



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

GSC - 09
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO X
GRUPO DE ESTUDO DE SOBRETENSÕES E COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO - GSC**

**ANÁLISE DE INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS NUVEM-SOLO NEGATIVAS
NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Rosilene N. Dias*⁽¹⁾ Cláudia R. Mesquita⁽¹⁾ Silvério Visacro ⁽¹⁾ Armando Cazetta⁽²⁾

**⁽¹⁾ Universidade Federal de Minas Gerais ⁽²⁾ Companhia Energética de Minas Gerais
LRC – LIGHTNING RESEARCH CENTER (UFMG / CEMIG)**

RESUMO

As descargas atmosféricas negativas representam a grande maioria dos eventos causadores de danos aos sistemas elétricos. Este trabalho apresenta análise dos dados providos pelo Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas relativos a um período de cinco anos. São citados alguns dos cuidados necessários ao se utilizar dados providos por tal sistema.

Entre os resultados apresentados, encontram-se a densidade das descargas negativas (individuais e plenas) e o percentual de ocorrência das mesmas. Avalia-se a multiplicidade das descargas plenas e o percentual de descargas negativas únicas. Também, são feitas análises da distribuição geográfica e estatísticas da amplitude da corrente em Minas Gerais.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas Atmosféricas, Sistemas de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas (LLS ou SLT), Densidade de Descargas Atmosféricas, Parâmetros de Incidência de Raios

1.0 - INTRODUÇÃO

As descargas atmosféricas nuvem-solo são as principais responsáveis pelos desligamentos de sistemas de transmissão de energia elétrica, especialmente as descargas de polaridade negativa, uma vez que estas representam a maioria dos eventos para terra (cerca de 90%, no âmbito mundial).

Os Sistemas de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas (LLS's ou SLT) constituem-se numa das mais avançadas ferramentas para determinação da densidade de descargas para a terra ($N_g = \text{Descargas}/\text{km}^2/\text{Ano}$) numa determinada região. Tais sistemas calculam o ponto de incidência da descarga, o tempo de ocorrência e amplitude da corrente, entre outros parâmetros de interesse.

Uma das diversas vantagens destes sistemas é que os mesmos permitem a utilização de base de dados de descargas individuais (*strokes*) e/ou de descargas plenas (*flashes*). O acesso aos dados de descargas individuais é de grande relevância para a Engenharia de Proteção. Utilizando-os, pode-se estimar, de forma mais representativa, o nível de exposição ao qual o elemento do SEP está submetido. Além disso, é possível a realização da análise de incidência de descargas plenas e/ou individuais tanto em regiões extensas quanto em micro regiões, permitindo, deste modo, uma análise de desempenho mais detalhada do elemento em estudo.

A CEMIG foi pioneira na América do Sul a instalar o LLS, em 1988. Desde então, o sistema vem sofrendo mudanças de configuração física (instalação de novos sensores e interligação a outras redes de detecção, pertencentes a outras empresas), e atualmente constitui-se de 25 sensores, formando a Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT).

Para se constituir mapas de densidades de descargas, é necessário, sobretudo, uma base de dados representativa estatisticamente (maior volume de dados possível acumulado ao longo dos anos) e uniforme, ou seja, constituída com as mesmas configurações da central de processamento do LLS e mesmo número de estações detectoras constituintes da rede.

*Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – Minas Gerais - CEP: 31270-901
Tel.: (031) 3499-4872 - Fax: (031) 3499-5455 - e-mail: rosilene@cpdee.ufmg.br ; Lrc@cpdee.ufmg.br

A literatura técnica apresenta alguns trabalhos que, utilizando a base de dados do LLS local, analisam os parâmetros das descargas plenas (*flashes*) nuvem-solo negativas (densidade, amplitude de corrente, percentual de descargas negativas únicas) no estado de Minas Gerais. Porém, seus resultados se referem à base de dados cujos períodos antecedem às principais modificações e atualizações do sistema como, por exemplo, a incorporação da tecnologia de sensores IMPACT em 1996 e a integração da rede em 1998.

Neste informe técnico, os autores apresentam resultados relativos à caracterização das descargas atmosféricas nuvem-solo negativas, utilizando dados providos pelo LLS local, relativos a um período de cinco anos de dados (1999-2003).

Os resultados apresentados incluem a distribuição geográfica das descargas nuvem-solo negativas (tanto individuais quanto plenas), o percentual de ocorrência das mesmas, bem como análise da distribuição geográfica e estatísticas da amplitude de corrente no estado de Minas Gerais. Também avalia-se o percentual de descargas negativas únicas.

