



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

THIAGO MELO SOUZA

CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DA AMAZÔNIA ATRAVÉS DO SATÉLITE TRMM NO PERÍODO DE 1997 A 2012

Nº: 345

Belém-PA

2014

THIAGO MELO SOUZA

**CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DA AMAZÔNIA
ATRAVÉS DO SATÉLITE TRMM NO PERÍODO DE 1997 A 2012**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará- UFPA, para obtenção do
grau Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Galdino Viana Mota.

Belém-PA

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)

S729c Souza, Thiago Melo

Características da precipitação no nordeste da Amazônia através do satélite TRMM no período de 1997 a 2012 / Thiago Melo Souza. – 2014

31 f.: il.

Orientador: Galdino Viana Mota

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, Primeiro semestre de 2014.

1. Raio – Amazônia. 2. Precipitação (Meteorologia) – Amazônia. 3. Tropical Rainfall Measuring Mission. I. Título.

CDD 22^a ed.: 551.57709811

THIAGO MELO SOUZA
**CARACTERÍSTICAS DA PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE DA AMAZÔNIA
ATRAVÉS DO SATÉLITE TRMM NO PERÍODO DE 1997 A 2012**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará- UFPA, para obtenção do
grau de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: ___/___/_____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof: Galdino Viana Mota - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Meteorologista: Nilzele de Vilhena Gomes Jesus - Membro
Mestre em Ciências Ambientais
SIPAM

Meteorologista: Renata Kelen Cardoso Câmara - Membro
Mestre em Ciências Ambientais

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por estar sempre no meu caminho, iluminando e guiando às escolhas certas.

Ao professor orientador Galdino Viana Mota por toda orientação ao longo desses meses. Obrigado por dividir seus conhecimentos, ajudando-me no meu crescimento profissional.

A minha mãe, que amo muito, Mônica Rosaria Silva de Melo Barbosa, que foi à base de tudo pra mim, apoiando-me nos momentos difíceis com força, confiança, amor, ensinando-me a persistir nos meus objetivos e ajudando a alcançá-los.

A minha avó Maria de Nazaré Damasceno da Silva, pelo carinho, incentivo e por acreditar no meu potencial em todos os momentos.

Ao meu padrasto Jackson Barbosa, por toda ajuda e incentivo nos meus estudos.

As minhas tias Vânia, Patrícia e Aline que me mostrarem e incentivarem no caminho do estudo. Aos meus tios Marcos, Júnior e Mário pelo apoio.

Aos meus irmãos Lillian e Murilo pelo apoio e incentivo.

Aos amigos que durante esses anos de universidade foram minha segunda família, Luciana Monteiro, Ingrid Peixoto, Illeson Rafael, Flávio D'Oliveira, vocês sempre serão importantes para mim. Obrigado pelos bons momentos, e por me ajudarem a superar os momentos difíceis, e pela dedicada amizade.

Aos membros desta banca examinadora e aos demais professores, que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Enfim, a todos que contribuíram para o sucesso deste trabalho. E a todos que contribuem para o meu sucesso. Muito obrigado.

“Uma paixão forte por qualquer objeto assegurará o sucesso,
porque o desejo pelo objetivo mostrará os meios.”

Niccolo Maquiavel

RESUMO

Este trabalho analisou 15 anos de distribuição espacial e temporal da precipitação e dos relâmpagos, dos sistemas precipitantes e suas características, como altura e temperatura de brilho dos sistemas precipitantes amostrados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) através dos sensores *Lightning Imaging Sensor* (LIS), *Precipitation Radar* (PR) e *TRMM Microwave Imager* (TMI). Estes dados foram organizados e armazenados pelo grupo de pesquisa da convecção tropical da *University of Utah* no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Foi selecionada uma área delimitada entre 53°W a 43°W de longitude e 3°S a 6°N de latitude, a qual, posteriormente, foi dividida em seis sub-áreas para um melhor detalhamento das informações. Os sistemas precipitantes foram classificados seguindo a metodologia de Nesbitt et. al. (2000) e obedecendo a nova definição dos dados realizado por Liu (2007). Os sistemas precipitantes amostrados pelo satélite TRMM utilizados neste trabalho são denominados ALLPFS e são definidos como aqueles que apresentam pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25. Estes são classificados em PFS e OTHPFS, que respectivamente, são aqueles que apresentam e não apresentam informação de temperatura de brilho. Os PFS são sub-classificados em sistemas sem assinatura de gelo (WOICE), com assinatura de gelo (WICE) e sistemas convectivos de mesoescala (MCS). Os resultados mostram que as regiões do município de Belém e Ilha do Marajó foram as que apresentaram as maiores ocorrências de relâmpagos na Amazônia Oriental, com valores superiores a 125 a 250 relâmpagos/mês*km². Os WOICEs foram os sistemas mais frequentes em todas as regiões e os sistemas precipitantes da categoria WICE e MCS são aqueles que mais contribuem com a produção de relâmpagos sobre essas regiões. Os sistemas eletrificados apresentam grande contribuição no volume de chuva estimada sobre as áreas CENTRO e SUL, com percentuais superiores a 45% nas áreas SUL. A variação mensal dos relâmpagos na área de estudo mostrou que as maiores ocorrências de relâmpagos sobre o município de Belém são nos meses de janeiro a maio, com um pico no mês de março.

Palavras-chave: Amazônia Oriental. TRMM. Sistemas Precipitantes. Relâmpagos.

ABSTRACT

This study analyzed 15 years of spatial and temporal distribution of lightning and precipitation systems and their characteristics such as reflectivity, brightness temperature and height of the precipitation systems sampled by the Lightning Imaging Sensor (LIS), Precipitation Radar (PR) e TRMM Microwave Imager (TMI) sensors onboard of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. This dataset is organized and stored by the research group of tropical convection of the University of Utah from December 1997 to December 2012. It was selected an area bounded between 53°W to 43°W of longitudes and between 3°S to 6°N of latitudes, which was subsequently divided into six sub-areas for more detailed information. The precipitation systems were classified according to the method of Nesbitt et. al (2000), and obeying the new definition of the data proposed by Liu (2007). The precipitation features used in this work are named ALLPFS, which are all systems with rainfall pixels estimated by the 2A25 algorithm. These systems have the categories of PFS (present information of brightness temperature) and OTHPFS (without information of brightness temperature). Within the PFS, the systems are defined as those without ice signature (WOICE), with ice signature (WICE) and mesoscale convective systems (MCS). The results show that the southern regions of Pará, around Belém and Marajo Island were the ones with the highest occurrence of lightning in the Amazon region, with values exceeding 125 to 250 lightning flashes/month*km². The WOICE systems were equally frequent in all regions. The categories WICE and MCS are those which contribute most to the production of lightning over these regions. It was also observed that the electrified systems have great contribution to the estimated amount of rainfall over central and southern parts, with percentages above 45% in the area SOUTH. The monthly variation of the lightning occurrence densities in the studied area showed that the highest occurrence of lightning was found over the city of Belem during the months from January to May, peaking in March.

