

# CLIMATOLOGIA DE DIAS COM NUVENS DE TROVOADAS EM MINAS GERAIS

*Climatology days of thunderstorms in Minas Gerais*

**Ruibran Januário dos Reis\***  
**Melina Amoni Silveira Alves\*\***

**\*Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Belo Horizonte**  
**Prof. Dr. em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial**  
Av. Itaú, 505 – Prédio Emaús – Dom Cabral – Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil – CEP: 30535-012  
ruibrandosreis@gmail.com

**\*\*Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Belo Horizonte**  
**Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial**  
Rua Dom José Gáspar, 500 – Bairro Coração Eucarístico – Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil – CEP: 30535-901  
geomelina@yahoo.com.br

## RESUMO

O presente estudo realiza uma climatologia de dias com nuvens de trovoadas de Minas Gerais com base em dados de descargas atmosféricas do Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (*LLS – Lightning Location System*) da Cemig coletados entre 1999 e 2010. Com base em ferramentas de geoprocessamento, a elaboração de mapas mensais e anual dos dias com trovoadas em Minas Gerais permitiu a análise do impacto da altimetria nos processos de formação e distribuição das nuvens de trovoadas no estado, assim como a comparação dos resultados obtidos com estudos anteriores. De maneira geral, a incidência de nuvens de trovoadas se concentra em áreas com elevada altimetria. No período analisado, o número médio de dias com trovoadas em Minas Gerais foi de 143; isto é, aproximadamente em 40% dos dias do ano ocorrem nuvens de trovoadas em algum local do estado. A região do Triângulo é a que apresenta o maior número de dias com nuvens de trovoadas no ano, abrigando municípios que registraram em torno de 80 dias de nuvens de trovoada ao longo do ano. Ademais, os resultados deste estudo apresentam diversas similaridades em relação ao cartograma elaborado por Carvalho et al. (1992), com base em dados coletados por 565 observadores entre 1971 e 1992.

**Palavras-chave:** Trovoadas. Climatologia. Minas Gerais.

## ABSTRACT

The present study elaborates climatology of cloudy days with thunder of Minas Gerais state, based on atmospheric discharge data from Cemig's Lightning Location System (LLS) recorded from 1999 to 2010. According to geoprocessing tools, the elaboration of yearly and monthly maps of thunder days in Minas Gerais made it possible to analyze the impact of altimetry in processes of developing and distributing of thunderclouds in the state, in addition to the comparison of the results obtained in previous studies. In general, the incidence of thunderclouds is concentrated in areas with high altimetry. In the examined period, the number of days with thunder in Minas Gerais was 143 a year, that is, approximately, in 40% of the days of the year thunderclouds occurred somewhere in the state. The Triangle region is the one showing the greater number of days with thunderclouds in the year, including municipalities that recorded around 80 days of thunderclouds along the year. Besides, the results of this study present several similarities to the cartogram elaborated by Carvalho et al. (1992), based on data collected by 565 observers from 1971 to 1992.

**Keywords:** thunder, climatology, Minas Gerais.

## 1 INTRODUÇÃO

Nuvens de trovoadas se formam a todo instante em diferentes partes do planeta. Dados obtidos por Roy (2006), através de imagens de satélites, mostram que em média acontecem entre 75 e 100 milhões de raios por ano no mundo, e que os locais com maior ocorrência de raios são: Brasil, região Central e Sul da África, Sul da Ásia, Sul dos Estados Unidos, Norte da Argentina, Ilha de Madagascar, Indonésia e região Norte da Austrália.

As nuvens cúmulos-nimbos (Cb) ou nuvens de trovoadas são caracterizadas por seu grande desenvolvimento vertical, formação de gelo (fundamentais no processo de eletrificação) e grande volume de água precipitável. Uma nuvem Cb pode causar vários raios, e de diferentes formas, e o mais comum é da nuvem para a terra. A alta temperatura do canal do raio é o principal fator responsável pela formação do trovão, daí o nome de nuvens de trovoadas. Segundo Solorzano et al. (1999), o mecanismo indutivo para eletrificação das nuvens cúmulos-nimbos, que, conseqüentemente, formam os raios, foi inicialmente proposto por J. Elster e H. Geitel, em 1913. A essência dessa teoria é que um granizo pode ser considerado como uma esfera condutora e, durante a sua queda em um campo elétrico uniforme dirigido verticalmente para baixo, ficará polarizado, com sua metade superior negativamente carregada e a parte inferior positivamente carregada. Os cristais de gelo que se chocam com o lado de baixo do granizo podem se separar dele, carregando parte da carga polarizada positivamente e deixando-o com uma carga líquida negativa. As pesquisas realizadas nos últimos 30 anos permitiram desenvolver uma nova teoria para inicialização da ocorrência de raios nas nuvens cúmulos-nimbos, e segundo essa teoria, que é de natureza termoelétrica, a polaridade da carga transferida durante uma colisão depende da temperatura local. Se a temperatura local for maior que a temperatura de inversão de carga, estimada em torno de  $-15^{\circ}\text{C}$ , o granizo transferirá uma carga negativa para o cristal de gelo (PINTO JR. e PINTO, 2000).

No Brasil, Nechet (1994) realizou estudos climatológicos do número de dias com nuvens de trovoadas para as cidades de Belém e Macapá. Os dados utilizados na elaboração das pesquisas foram coletados pelos observadores das estações meteorológicas dos aeroportos. Ribeiro e Novais (2014) também realizaram uma pesquisa semelhante para a cidade de Uberlândia, isto é, a partir do banco de dados do aeroporto.

Esta pesquisa foi motivada pela necessidade de utilizar ferramentas de geoprocessamento para a elaboração da climatologia mensal e anual de dias com nuvens de trovoadas em Minas Gerais. Os dados da pesquisa foram obtidos do Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas – LLS, instalado pela Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig em 1988, que armazena todas as informações de um raio, tais como: intensidade, polaridade e coordenadas geográficas. O banco de dados foi referente às informações coletadas no período de 1990 a 2010.

