SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

GSC 27
14 a 17 de Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO X

SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO – GSC

A INFLUÊNCIA DA EFICIÊNCIA DE DETECÇÃO DO LLS NOS DADOS GERADOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS: ANÁLISE DE UM CASO-ESTUDO

Cláudia Rejane de Mesquita*(1) **Rosilene Nietzsch Dias(1)** **Silvério Visacro(1)** **Armardo Cazetta (2)**

(1) Universidade Federal de Minas Gerais **(2) Companhia Energética de Minas Gerais**

LRC – LIGHTNING RESEARCH CENTER (UFMG/CEMIG)

RESUMO

O conhecimento sobre as limitações de sistemas de detecção e localização de descargas atmosféricas (LLS) é de fundamental importância para a correta interpretação dos dados providos por tais sistemas.

O objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma análise do impacto da Eficiência de Detecção desses sistemas nos parâmetros de descargas que disponibilizam, especialmente na distribuição dos valores de intensidade de correntes de retorno. É realizada uma análise de um caso-estudo, na qual se denota a relevância desse impacto e se apontam as variáveis de influência.

PALAVRAS-CHAVE

Sistemas de detecção e localização de descargas atmosféricas, Parâmetros de descargas atmosféricas, Desempenho de LLS, Eficiência de Detecção de raios

1.0 - INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas representam incontestável avanço tecnológico para a caracterização de parâmetros relativos a descargas. É grande o potencial de aplicação de suas informações. Tais sistemas calculam a localização do ponto de incidência de cada descarga individual (*stroke*) de uma descarga plena (*flash*), o instante de ocorrência e amplitude da corrente, entre outros parâmetros de interesse. No entanto, a aplicação dos dados disponibilizados pelo LLS na Engenharia de Proteção requer certos cuidados.

Os LLS apresentam algumas limitações que devem ser conhecidas para a correta interpretação das informações de descargas disponibilizadas. Além dos erros inerentes, admitidos e informados pelo próprio fabricante do sistema, existe uma variedade de fontes externas de erros decorrentes das hipóteses assumidas na concepção do LLS e da influência de fatores ambientais no local de implantação das estações detectoras do sistema.

O desempenho do LLS é usualmente quantificado pela sua eficiência em detectar as descargas atmosféricas (percentual de descargas que são detectadas e registradas pelo LLS), pela precisão da localização do ponto de incidência e pela precisão na estimativa da amplitude da corrente.

Um LLS apresenta diferentes níveis de Eficiência de Detecção (ED) ao longo da área coberta pela rede de sensores. A eficiência está condicionada por diversos fatores, por exemplo, a disposição física das estações detectoras, os tipos de sensores, as condições de operação dos mesmos etc.

Na maioria das vezes, a ED é estimada através de modelos dedicados, uma vez que o número real de descargas que atinge uma determinada região é desconhecido. Para melhor indicação do valor da ED, considerando-se uma determinada região ou local em estudo, deve-se utilizar registros gerados por outros sistemas de medição de descargas como referência, tais como os de torres instrumentadas, imagens de vídeo, os de descargas induzidas por foguetes, ou até mesmo registros de outro LLS. Neste último caso, há que se considerar a limitação, em termos da ED, do outro sistema de detecção utilizado como referência.

(*)LRC - Lightning Research Center – UFMG - Av. Antônio Carlos 6627 - Pampulha - CEP 31.270-901 - Belo Horizonte - MG - Brasil. Tel/ Fax: (+55 31) 3499-5455 Email: claudia@cpdee.ufmg.br Lrc@cpdee.ufmg.br

O fabricante do sistema apresenta um modelo teórico para a estimativa da eficiência de detecção (1), que assume algumas condições que nem sempre são satisfeitas: um perfeito funcionamento da rede de sensores, uma determinada distribuição de corrente de descargas, entre outros. Ao se analisar cuidadosamente os dados individuais dos sensores que participam da solução das descargas, pode-se observar que, nem sempre, o sensor do qual se espera a participação em uma determinada solução de descarga (devido à sua posição geográfica) contribui para tal. Acontecimentos como este podem reduzir a eficiência de detecção da rede, podendo influenciar nos resultados de descargas de forma mais ou menos intensa, de acordo com a região geográfica de interesse.

Este informe técnico apresenta os principais elementos que atuam no desempenho dos LLS, principalmente no que diz respeito à eficiência de detecção. Objetiva-se ampliar a visão crítica acerca da influência da ED na representatividade dos dados gerados pelo sistema. Para conferir maior clareza às colocações, considera-se um caso-estudo, onde é realizada uma análise de resultados gerados para três condições diferentes de eficiência de detecção em uma determinada região de interesse.