Key words: Eastern Amazonia. TRMM. precipitation features. lightning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|----------|---|----|
| Figura 1 | Mapa da área utilizada para as análises da distribuição dos raios | 18 |
| Figura 2 | Hierarquia dos sistemas precipitantes estudados | 19 |
| Figura 3 | Gráfico da porcentagem da chuva volumétrica produzida por sistemas precipitantes eletrificados amostrados pelo satélite TRMM (1997 a 2012) | 21 |
| Figura 4 | (a) Topografia do litoral norte brasileiro, com a área de estudo em destaque e (b) Distribuição anualizada do total de precipitação (em unidade de mm/ano), no período de 1997 a 2012. amostrado pelo LIS/TRMM | 22 |
| Figura 5 | Distribuição mensal da precipitação média mensal e altura máxima mensal dos sistemas | 23 |
| Figura 6 | Distribuição da precipitação média mensal e Temperatura Mínima do Infravermelho | 24 |
| Figura 7 | Distribuição mensal da precipitação e número de relâmpagos em cada região | 26 |
| Figura 8 | Distribuição anualizada do total de atividade de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por quilômetro quadrado por ano), no período de 1997 a 2012. amostrado pelo LIS/TRMM | 27 |
| Figura 9 | (a) Distribuição sazonal da atividade de relâmpagos (anualizada em unidades de relâmpagos por km ² por ano) e (b) distribuição da média sazonal da chuva (em mm/mês) estimada pelo algoritmo 2A25 (TRMM) no período de 12/1997 a 12/2012 | 28 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| AMZ | Região da Amazônia |
| aTSM | Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar |
| CPTEC | Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos |
| DJF | Dezembro, Janeiro e Fevereiro |
| E | Leste |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| Km | Quilômetro |
| LABCLIMA | Laboratório de Previsão Climática Regional da Amazônia Oriental |
| MAM | Março, Abril e Maio |
| mm | milímetro |
| N | Norte |
| NE | Nordeste |
| NW | Noroeste |
| PNMM | Pressão ao Nível Médio do Mar |
| PRP | Precipitação |
| S | Sul |
| SE | Sudeste |
| SW | Sudoeste |
| TRMM | Tropical Rainfall Measuring Mission |
| UFPA | Universidade Federal do Pará |
| W | Oeste |
| ZCAS | Zona de Convergência do Atlântico Sul |
| ZCIT | Zona de Convergência Intertropical |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA | 13 |
| 2.1 | Nuvens | 15 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 16 |
| 3.1 | Dados | 16 |
| 3.1.1 | Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) | 16 |
| 3.1.1.1 | Características dos Instrumentos do TRMM | 16 |
| 3.1.1.1.1 | <i>Precipitation Radar (PR)</i> | 16 |
| 3.1.1.1.2 | <i>TRMM Microwave Imager (TMI)</i> | 16 |
| 3.1.1.1.3 | <i>Visible and Infrared Scanner (VIRS)</i> | 17 |
| 3.1.1.1.4 | <i>Clouds & Earths Radiant Energy System (CERES)</i> | 17 |
| 3.1.1.1.5 | <i>Lightning Imaging Sensor (LIS)</i> | 17 |
| 3.2 | Metodologia | 17 |
| 3.2.1 | Metodologia Utilizada nos Dados do TRMM | 18 |
| 4 | RESULTADOS | 19 |
| 4.1 | Distribuição dos Relâmpagos | 25 |
| 4.2 | Distribuição sazonal e mensal dos relâmpagos | 28 |
| 5 | CONCLUSÕES | 29 |
| | REFERÊNCIAS | 30 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, devido à sua grande extensão territorial e pelo fato de estar localizado numa região predominantemente tropical, é um dos países de maior ocorrência de descargas elétricas do planeta. Estima-se que cerca de 100 milhões de descargas elétricas atmosféricas do tipo nuvem-solo atinja o Brasil por ano, ou seja, três descargas elétricas por segundo (PINTO; PINTO JR, 2000). As descargas, geralmente, são originadas de nuvens cumulonimbus, porém, podem também ocorrer, entre outras situações, associadas às explosões nucleares e erupções vulcânicas.

Apesar de toda a beleza natural existente na complexidade desses fenômenos, os relâmpagos podem causar muitos prejuízos à sociedade através de danos a pessoas e animais, setores de transportes, elétrico e de telecomunicações, entre outros. Os prejuízos podem chegar a R\$ 1 bilhão por ano para o setor industrial, tendo em vista que apenas as empresas de fornecimento de energia gastam R\$ 600 milhões para consertar os estragos (SCHMIDT, K., 2009). Segundo o Grupo de Eletricidade Atmosférica (portal ELAT) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), anualmente morrem 132 pessoas vítimas de descargas elétricas no Brasil, sendo o maior número de mortes registradas nas áreas mais populosas do sul do país.

Pinto e Pinto Jr. (2003), usando como base dados de dias de trovoadas, contadores de relâmpagos, redes de detecção de relâmpagos LF / VLF, precipitação e sensores ópticos a bordo de satélite, sugeriram que ocorrem cerca de 50 a 70 milhões de relâmpagos nuvem-solo por ano no Brasil, sendo a região Norte, que abrange a Amazônia brasileira, uma das regiões que apresentam as maiores frequências de ocorrências de relâmpagos, com uma densidade de relâmpagos de, aproximadamente, 10 relâmpagos/km²/ano. Além disso, Fernandes (2005), utilizando dados de relâmpagos obtidos através de uma rede formada por quatro antenas IMPACT situadas no solo e pelo sensor de imageamento de relâmpagos conhecido como Lightning Imaging Sensor - LIS, que está a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), verificou que em ambientes poluídos

as nuvens tendem a apresentar um desenvolvimento vertical maior. Nesse caso, com os centros de cargas mais elevados, devido às altas concentrações de aerossóis que afetam a micro física das nuvens e a termodinâmica que, por sua vez, contribui para o desenvolvimento das nuvens. Verifica-se um aumento de relâmpagos intra-nuvem e relâmpagos positivos. Ou seja, esses estudos mostram que, além da Amazônia ser uma das regiões que apresentam as maiores densidade de relâmpagos no Brasil, a intensidade e a ocorrência desses relâmpagos pode estar sendo favorecido pelas queimadas que ocorrem frequentemente na Amazônia. Contudo, o número de estudos sobre relâmpagos na Amazônia é muito pequeno. Em virtude disso, esse trabalho utilizou dados remotos de 15 anos de relâmpagos associados aos sistemas precipitantes coletados pelo LIS e de outros sensores a bordo do satélite TRMM, objetivando fazer uma climatologia dos relâmpagos sobre uma parte da Amazônia Oriental.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A Região Amazônica possui uma atmosfera com grande atividade convectiva, devido à grande disponibilidade de vapor d'água e energia solar que chega à superfície, sendo assim uma das mais importantes fontes de calor latente do planeta. (MOHR; FAMIGLIETTI; ZIPSER, 1999). Um dos fatores que influenciam diretamente a precipitação na Amazônia são os diversos sistemas meteorológicos que a atingem. Molion (1987) mostra que as circulações de meso e grande escala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que as organizam, promovem a precipitação naquela área. Os mecanismos que provocam chuva na Amazônia podem ser agrupados em três tipos:

- a) Convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga escala favoráveis;
- b) Linhas de Instabilidade (LIs) originadas na costa N-NE da América do Sul; e
- c) Aglomerados convectivos de mesoescala, associados com a penetração de sistemas frontais nas Regiões Sul, Centro Oeste e Sudeste do Brasil interagindo com a Região Amazônica.

A distribuição espacial da precipitação possui uma marcha anual bem definida e influenciada principalmente pelo deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Este sistema de escala planetária definido como uma zona de confluência dos ventos alísios de nordeste (NE) e de sudeste (SE) no Oceano Atlântico é um dos principais sistemas meteorológicos causador de chuva na Região Amazônica. (RAO; HADA, 1990).

A variabilidade temporal da precipitação em grandes áreas nos trópicos é modulada pela variação intrasazonal de 20-60 dias (KOUSKY; KAYANO, 1994; MADDEN; JULIAN, 1994). A maioria dos sinais intrasazonais é associada com ondas que se propagam para leste com máxima atividade na região equatorial.

Outro sistema meteorológico que influencia o regime de precipitação na Amazônia é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é definida como uma zona de confluência na baixa troposfera na América do Sul orientada no sentido NW-SE, com uma faixa de nebulosidade que se estende do noroeste da Amazônia ao Oceano Atlântico (KODAMA, 1992). Este sistema surge no final da primavera do Hemisfério Sul, devido a presença de convecção associada a constante penetração de sistemas frontais (OLIVEIRA, 1986; KOUSKY, 1988). Silva Dias et al. (2002) mostram que a atuação desse sistema provoca alterações na circulação local e conseqüentemente na natureza da precipitação, durante o mês de janeiro e fevereiro em Rondônia. Com base em análises das imagens do satélite Geostationary Environmental Satellite (GOES) e Radar TOGA, durante janeiro e fevereiro de 1999, em Rondônia, notou-se que durante o período de atuação da ZCAS, a precipitação era em sua grande parte de origem estratiforme e os ventos em baixos níveis eram de oeste; e durante o período em que não atuou a ZCAS, a precipitação era em sua grande maioria de origem convectiva e o vento em baixos níveis era de leste.

