

# Análise dos principais índices meteorológicos associados à ocorrência de raios e sua distribuição espacial na região central da Bacia Amazônica

Adriano P. Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós Graduação em Computação Aplicada  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

**Abstract.** *Lightning strikes are natural phenomena characteristic of severe thunderstorms and can pose great risks, being responsible for many socio-economic problems. This work aims to analyze the spatial distribution of lightning strikes that occurred in period from August 27 to October 7, 2014 in the central region of the Amazon Basin, and also to analyze the main indices that influenced this process.*

**Resumo.** *As descargas elétricas atmosféricas são fenômenos naturais característicos de tempestades severas e podem oferecer grandes riscos, sendo responsáveis por diversos problemas socioeconômicos. Este trabalho tem como objetivo fazer a análise da distribuição espacial das descargas elétricas atmosféricas que aconteceram no período de 27 de agosto a 7 de outubro de 2014 na região central da Bacia Amazônica, e também analisar os principais índices que influenciaram neste processo.*

## 1. Introdução

As descargas elétricas atmosféricas têm sido estudadas desde os tempos de Benjamin Franklin (1706-1790), quando o próprio cientista, em 1752, realizou um dos primeiros experimentos com este fenômeno da natureza. O experimento consistiu em soltar durante uma tempestade uma pipa manipulada por um fio de seda, o instrumento recebia cargas elétricas advindas de raios e descia até uma chave de metal onde o fio estava preso. Com isso, Franklin acabou de descobrir de forma concisa a natureza elétrica das descargas elétricas, dando origem ao primeiro tipo de para-raios [Krider 2006].

Os raios, como também são conhecidas as descargas atmosféricas, são utilizados como indicadores importantes para o monitoramento estratégico de tempestades, pois estão diretamente associados ao tempo severo [dos Santos Filho et al. 2005]. As nuvens do tipo *cumulonimbus* são caracterizadas por possuírem um extenso perfil vertical, e o seu pleno desenvolvimento expressa o estágio maduro de uma tempestade severa [Rakov 2007]. Embora se desenvolvam tipicamente dentro das nuvens *cumulonimbus*, as descargas elétricas também podem se originar a partir de tempestades de neve, tempestades de areia ou fumaças de erupções vulcânicas [Romero 2007].

Segundo [Souza 2017], as descargas atmosféricas são eventos de natureza aleatória que advém das fortes interações entre os centros de cargas em sistemas convectivos. Essas interações acabam desenvolvendo intensas atividades elétricas, podendo chegar na ordem de milhares de ampères, a intensidade destes processos que são responsáveis pelos efeitos sonoros e luminosos. As descargas elétricas podem interagir ou

não com superfícies no solo. Na ocorrência de raios com a interação do solo, eles são denominados de nuvem-solo, já quando não há esse contato, eles são caracterizados como intra-nuvem (quando acontecem na região interna de uma única nuvem) ou nuvem-nuvem (quando o raio de uma nuvem interagem com outras nuvens) [Rakov 2007]. A média global de ocorrência de descargas atmosféricas é superior a cem por segundo, é desse total, aproximadamente 25% chegam a atingir a superfície [Rakov 2007]. Embora os raios do tipo nuvem-solo sejam menos frequentes, são eles que oferecem maior perigo iminente para ser humano.

Além de afetarem diretamente a composição química da atmosfera e a qualidade do ar na alta troposfera (liberando altos índices de óxidos de nitrogênio e ozônio) [Weber et al. 2005], as descargas atmosféricas são responsáveis por uma série de impactos socioeconômicos. Os raios são os principais responsáveis por iniciarem incêndios florestais, causar interrupções de serviços de transmissão de energia e comunicação, e também por baixas em rebanhos de gado na zona em zona rural [Cardoso 2017]. As descargas atmosféricas também estão diretamente relacionadas ao alto índice de fatalidades contra seres humanos expostos à tempestades, conforme apresentado no trabalho de [Cardoso et al. 2014].

