

ESTUDO DA INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM MG: VERIFICAÇÃO DA POLARIDADE PREVALENTE E VARIAÇÃO DO NÚMERO DE INCIDÊNCIA ENTRE OS ANOS DE 2012 A 2017

Pedro Lucas da Silva ¹; Lucas Fernandes Barbosa de Andrade ² David Augusto Lopes ³;

1 Bolsista (IFMG), Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, IFMG Campus Ibirité, Belo Horizonte - MG; plucassilva4@gmail.com

2 Bolsista (IFMG), Curso técnico em Mecatrônica, IFMG Campus Ibirité, Contagem - MG; lucasfa13@gmail.com

3 Orientador: Professor do IFMG, Campus Ibirité; david.lopes@ifmg.edu.br

RESUMO

A pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de estudar a distribuição de descargas atmosféricas com observação da distribuição de polaridade na região do estado de Minas Gerais de 2012 até 2017. Para isso, foi utilizado um banco de dados disponibilizado pela rede STARNET, coordenada no Brasil pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Foi realizada uma filtragem dos dados fornecidos utilizando a linguagem de programação Python a fim de selecionar os dados mais confiáveis. Posteriormente, utilizou-se o *software* Qgis para realizar a construção de mapas do estado de Minas Gerais para observar as regiões com maiores e menores incidências de descargas, além de visualizar em quais regiões há a prevalência de descargas negativas e em quais há de descargas positivas. Foi observado que a incidência máxima de descargas negativas, positivas e totais são, respectivamente, iguais a 6,71 descargas/km², 4,27 descargas/km² e 10,12 descargas/km² para a resolução da malha utilizada de 10 km x 10 km. Verificou-se também que o Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba foi a região que apresentou maior incidência de descargas negativas, já as maiores concentrações de descargas positivas foram identificadas na região Sul/Sudoeste de Minas.

INTRODUÇÃO:

De acordo com o Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (ELAT/INPE), descargas atmosféricas são descargas elétricas de alta intensidade que podem ocorrer entre nuvens, dentro das nuvens, da nuvem para o solo e do solo para a nuvem. Quando as descargas elétricas ocorrem da nuvem para o solo, estas são chamadas de raios e possuem um caráter destrutivo. Os raios podem ser negativos ou positivos, isto é, quando a descarga ocorre a partir de centro de cargas negativo em uma nuvem, em uma descarga da nuvem para o solo, o raio é negativo e, quando a descarga parte de de um centro de cargas positivo, a polaridade do raio é positiva (ELAT, 2022).

Segundo Lopes (2009, p.1), o campo eletromagnético gerado pelas descargas elétricas que ocorrem próximas aos sistemas de energia elétrica pode ocasionar o desligamento destes sistemas. Tal situação também é apresentada em dados do ELAT, onde é apontado que “cerca de 70% dos desligamentos na transmissão e 40% na distribuição são provocados por raios”. O estudo das características das descargas atmosféricas, assim como a densidade de incidência regional das descargas é de grande importância para a implementação de sistemas de proteção, mitigando os danos causados por esse fenômeno.

Uma importante ferramenta para os estudos de descargas atmosféricas e de sistemas de proteção contra essas descargas é o sistema de detecção de descargas atmosféricas. No Brasil temos 2 principais sistemas de detecção de descargas atmosféricas, a STARNET (Sferics Tracking and Ranging Network), rede desenvolvida pela empresa Resolution Display Inc (RDI) em programa de inovações da NASA e que no Brasil é coordenada pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) (STARNET, 2022) e a RINDAT (Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas), essa rede integra sensores da CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), COPEL (Companhia Paranaense de Energia), INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) e Eletrobras FURNAS. Ambos sistemas têm abrangência nacional e eficiência de detecção entre 70% e 90% (Morales, 2015).