## 2 ESTADO DA ARTE DAS PESQUISAS EM DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As descargas atmosféricas se formam nas nuvens cúmulos-nimbos, conhecidas na aviação pelo nome de nuvens de trovoadas. Teoricamente as nuvens de trovoadas podem se formar em quase todas as regiões da Terra, entretanto são mais comuns em regiões tropicais. Normalmente a base da nuvem de trovoadas varia entre 1.000 e 2.000 m e o topo da nuvem pode atingir alturas entre 12.000 e 15.000 m. A todo instante, nuvens de trovoadas se formam em algum lugar do planeta, causando entre 75 e 100 descargas atmosféricas por segundo. O impacto das descargas atmosféricas na sociedade é alto, cabendo destacar: os danos nas linhas de transmissões e distribuições das empresas de energia elétrica; a queima de eletrodomésticos; os incêndios florestais, morte de animais e, sobretudo, as vítimas humanas. Algumas empresas estimam que os prejuízos anuais das descargas atmosféricas estejam em torno de R\$ 500 milhões por ano no Brasil (PINTO JR., 2005).

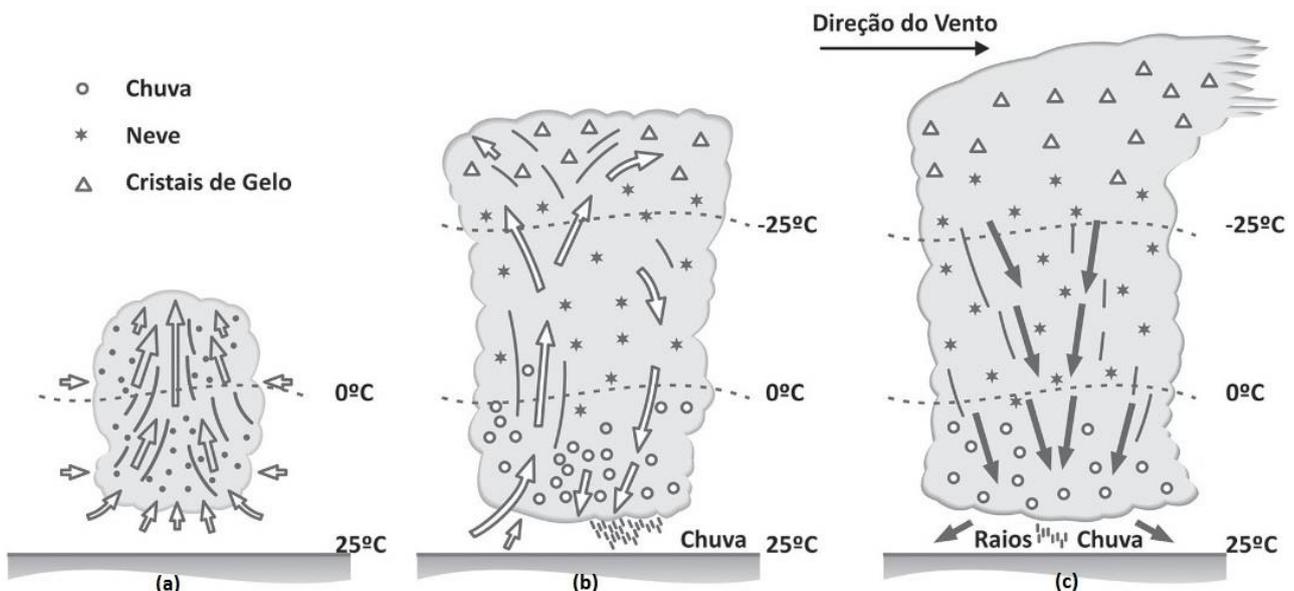
As nuvens de trovoadas sempre foram temidas no passado em virtude da falta de conhecimento sobre as principais causas de formação e suas consequências. Conforme descrito por Reis (2005), durante a ocorrência de tempestades na Europa, antes do século XIX, era normal tocarem os sinos nas igrejas para afugentar os maus espíritos. E como os raios das nuvens de trovoadas procuram o caminho mais curto para atingirem a terra, as torres das igrejas eram os principais alvos e, conseqüentemente, havia um grande número de mortes de sineiros. Preocupado com a situação, o parlamento em Paris fez um decreto em 1786 proibindo tocar sinos durante as tempestades.

O experimento de Benjamin Franklin, em 1750, abriu as portas para o estudo das descargas atmosféricas. Fenômeno até então puramente explicativo, começou a tomar forma quantitativa, com comprovação da existência de cargas elétricas nos raios. Segundo Krider (1999), por mais de 170 anos o estudo das descargas atmosféricas permaneceu em sua forma qualitativa. Já o conhecimento sobre as propriedades físicas das descargas atmosféricas e sistemas de proteção começaram a surgir na década de 1920. Krider (1999) também resume os principais trabalhos, e segundo ele, Boys, em 1926, mostrou ser possível o conhecimento físico do fenômeno das descargas atmosféricas através de uma câmara construída por ele. O autor também cita que os trabalhos publicados por B. F. J. Schonland e D. J. Malan, no período de 1933 a 1938, foram de grande importância para o entendimento do fenômeno.

No Brasil os principais trabalhos para conhecimento da física das nuvens foram feitos no Centro Tecnológico da Aeronáutica - CTA, coordenados pelo pesquisador Belcufiné (1977), cujo objetivo era conhecer os processos de formação das nuvens no Nordeste do Brasil e as possibilidades de formação de chuvas artificiais.

Nos últimos 15 anos, uma equipe de pesquisadores coordenada pelo Dr. Osmar Pinto Jr., professor do Instituto de Pesquisas Espaciais – Inpe, tem feito estudos em laboratórios e também de campo, para o conhecimento dos processos de formação das trovoadas. De maneira prática, Pinto Jr. e Pinto (2000) mostram que uma nuvem de trovoadas possui três estágios: nascimento, maturação e dissipação. No estágio de formação, as nuvens cúmulos (Figura 1a) apresentam temperaturas mais altas do que o ar ao seu redor; e nessa fase somente ocorrem correntes ascendentes através de toda a nuvem.

