



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

GSC - 08
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

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

**INFLUÊNCIAS DE ELEVAÇÕES DO RELEVO NA INCIDÊNCIA E INTENSIDADE DA CORRENTE DE
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

Rosilene N. Dias*

Cláudia R. Mesquita

Silvério Visacro

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

RESUMO

Este trabalho descreve algumas análises relativas à influência de elevações do relevo na incidência e intensidade da corrente de descargas atmosféricas. Para realizar tais análises, faz-se recurso à base de dados do Sistema de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas e mapas locais de relevo. A densidade de *strokes* é utilizada para caracterizar a incidência em sítios de torres de telecomunicações, considerando-se tanto o local de instalação quanto regiões circunvizinhas. Também é realizada uma análise comparativa considerando-se partes do mapa de relevo do Estado de Minas Gerais, caracterizando-se duas regiões distintas: uma plana e outra montanhosa. Algumas tendências são apresentadas.

PALAVRAS-CHAVE

Descargas Atmosféricas, Densidade de Descargas Atmosféricas, Influências do Relevo na Densidade de Descargas, Sistemas de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas (LLS ou SLT).

1.0 - INTRODUÇÃO

Na Engenharia de Proteção, os parâmetros de maior interesse nas avaliações de desempenho frente a descargas atmosféricas são a densidade de descargas para a terra (N_g) e a intensidade de corrente (I_p). Atualmente, os Sistemas de Detecção e Localização de Descargas Atmosféricas (LLS's ou SLT's) constituem-se na mais moderna ferramenta para obtenção de tais parâmetros, sobretudo os parâmetros de incidência de descargas.

Linhas de transmissão e torres de telecomunicações geralmente estão situadas em terrenos montanhosos ou ao longo de extensas regiões planas. Estes locais são regiões com grande potencial de intensa incidência de descargas, principalmente no caso de objetos (torres) situados em topos de montanhas.

Por questões de natureza física e por indícios práticos, há indicações de aumento da densidade de descargas com a elevação do relevo.

Geralmente, a informação disponível referente ao N_g consiste num valor médio calculado em uma área usualmente muito ampla, que inviabiliza contemplar aspectos localizados de influência na densidade de áreas específicas.

Este informe técnico avalia eventuais correlações entre a topografia de uma região e a incidência de descargas, bem como a orografia e a intensidade de corrente das mesmas, objetivando-se, numa etapa posterior, oferecer a possibilidade de computar a eventual influência a trechos específicos de rotas de linhas de transmissão (ou a torres de telecomunicações) que apresentem diferentes níveis de exposição a descargas atmosféricas (linhas situadas em terrenos acidentados com grandes variações de altitude).

São apresentados a metodologia desenvolvida pelos autores para realização das análises de influência do relevo na incidência e intensidade de corrente de descargas atmosféricas e os resultados alcançados (através de expressões matemáticas que relacionam as variações do relevo à densidade de descargas).

*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

2.0 - METODOLOGIA

Para se avaliar eventuais correlações entre variações do relevo de uma região e incidência de descargas atmosféricas, duas etapas distintas são consideradas: (i) análise de incidência e intensidade de descargas atmosféricas em sítios de torres de telecomunicações e suas regiões circunvizinhas; (ii) análise de incidência em regiões específicas do mapa de relevo de Minas Gerais.

2.1 Sítios de torres de telecomunicações

Para realizar tal análise, são utilizados dados de descargas individuais (*strokes*) providos por LLS e alguns sítios de torres de telecomunicações situadas no Estado de Minas Gerais.

Num primeiro momento, são escolhidas 90 torres de telecomunicações (num universo de quase 890 torres situadas no Estado de Minas Gerais) de propriedade da concessionária de energia local. A maioria das torres está situada em topos de montanhas com altas altitudes. Algumas poucas torres selecionadas situam-se em terrenos planos ou terrenos montanhosos de altitude relativamente baixa, para fins comparativos.

Nestes 90 locais (sítios), é realizada uma análise de incidência de *strokes*, utilizando-se uma base de dados uniforme provida pelo LLS (obtida com uma configuração específica do sistema, uma vez que o LLS local foi modificado ao longo dos anos) por um período de 4 anos (1999-2002). Isto permitiu a escolha de 32 sítios, onde são efetuadas análises detalhadas do relevo, utilizando-se cartas topográficas.