As redes de detecção de descargas atmosféricas utilizam antenas que captam sinais emitidos pelas descargas. Através de técnicas de processamento é possível calcular a distância em relação às antenas que a descarga ocorreu. Os sinais em geral são sinais VLF (Very Low Frequency), sinais de baixa frequência de 7 a 15kHz. E as técnicas utilizadas para o processamento e cálculo da posição de incidência são a ATD (Arrival Time Difference - diferença de tempo de chegada) e também MDF (Magnetic Direction Finder – localização da direção magnética), (RINDAT, 2022; MORALES; WEINMAN; ANAGNOSTOU, 2002).

Os dados obtidos pelos sistemas de detecção são utilizados em estudos variados, que englobam o ambiente elétrico do planeta, climatologia, proteção de sistemas elétricos, entre outros. Mesmo sabendo que esses sistemas têm limitações, são dados extremamente importantes, por exemplo, para encontrar o nível de incidência de descargas local, utilizado no planejamento de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (DIAS et al, 2009).

Os dados das redes de detecção podem ser organizados em mapas de densidade de distribuição, facilitando o estudo da incidência de descargas em uma certa região. Além disso, os dados podem ser utilizados para estudos de parâmetros de descargas, como corrente, polaridade, velocidade de propagação, frente de onda, entre outros.

Como exemplo tem-se o trabalho de Enno, um estudo da distribuição de descargas pela Europa foi realizado utilizando dados de detecção de descargas dos últimos 10 anos da rede de detecção europeia ATDnet. Neste estudo, entre outros pontos importantes, foi possível identificar regiões com maior densidade de descargas, por exemplo a Itália com cerca de 7,8 descargas/km²/ano. Identificou-se também que 90% das descargas estudadas eram nuvem-solo (ENNO *et al.*, 2020).

Outro trabalho recente (MATSUI; MICHISHITA; YOKOYAMA, 2020) estudou a relação entre a densidade de descargas, de uma região no Japão próxima a turbinas eólicas, com a quantidade de descargas que incidem nessas turbinas, encontrando uma probabilidade, nas áreas estudadas, de 0,12% no verão e 5,6% no inverno. Dados que são importantes para a proteção dessas turbinas.

No Brasil, o trabalho de Cardoso correlaciona mortes com a incidência de descargas atmosféricas como dados de 10 anos (CARDOSO *et al.*, 2014). O trabalho de Rodrigues faz também um estudo de mortes por raio no sudeste do Brasil, correlacionando dados meteorológicos e de incidência de descargas para prevenir novos acidentes (RODRIGUES JUSEVICIUS; ASSIS BENETI, 2007).

Por fim, o trabalho de Cummins estuda o impacto que o terreno causa na incidência de descargas em uma região, o relevo influencia na climatologia da região e conseqüentemente na formação de nuvens de tempestades e assim não necessariamente os pontos mais altos são os que têm maior incidência de descargas (CUMMINS, 2014).

Neste contexto, é proposto e realizado por este trabalho, um estudo da distribuição de descargas com observação da distribuição de polaridade na região do estado de Minas Gerais. Colaborando para um melhor entendimento do fenômeno e suas conseqüências em Minas Gerais. Identificando regiões dentro do estado com maior incidência de descargas e identificando a polaridade prevalente. Considerando que as descargas atmosféricas com polaridade positiva são mais difíceis de ocorrer mas são mais destrutivas em comparação com as descargas negativas, o conhecimento dessa distribuição no estado pode colaborar para melhor proteção de sistemas elétricos e de vidas.

