

## Estudo da densidade de descargas atmosféricas no Estado do Acre utilizando dados da rede de detecção Vaisala GLD-360

Eurico F. Melo Leite \* Thiago Melo de Lima \*\*  
Wanderley A. de Castro Júnior \* Eduardo C. M. Costa \*\*  
José H. A. Monteiro \*

\* *Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCET, Universidade Federal do Acre - UFAC. Rio Branco, AC, Brasil, (euricopismel@gmail.com, wanderley.junior@ufac.br, humberto.monteiro@ufac.br).*

\*\* *Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI, Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, SP, Brasil, (thiagoxml@usp.br, educosta@usp.br).*

---

**Abstract:** The Amazonian territory is known internationally as a region with a high incidence of lightning strikes. To understand the behavior of this natural phenomenon, it contributes a lot to the development of protection systems, which start to be better dimensioned and strategically distributed, safeguarding the integrity of structures and safety for living beings. In order to investigate whether the current assessment of the exposure risks of these systems, suggested by the Brazilian standard NBR 5419/2015, is reliable for Acre's state, a study of the density indexes of lightning to ground (Ng) was carried out for this region, during the period 2016-2019, using data provided by the foreign detection network Vaisala GLD-360. The Ng parameter measures the quantity of discharges per square kilometer that reach a certain area in a period of one year, and is crucial for an assessment of exposure risks of protection systems. Through the geoprocessing tool QGIS 3.14.0, average Ng values were found to be much higher than those suggested by NBR 5419/2015 for all Acre's cities, which raises the need to consider a revision of the referred document, and a proposal to update these indexes for the aforementioned region.

**Resumo:** O território amazônico é conhecido internacionalmente como uma região com alta incidência de descargas atmosféricas. Entender o comportamento deste fenômeno natural contribui para com o desenvolvimento de sistemas de proteção, que passam a ser melhor dimensionados e estrategicamente distribuídos, resguardando integridade às estruturas e segurança aos seres vivos. No intuito de investigar se a atual avaliação dos riscos de exposição destes sistemas, sugerida pela norma brasileira NBR 5419/2015, é fidedigna para o Estado do Acre, realizou-se um estudo dos índices de densidade de descargas atmosféricas à terra (Ng) para esta região, durante o período de 2016-2019, por meio de dados fornecidos pela rede de detecção estrangeira Vaisala GLD-360. O parâmetro Ng mensura a quantidade de descargas por quilômetro quadrado que atingem uma determinada área no período de um ano, e é determinante para avaliação de riscos de exposição de sistemas de proteção. Através da ferramenta de geoprocessamento QGIS 3.14.0, constatou-se valores médios de Ng muito acima dos sugeridos pela NBR 5419/2015 para todos municípios acreanos, o que suscita considerar uma revisão do referido documento, e uma proposta de atualização de tais índices para a região supracitada.

*Keywords:* Lightning density; Detection network; Vaisala GLD-360; Acre.

*Palavras-chaves:* Densidade de descarga atmosférica; Rede de detecção; VAISALA GLD-360; Acre.

---

## 1. INTRODUÇÃO

No decorrer do tempo muitos estudiosos se debruçaram a entender a natureza das descargas atmosféricas, tendo, no entanto, pouco reconhecimento e aceitação da comunidade científica. Foi somente no século XVIII, através de um estudo conduzido por Benjamin Franklin, que o comportamento dos raios pôde ser melhor compreendido (PEREIRA, 2010).

A experiência realizada por Franklin oportunizou os primeiros debates sobre Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA), muito disto em razão do que o cientista chamou de “poder das pontas”, fazendo menção à capacidade que objetos pontiagudos, como as varetas de pipas, têm de atrair corrente elétrica em virtude da concentração de cargas nas pontas – servindo de base para a confecção do modelo atual conhecido como Captor de Franklin, muito utilizado na proteção das estruturas e edificações hodiernas (KAFER, 2018).

Contribuições históricas à parte, é visceral os sentimentos de proteção e prevenção que permeiam às organizações humanas desde o limiar do convívio social, que buscam, através do conhecimento científico e da tecnologia, resguardar a sociedade ante a fenômenos como este.

É neste escopo que emergem os sistemas de detecção de descargas atmosféricas, responsáveis por localizar e monitorar a incidência de descargas por todo globo. Através de redes robustas e precisas, encontram aplicabilidade em muitos serviços, como a engenharia, a meteorologia, a defesa civil, a aviação, e sobretudo a geração de pesquisas científicas capazes de proteger os sistemas elétricos de potência, mitigando interrupções e desligamentos (LEAL, 2014).

É certo pois que as redes de detecção são uma importante ferramenta na compreensão do comportamento elétrico da atmosfera de uma dada região, corroborando para com a prevenção de acidentes e situações adversas mediante a disponibilização de dados que impactam a avaliação dos riscos de exposição dos sistemas de proteção, que passam a ser melhor dimensionados, e estrategicamente distribuídos (LEAL, 2014).

As redes de detecção permitem que sejam criadas séries históricas de observações, que aferem a existência de padrões de atividade de descargas atmosféricas em determinadas localidades mediante sua recorrência, através de um indicador conhecido como densidade de descargas atmosféricas à terra – “Ng” (DENTEL, 2013).

