresa, onde ações diferenciadas de proteção devem ser tomadas. O sistema permite também determinar em tempo real e de forma automática se um dado desligamento é devido a uma descarga atmosférica e, em caso afirmativo, o local com precisão do desligamento, dando maior confiabilidade à tomada de decisão pela operação e maior agilidade aos trabalhos de manutenção para o restabelecimento da linha.

## 2.0 - METODOLOGIA E RESULTADOS PRELIMINARES

Da mesma forma que o FALLS, o SAAD leva em consideração os erros associados com a localização das descargas através das elipses de incerteza fornecidas pelo sistema de detecção. Porém, diferentemente do FALLS, ele opera em tempo real e leva em consideração em termos estatísticos por strokes não detectados pelo sistema. Para isto, o SAAD leva em conta o conhecimento estatístico a respeito do número de strokes por flash, do número de strokes bifurcados em flashes múltiplos, do tempo entre strokes subseqüentes, da duração dos flashes, da distância entre os pontos de contato com o solo de strokes sucessivos, e da distância de flashes sucessivos em uma mesma tempestade para determinar as distribuições de probabilidade no espaço e no tempo para os chamados "strokes virtuais", que representam os strokes não detectados pelo sistema de detecção, os quais estão relacionados aos strokes reais (ou detectados).

Quando correlacionando desligamentos em linhas de transmissão com strokes individuais deve-se levar em consideração tanto a correlação no espaço como no tempo. No domínio do espaço, a metodologia é descrita nas Figuras 1 e 2, assumindo que a localização da linha de transmissão é conhecida com precisão.

Figures 1 ilustra a metodologia utilizada para calcular a probabilidade integral de um dado stroke detectado pela rede de detecção causar uma falta, em termos dos contornos de probabilidades individuais para a localização do stroke (elipse de erro), a ocorrência de strokes virtuais para flashes simples e múltiplos e suas interações com um corredor ao redor da linha de transmissão, o qual é definido pela distância de atração da linha, calculada utilizando o pico de corrente estimado do stroke detectado. A dependência da distância de atração sobre a orografia pode ser implementada.

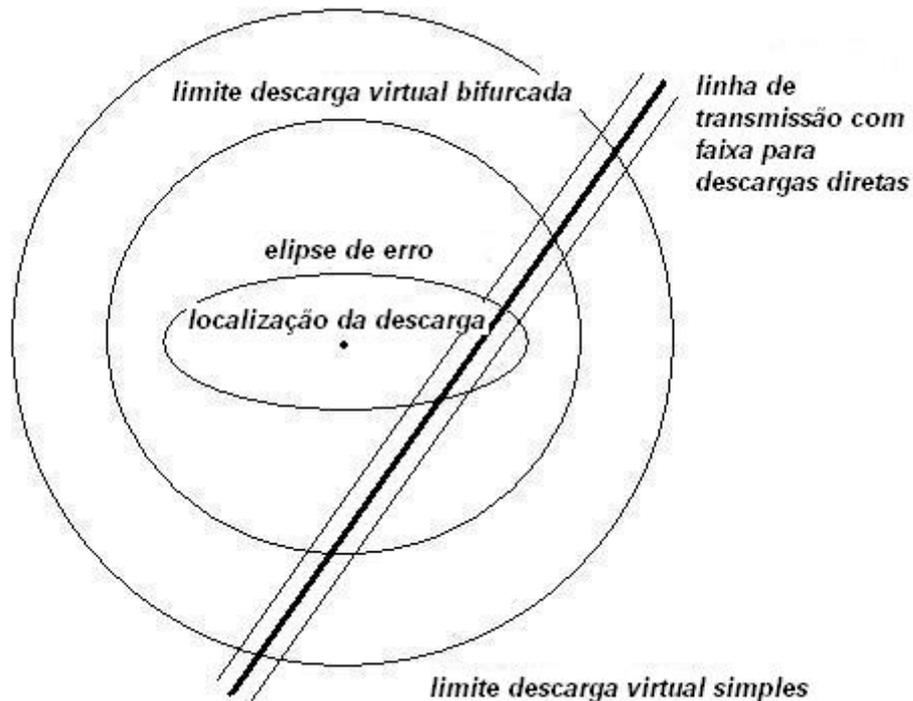


FIGURA 1 – Metodologia usada para o cálculo da probabilidade integral para um dado stroke.

