



GRUPO X

GRUPO DE ESTUDOS DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

MONITORAMENTO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: ANÁLISE DOS SISTEMAS EXISTENTES E AFERIÇÃO DO SLT DE MINAS GERAIS

Cláudia Rejane de Mesquita
Sílverio Visacro F.

André Luiz Fonseca Naime
José Luiz Silvino

LRC – Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
em Descargas Atmosféricas
UFMG

RESUMO

O conhecimento sobre a incidência de descargas atmosféricas possibilita muitas aplicações em engenharia. Dentre os mais importantes recursos para provimento deste tipo de informação encontram-se os Sistemas de Localização de Descargas (SLT's). Tais sistemas utilizam, na sua maioria, medições remotas de campos eletromagnéticos associados às descargas atmosféricas para computar a localização e extrair parâmetros destes eventos. Entretanto, algumas fontes de erro podem afetar a confiabilidade e eficiência e comprometer a qualidade dos resultados providos pelos mesmos, como aquelas influenciadas por aspectos ambientais e regionais. Este trabalho apresenta aspectos relativos a uma investigação em curso para aferição e calibração de sistemas desta natureza, que contempla o caráter regional, imprescindível na qualidade da aferição.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas Atmosféricas, Sistemas de Detecção de Descargas Atmosféricas (SLT), Erros dos Sistemas de Detecção de Raios.

1.0 – INTRODUÇÃO

Atualmente, várias técnicas são utilizadas para localização de descargas atmosféricas. Basicamente estas empregam dois tipos de recursos, o que permite

classificá-los em dois grupos: um primeiro grupo emprega medições remotas de campos elétrico e magnético e um segundo grupo utiliza detectores ópticos. Foram desenvolvidos diversos sistemas de detecção que empregam tais técnicas. No primeiro grupo podem ser incluídos sistemas do tipo LLP (Lightning Location and Protection System), LPATS (Lightning Position and Tracking System) e um sistema que utiliza a combinação deste dois, o IMPACT (Improved Accuracy from Combined Technology), além de um sistema que utiliza técnica interferométrica, o SAFIR. No segundo grupo podem ser incluídos os sistemas que utilizam detectores ópticos, tanto em base terrestre quanto em órbita através de satélites. Neste grupo podem ser destacados os sistemas OTD (Optical Transient Detector) e LIS (Lightning Imaging Sensor) ambos da NASA, cujos detectores são instalados em satélites [1].

Tais sistemas podem informar, além da localização da descarga atmosférica, a amplitude e polaridade da corrente de descarga, o instante de ocorrência, a diferenciação entre descargas nuvem-solo e outros tipos de descargas, dentre outros parâmetros associados.

Os sistemas que utilizam informações remotas de campo eletromagnético são largamente utilizados em todo o mundo, inclusive no Brasil. A CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e o

SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), possuem sistemas com tecnologia LPATS e IMPACT. Recentemente, com o sistema instalado por FURNAS Centrais Elétricas S.A. (tecnologia IMPACT e LPATS), tornou-se possível a interligação destes três sistemas constituindo-se a Rede Integrada de Detecção de Descargas Atmosféricas (RIDAT), no Brasil.

A interligação dos sistemas permitiu um melhor índice de detecção, maior precisão na localização e, principalmente, uma ampliação da área de cobertura do sistema, que passou a abranger as regiões sul sudeste e centro-oeste do Brasil.

A despeito do potencial de aplicação das informações providas por tais sistemas e incontestável avanço tecnológico que os mesmos representam, deve ser destacada a necessidade de prudência com relação às indicações dos mesmos.

Como todo sistema físico, os mesmos apresentam erros e limitações de eficiência em suas indicações. Existe uma tendência, talvez motivada pela tecnologia avançada destes sistemas, de assumir que os resultados obtidos tanto na localização das descargas quanto na intensidade da corrente de retorno sejam isentos de erros. Entretanto isto é questionável. Além dos erros inerentes aos sistemas, admitidos pelos fabricantes, existe uma variedade de fontes externas de erros, seja em função das hipóteses assumidas na concepção do sistema, seja devido à influência de fatores ambientais no local de implantação dos sistemas, que também podem comprometer suas indicações. Por outro lado, as limitações de eficiência de detecção, causadas pela não detecção de descargas ocorridas dentro da área de cobertura, podem comprometer as avaliações estatísticas das descargas atmosféricas.