**Figura 1a, b, c** – Seção transversal idealizada de uma célula de tempestade



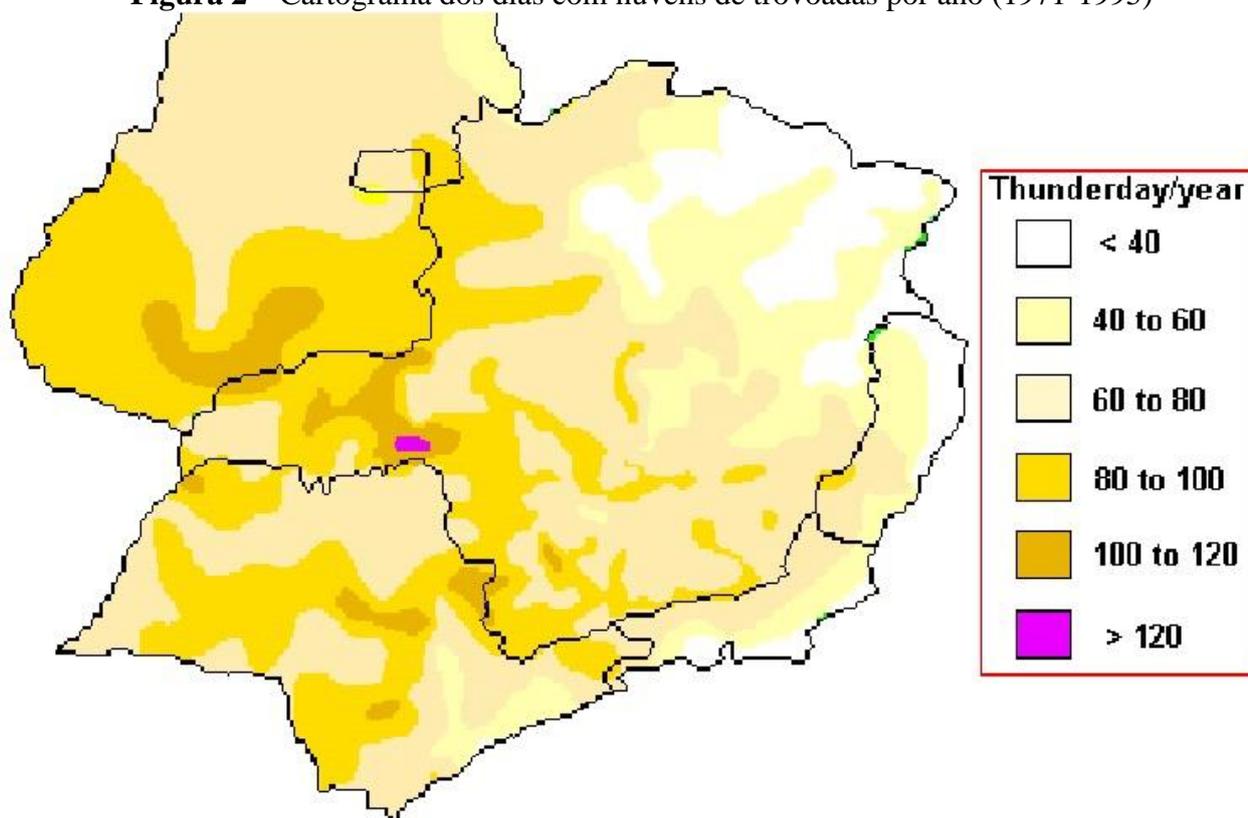
Fonte: Pinto Jr.; Pinto, I.R.C.A., 2000

No estágio maduro (Figura 1b), a nuvem possui, na parte inferior, movimentos tanto ascendentes quanto descendentes. Segundo Pinto Jr. e Pinto (1996), as correntes ascendentes podem atingir velocidades da ordem de 100 km/h no interior da nuvem. Os ventos que chegam à superfície da Terra no momento da ocorrência das chuvas são na forma de rajadas. Segundo Solorzano (1998), nessa etapa a nuvem possui um diâmetro típico de 10 km e o topo pode atingir de 8 a 12 km.

A Figura 1c mostra a etapa em que a nuvem atinge a fase final de maturação e quando começa a entrar em dissipação. Nesta fase, as correntes descendentes frias substituem as correntes ascendentes quentes iniciais. As descargas atmosféricas ocorrem nesse estágio.

A Cemig foi uma das pioneiras no estudo de mapeamento das nuvens com trovoadas no Brasil e seu impacto no setor de transmissão e distribuição de energia, quando em 1971 iniciou o processo de coleta de dados através de observadores (565), que anotavam diariamente se havia ocorrido ou não trovoadas na sua cidade. Os observadores possuíam uma cartela referente ao mês, dia e ano, e assim que ouviam um trovão, marcavam o dia da ocorrência. Com base num banco de dados de informações de todas as regiões de Minas Gerais, Carvalho et al. (1992) elaboraram o primeiro mapa preliminar da média de dias com nuvens de trovoadas por ano em Minas Gerais. Esse tipo de coleta de dados de dias com nuvens de trovoadas foi realizado pela Cemig entre os anos de 1971 e 1995. Conforme mostra a Figura 2, as regiões do Triângulo Mineiro, Alto São Francisco, Noroeste e Sudeste apresentam maior número de dias com nuvens de trovoadas por ano em Minas Gerais. O município de Uberaba apresentou os valores mais altos do estado, superiores a 120 dias nesse período. Os menores valores foram observados nos municípios situados nas regiões Norte, Nordeste e Leste de Minas Gerais, inferiores a 40 dias.

**Figura 2** – Cartograma dos dias com nuvens de trovoadas por ano (1971-1995)



Fonte: Carvalho et al. (1992)

Dando mais um grande passo nos estudos das descargas atmosféricas e, conseqüentemente, na pesquisa das regiões com maior potencial de formação de nuvens de trovoadas em Minas Gerais, a Cemig, em 1989, instalou o Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (LLS

– *Lightning Location System*) em tempo real. As informações do LLS permitiram o monitoramento em tempo real dos locais de ocorrência de descargas atmosféricas e também a criação de um banco de dados para estudos climatológicos das regiões de Minas Gerais mais propícias à formação das nuvens de trovoadas, assim como calcular os valores médios mensais, e anual, de dias com trovoadas.