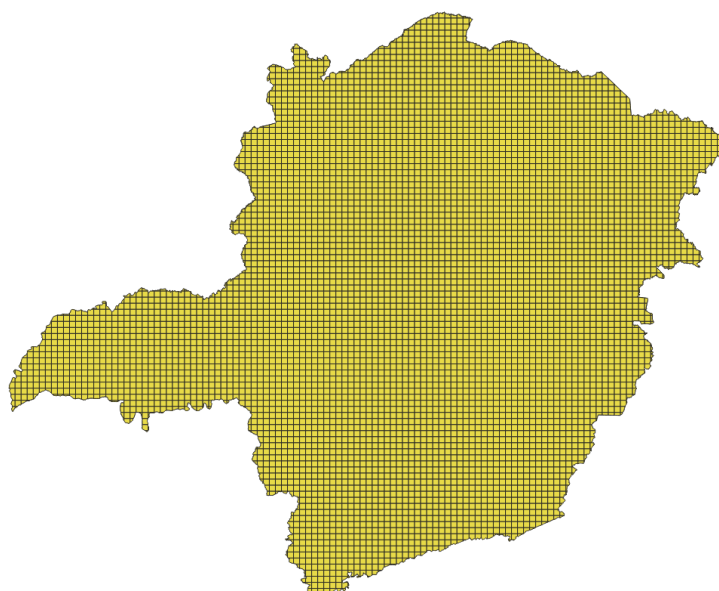
METODOLOGIA:

Foi utilizado um banco de dados da rede de detecção STARNET com as detecções de descargas atmosféricas que ocorreram de 2012 até 2017 em todo o estado de Minas Gerais. A STARNET utiliza sensores que detectam *spherics*, que são sinais eletromagnéticos gerados pela descarga atmosférica na faixa de baixa frequência (VLF). Esse sinal é processado computacionalmente e tem um índice de confiabilidade, indicando se o dado de detecção representa bem a incidência da descarga naquele local medido. Essa informação é disponibilizada junto aos dados de detecção. Para que apenas dados com alta confiabilidade fossem utilizados no trabalho, foi necessário processar os dados recebidos, excluindo os dados com confiabilidade média e/ou baixa. Devido a quantidade de dados, mais de 1Gb, um pequeno código foi feito em Python para auxiliar e otimizar o processo de filtragem de dados confiáveis.

Os dados de melhor qualidade foram utilizados para a confecção de mapas de distribuição de descargas no estado de Minas Gerais. Utilizou-se o *software* QGIS, que é um sistema de informação geográfica (SIG) de código aberto (QGIS, 2022) para esse estudo e mapeamento da localização das descargas detectadas. Foram utilizados mapas vetoriais da região, disponibilizados no site do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), no formato adequado para implementação no QGIS.

Para contabilizar a densidade de descargas, número de descargas detectadas por quilômetro quadrado, criou-se no QGIS uma grade com quadrados de 10 km x 10 km sobre todo o estado de Minas Gerais, conforme Figura 1.

Figura 1 – Grade de 10km x 10km criado no QGIS em Minas Gerais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os dados georreferenciados de detecção de descargas foram adicionados ao mapa no QGIS e foi realizada a contagem de detecções na região dos quadrados de 100km². A partir dessa contagem de descargas por área de 100km², criou-se uma nova camada no QGIS com a grade de quadrados de 10km por 10km e cada quadrado relacionado com o número de descargas contadas naquela região. Os valores da contagem em cada quadrado foram relacionados a um gradiente de cores, formando um mapa de densidade de descargas atmosféricas em Minas Gerais com resolução de 10km x 10km. Esse procedimento foi repetido para os dados de todos os meses entre 2012 e 2017.

O próximo passo foi construir os mapas de distribuição de polaridade das descargas. O procedimento foi o mesmo já realizado, porém com a adição da separação dos dados de descargas detectadas positivas e negativas.

Foi realizado o cálculo da fração média normalizada em cada quadrado de 10km x 10km, com o objetivo de identificar em quais regiões há a prevalência de descargas positivas e negativas. A fração média normalizada é dada por:

$$Fração (\%) = \frac{(DP - DN) \times 100}{DT} \quad (1)$$

Onde:

DP = Densidade Média de Descargas Positivas
DN = Densidade Média de Descargas Negativas
DT = Densidade de Descargas Total
Se Fração < 0, há mais descargas negativas
Se Fração > 0, há mais descargas positivas

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Durante o período de estudo, de 2012 a 2017, foram detectadas 3.165.820 descargas atmosféricas no estado de Minas Gerais, resultando em uma média de 527.636,7 descargas detectadas por ano. Na tabela 1, é possível visualizar a quantidade de descargas atmosféricas por ano.

