



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
EMBRAPA - UFPA - MPEG

Raimundo Nonato Nascimento Aarão Junior

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE SUPERFÍCIE NA DENSIDADE DE
OCORRÊNCIA DE RAIOS SOBRE ÁREAS DA AMAZÔNIA
ORIENTAL**

Belém – PA

2013

RAIMUNDO NONATO NASCIMENTO AARÃO JUNIOR

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE SUPERFÍCIE NA DENSIDADE DE OCORRÊNCIA DE
RAIOS SOBRE ÁREAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA – Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Física do Clima.

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo Santos de Souza

Belém – PA

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Aarão Junior, Raimundo Nonato Nascimento, 1981-
Influência do tipo de superfície na
densidade de ocorrência de raios sobre áreas da
Amazônia oriental / Raimundo Nonato Nascimento
Aarão Junior. - 2013.

Orientador: José Ricardo Santos de Souza.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Pará, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém,
2013.

1. Raio - Amazônia. 2. Raio - Pará. I.
Título.

CDD 22. ed. 551.563209811

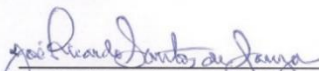
RAIMUNDO NONATO NASCIMENTO AARÃO JUNIOR

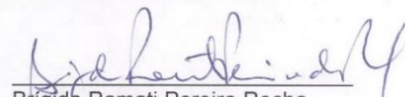
INFLUÊNCIA DO TIPO DE SUPERFÍCIE NA DENSIDADE DE OCORRÊNCIA DE
RAIOS SOBRE ÁREAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada para obtenção do grau de
Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará. Área de
Física do Clima
Orientador: Dr. José Ricardo Santos de Souza

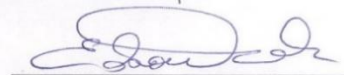
Data de aprovação: 02 / 10 / 2013

Banca Examinadora:


Orientador
José Ricardo Santos de Souza
Universidade Federal do Pará


Brígida Ramati Pereira Rocha
Universidade Federal do Pará


José Henrique Cattanio
Universidade Federal do Pará


Edson José Paulino da Rocha
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho a minha família e aos meus amigos que me deram força e sabedoria para continuar lutando por minhas convicções e pela confiança que depositaram em mim durante o processo de finalização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar comigo e me mostrar o caminho certo nos momentos mais difíceis e sem ele nada seria possível realizar.

Agradeço a toda minha família pelo apoio e paciência que me deram e tiveram.

Ao meu orientador, professor Dr. José Ricardo Santos de Souza, pela ajuda, orientação e dedicação para mostrar o certo nos momentos de dúvidas e pela sua paciência na realização deste trabalho, utilizando todos seus conhecimentos e compartilhando-os comigo para meu aprimoramento.

A Universidade Federal do Pará - UFPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA e ao Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, do Instituto de Geociências - IG pela possibilidade dada à elaboração desta dissertação.

A CAPES pela concessão da bolsa, que possibilitou a minha permanência no curso e dedicação para com este estudo.

Ao Dr. Carlos Morales pelos dados de raios da rede STARNET, obtidos através da ajuda da Marcela Pompeu.

Ao Prof. Dr. Artur Almeida pela ajuda, concessão e instrução do programa LEZEUS.

A Laure Dentel pela permissão dada ao uso das figuras de homogeneidade da rede STARNET.

A Wanda Ribeiro que partilhou seu conhecimento sobre o software ArcView, mostrando formas de manuseios para serem aplicadas neste trabalho e sempre se dispondo a tirar dúvidas que por ventura surgissem.

A Agência Nacional de Águas – ANA e ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, pelo fornecimento dos dados de precipitação.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE pelo fornecimento dos dados de classificação dos tipos de superfícies.

Ao professor Dr. Antônio Carlos Lôla da Costa, pelo acolhimento e instrução no período de estágio de docência.

Aos amigos queridos da UFPA Marcela Pompeu, Josiane Sarmiento, Marcelo Favacho, Camila Silva, Wanda Ribeiro, Ana Paula Santos, Pedro Pereira, Renata Kellen, Ionara Siqueira, pela ajuda de forma direta ou indiretamente, assim como pelos momentos de descontração.

A todos os professores da Faculdade de Meteorologia e do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, que compartilharam seus conhecimentos comigo.

A todos os amigos do Curso de Ciências Ambientais do PPGCA que fiz no decorrer do curso.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para este trabalho e que por ventura não estejam citados aqui.

A todos, Muito Obrigado!!

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a relação existente entre as ocorrências de raios sobre os diferentes tipos de superfícies em áreas selecionadas e situadas na Amazônia Oriental, durante o período de Julho de 2008 à Novembro de 2010. Os estudos foram feitos dentro de 8 áreas, localizadas no Estado do Pará. Cada uma das áreas estudadas caracterizam determinado tipo de superfície com aspecto homogêneo. Os dados de raios foram obtidos através do banco de dados da rede de detecção de raios STARNET, os dados de precipitação foram coletados através de 80 estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas – ANA e do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, enquanto que os dados de classificação dos tipos de superfícies foram obtidos através de mapas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os resultados mostraram que os diferentes tipos de superfícies contribuem de maneira significativa na frequência de ocorrência de raios; os raios variam em função da sazonalidade e ao longo dos meses no decorrer do ano, apresentando maiores médias de ocorrências correlacionadas com o período de máxima precipitação; a ocorrência de raios varia em função horária, em que tanto no período chuvoso, quanto no período seco as ocorrências desses eventos tendem a acontecer no período compreendido entre as 14:00h UTC (15:00h UTC para período seco) e 22:00h UTC, com maiores picos observados no período chuvoso. Observou-se ainda a não existência de uniformidade na ocorrência de raios e da precipitação dentro e entre as próprias áreas selecionadas. Portanto, o presente trabalho traz evidências qualitativas da importância dos tipos de superfícies e sua influência em relação a ocorrência de raios observados.

Palavras-chave: Raios. Tipos de Superfícies. Amazônia Oriental.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the relationship between the occurrence of lightning over different types of surfaces in selected areas situated in the eastern part of the Amazon Region during the period of July 2008 to November 2010. The studies were conducted in 8 areas, located in the State of Pará, Brazil. The studied areas feature a particular type of surface with homogeneous character. The lightning data were obtained from the database of the STARNET lightning detection network. Rainfall data were collected through 80 weather stations of the National Water Agency - ANA and the National Institute of Meteorology - INMET, while data classification of the types of surfaces were obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE. The results showed that different types of surfaces have contribute a significantly in occurrence frequency of lightning; lightning vary depending on seasonality and over the months during the year, with higher averages of correlated events with the period of maximum rainfall; the occurrence of lightning varies in time function, where both the rainy season and in the dry season the occurrences of these events tend to happen during the period between 14:00 UTC (15:00 UTC to dry season) and 22:00 UTC with major peaks observed in the rainy season. Also observed a lack of uniformity in the incident of lightning and precipitation on and between the same selected areas. Therefore, this study provides qualitative evidence of the importance of the types of surfaces and their influence over the observed occurrence of lightning.

Keywords: Lightning. Types of Surfaces. Eastern Amazon Region.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 01: Fase inicial de uma nuvem de tempestade em que há o predomínio de movimentos ascendentes (a) e (b). Aumento da profundidade da nuvem (c). Formação da “bigorna” da nuvem, próxima a tropopausa e conseqüente espalhamento da nuvem (d). O ar frio desce forma um domo de ar frio e com isso ocorrem as frentes de rajadas associadas a este domo e conseqüente espalhamento atinge a superfície terrestre (e)..... | 24 |
| Figura 02: Raios Nuvem –Solo (a) e Raios Solo-Nuvem (b)..... | 27 |
| Figura 03: Esquemática da estrutura de nuvens de tempestades e os diversos tipos de raios: IN, EN, AR, NS, SN e NI..... | 28 |
| Figura 04: Esquemática dos tipos de raios que têm relação com o solo: (a) NS positivo; (b) NS negativo; (c) SN negativo; (d) SN positivo..... | 29 |
| Figura 05: Mapa isoceráunico do Brasil, com o número de dias de trovoadas observadas. | 30 |
| Figura 06: Ocorrências médias de raios.km ⁻² .ano ⁻¹ , no globo terrestre, no período de 1995 a 2000 com base em dados obtidos dos sensores OTD e LIS a bordo do satélite “Tropical Rainfall Mesuring Mission” (TRMM) da NASA..... | 31 |
| Figura 07: Média das ocorrências de raios.km ⁻² .ano ⁻¹ ocorridas no Brasil, no período de 1998 a 2007 com base em dados obtidos dos sensores OTD e LIS a bordo do satélite TRMM da NASA..... | 31 |
| Figura 08: Climatologia de precipitação (mm) anual acumulada do Brasil, durante o período de 1961-1990..... | 35 |
| Figura 09: Mortes provocadas por descargas elétricas ocorridas no Brasil, no período entre 2003 e 2010..... | 40 |
| Figura 10: Localização das áreas de estudo sobre os diferentes tipos de superfícies na Amazônia Oriental..... | 45 |
| Figura 11: Etapas para classificação e escolha das áreas de tipos de superfícies diferentes e respectivas paisagem..... | 46 |
| Figura 12: Unidades morfoestruturais da Ilha de Marajó (adaptado de DNPM 1974): 1 – Planalto Rebaixado da Amazônia; 2 – Planície Amazônica..... | 49 |
| Figura 13: Rede do SIPAM, localização aproximada das 8 áreas de estudo dentro do Modelo de Distribuição Geográfica - Caso ideal com uma probabilidade máxima de detecção aproximadamente 57%, localizada entre as latitude 3° S a 5,5° S e longitude 47° a 48,5°O. . | 51 |
| Figura 14: Localização dos sensores de VLF da rede STARNET, dispostos através da América do Sul (Brasil) e Caribe (Guadaloupe)..... | 52 |

| | |
|---|----|
| Figura 15: Ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, divididos por ano (%). | 53 |
| Figura 16: Cobertura ideal máxima com 7 sensores (a) e cobertura teórica com 4 sensores (menos os sensores de Brasília, Manaus e Campo Grande) (b). | 54 |
| Figura 17: Localização aproximada das 8 áreas de estudo dentro da distribuição espacial da densidade de raios, do período de Junho 2008 a Dezembro de 2010 utilizando dados STARNET. | 55 |
| Figura 18: Localização das 80 estações meteorológicas da ANA e INMET, espalhadas dentro e próximas das áreas de estudo na Amazônia Oriental. | 56 |
| Figura 19: Precipitação média sazonal das 80 estações meteorológicas automáticas de superfícies da ANA e INMET, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010. | 57 |
| Figura 20: Visualização do recorte da tabela dentro do ArcView 3.2, mostrando a quantidade de raios detectados pelos sensores da rede STARNET dentro da área Urbana, em Dezembro de 2008. | 58 |
| Figura 21: Etapas para geração dos mapas de isolinhas de precipitação, através dos dados obtidos das 80 estações pluviométricas da ANA e INMET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010. | 61 |
| Figura 22: Exemplo explicativo de um gráfico boxplot, em que se pode observar os quartis e os maiores e menores valores da distribuição de uma determinada variável. | 62 |
| Figura 23: Média mensal das ocorrências de raios detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 68 |
| Figura 24: Sazonalidade média das ocorrências de raios detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 70 |
| Figura 25: Média das ocorrências de raios nos períodos seco (Junho a Novembro) e chuvoso (Dezembro a Maio), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 72 |
| Figura 26: Total das ocorrências de raios e percentagens relativas detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 73 |
| Figura 27: Média anual de raios (raios.ano ⁻¹) (a) e média diária de raios (raios.dia ⁻¹) (b), detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro 2010. | 77 |
| Figura 28: Densidade de raios (km ⁻² .ano ⁻¹), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 78 |

| | |
|--|----|
| Figura 29: Distribuição horária das ocorrências de raios no período chuvoso (Dezembro a Maio), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 79 |
| Figura 30: Distribuição horária das ocorrências de raios no período seco (Junho a Novembro), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 81 |
| Figura 31: Boxplot das distribuições de ocorrências de raios em função dos tipos de superfícies (tratamento), detectados pela rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 82 |
| Figura 32: Variação das médias de ocorrências de raios em função dos tipos de superfícies (tratamento), detectados pela rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 83 |
| Figura 33: Boxplot das distribuições de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET em função da sazonalidade, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 85 |
| Figura 34: Variação das médias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET em função da sazonalidade, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 86 |
| Figura 35: Boxplot das distribuições horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período chuvoso (Dezembro a Maio), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 88 |
| Figura 36: Variação das médias horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período chuvoso (Dezembro a Maio), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 89 |
| Figura 37: Boxplot das distribuições horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período seco (Junho a Novembro), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 91 |
| Figura 38: Variação das médias horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período seco (Junho a Novembro), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 92 |
| Figura 39: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação e ocorrências dos raios em JJA, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 94 |
| Figura 40: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação e ocorrências dos raios em SON, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental..... | 95 |
| Figura 41: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação e ocorrências dos raios em DJF, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010..... | 97 |

Figura 42: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação de MAM e ocorrências dos raios, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. 98

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01: Resultado da análise de variância das médias mensais das ocorrências de raios entre os diferentes tipos de superfícies (tratamento), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 84 |
| Tabela 02: Resultado da análise de variância das médias sazonais das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 87 |
| Tabela 03: Resultado estatístico de Tukey em relação as médias sazonais das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 87 |
| Tabela 04: Resultado da análise de variância das médias horárias das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período chuvoso (Dezembro a Maio) de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 90 |
| Tabela 05: Resultado da análise de variância das médias horárias das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período seco (Junho a Novembro) de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental. | 93 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------------|--|
| AB | - Alta da Bolívia |
| ABNT | - Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANA | - Agência Nacional de Águas |
| ANOVA | - Análise de Variância |
| AR | - Relâmpago no Ar |
| BRDR | - Rede de Detecção de Raios do Brasil |
| CB's | - Cumulonimbos |
| CCMs | - Complexo Convectivo de Mesoescala |
| CEMIG | - Companhia Energética de Minas Gerais |
| COV | - Compostos Orgânicos Voláteis |
| CPRM | - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| DEA | - Descargas Elétricas Atmosféricas |
| DJF | - Dezembro-Janeiro-Fevereiro |
| ELAT | - Grupo de Pesquisa Eletricidade na Atmosfera |
| ELETRONORTE | - Centrais Elétricas do Norte do Brasil |
| EN | - Relâmpago Entre-Nuvem |
| FURNAS | - Furnas Centrais Elétricas S.A |
| GPS | - Sistema de Posicionamento Global |
| IAG | - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas |
| IBGE | - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IN | - Relâmpago Intra-Nuvem |
| INMET | - Instituto Nacional de Meteorologia |
| IMPACT | - Improved Accuracy Using Combined Technology |
| INPE | - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| JJA | - Junho, Julho e Agosto |
| LBA | - Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazon |
| LPATS | - Lightning Positioning and Tracking System |
| LIC | - Linha de Instabilidade Costeira |
| LIs | - Linhas de Instabilidades |
| LIP | - Linhas de Instabilidade que se Propaga |
| LIS | - Lightnig Imaging Sensor |

| | |
|---------|--|
| MAM | - Março, Abril e Maio |
| MDF | - Magnetic Direction Finder |
| NASA | - Agência Espacial Norte Americana |
| NCN | - Núcleos de Condenação de Nuvens |
| NI | - Relâmpago Nuvem-Ionosfera |
| NS | - Relâmpago Nuvem-Solo |
| NW | - Noroeste |
| OTD | - Optical Transient Detector |
| RDR | - Rede de Detecção de Raios |
| REMAM | - Rede de Monitoramento e Pesquisa de Eventos Extremos da Amazônia |
| RINDAT | - Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas |
| SCM | - Sistema Convectivo de Mesoescala |
| SE | - Sudeste |
| SIDDEM | - Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas e Eventos Críticos |
| SIG | - Sistema de Informação Geográfica |
| SIMEPAR | - Sistema Meteorológico do Paraná |
| SIPAM | - Sistema de Proteção da Amazônia |
| SBIR | - Small Business Innovation Research |
| SN | - Relâmpago solo-nuvem |
| SON | - Setembro-Outubro-Novembro |
| STARNET | - Sferics Tracking and Ranging Network |
| TOA | - Time of Arrival |
| TRMM | - Tropical Rainfall Measuring Mission |
| UFPA | - Universidade Federal do Pará |
| USP | - Universidade de São Paulo |
| VLF | - Very Low Frequency |
| WWLLN | - World Wide Lightning Network Location |
| ZCAS | - Zona de Convergência do Atlântico Sul |
| ZCIT | - Zona de Convergência Intertropical |

Sumário

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRAFICA | 23 |
| 2.1 | NUVENS DE TEMPESTADES | 23 |
| 2.2 | ELETRIFICAÇÃO DE NUVENS | 25 |
| 2.3 | DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS (DEAs) | 25 |
| 2.3.1 | Tipos de Raios | 26 |
| 2.4 | ÍNDICE CERÁUNICO E DENSIDADE DE RAIOS..... | 29 |
| 2.5 | SISTEMAS DE DETECÇÕES DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS . | 32 |
| 2.6 | CARACTERÍSTICAS CLIMATICAS DA REGIÃO AMAZÔNICA..... | 34 |
| 2.7 | IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS CAUSADOS PELAS DEAs..... | 39 |
| 2.8 | ESTUDOS DE DEAs NA AMAZÔNIA | 41 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 44 |
| 3.1 | ÁREAS DE ESTUDO | 44 |
| 3.1.1 | Distribuição e Classificação Espacial dos Tipos de Superfície | 45 |
| 3.1.2 | Caracterização das Áreas de Estudo | 46 |
| 3.2 | DADOS | 50 |
| 3.2.1 | Dados de Raios | 50 |
| 3.2.2 | Desempenho e Detecção da Rede de Detecção de Raios STARNET | 53 |
| 3.2.3 | Dados de Precipitação Pluviométrica | 56 |
| 3.2.4 | Tratamento dos Dados de Raios | 58 |
| 3.2.5 | Tratamento dos Dados de Precipitação Pluviométrica | 60 |
| 3.3 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 62 |
| 3.3.1 | Análise de Variância (ANOVA) | 63 |
| 3.3.2 | Teste de TUKEY | 65 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 68 |
| 4.1 | DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS..... | 68 |
| 4.2 | SAZONALIDADE MÉDIA DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS | 69 |
| 4.3 | MÉDIA DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO . | 71 |
| 4.4 | NÚMERO TOTAL DE RAIOS DETECTADOS | 73 |
| 4.5 | DISTRIBUIÇÃO MÉDIA ANUAL E DIÁRIA DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS... | 76 |
| 4.6 | DENSIDADES DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS | 77 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 4.7 | DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA DOS RAIOS NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO .. | 79 |
| 4.8 | RESULTADOS ESTATÍSTICOS | 81 |
| 4.8.1 | Análise da Relação das Ocorrências de Raios com os Tipos de Superfícies. | 81 |
| 4.8.2 | Análise da Relação das Ocorrências de Raios com a Sazonalidade..... | 84 |
| 4.8.3 | Análise Horária das Ocorrências de Raios no Período Chuvoso | 87 |
| 4.8.4 | Análise Horária das Ocorrências de Raios no Período Seco | 90 |
| 4.9 | DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RAIOS E PRECIPITAÇÃO MÉDIA SOBRE OS DIFERENTES TIPOS DE SUPERFÍCIES DURANTE O TRIMESTRES JJA, SON, DJF E MAM | 93 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 102 |
| | REFERÊNCIAS | 104 |
| | ANEXO A..... | 116 |
| | ANEXO B..... | 119 |
| | ANEXO C..... | 120 |
| | ANEXO D..... | 123 |

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos científicos dos raios datam do século XVIII e foram realizados através dos experimentos do francês Thomas François Dalibard e do norte americano Benjamin Franklin, os quais mostraram que um raio era consequência de uma descarga elétrica e que a maioria se origina a partir de nuvens de tempestade. Na década de 1950 alguns estudos trataram da origem da eletrificação e polarização das nuvens comprovando que a acumulação de cargas elétricas na Ionosfera é em decorrência dos ventos solares e tendo como consequência uma função imprescindível para eletrificação no topo das nuvens (SCHONLAND, 1950; CHALMERS 1957)

O estudo de raios no Brasil é relativamente novo, sendo datado no final da década de 70 por meio de medidas de campo elétrico obtidas com auxílio de balões estratosféricos (GIN, 1992; PINTO JR et al., 1992a; PINTO JR. et al., 1992b) e também por meio da detecção de descargas de relâmpagos no solo com ajuda de contadores de descargas e de um sistema para detectar os relâmpagos (ARAÚJO et al., 1990).

O Brasil é um dos países que apresentam uma das maiores incidências de Descargas Elétricas Atmosféricas (DEAs) do planeta, isto pode ser explicado pela sua extensão territorial, proximidade do equador geográfico e predomínio de características climáticas tropicais (SALAGYN; CURTIS; SMITH, 1961).

A Amazônia por sua vez também se destaca como uma das áreas do planeta que apresentam uma das maiores ocorrências desse evento, como indicaram os primeiros estudos feitos na região com base em observações de trovoadas realizados em estações meteorológicas convencionais (SERRA, 1977; NECHET, 1990). Estes altos índices de raios observados na região já eram esperados, devido à grande frequência de formações de nuvens do tipo Cumulonimbos (CBs) sobre a Amazônia, o que implica valores elevados na pluviometria das sub-regiões leste e extremo oeste da região (SOUZA, 2003). Na região amazônica verifica-se ainda a presença de características climáticas e meteorológicas variadas em suas diferentes sub-regiões, assim como suas características superficiais diferenciáveis, como solo e área vegetada e com diferentes impactos decorrentes de atividades humanas.

A ocorrência de DEAs está sujeita a influência de características ou variáveis que são capazes de interferir diretamente em sua distribuição espacial e em seus tipos. Dentre as particularidades ou variáveis que podem afetar nesses fenômenos atmosféricos, estão aquelas

de ordem geográficas e meteorológicas. Dentro da primeira, a mais enfatizada no decorrer dos últimos anos, está o relevo, apresentado em muitos casos como fundamental para a espacialização desses eventos, observadas em climatologias regionais das DEAs em diferentes áreas pelo mundo todo (ORVILLE; HUFFINES, 1999; BOURSHEIDT, 2008).

Além do relevo, pode se destacar também os diferentes tipos de solos como influência para ocorrências das DEAs. Entretanto diferentes estudos apontam conclusões contrárias sobre seus efeitos nas distribuições espaciais desse evento, posto que alguns estudos mostram uma correlação com a distribuição de descargas, enquanto que outros apontam para nenhuma correlação (KAMRA; RAVICHANDRAN, 1993; CHAUZY; SOULA, 1999; PINTO JR et al., 1999; GOMES, 2002; BOURSHEIDT, 2008).

Outra variável importantíssima para as DEAs, ainda dentro do contexto geográfico, é o uso do solo e crescimento urbano. Esta última está relacionada principalmente com as variações de temperatura sofridas pela superfície e que interferem na distribuição dos fluxos de calor sensível e latente próximo à superfície. Importante destacar que esses fluxos de calor são de extrema relevância para formação de tempestades e, conseqüentemente, nas ocorrências de DEAs (SELLERS et al., 1986). A partir disso, pode-se inferir que os efeitos das variações nos fluxos de calor, nos grandes ou pequenos centros urbanos, influenciam nas ocorrências e distribuição espacial das DEAs (SORIANO; DE PABLO, 2002; NACCARATO et al., 2003; BOURSHEIDT, 2008).

Também é importante atentar para a relação existente entre as características geográficas e meteorológicas, pois na maioria dos casos elas atuam conjuntamente, como o observado nas tempestades sob efeito orográfico, em que a precipitação é resultante de uma subida forçada do ar, quando, em seu trajeto, surge a presença de barreiras devido ao relevo (topografia); nas variações de umidade apresentadas a partir do tipo e uso do solo, com destaque nesse sentido para o processo de urbanização na formação de ilhas de calor e tendo como consequência a formação de nuvens de tempestades e DEAs (BOURSHEIDT, 2008).