Uma vez que o objetivo é a densidade de descargas em áreas com diferentes altitudes, são determinadas três diferentes áreas em torno das torres de telecomunicações:

- Uma área definida pelo raio de 600 m, denominada “região próxima”, que corresponde aproximadamente a uma área de 1 km². Considera-se que todos os *strokes* incidentes nesta área sejam as descargas que atingiram a torre, ou bem próximo a ela.
- Uma “região intermediária”, definida pelos raios de 600 m e 1 km em torno da torre ($0,6 \text{ km} < R \leq 1 \text{ km}$), que eventualmente podem incluir *strokes* incidentes na torre (devido à precisão de localização do LLS).
- Uma “região distante” definida pelos raios de 1 km e 10 km em torno da torre ($1 \text{ km} < R \leq 10 \text{ km}$), que procura caracterizar a incidência de descargas da região.

A relação de densidade de *strokes* (RD) nas regiões próxima e distante é então calculada para cada torre.

A análise de relevo é efetuada considerando-se a altitude da torre e a altitude média (AM) da região distante. Esta última é obtida através das curvas de nível das regiões em torno da torre considerada. O parâmetro de interesse é a diferença de altitudes (DA).

Detalhes destas análises são encontrados nas referências (1), (2) e (3). A Figura 1 apresenta um exemplo das análises de incidência e relevo realizadas.

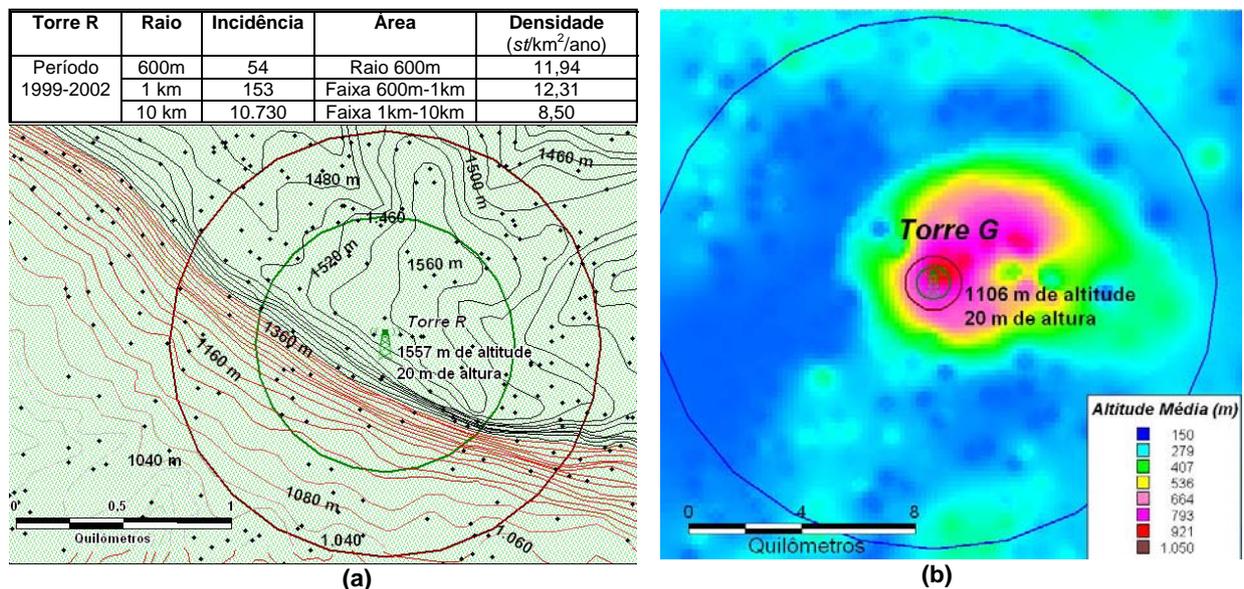


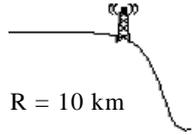
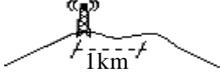
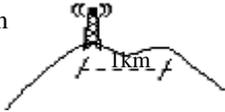
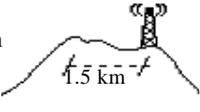
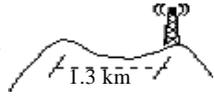
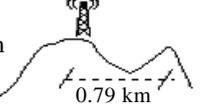
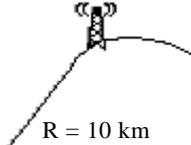
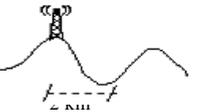
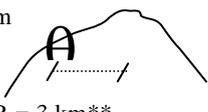
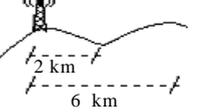
FIGURA 1 - Exemplo de análise de incidência (a) e relevo (b) efetuada em 32 sítios de telecomunicações, considerando-se três diferentes áreas.