O parâmetro “Ng” mensura a quantidade de descargas atmosféricas por quilômetro quadrado que atingem uma determinada área no período de um ano. Trata-se de um indicador da incidência de descargas atmosféricas do tipo Nuvem-Solo (NS) de extrema valia, que contribui significativamente para com a exímia avaliação de riscos de projetos de SPDA, frente às características de cada localidade geográfica (DENTEL, 2013).

Em linhas gerais, este trabalho dará ênfase no estudo da densidade de descargas atmosféricas à terra no território compreendido pelos limites geopolíticos do Estado do Acre, entre os anos de 2016-2019, valendo-se para isto de dados obtidos junto a rede de detecção Vaisala GLD-360. Pretende-se investigar o comportamento sazonal da incidência de descargas atmosféricas, correlacionando-o com os atuais valores empregados pela NBR 5419/2015. 2107

## 2. PROCESSO DE FORMAÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Uma descarga atmosférica pode ser definida como uma descarga elétrica transitória, de grande intensidade, que ocorre na atmosfera entre regiões eletricamente carregadas (SILVA, 2015). Sabe-se que a nuvem, sendo o maior propulsor do fenômeno de descargas atmosféricas, é onde se dá o início do mecanismo de formação desse acontecimento (SOUZA, 2017).

Influenciada por diversos fatores, a ocorrência de descargas atmosféricas está intrinsecamente relacionada à um conjunto de elementos como: a topologia do local, a presença de corpos aquáticos, a proximidade com o oceano, o vento, a temperatura e a umidade. Estas distintas características geográficas impactam sobremaneira na frequência de ocorrência deste evento ao longo dos meses do ano, nas mais variadas regiões do globo (SOARES, 2014).

Destarte, o referido fenômeno tem seu surgimento quando há um rompimento da capacidade de isolamento do ar onde existem duas superfícies com carga elétrica de polos opostos. Ainda que não se tenha conhecimento exato de como ocorre a separação entre as cargas na nuvem, todas as suposições apresentam a ação do vento como sendo um item responsável pela separação das partículas de polaridades distintas (SILVA, 2015).

A origem mais comum das descargas atmosféricas é a separação de cargas nas tradicionais “nuvens de tempestade”, também chamadas de *cumulonimbus* (UMAN, 1987). O modelo clássico da estrutura de uma nuvem de tempestade, assumido na literatura na forma de um tripolo elétrico, é mostrado na Figura 1.

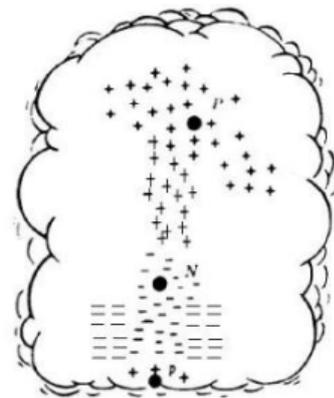


Figura 1. Estrutura elétrica de uma nuvem de tempestade típica.

Da teoria do eletromagnetismo, o surgimento de uma ruptura dielétrica implica na transformação de um dielétrico em condutor por meio da aplicação de um campo elétrico capaz de liberar os elétrons dos átomos presentes na nuvem. Este movimento de cargas caracteriza o aparecimento de uma corrente elétrica que, para descargas atmosféricas, é da ordem de quiloampères e atravessa centenas de metros em uma fração de segundos (DE MELO, 2016).

## 3. SISTEMAS DE DETECÇÃO DE DESCARGA

Pode-se dizer que os raios são como antenas e, à medida que se propagam no ar, emitem energia (radiação) eletromagnética que se dispersa na atmosfera, podendo ser observada em diversas bandas de espectro eletromagnético (VHF “very high frequency” – altíssima frequência, HF

“*high frequency*” – alta frequência, LF “*low frequency*” – baixa frequência, VLF “*very low frequency*” – baixíssima frequência, nessa gradação). Tais bandas de frequência de radiação emitida, estão intimamente ligadas à forma de onda dos picos de corrente associados às descargas (SALDANHA, 2018).

Em todo mundo vários sistemas de detecção terrestres e satelitais se encarregam de monitorar descargas atmosféricas baseados na medição de algumas partes específicas do espectro eletromagnético emitido e propagado na atmosfera. Boa parte desses sistemas operam na banda LF/ VLF ou unicamente VLF, em virtude de os detectores poderem identificar descargas a longas distâncias (DENTEL, 2013).