Segundo Reap (1986), a altitude do relevo é um fator de ordem geográfica que também tem influência na determinação da quantidade e intensidade das ocorrências de raios, conjuntamente com as condições meteorológicas e do clima, dado que ele estudou aproximadamente 2 milhões de DEAs nuvem – solo negativas, analisando o comportamento das mesmas em função da altitude do relevo em uma região do Oeste dos Estados Unidos, compreendido entre os verões de 1983-1984. Foi constatando que à medida que aumenta a

altitude cresce a densidade diária desse fenômeno atmosférico, passando a acontecer mais cedo a ocorrência máxima de eventos em função da hora local.

No Brasil, Pinto Jr et al. (1999) estudaram, em um período de 1 ano, a relação de dependência das DEAs e altitude, encontrando uma tendência de maiores densidades deste fenômeno estarem localizadas em regiões de maiores altitudes.

Outras relações também tem sido alvo de pesquisas, por exemplo, Dissing e Verbyla (2003) estudaram a relação entre a distribuição de raios e a vegetação, constatando que a circulação de mesoescala, desencadeada pelo aquecimento diferencial entre dois tipos de vegetação contrastantes, foi capaz de produzir DEAs. Pode ser observada ainda uma relação de reciprocidade entre o clima e a vegetação, já que uma interfere de maneira significativa na outra. Por exemplo, a vegetação contribui de maneira direta para as características climáticas da região, principalmente em relação à umidade do ar e a precipitação (RIBEIRO et al., 2011). Além disso, é observado que a quantidade de eventos de raios é sempre maior na parte continental e nas latitudes tropicais, enquanto que em áreas oceânicas e nas latitudes médias e altas essas ocorrências são menores.

Devido à necessidade de monitoração, compreensão e previsão do clima, assim como também a crescente preocupação gerada em decorrência dos impactos ambientais, causado por atividades relacionadas ao homem, em escala local e global, ampliou-se a importância das observações ambientais. Sendo assim, pesquisas recentes indicam uma interação entre as emissões da floresta, a formação das nuvens e a chuva na Amazônia, como foi comprovado através das pesquisas provenientes do “Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazon” (LBA), que as árvores liberam Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Esses COV, na atmosfera acima da floresta, originam minúsculos cristais ou aerossóis. Quando da inexistência de outros aerossóis no período chuvoso, passam a servir como Núcleos de Condensação de Nuvens (NCN) e começam a adquirir grande quantidade de vapor d’água ocasionando a formação de nuvens que logo se precipitam na mesma área que tiveram origem, se transformando assim num mecanismo ágil e efetivo para formação de nuvens e precipitação e, conseqüentemente, nas ocorrências de DEAs (TAVARES, 2012).

Por isso, o funcionamento do sistema climático da Amazônia e a complexa relação entre a floresta e o clima amazônico sempre foram aspectos interessantes para estudos científicos. A relevância desses estudos diz respeito aos impactos ambientais e a importância global que a Amazônia possui em que uma das variáveis que é sensível aos impactos

ambientais ocorridos na região é a densidade das ocorrências de raios (BETTS; SILVA DIAS, 2009; DAVIDSON et al., 2012).

Em virtude disso, os estudos de ocorrências de DEAs são de extrema importância e, por isso, as averiguações de suas particularidades inerentes ao ambiente que estão envolvidos se faz necessário, considerando a melhor assimilação dos processos de geração das ocorrências desses eventos.

Tendo em vista estas prerrogativas, a principal motivação para realização deste trabalho diz respeito ao pioneirismo deste tipo de estudo na Amazônia, assim como a existência de áreas com requisitos propícios para o mesmo, ou seja, áreas próximas entre si e com tipos de superfícies distintas, que possuam uma climatologia semelhante, cobertas por um sistema de detecção de DEAs que seja homogêneo para todas as áreas. Em vista disso, o objetivo deste trabalho é o melhor conhecimento das relações existentes entre tipos de superfícies distintas e as ocorrências de raios que incidem na Amazônia Oriental.

Espera-se contribuir assim para o desenvolvimento de ações que visem a mitigação e reduções de impactos sociais e econômicos provenientes das DEAs, assim como na preservação de áreas para que não ocorra um incremento na quantidade desses fenômenos, visto que esses eventos acarretam grandes prejuízos materiais e financeiros, da ordem aproximada de 50 a 70 milhões de reais por ano no Brasil (PINTO JR, 2004); trazer prejuízos significativos para a sociedade, já que podem causar danos para o sistema elétrico por exemplo, e ocasionar a perda de vidas humanas, que de acordo com o grupo de pesquisa de Eletricidade da Atmosfera (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a ocorrência de raios no Brasil ocasionou 1321 vítimas fatais entre 2000 a 2009.

Nesse sentido e no pioneirismo deste trabalho na Amazônia, foram analisadas as influências de tipos de superfícies homogêneas sobre a ocorrência das DEAs, aplicando-se ferramentas de geoprocessamento, verificando suas relações espaço temporais. Dentre os tipos de superfícies analisados estão: área urbana; floresta; superfície alterada por ação antrópica; água; campos inundáveis; planaltos rebaixados e área costeira.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 NUVENS DE TEMPESTADES

Nuvens de tempestades são nuvens eletrificadas do tipo CBs em que se verificam a presença de trovões e relâmpagos. Nessas nuvens acontecem os processos de geração e separação de cargas elétricas, responsáveis por originar os diferentes tipos de raios. As nuvens de tempestades são as responsáveis pelas alterações mais significativas do campo elétrico e pela produção de raios, pois os gradientes térmicos no interior dessas nuvens, os processos de transportes e suas estruturas termodinâmicas são extremamente complexas.

Nuvens de tempestades são produzidas a partir do vapor d'água e tem seu desenvolvimento na troposfera, podendo chegar até a tropopausa. O vapor d'água que existe nas camadas mais abaixo da atmosfera ascende por convecção devido ao aquecimento que as camadas baixas da atmosfera sofrem em decorrência da radiação solar, implicando na maior temperatura das parcelas próximas da superfície terrestre. A partir disso as moléculas de vapor passam para o estado líquido ou sólido em determinados níveis da atmosfera, podendo obter formas de gota de água, gotículas de água super-resfriadas, cristais de neve, granizo leve, pedras de granizo e cristais de gelo. Essas formas são em decorrência da altitude, temperatura e umidade relativa da atmosfera (NACCARATO, 2001; RIBEIRO, 2010).

O tempo aproximado de duração de uma nuvem do tipo CB é de cerca de 1 hora em regiões de latitudes médias, sendo que nas regiões tropicais esse tempo é menor ainda, apresentam extensão vertical e diâmetros na ordem de 10 a 20 km, podendo se deslocar a 40 – 50 km/h (PINTO JR; PINTO, 2000).

Aglomerados de nuvens CBs podem dar origem a eventos meteorológicos conhecidos como Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que em geral produzem chuvas mais severas, ventos mais intensos e eventualmente podem produzir granizo (PINTO JR; PINTO, 2000).

As nuvens de tempestades possuem 3 fases: formação; maturação e dissipação.

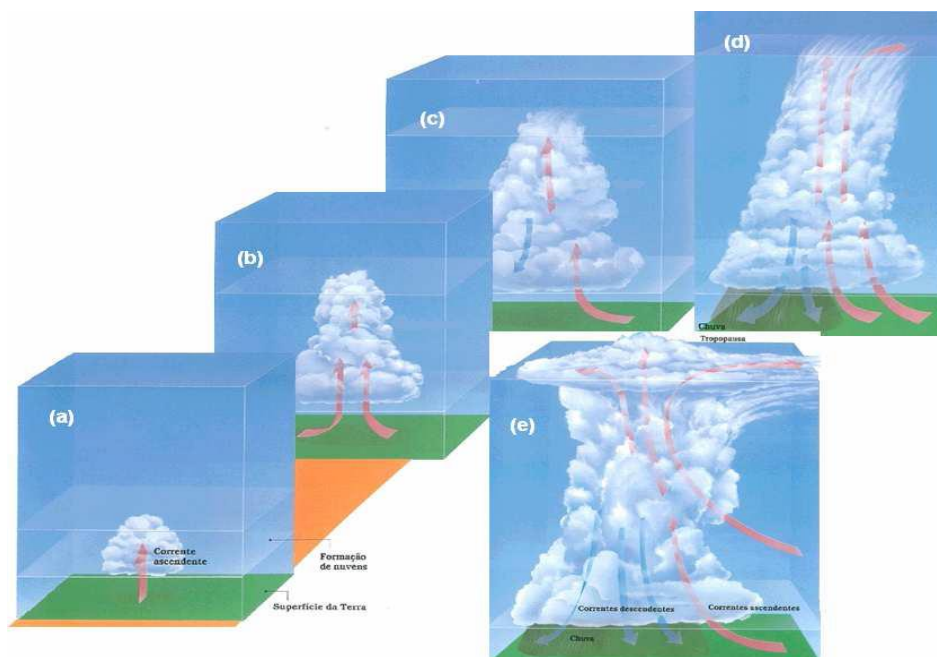
Formação: Também conhecida como estágio de cúmulos, em que os movimentos verticais são predominantes e ascendentes.

Maturação: É a fase em que existem movimentos verticais ascendentes e descendentes, sendo que as partículas de gelo e gotas de água, que começaram na fase anterior a ser arrastadas de acordo com o movimento das correntes de ar, tornam-se cada vez maiores e em maior número. A chuva inicia-se a partir da base da nuvem e os movimentos descendentes, que no início dessa fase eram apenas a partir da base da nuvem, começam a se intensificar e ocorrer tanto na horizontal quanto na vertical. A duração aproximada dessa fase é cerca de 30 minutos, sendo que a nuvem de tempestade pode chegar nessa fase a aproximadamente 18 km de extensão vertical.

Dissipação: Fase em que predomina os movimentos descendentes. Nessa fase a temperatura no interior da nuvem é menor do que a temperatura do exterior da nuvem num mesmo nível, a nuvem irá se dissipar até que as temperaturas do exterior e interior passem a ser iguais e geralmente essa fase tem duração aproximada de alguns minutos (PINTO JR; PINTO, 2000; SILVA, 2009; RIBEIRO, 2009).

A ocorrência de raios se dá no final do estágio maduro das nuvens de tempestades, que apresentam geralmente o formato de bigorna no topo e é onde normalmente aparecem as DEAs. A Figura 01 mostra o ciclo de formação de uma nuvem de tempestade.

Figura 01: Fase inicial de uma nuvem de tempestade em que há o predomínio de movimentos ascendentes (a) e (b). Aumento da profundidade da nuvem (c). Formação da “bigorna” da nuvem, próxima a tropopausa e consequente espalhamento da nuvem (d). O ar frio desce forma um domo de ar frio e com isso ocorrem as frentes de rajadas associadas a este domo e consequente espalhamento atinge a superfície terrestre (e).



Fonte: Silva (2009).

2.2 ELETRIFICAÇÃO DE NUVENS

Como resultado de separação de cargas elétricas na atmosfera decorrentes dos movimentos do ar e das partículas encontradas em suspensão na atmosfera. Os mecanismos que estão envolvidos na eletrificação das nuvens estão baseados nas teorias de eletrificação das nuvens: Teoria de carregamento por precipitação e por convecção. Entretanto a eletrificação das nuvens de tempestades ainda não é totalmente entendida, pois continua como alvo de pesquisas, existindo evidências que indicam que a separação das cargas elétricas em nuvens de tempestade aconteça devido às colisões que acontecem entre cristais de gelo e gotículas dentro das nuvens (MENDES JR; DOMINGUES, 2002; FERNADES, 2005).

2.3 DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS (DEAs)

Descargas elétricas atmosféricas podem ser definidas como fenômenos meteorológicos que acontecem na atmosfera quando ocorre a quebra da rigidez dielétrica, possuem intensa corrente elétrica, que podem se propagar por distâncias quilométricas. Essa rigidez é quebrada em decorrência do grande campo elétrico gerado pelas cargas existentes na nuvem (SILVA, 2009).

Geralmente esses fenômenos atmosféricos são associados a nuvens do tipo CBs, entretanto eles podem acontecer também em vulcões ativos; em tempestades de neve; em decorrência de queimadas; em tempestades de poeira (UMAN, 1987). Importante ressaltar que se emprega frequentemente o termo descargas elétricas atmosféricas como equivalente a relâmpagos e em muitas passagens desse trabalho chamaremos apenas de “raios”. Em geral, existem dois tipos de raios principais: 1- raios que ocorrem na nuvem (atmosfera) e 2- raios que atingem o solo.

2.3.1 Tipos de Raios

Entre os principais tipos de raios que ocorrem na nuvem, ou seja, na atmosfera, podem-se destacar os do tipo Intranuvem (IN); Entre-Nuvens (EN); Raios no Ar (AR). Também se podem citar os raios Nuvem-Ionosfera (NI). Os raios que atingem o solo podem ser divididos em positivos e negativos.

Neste estudo serão analisados os raios de uma maneira geral, ou seja, não será feita distinção entre determinados tipos em virtude da planilha de saída de dados do sistema de detecção de raios utilizado neste trabalho não fazer essa discriminação.

Raios Intranuvem (IN): Raios IN são aqueles que têm origem e ocorrem dentro de uma nuvem de tempestade (CBs).

Raios Entre-Nuvens (EN): Raios EN são aqueles que têm origem dentro de uma determinada nuvem de tempestade e se propagam em direção à outra nuvem de tempestade.

Raios no Ar (AR): Os Raios no Ar são aquele que se originam dentro de uma nuvem de tempestade numa direção para fora da nuvem, mas não alcançam outra nuvem e nem o solo, ou seja, eles terminam na própria atmosfera.

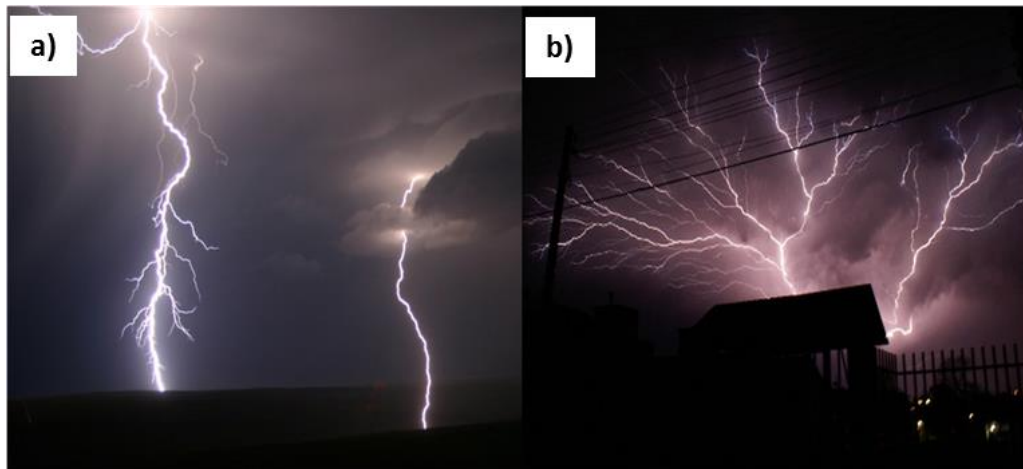
Raios Nuvem-Ionosfera (NI): Raios NI são aqueles que se originam dentro de uma nuvem de tempestade e se propagam em direção a ionosfera. Esses tipos de raios são denominados de “Elves” (bolhas de plasma); “sprites” (colunas vermelhas); “blue jets” (jatos azuis) e finalmente as “slow currents” (correntes vagarosas).

Raios de Bola: Raios de Bola são uma raridade, geralmente não são incluídas nas categorias descritas acima. São raios que possuem formas esféricas e que se formam geralmente devido o rompimento do canal de algum raio, ou seja, o canal pelo qual passa o raio se divide em várias partes, sendo que cada um desses segmentos resultam uma bola de plasma, que por sua vez fica estável por poucos minutos podendo flutuar e também se deslocar na troposfera terrestre.

Raios Nuvem-Solo (NS): Raios NS são aqueles que se originam em uma nuvem de tempestade e se propagam em direção até atingirem a superfície da Terra. Esses tipos de raios também podem ser classificados quanto às cargas que transportam para o solo como sendo negativos ou positivos. Positivos quando carregam cargas positivas da nuvem para o solo ou negativos quando as cargas da nuvem que são transportadas para o solo são negativas (Figura 02a).

Raios Solo-Nuvem (SN): Os raios SN são aqueles que se originam a partir da superfície terrestre; estruturas altas e pontiagudas; árvores; edificações e se deslocam em direção às nuvens. Esses tipos de raios também podem ser classificados quanto às cargas que transportam para as nuvens como sendo negativos ou positivos. Positivos quando carregam cargas positivas do solo para as nuvens ou negativos quando as cargas do solo que são transportadas para as nuvens são negativas (Figura 02b).

Figura 02: Raios Nuvem-Solo (a) e Raios Solo-Nuvem (b).

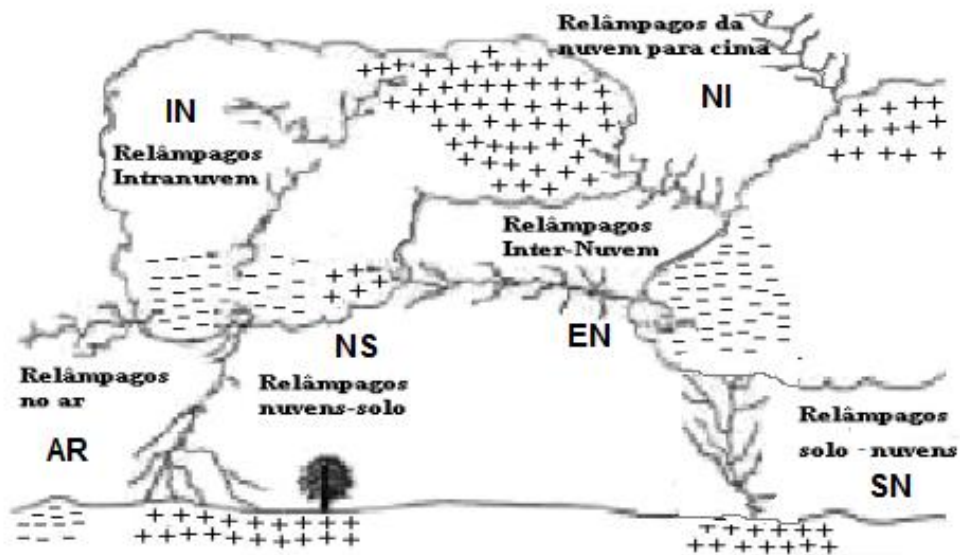


Fonte: Google imagens.

Dos tipos de raios existentes os mais frequentes são os IN, pois a capacidade isolante diminui com a altura em função da densidade do ar diminuir, facilitando assim que uma partícula possa se acelerar até o ponto de início de uma descarga e também pode ser explicado devido às cargas opostas estarem mais próximas entre si dentro da nuvem. Os raios IN são aproximadamente 80% de todos os raios. Já em relação aos outros tipos de raios os mais comuns passam a ser os NS, pois os outros tipos de raios tem ocorrências mais raras em

comparação aos raios NS (PINTO JR; PINTO, 2000). A esquematização dos diversos tipos de raios em uma nuvem de tempestade é apresentada na Figura 03.

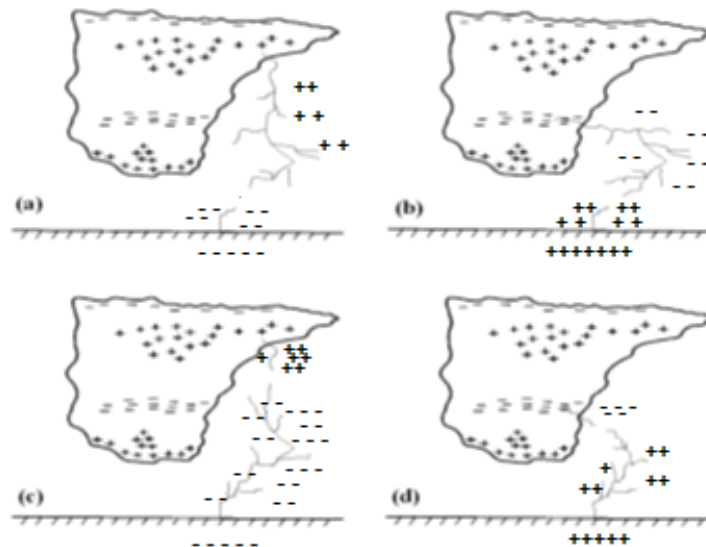
Figura 03: Esquematização da estrutura de nuvens de tempestades e os diversos tipos de raios: IN, EN, AR, NS, SN e NI.



Fonte: Adaptado de Boursheidt (2008).

Apesar dos raios que envolvem o solo (Figura 04) não serem as maiores ocorrências, eles são os mais estudados e, por isso, melhor entendidos, pois se têm uma maior facilidade na obtenção das medidas, assim como são os que têm as maiores ações destrutivas na superfície terrestre (NACCARATO, 2001).

Figura 04: Esquematização dos tipos de raios que têm relação com o solo: (a) NS positivo; (b) NS negativo; (c) SN negativo; (d) SN positivo.



Fonte: Adaptado de Naccarato (2001).

2.4 ÍNDICE CERÁUNICO E DENSIDADE DE RAIOS

O índice ceráunico é definido como um parâmetro indicador do número de dias de trovoadas por ano, observados em um determinado local (KINDERMANN, 1992). Essas observações são feitas por operadores de estações meteorológicas de superfície em dias de tempestade, que são definidos como aqueles dias em que um observador, num dado local, registra a ocorrência de trovão (o som produzido pelo rápido aquecimento e expansão do ar na região da atmosfera onde a corrente elétrica do raio circula).

Diversos países já proporcionaram estudos para demarcação de áreas em que a probabilidade de incidência de raios é maior, sendo essas informações essenciais para o planejamento de sistemas de proteção contra as descargas atmosféricas. Em vista disso é que se dá a importância de se saber o índice ceráunico e também da densidade de raios em uma determinada região (POMPEU, 2012).

Em Junho de 1993 foi apresentada, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a NBR 5419 contendo o mapa de dias de trovoadas observados no Brasil, como mostra a Figura 05. As áreas de estudo desse trabalho estão situadas entre as faixas de índice ceráunico de 140 a 40.

Figura 05: Mapa isoceráunico do Brasil, com o número de dias de trovoadas observadas.

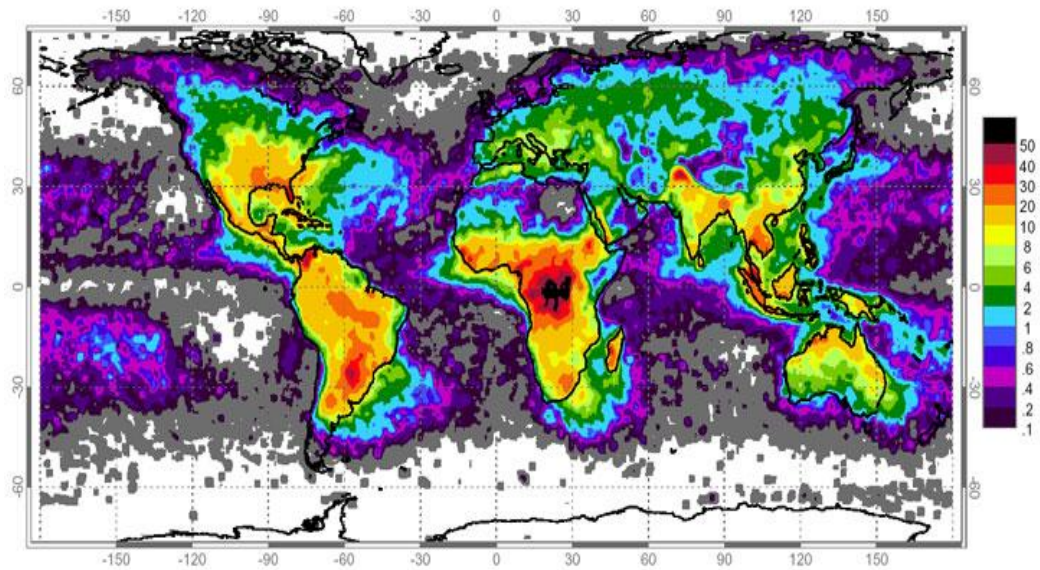


Fonte: ABNT, NBR 5419.