2.0 - CONSIDERAÇÕES

Para se caracterizar a incidência das descargas individuais e plenas no Estado de Minas Gerais, tornou-se necessário o reprocessamento dos dados "brutos" obtidos pelos sensores, pois os dados disponibilizados pelo LLS em tempo real podem apresentar atrasos na etapa de transmissão de dados, o que poderia prejudicar a qualidade das informações de descargas providas pelo sistema.

Assim, procurou-se utilizar o maior número possível de estações detectoras que abrangesse o maior período de dados possível e uma configuração de parâmetros da central que permitisse um bom nível de qualidade dos dados de descargas. Foram utilizadas 16 estações detectoras pertencentes à RINDAT (Ver Figura 1), e algumas configurações específicas da central de processamento do LLS, tais como:

- Número mínimo de informações ou de sensores participantes da solução: Quatro (LPATS e/ou IMPACT);
- Não-exigência da participação de sensores IMPACT no processamento dos dados;
- As descargas consideradas pelos sensores LPATS como sendo intra-nuvem não são incluídas no processamento;
- Razão máxima aceitável entre dois sinais de intensidade normalizados de valor igual a 1,3.

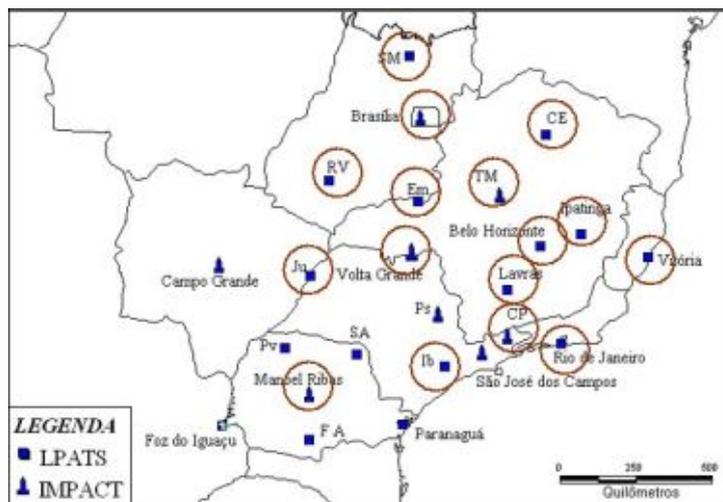


FIGURA 1 – Sensores componentes da RINDAT - os sensores circulados são os que participaram do Estudo

Após obtenção da base de dados de *strokes* correspondente a um período de cinco anos de dados (1999 a 2003) uma base de dados de *flashes* relativa ao mesmo período também foi constituída, através de um algoritmo matemático, submetendo-se os *strokes* aos critérios de agrupamento tradicionalmente adotados pelos LLS's. A Tabela 1 relaciona tais critérios. Os mesmos devem ser observados em conjunto para obtenção da multiplicidade da descarga analisada (1).

TABELA 1 – Critérios de Agrupamento Sugeridos pelo Fabricante.

Descrição	Valor
Tempo de duração da descarga (contado após ocorrência do primeiro <i>stroke</i>)	1 s
Distância máxima do primeiro ponto de impacto	10 km
Máximo intervalo entre <i>strokes</i> .	500 ms
Raio máximo de agrupamento	50 km
Número máximo de <i>strokes</i> por <i>flash</i>	15

Os critérios de agrupamento do LLS podem influenciar significativamente tanto no número de incidência de *flashes* (e, conseqüentemente, sua densidade) quanto em sua multiplicidade. Além disso, os critérios estabelecidos pelo fabricante levam em conta casos extremos, tais como “a distância máxima do ponto de ocorrência do primeiro ponto de impacto ser de 10 km”. As referências (2) e (3) apresentam um estudo de comparação dos resultados (dados) de *flashes* obtidos aplicando-se diferentes configurações de agrupamento de *strokes*. Neste presente trabalho são apresentados os resultados obtidos quando se utilizam os critérios de agrupamento tradicionalmente sugeridos pelo fabricante do sistema.

Diversas análises são realizadas, considerando-se as descargas negativas individuais e plenas. O item seguinte apresenta os principais resultados alcançados em forma de mapas e gráficos. Os mapas de densidade obtidos foram construídos utilizando-se um gradeado de 20 x 20 km², ao passo que os mapas de intensidade de corrente foram confeccionados com um gradeado de 10 x 10 km².