Os sistemas atuais de detecção terrestre atuam basicamente por meio de conjuntos de sensores distribuídos no solo com uma configuração adequada, enquanto que os satelitais operam através da captação de sinais ópticos. De acordo com a frequência da radiação medida, diferentes características dos raios podem ser observadas como, por exemplo, a polaridade, a multiplicidade, a intensidade, a intensidade da corrente e a discriminação do tipo de raio. De modo geral os sistemas de detecção são baseados em campos eletrostáticos, eletromagnéticos e ópticos, (SALDANHA, 2018), e quanto a frequência de operação são majoritariamente divididos em:

- Sistemas HF/VHF: Os sistemas HF operam na faixa de frequência de 3-30 MHz, enquanto que os VHF operam na faixa de 30-300 MHz. Ambos trabalham com medidas de propagação direta, isto é, os sensores precisam “ver” a descarga elétrica. Em razão disto, sofrem efeitos da curvatura da Terra e de obstáculos, tendo seu alcance restrito a somente 100 Km. Apesar disto, são os sistemas que trazem uma maior precisão na detecção de descargas (RODRIGUEZ, 2018).
- Sistemas LF/VLF: Os sistemas LF operam na faixa de frequência de 30-300 KHz, enquanto os VLF operam na faixa de frequência de 3-30 KHz. Sistemas LF/VLF são baseados nas ondas de solo e geralmente são utilizados para determinar uma descarga de retorno. As redes terrestres que operam nessa faixa de frequência geralmente utilizam sensores do tipo LPATS (Lightning Position And Tracking Sensor – Localizador de raio por sensor de rastreamento) fabricado inicialmente pela empresa Global Atmospheric e incorporado posteriormente pela empresa Vaisala Inc e do tipo IMPACT (Improved Accuracy from Combined Technology – Precisão aprimorada da tecnologia combinada) da empresa Vaisala Inc. (SALDANHA, 2018).
- Sistemas VLF: Sistemas unicamente VLF são utilizados para aferir ondas eletromagnéticas refletidas e são conhecidos por permitir monitorar com poucos sensores, regiões de dimensões continentais, isto é, detectar descargas a longas distâncias de onde se encontram os sensores. Nesse sistema, as descargas atmosféricas emitem um ruído ou estática, conhecido como “sferics”. Esse ruído se propaga por milhares de quilômetros de distância, entre o guia de onda formado pela superfície terrestre e a ionosfera (SALDANHA, 2018).

Os sistemas ópticos, por sua vez, detectam atividades elétricas através da luz que é emitida pelas descargas. Os sensores dos satélites registram os pulsos na faixa da luz visível emitidas no sentido ascendente pelas descargas atmosféricas. Tais instrumentos conseguem medir a duração do evento, a energia irradiada e a

localização por meio de sistemas de georreferenciamento (NACCARATO, 2006). Os principais destes sensores já registrados, e que merecem destaque, são: o OTD (*Optical Transient Detector – Detector de transitório óptico*), o LIS (*Lightning Imaging Sensor – Sensor de Imagem de Descarga Atmosférica*), o GLM (*Geostationary Lightning Mapper – Mapeador Geoestacionário de Descargas*) e o LMI (*Lightning Mapping Imager – Gerador de imagens de Descargas Atmosféricas*) (CHRISTIAN et al., 2003).

#### 4. REDES DE DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

As chamadas redes terrestres de detecção nada mais são que estações de pesquisas científicas de monitoramento, que permitem, através de equipamentos como receptores/antenas, sensores e uma central de processamento, aferir e prever a geolocalização de descargas atmosféricas por meio de um ou mais métodos de detecção apresentados no item 2.3 desta produção (SALDANHA, 2018).

##### 4.1 Redes de detecção de descargas no cenário mundial

Existem diversas redes de detecção de descargas em operação no mundo, presentes em cerca de cento e vinte países, gerando informações que são usadas por mais de cinco mil instituições, para os mais diversos segmentos e serviços como a meteorologia, a engenharia, a indústria, e a comunidade científica (DENTEL, 2013).

Para além destas, existem redes de menor alcance como a JLDN (*Japan Lightning Detection Network – Rede Japonesa de Detecção de Descargas*), a ALDIS (*Austrian Lightning Detection Network – Rede Austríaca de Detecção de Descargas*), a NZLDN (*New Zealand Lightning Detection Network – Rede Neozelandesa de detecção de descargas atmosféricas*), e a Meteo-France, Rede Meteorológica Francesa (DENTEL, 2013).

##### 4.2 Redes de detecção de descargas no Brasil

O Brasil é um país com uma enorme incidência de descargas atmosféricas. Muito disto se deve em virtude de suas baixas latitudes e dimensões continentais (SANTOS, 2013). Segundo dados do ELAT, o país lidera o ranking dos países com a maior quantidade de ocorrências deste fenômeno com, em média, 78 milhões de raios a cada ano. Isto explica o porquê de haverem muitas redes de detecção de superfície em operação no território Brasileiro. As principais destas, encontram-se listadas abaixo:

- BrasilDAT (Sistema Brasileiro de Detecção de Descargas Atmosféricas: Funciona sob responsabilidade do Grupo de Eletricidade Atmosférica do INPE – ELAT através de uma parceria com a rede de detecção Earth Networks. Sua área de cobertura se estende pelas regiões Sul, Sudeste, Centro Oeste e parte do Nordeste do país, contando com setenta sensores espalhados por esses locais. Atua nas faixas de frequência HF, LF/VLF, e utiliza a tecnologia TOA para detecção de raios NS. Essa rede é capaz de registrar características físicas importantes da descarga, como sua intensidade, o pico de corrente e a polaridade (NACCARATO; PINTO JÚNIOR, 2009);
- RINDAT: (Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas): É uma rede de superfície que atua na região Centro-Sul do Brasil, na faixa LF/VLF que opera por meio de 27 sensores divididos

entre os tipos IMPACT, LS7000, LS7001 e LS8000 que, através de uma combinação dos métodos TOA e MDF, conseguem identificar com uma grande precisão descargas NS. Assim como a rede mencionada anteriormente, também consegue aferir características como pico de corrente, tempo e polaridade (NACCARATO; PINTO JÚNIOR, 2009);