Das 32 torres consideradas, treze foram escolhidas por apresentarem diferenças de altitude entre as regiões próxima e distante igual ou superior a 180 m, o que poderia favorecer a incidência de descargas.

Neste conjunto, uma análise mais elaborada foi realizada, objetivando-se melhor caracterização da influência da topografia na incidência de descargas. Novas “regiões distantes” foram definidas ($1 \text{ km} < R \leq R_i$), tendo por orientação a necessidade de se identificar um perfil topográfico único para todos os casos: o local de instalação da torre como sendo um ponto de destaque (“topo de montanha”) em relação à região adjacente. Ou seja, o raio R_i da

região distante foi definido considerando-se os pontos máximos de declive da região em torno da torre, tendo por limite um raio de 10 km. A Tabela 1 apresenta as características das torres analisadas neste informe técnico e seus respectivos perfis topográficos.

TABELA 1 – Características das torres e perfis topográficos

<p>Torre A AM 460m RD 2.05 DA 300m</p>  <p>R = 10 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 10 km)</p>	<p>Torre C AM 993m RD 1.95 DA 267m</p>  <p>R = 10 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 10 km)</p>
<p>Torre F AM 1288m DR 1.77 DA 162m</p>  <p>R = 5 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 5 km)</p>	<p>Torre G AM 300m RD 2.48 DA 806m</p>  <p>R = 10 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 10 km)</p>
<p>Torre N AM 1049m RD 1.29 DA 192m</p>  <p>R = 10 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 10 km)</p>	<p>Torre O AM 1054m RD 1.35 DA 206m</p>  <p>R = 1 km*</p> <p>Região distante: (0,6 < R ≤ 1 km)</p>
<p>Torre Q AM 1207m RD 1.09 DA 223m</p>  <p>R = 2 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 2 km)</p>	<p>Torre R AM 1173m RD 1.40 DA 384m</p>  <p>R = 10 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 10 km)</p>
<p>Torre V AM 1296m RD 1.91 DA 324m</p>  <p>R = 2 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 2 km)</p>	<p>Torre Y AM 1090m RD 1.42 DA 180m</p>  <p>R = 2 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 2 km)</p>
<p>Torre Z AM 1014m RD 1.79 DA 506m</p>  <p>R = 3 km**</p> <p>Região distante: (3 < R ≤ 10 km)</p>	<p>Torre AA AM 104 RD 1.97 DA 214m</p>  <p>R = 3 km*</p> <p>Região distante: (3 < R ≤ 10 km)</p>
<p>Torre DD AM 618m RD 1.57 DA 302m</p>  <p>R = 2 km</p> <p>Região distante: (1 < R ≤ 2 km)</p>	<p>Legenda: AM = altitude média; RD = Relação de densidade; DA = Diferença de altitudes</p>

Pode-se observar que, para dois casos em particular (Torres Z e AA), a região distante foi definida como sendo a área compreendida entre os raios de 3 km a 10 km. Isto porque, especificamente no caso da Torre AA, há a existência de dois outros picos próximos à torre, com mesma altitude do local de instalação da mesma. No caso da Torre Z, a mesma situa-se numa inclinação; porém quando a área analisada passa a ser definida pelo raio de 3 km ("região próxima"), a região compreendida por esta área caracteriza-se como um "ponto de destaque" em relação à região distante, definida pela área de $3\text{ km} < R \leq 10\text{ km}$.

Para se analisar eventuais influências da orografia de uma região na intensidade da corrente das descargas atmosféricas, são considerados os mesmos 13 casos e suas respectivas áreas distantes definidas na Tabela 1.

A Torre A não foi incluída nesta análise, pois somente dois *strokes* foram registrados pelo LLS na região próxima ($R > 600$ m) no período de 4 anos. A Torre O também foi excluída desta análise, pois sua “região distante” foi definida por $600 \text{ m} < R \leq 1 \text{ km}$, e, devido à estimativa da corrente do LLS, julgou-se prudente desconsiderar esta análise (4).