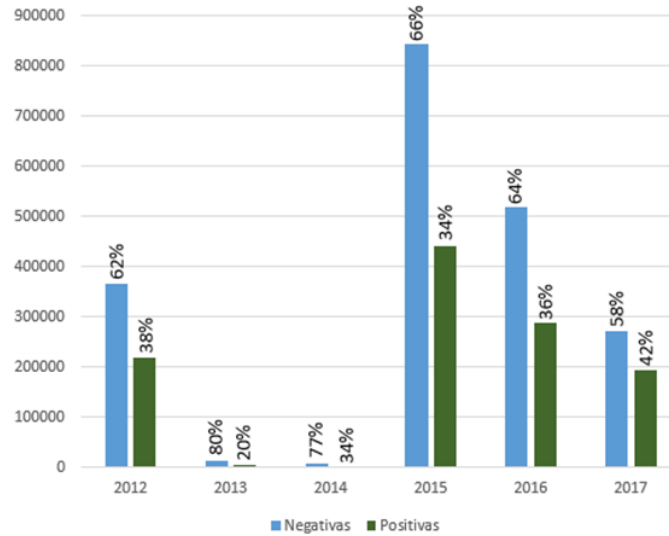
Tabela 1 – Quantidade de descargas atmosféricas por ano.

	Descargas Positivas	Descargas Negativas	Descargas Totais
2012	218.854	364.275	583.129
2013	3.385	13.183	16.568
2014	2.455	8.432	10.887
2015	440.703	844.111	1.284.814
2016	288.313	517.133	805.446
2017	193.892	271.084	464.976

Fonte: Elaborada pelo autor.

É importante destacar que foram registradas mais descargas negativas do que positivas. Além disso, a baixa quantidade de descargas registradas nos anos de 2013 e 2014 em comparação com os outros anos, devem ser melhor avaliadas. A distribuição das descargas, em relação ao período de estudo, apresentada na Tabela 1, pode ser melhor visualizada no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Distribuição das descargas atmosféricas por ano.

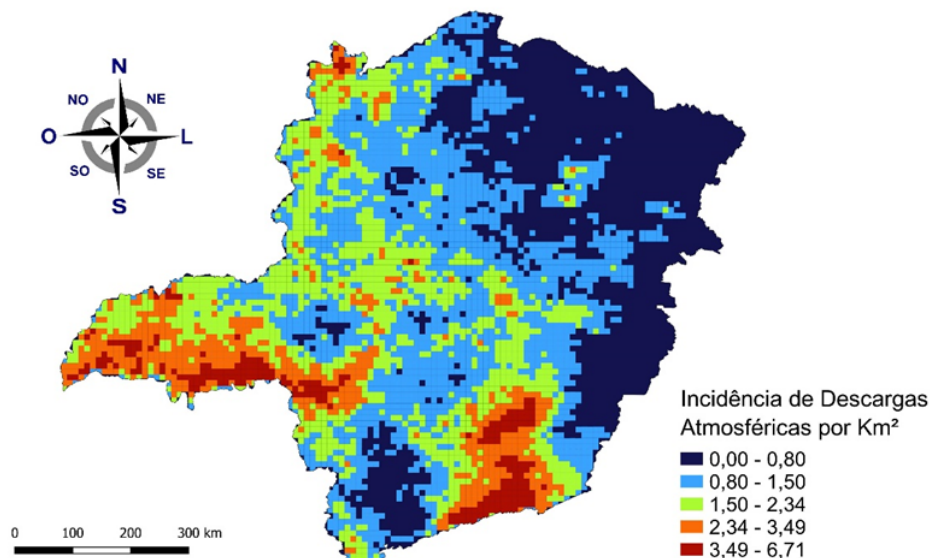


Fonte: Elaborada pelo autor.