A densidade de raios pode ser definida como a quantidade de raios que ocorrem sobre uma determinada região em 1 km^2 durante um ano. Uma das fontes de informações sobre a ocorrência de raios no Brasil é proveniente da detecção de raios através de satélites. Esta última a partir dos sensores óticos desenvolvidos na Agência Espacial Americana (NASA), e denominados de “Optical Transient Detector” (OTD), em operação entre 1995 até 2001; e “Light Imaging Sensor” (LIS), operando desde 2007 (PINTO JUNIOR; PINTO, 2008).

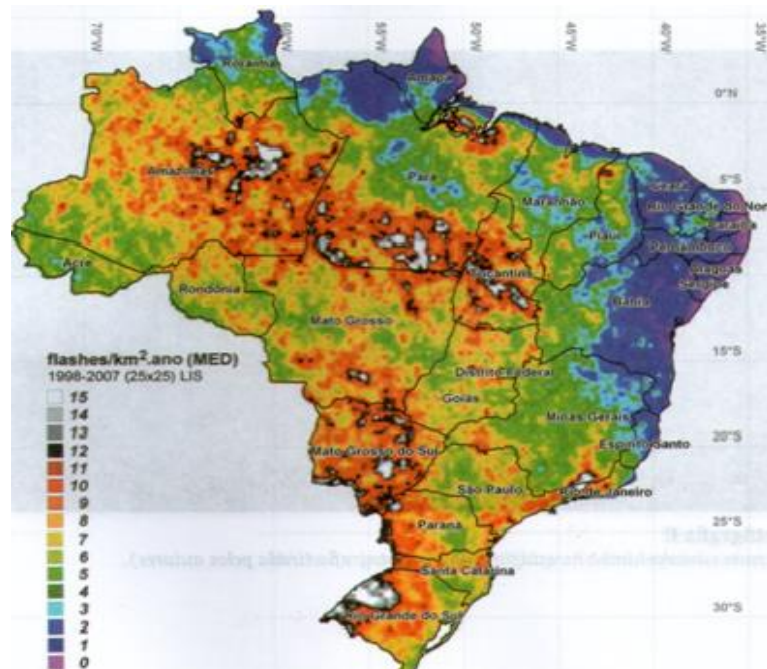
A distribuição espacial das ocorrências médias de raios no globo, entre os anos de 1995 e 2000, feita através dos sensores OTD e LIS a bordo de satélites, pode ser observado na Figura 06, em que se constata a frequência de raios nas regiões oceânicas é bem menor quando comparados com as ocorridas na parte continental, enquanto que na Figura 07 é mostrada a densidade de raios verificada através desses sensores entre 1998 e 2007 para o Brasil. Observa-se que para região urbana de Belém temos uma densidade média entre 10 e 15 raios. $\text{km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$.

Figura 06: Ocorrências médias de raios.km⁻².ano⁻¹, no globo terrestre, no período de 1995 a 2000 com base em dados obtidos dos sensores OTD e LIS a bordo do satélite “Tropical Rainfall Mesuring Mission” (TRMM) da NASA.



Fonte: Marshal Space Flight Center/NASA.

Figura 07: Média das ocorrências de raios.km⁻².ano⁻¹ ocorridas no Brasil, no período de 1998 a 2007 com base em dados obtidos dos sensores OTD e LIS a bordo do satélite TRMM da NASA.



Fonte: ELAT/INPE.

2.5 SISTEMAS DE DETECÇÕES DE DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS

Sistemas de detecção de descargas elétricas atmosféricas são originários dos Estados Unidos e datam da metade da década de 1980, posteriormente adotados por outros países. Nesses sistemas são utilizadas as medidas de radiação eletromagnética difundidas pelos raios em baixas e altas frequências (VLF/LF entre 10 e 300 kHz, VHF entre 30 e 300 MHz). Em vista disso, através da utilização de sensores, é presumível a determinação espaço temporal das ocorrências de raios (NACCARATO, 2006).

De acordo com Boursheidt (2008), estes sistemas conseguem trabalhar com dois tipos de métodos de detecção. O primeiro condizente com a medida da componente magnética da radiação difundidas pelos raios e denominada de “Magnetic Direction Finder” (MDF), também conhecida como método da direção magnética. Já o segundo seria através do tempo que o pulso eletromagnético leva até sua chegada ao sensor, denominado de “Time of Arrival” (TOA) ou simplesmente método do tempo de chegada.

Na utilização do método MDF a posição geográfica dos raios é definida a partir da triangulação dos sinais recebidos pelos variados sensores da rede, ou seja, é utilizado o cruzamento das componentes de direção observadas por cada sensor para se ter a localização espacial do raio, enquanto que no método TOA a triangulação é obtida através da utilização de círculos, onde o raio de cada círculo é definido através do tempo necessário para o sinal chegar aos sensores e a partir dos cruzamentos destes círculos é possível a localização espacial dos raios. A combinação desses dois métodos é utilizada através de sensores denominados “Improved Accuracy Using Combined Technology” (IMPACT), no caso das redes do fabricante VAISALA.

O Brasil possui cinco redes de detecção e que se diferem de acordo com sua resolução e cobertura espacial:

Rede Integrada Nacional de Descargas Atmosféricas (RINDAT): A RINDAT é uma rede que detecta em tempo real os raios do tipo NS e IN (raios IN não são detectados com boa eficiência). Para isso ela possui sensores e centrais que possibilitam fazer esse monitoramento em parte do Brasil. Sua criação provem de um convênio de cooperação técnico-científico entre 4 instituições: INPE, Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) e a Furnas Centrais Elétricas (FURNAS). Ela utiliza

sistemas de tecnologias denominadas de Sistemas de Localização e Rastreamento de Raios “Lightning Positioning and Tracking System” (LPATS) e também sistemas do tipo MDF. Esse sistema é operado através da utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e proporciona informações de temporização de raios com resoluções de até 300 nano segundos.

Rede de Detecção de Raios do Brasil (BRDR): A rede de detecção de raios BRDR é operada pela NASA, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e INPE. A BRDR funciona em baixa frequência e cobre o Estado de Rondônia no Norte do Brasil.

Rede de Detecção de Raios do Sistema de Proteção da Amazônia (RDR-SIPAM): A rede RDR do SIPAM é formada por sensores do tipo LPATS-IV, 12 no total e utiliza o método TOA. Esses sensores cobrem efetivamente uma área de aproximadamente 600.000 km² e registram a duração dos eventos de raios em nano segundos, assim como também a intensidade do campo elétrico recebido. De posse dos dados de no mínimo 3 sensores a central do sistema processa e estima as coordenadas, polaridade, intensidade da corrente de pico em kA e qual será o tipo de raio que está ocorrendo, podendo ser IN ou NS. Essas informações ficam gravadas em um banco de dados para acesso, imediato ou posterior, pelos usuários, sendo que atualmente a rede RDR-SIPAM está fora do ar para uma reestruturação e aquisição de novos sensores.

Rede de detecção Sferics Tracking and Ranging Network (STARNET): A rede de detecção de raios STARNET é uma rede de longo alcance que se baseia nos Sferics, que são os ruídos impulsivos lançados pelos raios em uma grande faixa do espectro eletromagnético e com frequência de “Very Low Frequency” (VLF), entre 7 e 15 kHz. Nessa frequência da faixa de VLF as ondas de rádio dos sferics podem se propagar a distâncias quilométricas através do guia de onda que é criado entre a superfície terrestre e a ionosfera. Essa rede vem operando desde 2001 e o seu banco de dados foi utilizado para o presente estudo.

Além dessas redes mencionadas acima existem ainda as redes do Sistema de Detecção de Descargas Atmosféricas e Eventos Meteorológicos Críticos (SIDDEM), que cobre o Sul do Brasil e Mato Grosso do Sul, e a rede “World Wide Lightning Location Network” (WWLLN) que cobre todo o Brasil e funciona em parceria entre o INPE e a Universidade de Washington. Essa rede atua em baixa frequência com baixa precisão e eficiência.

2.6 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO AMAZÔNICA

A Bacia Amazônica apresenta aproximadamente uma área de 6,3 milhões de km², com cerca de 5 milhões de km² localizados em território brasileiro e as partes remanescentes divididas entre os países da Colômbia, Equador, Bolívia e Peru. Seus limites apresentados são: a Oeste pela Cordilheira dos Andes, a Norte pelo Planalto das Guianas, ao Sul pelo Planalto Central do Brasil e à Leste pelo Oceano Atlântico (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

A convecção na região Amazônica é um significativo mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical, possuindo uma função importante na determinação do tempo e clima desta região. Segundo Figueroa e Nobre (1990) a liberação de calor latente durante a época chuvosa é tipicamente de 2,5 kJ.dia⁻¹, o equivalente a uma precipitação de 10 mm.dia⁻¹.

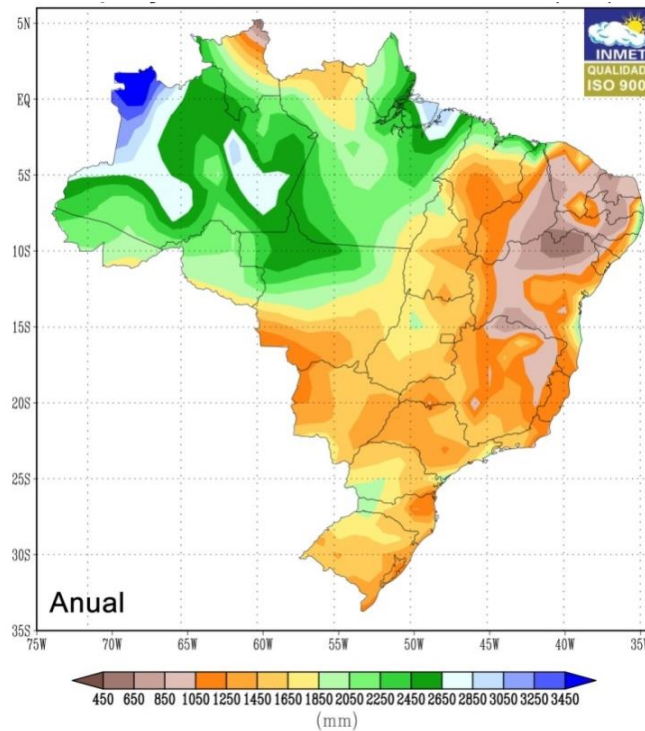
A precipitação anual na Amazônia detém um ciclo bem definido, com dois períodos distintos: um chuvoso, quando ocorrem os totais máximos durante o Verão e o Outono austral; e outro menos chuvoso, quando ocorre o mínimo durante o Inverno austral (MARENGO et al., 2001).

A região Norte do Brasil, localizada dentro da Amazônia, mostra uma intensa heterogeneidade espacial e pluviométrica (Figura 08), em que é observado na região ocidental os maiores valores de precipitação (maior que 2450 mm.ano⁻¹) (MARENGO, 2003). De acordo com Carvalho (2004), esse máximo de precipitação é decorrente, sobretudo, da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e tendo ocorrência, geralmente, no período do Verão austral. Uma segunda área que apresenta máximos de precipitação está localizada na parte oriental, entre a costa atlântica dos Estados do Amapá, Pará e Maranhão, tendo precipitação entre 2000 a 2900 mm.ano⁻¹ (SOUZA; PÓVOA; FRAIHA NETO, 2004).

Ainda, de acordo com a Figura 08, observa-se a relativa homogeneidade climática da área a ser estudada em torno da foz do Rio Amazonas.

Em uma classificação resumida apresentada por Molion (1993), os mais importantes sistemas de tempo que atingem a Amazônia e influenciam na chuva da região são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); ZCAS; Linhas de Instabilidades (LIs); a penetração de Frentes Frias (associadas ao fenômeno da friagem); os Jatos de Baixos Níveis, ocorrendo paralelos aos Andes; Ondas de Leste; Alta da Bolívia (AB) e cavados de altos níveis que se direcionam de Leste para Oeste.

Figura 08: Climatologia de precipitação (mm) anual acumulada do Brasil, durante o período de 1961-1990.



Fonte: INMET.

A região englobada pelo Norte e costa do Estado do Pará (local onde se encontram as áreas de estudo desse trabalho) é verificada que os maiores valores de precipitação são observados no primeiro semestre do ano, com precipitações superiores a $2000 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, apresentando como sistema de tempo mais importante a ZCIT, sendo ela a principal causadora dos máximos de precipitação verificados nessa região, devido ao seu deslocamento para o Hemisfério Sul. Outro processo que favorece a formação de nuvens de tempestades e precipitação nessa região se refere ao processo de aquecimento radiativo da superfície, visto que a atividade convectiva contribui para o desenvolvimento de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), proporcionando intensa precipitação (REBOITA et al., 2010).

Na porção Nordeste da Amazônia, o período chuvoso é compreendido entre Dezembro a Abril, dado que, principalmente, é nesse período que a posição climatológica da ZCIT está posicionada ao Sul da linha do Equador (FIGUEROA; NOBRE, 1990). A ZCIT é a forçante de grande escala que exerce influência na intensificação da convecção, na estação das chuvas, ocasionando grande quantidade de precipitação (TAVARES, 2009).

De acordo com o ELAT, CCMs são os maiores membros dos SCM, têm, quase sempre, formatos circulares e apresentando diâmetros típicos de 300 a 400 km, incluindo em seu interior centenas de tempestades interligadas. Apresentam escala temporal média de 10 a 12 horas, e sua ocorrência é principalmente durante o período da noite. Por se deslocarem, na maioria das vezes, com pouca velocidade (entre 20 a 40 km/h) podem perturbar uma mesma localidade por um grande espaço de tempo.

Os SCM são geralmente caracterizados por fenômenos de tempo severo, como granizo, rajadas de ventos, tornados, inundações e raios. SCMs tropicais geralmente dizem respeito a agrupamentos de nuvens e responsáveis por grande quantidade de precipitação (TAVARES, 2009). De acordo com Maddox (1980), SCMs podem ser classificados segundo suas características físicas, organização e localização de ocorrências em: LIs; CCMs; ciclones tropicais; entre outros.

Em virtude das áreas de estudo desse trabalho estarem localizadas em uma extensa região litorânea, têm-se a ação das brisas marítimas carreando umidade continente adentro e contribuindo com a formação de nuvens e, conseqüentemente, a precipitação da região. A convecção proporcionada pela ação das brisas marítimas conjuntamente com a interação dos alísios com a circulação das brisas propiciam a criação de LIs tropical que penetram o interior do continente, podendo se regenerar no período de propagação para oeste, inclusive, em alguns casos, alcançando os Andes (KOUSKY, 1980; CAVALCANTI, 1982; SILVA DIAS, 1987; REBOITA et al., 2010).

Em vista disso, os principais sistemas meteorológicos atuantes na Amazônia e principalmente na região em que as áreas de estudo desse trabalho estão situadas são:

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT é definida como uma banda de nebulosidade de baixa pressão, localizada na região do cavado equatorial. Essa faixa de nebulosidade circunda o globo terrestre e origina-se no ramo ascendente da célula de Hadley, promovendo a transferência de calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para as regiões de latitudes médias e altas.

A posição da ZCIT flutua sazonalmente no decorrer do ano de um lado para outro da linha do Equador acompanhando o ciclo anual do aquecimento da superfície da terra. Entre junho e dezembro a ZCIT tem seu deslocamento ao Norte do Equador, enquanto de janeiro a maio o seu deslocamento é ao Sul do Equador. A ZCIT é caracterizada por ser um fenômeno atmosférico de grande escala e que interfere no clima planetário; com isso ela caracteriza o clima de diferentes localidades do planeta, possuindo grande importância nos índices de precipitação da região tropical (XAVIER et al., 2000; FERREIRA et al., 2005).

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A ZCAS pode ser definida como uma banda persistente de nebulosidade com orientação no sentido Noroeste-Sudeste (NW-SE), sendo um fenômeno meteorológico tipicamente de verão e tendo sua ocorrência na América do Sul. A área de atuação da ZCAS engloba o Centro-Sul da Amazônia até a região do Atlântico Sul. Essa banda de nebulosidade tem duração que pode variar entre 3 e 10 dias.

A ZCAS tem uma importância fundamental no regime de precipitação nas regiões em que esteja atuante, implicando altos índices na pluviometria (FERREIRA; SANCHES; SILVA DIAS, 2004). Elas são de extrema importância para precipitação do Centro e Oeste da Amazônia. Para a região que se localiza as áreas de estudo desse trabalho, as ZCAS tem contribuição em períodos curtos, mas quando atua em conjunto com a ZCIT as tempestades tornam-se muito intensas na região.

Linhas de Instabilidade (LIs)

As LIs podem ser definidas como estreitas bandas de nebulosidades convectivas organizadas, podendo apresentar diferentes características, como a velocidade de propagação e o tempo de duração. Estas bandas de nebulosidades podem se formar na costa Norte da América do Sul, podendo se estender desde a Guiana até o Estado do Maranhão no Nordeste brasileiro (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995).

Cohen, Silva Dias e Nobre (1989) classificaram as LIs que ocorrem no Norte e Nordeste brasileiros em 2 categorias: Linhas de Instabilidades que se Propagam (LIP) e em Linhas de Instabilidade Costeiras (LIC), sendo que as LIPs foram subdivididas em Linhas de Instabilidade que se propagam do tipo 1 (LIP1), como sendo aquela com deslocamento horizontal entre 170 km e 400 km e as Linhas de Instabilidade que se propagam do tipo 2 (LIP2), como sendo aquela com deslocamento horizontal acima de 400 km.

As LIs atuantes na Amazônia são responsáveis pela formação de chuvas próximo à costa litorânea dos estados do Pará e Amapá, bem como de precipitação na Amazônia Central, durante o período seco, bem como colaboram com 45% da precipitação no decorrer do período chuvoso no leste do Pará. (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1989).

Brisa Fluvial

O ciclo diurno de aquecimento da superfície terrestre, devido à diferença na capacidade calorífica entre o solo (parte continental) e a superfície líquida, pode gerar uma diferença de temperatura entre o solo e a superfície líquida, sendo assim, a brisa fluvial é considerada um mecanismo físico em que o ar, em virtude ao contraste térmico entre água-terra, desloca-se em direção do continente durante o dia e invertendo sua direção no período noturno. Isto posto, resulta em uma correspondente diferença entre a temperatura do ar, que na ausência de um forte fluxo gradiente pode gerar uma circulação atmosférica localizada (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998; MOURA et al., 2004).

A existência desse fenômeno na Amazônia foi comprovada, em baixos níveis (até 1500 - 2000 m) em locais próximos à confluência dos rios Solimões e Rio Negro perto de Manaus, por Oliveira e Fitzjarrald (1993), que constataram durante o período noturno e início da manhã o sentido rio-floresta, entretanto esse sentido passava a ser inverso (floresta-rio) durante a tarde e início da noite, sendo este processo mais intensificado em áreas com maiores larguras dos rios.

Além desses sistemas, descritos anteriormente, em altos níveis (200 hPa) essa região mostra o desenvolvimento de um anti-ciclone atuante no verão austral, conjunto com a intensa convecção da Amazônia. Por estar situado na região do Altiplano Boliviano ele é denominado de Alta da Bolívia. No período do inverno austral a AB perde intensidade até seu completo

desaparecimento. Ela apresenta variação inter-anual e inter-sazonal, associada com a convecção da Amazônia. A AB é mantida pela convergência (baixos níveis) de umidade decorrentes de Nordeste e Leste, sendo que essa convergência proporciona uma forte convecção, condensação e liberação de calor latente na média e alta troposfera (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

Todos esses sistemas são importantes na área de estudo desse trabalho, pois eles influenciam na climatologia da região e também por contribuírem de maneira significativa na densidade de raios.

2.7 IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS CAUSADOS PELAS DEAs

Atualmente é crescente o estudo das DEAs e de todos os processos físicos em que estão envolvidas, já que elas podem acarretar grandes prejuízos materiais e financeiros, grande parte para o setor elétrico, que têm perdas aproximadas de 50 a 70 milhões de reais por ano, em que as variações climáticas e os eventos extremos de precipitação afetam consideravelmente o desempenho do sistema elétrico brasileiro (PINTO JR, 2004; FARIAS, et al, 2009).

As DEAs trazem prejuízos significativos para a sociedade, pois podem causar danos para sistemas de telecomunicações; atingir aeronaves e danificar seus sistemas operantes; causar incêndios florestais e, principalmente, acarretar perda de vidas humanas e de animais, assim como das plantas. Importante ressaltar que a ocorrência de uma única descarga elétrica pode gerar várias ramificações do canal principal, gerando com isso canais secundários que podem fazer com que a descarga elétrica tenha potencial de abranger uma área de vários km².

Segundo o grupo de pesquisa de ELAT do INPE, a ocorrência de raios no Brasil ocasionou 1321 vítimas fatais entre 2000 a 2009. Apenas no ano de 2010 houve 89 vítimas fatais, 8 delas no Estado do Pará. Destas vítimas de 2010 no Brasil, 82% eram do sexo masculino, 47% estavam na faixa etária de 20 a 39 anos e 36% aconteceram na época do verão austral (Figura 09).

Figura 09: Mortes provocadas por descargas elétricas ocorridas no Brasil, no período entre 2003 e 2010.



Fonte: ELAT/INPE.

Já em relação ao setor elétrico a ocorrência de raios é responsável pela queima de grandes quantidades de transformadores de distribuição de energia e por gerar desligamentos de linhas de transmissão e distribuição de energia, sendo que aproximadamente cerca de 40% das queimas de transformadores são decorrentes de descargas elétricas atmosféricas.

De acordo com matéria vinculada pelo portal de internet G1 em 27/02/2013, <http://g1.globo.com>, a ocorrência de raios acarretou a morte de 36 cabeças de gado, em uma fazenda localizada em Minaçu, Norte de Goiás, ocasionando um prejuízo de aproximadamente R\$ 30.000. Em Rondônia, na região de Monte Negro, um único raio ocasionou a morte de 64 cabeças de gado no ano de 2008, sendo esta considerada o maior registro de mortes de animais ocorrido no Brasil por causa deste fenômeno atmosférico, segundo nota publicada no portal de notícias Folha Metrópole, <http://www.folhametropole.com.br/>.

Em 2009 a incidência de raios gerou o início do primeiro incêndio florestal, daquele ano, no Parque Nacional do Pantanal, consumindo uma vegetação de mais 10 mil hectares de planícies, segundo boletim de notícias do ELAT, <http://www.inpe.br/webelat/homepage/>.

Por esses motivos, o estudo de raios é de extrema importância, tanto no que diz respeito à perda de vidas humanas, quanto na questão de prejuízos financeiros, assim como na questão ambiental.

2.8 ESTUDOS DE DEAs NA AMAZÔNIA

Vários estudos vêm sendo realizados na Amazônia para que se tenha um melhor conhecimento e entendimento, assim como tentar prevenir possíveis prejuízos causados por esse evento atmosférico.

Estudos de Nechet (1990, 1992, 1994, 1996), Nechet e Barros (1998) e Nechet et al. (2000, 2006), analisaram o comportamento diurno das trovoadas em várias cidades da Amazônia, a partir de dados horários provenientes de observações (até 30 anos) de estações localizadas em aeroportos, em um período de vários anos seguidos.

Esses estudos constataram que na região Amazônica cada local apresenta caráter único, uma vez que em Belém e Rio Branco possuem aspectos do modelo continental (maioria das ocorrências das trovoadas são verificadas no período da tarde e início da noite), Santarém com atributos do modelo marítimo (maioria das ocorrências de trovoadas acontecem no período noturno), Macapá apresentando características de ambos os modelos (obtendo 2 picos de trovoadas ao longo do dia), enquanto as cidades de Manaus, Boa Vista, Porto Velho têm caráter do modelo misto (que apresenta as ocorrências de trovoadas em situações diferentes das apresentadas pelos modelos continental e marítimo).

Os estudos de raios na Amazônia, utilizando dados a partir de sistemas de detecção, advêm desde meados dos anos 90, com estudo dos raios NS e suas especializações em área do Leste da Amazônia (SOUZA et al., 1997). Também foram feitas tentativas de se estimar a precipitação, a partir da utilização da frequência de ocorrências de raios, por Rocha et al. (1997).

Após a implantação do projeto de monitoramento de raios na região Amazônica, realizado pelo SIPAM e com participação de pesquisadores da Universidade Federal do Pará

(UFPA), o estudo e observações desse fenômeno atmosférico na Amazônia se tornaram mais abrangente.