Figuerola e Nobre (1990) usando dados de pluviômetros no período de 1960 a 1989 (proveniente de pluviômetros) verificaram a distribuição espacial e temporal da precipitação na América do Sul Tropical. Seus resultados mostram uma variação entre 1500 mm/ano a 3500 mm/ano dentro da Região Amazônica. No período de dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) observa-se, no sul e oeste da região, elevadas taxas de chuvas (cerca de 300 mm/mês). Em março-abril-maio (MAM) os centros de

máxima precipitação localizam-se no setor norte da região (nordeste e noroeste) e junho-julho-agosto (JJA) é o período menos chuvoso em grande parte da região, entretanto, no nordeste da Amazônia a chuva ainda chega a 250 mm/mês. E setembro-outubro-novembro (SON) pode ser considerado o período de transição, o qual os valores de precipitação começam a aumentar, principalmente no setor sul e oeste

As LIs são sistemas convectivos formados pelo contraste de temperatura entre o continente e o oceano juntamente com a confluência dos ventos alísios na região costeira (HASTENRATH; HELLER, 1977; KOUSKY, 1980; COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995). Estudos preliminares feitos por Cohen, Silva Dias e Nobre (1989) mostraram que estas LIs contribuem com 45% da chuva que cai durante o período chuvoso no nordeste paraense; podem permanecer ativas por mais de 48 horas, tendo o seu deslocamento entre 6° a 13° de longitude por dia e sua maior ocorrência se dá nos meses de abril e agosto. Durante a noite sua atividade convectiva diminui, voltando a intensificar-se durante o dia devido o aquecimento solar (MOLION; KOUSKY, 1981).

2.1 Nuvens

Os raios, dependendo de onde eles se originam e de onde eles terminam, apresentam várias classificações. As mais comuns são: Nuvem-solo (NS) negativos, que ocorrem da nuvem em direção ao solo trazendo cargas negativas da nuvem para o solo; Nuvem-solo (NS) positivos, que trazem cargas positivas da nuvem para o solo; Solo-nuvem (SN), que se iniciam no solo em estruturas altas e pontiagudas, árvores, edificações e se dirigem na direção da nuvem, podendo ser positivos ou negativos; Intra-nuvem (IN), que ocorrem dentro da nuvem, sendo os mais frequentes e difíceis de serem estudados; Nuvem-ar, relâmpago que sai da nuvem e se dirigem para o ar. (PINTO; PINTO JR., 2000).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados

Neste trabalho foram utilizados os dados referentes aos sistemas precipitantes amostrados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Estes dados fornecem informações sobre a localização, tamanho, intensidade, máxima altura e máxima refletividade dos sistemas precipitantes próximo da superfície, temperatura de brilho no canal de microondas, dentre outras características dos sistemas precipitantes amostrados. O *Lightning Imaging Sensor* (LIS) fornece o imageamento de relâmpagos ocorridos ao longo da trajetória do satélite.

3.1.1 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

O satélite TRMM é um satélite de órbita tropical, criado no sentido de ajudar na compreensão da precipitação tropical e subtropical. Foi produzido através de uma parceria entre The National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), sendo lançado em 27 de novembro de 1997 do Centro de Tanegashima, Japão.

O satélite possui cinco instrumentos a bordo: Precipitation Radar (PR), TRMM Microwave Imager (TMI), Visible Infrared Scanner (VIRS), Clouds & Earths Radiant Energy System (CERES) e o Lightning Imaging Sensor (LIS).

3.1.1.1 Características dos Instrumentos do TRMM

3.1.1.1.1 *Precipitation Radar (PR)*

Foi o primeiro instrumento espacial concebido para fornecer mapas tridimensionais da estrutura de uma tempestade.

3.1.1.1.2 *TRMM Microwave Imager (TMI)*

Um sensor de microondas passivo projetado para fornecer informações quantitativas de precipitação sobre uma ampla área sob o satélite. O imageador de

microondas permite que a TMI quantifique o vapor de água, a água de nuvens e a intensidade da precipitação na atmosfera.

3.1.1.1.3 Visible and Infrared Scanner (VIRS)

Fornecer indicação da chuva, e se conecta as observações recolhidas por TRMM com aquelas coletadas por GOES e outras missões POES.

3.1.1.1.4 Clouds & Earths Radiant Energy System (CERES)

Monitora a energia trocada entre o sol; a atmosfera terrestre, a superfície e nuvens, e o espaço. Devido a problemas nos painéis solares foi desligado.

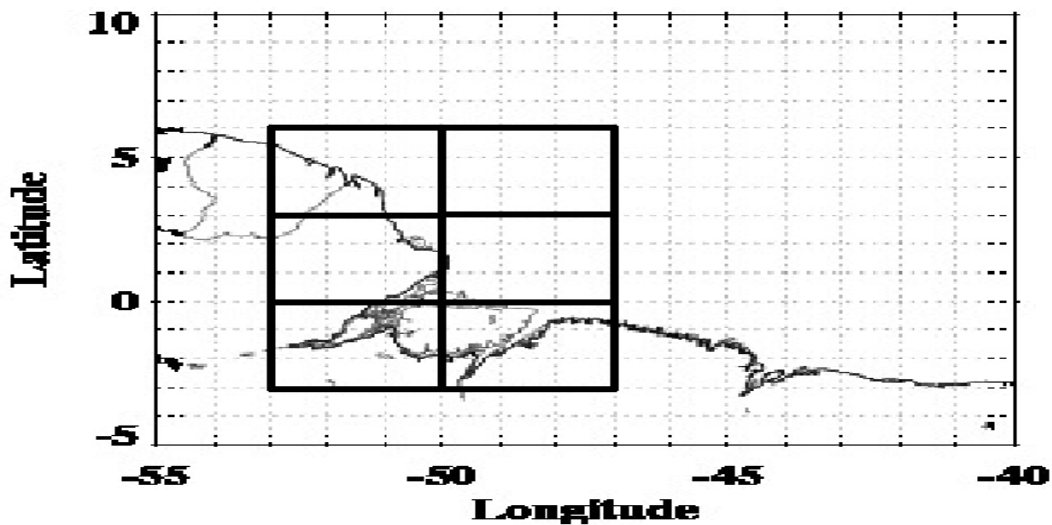
3.1.1.1.5 Lightning Imaging Sensor (LIS)

É um instrumento altamente sofisticado capaz de detectar e localizar um relâmpago na região tropical do globo.

3.2 Metodologia

Para realização desse estudo, primeiramente foi selecionado uma área de 53°W a 47°W e 03°S a 06°N (Figura 1). Onde foi possível, utilizando 15 anos de dados amostrados pelo satélite TRMM, gerar gráficos da distribuição dos totais anuais, mensais, sazonais e das médias mensais, anuais e sazonais do número de relâmpagos, chuva volumétrica, altura dos sistemas e temperatura de brilho. Para os gráficos de totais, o script contabilizou, na área de estudo, todos os dados amostrados a cada área de 1°x1°. Por exemplo, nos gráficos de totais de relâmpagos amostrados, dentro da área de estudo, o script contabilizou todos os relâmpagos observados a cada área de 1°x1° e plotou no gráfico, que foi gerado através do software IDL. Nos gráficos das médias anuais, mensais e sazonais, o script realizou a mesma contabilização, dividindo o total contabilizado pelo número de anos estudados para chegar ao resultado desejado.

Figura 1 - Mapa da área utilizada para as análises da distribuição dos raios.

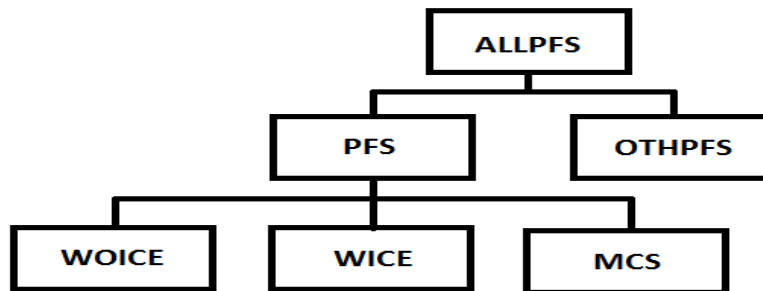


Fonte: Galdino (2014). Adaptado pelo autor.