Por ser um país de grande extensão territorial, e está predominantemente localizado em zona tropical, o Brasil ocupa uma posição de destaque mundial no que diz respeito a grande incidência de raios, chegando a serem registrados aproximadamente 77.8 milhões por ano, de acordo com estimativa feita pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT)<sup>1</sup> do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As redes de detecção desempenham um papel fundamental no monitoramento de descargas elétricas no Brasil, representando grande avanço nas pesquisas correlatas, principalmente na prevenção de fatalidades e auxílios na tomadas de decisão diante de tempos severos [Chinchay 2018]. Além das redes de detecção, os radares e satélites meteorológicos são de suma importância para provimento de dados que auxiliam pesquisas relacionadas às descargas atmosféricas [Chinchay 2018].

Este trabalho tem como objetivo realizar a análise da distribuição espacial de descargas atmosféricas detectadas em um certo período de 2014 na região central da Bacia Amazônica, e identificar os principais atributos meteorológicos que influenciaram na intensificação da ocorrência dos raios.

## 2. Contextualização da área de estudo

Para este trabalho foram utilizados os dados do radar meteorológico SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) [Saraiva et al. 2016] e da rede de detecção de raios LINET (sigla do inglês, *Lightning NETwork*) [Betz et al. 2009]. Os dados são oriundos dos experimentos CHUVA-Manaus [Machado et al. 2014] e GoAmazon [Martin et al. 2016] que aconteceu no ano de 2014 na região central da Bacia Amazônica. O conjunto de dados, também é resultado do processamento feito no trabalho de [Pereira 2019], afim de se calcular alguns outros índices, para isso, foi utilizada a ferramenta proposta por [de Queiroz 2009], que se trata de uma adaptação do algoritmo de rastreamento de nuvens ForTraCC (*Forecast and Tracking of Active Convective Cells*) [Vila et al. 2008].

---

<sup>1</sup><http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/perguntas.e.respostas.php>

Os dados possuem resolução temporal de 12 minutos, e foram obtidos durante o período de 27 de agosto a 7 de outubro em uma área de 500 km<sup>2</sup>, cobrindo ao todo 20 municípios do estado do Amazonas. A floresta é o tipo de cobertura do solo predominante nessa região, e na área de estudo representa mais de 85%, como pode ser observado na Figura 1. Com isso, aumenta-se os riscos serem iniciados incêndios florestais em decorrência de raios nuvem-solo, principalmente no segundo Período de Operação Intensiva (IOP - sigla do inglês, *Intensive Operation Period*) [Marengo et al. 1994], que corresponde a transição entre as estações seca e chuvosa, que acontece a partir do mês de agosto. É nesse período em que acontecem as tempestades mais severas, e consequentemente maiores incidências de descargas elétricas [Pereira 2019].