Rocha et al. (2007), estudaram com base nos dados da rede do SIPAM, em um período de 5 meses (Novembro de 2006 a Março de 2007), as ocorrências de raios (NS e IN) para 4 locais selecionados e com diferentes características fisiográficas, localizados no Leste da Amazônia onde haviam sensores instalados da rede. As áreas localizadas em Belém e Paragominas obtiveram as maiores ocorrências desse evento, tendo sido observados valores superiores de 1500 raios, com Belém registrando seu máximo em Dezembro, enquanto Paragominas isso ocorreu em Março. Assim como se percebe nesse estudo que áreas costeiras inclinam-se a exibir uma menor quantidade de eventos de raios.

Almeida et al. (2010 e 2012) estudaram as características físicas, espaciais e temporais dos raios NS (chegando a mais de 7 milhões de eventos), através de dados da rede RDR do SIPAM, em um período aproximado de 2 anos e entre 2006 e 2008, no Leste da Amazônia. Constataram grandes concentrações de ocorrências de raios em três áreas distintas: nas proximidades da cidade de Palmas, Tocantins; nas áreas urbana de Belém, se estendendo até o Sul do Maranhão; e nas proximidades da cidade de São Luis, Maranhão. Os picos de ocorrências desses eventos ficavam entre as 15:00 h e 20:00 h locais (característica de modelo continental), com uma percentagem considerável (7%) de descargas com picos de corrente acima de 100 kA, tendo apresentado suas maiores ocorrências nos meses de Janeiro e Dezembro.

Teixeira et al. (2011) estudaram a distribuição espacial de raios, utilizando dados provenientes dos sensores LIS a bordo do satélite TRMM, em um período de 12 anos de dados. Verificaram a existência de grandes diferenças de densidades de raios na Amazônia.

Ribeiro (2011) estudou, em um período de 3 anos, a relação entre raios e precipitação sobre diferentes tipos de superfície terrestre e também através de estudos de casos de tempestades severas, constatou que a ocorrência de raios antecede a das chuvas e que a influência sazonal é determinante na ocorrência desse evento.

Pompeu (2012) estudou a relação entre descargas elétricas, associadas à precipitação dentro de 3 áreas selecionadas no leste da Amazônia e localizadas na mesma faixa de latitude. Observou que os sistemas meteorológicos de grande escala acompanhados de sistemas de escala menores, parecem atuar primeiramente na área urbana de Belém para posteriormente adentrarem o continente e que a ocorrência de raios antecede a da chuva, corroborando com o estudo de Ribeiro (2011).

Na atualidade, diversos estudos sobre raios na Amazônia vêm sendo patrocinados através do projeto REMAM (Rede de Monitoramento de Eventos Extremos na Amazônia), que tem como um de seus objetivos a determinação do caráter dos sistemas precipitantes que geram raios no Leste da Amazônia.

Os estudos de raios na Amazônia possibilitam uma melhor compreensão desse fenômeno atmosférico, tanto no que diz respeito às suas frequências horárias, podendo contribuir para planejamentos a médio e longo prazo, como por exemplo, no setor operacional (como o de aeroportos), em que é preciso de conhecimentos das condições climáticas de um determinado local durante as 24h do dia, quanto em relação aos períodos do ano e a intensidade de ocorrências dos raios na Amazônia.

Nesse trabalho, o objetivo principal é determinar as eventuais diferenças de ocorrências de raios, em virtude das diferenças de tipos de superfícies em alvos selecionados na região Nordeste do Estado do Pará, na Amazônia Oriental.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

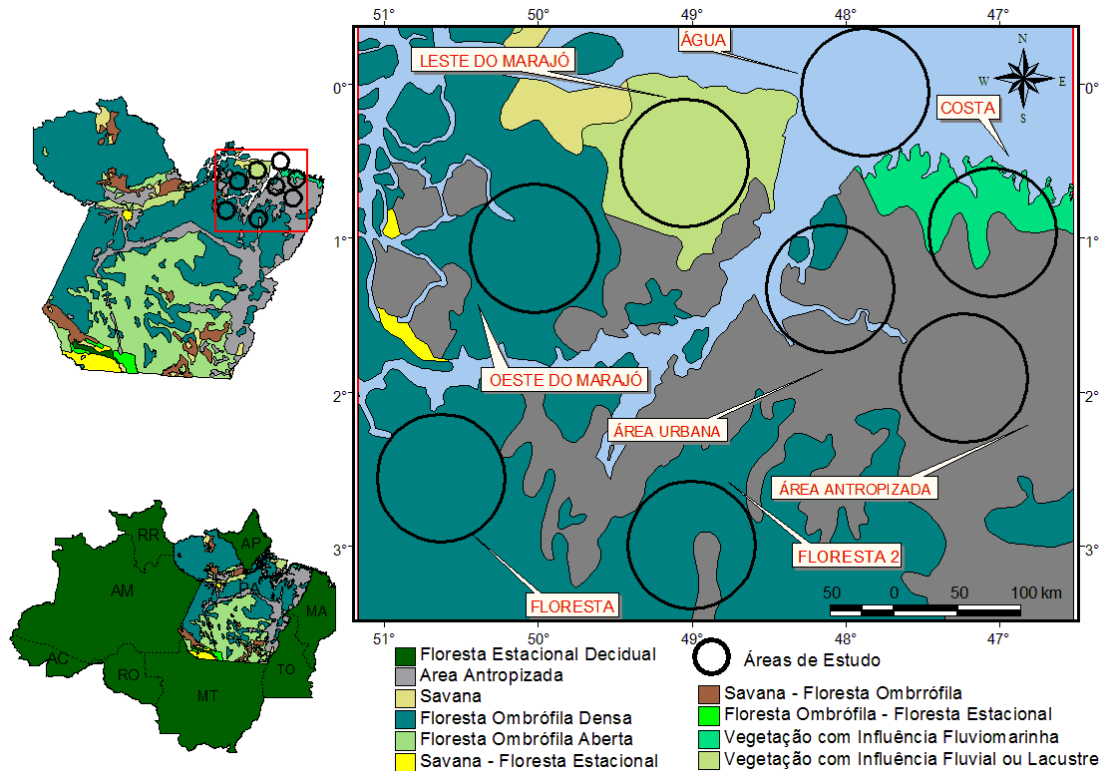
3.1 ÁREAS DE ESTUDO

As áreas de estudo estão situadas no Estado do Pará, localizado na região Norte do Brasil ou região Amazônica. Foram escolhidas oito áreas com características distintas na composição do tipo de superfície que possuem e com certa homogeneidade. Entre essas áreas temos as que apresentam cobertura de florestas (Floresta e Floresta 2); cobertura fluvial e oceânica (Água); cobertura gerada por antropização (agricultura/pastagem) (Área Antropizada); cobertura urbana (Área Urbana); cobertura com campos alagáveis (Leste do Marajó); planaltos com colinas (Oeste do Marajó) e região continental costeira (Costa). A maioria das áreas alvo possuem características climáticas semelhantes (todavia não são totalmente homogêneas perante o clima), em virtude de estarem próximas entre si e cada uma delas possui 40 km de raio.

As áreas, costeira, da região urbana de Belém e a Floresta 2 não apresentam em sua totalidade homogeneidade completa no seu tipo de superfície, mas, para este estudo, serão consideradas como tal para poder gerar resultados e assim se fazer a verificação da importância dos tipos de superfícies nas ocorrências de raios. Vale ressaltar que a escolha de mais de uma área de floresta reflete a dificuldade em se encontrar uma área desse tipo que fosse adequada e próxima das demais áreas, visto que são as áreas que se encontram mais adentro do continente em relação às demais áreas (Figura 10).

Para realização deste estudo de raios dentro das oito áreas em questão, houve a necessidade de delimitação das mesmas. Este processo, de delimitação, foi realizado através do ambiente do Arc View 3.2, utilizando-se da ferramenta Theme e opção de criação de buffers. Posteriormente escolheu-se o raio de círculos, nesse caso 40 km. Essa metodologia de seleção das áreas foi utilizada por Pompeu (2012) em 3 áreas do leste da Amazônia.

Figura 10: Localização das áreas de estudo sobre os diferentes tipos de superfícies na Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Essas 8 áreas foram escolhidas por: (a) estarem próximas entre si e em uma região dominada, climatologicamente, pela ZCIT; (b) possuírem características diferentes no seu tipo de cobertura de superfície; (c) estarem localizadas em uma região que apresentava alvos de vários tipos de superfícies para efeitos de comparação.

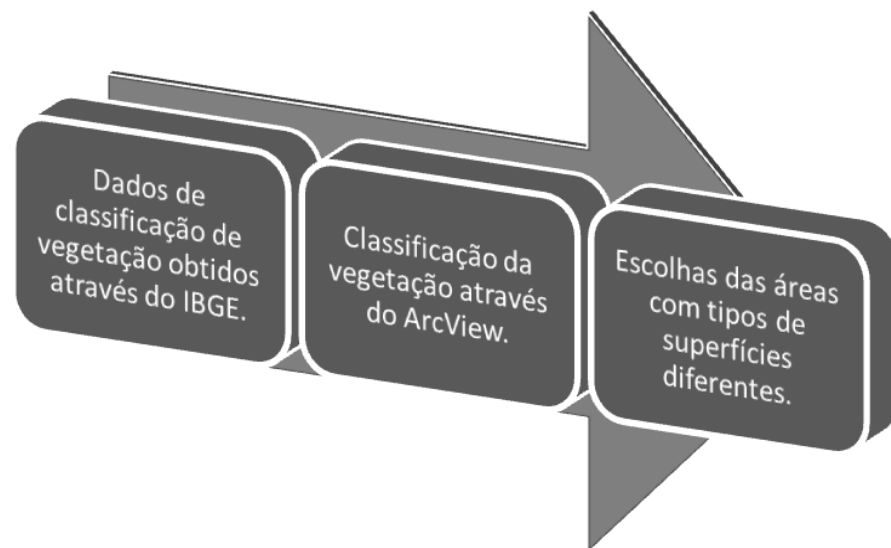
Importante destacar que apesar da proximidade entre as áreas elas não se apresentam totalmente homogêneas em relação ao clima e também em relação a suas superfícies.

3.1.1 Distribuição e Classificação Espacial dos Tipos de Superfície

Os dados de classificação dos tipos de superfícies, de cada uma das áreas, foram obtidos por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), <http://www.ibge.gov.br/home/> no ano de 2011. Esses dados de classificação foram utilizados

como base para seleção das áreas com tipos de superfícies diferentes e foram classificadas e tratadas através da utilização de ferramentas de geoprocessamento, neste caso através da utilização de um Sistema de Informação Geografia (SIG) (ArcView 3.2.). Os arquivos de dados da vegetação, por estarem em formato de vetor foram transformados em formato de grade ou matriz, em que se definiu o tamanho da célula de 1 km². Depois foram feitas as classificações do tipo de vegetação e por fim as áreas foram selecionadas, metodologia parecida foi utilizada por Ribeiro (2010) e Pompeu (2012) (Figura 11).

Figura 11: Etapas para classificação e escolha das áreas de tipos de superfícies diferentes e respectivas paisagem.



Fonte: Do Autor.

3.1.2 Caracterização das Áreas de Estudo

A agricultura de subsistência é dominante na Amazônia, sendo cultivada por pequenos produtores e com mão de obra familiar em áreas de pequenas dimensões. Este tipo de atividade agrícola está baseado no sistema de roça itinerante, no qual parte da floresta é retirada, derrubada e queimada, para plantio, principalmente, de culturas de ciclos curtos (arroz, milho, mandioca) e, posteriormente, essas áreas são abandonadas devido à queda na fertilidade do solo, sendo o agricultor familiar obrigado a buscar novas áreas para a plantação

e as áreas que acabam abandonadas se transformam em áreas de vegetação secundária (capoeira) (SÁ, 2006).

Neste contexto está inserida a área Antropizada, localizada no Nordeste Paraense, em uma das regiões mais antigas da ocupação humana na Amazônia, estando vinculada às incursões feitas pelos portugueses a regiões interioranas do Estado do Pará, ocorridas no período colonial através dos rios Guajará e Guamá. A intensificação da ocupação dessa região data do início do século XX, e tendo nas últimas décadas passado por grandes transformações na sua paisagem original, gerando reflexos nos campos ambientais e socioeconômicos. (VENTURIERI et al.,1998; BRASIL, 2006).

A microrregião do Guamá está inserida dentro da Mesorregião do Nordeste Paraense e que constitui uma das fronteiras agrícolas mais antigas da Amazônia em que a prática da agricultura de subsistência é comum. Nesta região existiam vastas áreas de florestas primárias, que por conta de atividades agropecuárias foram fortemente transformadas, gerando uma paisagem intensamente antropizada com cerca de 90% de sua vegetação primária sendo transformada em vegetação secundária, ou seja, os ecossistemas naturais de florestas quase que em sua totalidade já foram devastados (WAGNER, 1995; VIEIRA, 1996). Portanto a característica do uso e da ocupação do solo no Nordeste Paraense é de extrativista (vegetal e animal), através da pecuária; das madeireiras; e pela agricultura de subsistência, onde áreas são desmatadas, queimadas e cultivadas.

A produção de grãos, que recobre grandes e expressivas parcelas de terra; a mineração e o garimpo também contribuem para as alterações dos ecossistemas naturais da região. Por isso, pode-se dizer que o Nordeste Paraense é um modelo que representa bem o processo de transformação de paisagens florestais para áreas com alta e acentuado grau de processo de antropização (VENTURIERI et al.,1998; BRASIL, 2006).

A área da Costa, utilizada para este estudo, está situada dentro da Mesorregião do Nordeste Paraense e entre as microrregiões do Salgado (parte Norte) e Bragantina (Centro-Sul). A microrregião do Salgado Paraense situa-se na região costeira e engloba uma área total de 5.812,70 km², sendo constituída por 11 municípios (Colares, Curuçá, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Salinópolis, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, São João de Pirabas, Terra Alta e Vigia) que possuem limites com o Oceano Atlântico (PARÁ, 2005). A precipitação pluviométrica média anual varia entre 2.500 mm e 3.000 mm, caracterizada por dois períodos bem definidos, um chuvoso (Janeiro a Junho) e outra menos chuvosa (Julho a

Dezembro), e apresentando médias anuais máximas de temperatura entre 30°C e 33°C, e mínimas entre 21°C e 25°C (MARINHO, 2004).

O Salgado Paraense é caracterizado por exibir diferentes tipos de ambientes como campinas, campos, dunas, restingas, capoeiras, igapós, várzeas, manguezais e áreas remanescentes de florestas primárias de terra firme (BASTOS et al., 2001). Já a Microrregião Bragantina está localizada a Leste da capital Belém, principal centro urbano da Amazônia. Estende-se desde a proximidade desta cidade até a cidade de Bragança, às margens do Oceano Atlântico, é constituída por 13 municípios (Augusto Corrêa, Bonito, Bragança, Capanema, Igarapé-Açu, Nova Timboteua, Peixe-Boi, Primavera, Quatipuru, Santa Maria do Pará, Santarém Novo, São Francisco do Pará e Tracuateua), com uma área de aproximadamente 11.609 km² (EMBRAPA, 2005).

A Zona Bragantina sofreu e ainda sofre uma intensa ação colonizadora, desde o início do século passado, após a vinda de migrantes originários do Nordeste Brasileiro que fugiam da seca.

A ação colonizadora da Zona Bragantina foi causa de grande devastação das florestas primárias da região para a introdução de práticas agrícolas voltadas para subsistência (mandioca, arroz, milho, feijão, banana, etc.), extração madeireira e fabricação de carvão vegetal. Atualmente, além das práticas agrícolas para subsistência, têm-se a plantação de fumo, pimenta do reino, malva, culturas de frutas (mamão, cupuaçu, maracujá, cacau, etc.), sendo que em aproximadamente um século de ocupação agrícola na região Bragantina, pouco restou das florestas de terra firme, intercaladas por matas de várzea e igapó, campos e manguezais das margens de rios que antes ali existiam (VIEIRA, 1996; SANTOS; LISBOA, 2003) e de acordo com Salomão et al. (1996), eles indicam que a principal característica da região bragantina é a formação de novas capoeiras e de pequeno porte, lembrando que restam hoje, aproximadamente, menos de 2% do um milhão de hectares de floresta densa do século passado.

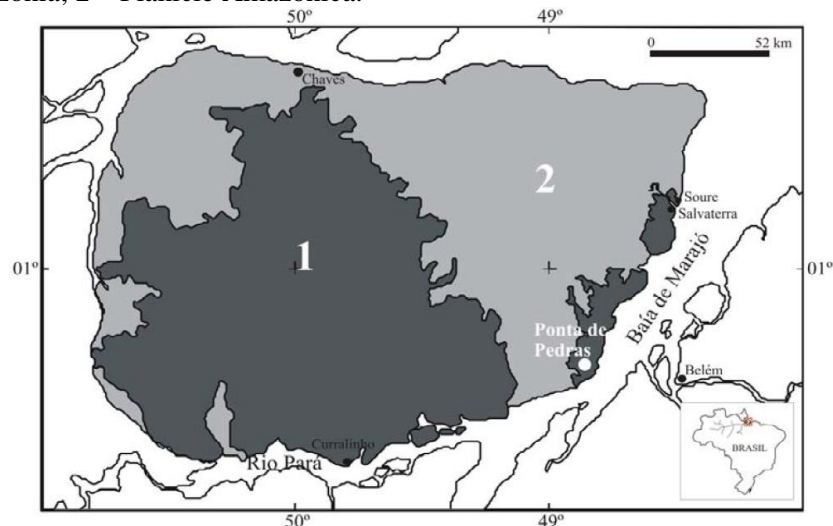
A ilha do Marajó está localizada no setor insular estuarino da parte costeira do Estado do Pará, considerada como a maior ilha flúvio-marinha (banhada por rio e mar ao mesmo tempo) do mundo. Apresenta uma extensão territorial de aproximadamente 49.000 km² e sendo destacada como a maior das ilhas no Arquipélago Marajoara, dentre as dezenas existentes. Ela é composta por doze municípios (Afuá, Chaves, Breves, Anajás, Curalinho, São Sebastião da Boa Vista, Muaná, Ponta de Pedras, Santa Cruz do Arari, Cachoeira do Arari, Soure e Salvaterra) (FURTADO; FRANÇA; PIMENTEL, 2009), apresentando, de

acordo com IBGE, as microrregiões de Furos de Breves (parte ocidental) e do Arari (parte oriental).

As áreas de estudos na Ilha do Marajó estão inseridas na porção Leste e Oeste da ilha. A primeira estando localizada dentro da microrregião do Arari e mesorregião do Marajó, já a segunda está na microrregião de Furos de Breves, apresentando uma pequena porção a Nordeste na microrregião do Arari. Esta área localiza-se na mesorregião do Marajó.

Na parte Oeste da ilha encontra-se o domínio morfoclimático dos planaltos rebaixados da Amazônia, enquanto na parte Leste o domínio morfoclimático é das planícies inundáveis recobertos por campos (Figura 12).

Figura 12: Unidades morfoestruturais da Ilha de Marajó (adaptado de DNPM 1974): 1 – Planalto Rebaixado da Amazônia; 2 – Planície Amazônica.



Fonte: Furtado; França; Pimentel. (2009).

O planalto rebaixado compreende a porção Oeste-Cento-Sul da ilha e tendo como predomínio da Floresta Ombrófila Densa. Já as planícies, localizadas a Leste da ilha, consistem em planícies costeiras constituídas holocênicos de origem flúvio-marinho, caracterizado por campos inundáveis durante o ano e recoberto por herbáceos/arbustivos e manguezais (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003; FURTADO, FRANÇA, PIMENTEL, 2009; ALVES et al., 2012).

A área Urbana está localizada na Mesorregião do Estado do Pará denominada de Região Metropolitana de Belém (mas tendo partes ao Norte e Sudeste localizadas na Mesorregião do Nordeste Paraense), composta por seis municípios (Belém, Marituba, Santa

Bárbara, Ananindeua, Santa Isabel do Pará e Benevides) e abrangendo uma área de 2.536.888 km², concentrando uma população superior a 2.000.000 de habitantes, apresentando uma densidade de 851,90 hab/km² e sendo a responsável pela dinâmica econômica da parte Nordeste da Amazônia Oriental (CAVALCANTE, 2011). Dentro desta região, encontra-se a cidade de Belém, capital do Estado do Pará, estando em uma das áreas com as maiores precipitações do Leste da Amazônia (entre 2000 a 3000 mm.ano⁻¹), tendo o período chuvoso compreendido entre os meses de Dezembro a Maio, principalmente devido a ação da forçante de grande escala ZCIT, que nesse período atua na região (FIGUEROA; NOBRE, 1990; TAVARES; MOTA, 2012).

As áreas de estudo de Floresta e Floresta 2 possuem característica de superfície florestal nativa. A primeira localizada na microrregião de Portel e com uma parte a Leste situada na microrregião de Cametá. Esta área de estudo localiza-se dentro da mesorregião do Marajó e com uma parte a Leste situada dentro do Nordeste Paraense. Já a segunda está localizada dentro da microrregião de Tomé-Açu, na mesorregião do Nordeste Paraense. Essas áreas de florestas estão inseridas em uma região de floresta denominada de floresta Ombrófila Densa, também conhecida como floresta pluvial tropical, região essa caracterizada por possuir árvores de grande porte, trepadeiras lenhosas e epífitas abundantes que a diferencia de outras classes de formação vegetal. Todavia sua principal característica ecológica diz respeito aos ambientes ombrófilos, ou seja, chuvas abundantes que definem muito bem a região florística florestal, possuindo temperaturas médias em torno de 25°C e altos índices pluviométricos bem distribuídos ao longo do ano (de 0 a 60 dias secos) (IBGE, 1992).

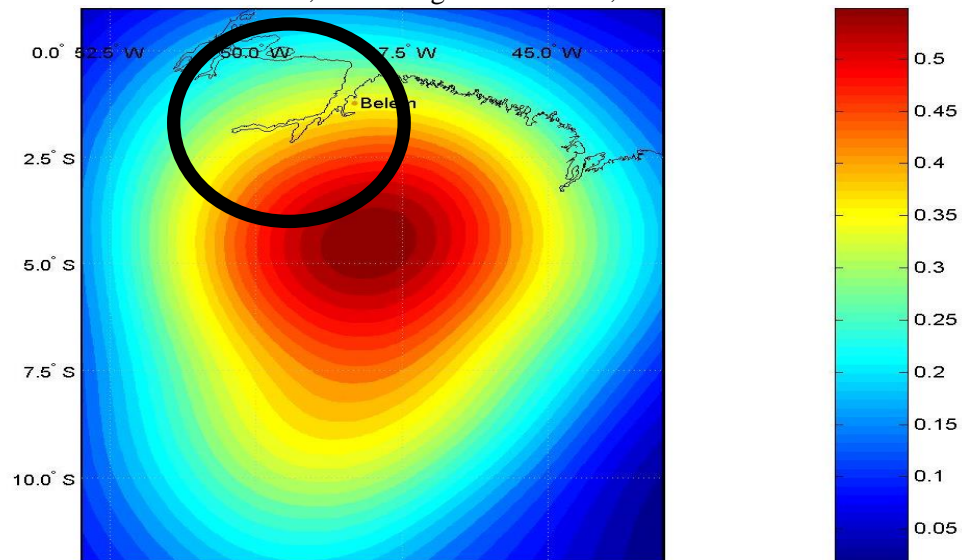
Área de estudo sobre a superfície de Água está localizada entre a ilha do Marajó e o continente, mas principalmente no Oceano Atlântico Equatorial, estando ao Norte dos municípios paraense de Curuçá, Marapanim e São Caetano de Odivelas. Corresponde a uma área de transição de água doce para salgada.

3.2 DADOS

3.2.1 Dados de Raios

Neste estudo de influência dos diferentes tipos de superfícies nas ocorrências de raios foi escolhida a rede STARNET, visto que é uma rede que se encontra operacional; os dados se encontram disponíveis para estudos, apesar da sua baixa eficiência de detecção das ocorrências de raio no período estudado em virtude dos sensores estarem posicionados distantes das áreas de interesse. Essa rede tem uma detecção uniforme nas áreas escolhidas, apesar da pouca eficiência, sendo que as demais redes têm uma cobertura precária nas áreas de interesse do estudo ou necessitam de manutenção e atualização dos dados de raios, como acontece atualmente com a rede do SIPAM, que se encontra inativa e apresentava detecção não uniforme de detecção de raios na região estudada (Figura 13).