Reis (2005), utilizando os dados de 15.300 descargas atmosféricas ocorridas em Minas Gerais entre 1989 e 2010, verificou que a média do número de descargas atmosféricas por ano no estado é de um milhão e 50 mil, descargas. Uma nuvem de trovoadas pode causar várias descargas atmosféricas e em algumas tempestades associadas a linhas de instabilidades já foi verificada a ocorrência de quatro a cinco mil descargas atmosféricas em uma hora.

### 3 METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho foram os de descargas atmosféricas, obtidos através do Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (LLS – *Lightning Location System*), pertencente à Cemig, coletados entre 1990 e 2010. O número total de descargas atmosféricas ocorridas nesse período em Minas Gerais foi de 12.393.200.

O Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (LLS – *Lightning Location System*) utiliza diferentes técnicas para cálculo da localização do ponto de incidência da descarga atmosférica, a partir de informações coletadas em estações instaladas nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Goiás. O sistema utiliza a técnica denominada *Time of Arrival - TOA* para determinar a ocorrência da descarga atmosférica, que mede o tempo de chegada da onda produzida pela descarga atmosférica numa nuvem de trovoadas até uma estação detectora. As diferenças entre os tempos de chegada do pulso eletromagnético produzido por uma descarga atmosférica, em cada dois sensores, são utilizadas para descrever uma hipérbole; a interseção das hipérbolas determina o ponto de incidência da descarga atmosférica e, conseqüentemente, a localização da nuvem de trovoadas.

Outra técnica também utilizada pelo LLS é denominada *Magnetic Direction Finder - MDF*, que utiliza um par de antenas fechadas e ortogonais, em forma de *loop*, que detectam o campo magnético produzido durante a ocorrência de uma descarga atmosférica e indicam a direção de chegada do pulso da descarga. A integração das técnicas TOA e MDF deu origem à tecnologia *Improved Accuracy from Combined Technology - Impact*, que permite medir tanto o tempo de chegada quanto a direção magnética das descargas atmosféricas. A combinação das duas tecnologias, a indicação de direção e o tempo de chegada do pulso magnético, permite precisar melhor a localização do ponto de incidência da descarga, quando comparada com cada método utilizado separadamente, conforme pode ser observado na Figura 3, que mostra a eficiência da localização do sistema LLS.

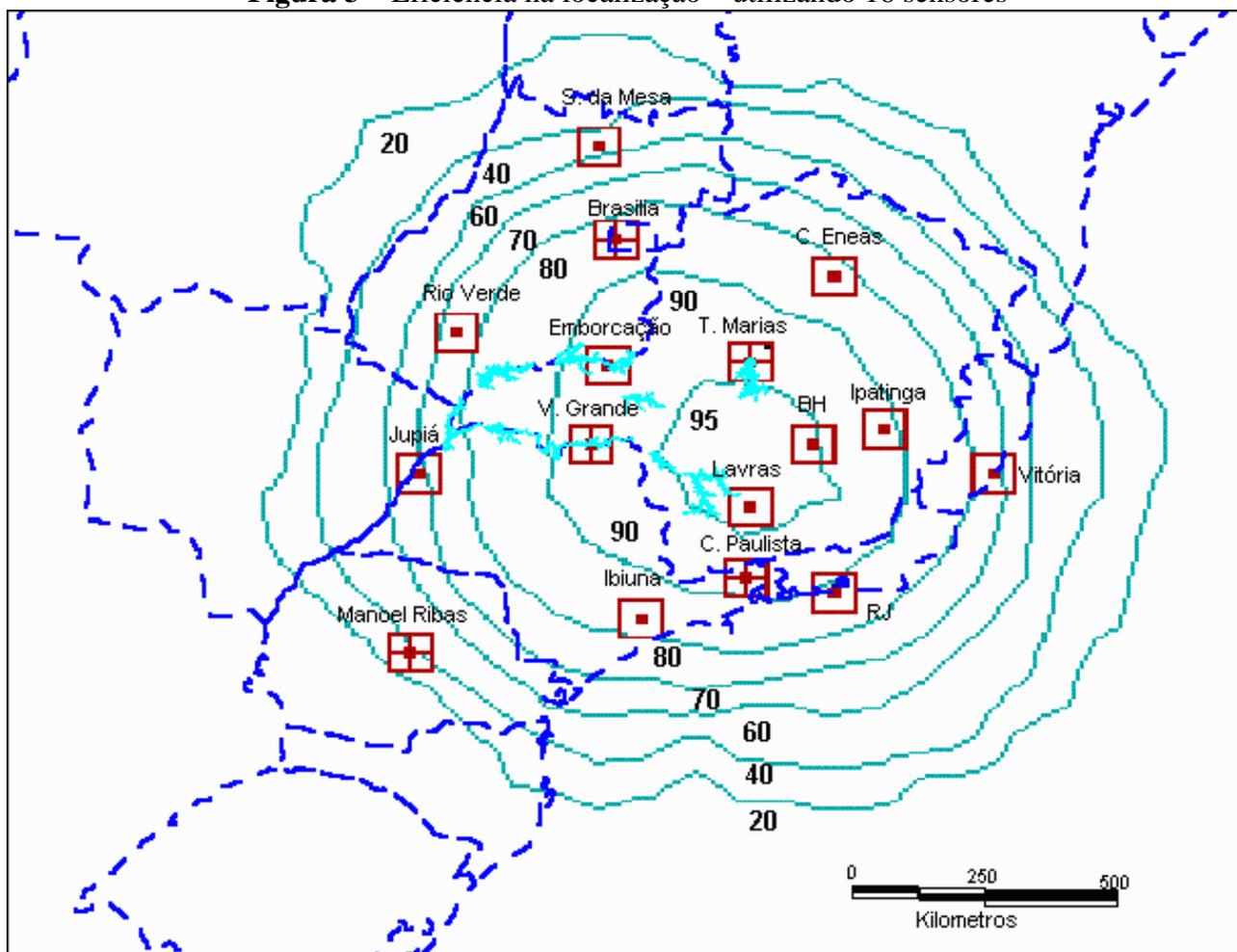
Portanto, a eficiência do LLS na localização das descargas atmosféricas em Minas Gerais, utilizando 16 estações detectoras, varia entre 80 e 95%. O LLS, sempre que coleta o dado da descarga atmosférica, armazena os seguintes atributos: polaridade; ano; mês; dia; hora; minuto; segundo; milésimo de segundo; longitude; latitude e intensidade.