2.0 - CONSIDERAÇÕES BÁSICAS

A central de processamento do LLS considera as descargas individuais (*strokes*) e as submete a critérios de agrupamento (temporais e espaciais) usualmente definidos pelo fabricante para constituição da base de dados de registros de *flashes* (2). Os dados de registros de *flashes* são referentes a somente um *stroke* (usualmente o primeiro ou, conforme interesse do usuário, o mais intenso dos *strokes* pertencentes ao *flash*).

A eficiência de detecção de *strokes* é consideravelmente menor que a de *flashes*, uma vez que é necessário apenas um registro (um único *stroke*) para a detecção da descarga plena.

Também, a eficiência do LLS em detectar *strokes* subseqüentes pode ser bem inferior que a ED para os primeiros *strokes*, uma vez que os eventos subseqüentes se caracterizam por apresentar na maioria das vezes amplitudes de corrente inferiores (3). Este comportamento se agrava ao afastar-se do centro da rede de sensores, visto que os sinais de campos gerados por eventos de baixa amplitude podem ser insuficientes para propagar por maiores distâncias e ser detectados pelo número mínimo de sensores exigido para o cômputo da solução do *stroke*.

O valor da ED de *flashes* pode ser estimado através de modelos teóricos ou, até mesmo, modelos que se fundamentam na própria base de dados, utilizando a eficiência de detecção relativa dos sensores da rede.

2.1 Modelos para estimativa da ED de *flashes*

A eficiência de detecção geralmente é representada por linhas de contorno (isocurvas), que circunscrevem regiões com eficiência de detecção maior ou igual ao valor indicado em percentual. É de se esperar que, à medida que as linhas se afastam do centro da região de cobertura do sistema, o valor da eficiência se reduz. O fabricante utiliza um modelo teórico para cálculo da eficiência de detecção de *flashes* da rede (1) que leva em conta vários fatores, entre eles:

- Eficiência individual de cada sensor (capacidade de detecção);
- Sensores em operação contínua (sem interrupções de detecção de sinais e/ou envio de dados à central de processamento);
- Tipo de sensores que compõem a rede de detecção (tecnologia dos sensores);
- Número médio de sensores sensibilizados que contribuem para a solução da descarga;
- Distribuição geográfica dos sensores (geometria da rede e região de cobertura);
- Distribuição estatística da amplitude de corrente.

Na literatura, são encontrados outros modelos para estimativa da ED de *flashes* que utilizam a própria base de dados do LLS (4,5). Tais modelos baseiam-se na ED relativa dos sensores da rede e assume-se uma determinada região como referência, caracterizada por apresentar melhor valor esperado para ED. Porém, Deve-se tomar cuidado principalmente nas bordas da área coberta pelo LLS, local onde a eficácia de qualquer método que utilize a eficiência relativa dos sensores torna-se reduzida.

2.2 ED referenciada em outros sistemas de medição

Existem outros métodos mais eficazes para a determinação ou verificação da ED de *flashes* e *strokes*. Estes métodos se baseiam na correlação entre os registros de LLS e referências reais de incidência de descargas para o solo. A despeito da melhor avaliação, tais métodos se restringem a determinação da ED para um ou poucos locais de monitoramento dentro de uma ampla região coberta pelo LLS.

Na literatura, são encontrados alguns trabalhos que avaliam o desempenho de LLS através da utilização de imagens de vídeo em conjunto com medições de campo elétrico (6,7,8). Nestes trabalhos é avaliada a eficiência de detecção de *flashes* e *strokes*. Segundo referência (7), os níveis de ED encontrados para três regiões de estudo nos E.U.A (Arizona, Texas e Oklahoma) encontram-se na faixa de 81% a 95% para *flashes* e na faixa de 78% a 87% para detecção de *strokes*. A ED do LLS pode também ser avaliada considerando medições diretas de descargas atmosféricas, realizadas através de torres instrumentadas (9).

Quando uma região é coberta por mais de um LLS, a ED de um dos LLS pode ser avaliada assumindo-se o LLS

que possui melhor desempenho como referência (10). Porém, neste caso a ED avaliada fica limitada à ED do LLS de referência.

3.0 - EFEITOS DA ED NOS DADOS DE DESCARGAS

As análises estatísticas dos dados de descargas atmosféricas providos por LLS podem ser seriamente comprometidas pela ED do sistema. Assim, para uma avaliação adequada dos resultados oriundos do LLS, é necessário conhecer como a ED pode afetar os dados gerados.