Figura 13: Rede do SIPAM, localização aproximada das 8 áreas de estudo dentro do Modelo de Distribuição Geográfica - Caso ideal com uma probabilidade máxima de detecção aproximadamente 57%, localizada entre as latitude 3° S a 5,5° S e longitude 47° a 48,5°O.



Fonte: Adaptado de Souza (2009).

O sistema STARNET foi desenvolvido pela “Resolution Displays Inc” por meio do projeto “Small Business Innovation Research” (SBIR) da NASA e é composta por uma rede de detecção de sensores VLF (Figura 14) dispostos através da América do Sul e Caribe, fazendo medições constantes do campo elétrico vertical e estando sincronizados no tempo através de GPS. Esse sistema é operado e gerenciado pelo Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Os sensores atualmente estão instalados em Guadaloupe, Caribe; e nas cidades de São Paulo (SP), Fortaleza (CE), Manaus (AM), Brasília

(DF), São Martinho da Serra (RS) e Campo Grande (MS) e mais recentemente em Belém (PA), no Brasil.

Figura 14: Localização dos sensores de VLF da rede STARNET, dispostos através da América do Sul (Brasil) e Caribe (Guadaloupe).



Fonte: IAG/USP/STARNET/GOOGLE MAPS.

Os sinais detectados pelos sensores da STARNET representam formas de ondas dos sferics, usadas para calcular a diferença do tempo de chegada, visto que o método TOA é o utilizado por essa rede e, portanto, utilizado para determinar a localização dos sferics decorrentes de descargas atmosféricas.

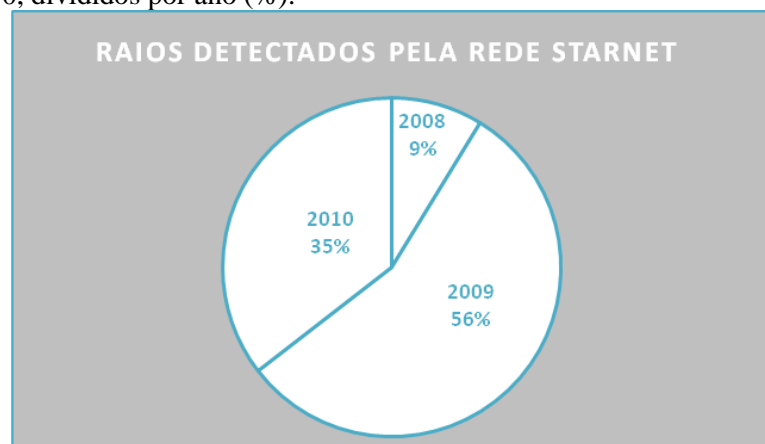
Os dados de ocorrência de raios obtidos por meio da STARNET são padronizados em formato ASCII, no qual os campos de dados estão separados por um espaço e cada um dos arquivos fornecem dados com intervalos de tempo de 15 minutos. A STARNET possibilita que a detecção das ocorrências de raios não seja afetada pela configuração do sistema, ou seja, que se tenha uma detecção uniforme em todas as áreas desse estudo. Apesar disso, a STARNET apresentou instabilidade na detecção de raios em alguns meses do período estudado.

3.2.2 Desempenho e Detecção da Rede de Detecção de Raios STARNET

A rede STARNET esta englobada entre as redes ambientais sem fio “Environmental Wireless Network”, é formada por 7 sensores na América Latina, funcionando em 3 fases: detecção, comunicação e computação, cada uma dessas fases ocasiona falhas de funcionamento ou de processamento, o que irá acarretar na multiplicação da vulnerabilidade da rede e afetará a qualidade dos dados obtidos (DENTEL)*.

No período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 a rede STARNET detectou um total de 175.256.343 de descargas elétricas atmosféricas em sua área de cobertura. Deste total 9% são referentes a 2008, 35% a 2010 e 56% correspondem ao ano de 2009, segundo levantamento feito a partir do banco de dados da rede STARNET (Figura 15). Esses valores estão próximos dos apresentados por Pompeu (2012), que no período de Setembro de 2008 a Dezembro de 2010 encontrou 11%, 29% e 60% de detecção de raios nos mesmos anos respectivos.

Figura 15: Ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, divididos por ano (%).



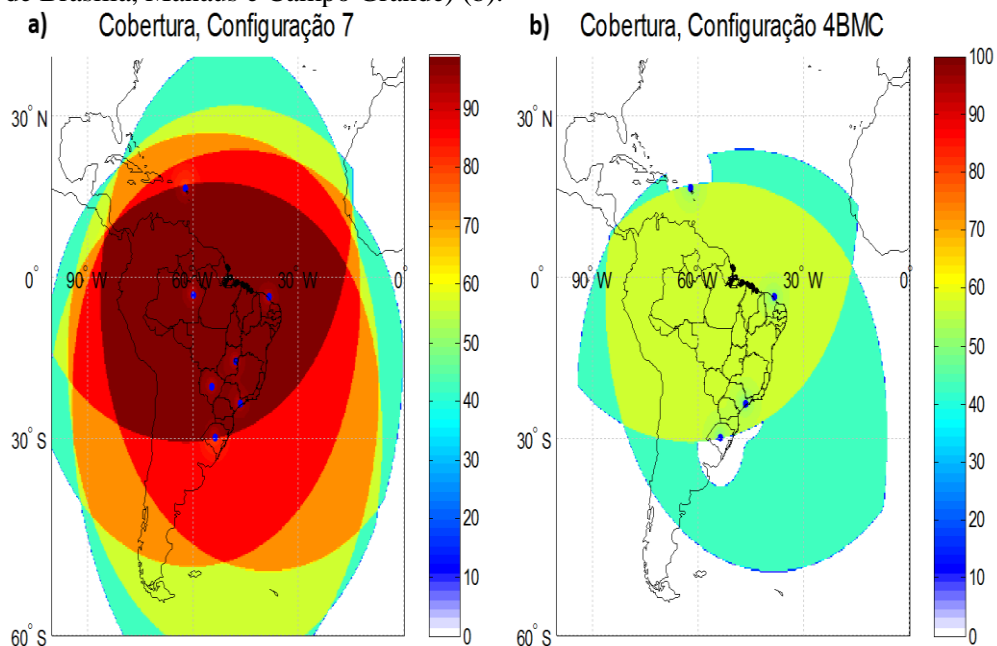
Fonte: Do Autor.

* Dentel - Relatório técnico científico sobre o desempenho da rede STARNET [informação pessoal].
< lauredentel@ufpa.br> em Julho 2012.

A rede STARNET, apesar de instável, apresenta uma detecção espacial quase uniforme na área desse estudo. Entre 2008 e 2010 foram detectadas falhas nos sensores da rede, principalmente nos sensores de Brasília e Manaus, o que, eventualmente, possa ter impactado no comprometimento da detecção nesses anos. Em 2008, 2009 e 2010 a maioria das detecções foram feitas por 4 dos 7 sensores (72%, 44,5% e 64% respectivamente) como mostra a Figura 16. Por isso, apesar da instabilidade da rede, sua uniformidade de detecção pode ser considerada válida para estudos de comparações simultâneas entre as áreas escolhidas neste trabalho, (POMPEU, 2012; DENTEL*).

A instabilidade da rede STARNET implicará para o presente trabalho a não relevância do mesmo em termos quantitativos e sim em termos qualitativos.

Figura 16: Cobertura ideal máxima com 7 sensores (a) e cobertura teórica com 4 sensores (menos os sensores de Brasília, Manaus e Campo Grande) (b).

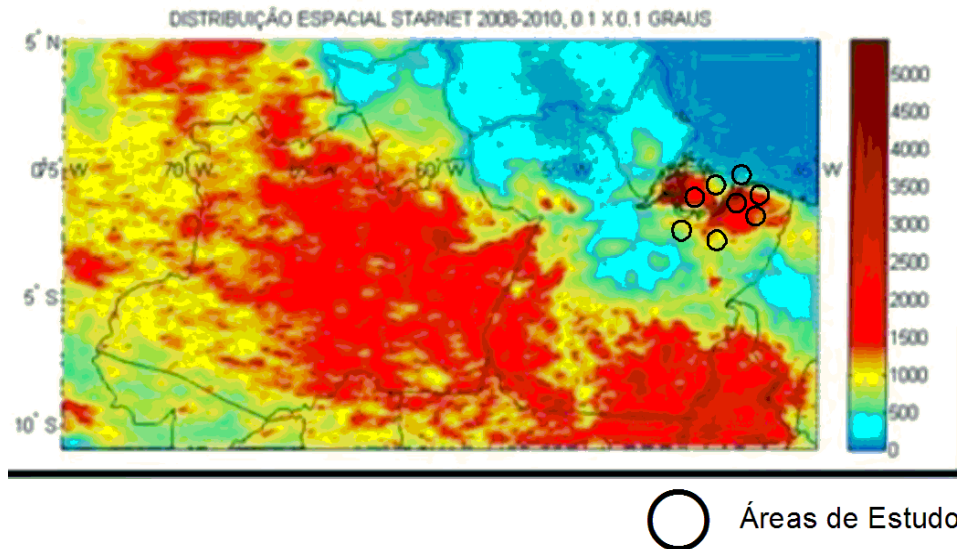


Fonte: Dentel*

* Dentel - Relatório técnico científico sobre o desempenho da rede STARNET [informação pessoal]. <lauredentel@ufpa.br> em Julho 2012.

A Figura 17 mostra a distribuição espacial detectada na Amazônia, em um período de 2 anos e meio realizados por Almeida **, através de dados da rede STARNET. Observam-se variações significativas nas densidades de raios entre as várias regiões da Amazônia.

Figura 17: Localização aproximada das 8 áreas de estudo dentro da distribuição espacial da densidade de raios, do período de Junho 2008 a Dezembro de 2010 utilizando dados STARNET.



Fonte: Adaptado de Almeida **.

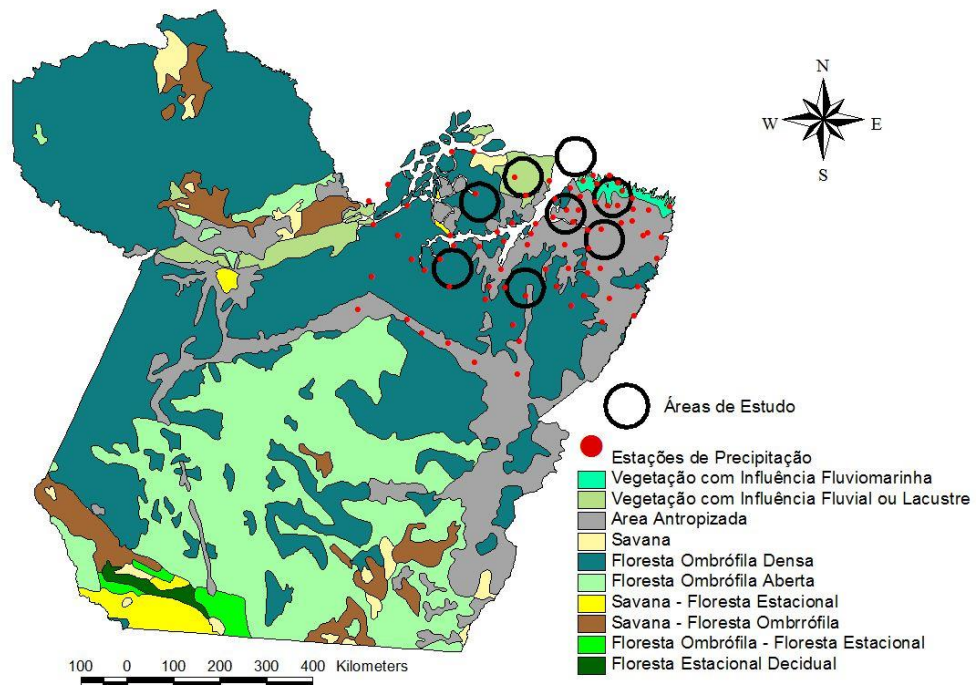
Também se pode inferir que, possivelmente, as áreas de florestas escolhidas para este estudo possam apresentar uma baixa ocorrência de raios, podendo as mesmas apresentarem uma climatologia mais destoante do que as demais áreas, já que elas podem estar localizadas mais adentro do continente em relação as outras áreas. Apesar disso, pode ser observada uma detecção uniforme envolvendo o restante das áreas. Isto pode ser considerado um indicativo dos resultados e diferenças que serão encontrados entre as áreas de estudo neste presente trabalho.

** Almeida (2012) [informação pessoal] arthur@ufpa.br em Junho 2013.

3.2.3 Dados de Precipitação Pluviométrica

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de 80 estações meteorológicas automáticas de superfícies espalhadas dentro e nas proximidades das áreas de estudo. As principais fontes de dados foram, em grande parte, a Agência Nacional de Águas (ANA) e o INMET. As estações da ANA são operadas pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) e Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE) (Figura 18).

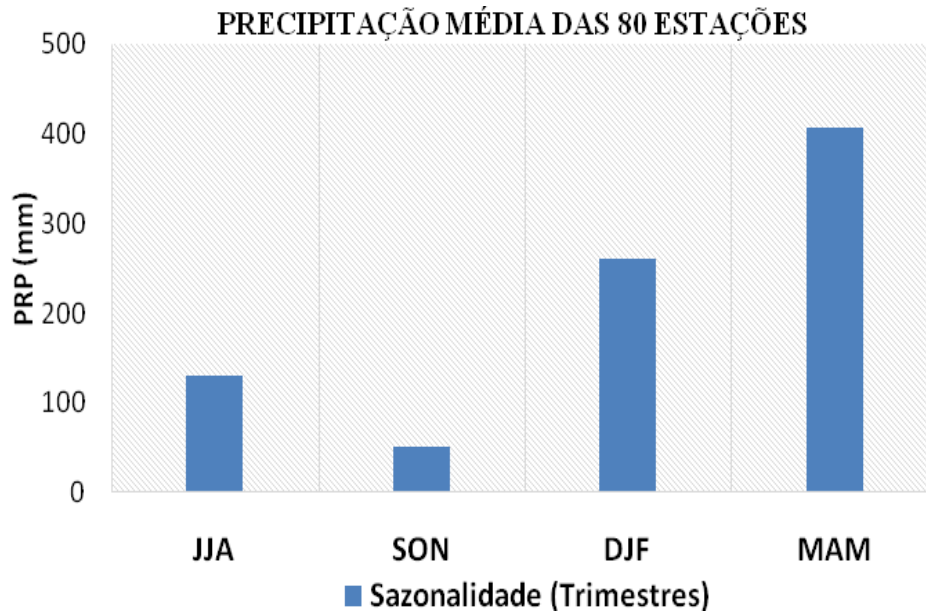
Figura 18: Localização das 80 estações meteorológicas da ANA e INMET, espalhadas dentro e próximas das áreas de estudo na Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Posteriormente a coleta de dados dessas 80 estações foi calculada as médias mensais da precipitação, agrupadas por trimestres e tratadas em planilhas eletrônicas, em que foram considerados os trimestres de Junho, Julho e Agosto (JJA) e de Setembro, Outubro e Novembro (SON) como período seco, enquanto que os trimestres de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) e de Março, Abril e Maio (MAM), período seco ou menos chuvoso, conforme mostra a Figura 19. Metodologia semelhante foi utilizada por Ribeiro (2010).

Figura 19: Precipitação média sazonal das 80 estações meteorológicas automáticas de superfícies da ANA e INMET, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010.



Fonte: Do Autor.

De acordo com Figueroa e Nobre (1990), o período chuvoso, no Nordeste da região Amazônica, ocorre entre os meses de Dezembro a Abril, em virtude, principalmente, do posicionamento climatológico da ZCIT, em que se encontra neste período do ano ao Sul da linha do Equador. A organização da convecção é favorecida pela ZCIT nesse período do ano, visto que a termodinâmica local devida ao aquecimento da superfície permite a geração de células convectivas, conjuntamente com a forçante dinâmica de grande escala proporcionada pela ZCIT. Isso ocasiona a formação de nuvens, conseqüentemente precipitação e descargas elétricas (TAVARES, 2009).

Já o período seco que compreende os meses de Junho a Novembro é caracterizado por uma supremacia da subsidência em grande escala abrangendo o Nordeste da região Amazônica, em razão de a ZCIT passar a ser localizada no Hemisfério Norte nesse período do ano, deslocando o ramo descendente da célula de Hadley. Nesse período, para a ocorrência de nuvens de tempestades é necessário o auxílio de forçantes de mesoescala (LI), ou a convecção deverá ser muito intensa (TAVARES, 2009).

3.2.4 Tratamento dos Dados de Raios

Os dados de raios que foram analisados compreendem o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, foram tratados com o programa LEZEUS, programa este elaborado e criado pelo Dr. Arthur da Costa Almeida e membro da equipe de raios da UFPA, que transforma os dados no formato .DAT provenientes da STARNET em formato .TXT e que funciona dentro do ambiente do software Matlab. Esse programa tem as funções de reorganizar os dados em período mensal, assim como filtrar e descartar os dados que não sejam necessários, como a polaridade dos raios, por exemplo, ou dados com valores iguais a zero.

Os dados de saída no formato .TXT foram processados no software ArcView 3.2, no qual foram feitas as seleções dos dados, utilizando-se a opção “View – Geoprocessing – Clip”, permitindo assim a criação espaço-temporal de sub arquivos. Isto foi necessário para considerarmos única e somente as ocorrências de raios dentro de cada área de estudo selecionada.

Após esses procedimentos foi possível a quantificação temporal das ocorrências de raios em cada área de estudo, através da utilização da ferramenta “Open Theme Table”, presente no Arc View 3.2, que possibilitou a visualização de uma tabela constando a quantidade de raios ocorridos (Figura 20).

Figura 20: Visualização do recorte da tabela dentro do ArcView 3.2, mostrando a quantidade de raios detectados pelos sensores da rede STARNET dentro da área Urbana, em Dezembro de 2008.

| Shape | Ano | Mes | Dia | Ho | M | S | Ms | Lat | Lo |
|-------|------|-----|-----|----|----|----|-------------|----------|----------|
| Point | 2008 | 12 | 2 | 17 | 37 | 40 | 564390.0000 | -1.09690 | -48.0420 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 17 | 50 | 58 | 88931.0000 | -1.17740 | -48.3210 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 17 | 52 | 38 | 80553.0000 | -1.18770 | -48.1970 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 17 | 58 | 22 | 904120.0000 | -1.16710 | -48.0740 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 4 | 38 | 333460.0000 | -1.17790 | -48.1290 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 5 | 33 | 340300.0000 | -1.25690 | -48.0720 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 5 | 33 | 441080.0000 | -1.26390 | -48.0700 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 8 | 51 | 113930.0000 | -1.24460 | -48.1610 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 9 | 20 | 322940.0000 | -1.17010 | -47.9810 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 12 | 0 | 616900.0000 | -1.24290 | -47.9460 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 15 | 4 | 640780.0000 | -1.29070 | -47.9820 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 16 | 19 | 974080.0000 | -1.20660 | -48.2110 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 19 | 6 | 887820.0000 | -1.20610 | -48.2360 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 19 | 17 | 884240.0000 | -1.17200 | -47.9610 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 21 | 46 | 686390.0000 | -1.17330 | -47.9550 |
| Point | 2008 | 12 | 2 | 18 | 22 | 54 | 89249.0000 | -1.20300 | -47.8980 |

Fonte: Do Autor.

A partir disso propiciou a geração das imagens de distribuição de raios com a espacialização da precipitação e a criação de histogramas, no software Excel 2013, com as médias mensais, trimestrais, totalidade das ocorrências e também as médias dos períodos seco e chuvoso. Metodologia semelhante foi utilizada por Ribeiro (2010), utilizando dados da rede do SIPAM, e por Pompeu (2012) com dados da rede STARNET.

No entanto, os meses em que a rede STARNET apresentou falhas na detecção de raios (Agosto e Outubro de 2009) e que foram maior ou igual há 15 dias foram abandonados, ou seja, esses meses não foram levados em consideração nas médias mensais e no total de raios. Assim como também os trimestres de JJA e de SON de 2009 e o período seco de 2009 (Junho a Dezembro) não foram contabilizados nas médias trimestrais e nas médias dos períodos seco e chuvoso, devido às falhas de detecção nesses meses em questão.

Para o cálculo da densidade total de raios do período excluiu-se os meses com falhas na rede (Agosto e Outubro de 2009), sendo utilizada a seguinte fórmula:

$$D_{TOT} = \frac{n^{\circ} \text{ total de raios do período}}{\text{área}} \quad (1)$$

Com resultado obtido através da equação (1), pôde-se encontrar a densidade em raios.km⁻².ano⁻¹.

Já para o cálculo da densidade média sazonal, não foram levados em considerações, nas médias trimestrais de raios, os trimestres que apresentaram falhas de detecção na rede em algum mês, no caso em questão os trimestres de JJA e SON de 2009 não foram levados em consideração no cálculo da média, já que os meses de Agosto e Outubro de 2009 apresentaram falhas de detecção na rede STARNET, sendo utilizada a seguinte fórmula:

$$D_{SAZ} = \frac{\text{média trimestral de raios}}{\text{área}} \quad (2)$$

Onde:

$$\text{Área} = \pi R^2 = 3,14 \times (40)^2 = 5.024 \text{ km}^2$$

Período = Somatória total dos raios ocorridos entre Junho de 2008 a Novembro de 2010.

Média Trimestral = Média das ocorrências de raios cada trimestre (JJA, SON, DJF e MAM), encontradas entre Junho de 2008 a Novembro de 2010.

A relação encontrada entre a quantidade de raios.dia⁻¹ e raios.ano⁻¹, não leva em consideração os meses com falhas de detecção na rede e considera o mês com 30 dias, totalizando 840 dias ou 28 meses.

Já a relação encontrada entre o horário em que se verificam as maiores concentrações das ocorrências de raios e os períodos seco e chuvoso se deu através da seguinte fórmula:

$$\frac{\text{n}^\circ \text{ total horário de raios do período}}{\text{n}^\circ \text{ de dias do período}} \quad (3)$$

Em que o número de dias observado no período seco corresponde a 480 dias, enquanto que no período chuvoso a quantidade de dias passa para 360 dias, pois neste caso são levados em consideração 4 meses do período seco de 2009 (Junho, Julho, Setembro e Novembro), excetuando-se os meses com problemas na detecção da rede STARNET desse período em questão (Agosto e Outubro de 2009).

3.2.5 Tratamento dos Dados de Precipitação Pluviométrica

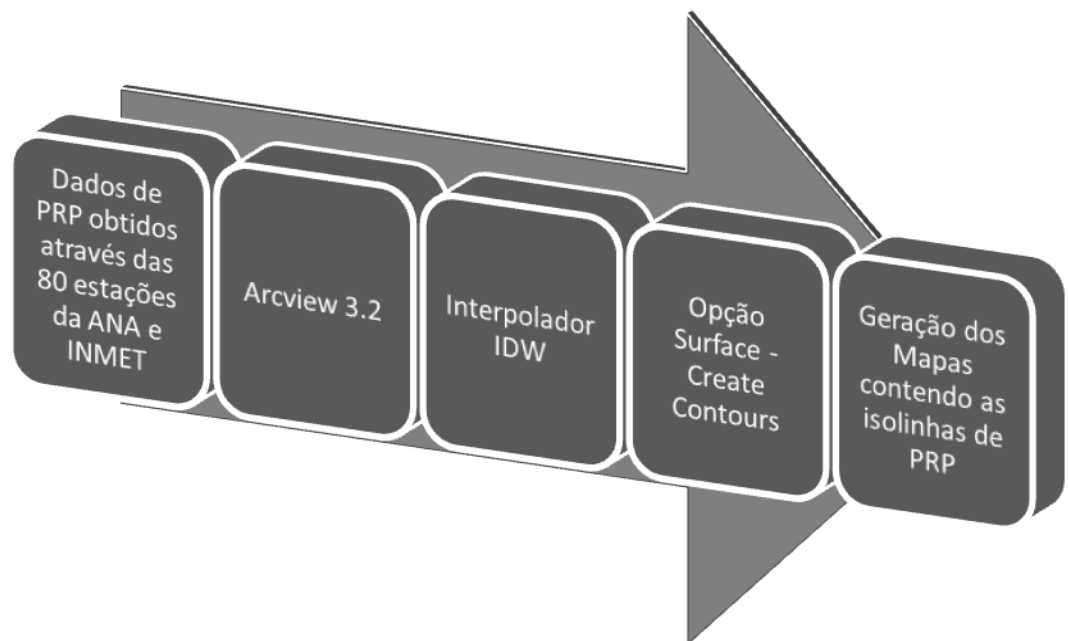
Com os dados de precipitação das 80 estações utilizadas, coletados tanto no portal Hidroweb-Ana, quanto no portal do INMET, puderam-se calcular as médias trimestrais de cada estação durante o período de estudo e agrupa-las por sazonalidade (JJA, SON, DJF, MAM) (ANEXO A), entretanto algumas estações apresentaram falhas em alguns meses e em virtude disso os períodos sazonais em que se encontraram falhas não foram levados em

consideração para cálculo das médias trimestrais. Metodologia semelhante foi utilizada por Ribeiro (2010) e Pompeu (2012).