Este panorama recomenda a aferição local do sistema, o que não se constitui em tarefa técnica trivial, dada a falta de referências reais para comparação com os resultados indicados pelo sistema.

Tal quadro motivou o desenvolvimento de uma pesquisa, em curso, através de um projeto cooperativo universidade-empresa, destinado a promover a aferição do SLT instalado em Minas Gerais. Este trabalho apresenta considerações sobre as avaliações preliminares da correspondente investigação.

2.0 – ASPECTOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE TEMPESTADES

Os sistemas de localização de tempestades mais usuais são o sistema LLP, o sistema LPATS e o sistema IMPACT.

2.1 – O sistema LLP

O sistema LLP é constituído basicamente por quatro subsistemas: estações indicadoras de direção (DF), central de análise (APA), sistema de exibição de rede (NDS) e sistema de comunicação. As estações *Indicadoras de Direção* (duas ou mais estações separadas por distância típica de 200 a 300 km) informam à *Central de Análise* a direção de chegada do pulso eletromagnético proveniente de uma descarga atmosférica (através da técnica da indicação de direção). A Central de Análise utilizando informações provenientes de duas ou mais estações e utilizando triangulação calcula o ponto de incidência da descarga. Esta informação de localização, além de outros parâmetros associados à descarga, são repassados *via Sistema de Comunicação* ao *Sistema de Exibição da Rede* que disponibiliza os dados para os usuários [2].

O sistema LLP caracteriza-se pelo emprego da técnica da indicação de direção [3]. Esta técnica consiste na medição do campo magnético gerado pela descarga através de um par de espiras ortogonais e verticais, onde a relação entre as amplitudes dos sinais induzidos nas duas espiras possibilita a indicação da direção de chegada do campo da descarga, conforme Figura 1.

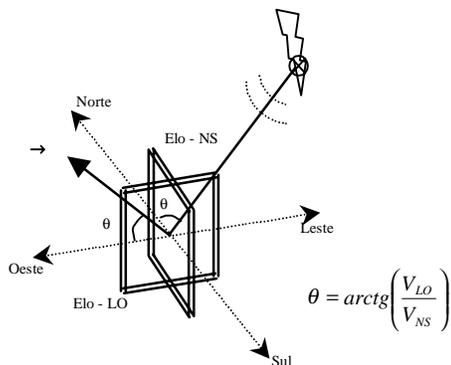


Figura 1 – Técnica de indicação de direção. θ é o ângulo indicado pela razão entre as tensões induzidas pelo campo H nas bobinas leste-oeste (V_{LO}) e norte-sul (V_{NS}).

Além das espiras de medição do campo magnético, existe uma antena de medição do campo elétrico, utilizada para determinar a polaridade das descargas e prover informações adicionais sobre as formas de onda deste campo eletromagnético.

Uma vez definido o ponto de ocorrência da descarga o sistema estima a corrente de descarga que causaria tal intensidade de campo magnético, assumindo-se determinado modelo para corrente de descarga (normalmente modelos tipo linha de transmissão).

2.2 – O sistema LPATS

Também o sistema LPATS é constituído por quatro subsistemas: estações receptoras remotas (RR), central de análise (CA), sistema de vídeo-informação (VIS) e sistema de comunicação. A *Estação Receptora Remota* (três ou mais estações separadas por distância típica de 100 a 400 km) informa à *Central de Análise* o instante de chegada do pulso eletromagnético. A central de análise, utilizando as informações de tempo de chegada de três ou mais estações (precisamente sincronizadas) calcula a localização da descarga a partir da diferença relativa de tempo entre estas estações, através de algoritmo com base em interseções hiperbólicas. Esta informação de localização, bem como alguns parâmetros associados à descarga atmosférica são repassados ao *Sistema de Vídeo-Informação* via *Sistema de Comunicação* [4].