3.2.1 Metodologia Utilizada nos Dados do TRMM

Os sistemas precipitantes foram classificados seguindo a metodologia de Nesbitt et. al. 2000 e obedecendo à nova definição dos dados realizado por Liu, 2007 (Figura 2). Onde, dentro do grupo do RPF, os ALLPFS (que são os OTHPFS mais os PFS) são aqueles que apresentam pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25. Os OTHPFS serão aqueles que apresentaram pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25 e não apresentam informação de temperatura de brilho. Os PFS (que são os WOICE + WICE + MCS) serão aqueles que, além de apresentarem pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25, apresentam informação de temperatura de brilho. Sendo que, um PF “sem gelo” (WOICE) é um sistema que contém pixels com temperaturas de brilho, no canal de microondas (85 GHz), maiores que 250 K. Um PF “com gelo” (WICE) é um sistema com pelo menos um pixel contendo temperatura de brilho maior ou igual a 250 K. Um PF com MCS é um sistema que contém área maior ou igual a 2000 km² com temperatura de brilho menor ou igual a 250 K e área maior ou igual a 185 km² com temperatura de brilho menor ou igual a 225 K.

Figura 2 - Hierarquia dos sistemas precipitantes estudados.



Fonte: Nesbitt et. al. (2000)

4 RESULTADOS

Por conta da sua grande extensão territorial e estar localizado em uma região predominantemente tropical o Brasil é um dos países de grande ocorrência de relâmpagos, com cerca de 57,8 milhões por ano. Na Amazônia as tempestades estão associadas, principalmente, às condições locais e as Linhas de Instabilidade produzidas pela convergência em baixo nível associadas a Zona de Convergência Inter-tropical (PINTO; PINTO JR, 2003).

Neste trabalho foram analisados mais de 235 mil sistemas precipitantes em 15 anos, sendo que apenas 1% desses sistemas foram eletrificados e responsáveis por uma produção de mais de 15 mil relâmpagos, valor semelhante ao encontrado por Venize (2010), no qual mostrou, utilizando 10 anos de dados do TRMM, que 2% dos PFS amostrados sobre a região norte do Brasil são eletrificados.

De acordo com a Tabela 1, onde é mostrada a distribuição dos sistemas precipitantes sobre as regiões de estudo, em geral, as áreas Norte apresentaram o maior número de sistemas precipitantes, enquanto que as áreas Sul apresentaram o menor número de sistemas precipitantes no período de 15 anos estudados. Observando apenas os sistemas eletrificados podemos perceber uma inversão na distribuição dos sistemas. As áreas Norte, que apresentaram o maior número de sistemas precipitantes, têm a menor amostragem de sistemas eletrificados, enquanto que as áreas Sul apresentaram o maior número de sistemas eletrificados, com um máximo de 967 sistemas eletrificados na área E. Uma possível explicação seria o fato de a região Norte estar localizada mais para o hemisfério norte, sofrendo

assim pouca influência da ZCIT, além de estar quase que totalmente sobre o Oceano Atlântico Norte, onde o desenvolvimento dos sistemas é raso e pouco eletrificados. Com relação às áreas da Sul, vale lembrar que elas abrangem o norte do estado do Pará, o estado do Amapá e parte do Oceano Atlântico Norte, ou seja, corresponde a área litorânea do norte do Brasil, que além de sofrer diariamente os efeitos de brisas também é regularmente encoberta pela ZCIT, a qual é caracterizada como uma faixa de nebulosidade que circunda todo o globo terrestre e apresenta maior atuação sobre a região norte do Brasil no período de dezembro a maio.

Tabela 1 - Distribuição do total de sistemas precipitantes amostrados no período de 1998 a 2008.

| Distribuição do Número Total de Sistemas Precipitantes e Raios | | | | | | | | |
|--|------------------------------|----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | Área de Estudo | | | | | | Total |
| | | Norte | | Centro | | Sul | | |
| | Nº de Sistemas | A | B | C | D | E | F | Total |
| | | ALLPFS | 45584 | 39058 | 42728 | 34337 | 38001 | 35718 |
| | OTHPFS | 118 | 94 | 143 | 77 | 139 | 127 | |
| | PFS | 45466 | 38964 | 42585 | 34260 | 37862 | 35591 | |
| | WOICE | 43615 | 37644 | 40145 | 32805 | 35217 | 32892 | |
| | WICE | 1702 | 1208 | 2252 | 1287 | 2413 | 2463 | |
| | MCS | 149 | 112 | 188 | 168 | 232 | 236 | |
| | Nº de Sistemas Eletrificados | A | B | C | D | E | F | Total |
| | ALLPFS | 3 | 14 | 445 | 41 | 967 | 925 | 2395 |
| | OTHPFS | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| | PFS | 3 | 14 | 445 | 41 | 966 | 924 | |
| | WOICE | 0 | 1 | 18 | 1 | 54 | 57 | |
| | WICE | 2 | 8 | 356 | 24 | 764 | 705 | |
| | MCS | 1 | 5 | 71 | 16 | 148 | 162 | |
| | Nº de Raios | A | B | C | D | E | F | Total |
| | ALLPFS | 381 | 25 | 1646 | 102 | 6192 | 7113 | 15459 |
| | OTHPFS | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 6 | |
| | PFS | 381 | 25 | 1646 | 102 | 6185 | 7107 | |
| | WOICE | 5 | 1 | 19 | 1 | 6185 | 84 | |
| | WICE | 312 | 14 | 1094 | 61 | 3915 | 3505 | |
| | MCS | 64 | 10 | 533 | 40 | 2189 | 3518 | |
| Nº Total | ALLPFS | 381 | 25 | 1646 | 102 | 6192 | 7113 | 15459 |
| | OTHPFS | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 6 | |
| | PFS | 381 | 25 | 1646 | 102 | 6185 | 7107 | |
| | WOICE | 5 | 1 | 19 | 1 | 6185 | 84 | |
| | WICE | 312 | 14 | 1094 | 61 | 3915 | 3505 | |
| | MCS | 64 | 10 | 533 | 40 | 2189 | 3518 | |

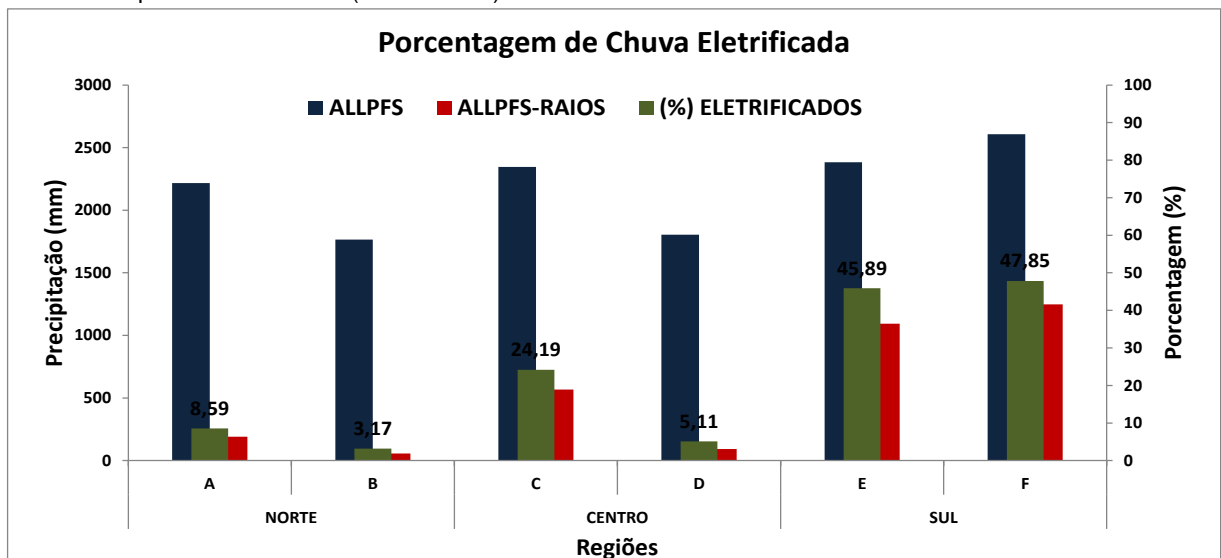
Fonte: Venize (2010). Adaptado pelo autor

A contribuição dos sistemas eletrificados na produção de chuva volumétrica sobre as áreas estudadas (Figura 3) revelou que nas áreas NORTE, aproximadamente, 9% do volume de chuva amostrado sobre essa região é proveniente de sistemas eletrificados. Nas áreas CENTRO, a porcentagem de chuva

volumétrica proveniente de sistemas eletrificados varia de, aproximadamente, 5% a 25%. Tendo sido verificado a maior contribuição na região C, com 24,2%. Nas áreas SUL, mais de 45% do volume de chuva amostrados são provenientes de sistemas eletrificados, sendo a região H com a maior contribuição, 47,9%.