2.2 Partes do mapa de relevo de Minas Gerais

Objetivando-se uma melhor caracterização das eventuais correlações de diferenças de relevo e densidade de descargas, análises complementares são realizadas, utilizando-se partes do mapa de relevo do Estado (obtido através de imagens de satélite). Duas regiões distintas são consideradas: uma área plana e outra montanhosa (com grandes variações de altitude), demonstradas na Figura 2.

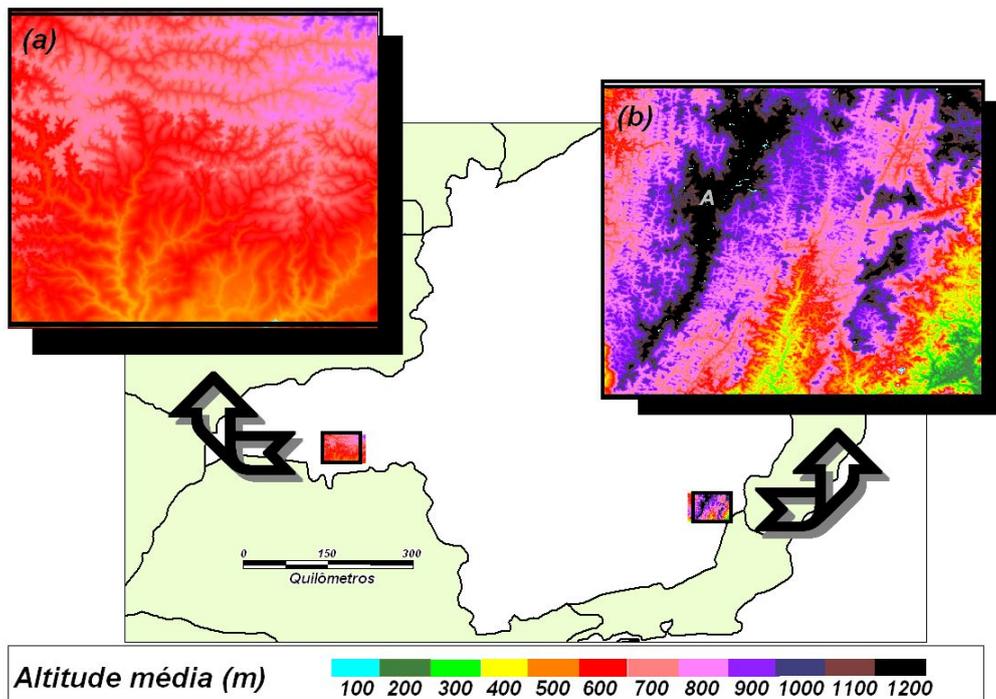


FIGURA 2 – Regiões consideradas na análise (a) região plana e (b) região montanhosa

Nestas regiões retangulares (aproximadamente 4.000 km² de área) são definidas as faixas de altitude determinantes do relevo local a cada 100 m de altitude (variação de 1200 m a 200 m). Com o objetivo de verificar o comportamento da densidade de descargas na presença de elevações do relevo, a densidade de *strokes* é calculada para cada faixa de altitude, considerando-se uma base de dados do LLS de 5 anos (1999 a 2003).

Esta metodologia assemelha-se aos estudos realizados por Schulz & Diendorfer (5) e Randerson et al (6). Porém, neste Informe Técnico, procura-se analisar a influência de elevações na densidade de descargas e intensidade de corrente, e não somente os valores absolutos de altitude.

3.0 - RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Análise de incidência de descargas

Ao se efetuar as análises de incidência nos sítios de telecomunicações da Tabela 1, algumas tendências interessantes foram encontradas.

Foi observada uma correlação positiva entre a densidade de descargas individuais e a diferença das altitudes do local onde a torre está instalada e a região circunvizinha à torre (raio de no máximo 10 km em torno do local de instalação da torre). O coeficiente de relação linear obtido é $r = 0,67$, indicando uma correlação relativamente forte entre os parâmetros analisados quando o relevo da região foi adequadamente caracterizado. Apenas para fins de se estabelecer uma idéia quantitativa do efeito produzido por tal correlação, na Figura 3 estima-se o aumento percentual na densidade de descargas (*strokes*) em função da altitude.