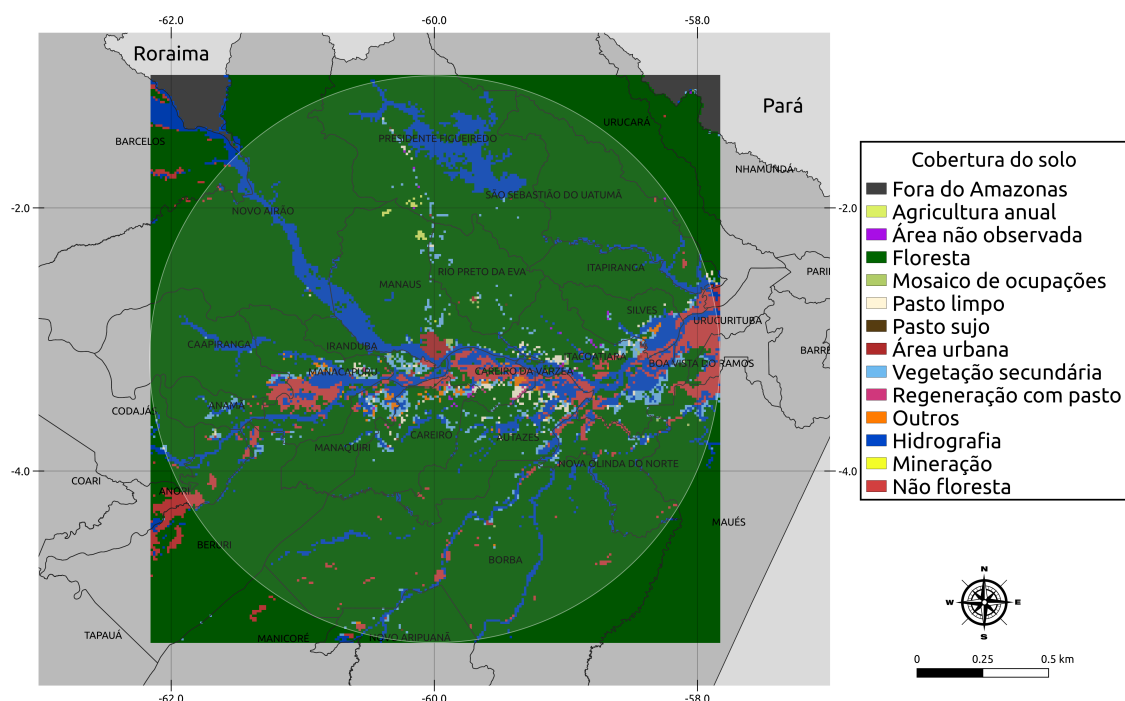


Figura 1. Área de estudo e sua cobertura do solo.

### 3. Análise exploratória dos dados

Nesta seção serão apresentadas algumas das análises que foram feitas a respeito da distribuição espacial das descargas elétricas atmosféricas e dos principais índices que influenciaram neste processo.

#### 3.1. Densidade e distribuição de raios

Do ponto de vista físico, os sistemas precipitantes são classificados em estratiformes ou convectivos [Damian 2011]. Essa classificação é baseada no trabalho de [Steiner et al. 1995], que fez uso principalmente dos índices de refletividade obtidos por meio de radar. Enquanto nos sistemas estratiformes as chuvas acontecem de forma moderada e com distribuição uniforme, nos sistemas convectivos, elas acontecem de forma mais intensa e concentrada em regiões específicas, caracterizando o tempo severo. As descargas atmosféricas são fenômenos que acontecem principalmente nos sistemas convectivos.

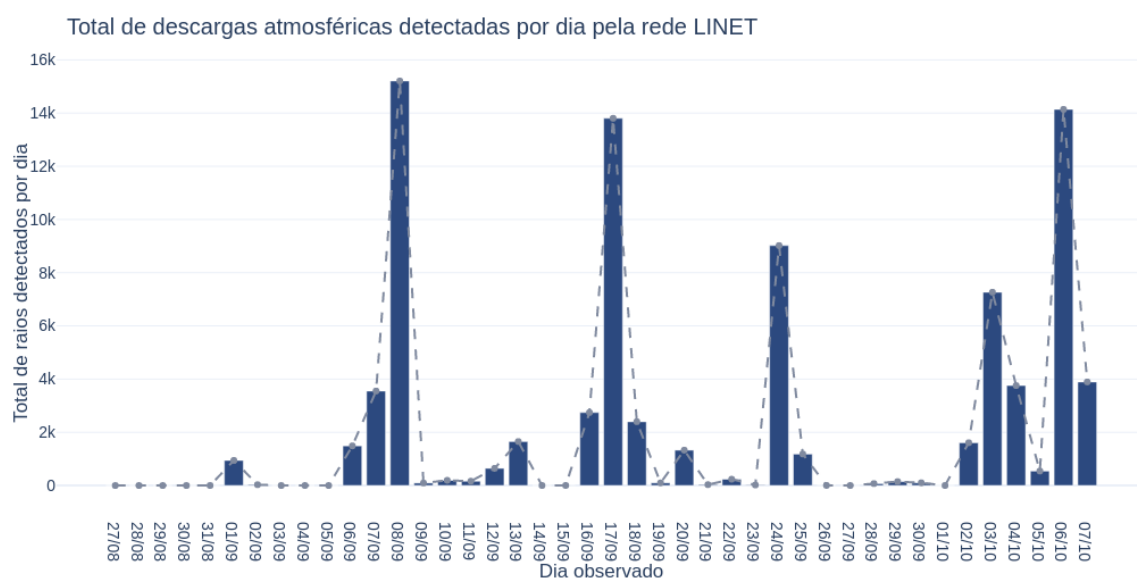


Figura 2. Total de raios detectados por dia pela rede LINET.