Através do *software* ArcGis, criou-se uma grade (*gridmaker*) com dimensões de 20 x 20 km em Minas Gerais, e a contagem do número de dias com nuvens de trovoadas foi feita a partir do momento em que se verificava na quadrícula a ocorrência de uma ou mais descargas atmosféricas. Com base nessa análise foi possível fazer o levantamento estatístico do número de dias com trovoadas para todas as quadrículas.

O *software* Surfer foi utilizado para visualização espacial das informações de dias com nuvens de trovoadas. O sistema de interpolação utilizado foi o de “krigagem” ordinária. Segundo Sturaro, Landim e Riedel (2000), a “krigagem” ordinária usa informações a partir do semivariograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores

conhecidos e que irão estimar os pontos desconhecidos. Nessa situação, o método fornece, além dos valores estimados, o erro associado à estimativa, o que o distingue dos demais algoritmos à disposição.

**Figura 3** – Eficiência na localização – utilizando 16 sensores



**Fonte:** Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (LLS – *Lightning Location System*)

#### 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

São vários os fatores climáticos que influenciam na formação das chuvas em Minas Gerais e também na organização das nuvens de trovoadas. A estação do ano é o principal fator climático que faz com que o estado de Minas Gerais tenha duas estações bem definidas: chuvosa e seca. No período chuvoso, com a elevação da temperatura do ar, o Anticiclone do Atlântico Sul perde intensidade no continente e favorece a chegada de frentes frias e também a organização de chuvas pelos processos, orográfico e convectivo.

Durante o período seco, entre os meses de maio e setembro, quase não se formam nuvens de trovoadas, mas é muito comum se observar chuvas de fraca intensidade na região da Zona da Mata e nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce. Isso se deve à passagem de frentes frias pelo litoral da região Sudeste com consequente aumento de nuvens baixas nessas regiões.

Além da intensificação do Anticiclone do Atlântico Sul, massa de ar Tropical Marítima, no continente durante a estação seca, a presença da massa de ar Polar Marítima é outro fator climático que dificulta a formação de nuvens capazes de causar chuvas significativas. O ar seco deixa o céu claro, sem nuvens, nas regiões Noroeste, Triângulo, Oeste, Sul e Central do estado.

Nos meses de primavera e verão, o aumento da radiação solar na superfície faz com que ocorram frequentemente nuvens de trovoadas nas regiões Oeste, Sul, Triângulo e Central, e isso se deve a pouca influência do Anticiclone do Atlântico Sul no continente.

O ar descendente proveniente do Anticiclone do Atlântico Sul é o principal fator climático que impede a formação de chuvas em boa parte dos dias do ano na região Norte e nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce, mesmo nos meses de primavera e verão. O volume médio anual de chuvas nessas regiões fica abaixo de 1000 mm, sendo o menor índice observado no município de Porteirinha, região Norte, com média anual de 650 mm (REIS, R. J. et al., 2012).

A Figura 4 mostra a distribuição mensal dos dias médios com nuvem de trovoadas observados em Minas Gerais entre 1990 e 2010. Pode-se observar na figura que, no mês de janeiro, em alguns municípios do Triângulo e também da região Oeste, ocorrem em média 14 dias com nuvens de trovoadas. O número médio de oito dias com nuvens de trovoadas acontece na maioria das regiões do Estado, exceto em alguns municípios da região Norte e dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, onde o número de dias médios fica abaixo de seis.

Como era de se esperar, o número de dias com nuvens de trovoadas no estado de Minas Gerais é alto nos meses que correspondem à estação chuvosa, entre outubro e abril, e baixo nos meses da estação seca, entre maio e setembro. Durante a estação chuvosa as nuvens cúmulos-nimbos se formam em virtude da disponibilidade de umidade e calor, e nos meses correspondentes ao período seco, a umidade é baixa e não ocorre levantamento vertical, predominando o Anticiclone do Atlântico Sul, que impede a formação de nuvens de tempestade.

Os meses de fevereiro e março são normalmente quentes e com disponibilidade de umidade. É comum durante estes dois meses a formação de nuvem cúmulo-nimbo pelos processos de convecção e orográfico em algumas regiões de Minas Gerais. A distribuição espacial do número médio de dias com nuvens de trovoadas é muito semelhante.

O período chuvoso em Minas Gerais termina no mês de abril, e devido à diminuição da radiação solar, os processos de formação de nuvens cúmulos-nimbos também diminuem. Entretanto, quando ocorre a chegada de frentes frias, é comum a formação de nuvens de trovoadas ao longo de linhas de instabilidades que se organizam pelo processo pré-frontal.

Nos meses de inverno ocorrem entre um e dois dias com nuvens de trovoadas. As nuvens cúmulos-nimbos se formam nas regiões sul e na Zona da Mata quando há passagem de frentes frias pelo litoral da região Sudeste.

No mês de outubro, com a chegada da primavera, as temperaturas começam a aumentar em todas as regiões, o que favorece a formação de nuvens de trovoadas pelo processo convectivo nas regiões do Triângulo, Sul, Oeste e Central do estado. Nuvens de trovoadas também se formam pelo processo orográfico na Zona da Mata e no Campo das Vertentes.