A eficiência de detecção de uma rede tem efeito significativo na densidade de descargas, na distribuição de amplitude de corrente e na multiplicidade dos *flashes*.

Como a região coberta pela rede de sensores apresenta níveis diferenciados de ED, os mapas de densidade de *flashes* devem ser analisados com cautela. Tais mapas podem ser corrigidos quando se tem uma estimativa do valor da ED ao longo da área de cobertura. Porém, ressalta-se que tal estimativa pode não ser representativa. Ela pode ser obtida através do modelo teórico desenvolvido pelo fabricante do sistema ou a partir de outros modelos que utilizam a própria base de dados do LLS. Neste último caso, mesmo aplicando a correção, o número de *flashes* pode ser super ou subestimado principalmente na borda da região de cobertura do LLS.

Outro elemento que pode influenciar na densidade de *flashes* é a "contaminação" da base de dados de descargas nuvem-solo por descargas de nuvens. Estas últimas podem ser erroneamente classificadas pelo LLS como evento para solo. Na possibilidade do grau de contaminação ser significativo, o mesmo deve ser compensado para se ter maior confiabilidade na informação gerada (11). O fabricante do sistema sugere que a principal fonte de contaminação sejam os eventos positivos de baixa intensidade e recomenda desconsiderar eventos positivos com amplitudes inferiores a 10 kA (8).

A multiplicidade dos *flashes* é extremamente influenciada pela eficiência de detecção dos *strokes*. Usualmente os valores de corrente dos *strokes* subseqüentes são menores que dos primeiros. Conseqüentemente, a eficiência do LLS em detectar tais eventos é também menor, especialmente para os *strokes* subseqüentes de maior ordem de ocorrência. Avaliar mapas de multiplicidade obtidos a partir de dados do LLS requer muita cautela, pois a eficiência de detecção reduz à medida que se afasta do centro da rede. Com isso, a multiplicidade se torna ainda mais reduzida nas bordas da região de cobertura da rede. O que se observa na construção de mapas de multiplicidade é que o valor médio que predomina nas bordas da área de abrangência de um LLS (por exemplo, a RINDAT) é próximo a um (12).

A distribuição da intensidade de corrente pode ser fortemente influenciada pela eficiência de detecção das descargas. Eventos de baixa intensidade e dependendo do seu ponto de incidência em relação à rede de sensores podem não ser percebidos pelo número mínimo de sensores requeridos para a solução da descarga. Mapas de valores médios de corrente apresentam também o efeito das bordas da rede, local onde os valores tornam-se significativamente maiores (12,13,14). A análise dos valores absolutos de corrente depende também da representatividade do modelo de estimativa adotado pelo sistema. Tal modelo é aplicando visando compensar os efeitos de atenuação do sinal de campo eletromagnético ao se propagar sobre a superfície de condutividade finita. Porém, o mesmo modelo é aplicado para toda a região de cobertura sem levar em conta as diferenças das características de solo. Sendo assim, recomenda-se a análise relacional, evitando análises em termos de valores absolutos até que se efetue a adequada calibração do LLS.

4.0 - ANÁLISE DE UM CASO ESTUDO

4.1 Metodologia

Objetivando-se exemplificar o efeito da ED nos dados de descargas gerados por LLS, definiu-se uma região para análise. Tal região refere-se a uma área descrita por um raio de 10 km em torno da Estação Morro do Cachimbo. Esta região foi escolhida por situar-se no centro da rede (Figura 1), onde se encontram os maiores valores para a eficiência de detecção para *flashes* (ED obtida através da aplicação do modelo do fabricante, descrito no item 2.1).

As análises de ED foram efetuadas considerando-se os dados de *strokes* incidentes na área de estudo obtidos pelo próprio LLS, num período de dois meses (dezembro de 2006 e janeiro de 2007), considerando-se diferentes configurações físicas da rede. Por referência (eficiência de detecção de 100%), assumiu-se a massa de dados de *strokes* obtida com a configuração completa dos sensores constituintes da rede (25 sensores).

As diferentes configurações físicas da rede foram obtidas retirando-se gradualmente os sensores 9 e 2. Desta forma, foram obtidas duas diferentes configurações: com 24 sensores (desconsiderando-se o sensor 9) e 23 sensores (retirando-se os sensores 9 e 2). Assim, foram criadas diferentes situações de eficiência de detecção para a região de estudo.