Através dos dados de precipitações, já agrupados sazonalmente, foi feita uma distribuição espacial da precipitação, envolvendo todas as áreas de estudo, a partir da utilização do método de interpolação através do software ArcView 3.2, com a utilização do interpolador IDW. O interpolador IDW utiliza o modelo estatístico chamado de “Inverso das Distâncias”, modelo este baseado na dependência espacial, ou seja, supõe-se que quanto maior for a proximidade entre os pontos, maior deverá ser a correlação entre os valores desses pontos. A partir desse procedimento de interpolação do IDW foram geradas as isolinhas da distribuição espacial sazonal da precipitação através da utilização da opção Surface – “Create Contours” do software ArcView 3.2 (Figura 21). Metodologia semelhante foi utilizada por Ribeiro (2010).

Depois de feita a interpolação dos dados de precipitação, foram criados os mapas com as distribuições espaciais sazonais das ocorrências de raios juntamente com a precipitação.

Figura 21: Etapas para geração dos mapas de isolinhas de precipitação, através dos dados obtidos das 80 estações pluviométricas da ANA e INMET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010.

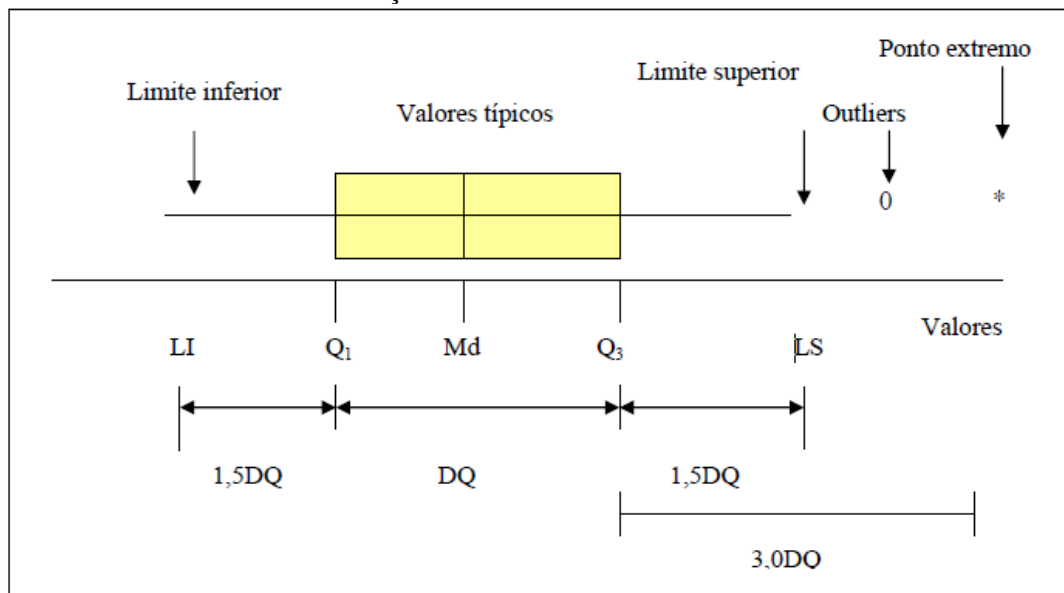


Fonte: Do Autor.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística foi feita uma análise descritiva dos dados, através do uso do software STATISTICA 8.0, sendo este um software que apresenta um conjunto de ferramentas para análises estatísticas, gestão e visualização de base de dados. A partir disso foram geradas figuras do tipo Boxplot como forma de representar graficamente os dados da distribuição de uma variável quantitativa com base em seus parâmetros, sejam eles: o menor valor (x_1); quartil inferior (Q_1); mediana (é o valor exatamente no meio de um conjunto ordenado de números) (Q_2); quartil superior (Q_3) e o maior valor (x_n), que são significativos para se ter noção da posição, dispersão e assimetria da distribuição dos dados. Na sua elaboração são levados em consideração os quartis e os limites da distribuição, possibilitando assim uma visualização do posicionamento da distribuição na escala da variável (MEDRI, 2011). O exemplo de gráfico Boxplot pode ser observado na Figura 22.

Figura 22: Exemplo explicativo de um gráfico boxplot, em que se pode observar os quartis e os maiores e menores valores da distribuição de uma determinada variável.



Fonte: Medri (2011).

A escala de medida da variável está localizada na linha horizontal do quadro onde está inserida a figura, sendo que na caixa retangular da figura são fornecidos os quartis Q_1 , na

parte esquerda; Q_3 na parte direita da caixa e entre eles localiza-se a Mediana da distribuição (Md). Já as linhas horizontais que saem da caixa terminam nos limites inferior (LI) e superior (LS) da distribuição e entre esses limites têm-se os valores considerados como típicos da distribuição, sendo que os limites são definidos a partir da distância entre os quartis Q_3 e Q_1 , ou seja, do desvio inter-quartil: $DQ = Q_3 - Q_1$ (MEDRI, 2011).

Os valores observados e que sejam superiores a 1,5 desvio inter-quartil para cima ou para baixo são declarados atípicos ou possíveis outliers, já que os pontos encontrados entre os valores acima de 1,5 inter-quartil e abaixo 3,0 inter-quartil são denominados de outliers, enquanto os valores que ultrapassem 3,0 inter-quartil para cima ou para baixo são considerados como pontos extremos, sendo que quanto maior for o valor do desvio inter-quartil, maior será a variabilidade da distribuição (MEDRI, 2011).

Na estatística descritiva, um gráfico de caixa ou boxplot (também conhecido como diagrama de “caixa-e-bigode” ou trama) é uma maneira conveniente de representar graficamente, já q ele proporciona informações relevantes no que diz respeito do comportamento dos dados, tal como a simetria e variabilidade. Por isso se a amplitude for consideravelmente maior que a distância interquartilica e a mediana apresentar valores mais pertos do 1º quartil ao invés do 3º quartil, isto é indicativo de assimetria positiva e de grande dispersão das observações (GOMES, 2011; MEDRI, 2011).

3.3.1 Análise de variância (ANOVA)

Posteriormente a análise descritiva dos dados foi utilizado a Análise de Variância (ANOVA), sendo um teste de hipótese que tem o propósito de averiguar se existem diferenças significativas ou não entre as estimativas médias a e b. Portanto, a ANOVA é um método estatístico em que duas ou mais médias populacionais são testadas, baseado na análise de variâncias amostrais (TRIOLA, 2005).

As hipóteses nulas (H_0) e alternativas (H_1) consideradas pela ANOVA são: H_0 correspondendo à igualdade das médias populacionais, enquanto H_1 a diferença entre pelo menos uma das médias populacionais. Para isso pode-se aplicar um nível de significância igual a 1%, $\alpha = 0,01$ ou então de 5%, $\alpha = 0,05$ na utilização do teste da ANOVA e os graus de liberdades sendo definidos por: numerador é igual a $(k-1)$, em que k é composto pelo número

de médias populacionais que estão sendo testadas, enquanto que no denominador é igual a (N-k).

Ainda segundo Triola (2005), para a aplicação do teste da ANOVA, necessita-se o cálculo da estatística de teste F. Estatística essa definida pela razão de duas estimativas: Variância entre amostras e variância dentro das amostras, como pode ser observado abaixo.

$$F = \frac{\text{variância entre amostras}}{\text{variância dentro das amostras}} \quad (4)$$

Se o resultado obtido através do cálculo da estatística de teste F for maior que o valor crítico tabelado pela distribuição F (condizente com à estatística teórica), então rejeita-se a hipótese H_0 e indicando a existência de diferenças significativas em pelo menos uma das médias que estão sendo comparadas. Outra possibilidade de rejeição de H_0 pode ser feito através do cálculo de P, já que se o valor calculado de P for menor ou igual a $\alpha = 0,05$ (grau de confiança de 95%), então H_0 é rejeitada, caso P seja maior que $\alpha = 0,05$ (grau de confiança de 95%) a hipótese nula não será rejeitada e, portanto, não existindo evidências suficientes para indicar diferenças significativas entre as médias analisadas (TIMOSSI, 2009).

Para testar as hipóteses utilizou-se da ANOVA, através do uso do software STATISTICA 8.0. Os dados utilizados correspondem às médias mensais das ocorrências de raios do período estudado, agrupados mensalmente, por hora (24 horas do dia) e também por trimestres (JJA, SON, DJF, MAM).

As hipóteses nula (H_0) como sendo iguais as médias dos grupos estudados (tipo de cobertura da superfície, sazonalidade e horário do dia), tendo um nível de significância de 95% ou $\alpha = 0,05$. Em função disso as hipóteses são:

- H_0 : A ocorrência de raios não varia em função do tipo de cobertura da superfície.
- H_1 : A ocorrência de raios varia em função do tipo de cobertura da superfície.

- H_0 : A ocorrência de raios não varia em função da sazonalidade.
- H_1 : A ocorrência de raios varia em função da sazonalidade.

- H_0 : A ocorrência de raios não varia em função da hora do dia.
- H_1 : A ocorrência de raios varia em função da hora do dia.

Para isso temos que as variáveis são:

- Variável dependente: Número de eventos de raios.
- Fatores: Tratamento, Sazonalidade, Hora do dia.
- Tratamento: Cada uma das 8 áreas de estudo, que representam um tipo de cobertura de superfície específica.
- Sazonalidade: Os trimestres JJA, SON, DJF, MAM.
- Hora do dia: Cada uma das 24 horas do dia.

3.3.2 Teste de TUKEY

Quando a ANOVA de um experimento mostrar que as médias dos tratamentos não são estatisticamente iguais, é apenas lógico perguntar quais são as médias que diferem entre si. Por isso é importante aplicar um teste de comparação de médias dos tratamentos para saber quais médias se diferem entre si, já que os testes de comparação de médias são usados para complementar os estudos da ANOVA e indicam quais médias são diferentes entre si (OLIVEIRA, 2008).

O teste de Tukey é um teste que calcula a diferença mínima necessária para que as médias possam ser consideradas, significativamente, diferentes. Todavia, o teste de Tukey admite somente comparações em pares, sendo assim é possível se comparar a média de qualquer grupo com a de outro (BARROS; REIS, 2003).

O teste de Tukey usa a distribuição de probabilidade denominada de Distribuição de Amplitude Studentizada, sendo esta distribuição dependente de dois parâmetros que são: Grau de liberdade do numerador m e do denominador v . Tem-se também um valor crítico tabelado definido pelos graus de liberdade do numerador r denominador. O número de grau de liberdade do numerador para o valor crítico apropriado é igual ao número de médias de populações ou tratamentos que estão sendo comparadas, em que o número de grau de liberdade para o denominador é $(n - o$ número de variáveis analisadas). Quando os valores das

médias são calculados e substituídos, o resultado é um conjunto de intervalos de confiança com um nível de confiança simultâneo $100(1-\alpha)\%$ para todas as diferenças do padrão $\mu_i - \mu_j$. E todo intervalo que não inclui 0 leva a conclusão que os valores correspondentes de μ_i e μ_j diferem significativamente entre si (WEBSTER, 2006; TIMOSSI, 2009).

Exemplificando o critério, supondo que se tenha 4 μ s diferentes ficaria descrito da seguinte forma:

$$|\mu_1 - \mu_2| = \text{valor a}$$

$$|\mu_1 - \mu_3| = \text{valor b}$$

$$|\mu_2 - \mu_3| = \text{valor c}$$

$$|\mu_2 - \mu_4| = \text{valor d}$$

$$|\mu_3 - \mu_4| = \text{valor e}$$

O critério Tukey é:

$$T = q_{\alpha, c, n - c} \sqrt{\frac{MQD}{r_1}} \quad (5)$$

Onde:

T = Critério de Tukey

MQD = Média dos quadrados dos erros

r_1 = Número de pares de médias amostrais

Após obter o resultado de T , observa-se que qualquer diferença absoluta entre as médias das amostras (valores a, b, c, d, e) que seja maior do que o valor de T é considerado significante e, portanto, acarreta que suas respectivas médias populacionais sejam diferentes (WEBSTER, 2006).

As comparações múltiplas no teste de Tukey são dispostas como um conjunto de intervalos de confiança, e não como um conjunto de testes hipótese. Isso permite avaliar o significado prático das diferenças entre os intervalos de dados, além de disponibilizar a significância estatística. De forma geral, a hipótese nula de nenhuma diferença entre as médias é rejeitada se o valor zero não for contido no intervalo de confiança (DEVORE, 2006; WEBSTER, 2006).

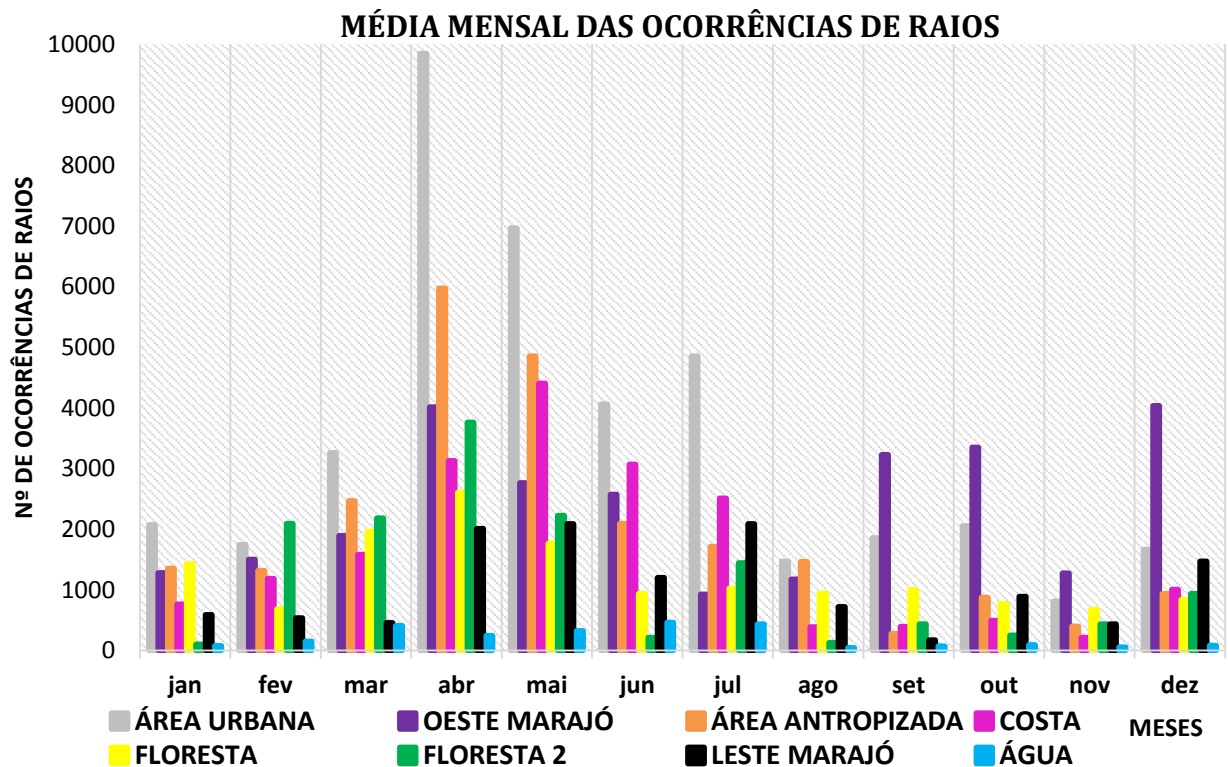
A partir disso para este estudo têm-se: 8 μ s, 4 μ s e 24 μ s, correspondendo respectivamente as médias das 8 áreas de estudo (representando cada uma um tipo de superfície específica), dos 4 trimestres (JJA, SON, DJF, MAM) e de cada uma das 24 horas do dia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS

Na Figura 23 é mostrada a distribuição da média mensal das ocorrências de raios, detectados pelos sensores da rede STARNET durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010. Verifica-se uma grande variabilidade mensal ao longo do ano nas ocorrências de raios entre as áreas e dentro das mesmas, em que os meses de Março a Julho é encontrado as maiores médias de ocorrências de raios.

Figura 23: Média mensal das ocorrências de raios detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Observa-se também que nos meses de Janeiro a Agosto teve o maior número de raios detectados na área Urbana (com exceção do mês de Fevereiro em que a área de Floresta 2

apresentou a maior média mensal na quantidade de raios detectados 2.096 contra 1.745 da área Urbana), porém no período de Setembro a Dezembro as maiores ocorrências foram constatadas no Oeste da ilha do Marajó (3.232, 3.349, 1.227 e 4.036 ocorrências de raios respectivamente em Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro). A maior média mensal foi observada no mês de Abril com 9.849 raios detectados na área Urbana, enquanto a menor é a do mês de Agosto com 42 ocorrências detectadas na área de com superfície de Água.

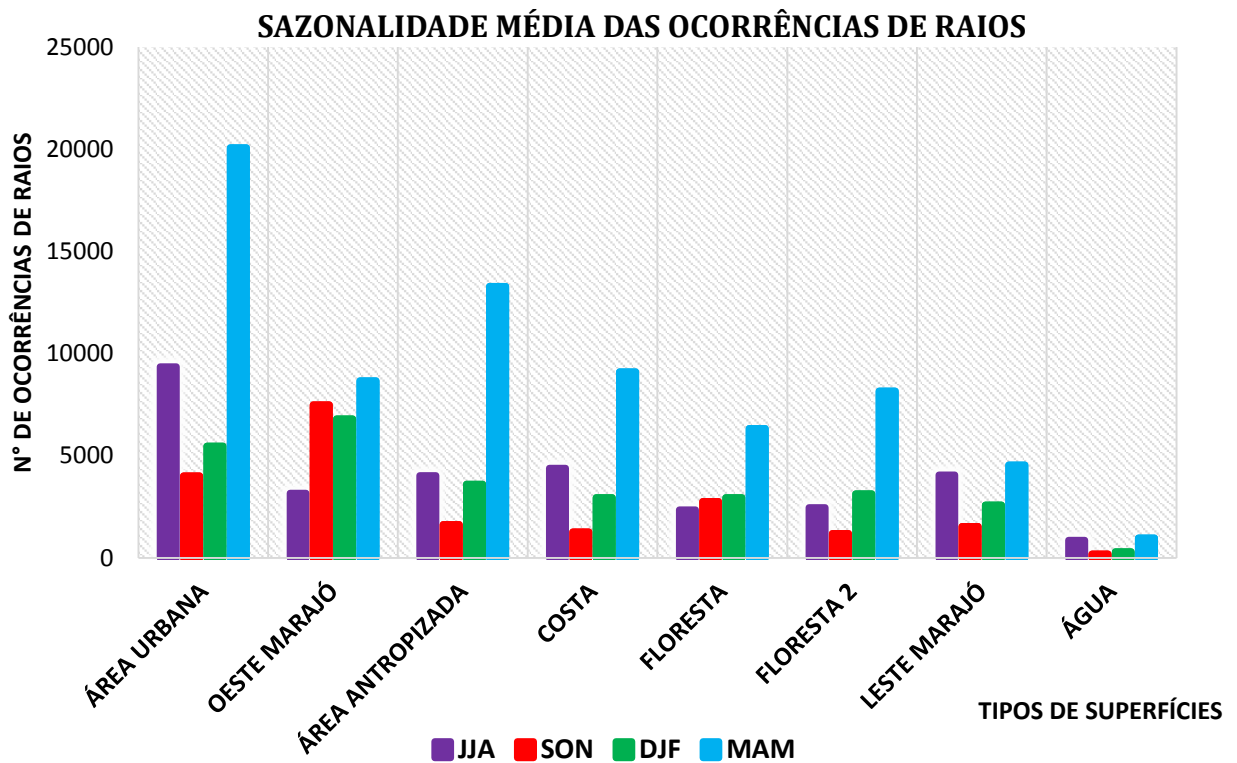
As menores médias mensais foram observadas, quase na totalidade, na região de água (exceto o mês de Junho, com 215 raios detectados na área de Floresta 2).

Essa grande variabilidade temporal nas detecções de raios, entre e dentro das áreas de estudo, pode ser explicado pela existência de sistemas meteorológicos que atuam sazonalmente na região, como por exemplo, a ZCIT e LI, e que dependendo dos seus respectivos deslocamentos, podem ter contribuído de maneira mais significativa para a quantidade de raios observados no espaço de tempo estudado, do que a própria diferença dos tipos de cobertura do solo. Isso foi observado por Ribeiro (2010) e Pompeu (2012), que constataram que esses efeitos sazonais acarretam em um grande incremento nas ocorrências de raios no período de Abril a Julho, nessa região, assim como também as maiores atividades convectivas influenciam, quantitativamente, em maiores ocorrências de raios.

4.2 SAZONALIDADE MÉDIA DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS

As sazonalidades médias das ocorrências de raios, detectados pelos sensores da rede STARNET durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, estão dispostas na Figura 24, em que se pode observar que MAM é o trimestre de maior ocorrência de raios para todas as áreas, com a área Urbana apresentando as maiores ocorrências, seguindo das áreas Antropizada, Costa, Oeste da ilha do Marajó, Floresta 2, Floresta, Leste da ilha do Marajó e Água com respectivamente 20.081, 13.300, 9.116, 8.676, 8.170, 6.335, 4.554 e 978 raios detectados.

Figura 24: Sazonalidade média das ocorrências de raios detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

A maior ocorrência de raios verificadas no trimestre de MAM, pode ter sido induzida pela presença da ZCIT e das LIs, já que efeitos sazonais desses sistemas ocasionam em um grande incremento nas ocorrências de raios no período de Abril a Julho. Isto foi observado por Ribeiro (2010), Pompeu (2012), e por Cohen et al. (1989) que observaram a ocorrência do deslocamento das LIs em direção ao interior do continente se dá com maior frequência entre Abril e Agosto.

No trimestre de JJA as maiores detecções de raios ocorreram na área Urbana, seguidas das áreas da Costa, Leste do Marajó, Antropizada, Oeste da ilha do Marajó, Floresta 2, Floresta e Água com respectivamente 9.365, 4.391, 4.068, 4.039, 3.180, 2.471, 3.358 e 871 raios detectados nesse período. No trimestre SON as maiores detecções de raios decorreram no Oeste da ilha do Marajó, logo depois pelas áreas Urbana, Floresta, Antropizada, Leste da ilha do Marajó, Costa, Floresta 2 e Água com respectivamente 7.499, 4.015, 2.769, 1.643, 1.546, 1.270, 1.195 e 191 raios detectados. Em DJF as áreas com maiores incidências de raios detectados verificaram-se no Oeste da ilha do Marajó, continuando com as áreas Urbana,

Antropizada, Floresta 2, (Costa e Floresta), Leste da ilha do Marajó e Água com respectivamente 6.814, 5.482, 3.611, 3.139, (2.950 para ambos), 2.596 e 308 raios detectados.

Percebe-se ainda nos trimestres de MAM e SON, DJF e JJA a existência de um comportamento padrão, seguido por todas ou a maioria das áreas (dependendo do trimestre), ou seja, em MAM foram observadas as maiores médias de raios detectados em todas as áreas, enquanto que em SON é encontrada as menores médias em seis das oito áreas estudadas (exceção do Oeste do Marajó e Floresta). Já nos trimestres de DJF também se têm seis áreas, apresentando a segunda menor média de raios (exceção das duas áreas de florestas) e em JJA cinco das oito áreas apresentam a segunda maior média nesse trimestre (exceção para o Oeste do Marajó e as duas áreas de florestas).