O que indica a maior participação de MCSs na produção da chuva e de relâmpagos sobre a porção SUL da área de estudo. Na área NORTE, o volume de chuva é proveniente de sistemas estratiformes, sem profundidade na atmosfera, por isso, a porcentagem de chuva eletrificada é inferior a 10%.

Figura 3 - Gráfico da porcentagem da chuva volumétrica produzida por sistemas precipitantes eletrificados amostrados pelo satélite TRMM (1997 a 2012).

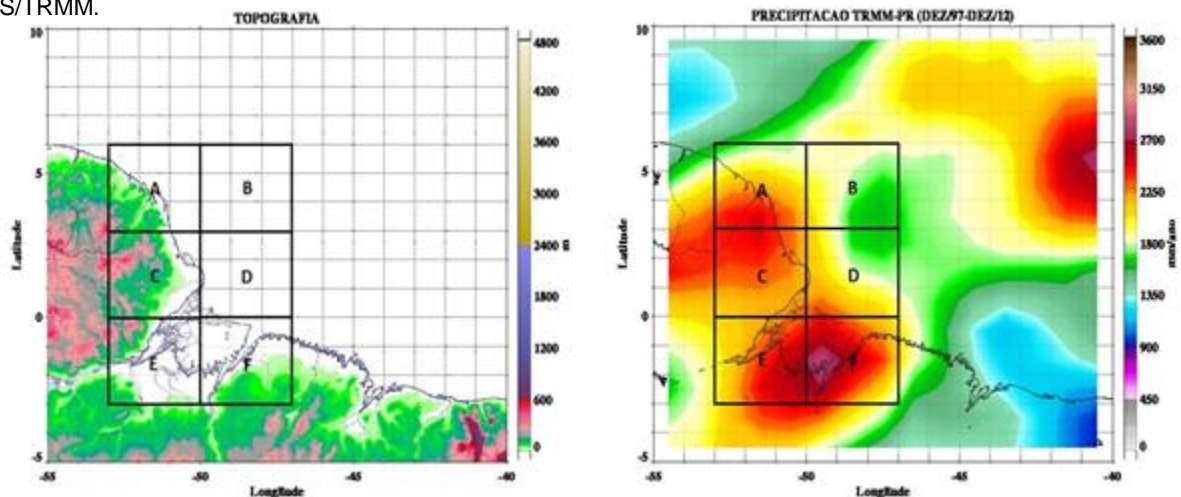


Fonte: Venize (2010). Elaborado pelo Autor

A Figura 4 mostra a topografia e a precipitação média nos 15 anos estudados sobre as áreas subdivididas em regiões. Através da Figura 3.a, podemos observar que as áreas Norte e Centro possuem regiões sobre o oceano Atlântico Norte, por tanto não há influência da topografia na formação de convecção profunda nas regiões B e D, comprovada na Figura 3.b, onde há um máximo de 1800 mm entre as duas regiões. As regiões A e C, por se localizarem sobre o continente, estado do Amapá, possuem influência da topografia relativamente elevada, em relação às áreas vizinhas, onde podemos ver elevações de 600 m acima do Nível Médio do Mar, intensificando os efeitos de brisa na formação de convecção profunda.

A área do Sul, onde se localiza a Ilha do Marajó e a cidade de Belém, possui nível de topografia baixo, em relação as áreas vizinhas, favorecendo o acúmulo de umidade, oriunda dos efeitos de brisa, provenientes do Oceano Atlântico Norte, e desta forma auxiliando na convecção profunda nas regiões E e F, tendo o TRMM registrado um acúmulo de mais de 2700 mm nessa área, sendo assim a área com a maior ocorrência de relâmpagos, principalmente na região F, onde se localiza Belém, por conta da forte convecção, resultante dos efeitos de urbanização.

Figura 4 - (a) Topografia do litoral norte brasileiro, com a área de estudo em destaque e (b) Distribuição anualizada do total de precipitação (em unidade de mm/ano), no período de 1997 a 2012, amostrado pelo LIS/TRMM.



Fonte: Galdino (2014)

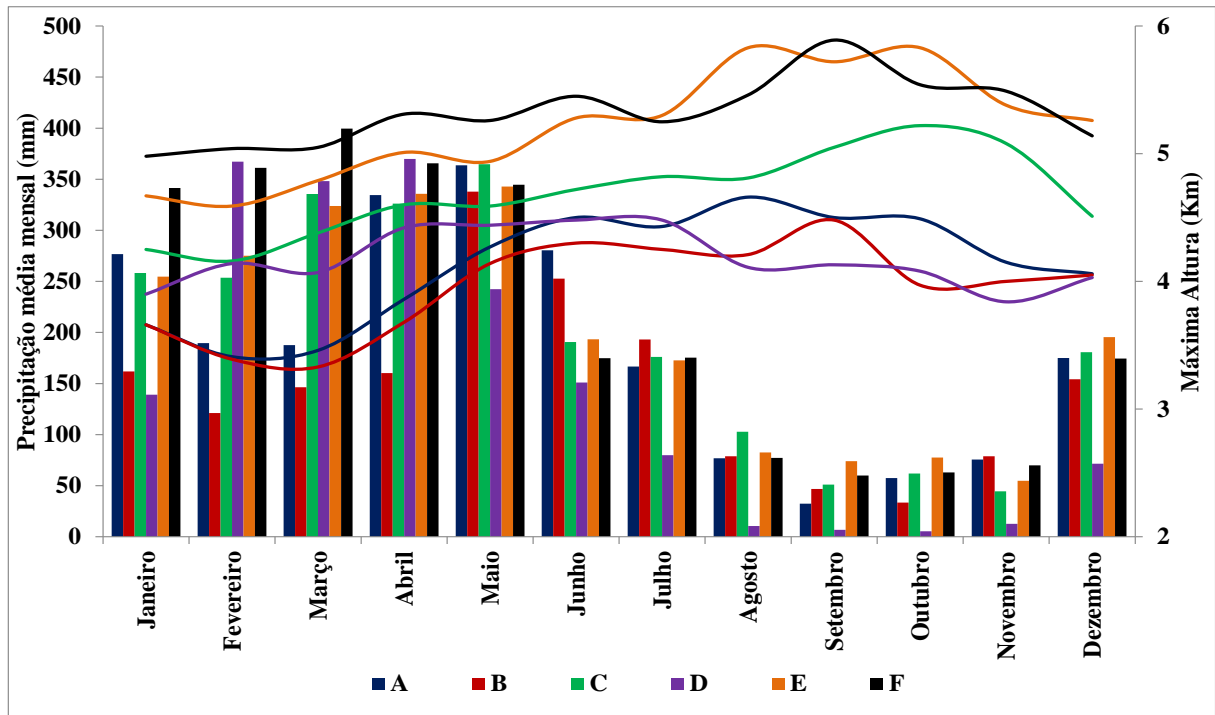
A Figura 5 mostra a relação do comportamento da precipitação média mensal com máxima altura dos sistemas nas seis regiões estudadas no período de 1997 a 2012. Podemos observar que a precipitação tende a seguir a marcha anual da ZCIT, com grandes volumes de precipitação no período chuvoso, que se inicia em dezembro e se encerra em meados do mês de maio, com exceção das regiões A e B, por estarem localizadas mais para o Hemisfério Norte, portanto sentido a influencia da ZCIT apenas a partir de Maio.