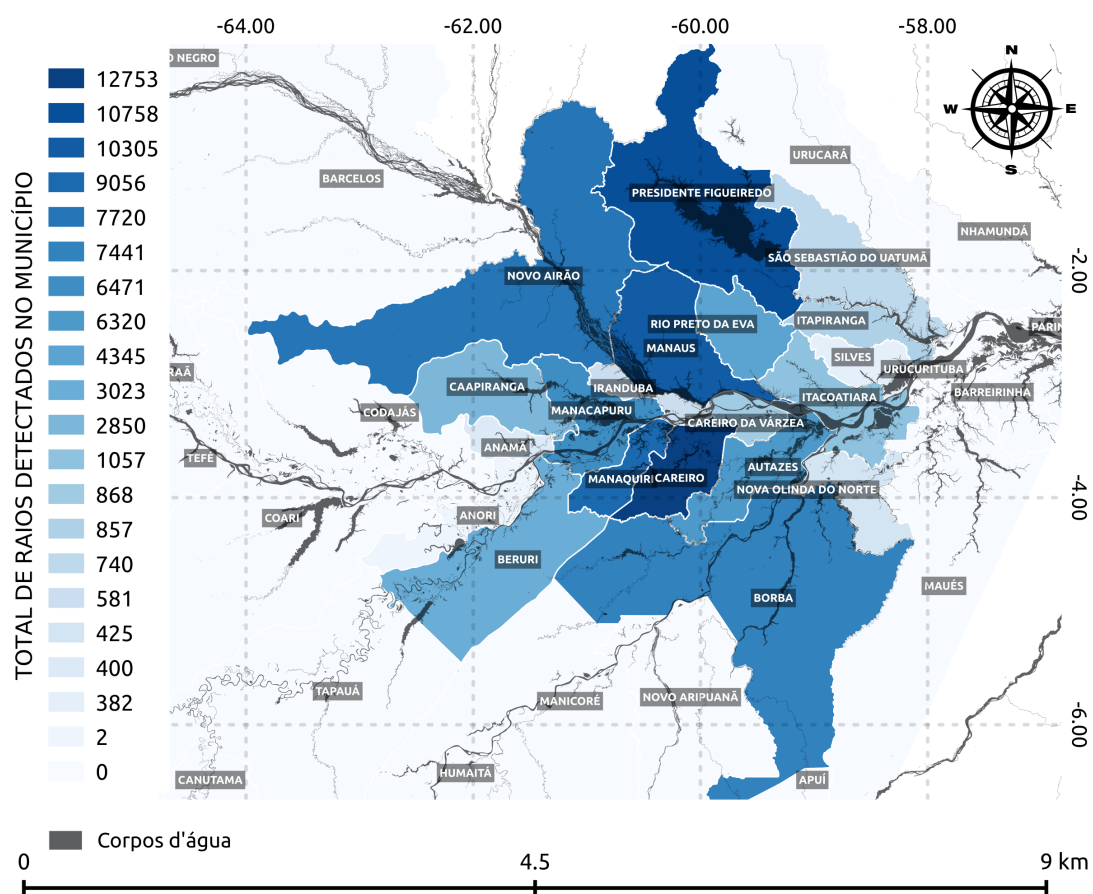


Figura 3. Densidade de descargas atmosféricas por município.