- STARNET (*Sferics Timing And Ranging Network* – Rede de alcance por tempo de sferics): A STARNET é uma rede de detecção de superfície de longo alcance (aproximadamente 7000 mil quilômetros) que opera na faixa VLF e tem como órgão responsável pelo gerenciamento e processamento de dados o IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo). Atualmente, a rede possui 14 antenas receptoras que empregam a tecnologia ATD, distribuídas por países como Brasil, Chile, Argentina e Colômbia (SALDANHA, 2018).
- WLLN (*World Wide Lightning Location Network* – Rede Mundial de Localização de Descargas Atmosféricas): É uma rede de superfície que funciona sob a responsabilidade de pesquisadores da Universidade do Washington (EUA) e, atuam com mais de 70 sensores espalhados pelo mundo que se valem da técnica TOGA de detecção. No Brasil, a operação se dá através de parceria com o INPE e conta com quatro sensores espalhados pelo país (DENTEL, 2013);
- ATDnet (*Arrival Time Difference network* - Rede por diferença de tempo de chegada): É operada pelo UK Met Office da Inglaterra e iniciou suas operações em junho de 1988, usando o método de localização ATD. A rede opera hoje em VLF e cobre toda a Europa, Norte da África, o Atlântico Norte e a América do Sul com cerca de 30 sensores e antenas do tipo wibe com polarização vertical (DENTEL, 2013).

Para muitos Estados Brasileiros, dados de Ng provenientes de sistemas ópticos não são, de fato, um impasse, visto que a disponibilização de informações acuradas de densidade de descargas atmosféricas à terra é públicas e de fácil acesso, em detrimento de figurarem em áreas que são “cobertas” por redes de detecção de alta precisão, que conseguem fornecer, através de sensores terrestres, dados precisos e confiáveis de “Ng” (NACCARATO, 2006).

Destaca-se que a rede BrasilDAT ainda não dispõe de sensores instalados na região Norte do país, o que inviabiliza dados precisos de “Ng” para vários Estados, entre eles o Acre. Para estas regiões, o levantamento de dados ainda acontece sobretudo através de sistemas ópticos ou redes de detecção nacionais de longas distâncias, com eficiência de detecção reduzida, na ordem de 50% (DENTEL, 2013).

De propriedade da empresa finlandesa Vaisala Inc., a rede estrangeira GLD360 (*Global Lightning Dataset 360 – Conjunto de Dados Globais de Descargas Atmosféricas*) surge como uma alternativa na obtenção de dados válidos de “Ng” para o Norte do País, pois opera com uma rede de longo alcance com cobertura uniforme no globo, e eficiência superior a 70% para a região, devidamente comprovada (DEMETRIADES et. al., 2010).

#### 4.3 Vaisala GLD-360

A *Global Lightning Dataset 360* – GLD 360, de propriedade da empresa finlandesa Vaisala Inc., é uma rede de detecção global que fornece dados de descargas atmosféricas em tempo real com ótima acurácia, através da combinação dos métodos TOA e MDF, superando todos os sistemas

de detecção de longa distância, incluindo os satelitais. Por se tratar de uma organização com fins lucrativos, as informações não são gratuitas, sendo vendidas como serviço às instituições e empresas parceiras (SAID, 2016).

Os sistemas de detecção de raios (LLS – *Lightning Location Systems*) fornecem dados de descargas por meio de receptores sensíveis a uma faixa de frequência muito baixa, do tipo VLF (3 – 30 kHz), estes sistemas tiram proveito de uma orientação eficiente das guias de onda que partem da terra até a ionosfera nas frequências VLF, de modo que são capazes de medir impulsos de ondas de estações (SALDANHA, 2018).

Atualmente, a rede possui 14 sensores operacionais instalados no Brasil (cujas localizações, por motivos de segurança, a empresa responsável não divulga), do tipo LS7002 que atendem com uniformidade o território nacional. Para aferir com precisão a geolocalização das descargas, a rede precisa de pelo menos 4 sensores comunicantes (SALDANHA, 2018).

O hardware do sistema é formado basicamente pelo conjunto de sensores e uma central de processamento. Cabe a central de processamento identificar com precisão o local e o instante em que aconteceu o raio. Além disto, compete a central de processamento estimar outras características associadas, como pico de corrente e polaridade da descarga (SAID, 2016).

Os sinais identificados pelos sensores são encaminhados para o Centro de Controle de Operações da companhia que se localiza na cidade de Tucson – Arizona (EUA), para serem triados e distribuídos aos clientes através de protocolos padrões de comunicação TCP/IP (DEMETRIADES, 2010).

É importante ressaltar que os sensores da referida rede utilizam a detecção por meio do campo magnético, isto é, através da comparação do ângulo entre a referência do circuito magnético da antena do sensor com o campo magnético induzido pelo pulso eletromagnético da descarga atmosférica (SAID, 2016).