O método de tempo de chegada envolve a determinação da localização da descarga atmosférica através da diferença relativa de tempo de chegada em pelo menos três estações [3]. A diferença de tempo de chegada entre duas estações receptoras remotas gera uma curva hiperbólica, lugar geométrico das possíveis soluções. Duas equações hiperbólicas, que podem ser obtidas através da existência de uma terceira estação detectora, possibilitam, através de interseção, a localização da descarga atmosférica, conforme Figura 2.

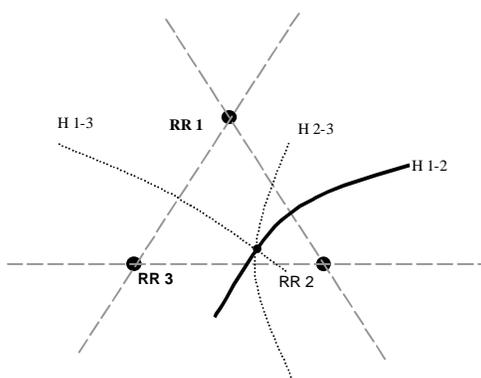


Figura 2 - Técnica do tempo de chegada. H_{1-2} , H_{1-3} e H_{2-3} são as hipérbolas geradas a partir das diferenças de tempo de chegada nas estações RR1 e RR2, RR1 e RR3 e RR2 e RR3, respectivamente.

O sistema LPATS utiliza modelos para corrente de descarga semelhantes aos adotados pelo sistema LLP.

Entretanto, utiliza as medições do campo elétrico para estimação da intensidade da corrente.

2.3 – O sistema IMPACT

Em 1994 surgiu, através da fusão das empresas de tecnologia de indicação de direção (LLP) e tempo de chegada (LPATS), o sistema IMPACT. Este novo sistema incorpora tanto informações de indicação de direção quanto informações de tempo de chegada. A utilização das duas tecnologias permite uma melhor precisão na localização das descargas, quando comparada às duas tecnologias separadamente [5].

2.4 – O SLT em Minas Gerais

Em 1988 foi instalado em Minas Gerais um SLT de tecnologia LPATS Série-III. Na ocasião, o sistema era constituído por 04 estações receptoras remotas. Estas estações e a central eram sincronizadas através de sinais de satélite e a comunicação de dados era feita por canais de microondas privativos da CEMIG. Em 1995 o sistema foi ampliado, com a instalação de mais duas estações receptoras LPATS Série-III. Em 1996 houve uma atualização do sistema, incorporando a tecnologia IMPACT e sincronismo de tempo por GPS. Atualmente o sistema é composto por 03 estações receptoras IMPACT e 05 estações LPATS Série-III [6].

3.0 – FONTES DE ERROS NAS INDICAÇÕES DOS SLT's

Os Sistemas de Localização de Tempestades (SLT) podem apresentar vários erros e limitações que vão depender do local de instalação, da configuração do sistema, das características de relevo, dentre muitos outros fatores. Tais erros, incidem tanto nas indicações de localização quanto na estimativa de intensidade de corrente.

As principais fontes de erro são consideradas a seguir.

3.1 – Erros associados ao modelo assumido do canal

Os SLT's utilizam na maioria das vezes o Modelo de Linha de Transmissão, ou algum modelo derivado deste. Estes modelos assumem o canal de descarga perfeitamente vertical, sem ramificações, com solo plano e perfeitamente condutor. Porém, em condições reais estas hipóteses não são consistentes. Ademais, permanecem dúvidas com relação às hipóteses assumidas para a velocidade de corrente de retorno no canal e condições de contorno, tanto no base da nuvem quanto junto ao solo [7].