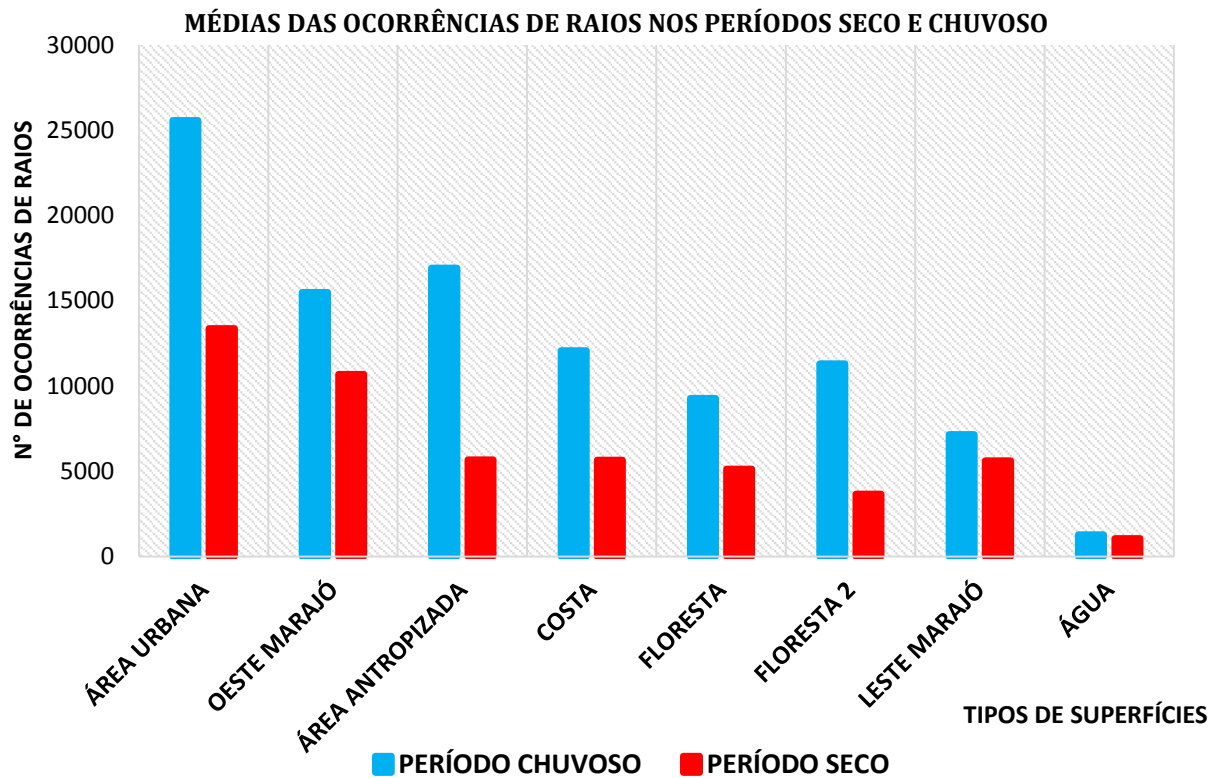
De modo geral, cinco das oito áreas estudadas apresentaram o mesmo comportamento em todos os trimestres (Área Urbana, Antropizada, Costa, Leste do Marajó e Água). Duas áreas apresentaram comportamento diferente em dois trimestres (Oeste do Marajó (JJA e SON) e Floresta 2 (JJA e DJF)) e apenas uma das áreas apresentou-se diferente em três trimestres (Floresta (JJA, SON e DJF)). Isto posto, pode-se inferir que a climatologia envolvendo todas as áreas é semelhante, visto que o comportamento das ocorrências de raios tem variações sazonais semelhantes em quase todas as áreas, ou seja, apresentam um mesmo padrão.

4.3 MÉDIA DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

Observa-se que no período chuvoso (Dezembro a Maio) é onde aconteceram as maiores detecções de raios em todas as áreas em comparação com o período seco. As médias das ocorrências de raios ocorridas nos períodos, seco e chuvoso, de Junho de 2008 a Novembro de 2010 estão dispostas na Figura 25, em que se pode verificar, no período seco (Junho a Novembro), as maiores detecções de raios aconteceram na área Urbana, seguida pelas áreas do Oeste da ilha do Marajó, Antropizada, Costa, Leste da ilha do Marajó, Floresta, Floresta 2 e Água com respectivamente 13.380, 10.679, 5.682, 5.661, 5.615, 5.127, 3.666 e 1062 raios detectados nesse período. Já no período chuvoso as maiores detecções de raios sucederam na área Urbana, seguidas pelas áreas: Antropizada, Oeste da ilha do Marajó, Costa,

Floresta 2, Floresta, Leste da ilha do Marajó e Água com respectivamente 25.563, 16.912, 15.490, 12.067, 11.309, 9.285, 7.150 e 1.286 raios detectados.

Figura 25: Média das ocorrências de raios nos períodos seco (Junho a Novembro) e chuvoso (Dezembro a Maio), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



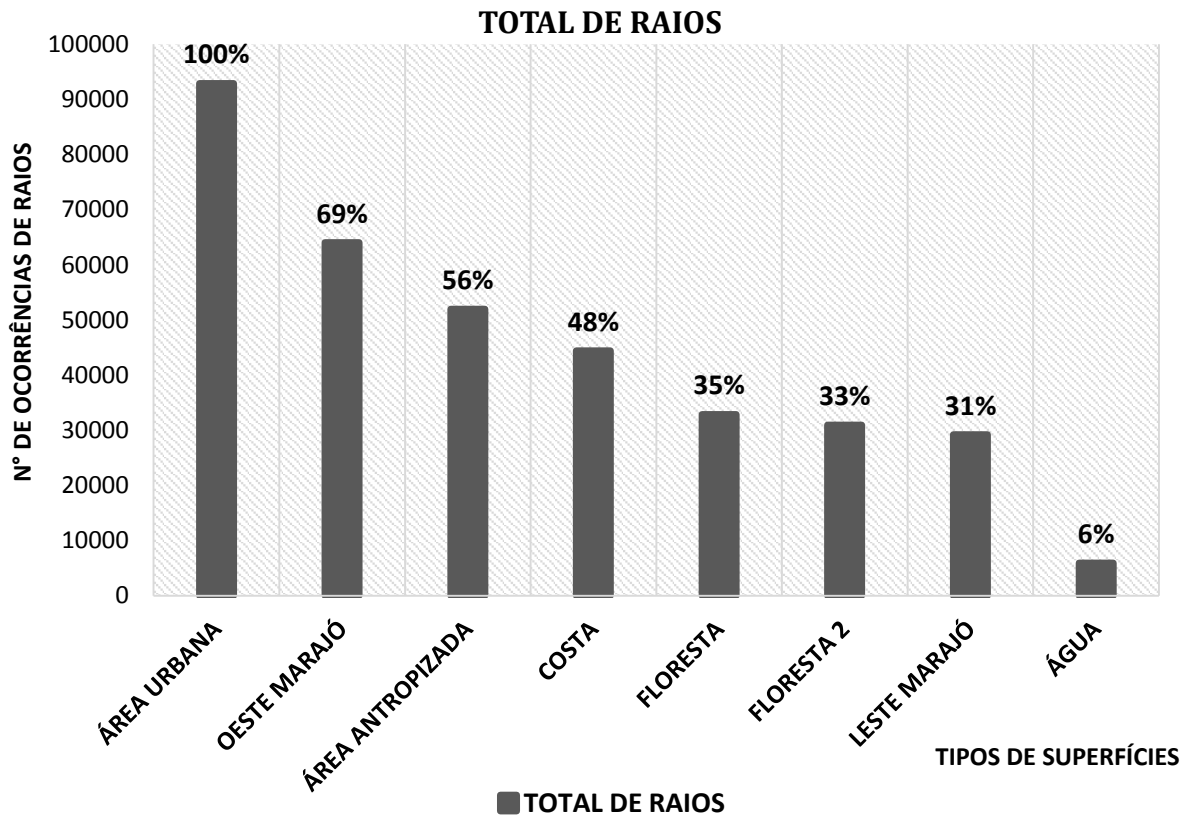
Fonte: Do Autor.

Percebe-se ainda a existência de um comportamento padrão seguido por todas as áreas estudadas que corrobora com os resultados sazonais encontrados e discutidos anteriormente, posto que no período chuvoso todas as áreas apresentam suas maiores detecções nesse período e, por conseguinte as menores detecções são observadas no período seco, ou seja, todas as áreas seguem o padrão de ocorrência de raios num mesmo período, seja ele seco ou chuvoso. Em vista disso e conjuntamente com os resultados sazonais descritos primeiramente, pode-se depreender com mais firmeza, que a climatologia abrangendo a totalidade das áreas é semelhante, apresentando certa homogeneidade, dado que o comportamento semelhante das ocorrências de raios, constatados em todas as áreas nos períodos seco e chuvoso, sem exceções.

4.4 NÚMERO TOTAL DE RAIOS DETECTADOS

Nesse trabalho foram analisados um total de 352.364 raios, detectados pelos sensores da rede STARNET durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em todas as áreas de estudo, com 92.930 na área Urbana de Belém, 64.056 no Oeste da Ilha do Marajó, 51.963 na área Antropizada, 44.441 na área Costeira, 32.894 na área de Floresta, 30.963 na área de Floresta 2, 29.205 no Leste da Ilha do Marajó e 5.912 raios na área de Água, como pode ser verificado na Figura 26.

Figura 26: Total das ocorrências de raios e percentagens relativas detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Sendo como referência a área Urbana e atribuindo 100% do número de eventos nela observados, as percentagens relativas de raios nas outras áreas podem ser calculadas. A partir disso, observa-se uma significativa diferença em termo de percentual em relação as outras

áreas, já que a região do Oeste da ilha do Marajó apresenta 69%, seguida das áreas Antropizada com 56%, Costeira com 48%, Floresta com 35%, Floresta 2 com 33%, Leste da ilha do Marajó com 31% e apresentando o mínimo percentual na área com superfície de Água com apenas 6% das ocorrências. As áreas de Florestas apresentam – se bem parecidas em termos percentuais, com apenas 2% de diferença, entretanto quando se observa as áreas de maior e menor percentual verifica-se uma diferença muito acentuada, apresentando 94% de diferença.

A análise dos números totais de raios, detectados em cada uma das áreas, mostra a existência de uma grande variação na incidência desse fenômeno, ou seja, a quantidade das ocorrências de raios varia em função dos diferentes tipos de superfícies, como pode se verificar observando a área com as maiores ocorrências (Área Urbana de Belém) e a área com as menores ocorrências de raios (Área de Água).

Segundo o grupo de pesquisa ELAT/INPE a menor quantidade de raios observados em superfície de água é explicada pela dificuldade das superfícies cobertas por água (oceanos, rios, mares) responderem às variações de temperatura ao longo do dia, não apresentando um relevo acidentado e por conter uma pequena concentração de aerossóis na atmosfera em contraste com a quantidade observada nas superfícies continentais.

A não presença de relevos na área do Leste da ilha do Marajó também pode justificar a baixa quantidade de raios observados nessa área, visto que a presença dos campos alagáveis facilita a circulação do vento e o transporte de umidade do Oceano Atlântico para dentro da ilha, já que os campos não ocasionam barreiras para esta circulação. Já a parte Oeste da ilha, local onde a circulação encontra com barreiras, em virtude da presença de relevos (topografia) presentes nessa região, facilitando assim a formação de nuvens que se eletrificam e conseqüentemente tende a apresentar uma maior ocorrência de raios, já que de acordo com Smith (1979), a ação do relevo produz, no início, a circulação atmosférica, em que ocorre desde a origem de dutos de ar até o disparo da convecção causado através da forçante orográfica.

A hipótese para a explicação da quantidade de raios observados nas regiões de florestas é a de que, como no caso da explicação da quantidade raios sobre a superfície de água, as florestas apresentam pouca variedade térmica na sua superfície e, portanto, pouco movimento convectivo nas nuvens, para produzir eletrificação. Se isso se demonstrar verdadeiro, formam-se muitas nuvens e precipitação sobre as florestas e, portanto, poucos raios, entretanto não foi possível testar essa hipótese. Outra possível hipótese pode ser o fato

do processo de formação de nuvens na atmosfera acima da floresta, através dos COV servindo como NCN, não propiciarem a formação de nuvens com grande desenvolvimento vertical e eletrificadas, sendo assim a ocorrência de raios seria menor.

Já a diferença observada na quantidade de raios entre as áreas de florestas e a área Antropizada, pode ser explicada devido a diminuição de áreas de florestas ou substituição por áreas de pastagem e que passam por intensa antropização, acarretar em mudanças no processo de evaporação e, conseqüentemente, no balanço de energia superficial, visto que mudanças nas componentes do balanço de energia provocaria alterações nos fluxos de calor e energia (calor sensível e latente), modificando com isso a temperatura e umidade do ar. Por isso os processos de formação de nuvens sobre essas áreas poderiam ser afetados, devido as mudanças ocorridas no albedo, mudança essa acarretado pela transformação de áreas florestais para área de pastagens (área Antropizada) (MACHADO, 2012).

A quantidade de raios observados na área da Costa pode estar relacionada com a penetração de sistemas de Mesoescala, que se formam devido a circulação de brisas marítimas, como as LIs que penetram no continente, principalmente no período seco, e produzem um grande aumento nas ocorrências de raios observados (COHEN et al., 1995; SOUZA, 2009). Também está relacionada com o transporte de umidade advinda do Oceano Atlântico Equatorial que é carregada para dentro do continente, entretanto a formação de nuvens tendem a ser formadas mais para dentro dos continentes e não exatamente sobre a costa. Os resultados obtidos entre as áreas da Costa e a Urbana é corroborado pelos resultados encontrados por Rocha et al. (2007), que observaram que áreas costeiras apresentam uma menor quantidade de raios do que as encontrada na área urbana de Belém.

Já a quantidade de raios observados dentro da área Urbana, deve-se ao fato de ser uma área que se apresenta grande quantidade de área construída, ocasionando uma maior aquecimento superficial, provocando assim uma maior convecção e geração de nuvens e conseqüentemente um maior número de ocorrências desse fenômeno. Somando-se a isso está a proximidade de rios presentes na região, fazendo ter disponibilidade de vapor d'água para aumentar a convecção. Também a presença de edificações altas, torres metálicas, antenas e para raios facilitam as descargas elétricas atmosféricas sobre essa área, assim como a problemática das “ilhas de calor” em que as temperaturas médias dos centros das grandes cidades urbanizadas tendem a ser maiores que as temperaturas médias das regiões rurais próximas.

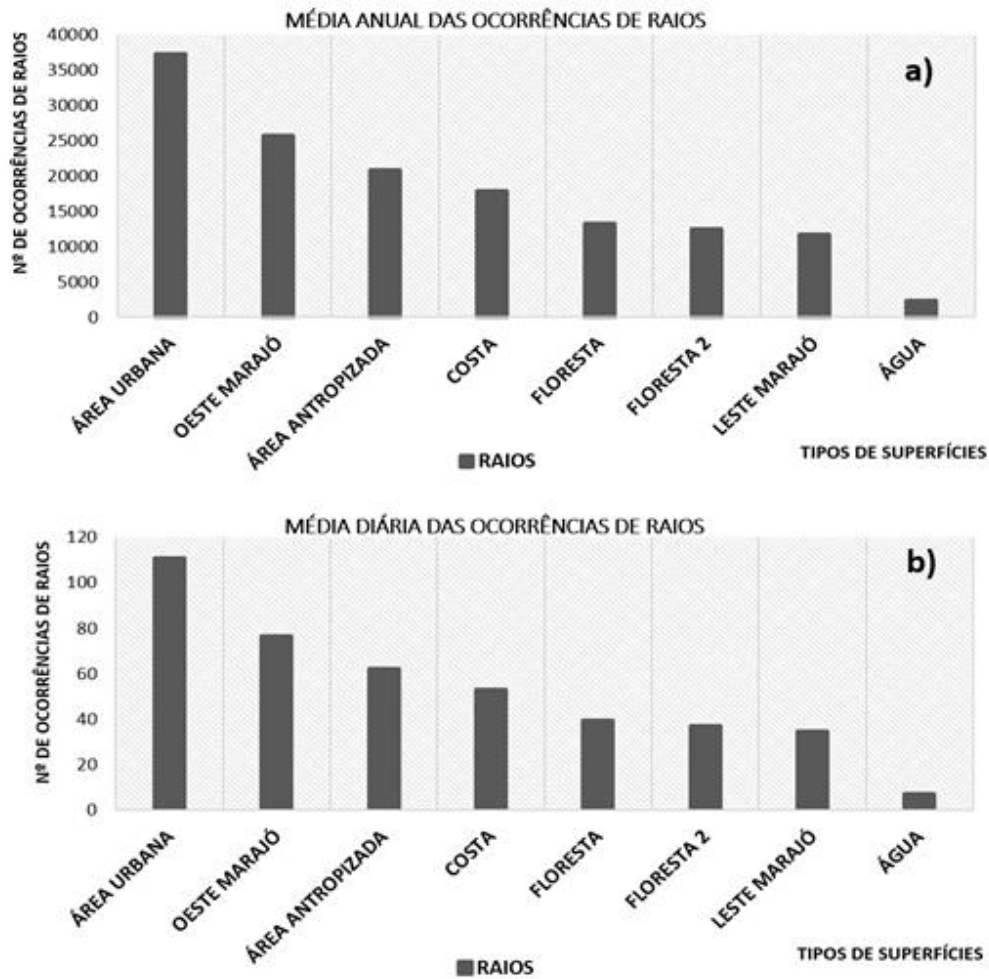
De modo geral a diferença de ocorrências de raios entre os diferentes tipos de superfícies pode ser justificada através da hipótese de que os tipos de superfícies apresentam diferentes condutividades elétricas do solo e por isso ocasionam essa diferença na quantidade de raios observados em cada área.

4.5 DISTRIBUIÇÃO MÉDIA ANUAL E DIÁRIA DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS

As distribuições das médias anuais e diárias de ocorrências de raios, detectados pelos sensores da rede STARNET durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, estão dispostas como mostra a Figura 27a e 27b, em que se constata para a área Urbana as maiores médias (37.172 raios.ano⁻¹; 111 raios.dia⁻¹), seguindo-se das áreas do Oeste da ilha Marajó (25.622 raios.ano⁻¹; 76 raios.dia⁻¹), Antropizada (20.785 raios.ano⁻¹; 61 raios.dia⁻¹); da Costa (17.776 raios.ano⁻¹; 53 raios.dia⁻¹); Floresta (13.158 raios.ano⁻¹; 39 raios.dia⁻¹); Floresta 2 (12.385 raios.ano⁻¹; 37 raios.dia⁻¹); Leste da ilha do Marajó (11.682 raios.ano⁻¹; 35 raios.dia⁻¹) e finalizando com a área de superfície de Água (2.364 raios.ano⁻¹; 7 raios.dia⁻¹).

Observa-se a grande variação de médias de raios entre as áreas, sendo que as áreas de Floresta e Leste do Marajó apresentam médias próximas entre si, mas quando comparamos as médias da área Urbana e de Água pode-se verificar uma grande disparidade das médias de raios entre essas áreas. Isso mostra claramente a existência da influência dos tipos de superfícies nas ocorrências de raios.

Figura 27: Média anual de raios (raios.ano⁻¹) (a) e média diária de raios (raios.dia⁻¹) (b), detectados pelos sensores da rede STARNET, no período de Junho de 2008 a Novembro 2010.

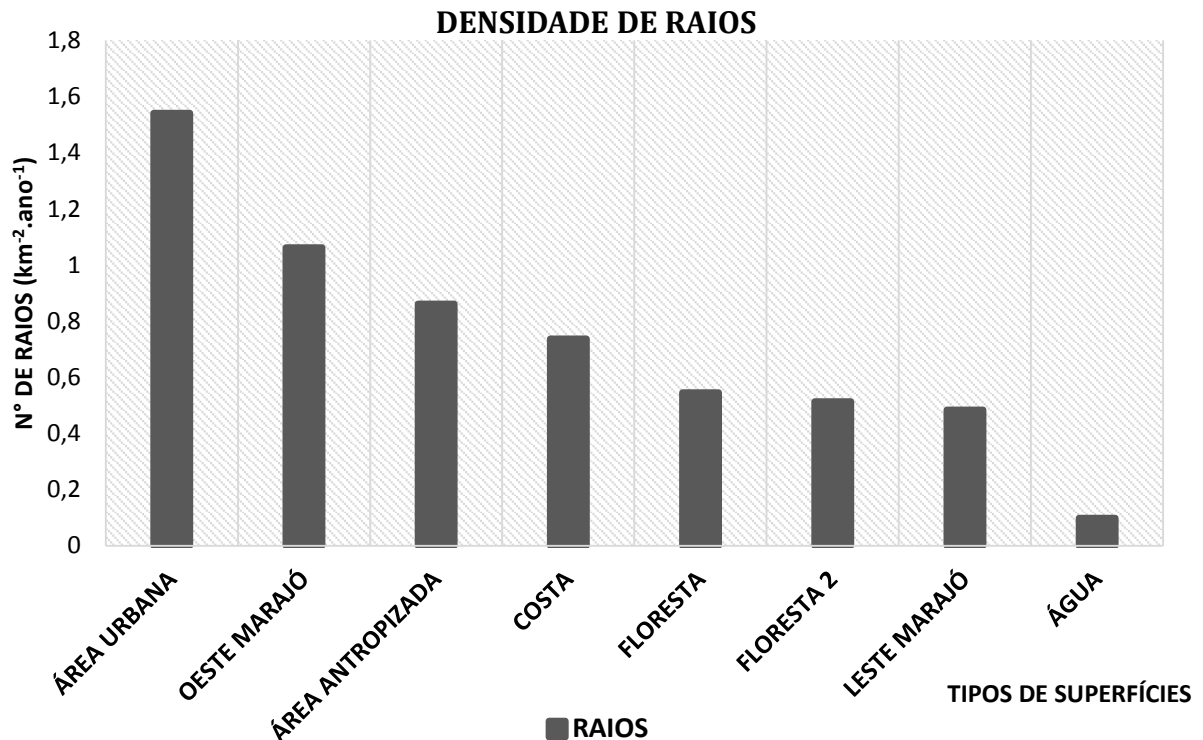


Fonte: Do Autor.

4.6 DENSIDADES DAS OCORRÊNCIAS DE RAIOS

A densidade de raios, detectados pelos sensores da rede STARNET durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, é apresentada na Figura 28, em que se observa uma grande variação de densidade entre as áreas de estudo.

Figura 28: Densidade de raios ($\text{km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Dentre as áreas, a maior densidade é referente à área Urbana, com densidade de 1,5 raios. $\text{km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, sendo esta densidade aproximadamente 15 vezes maior a encontrada na área de superfície de Água (0,098 raios. $\text{km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$). Assim como a quantidade de raios é influenciada pelos diferentes tipos de superfícies, suas densidades também sofrem essa influência.

Verifica-se também que as densidades de raios encontradas estão bem abaixo do que diversos estudos mostram, como os do ELAT/INPE, utilizando dados de satélites, em que a média da densidade de raios nas regiões de estudo estão entre 10 e 15 raios. $\text{km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, para as regiões metropolitana de Belém e proximidades, e para região Oeste da ilha do Marajó; e em torno de 2 a 5 raios. $\text{km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, para as regiões costeira do Estado do Pará e Leste da ilha do Marajó, como pôde ser visto anteriormente no item 2.4.