A rede existe desde 2006 e desponta no ramo de serviços meteorológicos como uma das redes mais promissoras do mundo, sobretudo por ter cobertura global e ser capaz de localizar descargas atmosféricas em áreas do planeta onde observações meteorológicas podem ser parcialmente inexistentes (VAISALA, 2018).

## 5. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho não foi necessário recorrer-se à uma amostra de pesquisa, em virtude de ser possível mapear todo o universo de pesquisa com a ferramenta de geoprocessamento de dados a ser descrita.

Nesse sentido, caracteriza-se como universo de pesquisa o território geopolítico do Estado do Acre, que compreende uma área de 164.123,96 km<sup>2</sup>, disposto em 5 regionais e 22 municípios<sup>3</sup> (IBGE, 2019).

Os registros coletados para o período de 2016-2019 vieram separados em dois arquivos: um de 2016-2017, e outro de 2018-2019, no seguinte formato, respectivamente: Data (em UTC); Tempo de registro (também em UTC); Latitude (em graus decimais); Longitude (em graus decimais) e por fim, polaridade e corrente de pico (em kA).

De posse dos dados coletados, iniciou-se o tratamento das informações desmembrando os arquivos brutos em

quatro grandes arquivos, cada um referente a um ano, no formato “.csv”. Os documentos foram ainda subdivididos em tabelas por mês correspondente, com o suporte do programa Microsoft Excel, haja vista a impossibilidade de transpor literalmente os registros anuais em planilhas no dito programa, tendo em vista a dimensão dos arquivos ser maior que o número máximo de linhas permitido pelo referido programa.

À princípio verificou-se que a quantidade de registros existentes em todos os anos era muito superior ao esperado – variando entre pouco mais de 11 milhões a 14 milhões registros/ano – o que certamente causou estranheza do ponto de vista da análise dos dados.

Ao consultar previamente algumas das geolocalizações, constatou-se que muitos dos registros não estavam compreendidos nos limites territoriais do Estado do Acre, mas sim em regiões muito próximas como o sul do Estado do Amazonas, o leste do Estado de Rondônia, o oeste do Peru e o leste da Bolívia – motivo este que certamente explica a discrepância no número de dados coletados.

Para conhecer a efetiva distribuição dos dados no universo de pesquisa, bem como quantificar os registros válidos e construir os mapas de densidade com a acurácia necessária, utilizou-se o programa QGIS Desktop, na sua versão 3.14.0. O QGIS (Quantum GIS) é um software de código aberto, gratuito para download que serve para processar dados geoespaciais, funcionando em diversos sistemas operacionais (como Windows, Linux, Mac e etc.), disponível a partir de uma Licença Pública Geral que permite livre uso dos Geographic Information Systems - GIS (Sistemas de Informação Geográfica).

Com uma interface gráfica intuitiva e de fácil uso, o QGIS permite que sejam importados conjuntos de pontos dispostos em tabelas de dados no formato .csv, através do cruzamento de informações de latitude e longitude, devidamente plotados em shapefiles (formatos de arquivos vetoriais em arquivos GIS) previamente selecionados (NANNI et al, 2012).

Em um primeiro momento, recorreu-se ao banco de shapefiles do IBGE no menu “Geociências”, na aba “Malhas Territoriais”, grupo “Municípios 2019” e subgrupo “UF:AC”, para download. Os arquivos, em formato .shp, são contemplados com informações como: nome do município, código do IBGE e área correspondente.

Os arquivos são inseridos no QGIS através de camadas, que podem ou não se comunicar. Arquivos que importam mapas gráficos com tabelas de atributos (textos e informações pertinentes) são apresentados como camadas do tipo vetorial, enquanto que arquivos provenientes de tabelas do Excel, que importam características como latitude e longitude, são classificados como camadas de texto delimitado, no formato de pontos.

Após a distinção dos dados de descargas atmosféricas à terra registrados em território acreano, se fez necessário mensurar os registros em cada município para fins comparativos. Para tanto, utilizou-se a ferramenta de análise de contagem de pontos no polígono.

O guia do usuário do QGIS explica que o algoritmo de contagem compara uma camada de pontos e uma camada de polígono e conta o número de pontos do primeiro em cada polígono do segundo. Assim sendo, uma nova camada de polígonos é gerada, com exatamente o mesmo conteúdo que a camada de polígonos de entrada, mas contendo um

campo adicional, em formato de tabela, com a contagem de pontos correspondente a cada polígono. É possível ainda que um campo de peso opcional seja usado para atribuir pesos a cada ponto. Para este estudo não foi necessário atribuir pesos aos registros, tendo em vista que a variável de análise leva em conta tão somente a incidência dos eventos, e não sua magnitude no espaço amostral.

Após obter os registros de incidência de descargas atmosféricas por município/mês/ano, fora-se possível exportar os arquivos novamente para tratamento estatístico no Excel a fim de compilar as informações em relatórios anuais. Após os registros haverem sido somados, extraiu-se a densidade de descargas atmosféricas à Terra (Ng) por meio da divisão simples pela área da região, para cada município e para o Estado como um todo, no período compreendido entre 2016-2019. Os resultados puderam então ser dispostos em gráficos e mapas, a serem apresentados no capítulo seguinte. Com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento, verificou-se que 78% a 80% dos dados anuais de descargas atmosféricas à Terra, fornecidos pela rede de detecção Vaisala GLD-360, não estavam compreendidos em território Acreano, o que realça a capacidade de trabalho do software QGIS 3.14.0 com um grande volume de dados.