A altura máxima dos sistemas está diretamente relacionada com a marcha anual da ZCIT, pois uma vez que ela está atuando os sistemas tendem a se desenvolverem pouco, com uma altura média máxima de 4 km, principalmente nas

regiões localizadas sobre o oceano, como as regiões A, B e D, onde naturalmente há pouca convecção, fato bastante comum, visto que, áreas oceânicas apresentam pouco atrito, pouca turbulência superficial o que desfavorece o desenvolvimento vertical das nuvens, contribuindo para a produção de nuvens rasas e pouco eletrificadas.

Após a passagem da ZCIT, há uma maior disponibilidade de energia, pois há uma grande diminuição na precipitação em todas as áreas estudadas, e com isso as nuvens se desenvolvem mais, atingindo topos de 6 km, nas regiões E e F, onde se localiza a ilha do Marajó e a regiões metropolitana de Belém, respectivamente.

Figura 5 – Distribuição mensal da precipitação média mensal e Altura Máxima mensal dos sistemas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

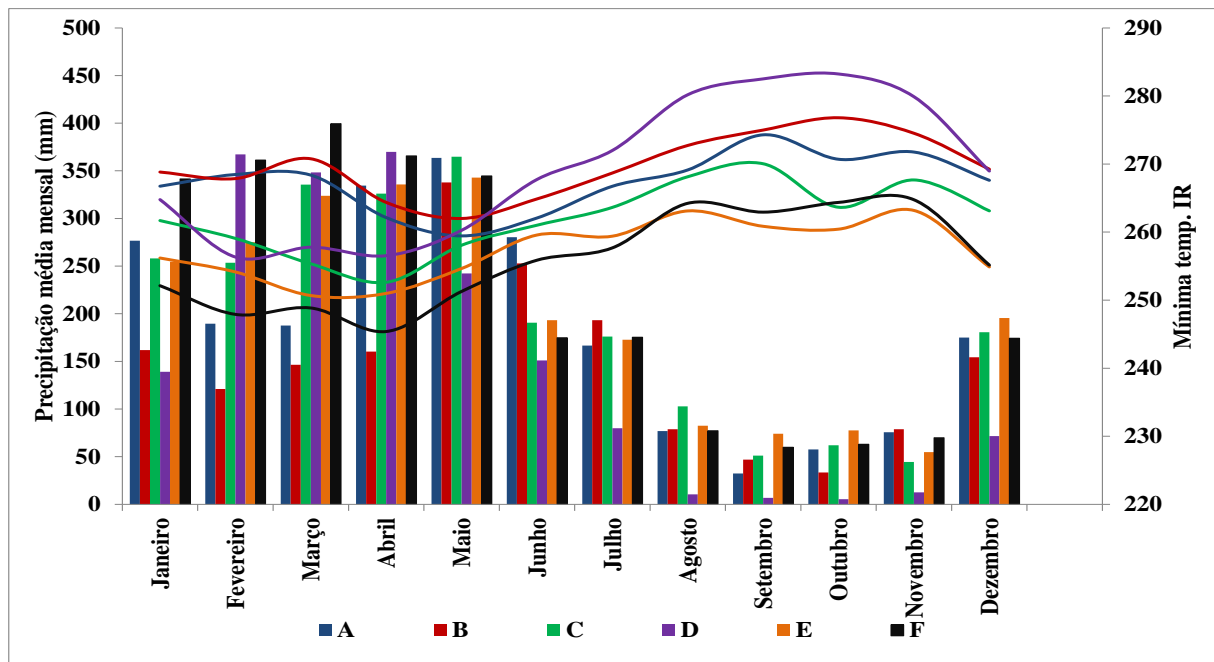
A Figura 6 mostra a relação do comportamento da precipitação média mensal com a temperatura mínima do IR nas seis regiões estudadas no período de 1997 a 2012. Assim como a precipitação nas seis regiões segue a marcha anual da ZCIT. A temperatura mínima do IR mostra também uma relação direta com a precipitação, uma vez que a temperatura do IR é menor quando o volume de precipitação é maior. Podemos observar que durante o período de atuação da ZCIT sobre as regiões

estudadas a temperatura do IR é menor. Por se tratar de um sistema de escala global, as nuvens produzidas pelo encontro dos ventos Alísios, dando origem a ZCIT, possuem topos muito alto e conseqüentemente muito frio, como podemos ver através da figura abaixo.

Durante os meses de Janeiro a Maio, as temperaturas mínima do IR nas regiões estudadas estão abaixo de 260 K, com exceção das regiões A e B, como já foi dito anteriormente, por essas regiões estarem localizadas mais para o hemisfério norte, a atuação da ZCIT vai ocorrer a partir do mês de Maio, mês no qual as temperaturas dessas regiões caem para aproximadamente 260 K também.

Há um aumento da temperatura mínima do IR a partir do mês de Julho, onde podemos observar uma diminuição no volume médio da precipitação nas regiões estudadas, as regiões E e F mostraram o menor aumento, abaixo de 270 K. A região D foi a região com o maior aumento da temperatura mínima de IR, com valores acima de 280 K entre os meses de Agosto a Outubro, esta região se localiza sobre o Oceano Atlântico Norte, como já foi mencionado acima, as nuvens que se formam nesse período do ano sobre o oceano são nuvens quentes, de baixa altitude.

Figura 6 – Distribuição da precipitação média mensal e Temperatura Mínima do Infravermelho



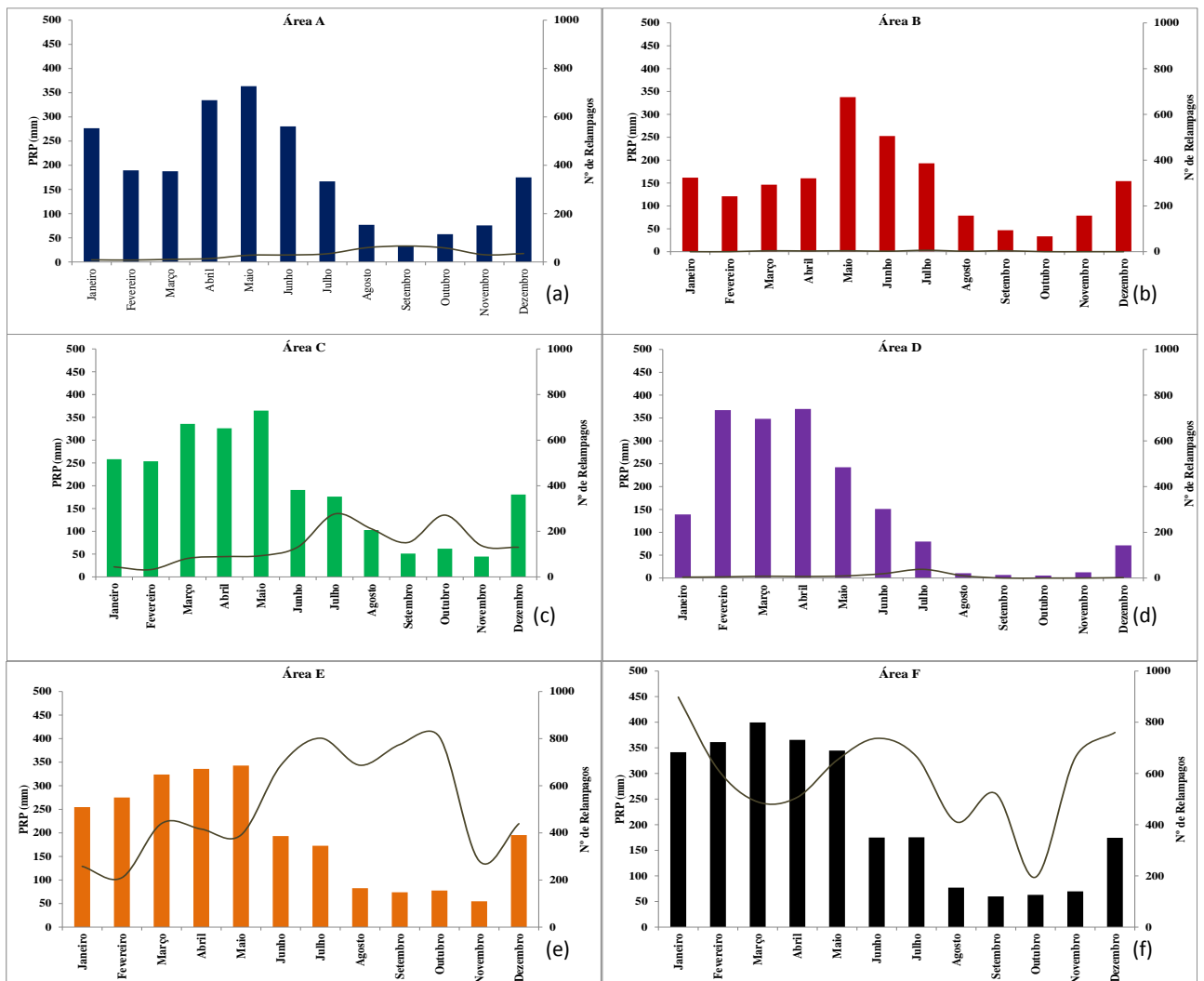
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Distribuição dos Relâmpagos