A Figura 2 ilustra em duas dimensões a contribuição relativa das distribuições de probabilidade individuais para a probabilidade integral. Em um caso real, tais distribuições são definidas em termos de probabilidades integrais para os parâmetros citados acima no início desta seção.

Após serem calculadas as distribuições de probabilidade para todos os strokes (reais e virtuais), a probabilidade integral é computada para todos os strokes para um corredor (buffer) definido pela distância de atração a linha, considerando o pico de corrente associado aos strokes estimados pelo sistema de detecção, e para um dado intervalo de tempo, o qual é definido pela precisão do registro do instante do desligamento, considerando por sua vez a incerteza associada ao instante de ocorrência dos strokes virtuais. Finalmente, uma vez conhecida a probabilidade integral, ela pode ser relacionada a probabilidade real comparando ambas para um conjunto significativo de desligamentos cuja causa seja conhecida como sendo uma descarga atmosférica com confiabilidade.

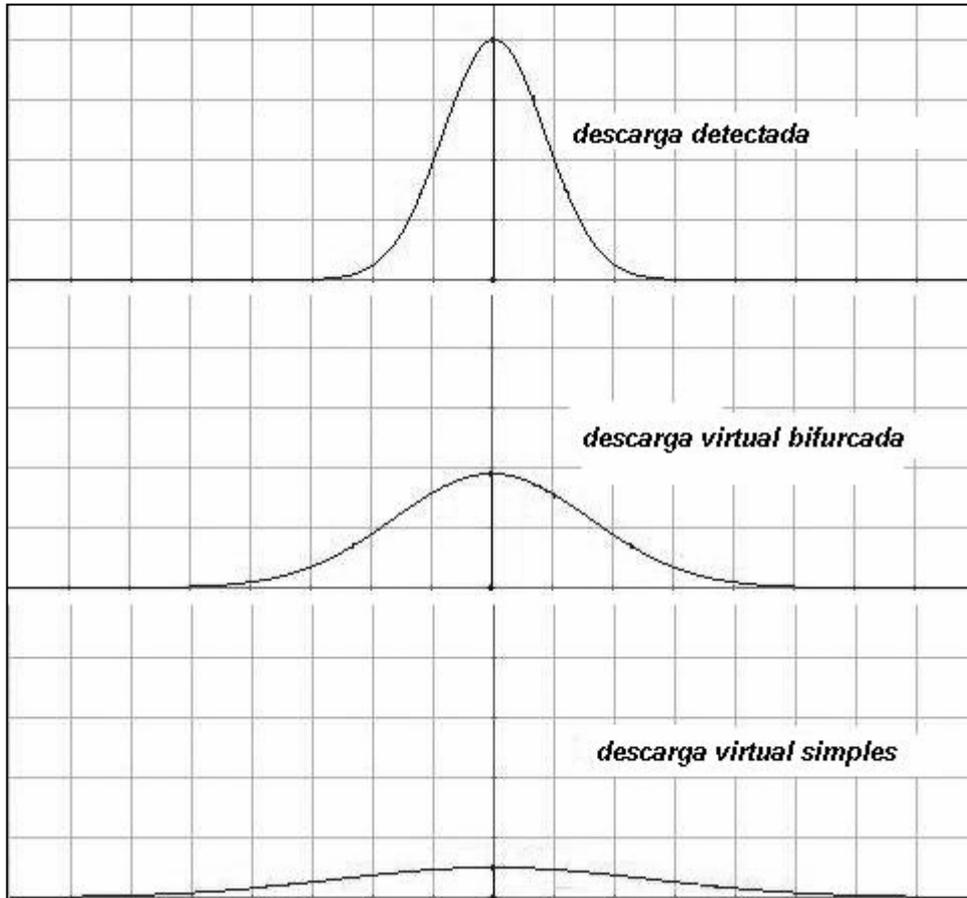


FIGURA 2 – Representação em duas dimensões da contribuição relativa das distribuições de probabilidade individuais para a probabilidade integral.