## 6. RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos a partir do processo de coleta e tratamento de dados previamente exposto. Tais informações foram confrontadas com os valores de Ng indicados no mapa de densidade de descargas atmosféricas sugerido pela NBR 5419/2015.

### 6.1 Índices de Ng sugeridos pela NBR 5419-2:2015

Como já dito anteriormente, a NBR 5419/2015 possibilita a consulta de valores médios de Ng, com a finalidade de cálculo do número de eventos perigosos (Nd), substanciais ao dimensionamento de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

Tais valores estão dispostos no anexo F do documento, em formato de mapa gráfico, gerados a partir do sensor óptico LIS, que orbita a bordo do satélite TRRM – de propriedade da empresa americana NASA. As informações foram geradas por células com resolução de 12,5 km x 12,5 km, durante o período compreendido entre 1998-2011 (ABNT, 2015).

Os valores de Ng são representados por diferentes tons de cor, calculados por meio de um aplicativo do tipo GIS, através do método de interpolação numérica. Na Figura 2 é possível visualizar um extrato para a região de interesse.

É possível perceber que, pela paleta de cores, a densidade de descargas atmosféricas à Terra sugerida para o Estado do Acre oscila entre 3 (azul escuro) a 9 (verde claro). Não é possível distinguir pela Figura 2 a predominância de uma única faixa de Ng para cada município acreano, que se confunde entre tons de verde e azul, a depender da disposição geográfica.

### 6.2 Estudo de Ng por meio da rede de detecção Vaisala GLD-360

O estudo dos valores de Ng, gerados a partir de registros de descargas atmosféricas nuvem-solo provenientes da rede de detecção estrangeira Vaisala GLD-360, durante o período de 2016-2019, levou em consideração uma análise por

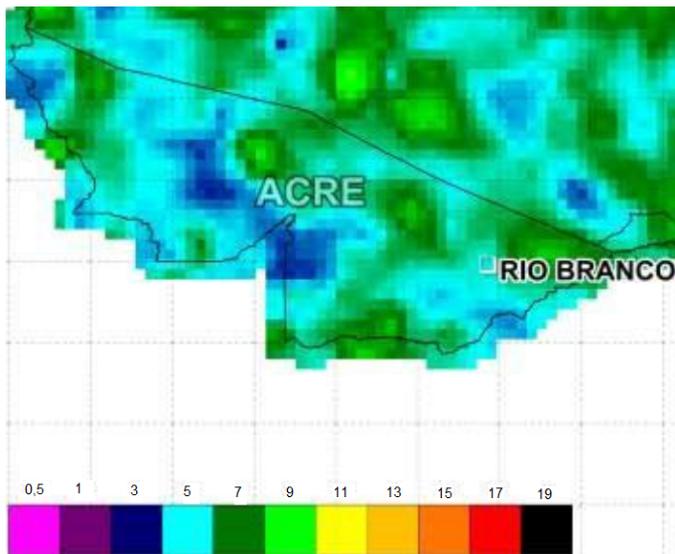


Figura 2. Mapa de Ng do Acre indicado pela NBR 5419/2015.

municípios, e por mês correspondente. Inicialmente será apresentado em formato de tabelas a quantidade global de raios NS por município e em seguida por mês/ano. Posteriormente, os dados de Ng serão dispostos em formato de gráficos, tabela e mapas temáticos.

Pelos dados da Tabela 2, é possível aferir que o ano de 2017 fora-se o ano com o maior número global de descargas atmosféricas NS, enquanto que 2016 fora-se o ano com o menor número de registros para o período de observação proposto. Não se é possível precisar a que se deve esta condição, em virtude das limitações no método de pesquisa, mas acredita-se que haja relação com fenômenos de natureza climática e orográfica.

Verifica-se também que os municípios de Feijó e Sena Madureira são os que detêm a maior quantidade de raios registradas – muito possivelmente por serem os municípios com maior extensão territorial no Estado, respectivamente. Motivo este que também explica o porquê Capixaba e Acrelândia serem os que detêm a menor quantidade de registros.

Ratificando o que versa no tópico 3.2, o Acre possui uma evidente estação seca nos meses de maio – agosto, conhecida como verão amazônico – caracterizada pela ausência de chuvas, e uma longa estação chuvosa, conhecida como inverno amazônico, nos meses de setembro – abril.

Possivelmente em razão da formação frequente de tempestades quando da transição entre estações, intensificada por mudanças às vezes abrupta de temperaturas (VILELA, 2007), setembro detenha de longe o maior percentual de descargas atmosféricas. A Figura 3 apresenta o comportamento sazonal da incidência de descargas no Acre, para o período de observação proposto.

A Figura 4 apresenta com clareza os extremos entre as estações seca e chuvosa no Estado do Acre. Percebe-se números decrescentes em quase todo o período amostral entre os meses de abril – junho, e retas ascendentes entre julho e os meses de setembro – outubro. No ano de 2019 em especial, nota-se um percentual de descargas muito acentuado no mês de setembro – que ultrapassa um terço de todas os registros de Ng contabilizados para aquele ano, mostrando-se expressivo.