Analisando a distribuição mensal dos sistemas precipitantes (Figura 7), podemos verificar que as áreas CENTRO e SUL da área selecionada variam de acordo com a marcha anual da ZCIT, com grandes quantidades de ALLPFS no período chuvoso, que se inicia em dezembro e se encerra em meados do mês de maio. Enquanto que, nas áreas SUL podemos observar que o número de sistemas precipitantes, em comparação com os outros setores, se mostra bem expressivo a partir de Maio. Período em que a ZCIT está localizada mais para o hemisfério Norte.

Com relação ao número de relâmpagos, podemos verificar que as maiores amostragens ocorrem nas áreas SUL. E que, diferentemente do observado na precipitação, nem todas as regiões parecem acompanhar a marcha anual da ZCIT. Podemos verificar que nas áreas NORTE, a maior amostragem de número de relâmpagos ocorre na região A, com um total de 66 no mês de setembro. Na região B, devido à extensa área oceânica englobado por essa área, se verifica pouquíssimos, com um total de 6 no mês de julho, fato bastante comum explicado anteriormente. Nas áreas CENTRO, podemos observar que na região C, a maior amostragem se verifica no mês de julho, com 276. A região D apresenta a maior quantidade de relâmpagos no mês de abril, com 369. Nas áreas SUL, o segundo semestre do ano é mais eletrificado, na região E, com um total de 802, no mês de julho, e na área F (área que abrange o município de Belém e Ilha do Marajó), podemos observar que o número de relâmpagos se mostra bem distribuído durante o ano todo, com picos máximos no mês de janeiro, com 898, e no mês de julho, com 737.

Figura 7 - Distribuição mensal da precipitação e número de relâmpagos em cada região.

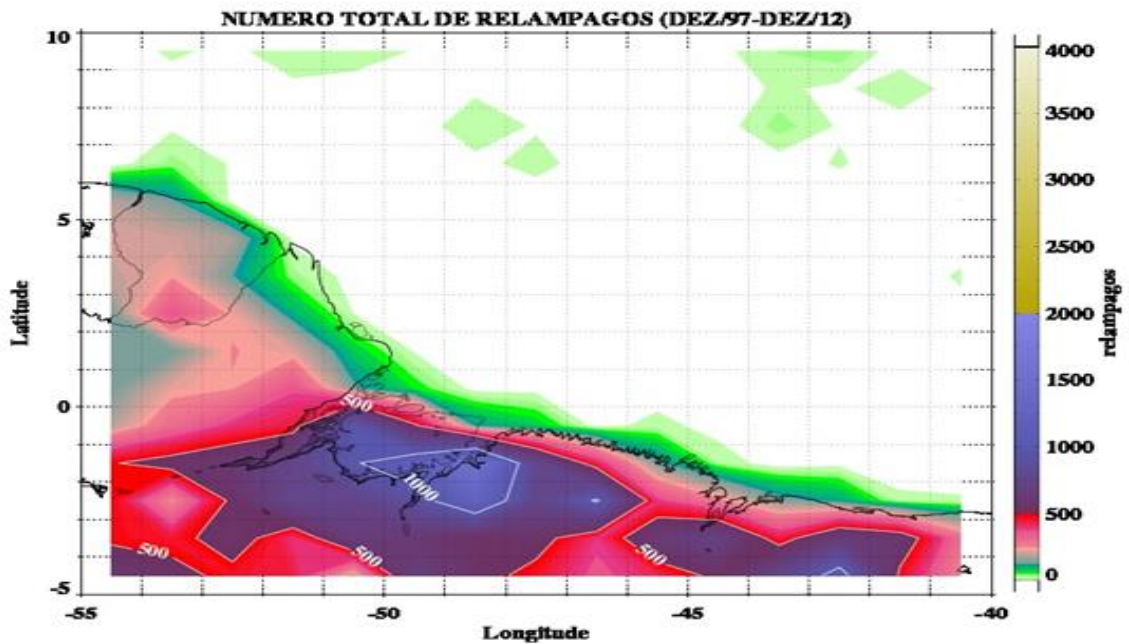


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados mostram que as maiores ocorrências de relâmpagos na parte da Amazônia Oriental estudada neste trabalho, localiza-se na região que abrange o município de Belém e a Ilha do Marajó. Em Belém, essa amostragem fica em torno de 1000 relâmpagos/km²/ano (Figura 8). Na figura também se verifica o declínio da amostragem de relâmpagos em direção ao oceano. Segundo Toracinta et al. 2002, os sistemas que se formam sobre a superfície marítima apresentam fraco movimento de ascensão dentro da nuvem, *updraft* fraco, o que faz com que a nuvem apresente pouco desenvolvimento vertical e conseqüentemente pouca eletrificação. Nos sistemas formados no continente os movimentos ascendentes são mais forte, mantém por mais tempo as partículas de água no ar, facilitam a penetração delas

em camada mais frias, favorecendo o maior desenvolvimento vertical da nuvem, a maior presença de cristais de gelo e granizo, o que contribui com a maior eletrificação da nuvem. Por isso, o declínio do número de relâmpagos em direção a costa litorânea. É interessante notar como as máximas ocorrências de relâmpagos se concentram principalmente nas áreas maior atuação do MCSs, lembrando que Linhas de Instabilidade (LI), também são classificadas como um sistema convectivos de mesoescala. Segundo Cavalcanti et al. 2009, as Linhas de Instabilidade apresentam posicionamentos diferentes ao longo da costa norte e nordeste do Brasil. Segundo o autor, em uma análise da ocorrência de LI's associadas à circulação de brisa, visualizadas em imagens de satélite no período de 1975 a 1980, no período de inverno e primavera, o desenvolvimento da LI ocorrem em longitudes mais ao oeste, ao longo da costa, ao norte do equador; e nos período de verão e outono ocorrem mais ao leste, ao longo da costa, ao sul do equador. Justamente uma das posições onde observamos os maiores máximos de relâmpagos.

Figura 8 - Distribuição anualizada do total de atividade de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por quilômetro quadrado por ano), no período de 1997 a 2012. amostrado pelo LIS/TRMM.