Com relação a distribuição das descargas no território mineiro, o mapa de densidade apresentado nas figuras 2, 3 e 4 demonstram a visualização das regiões com maiores e menores níveis de incidência de descargas.

Figura 2 – Descargas negativas registradas entre 2012 e 2017 em Minas Gerais.

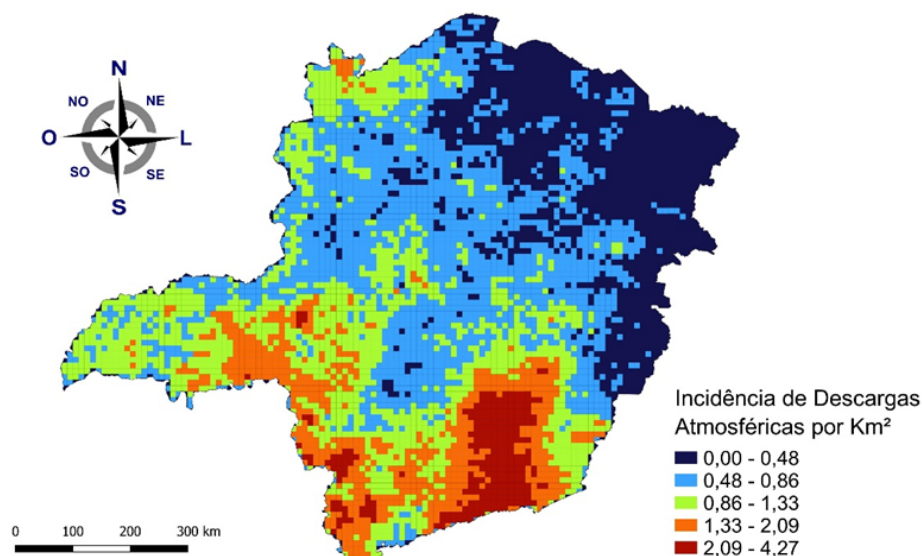
Descargas Atmosféricas Negativas Registradas em Minas Gerais entre 2012 e 2017



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 3 – Descargas positivas registradas entre 2012 e 2017 em Minas Gerais.

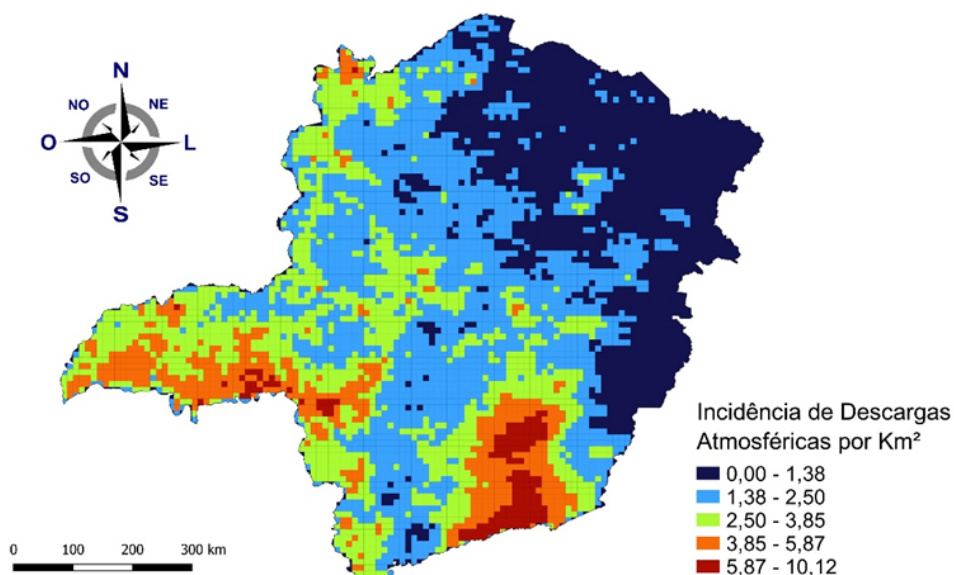
Descargas Atmosféricas Positivas Registradas em Minas Gerais entre 2012 e 2017



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 4 – Descargas totais registradas entre 2012 e 2017 em Minas Gerais.