As análises apresentadas a seguir foram embasadas na comparação dos bancos de dados de *strokes* obtidos pelo reprocessamento de dados brutos do LLS considerando-se a região em questão e as três configurações físicas descritas acima (com 25, 24 e 23 sensores). Para fins de melhor identificação, as diferentes configurações foram denominadas LLS-25, LLS-24 e LLS-23, referindo-se à quantidade de sensores utilizados no reprocessamento.

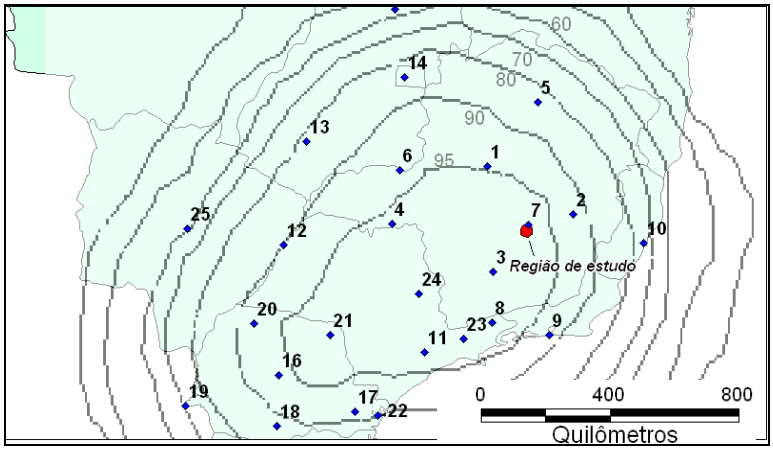

FIGURA 1 – Região de estudo e Eficiência de Detecção para *flashes* obtida através da aplicação do modelo desenvolvido pelo fabricante

4.2 Resultados e análises

Considerando-se a região de estudo, a Tabela 1 apresenta os resultados gerais obtidos para cada configuração analisada. Tem-se também o número de registros obtidos quando se utiliza o banco de dados *online* (dados obtidos diretamente pela central de processamento do LLS, em tempo real).

O número de registros correlatos com os registros de descargas obtidos quando se utiliza a configuração LLS-25 (ED = 100%) são determinantes da ED de cada configuração. A correlação entre os registros foi estabelecida comparando-se os instantes de ocorrência de cada registro de *stroke* obtido na central de processamento segundo a configuração utilizada com o respectivo registro obtido na configuração LLS-25. Para a configuração de referência, foram registrados 408 *strokes*; destes, 46 (11%) são positivos.

TABELA 1 – Número de *strokes* registrados para cada configuração analisada

	Dados *online*	**LLS-24**	**LLS-23**
Registros Totais	404	307	206
***Strokes* positivos**	42 (10%)	24 (8%)	10 (5%)
Registros correlatos com LLS-25	404 (**ED = 99%**)	283 (**ED = 69%**)	174 (**ED= 43%**)
Registros sem correlação*	0	24	32
Registros não-detectados	4	125	234

**Nota*: *Registro detectado pela configuração analisada, mas não considerado como registro pela configuração de referência LLS-25. Estudos mais detalhados estão em curso para explicar a origem destes eventos.*

Observa-se que o percentual de *strokes* positivos diminui à medida que se reduz a eficiência de detecção do sistema. O número de registros sem correlação com a configuração de referência aumenta, assim como o número de registros não-detectados pelo sistema.

A Tabela 2 apresenta a análise estatística dos eventos registrados para a configuração de referência e para os *strokes* correlatos das demais configurações consideradas no reprocessamento. São apresentados os dados de intensidade de corrente e os parâmetros de qualidade dos dados fornecidos pelo LLS (Número de sensores participantes nas soluções, graus de liberdade, semi-eixo maior da elipse de confiança e chi-quadrado).

Conforme esperado, quanto menor a eficiência de detecção, maiores são os valores médios e medianos da intensidade de corrente (acréscimo de 12% e 35% na intensidade média e 14% e 41% para os valores medianos dos *strokes* negativos e acréscimo de 17% e 56% para valores médios e 25% e 47% para intensidade mediana dos *strokes* positivos). De uma forma geral, observou-se um aumento dos desvios para todos os parâmetros considerados na análise.

O aumento no número de sensores observado para as configurações LLS-24 e LLS-23 pode ser explicado pelo fato de que, usualmente, os eventos detectados nestas configurações são aqueles de maior intensidade de corrente. Os sinais de campo gerados por tais eventos são capazes de se propagar por maiores distâncias e serem detectados por um número maior de sensores (mesmo com a exclusão de um ou dois sensores).