Os valores aqui apresentados, apesar de resultantes de diversas localidades e diferentes perfis de relevo, ainda merecem um tratamento cuidadoso, por exemplo, aumentando-se a amostra de dados disponíveis. O objetivo final é o estabelecimento de uma equação mais representativa estatisticamente, que correlacione a “densidade de descargas de uma região” com as “variações de altitude”. A equação resultante de tais análises destina-se a ser utilizada, numa etapa posterior, em análises de desempenho de linhas de transmissão, que geralmente possuem

sua rota em terrenos montanhosos ou extensas regiões planas.

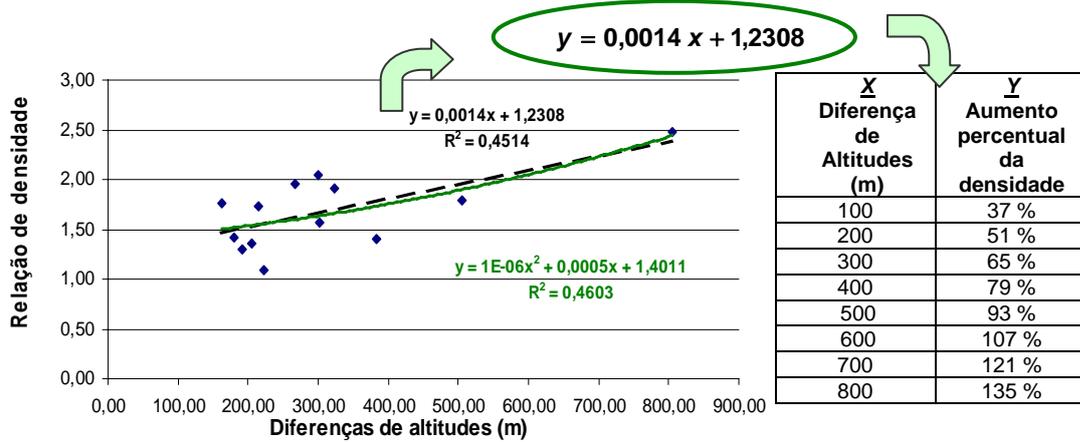


FIGURA 3 – Correlação entre as diferenças de altitude e relação de densidade entre as regiões próxima e distante considerando-se 13 sítios de torres de telecomunicações.

3.2 Análise de intensidade de corrente de descargas

A relação da diferença percentual da intensidade de corrente e a variações no relevo (diferença de altitudes), considerando-se as regiões próxima e distante (para onze dos treze casos da Tabela 1) está apresentada na Figura 4. O sinal negativo na diferença percentual da amplitude de corrente indica que, próximo à torre, a intensidade de corrente da descarga é menor que na região distante.

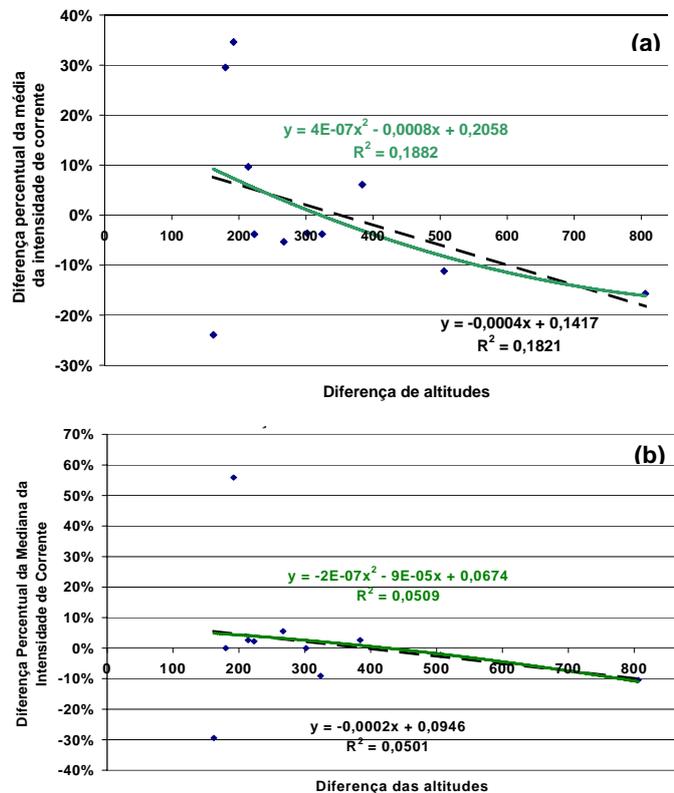


FIGURA 4 - Correlação linear (Linha tracejada) e polinomial (linha contínua) entre percentual de intensidade de strokes negativos e diferença de altitudes, considerando-se (a) diferença percentual da mediana da intensidade de corrente e (b) diferença percentual da média da intensidade de corrente.