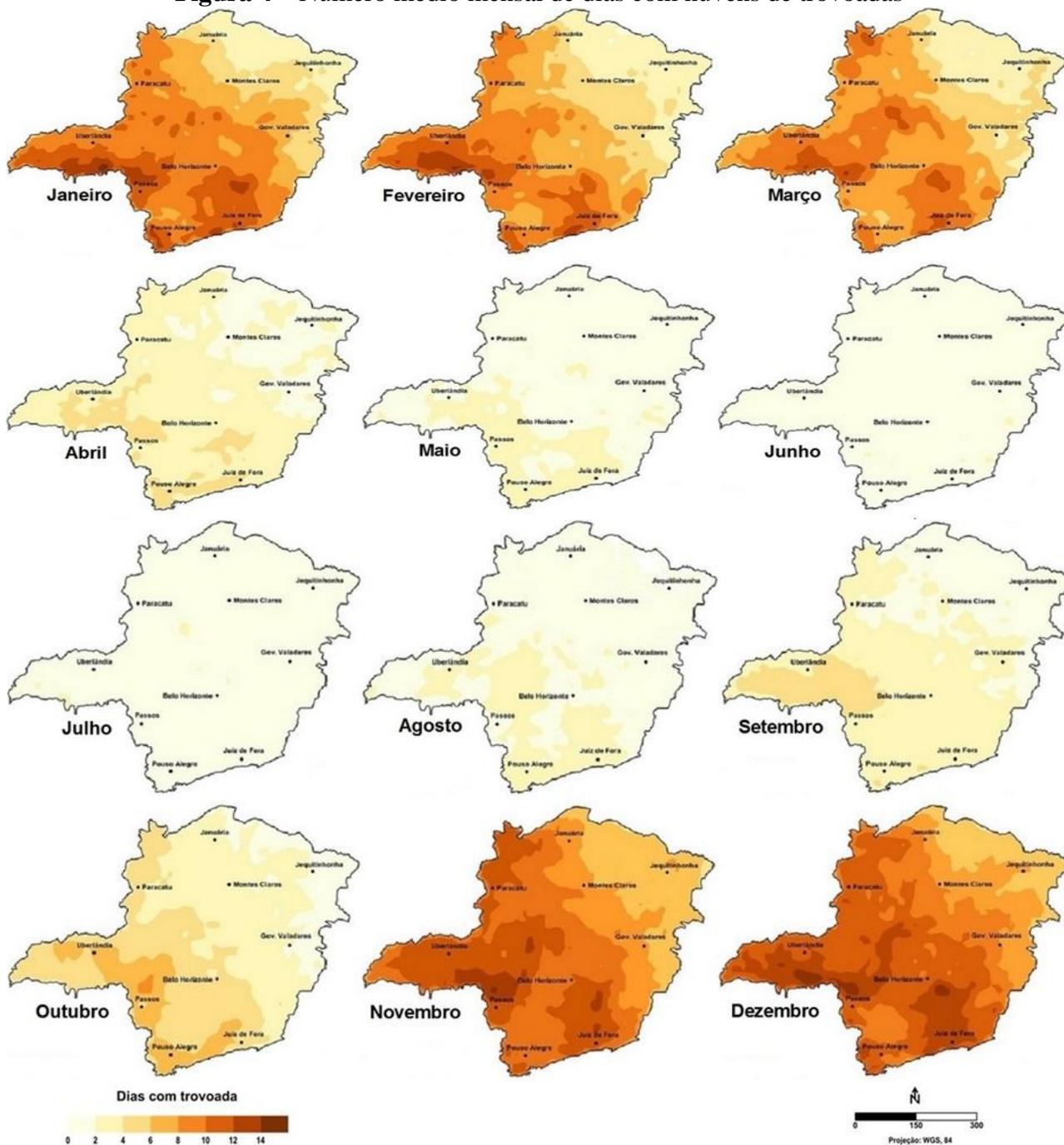
Os meses de novembro e dezembro são historicamente os que apresentam os maiores índices de nuvens com trovoadas em todas as regiões do estado de Minas Gerais. Pode-se observar que até mesmo em alguns municípios das regiões Norte, Noroeste e nas cabeceiras dos Rios Jequitinhonha e Doce, onde normalmente o número é baixo nos outros meses do ano, o número de dias com nuvens de trovoadas em novembro e dezembro pode passar de dez.

A Figura 5 mostra a distribuição espacial de dias médios com nuvens de trovoadas por ano em Minas Gerais. O cinturão com os maiores índices de dias com nuvens de trovoadas começa na Serra da Mantiqueira e chega até a cidade de Belo Horizonte. Depois há um grande núcleo que se inicia na Serra da Canastra e termina entre os municípios de Uberaba e Frutal. Os municípios de São Sebastião do Paraíso, Sacramento, Uberaba e Conceição das Alagoas apresentam índices de dias com nuvens de trovoadas acima de 80 dias por ano.

A presença de nuvens de trovoadas ao longo da Serra da Mantiqueira e também da Serra da Canastra ocorre predominantemente nas estações da primavera e verão, e as nuvens se formam pelos processos orográficos, convectivos, e frontal. No caso do processo frontal, as nuvens de

trovoadas nem sempre apresentam número significativo de raios, porém causam grande volume de chuvas.