A qualidade dos dados pode ser mensurada pela estimativa do erro de localização do *stroke*, representado pela elipse de confiança (15). Observa-se que, quanto menor a ED, maiores os valores de erro encontrados. Outro parâmetro de qualidade, o chi-quadrado (medida dos desvios das informações de tempo e/ou ângulo dos sensores na solução ótima da descarga) apresentou melhores valores para a configuração de menor ED, contrariando as expectativas. Isto pode ser explicado pelo fato de que este parâmetro é normalizado pelo grau de

liberdade das medições (relativo às redundâncias de informações para determinação da solução ótima). O grau de liberdade apresentou aumento para as configurações LLS-24 e LLS-23.

TABELA 2 – Estatística dos registros de *strokes*: Eventos da configuração de referência e eventos correlatos

		LLS-25		LLS-24		LLS-23	
Strokes		**Negativos**	**Positivos**	**Negativos**	**Positivos**	**Negativos**	**Positivos**
Amostras		**362**	**46**	**261**	**22**	**164**	**10**
I_p (kA)	**Média**	28,2	18,1	31,5	21,2	38,1	28,3
	Mediana	21,0	16,0	24,0	20,0	29,5	23,5
	Desvio	23,6	8,7	23,8	10,7	25,7	11,7
Número de sensores	**Média**	6,3	5,3	6,3	5,6	6,6	6,2
	Mediana	6,0	5,0	6,0	5,0	6,0	5,5
	Desvio	2,5	2,0	2,5	2,4	2,7	2,8
Grau de liberdade	**Média**	4,4	2,7	4,7	3,3	5,6	4,6
	Mediana	3,0	2,0	4,0	2,5	5,0	3,5
	Desvio	3,3	2,5	3,3	3,0	3,3	3,3
Semi-eixo maior (km)	**Média**	1,9	1,2	2,1	1,7	3,1	2,7
	Mediana	0,7	0,7	0,8	0,6	0,9	0,5
	Desvio	5,8	3,3	6,2	4,8	7,9	7,2
Chi-quadrado	**Média**	2,4	3,4	2,7	3,7	2,1	2,0
	Mediana	1,4	1,4	1,7	2,3	1,5	1,6
	Desvio	2,5	4,0	2,9	4,0	1,8	1,5

A distribuição de corrente dos *strokes* negativos obtida para as três configurações é ilustrada na Figura 2, e as respectivas distribuições cumulativas na Figura 3. Observa-se um deslocamento da distribuição de intensidade de corrente, aumentando-se seus valores médios (somente eventos mais intensos são captados pelos sensores atuantes).