Pode ser observado que não foram encontradas relações fortes entre a diferença de altitudes e a amplitude de corrente de descarga ($r = 0,43$: correlação relativamente moderada, considerando-se a média das amplitudes e $r = 0,22$: fraca correlação considerando-se a mediana das amplitudes de corrente).

Além da elevada dispersão, constatou-se que o comportamento da relação *diferenças de altitudes x intensidade de corrente*, para os casos estudados, contraria os resultados esperados, indicando uma intensidade de corrente menor na “região próxima” em relação à “região distante” para os casos onde as diferenças de altitude são maiores.

Verifica-se a necessidade de continuidade de tais análises, considerando-se diferentes locais que apresentem o mesmo perfil topográfico e aumentando-se a amostragem e, por conseguinte, a confiabilidade estatística.

3.3 Regiões planas x Regiões montanhosas

É importante ressaltar que as análises aqui apresentadas objetivam verificar o comportamento da densidade de acordo com variações do relevo. Apesar dos respectivos coeficientes de correlação terem sido calculados, num primeiro momento, não se pretende determinar a equação que representa esse comportamento. Isso porque do ponto de vista estatístico, existem poucas amostras de dados.

A Figura 5 apresenta o gráfico que relaciona a densidade de *strokes* para as faixas de altitude da região plana estudada, explicitada na Figura 2 (a). São efetuados dois tipos de análise: (i) *densidade da área total*, onde se considera, para cálculo da densidade local, a área correspondente a todos os níveis de altitudes superiores ao valor estabelecido para análise (pontos azuis no gráfico) e (ii) *densidade na faixa*, onde se considera a área compreendida no intervalo de altitude determinado (pontos vermelhos).

Para os dois casos, foi traçada a curva que melhor representa o comportamento da densidade de *strokes* de acordo com a altitude. As linhas verdes pontilhadas representam a densidade média local (4,42 st/km²/ano) e a altitude média (630 m), calculada considerando-se toda a região analisada.

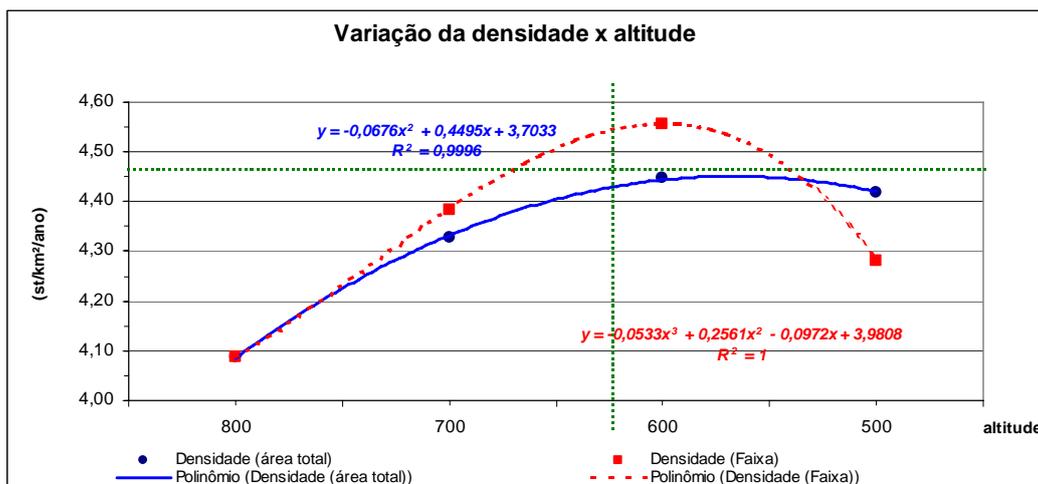


FIGURA 5 – Comportamento da densidade em relação à altitude numa região plana

A Figura 6 apresenta o comportamento da densidade de *strokes* de acordo com a altitude numa região montanhosa (Figura 2 (b)). Como no caso da Figura 5, os pontos azuis representam o N_g por nível de altitude, os vermelhos o N_g por faixas de altitude e as linhas verdes a densidade média local e a altitude média da região.

Numa primeira etapa, foram considerados todos os níveis de altitude encontrados na região, tendo por referência o pico de maior área no local estudado (região A da Figura 2 (a)). A densidade local é de 3,40 st/km²/ano e altitude média de 740 m. Os resultados encontrados estão explicitados na Figura 6 (a).