Os dados utilizados neste trabalho são referentes ao segundo Período de Operação Intensiva, que como supracitado, corresponde ainda ao período de seca na região, sendo assim, as chuvas acontecem com pouca frequência e são oriundas principalmente de sistemas convectivos. Esse comportamento pode ser observado no gráfico da Figura 2, onde durante todo o período de observação, somente em alguns dias houveram ocorrência de raios, e na maioria dos dias em que aconteceram, a atividade elétrica se manifestou de forma intensa.

A LINET é uma rede que opera em baixa frequência, e faz a detecção de raios intra-nuvem e nuvem-solo. A rede possui a bordo um sistema de GPS que possibilita também computar com precisão a localização onde ocorreu a descarga atmosférica. Através desse recurso de geolocalização, é possível realizar análises mais aprofundadas do comportamento da atividade elétrica em certas regiões.

A Figura 3 foi gerada a partir da quantidade de raios detectados pela rede LINET em cada município da área de estudo. Os municípios de Careiro, Presidente Figueiredo e Manaus, foram os que mais tiveram ocorrência de raios com 12753, 10758 e 10305 detecções respectivamente. Estudos como o que foi feito por [Pereira 2019], indicam que a atividade elétrica das nuvens tende a ser mais intensa próximo aos rios, o que também pode ser observado na Figura 3, já que os municípios com maior incidência de descargas elétricas, ficam próximos a corpos d'água, como a comunidade de Careiro, que está situada às margens do rio castanho.

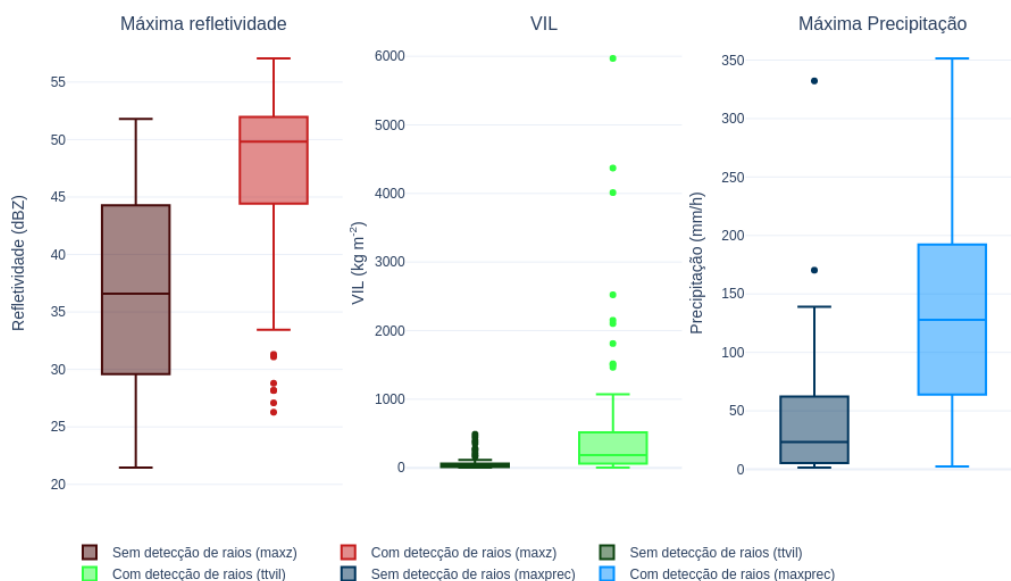
### 3.2. Índices meteorológicos

A refletividade ( $Z$ ) é o principal índice obtido através de radares meteorológicos. A partir desse índice que outros são derivados, como o conteúdo de água líquida integrado verticalmente (VIL - sigla do inglês, *Vertically Integrated Liquid*) e a taxa de precipitação ( $R$ ) [Pereira 2019]. Estes foram os principais índices utilizados no desenvolvimento deste trabalho. O motivo da escolha destes atributos, foi que ao ser aplicado o algoritmo de árvore de decisão [Safavian and Landgrebe 1991], estes atributos foram os que melhor se destacaram na separação dos dados com e sem detecção de descargas elétricas. Além disso, outros trabalhos com o propósito de estudar a atividade elétrica de sistemas convectivos, também fizeram uso destes índices, por exemplo [Pereira 2019] e [Chinchay 2018].