**Figura 4** – Número médio mensal de dias com nuvens de trovoadas



**Fonte:** Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (*LLS – Lightning Location System*)

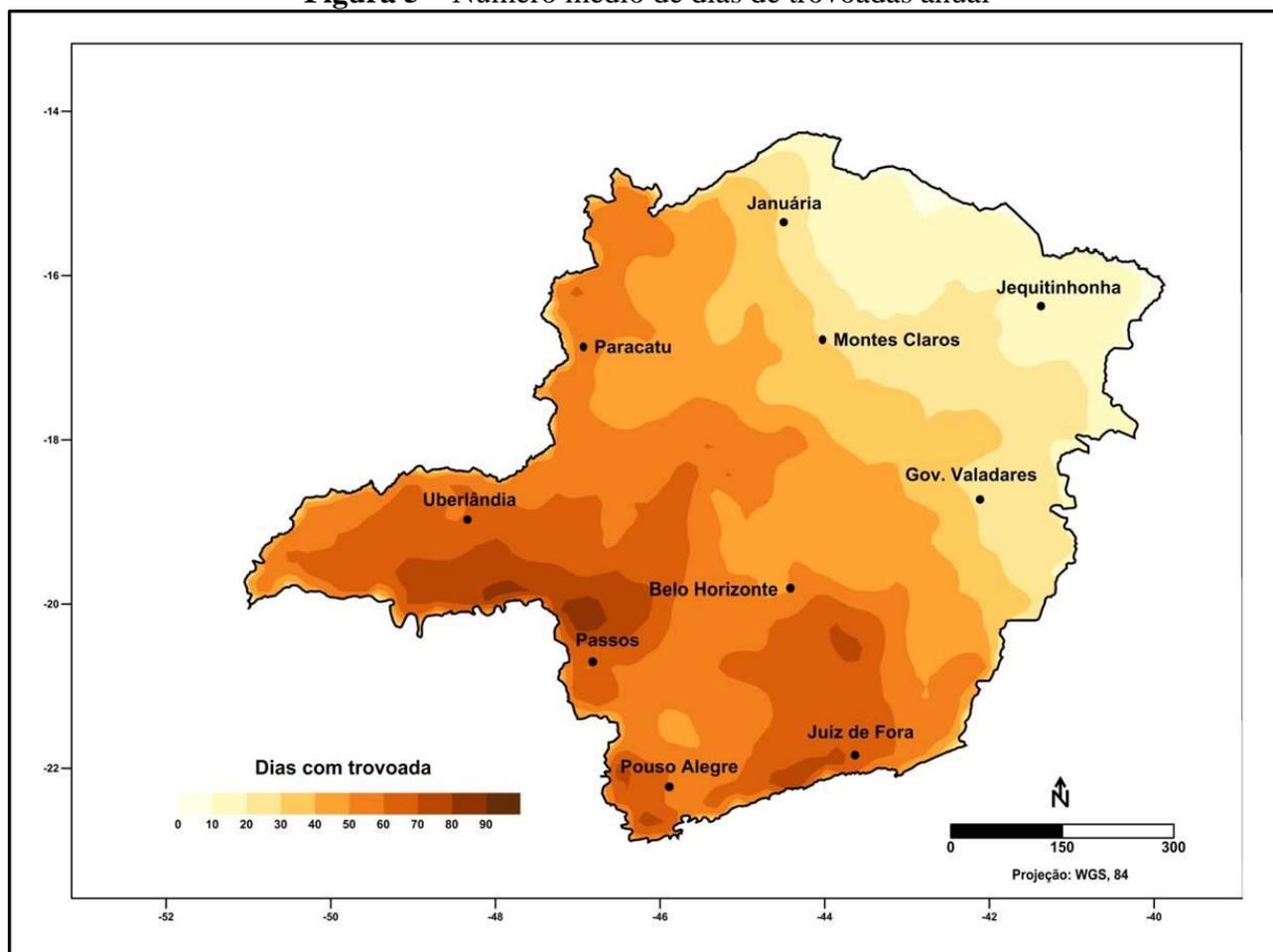
A Tabela 1 mostra a comparação entre os dias com nuvens de trovoadas em alguns municípios de Minas Gerais. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte a média de dias com nuvens de trovoadas varia entre 60 e 70. Os municípios de Ibité, Nova Lima, Contagem, Sarzedo, Betim são os que apresentam os maiores índices de dias com nuvens de trovoadas por ano. Em Belo Horizonte, a regional do Barreiro é a que possui maior índice, em torno de 70 dias por ano.

Nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce os índices de dia com nuvens de trovoadas variam entre 20 e 40 por ano. Os maiores valores são observados nas cabeceiras das bacias do Rio Doce e Jequitinhonha.

Apesar de a altitude favorecer a formação de nuvens de trovoadas nas regiões Sul, Campo das Vertentes, RMBH e na Serra da Canastra, não se pode concluir que esse é o principal fator climático na espacialização dos dias com trovoadas em Minas Gerais. O Anticiclone do Atlântico Sul que atua entre o Brasil e a África durante todo o ano é o principal fator climático que dificulta a formação de nuvens de trovoadas ao longo das Serras do Espinhaço e do Caparaó. Entretanto, nas regiões onde o domínio do Anticiclone é menor, a altimetria é um fator preponderante na formação das nuvens de trovoadas, isto é, quanto mais alta é a região, maior é a probabilidade de formação de nuvens de trovoadas pelo processo orográfico.

O Gráfico 1 mostra a quantidade média de dias com nuvens de trovoadas por ano em Minas Gerais, entre 1990 e 2010. Pode-se observar que, no ano de 2003, quando houve várias catástrofes em Minas Gerais decorrentes de chuvas, o número de dias com nuvens de trovoadas foi menor em relação aos outros anos. Uma explicação para esse tipo de ocorrência se deve ao fato de que as grandes inundações que ocorrem em Minas Gerais estão normalmente associadas à presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, que organiza chuvas intermitentes durante sete e dez dias seguidos.