Observa-se que, a partir do nível de 700 m de altitude (até 200 m de altitude), há um acréscimo nos valores de densidade encontrados, contrariando o esperado. Ao se analisar o perfil de relevo da região estudada, verifica-se que existem 3 picos superiores a 700 m de altitude (além do pico de referência – região A da Figura 2 (b)), o que interferiu nos valores de densidade encontrados. Sendo assim, a Figura 6 (b) melhor representa o comportamento da densidade de acordo com a variação da altitude para a região estudada, desconsiderando-se as faixas de altitude onde existiam picos superiores (somente os níveis de densidade de 1200 m até 800 m, foram utilizados para análise). Neste caso, a altitude média é de 930 m.

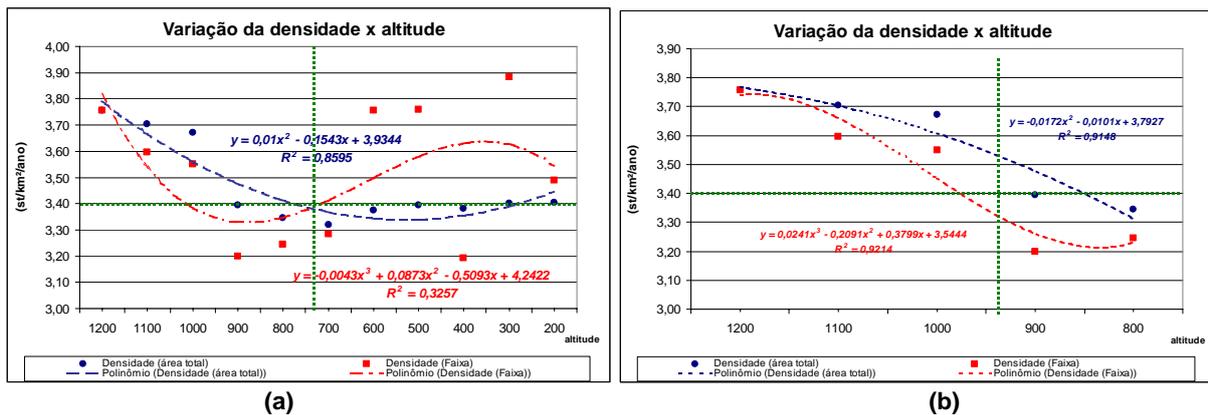


FIGURA 6 – Comportamento da densidade em relação à altitude numa região montanhosa (a) considerando-se todos os níveis de altitude encontrados (b) desconsiderando-se as faixas de altitude com picos superiores

Observando-se as Figuras 5 e 6, pode-se verificar que tanto na região plana quanto na região montanhosa, pode-se considerar que o ponto médio (que caracteriza o N_g e altitude da região) é praticamente o ponto de inflexão das curvas obtidas.

Para se comparar o comportamento da densidade nas regiões plana e montanhosa, tornou-se necessário o cálculo da variação percentual da densidade para os diferentes níveis de altitude, tendo-se por referência o N_g típico da região estudada. A Figura 7 apresenta os resultados alcançados.