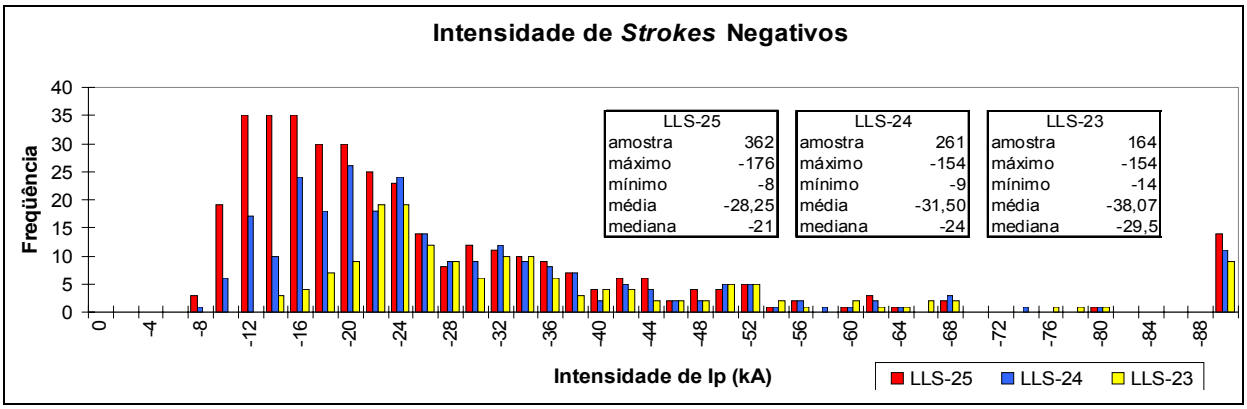

FIGURA 2 – Distribuições de intensidade de corrente

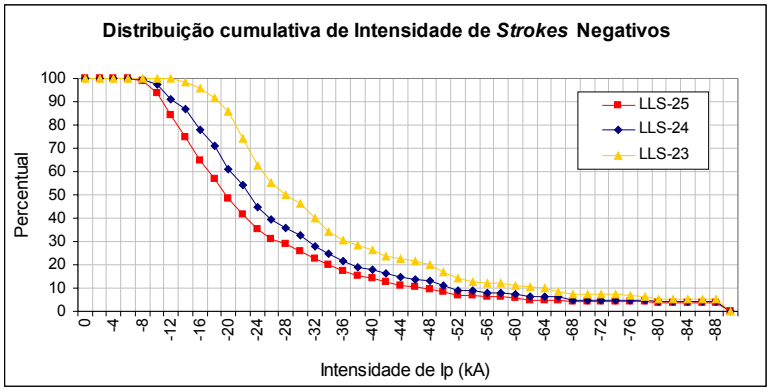

FIGURA 3 – Distribuições cumulativas de intensidade de corrente para as configurações de dados reprocessados.

Na Tabela 3 e Figura 4, tem-se os resultados estatísticos obtidos para os eventos perdidos quando se aplicam as configurações LLS-24 e LLS-23 na central de processamento. Observa-se neste caso que, à medida que a eficiência de detecção do LLS diminui, aumenta-se o número de registros de descargas com menores intensidades de corrente que deixam de ser detectados (principalmente os eventos com intensidade entre os intervalos 10 e 15 kA, como mostra a Figura 4).

TABELA 3 – Estatística dos registros de *strokes* para os eventos não-detectados

		LLS-24		LLS-23	
Strokes		**Negativos**	**Positivos**	**Negativos**	**Positivos**
Amostras		**100**	**25**	**198**	**36**
I_p (kA)	**Média**	20,6	14,9	19,8	15,2
	Mediana	15,0	16,0	16,0	13,0
	Desvio	22,0	4,9	16,5	4,9
Número de sensores	**Média**	5,2	4,5	5,3	4,7
	Mediana	5,0	5,0	5,0	4,0
	Desvio	2,0	0,8	1,5	0,9
Grau de liberdade	**Média**	2,5	1,6	2,7	1,8
	Mediana	2,0	2,0	2,0	1,5
	Desvio	2,5	0,9	1,7	1,0
Semi-eixo maior (km)	**Média**	1,6	0,8	1,3	0,8
	Mediana	0,7	0,7	0,7	0,7
	Desvio	4,7	0,2	3,6	0,2
Chi-quadrado	**Média**	2,3	3,8	2,8	3,8
	Mediana	1,3	1,4	1,6	1,5
	Desvio	2,7	4,3	3,1	4,3

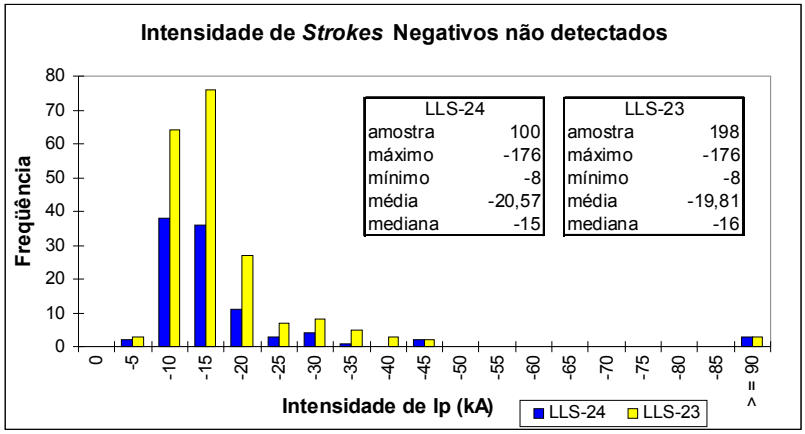

FIGURA 4 – Distribuições de intensidade de corrente para os *strokes* não-detectados

A Tabela 4 caracteriza a participação dos sensores 02 e 09 nos dados de *strokes*, objetivando-se analisar o efeito da retirada destes sensores na obtenção das massas de dados das configurações LLS-24 e LLS-23. Trata-se de quantificar, para cada configuração, os registros onde a participação do sensor na solução da descarga foi ou não relevante (se foi determinante na detecção do registro analisado) em relação aos registros obtidos utilizando-se a configuração de referência LLS-25.