3.0 - RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Distribuição de Descargas Plenas Negativas

Observando-se os critérios de agrupamento citados no item anterior e utilizando-se uma base de dados de *strokes* de 5 anos, foi traçado o mapa de densidade de *flashes*, apresentado na Figura 2 (a). Pode-se observar uma maior concentração de *flashes* na região sul do Estado, onde encontram-se os maiores níveis de densidade (2 a 4 *flashes*/km²/ano e densidade média de 2,8 *flashes*/km²/ano). A região do Triângulo Mineiro atinge até 2 *flashes*/km²/ano (densidade média de 1,3 *flashes*/km²/ano). A região norte do Estado apresenta os menores índices de densidade de *flashes* (índices de 0 a 1 *flash*/km²/ano). Deve-se ressaltar que essa região também é a que apresenta menor nível de eficiência de detecção do LLS (cerca de 70% de eficiência, segundo modelo do fabricante do sistema).

A variação de incidência de *flashes* negativos ao longo dos anos no Estado de Minas Gerais tem diferenças de até 39% e está explicitada na Figura 2 (b). O valor médio de *flashes* negativos que incidem no Estado é de 549.704 *flashes*/ano.

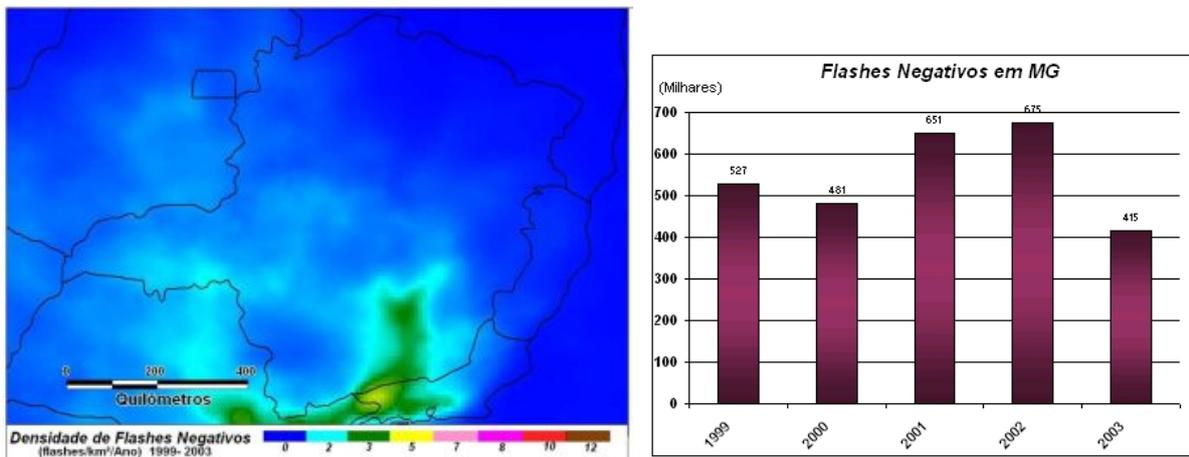


FIGURA 2 – (a) Densidade de *Flashes* negativos (LLS: 1999 a 2003) (b) Variação de *flashes* ao longo dos anos

Comparando-se o mapa de densidade de *flashes* gerado pelo LLS com o mapa de *flashes* obtido pela rede de contadores de descargas de Minas Gerais (Figura 3), constituída por aproximadamente 60 contadores e cuja pesquisa perdurou durante onze anos de análise, pode-se observar que o primeiro apresenta menores níveis de densidade (da ordem de 50% a menos). Observa-se a coincidência geográfica na indicação das áreas de maior densidade de descargas plenas (Sul e Triângulo Mineiro).