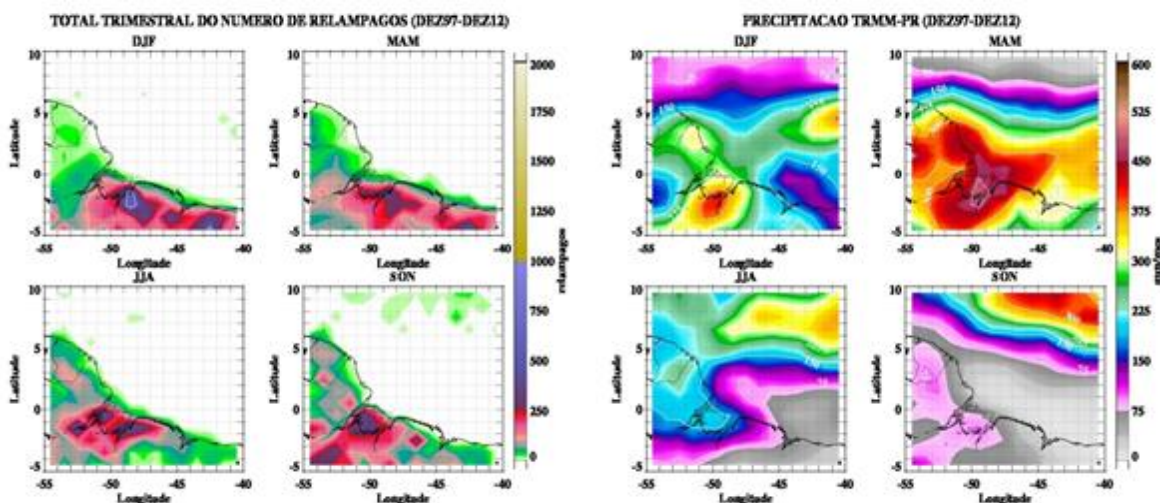
Fonte: Galdino (2014).

4.2 Distribuição sazonal dos relâmpagos

Podemos verificar através da Figura 9 que em todos os trimestres os máximos acumulados de chuva ocorrem em regiões iguais dos picos de relâmpagos, exceto no trimestre JJA, onde verificamos que os máximos acumulados de chuva ocorrem no norte do Oceano Atlântico Norte, enquanto que a máxima ocorrência de relâmpagos ocorre sobre a região Metropolitana de Belém e a Ilha do Marajó.

No primeiro (DJF) e segundo trimestre (MAM), podemos observar a maior contração de relâmpagos sobre a região de atuação da ZCIT, próximo ao litoral paraense e bem intensificado sobre a Ilha do Marajó e a Região Metropolitana de Belém. No quarto trimestre (JJA), período no qual a ZCIT está deslocada mais para o hemisfério norte, os relâmpagos observados podem ser resultados da formação de LI e convecção local. No quinto trimestre (SON), a precipitação parece sofrer influencia dos sistemas oriundos das altas latitudes, como a ZCAS, que é definida como uma zona de confluência na baixa troposfera na América do Sul orientada no sentido NW-SE, com uma faixa de nebulosidade que se estende do noroeste da Amazônia ao Oceano Atlântico (KODAMA, 1992). Este sistema surge no final da primavera do Hemisfério Sul, devido a presença de convecção associada a constante penetração de sistemas frontais (OLIVEIRA, 1986; KOUSKY, 1988).

Figura 9 - (a) Distribuição sazonal da atividade de relâmpagos (anualizada em unidades de relâmpagos por km² por ano) e (b) distribuição da média sazonal da chuva (em mm/mês) estimada pelo algoritmo 2A25 (TRMM) no período de 12/1997 a 12/2012.



Fonte: Galdino (2014)

5 CONCLUSÕES

Os resultados das análises dos 15 anos de dados de relâmpagos provenientes do LIS/TRMM mostraram que as áreas SUL, sobre o município de Belém e Ilha do Marajó são aquelas que apresentaram as maiores ocorrências de relâmpagos na Amazônia Oriental. Sendo os sistemas precipitantes da categoria MCS os que mais contribuíram com a produção de relâmpagos sobre essas regiões.

Os resultados também mostraram que, os sistemas eletrificados apresentam grande contribuição no volume de chuva estimado sobre as áreas CENTRO e SUL, definidas nesse estudo. Com percentuais superiores a 45% de chuva eletrificada nas áreas SUL. Nas áreas NORTE, o percentual de contribuição por chuva eletrificada apresenta-se abaixo de 10%, o que evidencia a predominância de chuva de natureza oceânica, provenientes de nuvens quentes sobre o litoral paraense e o Estado do Amapá.

A variação mensal da densidade da ocorrência de relâmpagos na área de estudo mostrou que as maiores ocorrências de relâmpagos sobre o município de Belém são nos meses de abril a agosto, meses que apresentam a maior frequência de formação de LI. Cohen, Silva Dias e Nobre (1989), também mostrou que esse é o período onde as LI tendem a se apresentar com intensidade mais forte, e conseqüentemente, com mais eletrificação, reforçando a hipótese de que elas sejam as grande responsáveis pela eletrificação no período chuvoso em Belém. Nas áreas NORTE, as maiores ocorrências de relâmpagos acontecem nos meses de maio a julho, meses onde observamos a ZCIT mais para o hemisfério norte, com temperatura de brilho das nuvens em torno de 260 K e alta taxa de chuva.

REFERÊNCIAS

- CAVALCANTI I. F. A. et al. **Tempo e o Clima no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- COHEN, J. C. P.; DIAS, M. A. F. SILVA; NOBRE C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n.11, p. 3163-3174, nov. 1995.
- FERNANDES, W. A. **Características dos relâmpagos gerados por nuvens de tempestades em ambientes sob a influência das queimadas em Rondônia**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. 182 p. (INPE-13831- TDI/1054).
- HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quarterly Journal Royal Meteorology Society**, v. 102, n. 435, p. 77-92, jan. 1977.
- MOLION, L. C. B.; KOUSKY, V. E. **Uma contribuição à climatologia de dinâmica da troposfera tropical sobre a Amazônia**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (Relatório Técnico INPE – 3560-RPE/480), mar. 1981.
- MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2 n. 1, p. 107-117, dez. 1987.
- MOHR, K. I.; FAMIGLIETTI, J.S.; ZIPSER, E.J. The contribution to tropical rainfall with respect to convective system type, size, and intensity estimated from the 85-GHz ice scattering signature. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, n. 5, p. 596-606, May. 1999.
- NESBITT, S. W.; ZIPSER E. J.; CECIL, D. J. **A Census Of Precipitation Features In The Tropics Using Trmm: Radar, Ice Scattering, And Lightning Observations**. *Journal Climate*, V. 13, N.23, p. 4087-4106, dec. 2000.
- NESBITT, S.W.; ZIPSER E. J.: The diurnal cycle of rainfall and convective intensity according to three years of TRMM measurements. **J. Climate**, 16 (10), p. 1456-1475, 2003.
- PINTO, I.R. C.A.; PINTO JR., O. et al. A coordinated study of a storm system over the south American continent 2. Lightning related data. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D16, p. 18205-18213, Nov.1992. PINTO e PINTO JR, 2000.
- PINTO, I. R. C. A.; PINTO JR O., Cloud-to-ground lightning distribution in Brazil, **J. Atmos. Solar-Terr. Physics**, 65(6), 733–737, 2003.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with Southern oscillations. **Theoretical and Applied Climatology**, New York, v. 42, p.81-91, Jun. 1990.

SCHMIDT K, **Morreram 11 pessoas atingidas por relâmpagos em 2009.** Disponível em:<<http://jornalnacional.globo.com/Telejornais/JN/0,,MUL966658-10406,00-MORRERAM+PESSOAS+ATINGIDAS+POR+RAIOS+EM.html>.> Acesso em: 21 jan. 2009. Portal da Noticias da Globo, 21/01/09.

KODAMA, Y. M. Large-scale common features of sub-tropical precipitations zone (The Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, Tokyo, v. 70, p. 813-835, Ago.1992.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 04, p. 488 - 498, Abr. 1980.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, p. 217-231, jan. 1988.

KOUSKY, V. E. & M. T. KAYANO, 1994: Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **J. Climate**, **7**, 1131-1143.

OLIVEIRA, A. S. Interações Entre Sistemas na América do Sul e Convecção na Amazônia. 246 F. **Dissertação (Mestrado Em Meteorologia) - Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais**, Inpe – 4008-Tdl/239, São José Dos Campos, 1986.

TORACINTA, E. R.; CECIL D. J.; ZIPSER E. J.; NESBITT S. W.. 2002. Radar, passive microwave, and lightning characteristics of precipitating systems in the Tropics. **Mon. Wea. Rev.** 130:802–824.

VENIZE, A. T. Características e Distribuição das Descargas Atmosféricas e dos Sistemas Precipitantes Produtores de Raios na Amazônia Oriental. **Dissertação (Mestrado Em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará**. Pará, 2010