Descargas Atmosféricas Registradas em Minas Gerais entre 2012 e 2017



Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi possível identificar que, durante este período de seis anos, as maiores incidências de descargas positivas, de acordo com a figura 3, concentraram-se nas regiões Zona da Mata, Sul/Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes e Metropolitana de Belo Horizonte, com valores entre, aproximadamente, 2 e 4 descargas/km². Já com base na figura 2, as maiores incidências de descargas negativas se concentraram

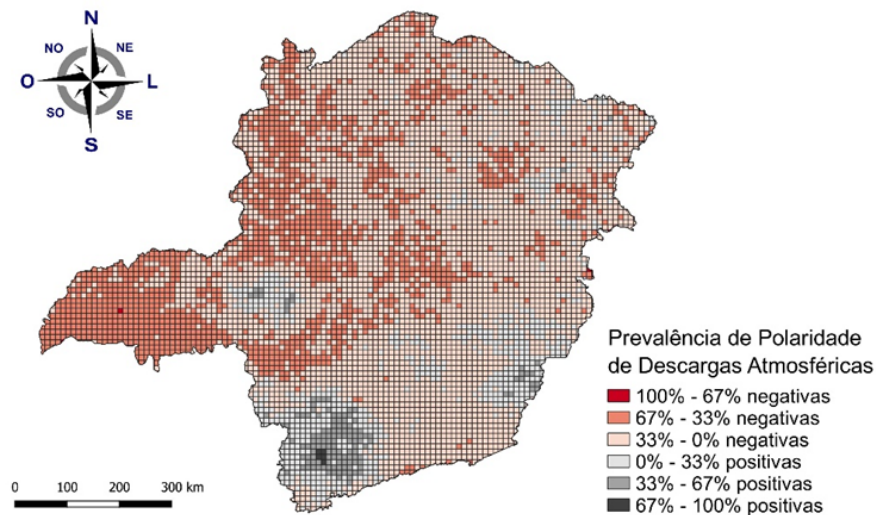
nas regiões Zona da Mata, Campo das Vertentes, Região Metropolitana de Belo Horizonte e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, com valores entre, aproximadamente, 3,5 e 7 descargas/km².

Na figura 4, onde é representado as descargas totais, é possível visualizar as maiores incidências nas regiões Zona da mata e Metropolitana de Belo Horizonte, com uma incidência máxima de 10,12 descargas/km².

Com relação aos resultados referentes à prevalência de descargas atmosféricas, calculado por meio da fração média normalizada, Equação 1, foi possível visualizar, na Figura 5, as regiões do estado de Minas Gerais onde ocorreram predominâncias de descargas negativas e positivas.

Figura 5 – Distribuição de Polaridade de Descargas Atmosféricas em Minas Gerais no ano de 2017.

Mapa de Distribuição de Polaridade de Descargas Atmosféricas de 2012 até 2017



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a figura 5, pode-se perceber que a região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba apresentou consideravelmente uma prevalência de descargas negativas, enquanto as maiores concentrações de regiões com prevalência de polaridades positivas se encontraram na região Sul/Sudoeste de Minas.

CONCLUSÕES:

Foram apresentados, utilizando dados da STARNET, os resultados da incidência de descargas atmosféricas positivas, negativas e totais no estado de Minas Gerais de 2012 até 2017. Além disso, a prevalência das descargas positivas e negativas por regiões do estado mineiro foi demonstrada. A região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba apresentou as maiores concentrações de descargas negativas e a região Sul/Sudoeste de Minas, as maiores concentrações de polaridades positivas.

Foi observado que a incidência máxima de descargas negativas, positivas e totais são, respectivamente, iguais a 6,71 descargas/km², 4,27 descargas/km² e 10,12 descargas/km² para a resolução da malha utilizada de 10 km x 10 km.