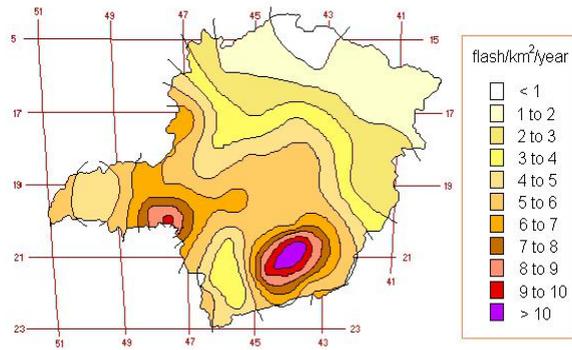


FIGURA 3 – Densidade de *Flashes* obtida pela rede de contadores (1985 a 1995) (Figura fornecida pela CEMIG)

A Figura 4 apresenta a distribuição da multiplicidade considerando-se (Figura 4(a)) e desconsiderando-se (Figura 4(b)) os *flashes* únicos. A multiplicidade média dos *flashes* negativos em Minas Gerais é de 1,74 *strokes/flash* e, quando se desconsideram os *flashes* únicos, a multiplicidade é de 2,73 *strokes/flash*. É importante ressaltar que tais valores são significativamente menores que os valores de multiplicidade encontrados em medições realizadas na Estação Morro do Cachimbo, que é de 3 e 5 *strokes/flash*, respectivamente (4).

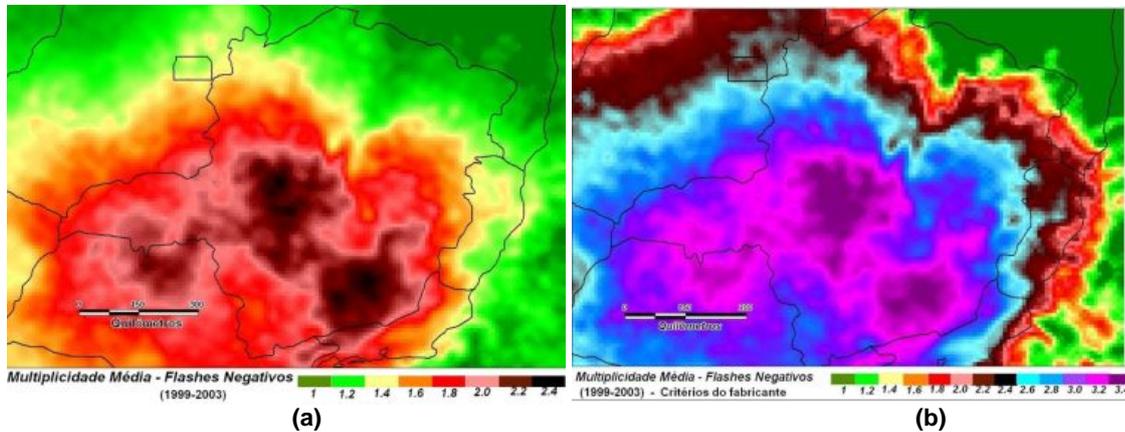


FIGURA 4 – (a) Multiplicidade de *Flashes* Negativos Totais (b) Multiplicidade de *Flashes* Negativos desconsiderando-se os *flashes* únicos

A Figura 5 apresenta o percentual de *flashes* únicos em Minas Gerais. Os *flashes* múltiplos representam, em média, cerca de 48% dos *flashes* negativos totais. Segundo Rakov (5), 80% das descargas apresentam *strokes* subseqüentes.

Acredita-se que tais discrepâncias estejam associadas à perda de parte dos registros das descargas subseqüentes pelos sensores do LLS (não-deteccção pelo sistema), uma vez que a eficiência de deteccção do sistema está associada à intensidade da corrente da descarga e outras limitações de configuração do LLS (6).

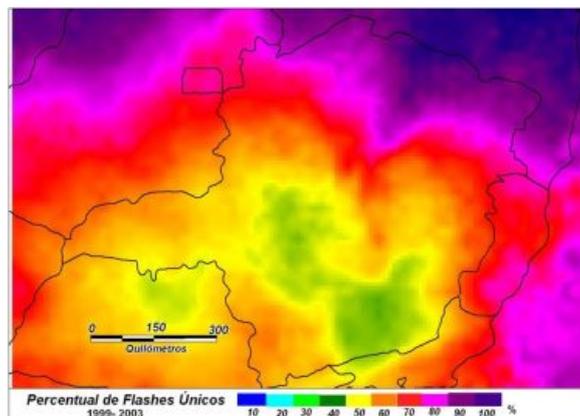


FIGURA 5 - Percentual de *Flashes* negativos únicos

3.2 Distribuição de Descargas Individuais Negativas

Tradicionalmente, os dados de descargas plenas têm sido utilizados na etapa de caracterização de incidência de descargas. No entanto, do ponto de vista da Engenharia de Proteção, o que realmente interessa são “os pontos de impacto das descargas”, que são melhor representados pelas descargas individuais (*strokes*).