3.2 – Erros de propagação

3.2.1 – Efeitos do solo e relevo na propagação

Para os pontos de detecção, de localização remota em relação aos pontos de incidência de descarga, a intensidade de campos irradiados reduz-se com o inverso da distância. Os SLT's possuem uma forma de compensação deste efeito baseada em fatores de correção. Entretanto, em solos de alta resistividade, ocorrerá também atenuação e distorção destes campos eletromagnéticos, por efeito da propagação. Neste caso, os fatores de correção devem contemplar, além da diminuição da intensidade de campo com o inverso da distância, estas características regionais do solo [8].

Numa outra abordagem, descontinuidades e alongamentos no relevo também podem inserir erros nas medições do campo eletromagnético. Num estudo realizado na Áustria foram observadas diferenças significativas na intensidade de sinal, normalizado numa mesma distância (100 km), entre diversas estações. Segundo os autores estas diferenças foram causadas pela presença de regiões montanhosas entre o ponto de descarga e algumas estações [9]. Os algoritmos dos SLT's não consideram nem os alongamentos na superfície da terra (montanhas e outras elevações do relevo), nem as descontinuidades presentes no relevo (montanhas, lagos, mares, solos de diferentes constituições). Os alongamentos podem gerar desvios de ângulo e de tempo nas indicações do sistema, uma vez que o campo eletromagnético, propagando-se na superfície, percorreria uma distância maior que aquela estimada pelos algoritmos. Já as descontinuidades podem gerar múltiplas reflexões e, conseqüentemente, deturpações nos sinais do campo eletromagnético.

Estes tipos de erros são mais críticos em sistemas que utilizam a técnica de tempo de chegada do sinal (ToA).

3.2.2 – Reflexões na ionosfera

O sinal vindo de uma descarga atmosférica pode sofrer reflexões na ionosfera, considerada uma "camada" condutora, e, em virtude desta característica, o campo eletromagnético pode ser refletido e a polaridade da descarga invertida. Tal fenômeno não é tão relevante, uma vez que está relacionado a sinais muito distantes (acima de 500 km) e o sistemas possuem meios eficazes de identificação deste erro.

3.3 – Erros locais

Os erros locais são erros sistemáticos associados à absorção e re-radiação do campo eletromagnético por objetos metálicos, tais como linhas de transmissão, tubulações enterradas, cercas e estrutura de construções e ainda pela presença de campo de fundo nas proximidades do local da estação.

Estes erros são comumente observados em sistemas indicadores de direção, pois provocam desvios no ângulo de indicação da descarga. Uma situação típica seria a mistura do sinal do pulso de descarga com sinais locais, gerados, por exemplo, por estações de rádio próximas às antenas.

Uma forma de se minimizar os erros locais consiste na correta escolha do local para a instalação das estações. Os fabricantes fornecem procedimentos padronizados para escolha da localização da estação, onde procura-se obter uma condição ótima para o funcionamento do sistema. [10][11]

Uma vez instalada a estação, as centrais de análise dos SLT's possuem, ainda, procedimentos de correção destes tipos de erros. Entretanto, para tal, é necessário um criterioso diagnóstico das estimativas de erro.

3.4 – Erros das antenas

Os erros das antenas são erros associados às limitações destas na detecção dos campos eletromagnéticos originados por descarga. Os indicadores de direção devem estar perfeitamente alinhados em relação ao norte geográfico. Qualquer desalinhamento de um indicador de direção participante da solução de descarga pode trazer imprecisões significativas na localização da descarga. Isto requer a verificação rotineira do alinhamento.

Por outro lado, uma condição básica para o perfeito funcionamento dos sistemas que utilizam a informação de tempo de chegada seria o sincronismo de tempo entre as estações, feito por antenas que recebem um sinal externo de referência de tempo. Caso os relógios destas estações não estejam devidamente sincronizados, a exatidão da localização da descarga pode ser comprometida.

Eventualmente, os componentes eletrônicos das antenas podem saturar-se na presença de um sinal muito intenso. O sistema tem como perceber um indício de saturação e suspender temporariamente o funcionamento desta antena, até a extinção deste sinal intenso. Neste caso as informações desta estação são descartadas pelo sistema no cômputo da localização da

descarga.