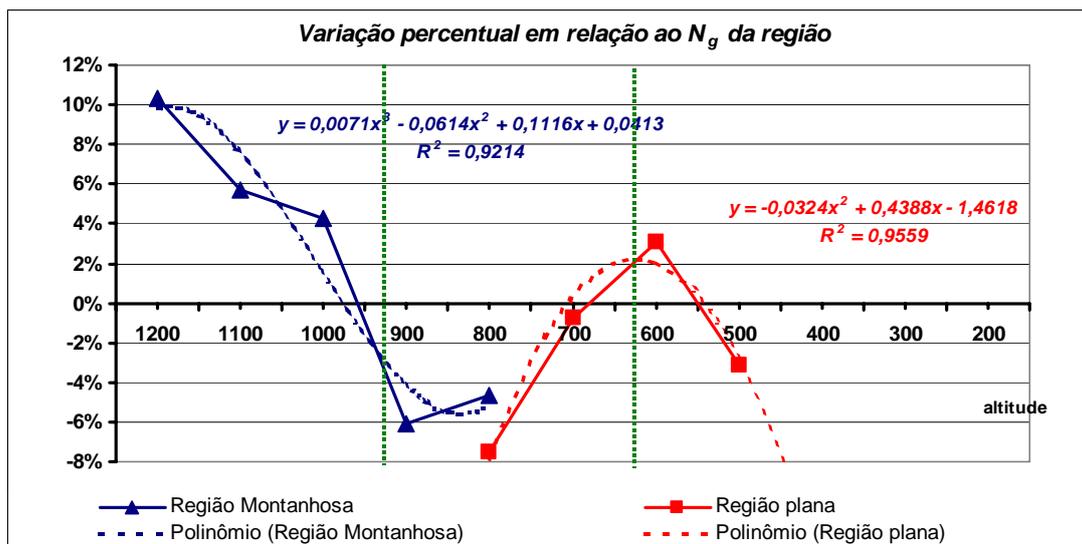


FIGURA 7 – Comportamento da densidade de acordo com a altitude em relação ao N_g da região

Em ambas regiões (plana e montanhosa), o ponto de inflexão das curvas obtidas é praticamente o valor da altitude média.

No caso da região montanhosa, a densidade de strokes é maior à medida que se eleva a altitude, chegando a 10,3% do valor do N_g local (diferença de altitude de 270 m). Este resultado é menor quando comparado com os resultados apresentados na Figura 3, que apresenta um aumento de até 65% para uma diferença de altitude de 300 m. Isto pode ser explicado pela metodologia utilizada para caracterização do relevo nos dois diferentes tipos de análise (por região retangular e áreas circulares de sítios de telecomunicações).

Para a região plana, a diferença em relação à densidade local ficou em torno dos 3%, exceto para a altitude de 800 m, onde atingiu 7,5%. Isso provavelmente por ser a faixa de altitude que possui menor área (cerca de 300 km² ao passo que as demais faixas representam cerca de 92% da área total analisada), o que interfere na densidade calculada.

4.0 - CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados alguns resultados interessantes acerca da relação do relevo de uma região com a densidade de descargas.

Verificou-se uma correlação positiva entre a densidade de *strokes* e as diferenças de altitudes nas regiões adjacentes. No entanto, não foram identificadas influências na intensidade da corrente de descargas devido às diferenças de altitudes.

O comportamento da densidade em faixas de altitudes considerando-se faixas de diferentes regiões (região plana e montanhosa) pode ser representado por um polinômio de segunda e terceira ordem, respectivamente (diferentes equações).

Como é de interesse o desenvolvimento de equações que diferenciem a densidade de *strokes* em regiões planas e montanhosas, verifica-se a necessidade de se analisar novas regiões, a fim de se aumentar a confiabilidade dos dados apresentados.

5.0 - AGRADECIMENTOS

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

Os autores agradecem à CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) pela contribuição neste trabalho, especialmente a Vander José de Souza, Luis Carlos L. Cherchiglia e Armando Cazetta Filho.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DIAS, R. N; VISACRO, S., MESQUITA, C.R: "Analysis of Lightning Incidence: Telecommunication Sites at Elevated Altitudes". *Proceedings of VII International Symposium on Lightning Protection (SIPDA2003)*, Curitiba, Brazil, November, 2003, pp 27 – 30.
- (2) DIAS, R.N; MESQUITA, C.R; VISACRO, S.: "Correlation between Lightning Incidence and Altitudes: An Analysis in Minas Gerais State – Brazil", *International Lightning Detection Conference (ILDC2004)*, Helsinki, Finland, June 2004.
- (3) DIAS, R. N; VISACRO, S., MESQUITA, C.R: "Analysis of Soil Relief Influence on Lightning Incidence and Current Amplitude in Minas Gerais State, Brazil". *International Conference on Lightning Protection (ICLP'2004)*, Avignon, France, September 2004.
- (4) SCHULZ, W; DIENDORFER, G.; "Lightning Peak Current Measured on Tall Towers and Measured with Lightning Location Systems" - *International Lightning Detection Conference (ILDC 2004)*, Helsinki, Finland, June 2004.
- (5) SCHULZ, W; DIENDORFER, G; "Lightning Characteristics as a Function of Altitude Evaluated from Lightning Location Network Data", *International Conference on Lightning and Static Electricity*, Toulouse, France, 1999.
- (6) RANDERSON, D; SOULÉ, D. A; SANDERS, J. B: " Investigation of Lightning Flashes as Function of Terrain Elevation" - *International Lightning Detection Conference (ILDC 2004)*, Helsinki, Finland, June 2004.