Com o advento dos LLS's, os dados de descargas individuais são disponibilizados nas regiões de cobertura do sistema. Comparando-se as duas bases de dados (*flashes* x *strokes*), deve-se notar que, apesar do efeito dos erros causados pelos critérios de agrupamento quando da constituição da base de dados de *flashes* serem eliminados, ao se utilizar dados de descargas individuais muitos *strokes* de menor amplitude não são captados pelo sistema.

A Figura 6 (a) apresenta o mapa de densidade de *strokes* negativos. A distribuição geográfica dos *strokes* negativos apresenta grande similaridade com o mapa geral de *strokes* na região de interesse, uma vez que as descargas negativas individuais representam 83% dos *strokes* incidentes no Estado no período considerado. A média de *strokes* negativos incidentes em Minas Gerais é de 1,09 milhões de *strokes*/ano (Figura 6(b)). Os maiores índices de incidência encontram-se na região sul de Minas Gerais, com um valor máximo de 9 a 10 *strokes*/km²/Ano (valor médio de 5,02 *strokes*/km²/Ano). A sudoeste do Estado, observa-se uma região de baixa densidade de descargas individuais negativas, atingindo os mesmos níveis existentes no Norte do Estado (0 a 2 *strokes*/km²/Ano).

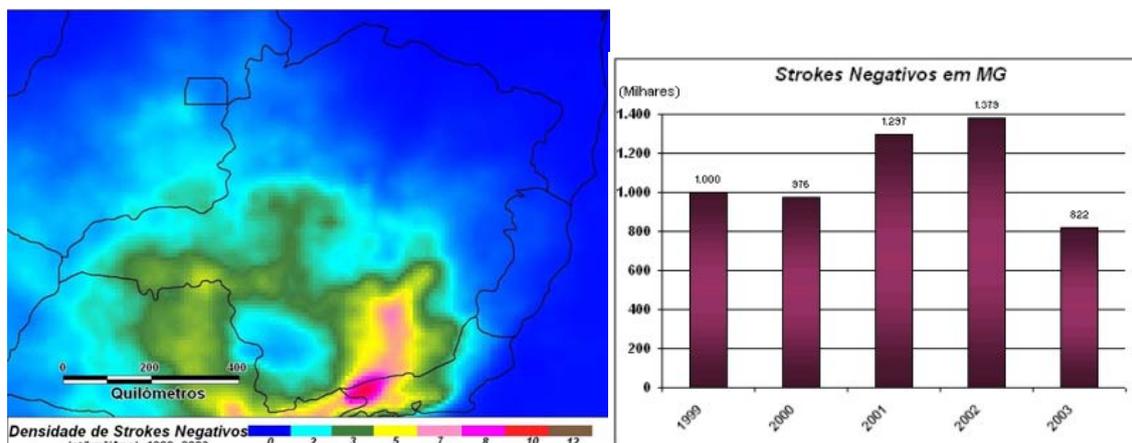


FIGURA 6 – (a) Densidade de *Strokes* negativos (LLS: 1999 a 2003) (b) Variação de *strokes* ao longo dos anos

Apenas a título de comparação, o mapa de densidade de *strokes* negativos apresenta consistência na distribuição geográfica quando comparado ao mapa de densidade de descargas plenas obtido pela rede de contadores da CEMIG (Figura 3), a despeito dos diferentes períodos de dados considerados na confecção dos mesmos e das diferenças dos dados de descargas cujas densidades são consideradas (*flashes* x *strokes*).

Na região norte do Estado, a eficiência de detecção da rede do LLS é a menor encontrada em Minas Gerais. Isto certamente contribui com algumas discrepâncias observadas, como a existência de menor número de *strokes* nesta região quando comparada ao número de *flashes* indicado no mapa obtido pela rede de contadores. É importante ressaltar também a diferença dos períodos considerados e a presença de incertezas relativas à exatidão das indicações da rede de contadores de descargas atmosféricas, à época da elaboração do mapa de *flashes*.

3.3 Amplitude de Corrente de Descargas

Na Engenharia de Proteção, os parâmetros centrais para análise dos danos causados por descargas atmosféricas são a determinação da densidade de descargas para a terra (N_g) e a determinação da distribuição da intensidade de corrente das descargas. A distribuição de intensidade de corrente de descargas varia de região para região e de acordo com as estações do ano.