3.5 – Erros do sistema

São erros que envolvem configurações do sistema, como ajustes, valores de ganho, limiares de sensibilização, entre outros.

3.5.1 – Tipo de descarga atmosférica

Os SLT's frequentemente estão configurados para monitoramento de descargas nuvem-solo. Eles possuem alguns critérios de distinção de descargas de nuvens, fundamentados em alguns padrões de forma de onda de campo eletromagnético. Eventualmente, algumas descargas de nuvem podem ser detectadas pelo sistema e interpretadas como descarga nuvem-solo, implicando erros na eficiência de detecção.

3.5.2 – Períodos de Alta Atividade

Períodos de alta atividade podem afetar o perfeito funcionamento dos SLT's. Tanto a saturação das estações quanto a capacidade de processamento do sistema podem levar à perda de informações.

3.5.3 – Multiplicidade da Descarga Atmosférica

Os SLT's precisam de um tempo para processamento das informações da descarga atmosférica, chamado tempo morto. As informações de descargas subsequentes podem ser perdidas devido a este tempo de processamento.

3.5.4 – Digitalização da Forma de Onda

São erros associados à digitalização da forma de onda do campo elétrico e magnético.

3.6 – Implicações Relativas aos Erros

O número de estações, bem como sua disposição geográfica, a capacidade de processamento de dados, os sistemas de comunicação e o tipo de sincronismo de tempo entre estações e central são fatores que limitam a eficiência dos SLT's.

Por outro lado, as condições regionais de solo também podem afetar consideravelmente a precisão, uma vez que as tecnologias de localização de descargas atmosféricas utilizada pelo sistemas LLP, LPATS e IMPACT baseiam-se em informações de forma de onda digitalizada de campo eletromagnético. Solos de alta resistividade, como o de Minas Gérias, podem atenuar e distorcer significativamente estas formas de onda, talvez de maneira muito mais crítica que em

outras regiões no mundo. É importante também salientar que as características do solo mineiro podem ser completamente diferentes daquelas onde foram desenvolvidos os SLT's. Dessa forma os vários fatores de ajuste e correção desenvolvidos ao longo dos anos pelos fabricantes podem não ser adequados às condições mineiras e brasileiras.

4.0 – REALIZAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS

O quadro descrito mostra a susceptibilidade dos sistemas de detecção de descargas a erros e motivam a investigação em curso para aferição do SLT no estado de Minas Gerais.

A parte preliminar do projeto consistiu justamente na identificação e estudo das fontes potenciais de erro, cujo sumário foi apresentado anteriormente. A observação das análises demonstrou que, conquanto os eventuais erros intrínsecos do sistema podem ser minimizados por ajustes internos, permanecem subestimados os erros associados às questões de relevo e composição do solo local.

Uma análise do cenário levou à necessidade de serem definidas referências de medição para avaliação dos erros de indicação de localização e intensidade de corrente para cada região do estado. As análises indicam, também, a expectativa de caráter sistemático desses erros para cada região, uma vez que os fatores de erros locais permaneceriam praticamente inalterados no decorrer do tempo.

O trabalho de investigação assumiu, então, duas vertentes principais:

- Definiu-se a constituição de uma rede de medição em pontos estratégicos no estado para aferição do SLT e posterior calibração. A especificação das localizações considera as facilidades de medição local e questões de relevo.
- A concepção e desenvolvimento de dispositivos para medição e registro de ondas de corrente nestes locais.

Atualmente, ambas as atividades estão em curso e parte da rede deve estar instalada no decorrer do ano, para iniciar o fornecimento de informações de referência para comparação com os dados providos pelo SLT – MG, a partir da próxima temporada de descargas atmosféricas.

5.0 – CONCLUSÕES

No texto anterior foram descritas as principais fontes de erro, capazes de influenciar as indicações dos SLT's. Estudos vêm sendo realizados para se minimizar estas fontes de erros e aumentar a confiabilidade da localização e dos parâmetros de descargas atmosféricas indicados pelos sistemas. Destes erros, aqueles que aparentemente podem ter maior impacto no caso específico do sistema instalado em Minas Gerais, referem-se à influência do relevo e do tipo de solo na propagação do sinal irradiado pela descarga e detectado nas estações.