O comportamento dos índices meteorológicos sofrem uma certa variação quando há ocorrência de descargas atmosféricas, como pode ser observado na Figura 4. Quando a atividade elétrica está intensa nos sistemas convectivos e acontece algum raio, os índices tendem a estarem também com valores altos, o que acaba caracterizando as condições de tempo severo.

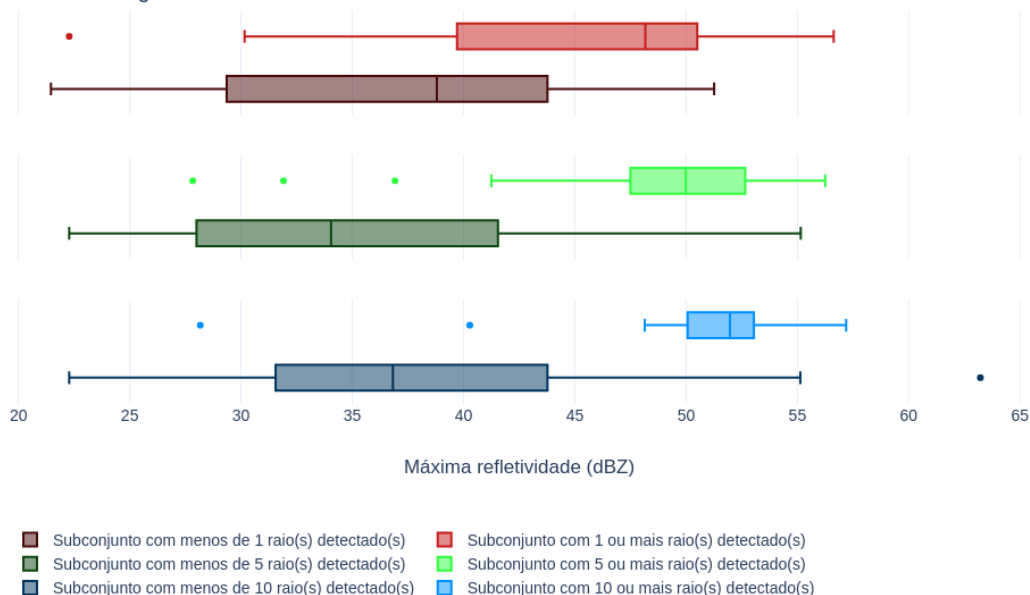
O conjunto de dados possui uma baixa frequência de detecção de raios, ou seja, a quantidade de registros em que foram detectados raios é muito inferior que quantidade de registros onde não foram detectados. Isso pode provocar um certo ruído na distribuição dos valores do índices. Com o propósito de suavizar este ruído, foram aplicados alguns limiares de detecções de raios, para que então, seja analisada a distribuição dos valores do índice de máxima refletividade. Na Figura 5, pode ser observado que a medida que se aumenta o limite da quantidade de raios detectados, o índice de máxima refletividade dos subconjuntos abaixo dos limiares ficam mais distantes dos subconjuntos acima.

Distribuição de alguns índices em subconjuntos com e sem detecção de raios (100 amostras de cada subconjunto)



**Figura 4. Distribuição de alguns índices em subconjuntos com e sem detecção de raios.**

Comparação da distribuição do índice de **máxima refletividade** entre os subconjuntos com e sem descargas elétricas atmosféricas



**Figura 5. Máxima refletividade em registros com diferentes limiares de detecção de raios.**

#### 4. Considerações finais

Este trabalho apresentou uma breve análise da distribuição espacial da ocorrência de descargas elétricas atmosféricas e dos principais atributos relacionados a este processo na região central da Bacia Amazônica. Pôde ser observado que em áreas muito próximas

a corpos d'água (como rios e lagos), a incidência de raios foi bem maior, a exemplo da comunidade ribeirinha Careiro, que foi o município em que foram registrados mais ocorrência de raios.