O LLS possui a grande vantagem de poder ser aplicado tanto em extensas áreas quanto em micro-regiões, fornecendo, com boa precisão, dados de localização de incidência de descargas (conseqüentemente, o N_g). Porém, possui limitações no tocante à estimativa da intensidade da corrente. As diferenças dos valores da intensidade de corrente são calculadas em cerca de 20 a 30%, quando comparadas com outras medições. Tais erros podem estar associados às limitações do modelo de propagação adotado pelo sistema (7).

O erro na estimativa da corrente também pode ser pouco significativo. Um exemplo é o ALDIS (*Austrian Lightning Detection and Information System*). Este LLS possui boa precisão da estimativa do pico de corrente quando comparado a medições diretas realizadas na torre de Gaisenberg, Áustria (diferenças em torno de 5%) (8).

Em alguns LLS's, o erro atribuído à estimativa da intensidade da corrente pode ser acrescido por outras fontes de erros inerentes ao sistema. Por exemplo, se os sensores não estiverem devidamente calibrados e alocados, os

mesmos poderão reportar sinais indevidos de intensidade de campo eletromagnético. Neste caso, a intensidade de corrente da descarga será estimada pela central de processamento erroneamente, podendo ser super ou subestimada.

Por esses motivos, os dados de intensidade de corrente fornecidos pelo LLS devem ser utilizados com cautela. Uma análise de valores absolutos (determinação da I_p média de uma região, por exemplo) necessita ser comparada a outros métodos de medição (torres instrumentadas, descargas induzidas por foguetes, etc). Valores relativos possuem maior representatividade. Por exemplo, pode-se identificar uma “região onde as descargas são mais intensas”, comparando-a com outras regiões.

3.3.1 Descargas Individuais Negativas

A Figura 7 apresenta o mapa da distribuição geográfica das intensidades médias de corrente de *strokes* negativos no Estado de Minas Gerais, considerando-se os cinco anos de dados. Observa-se que a intensidade de corrente aumenta à medida que se afasta do centro geográfico do Estado. Isto ocorre porque esta é a região de melhor eficiência de detecção da rede (cerca de 90 a 95 % de eficiência de detecção para *flashes*). Ao diminuir a eficiência de detecção, ou seja, região norte de Minas Gerais, somente os *strokes* mais intensos são percebidos pelos sensores, o que interfere diretamente na obtenção do valor médio das intensidades de corrente das descargas atmosféricas, que se torna maior.

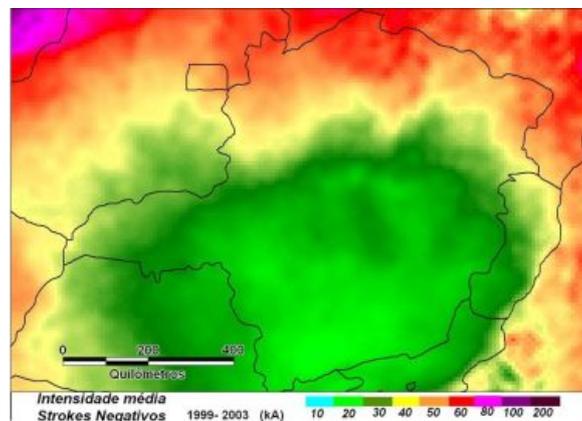


FIGURA 7 – Intensidade média de *strokes* negativos

A título de ilustração, e observando-se todas as considerações a respeito da utilização de valores absolutos da intensidade da corrente de descargas dos dados providos pelo LLS, foi feito o levantamento da distribuição da intensidade dos *strokes* negativos incidentes no município de Belo Horizonte.

No período de 1999 a 2003, foram registrados pelo sistema 7.385 *strokes* negativos na região (média de aproximadamente 1.500 *strokes*/ano), sendo o valor máximo da intensidade estimada pelo LLS no Município de 200 kA, valor mínimo de 8 kA, média da intensidade de corrente dos *strokes* negativos de 25,9 kA e mediana de 22 kA. Na Figura 8 pode-se observar ainda que cerca de 60% dos *strokes* negativos na região apresentam valores iguais ou inferiores a 25 kA.