Para estudos futuros, também é interessante realizar uma investigação nas regiões em que foram registradas a prevalência de descargas atmosféricas positivas, principalmente na região Sul/Sudoeste de Minas Gerais. Esta análise é importante a fim de entender quais são as possíveis causas para esta situação, uma vez que este tipo de descarga tem um processo de formação diferente das descargas negativas e possuem um caráter mais destrutivo em relação à elas. Além disso, há o interesse na publicação de um artigo para que seja possível a divulgação do projeto, bem como os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

STARNET. Sistema de Detecção de Descargas . <<http://www.zeus.iag.usp.br/index.php>> Acesso em 05/05/2022

MORALES, C. A.; NEVES, J. R.; MOIMZA, E. A.; ROGGÉRIO, V.; CAMARA, K. S.; RODRIGUES, N.; GONDIM, R. S.; SANTOS, F. L. C.; 9 years of lightning measurements in South America as detected by STARNET. **International Symposium on Lightning Protection (XIII SIPDA)**. Balneário Camboriú, Brasil, Outubro, 2015.

RINDAT. Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas. < <http://www.rindat.com.br> > Acesso em 05/05/2022

MORALES, C. A.; WEINMAN, J. A.; ANAGNOSTOU, E. N. Continuous Long-Range Thunderstorm Monitoring by a VLF Receiver Network Part I: Instrumentation and Location Error Analysis. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, n. January, 2002.

DIAS, R. N.; MESQUITA, C. R.; VISACRO, S., Aplicações de mapas de densidade de descargas atmosféricas na engenharia de proteção: Avaliações e Limitações. **XIII ERIAC – Décimo Terceiro Encontro Regional Iberoamericano de CIGRÉ**. Puerto Iguazú, Argentina, Maio, 2009.

ENNO, S et al. Lightning flash density in Europe based on 10 years of ATDnet data. **Atmospheric Research**, v. 235, p. 104769, 2020.

MATSUI, M.; MICHISHITA, K.; YOKOYAMA, S.. Cloud-to-ground lightning flash density and the number of lightning flashes hitting wind turbines in Japan. **Electric Power Systems Research**, v. 181, n. April, p. 106066, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106066>>

CARDOSO, I.; PINTO JR, O.; PINTO, I. R. C. A.; HOLLE, R. Lightning casualty demographics in Brazil and its implications to safety rules, **Atmospheric Research**, v. 135-136, 374-379, 2014.

RODRIGUES JUSEVICIUS, M. A.; ASSIS BENETI, C. A.. Meteorological Analysis of Lightning Related Injuries in the South/Southeast of Brazil. **Proceedings of the IX International Symposium on Lightning**

Protection (SIPDA-2007), n. November, 2007. Disponível em:
<<http://ws9.iee.usp.br/sipdax/papersix/sessao02/2.5.pdf>>

CUMMINS, K. L. Mapping the Impact of Terrain on Lightning Incidence and Multiple Ground Contacts in Cloud-to-ground Flashes. **XV International Conference on Atmospheric Electricity**. Oklahoma, U.S.A. p. 15–20, June 2014

ELAT. Grupo de Eletricidade Atmosférica. **O que são as Descargas Atmosféricas**. Disponível em:
<<http://www.inpe.br/webelat/rindat/menu/desc.atm/>>. Acesso em: 05/05/22.

ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica. **Sistema Elétrico**. Disponível em:
<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/infor/relampagos.e.efeitos/sistema.eletrico.php>>. Acesso em: 05/05/22

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em
<<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>> Acesso em 02/05/2022

LOPES, D. A. **Estudo de Descargas Atmosféricas em Modelo Reduzido: Caracterização do Campo Eletromagnético de canais artificiais**. 2009. 146 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

QGIS. Sistema de Informações Geográficas. Disponível em <<https://www.qgis.org>> Acesso em 02/05/2022.