Como continuidade deste trabalho, pretende-se aproveitar a análise de atributos que foi realizada, e desenvolver um sistema de previsão de descargas elétricas utilizando algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais.

## Referências

- Betz, H. D., Schmidt, K., Laroche, P., Blanchet, P., Oettinger, W. P., Defer, E., Dziewit, Z., and Konarski, J. (2009). Linet—an international lightning detection network in europe. *Atmospheric Research*, 91(2-4):564–573.
- Cardoso, I., Pinto Jr, O., Pinto, I., and Holle, R. (2014). Lightning casualty demographics in brazil and their implications for safety rules. *Atmospheric Research*, 135:374–379.
- Cardoso, M. C. (2017). *Determinação em Tempo Real dos Riscos de Desligamentos em Linhas de Transmissão devido a Descargas Atmosféricas*. PhD thesis, PUC-Rio.
- Chinchay, J. H. H. (2018). Uso de multi-canais do goes-16 para previsão imediata de densidade de descargas elétricas. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Damian, E. A. (2011). Duas metodologias aplicadas à classificação de precipitação convectiva e estratiforme com radar meteorológico: Svm e k-means.
- de Queiroz, A. P. (2009). Monitoramento e previsão imediata de tempestades severas usando dados de radar.
- dos Santos Filho, R. B., Gin, R. B., and Bianchi, R. A. (2005). Sistema de visão omnidirecional para o monitoramento de descargas atmosféricas.
- Krider, E. P. (2006). Benjamin franklin and lightning rods. *Physics Today*, 59(1):42.
- Machado, L. A., Silva Dias, M. A., Morales, C., Fisch, G., Vila, D., Albrecht, R., Goodman, S. J., Calheiros, A. J., Biscaro, T., Kummerow, C., et al. (2014). The chuva project: How does convection vary across brazil? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(9):1365–1380.
- Marengo, J., Miller, J., Russell, G., Rosenzweig, C., and Abramopoulos, F. (1994). Calculations of river-runoff in the giss ggm: impact of a new land-surface parameterization and runoff routing model on the hydrology of the amazon river. *Climate Dynamics*, 10(6-7):349–361.
- Martin, S., Artaxo, P., Machado, L., Manzi, A., Souza, R., Schumacher, C., Wang, J., Andreae, M., Barbosa, H., Fan, J., et al. (2016). Introduction: Observations and modeling of the green ocean amazon (goamazon2014/5). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(8).
- Pereira, R. F. d. O. (2019). Propriedades físicas da precipitação e eletrificação dos sistemas precipitantes observados durante o projeto chuva-manaus e goamazon. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo (USP).
- Rakov, V. (2007). Lightning phenomenology and parameters important for lightning protection. *IX SIPDA, 26th-30th November*.

- Romero, F. (2007). *Avaliação do comportamento dos campos eletromagnéticos gerados por descargas atmosféricas nuvem-terra*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- Safavian, S. R. and Landgrebe, D. (1991). A survey of decision tree classifier methodology. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 21(3):660–674.
- Saraiva, I., Silva Dias, M., Morales, C., and Saraiva, J. (2016). Regional variability of rain clouds in the amazon basin as seen by a network of weather radars. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(12):2657–2675.
- Souza, M. G. A. d. (2017). Uma análise teórica dos parâmetros típicos de descargas atmosféricas.
- Steiner, M., Houze, R. A., and Yuter, S. E. (1995). Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *Journal of Applied Meteorology*, 34(9):1978–2007.
- Vila, D. A., Machado, L. A. T., Laurent, H., and Velasco, I. (2008). Forecast and tracking the evolution of cloud clusters (fortracc) using satellite infrared imagery: Methodology and validation. *Weather and Forecasting*, 23(2):233–245.
- Weber, M., Evans, J., Wolfson, M., DeLaura, R., Moser, B., Martin, B., Welch, J., Andrews, J., and Bertsimas, D. (2005). Improving air traffic management during thunderstorms. In *24th digital avionics systems conference*, volume 1, pages 3–D. IEEE.