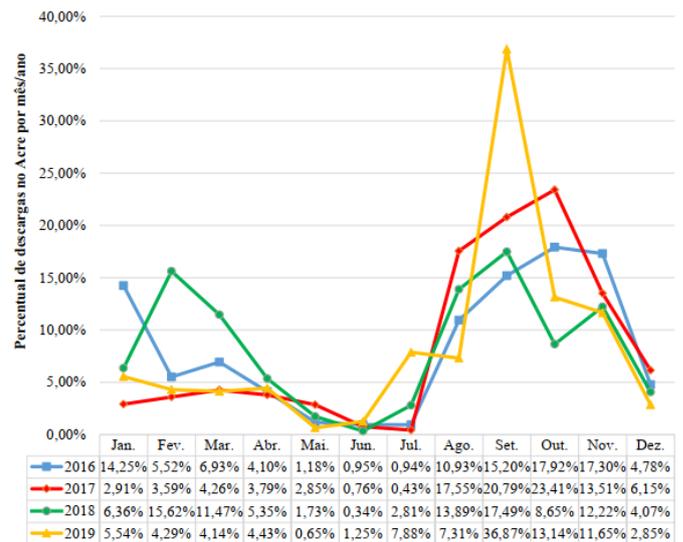


Figura 3. Comportamento sazonal da incidência de descargas atmosféricas no Acre, entre 2016-2019.

Os números de Ng por ano, e para o período de 2016-2019 em média, são apresentados no Gráfico 2. É possível notar que os valores figuram entre 15,57 (mínimo) e 17,11 (máximo) – valores estes maiores que os indicados pela NBR 5419/2015 (que não chegam a figurar a 10 descargas/km<sup>2</sup>/ano para o território do Acre).

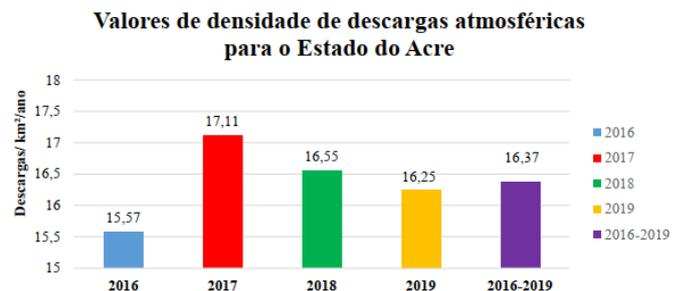


Figura 4. Comportamento sazonal da incidência de descargas atmosféricas no Acre, entre 2016-2019.

Por meio da Figura 5, observa-se ainda que apesar de 2017 ter sido o ano com maior densidade de descargas atmosféricas registrada, somente três dos 22 municípios acreanos (Feijó, Tarauacá e Porto Walter) registraram índices máximos de Ng no referido ano. Depreende-se, pois, não haver um padrão bem definido de distribuição da densidade de descargas atmosféricas entre os municípios, no período em estudo.

## 7. CONCLUSÕES

O fato de ainda não haver um estudo desta natureza para a região abordada e a carência de informações precisas de densidade de descargas atmosféricas para o Estado do Acre foi um dos fatores que motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

Nesse sentido avaliou-se os valores de “Ng” provenientes do anexo F da NBR 5419-2:2015, que levam em consideração dados ópticos do sensor LIS e da rede BrasilDAT que têm semelhança aos que podem ser obtidos pelos registros da rede de detecção terrestre Vaisala GLD-360 no período de 2016-2019, de forma a comprovar se a avaliação dos riscos de exposição dos sistemas de proteção atualmente praticada no Estado do Acre é verossímil.

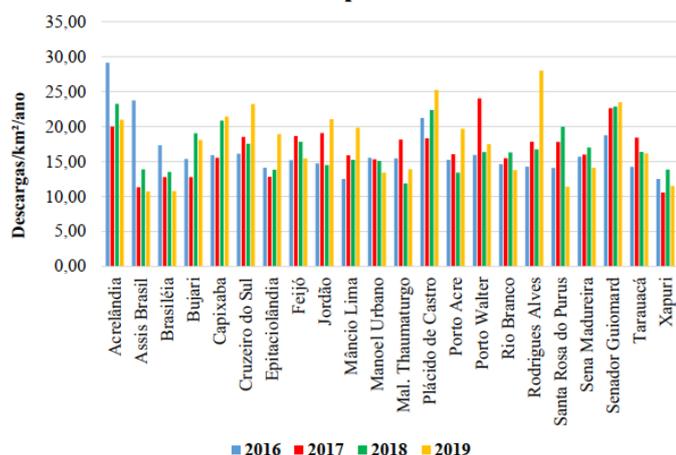


Figura 5. Densidade de Descargas Atmosféricas no Acre por município/ano.

Pesquisas demonstram que, sistemas ópticos como o LIS, não são capazes de diferenciar descargas do tipo nuvem-solo das que acontecem entre nuvens, e que por serem geostacionários, apresentam baixa e não uniforme cobertura temporal, suscitando dúvidas quanto a confiabilidade dos dados de Ng fornecidos pela NBR para a região norte do país.