A interface do SAAD além de poder definir a incerteza associada ao horário estimado do desligamento, disponibiliza diversas ferramentas típicas de um sistema SIG que permite ao operador identificar as linhas, determinar atributos específicos para as linhas, determinar de forma simples distâncias, etc.

### 3.0 - CONCLUSÃO

Uma versão inicial do sistema foi instalada em Furnas Centrais Elétricas e encontra-se em operação. Os resultados já obtidos mostram que o SAAD permite correlacionar de modo mais realístico os desligamentos com a ocorrência de descargas atmosféricas, permitindo que a empresa possa tomar decisões em tempo real com confiabilidade. Em breve, o SAAD permitirá calcular de modo mais realístico a razão de desligamentos das linhas de transmissão do sistema de Furnas dando com isto um suporte adicional as atuais análises de proteção.

### 4.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer Clarice S. Suetsugo, Demétrius M. Ferreira, Iara R.C. de A. Pinto, Marcelo M.F. Saba, Marcos V. R. Lima, Miguel A. Carretero e Joelson R. de Oliveira pela participação no desenvolvimento do sistema SAAD.

### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Bernstein, R., R. Samm, K. Cummins, R. Pyle, and J. Tuel, Lightning detection network averts damage and speeds restoration, IEEE Computer Applications in Power, 12-17, 1996.
- (2) Kappenman, J.G., and D.L. Van House, Location-centered mitigation of lightning-caused disturbances, IEEE Computer Applications in Power, 36-40, 1996.
- (3) Cummins, K.L., E. P. Krider and M. D. Malone, The U.S. national lightning detection network and applications of cloud-to-ground lightning data by electric power utilities, IEEE Trans. Electr. Compatibility, 40,465-480, 1998.
- (4) Chen, S.M., Y. Du, and L.M. Fan, Lightning data observed with lightning location system in Guang-Dong province, China, IEEE Trans. on Power Delivery, 19, 1148-1153, 2004.
- (5) Cummins, K.L., M. J. Murphy, E. A. Bardo, W. L. Hiscox, R. B. Pyle and A. E. Pifer, A combined TOA/MDF technology upgrade of the U.S. national lightning detection network, J. Geophys. Res., 103, 9035-9044, 1998.
- (6) Kosmac, J., and V. Djurica, 2000: Real-time powerline outage to lightning location correlator, Proceedings of the International Lightning Detection Conference (ILDC), Tucson, Arizona.

### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Osmar Pinto Junior

Nascido no Rio Grande do Sul, RS, em 01 de setembro de 1954.

Doutorado (1984), Mestrado(1979): INPE e Graduação (1977) em Engenharia Elétrica: PUC-Rio Grande do Sul

Empresa: Instituto nacional de Pesquisas Espaciais, desde 1979.

Coordenador do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do INPE

Membro do Comitê Internacional sobre Eletricidade Atmosférica (ICAE)

Kleber Pinheiro Naccarato

Nascido em São Paulo, SP, em 25 de junho de 1974.

Doutorado (2005), Mestrado (2001): INPE e Graduação (1996) em Engenharia Elétrica: Universidade Federal de São Carlos-São Paulo

Pesquisador do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do INPE

Ricardo Fraga Abdo

Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 26 de outubro de 1978.

Graduação (2000) em Engenharia Elétrica: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Empresas: FURNAS Centrais Elétricas, desde 2001

Engenheiro da Divisão de Linhas de Transmissão

Simone Andrade de Melo Garcia

Nascida no Rio de Janeiro, RJ, em 18 de julho de 1954.

Mestrado (1990) e Graduação (1978) em Engenharia de Sistemas e Computação: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Empresas: FURNAS Centrais Elétricas, desde 1979

Coordenadora de Projeto da Assessoria de Planejamento da Informação