O caráter sistemático deste tipo de erro por região sugere a possibilidade de redução dos mesmos, através do levantamento das correções, a serem implementadas a partir da medição com uma rede de registradores instalados em todo o estado durante um período limitado.

Deve-se denotar a inadequação de se adotar, na calibração do sistema de Minas Gerais, resultados de trabalhos desenvolvidos em ambientes diversos do estado. Por exemplo, as condições locais do relevo e solo são extremamente diferentes daquelas da Flórida, foco de referência da maioria dos trabalhos que indicam procedimentos de calibração. Também existem evidências de que as características das descargas atmosféricas variam de região para região, o que pode agravar esta condição de “regionalidade”.

Outro aspecto a ser mencionado refere-se à fragilidade das abordagens que tentam implementar a exatidão dos sistemas, recorrendo à redundância de medição e aos estudos estatísticos. A redundância pode apontar para um resultado equivocado decorrente de erros sistemáticos (por exemplo no modelo de canal). Em sistemas com poucas estações, como o sistema em Minas Gerais, este tipo de análise não parece indicado.

6.0 – REFERÊNCIAS

[1] BOCCIPPIO, D.J.; CHRISTIAN, H.J.; “Optical Detection of Lightning from Space”; in Proc. of International Lightning Detection Conference, Tucson Arizona, USA; 1998.

[2] MAIER, M.W.; BYERLEY, L.G.; BINFORD, R.C.; HISCOX, E.P.; KRIDER, P.; PIFER, A.E.; UMAN, M.A.; “Gated, Wide-Band Magnetic Direction-Finders for Locating Cloud-to-Ground Lightning”, in Proc. of VII International Conference on Atmospheric Electricity, Albany, June 3-8, 1984, N.Y. Published by American Meteorological Society, Boston, Mass.

[3] GLOBAL ATMOSPHERIC, INC., “Introduction to Lightning Detection”, Copyright © 1996.

[4] ATMOSPHERIC RESEARCH SYSTEMS, INC.; “LPATS Training Course”; July 1988; Palm Bay, Florida, USA.

[5] CUMMINS, K.L.; MURPHY, M.J.; BARDO, E.A.; HISCOX, W.L.; PYLE, R.B.; PIFER, A.E.; “A combined TOA/MDF Technology Upgrade of the U.S. National Lightning Detection Network” ; in Journal of Geophysical Research, Vol. 103, N° D8, Pages 9035-9044, April 27, 1998.

[6] PINTO, O.J.; PINTO, I.R.; DINIZ, J.H.; FILHO, A.G.; CARVALHO, A.M.; CHERCHIGLIA, L.C.L; AMORIN, G.E.; “A Long-Term Study of the Lightning Flash Characteristics in the Southeastern Brazil 1. Flash Density and Polarity”, in Proc. of International Lightning Detection Conference, Tucson, Arizona USA, November 7-8 2000.

[7] RAKOV, V.A.; UMAN, M. A.; “Review and Evaluation of Lightning Return Stroke Models Including Some Aspects of Their Application”; IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility; Vol. 40, N° 4, November 1998.

[8] VISACRO, S.F. et. al., Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem de Engenharia (Livro). Belo Horizonte (2000).

[9] DIENDORFER, G.; SHULZ, W.; "Effects of Field Propagation on the Peak Current Estimates"; in Proc. of International Lightning Detection Conference, Tucson, Arizona, USA, November 17-18,1998.

[10] LIGHTNING LOCATION AND PROTECTION DIVISION, “Model 141-ALDF - IMPACT Advanced Lightning Direction Finder, Installation Operation and Maintenance Manual” , document number: IOM-4.0/141-T, version 4.0, manual revision date: May 9,1994.

[11] GLOBAL ATMOSPHERIC, INC., “Technical Manual for LPATS Remote Receiver Series III”, document number: – 40137 REV 9511, version 4.7, manual revision date: Nov 29, 1995.