TABELA 4 – Participação dos sensores 02 e 09 na constituição do banco de dados das configurações analisadas

Número de registros de *strokes*	**LLS-24**	**LLS-23**
Participação do sensor 02 irrelevante.	------	101 (25%)
Participação do sensor 09 irrelevante.	148 (36%)	55*
Participação do sensor 02 relevante.	------	193 (47%)
Participação do sensor 09 relevante.	117(27%)	156*
Sensor 02 não participou na solução	------	114 (28%)
Sensor 09 não participou na solução	135 (33%)	63**
Total de *strokes* considerados	408	408

Notas:
** considerando-se os sensores 02 e 09 para detecção do evento.*
*** Não houve participação nem do sensor 02 nem do sensor 09.*

Completando as análises aqui apresentadas, a Figura 5 apresenta a eficiência de detecção individual de cada sensor, apresentando o número de *strokes* detectados nos quais houve a participação do mesmo, bem como sua distância ao centro da área de análise, indicada na Figura 1.

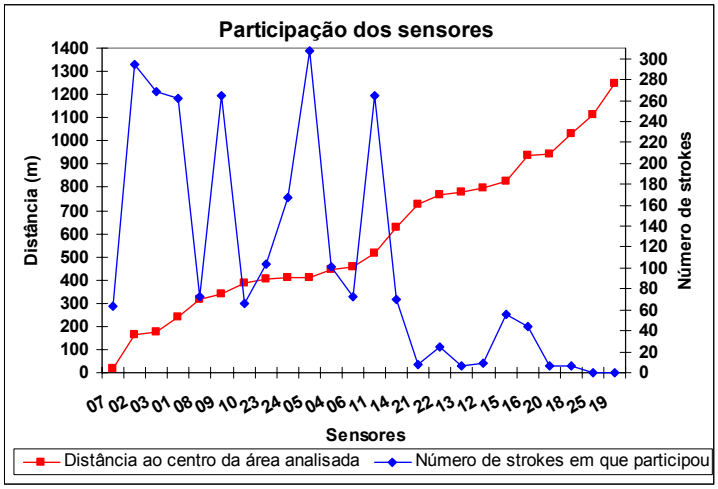

FIGURA 5 – Eficiência de detecção individual dos sensores

Também, para caracterizar a ED individual dos sensores constituintes da rede, a Figura 6 apresenta o percentual de horas nas quais o sensor esteve inoperante, considerando-se o período de dados analisado (devido a problemas operacionais no próprio sensor ou de transmissão de dados à central de processamento do LLS). Nota-se que em alguns casos, o sensor teve baixa participação na constituição da massa de dados de referência LLS-25, pois esteve inoperante durante boa parte ou até mesmo durante todo o período analisado. Tais fatores devem ser considerados quando se deseja análises apuradas de qualidade do banco de dados de descargas atmosféricas providos pelo sistema.

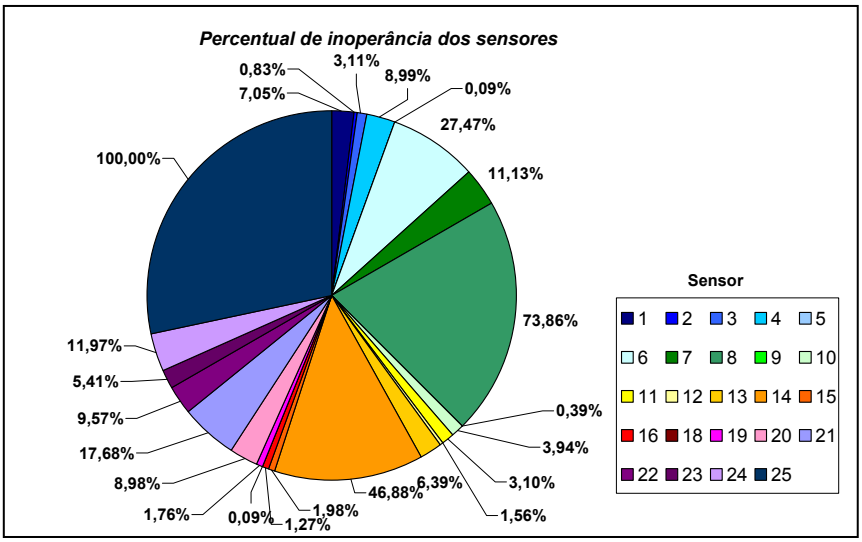

FIGURA 6 – Percentual de horas de inoperância dos sensores do LLS, considerando-se o período analisado

Conclui-se que, não somente a distância e o período de operação do sensor são determinantes na sua eficiência em captar eventos. Deve-se considerar também as diferenças de tecnologia, limite de saturação e limiar de sensibilidade de cada sensor além dos erros inseridos nas medições devido ao local de instalação e caminho de propagação do sinal (10).