**Figura 5** – Número médio de dias de trovoadas anual

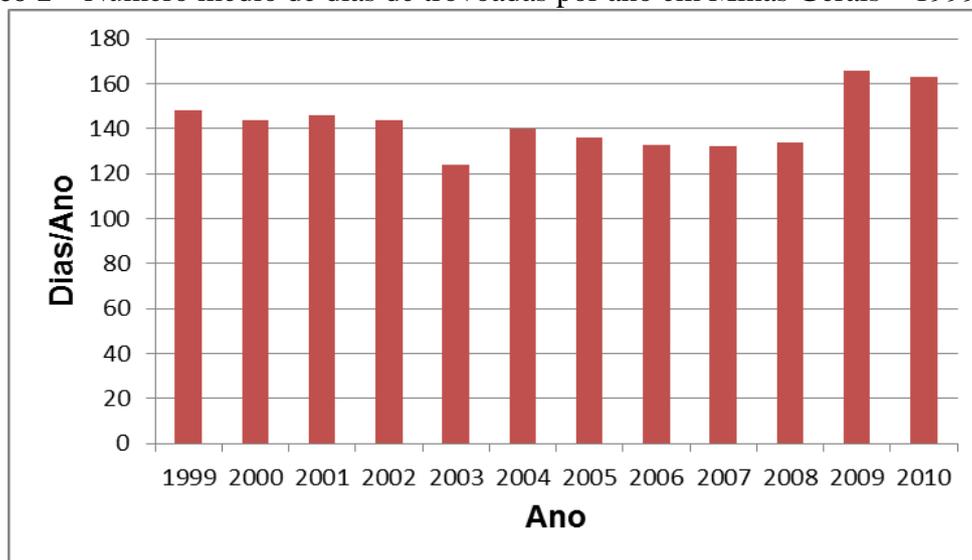


**Fonte:** Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (*LLS – Lightning Location System*)

**Tabela 1** – Número médio de dias com nuvens de trovoadas em alguns municípios de MG

Regiões de Minas Gerais	Municípios	Número de dias com trovoadas médios/ ano
Região RMBH	Belo Horizonte	67
	Ibirité	70
Região Norte	Montes Claros	40
	Pirapora	50
Região Nordeste	Salinas	18
	Diamantina	43
Região Leste	Governador Valadares	39
	Caratinga	40
Região da Zona da Mata	Juiz de Fora	70
	Viçosa	66
Região Sul	Varginha	60
	Bocaina de Minas	75
Região Oeste	Divinópolis	60
	Passos	68
Região do Triângulo	Uberaba	87
	Uberlândia	70
Região Noroeste	Paracatu	54
	Unaí	58
Região Central	Morada Nova	65
	Lagoa da Prata	73

Fonte: Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (LLS – *Lightning Location System*)

**Gráfico 1** – Número médio de dias de trovoadas por ano em Minas Gerais – 1999 a 2010

Fonte: Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas (LLS – *Lightning Location System*)

## 5 CONCLUSÕES

O Sistema de Detecção de Localização de Descargas Atmosféricas – LLS instalado pela Cemig permitiu pela primeira vez se fazer com melhor precisão um mapa da climatologia de dias

com nuvens de trovoadas do estado de Minas Gerais, donde se pudesse calcular através de técnicas de geoprocessamento o número médio de dias para cada município do estado.

Os resultados da pesquisa são extremamente importantes para o conhecimento da climatologia dos locais com maior potencial de ocorrência de dias com nuvens de trovoadas, e servirão de subsídios para as previsões de tempos severos, alertas de tempestades e no apoio ao dimensionamento de para-raios.

Apesar de o cinturão de concentração de dias com trovoadas se encontrar em algumas regiões com altimetria alta, não é possível concluir a relação entre altimetria e processos de formação de nuvens com trovoadas, pois existem áreas do estado com altimetrias acima de 1300m, e que apresentam baixos índices de dias com nuvens de trovoadas, em função da presença constante do Anticiclone do Atlântico Sul. O Anticiclone provoca uma forte corrente de ar descendente, o que dificulta a maturação das nuvens cúmulos.

Os resultados da pesquisa se mostraram promissores na elaboração da climatologia de nuvens de trovoadas quando da utilização dos dados coletados pelo LLS em comparação com os coletados por observadores (565). A existência de 16 sensores apresenta um ótimo índice de detecção de descargas atmosféricas em Minas Gerais, o que permite uma maior confiabilidade nos mapas de dias com trovoadas gerados pela pesquisa.

Com a ampliação do número de sensores no Brasil, ocorrida a partir de 1998, quando foram instalados novos sensores, espera-se dentro em breve a criação de um banco de dados que permita mapear os locais com maior ocorrência de nuvens de trovoadas, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde se localizam as principais linhas de transmissão das empresas de energia elétrica. Devido ao pequeno número de radares meteorológicos existentes no país, os dados do LLS são a melhor forma de conhecimento da climatologia de tempestades severas no Brasil.

## 6 REFERÊNCIAS

BELCUFINÉ, U. **Física das nuvens**: Compilamento de ensinamentos básicos. ECA 10/77, CTA/IAE, março de 1977.

CARVALHO, A. M.; DINIZ, J. H.; CHERCHIGLIA, L. C. L. Obtenção de densidade de descargas atmosféricas para a Terra através de contadores de descargas, dias de trovoadas ouvidas e Sistema de Localização de Tempestades – SLT. **II Seminário Internacional de Proteção Contra Descargas Atmosféricas**, Guaratinguetá: São Paulo, julho de 1992.

KRIDER, E. P. **75 years of research on the physics of a lightning discharge**. In: Physics of a Lightning Discharge, 1999.

NECHET, D. **Variabilidade diurna de precipitação e de trovoadas em Macapá-AP**. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1994.

PINTO Jr.; PINTO, I. R. C. A. **Tempestades e relâmpagos no Brasil**. São Paulo, 2000, 195p.

PINTO, Jr. O. **A arte da guerra contra os raios**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2005.

REIS, R. J. **Mapeando a climatologia das descargas atmosféricas em Minas Gerais, utilizando dados de 1989 a 2002**: uma análise exploratória – Tese de doutorado, Pós-Graduação em Geografia – PUC Minas, 2005, 216p.

REIS, R. J. ; Daniel Pereira Guimarães ; LANDAU, E. C. **Chuvas em Minas Gerais**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora Puc, Minas Gerais, 2012.

RIBEIRO, F. F.; NOVAIS, G.T. Análise da Variabilidade das Trovoadas e exibição de Índice Ceráunico entre os anos de 1989 a 2012 no Aeroporto de Uberlândia/MG. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.6, n.17, p. 52-73, out. 2014

ROY, S. NASA Science Team's Global Lightning **Study Promises Fresh Insight into Severe-Storm Behavior, Better Safeguards for Lives, Property**. Marshall Space Flight Center, Huntsville, Ala, 2006.

SOLORZANO, N. N.; PINTO Jr. O.; FERREIRA, N. J. Meteorological aspects related to cloud-ground lightning occurrence in Minas Gerais during the Summer of 1995/1996. In: International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro. **Proceedings of the VI International Congress of the Brazilian Geophysical Society**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1999, v.6, p. 202-205.

**Data de submissão:** 15.07.2014

**Data de aceite:** 19.02.2016

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.