Diante deste descompasso, buscou-se mapear graficamente a densidade de descargas atmosféricas com o suporte de dados da rede estrangeira de longo alcance Vaisala GLD-360, que possui cobertura uniforme no globo, e eficiência superior a 70% devidamente comprovada.

Através de um criterioso processo de coleta e análise de dados, fora-se possível verificar na análise dos resultados divergências entre os valores de Ng. Os índices atualmente sugeridos pelo anexo F da NBR 5419/2015 apresentam-se menores em comparação aos identificados pela rede de detecção ora descrita, o que dá margem a propositura de uma revisão da norma, e consequente atualização do mapa temático frente a uma possível defasagem.

O estudo da densidade de descargas atmosféricas permitiu inferir também que a maior quantidade de descargas na região se deu no período chuvoso, conhecido como verão amazônico, entre os meses de agosto a novembro, sendo setembro o mês com a maior média de raios registrados.

A obtenção dos valores de Ng, que subsidiou a comparação do parâmetro entre os municípios acreanos, só foi possível graças ao uso do software de geoprocessamento QGIS 3.14.0, e dos arquivos shapefiles extraídos do sítio do IBGE. O cruzamento das camadas shapefiles com as tabelas de registros mensais de raios em .csv no QGIS, oportunizou a distinção do número real de descargas nuvem-solo mapeadas pela rede Vaisala GLD-360.

#### AGRADECIMENTOS

Este estudo recebeu apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (Proc. 2018/10952-2) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

#### REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419-2: Proteção contra descargas atmosféricas parte 2: Gerenciamento de risco. Rio de Janeiro, 2015.

CHRISTIAN, Hugh. J. et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *Journal of geophysical research*, vol. 108, n. D1. Huntsville, Alabama – USA, 2003.

DE MELO, Marcus Vinícius Esteves Soares. Linhas de transmissão e descargas atmosféricas: Análise de avarias, perdas técnico-financeiras e sistemas de proteção. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Elétrica. Brasília, 2016.

DEMETRIADES, Nicholas. W. S. et al.: Validation of the new gld360 dataset in brazil: first results. Preprints, International Lightning Detection Conference, April 19-20, Orlando – Florida - USA, 2010.

DENTEL, Laure Madeleine. Modelagem de sistemas de detecção de descargas atmosféricas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Belém, 2013.

KAFER, Eduardo Marcon. Sistema de proteção contra descargas atmosféricas para uma indústria têxtil: Estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

NACCARATO, Kleber Pinheiro. Análise das características dos relâmpagos na região sudeste do Brasil. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2006.

NACCARATO, Kleber Pinheiro; PINTO JÚNIOR, Osmar. Nova metodologia para cálculo dos valores de densidade de descargas nuvem-solo e uso de valores de elevação de terreno em todo Brasil para suporte aos estudos de desempenho de instalações de transmissão de energia elétrica. XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Recife, 2009.

NANNI Arthur, et al. Quantum GIS - Guia do Usuário, Versão 1.7.4 'Wroclaw'. 2012. Disponível em: <https://qgis.org/downloads/manual>. Acesso em 02 de outubro de 2020.

PEREIRA, Carlos Simões. Elementos de Sensores de Eletricidade Atmosférica. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Belém, 2010.

PINTO JÚNIOR, Osmar. Tempestades e Relâmpagos no Brasil. Instituto Nacional, de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2003.

RODRIGUEZ, Carlos Augusto Morales. Tempestades Elétricas na América do Sul: Monitoramento, climatologia e propriedades físicas. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. São Paulo, 2018.

SAID, Ryan. GLD360 upgrade: Performance analysis and applications. 24th International Lightning Detection Conference (San Diego, CA,) Vaisala. Louisville, Colorado – USA, 2016.

SALDANHA, Thiago de Andrade. Análise da correlação de desligamentos de linhas aéreas de transmissão por Descargas Atmosféricas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Rio de Janeiro, 2018.

SANTOS, Emanuel Andrade de Barros. Sistemas para detecção e localização de descargas atmosféricas e perda de cabos para-raios por furto em linhas de transmissão de energia elétrica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Recife, 2013.

- SILVA, Josiel da Cunha. A relação entre raios e chuvas nos arredores de Manaus: análise de casos extremos. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisas na Amazônia – INPA/UEA. Manaus, 2013.
- SILVA, Márcio Severino. Análise de desempenho de redes de distribuição monofilares com retorno pela terra (mrt) frente a descargas atmosféricas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Recife, 2015.
- SOARES, Felipe da Rocha. Metodologia de previsão de descargas atmosféricas utilizando dados de radar, rede de sensores eletromagnéticos e modelagem atmosférica. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2014.
- SOUZA, Macson Giuliano Alves. Análise Teórica dos Parâmetros Típicos de Descargas Atmosféricas. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Instituto Federal de Ouro Preto. João Monlevade, 2017.
- VAISALA. Unique Vaisala Global Lightning Dataset GLD 360. 2018. Disponível em: <<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents>>. Acesso em 06 de outubro de 2020.
- VILELA, Ricardo Batista. Estrutura elétrica das nuvens na Amazônia durante os experimentos CHUVA e GO-Amazon. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG. São Paulo, 2017.