5.0 - CONCLUSÃO

Uma vez que a eficiência de detecção é o fator que apresenta maior peso na representatividade dos dados de descargas disponibilizados pelo LLS, o objetivo principal deste trabalho foi esclarecer como o desempenho do LLS pode influenciar nos dados de descargas gerados. Isto foi feito por meio de um caso-estudo. Assim, em análises futuras, pode-se realizar interpretações mais seguras dos dados estatísticos de descargas (muitas vezes objeto de interesse para a Engenharia de Proteção), considerando-se a eficiência de detecção do LLS na região em análise.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) 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", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, N° D8, pp. 9035-9044, Apr. 27, 1998.

(2) DIAS, R. N; MESQUITA, C.R; VISACRO, S; CAZETTA F.A.; "Análise de Sensibilidade dos Critérios de Agrupamento de Descargas Individuais do Sistema de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas"; *Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré* – XI ERIAC - Ciudad Del Este, 22-26 Maio, 2005.

(3) VISACRO, S.: "Descargas Atmosféricas: Uma Abordagem em Engenharia" *livro*, Artliber Editora Ltda, São Paulo, SP, 2005

(4) SCHULZ, W., DIENDORFER, G., IORIO, R., HOFBAUER, F., STIMMER, A.: "Correction of Lightning Density and Lightning Current Distributions for Detection Efficiency", *23th Int. Conference on Lightning Protection*, Firenze, Italy, Sept. 1996.

(5) NACCARATO, K.P.; PINTO JR. O; PINTO, I. R. C. A.; "Different Types of Detection Efficiency Models to Correct Cloud-to-Ground Data Obtained by Lightning Detection Networks"; *International Conference on Grounding and Earthing&2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*, Maceió – Brazil, Nov. 2006.

(6) IDONE, V.P., DAVIS, D.A., MOORE, P. K., WANG, Y., HENDERSON, R. W, RIES, M. JAMASON P.F.; "Performance Evaluation of the U.S. National Lightning Detection Network in Eastern New York"; *Journal of Geophysical Research*, Vol. 103, NO.D8, Pages 9045-9055, April 27,1998.

(7) KRIDER, E. P; BIAGI, C. J.; CUMMINS, K. L.; KEHOE, K. E.; "NLDN Performance in Southern Arizona, Texas and Oklahoma in 2003-2004", *International Conference on Ground and Earthing & International Conference on Lightning Physics and Effects*, Maceio-Brazil, November 2006.

(8) CRAMER, J.A.; CUMMINS, K.L.; MORRIS, A.; SMITH, R.; TURNER, T.R.; "Recent Upgrades to the U.S. National Lightning Detection Network"; *International Lightning Detection Conference (ILDC2004),* Helsinki, Finland, June 2004.

(9) DIENDORFER, G., HADRIAN, W., Hofbauer, F., MAIR, M., SCHULZ, W.; "Evaluation of Lightning Location Data Employing Measurements of Direct Strikes to a Radio Tower", *Cigré 33-206 Session 2002*, Paris, Aug 2002.

(10) SCHULZ, W., DIENDORFER, G., DORNINGER, M., DALY N.; "Comparison of Lightning Data Collected by Location Systems of Different Technology", *International Lightning Detection Conference (ILDC)*, Tucson, Arizona, Nov. 2000.

(11) MESQUITA, C R; "Nova Metodologia para Calibração de Sistemas de Localização de Descargas Atmosféricas"; Orientador: Silvério Visacro; *Tese de Doutorado*, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (LRC/PPGEE), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Dezembro de 2006.

(12) DIAS, R. N.; "Nova Metodologia para Identificação de Pontos Críticos de Desempenho em Linhas de Transmissão Baseada na Aplicação de Sistemas de Localização de Descargas Atmosféricas" Orientador: Silvério Visacro; *Tese de Doutorado*, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (LRC/PPGEE), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Dezembro de 2006.

(13) DIAS, R. N; MESQUITA, C. R.; VISACRO, S; CAZETTA F. A: "Análise de Incidência de Descargas Atmosféricas Nuvem-Solo Negativas no Estado de Minas Gerais"; *XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Curitiba-Paraná, 16-21 Outubro, 2005.

(14) MESQUITA, C. R; DIAS, R. N; VISACRO, S: "Incidence Analysis of Positive Lightning Flashes in Minas Gerais State, Brazil". *International Conference on Lightning Protection (ICLP'2004)*, Avignon, France, September 2004.

(15) MESQUITA, C.R; DIAS, R. N; VISACRO, S; CAZETTA F.A; "Análise da Precisão da Localização de Descargas Atmosféricas na Região Sudeste do Brasil", *XVIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Curitiba – Paraná, 16-21 Outubro, 2005