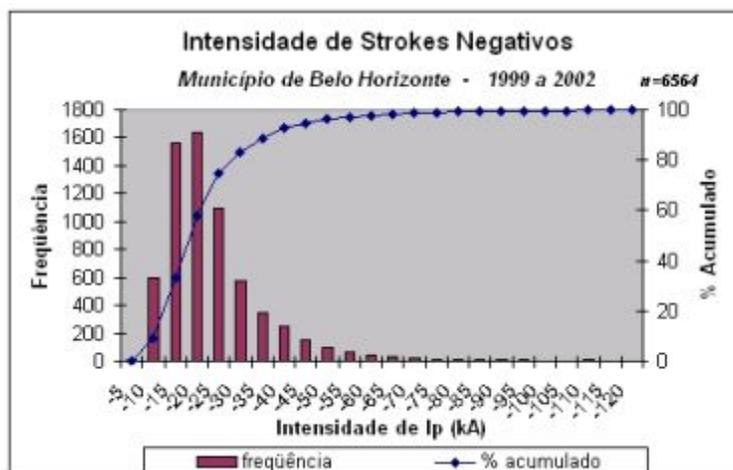


FIGURA 8 – Distribuição da Intensidade de *strokes* negativos em Belo Horizonte

Observa-se que estes valores são bem inferiores aos valores obtidos através de medições diretas realizadas na Estação Morro do Cachimbo (valores medianos de 45,3 kA para o primeiro *stroke* e 16,3 kA para os *strokes* subsequentes em 31 descargas plenas registradas no período de 1985 até 1999) (4).

A grande discrepância nas estimativas do valor da intensidade de corrente pelo LLS em Minas Gerais, quando comparados a medições diretas, pode estar associada ao modelo de propagação do sinal eletromagnético utilizado pelo sistema e às características físicas locais.

É importante observar que a comparação de valores absolutos das intensidades de corrente estimadas pelo LLS com as medições registradas na Estação Morro do Cachimbo foi feita considerando-se os *strokes* de uma maneira geral, sem separar o primeiro dos subsequentes.

3.3.2 Descargas Plenas

Durante o agrupamento de *strokes*, a central de processamento do LLS permite ao usuário determinar a intensidade de corrente do *flash* como sendo a intensidade atribuída ao primeiro *stroke* (o caso considerado nesse trabalho) ou como o maior valor de I_p dos *strokes* constituintes do *flash*. Desta forma, uma análise da intensidade dos *flashes* representa a caracterização do primeiro *stroke*.

A Figura 9 apresenta a distribuição da intensidade de corrente dos *flashes* (primeiro *stroke*). Como no caso da Figura 7, a intensidade de corrente aumenta à medida que se afasta do centro geográfico do Estado. Comparando-se ainda as duas figuras, pode-se verificar que os níveis da intensidade de corrente são praticamente os mesmos. Isso pode ser explicado pelo fato da Figura 7 ter sido elaborada considerando-se todos os *strokes* (“primeiros” e “subseqüentes”). Também, a baixa multiplicidade obtida faz com que a intensidade média dos dados de *flashes* se aproxime da intensidade média dos dados de *strokes*.

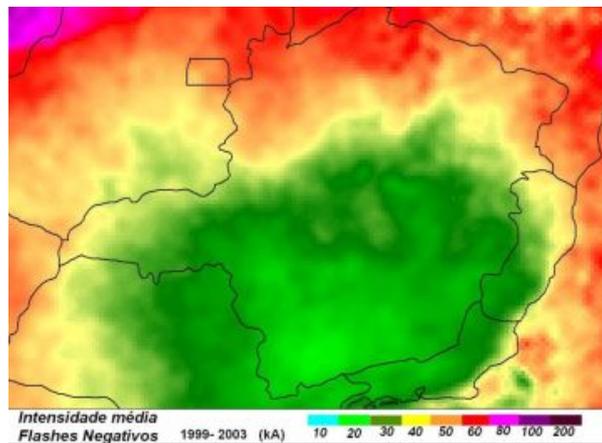


FIGURA 9 – Intensidade média de *flashes* negativos

A Figura 10 apresenta a distribuição das intensidades de corrente do primeiro *stroke* no período analisado, considerando-se o Município de Belo Horizonte. Foram registrados 3.814 *flashes*, sendo que a intensidade estimada pelo LLS tem o valor mínimo de 8 kA, máximo de 200 kA, média de 27,51kA e mediana de 23 kA.

Os valores absolutos obtidos pelo LLS para o “primeiro *stroke*” demonstraram-se bem abaixo do esperado (cerca de 51% menor que o valor mediano medido na Estação Morro do Cachimbo).

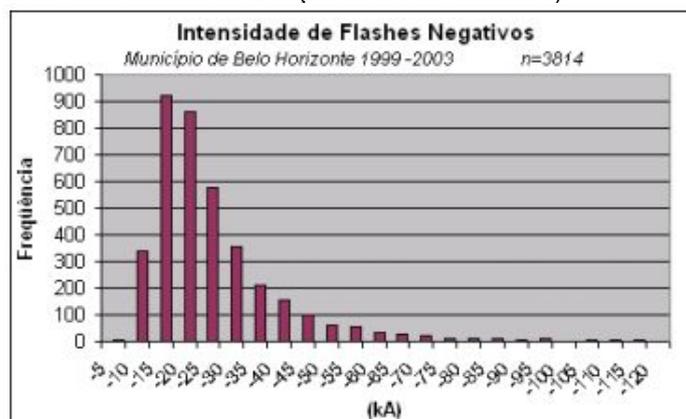


FIGURA 10 – Distribuição da intensidade do primeiro *stroke* em Belo Horizonte

Atualmente, existe em desenvolvimento uma pesquisa realizada pela equipe do LRC cujo objetivo é a melhoria da qualidade dos dados fornecidos pelo LLS. Nesta pesquisa são estudados os erros de medição do sistema, os efeitos de propagação e relevo na estimativa de corrente das descargas atmosféricas e proposta de calibração do LLS instalado em Minas Gerais, levando-se em consideração medições indiretas locais providas por um dispositivo capaz de registrar a forma de onda de corrente da descarga. Comparando-se os dados relativos a incidências locais e os dados indicados pelo LLS, pode-se estimar os erros do sistema e medidas adequadas de correções poderão ser efetuadas (7).

4.0 - CONCLUSÕES

O LLS, por apresentar alta gama de dados e permitir a utilização de duas bases de dados distintas (*strokes* e *flashes*), é a melhor ferramenta para caracterização da incidência de descargas (densidade) em uma região.

No entanto, cuidados especiais devem ser observados ao se utilizar tais dados, pois, como qualquer sistema, o LLS apresenta certas limitações, por exemplo, o fato dos níveis de eficiência de detecção de descargas do sistema variar de região para região.

Em relação à utilização dos dados de intensidade de corrente estimados pelo LLS, deve-se evitar análise dos valores absolutos, preferindo-se análises relativas, uma vez que a intensidade do sinal eletromagnético percebida pelos sensores está sujeita a efeitos de propagação, em função das características físicas do meio (influência do relevo e do tipo de solo na propagação do sinal do ponto de incidência da descarga até as estações detectoras).

5.0 - AGRADECIMENTOS

Rosilene Nietzsche Dias e Cláudia Rejane de Mesquita agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro.

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; RESENDE, P; CAZETTA F. A: "Grouping Criteria of Data Provided by Lightning Location System: A Sensitivity Analysis", *International Conference on Ground and Earthing & International Conference on Lightning Physics and Effects (Ground'2004 & 1st LPE)*, Belo Horizonte-Brazil, November 2004.
- (3) 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.
- (4) VISACRO, S; SOARES Jr, A; SCHROEDER, M. A. O; CHERCHIGLIA, L. C. L; DE SOUZA, V. J.: "Statistical Analysis of Lightning Current Parameters: Measurements at Morro do Cachimbo Station". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, D01105, 2004.
- (5) RAKOV, V. A; UMAN, M. A; THOTTAPPILLIL, R.: "Review of Recent Lightning Research at the University of Florida", *Elektrotechnik und Informationstechnik (Austria)* 112, No 6, 262-265, 1995
- (6) DIENDORFER, G., "Properties of Lightning Discharges to an Instrumented Tower and Their Implication on the Location of Those Flashes by Lightning Location Systems", *6th International Workshop on Physics of Lightning IWPL2004 – Guadalupe* 3-9, May, 2004.
- (7) VISACRO, S; SILVINO, J.L; MESQUITA, C.R; DIAS, R.N; CHERCHIGLIA, L.C.L; SOUZA, V.J.; "Nova Metodologia de Medição Indireta da Corrente de Descarga Atmosférica para Fins de Calibração de SLT's" ; *Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - II CITENEL*, Salvador, Novembro, 2003.
- (8) DIENDORFER, G; HADRIAN, W; HOFBAUER, F; MAIR, M; SCHULZ, W; "Evaluation of Lightning Location Data Employing Measurements of Direct Strikes to a Radio Tower" – *Present at Session 2002 CIGRÉ*.