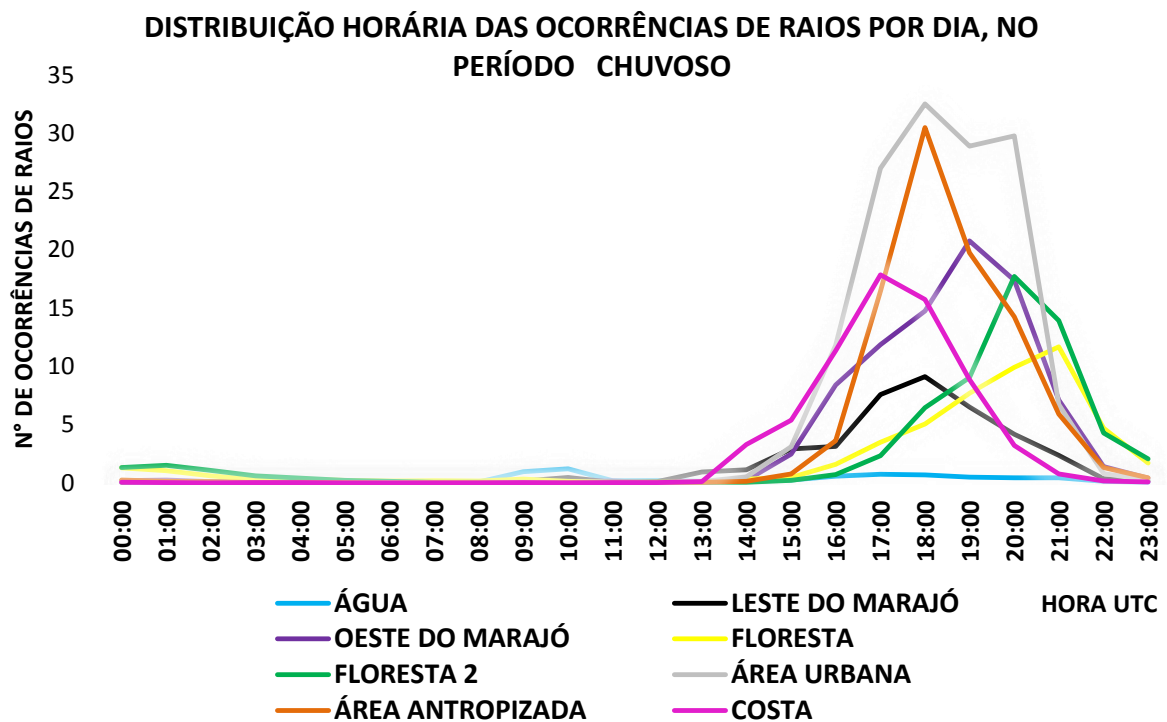
Como se pode constatar, a rede STARNET não detecta a quantidade real de ocorrências de raios nos locais de estudo, pois possui uma baixa eficiência de detecção nessas áreas, cerca de 10 vezes menor do que a encontrada pelo ELAT/INPE. Apesar disso os resultados são relevantes, pois a detecção é uniforme em todas as áreas, ou seja, a baixa

eficiência é compensada na uniformidade de detecção, por isso, para efeito de comparação entre as áreas estudadas os resultados são pertinentes e, portanto, para efeitos qualitativos essa baixa eficiência de detecção não traz problemas para o presente estudo.

4.7 DISTRIBUIÇÃO HORÁRIA DOS RAIOS NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

As distribuições horárias das ocorrências de raios no período chuvoso (Dezembro - Maio, 2008-2010) podem ser observadas na Figura 29. Verifica-se que as maiores atividades elétricas aconteceram entre os horários 14:00h UTC e 22:00h UTC, apresentando praticamente o mesmo comportamento horário em suas atividades elétricas em todas as áreas e com os picos constados entre as 18:00h UTC e 21:00h UTC.

Figura 29: Distribuição horária das ocorrências de raios no período chuvoso (Dezembro a Maio), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

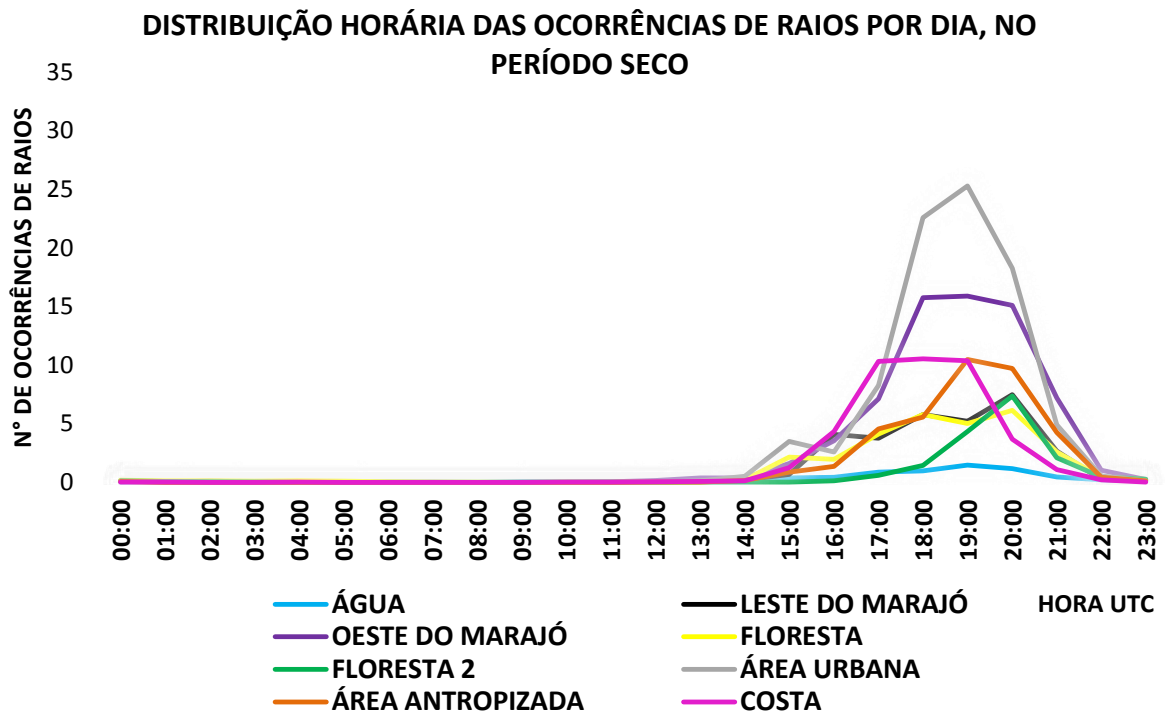
Os maiores picos foram encontrados nas áreas Urbana, entre as 18:00h UTC e 20:00h UTC (30 -33 raios/hora); Antropizada, as 18:00h UTC (30 raios/hora); Oeste da ilha do Marajó, as 19:00h UTC (21 raios/hora); Costa, as 17:00h UTC (18 raios/hora); Floresta 2, as 20:00h UTC (18 raios/hora); Floresta, as 21:00h UTC (12 raios/hora); Leste da ilha do Marajó, as 18:00h UTC (9 raios/hora); e por último na superfície de Água sendo praticamente constante e apresentando 1 raio/hora.

Analisando o comportamento temporal das atividades elétricas, verifica-se que as mesmas começam a intensificar por volta das 14:00h UTC, tendo seus horários de picos entre as 17:00h UTC e 21:00h UTC e indo, aproximadamente, até as 22:00h UTC com exceção da área de água (apresenta horário de pico as 10:00h UTC). Também nota-se que os máximos horários coincidem nas áreas Urbana, Oeste do Marajó e Antropizada (18:00h UTC) e que as áreas de florestas apresentam comportamento semelhante entre si, ou seja, começam por volta das 16:00h UTC, com picos entre as 20:00h UTC e 21:00h UTC e indo até as 02:00h UTC, sendo que isto pode ocorrer devido elas se encontrarem mais adentro do continente em comparação com as outras áreas e, portanto, mostrando padrões diferentes das demais áreas.

Interessante notar que as atividades elétricas começam a partir da região oceânica e vão adentrando em direção a parte central continental até as áreas de floresta e tendo sentido de Nordeste. Isso é consistente com a predominância de direção dos ventos que deslocam os sistemas de nuvens da costa para o continente nessa região.

Já distribuições horárias das ocorrências de raios no período seco (Junho - Novembro, 2008-2010) podem ser observadas na Figura 30. Verifica-se que no período seco foram observadas, conforme esperado, as menores ocorrências de raios em comparação com as encontradas no período chuvoso. As maiores atividades elétricas desse período aconteceram entre os horários 15:00h UTC e 22:00h UTC. O horário de pico das ocorrências de raios ficou entre as 18:00h UTC e 20:00h UTC (associado a atividade convectiva), apresentando praticamente o mesmo comportamento horário em suas atividades elétricas em todas as áreas. Ademais os maiores picos encontrados nas áreas Urbana, as 19:00h UTC (25 raios/hora); Oeste da Ilha do Marajó, as 19:00h UTC (16 raios/hora); Costa, as 18:00h UTC (11 raios/hora); Antropizada, as 19:00h UTC (10 raios/hora); Leste da ilha do Marajó, as 20:00h UTC (7 raios/hora); Floresta 2, as 20:00h UTC (7 raios/hora), Floresta, as 20:00h UTC (6 raios/hora) e por último a superfície de Água com comportamento quase constante de 1 raio/hora durante toda as 24:00h.

Figura 30: Distribuição horária das ocorrências de raios no período seco (Junho a Novembro), obtidas a partir dos sensores da rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

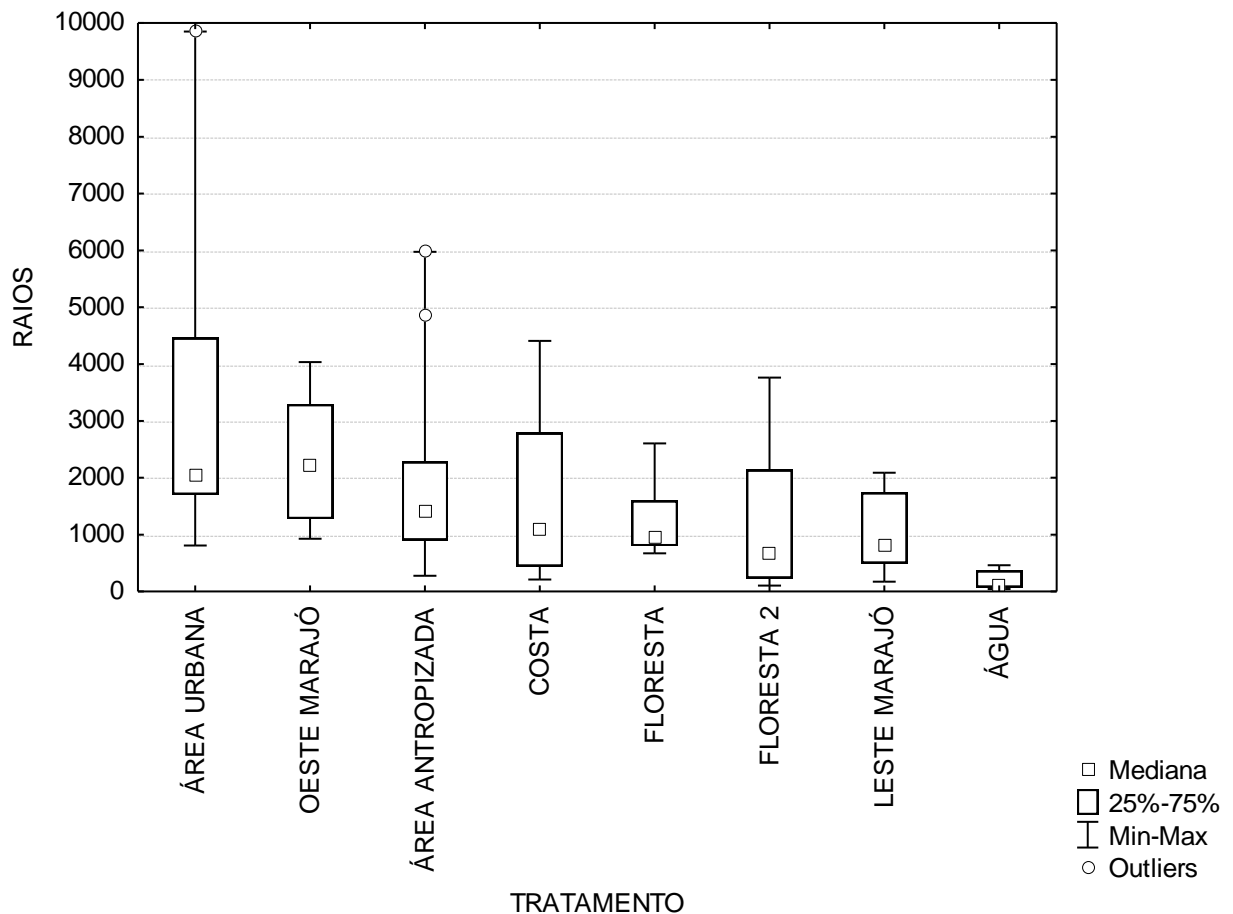
Em relação ao período chuvoso, a diminuição de raios, em cada área individual foi de aproximadamente: Costa, com quase 2 vezes menos ocorrências de raios; Antropizada, com 3 vezes menos ocorrências de raios; e as áreas de Florestas que apresentam cerca de 2 vezes menos raios no período seco. Essa diminuição pode ser explicada devido a atuação de sistemas precipitantes de grande escala, como a ZCIT, que atuam no período chuvoso e que incrementam a quantidade de raios detectados nesse período.

4.8 RESULTADOS ESTATÍSTICOS

4.8.1 Análise da Relação das Ocorrências de Raios com os Tipos de Superfícies

Na Figura 31 pode ser observada a distribuição dos dados de raios em relação aos tipos de superfícies. Em que se verifica que as áreas Urbana (mediana de 2.064 raios), Antropizada (mediana de 1.411 raios) apresentaram maior dispersão de dados (superiores) ou assimetria positiva, já que pode ser comprovado pelo tamanho do “bigode”, sendo que as áreas de Costa (mediana de 1.095 raios), Floresta (mediana de 970 raios), Leste do Marajó (mediana de 805 raios), Floresta 2 (mediana de 688 raios) e Água (mediana de 120 raios) exibem também maior dispersão de dados (superiores), pois a mediana dessas áreas estão localizadas mais próximas do 1º Quartil, enquanto que a área do Oeste do Marajó (mediana de 2.234 raios) apresentou dados (inferiores e superiores) simétricos. Constata-se ainda nas áreas Urbana e Antropizada a presença de outliers superiores: valores atípicos em relação aos demais dados, requerendo assim uma atenção especial no banco de dados da variável.

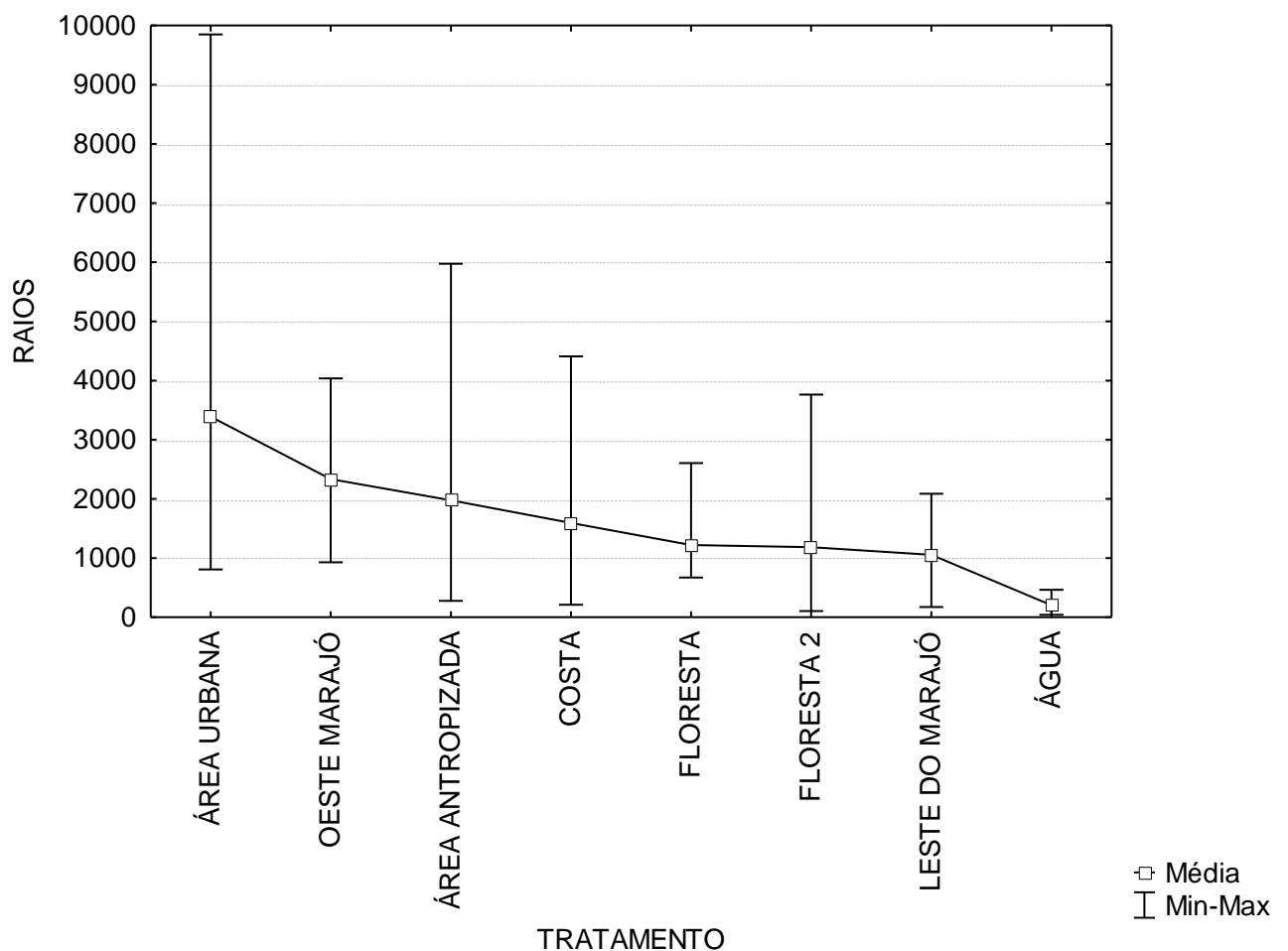
Figura 31: Boxplot das distribuições de ocorrências de raios em função dos tipos de superfícies (tratamento), detectados pela rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

As médias de raios em relação aos tipos de superfícies, observadas no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, podem ser conferidas na Figura 32. Verifica-se uma grande variação nas médias dos raios entre os tipos de superfícies, sendo que a maior média é a da área Urbana (3.389 Raios/Mês), seguida das áreas do Oeste do Marajó (2.335 Raios/Mês), Antropizada (1.978 Raios/Mês), Costa (1.594 Raios/Mês), Floresta (1.219 Raios/Mês), Floresta 2 (1.185 Raios/Mês), Leste do Marajó (1.054 Raios/Mês) e apresentando a menor média do período a área de Água (204 Raios/Mês). Vale ressaltar que as médias das áreas de florestas não apresenta muita variação entre si. Nota-se ainda a existência de uma dependência das ocorrências de raios em relação aos tipos de superfícies, visto que a quantidade de eventos de raios aumenta ou diminui conforme o tipo de superfície.

Figura 32: Variação das médias de ocorrências de raios em função dos tipos de superfícies (tratamento), detectados pela rede STARNET no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Os resultados estatísticos da ANOVA, envolvendo raios e os tipos de superfícies, permitem constatar estatisticamente, que os tipos de superfícies têm influência nas ocorrências de raios. De acordo com os resultados obtidos a hipótese H_0 (os tipos de superfícies não influenciam a quantidade de raios ocorridos) é rejeitada, visto que existe diferenças estatísticas em pelo menos uma das médias de raios em relação às demais, tendo probabilidade da hipótese H_0 ser verdadeira de apenas $P=0,000020$, como pode ser observado na Tabela 01. Portanto, pode-se inferir, estatisticamente, que os tipos de superfícies têm grande significância nas ocorrências de raios detectados pela rede STARNET, já que se observa que a maioria das áreas se diferenciam com relação à ocorrência de raios que apresentam.

Tabela 01: Resultado da análise de variância das médias mensais das ocorrências de raios entre os diferentes tipos de superfícies (tratamento), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

| | Soma dos Quadrados | G. L | Quadrado Médio | F | P |
|------------|---------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Intercept | 251848449 | 1 | 251848449 | 129,0270 | 0,000000 |
| Tratamento | 77370901 | 7 | 11052986 | 5,6627 | 0,000020 |
| Resíduos | 171767691 | 88 | 1951906 | | |

Fonte: Do Autor.

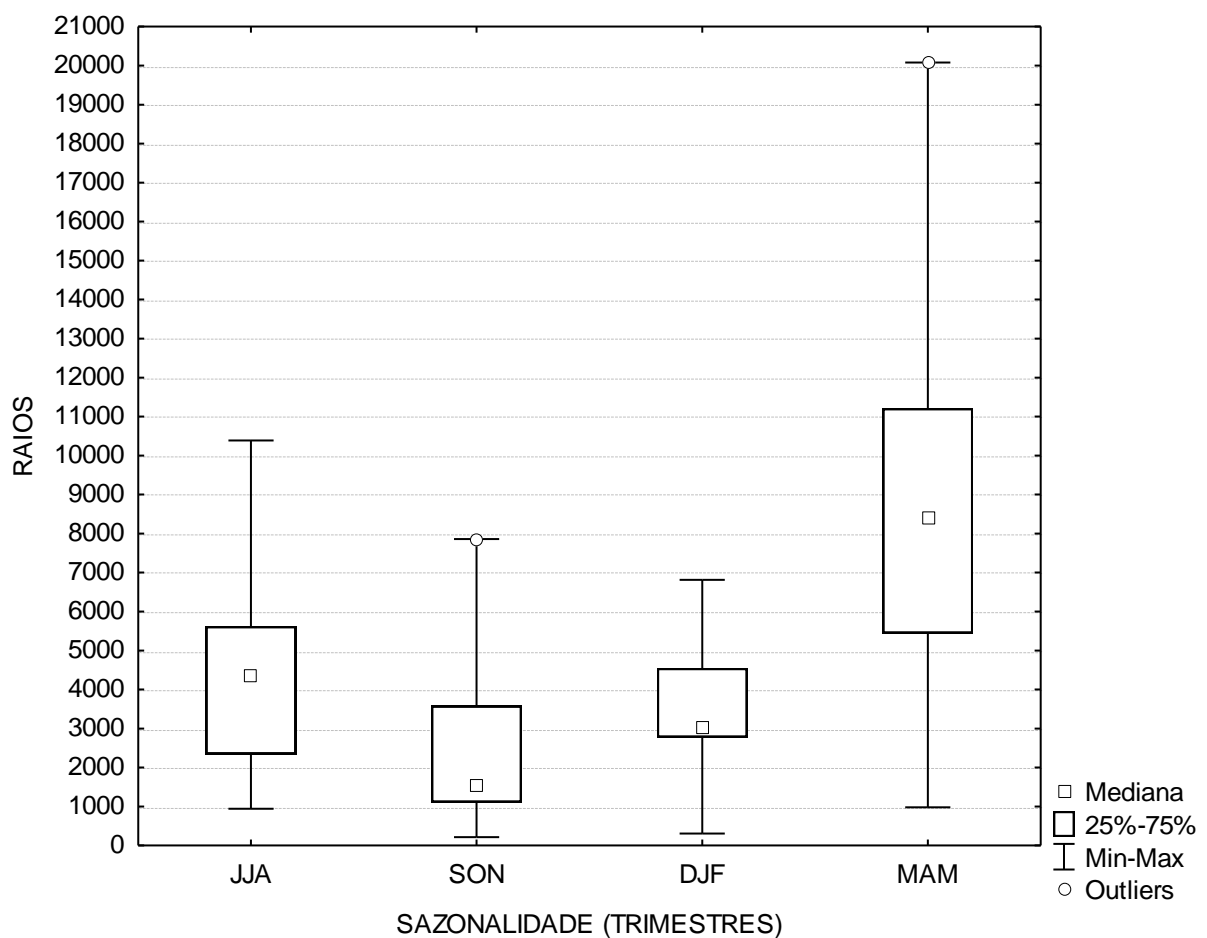
Já a tabela contendo o resultado do teste de comparação de medias de Tukey pode ser verificado no **ANEXO B**, em que se observa que as áreas que se apresentam diferentes, estatisticamente, entre si, são: a área Urbana que se difere das áreas de Floresta, Floresta 2, Leste do Marajó e da área de Água, sendo está última apresentando diferenças significativas em relação as áreas do Oeste do Marajó e Antropizada.

4.8.2 Análise da Relação das Ocorrências de Raios com a Sazonalidade

Na Figura 33 pode ser observada a distribuição dos dados de raios em relação a sazonalidade, em que se verifica que os trimestres de JJA (mediana de 4.342 raios) apresentou maior dispersão de dados (superiores) ou assimetria positiva, pois nota-se pelo tamanho do “bigode”, assim como também os trimestres de SON (mediana de 1.523 raios) e DJF

(mediana de 8.423 raios) apresentaram maior dispersão de dados (superiores), já que suas medianas localizam-se próximas do 1º Quartil, enquanto que no trimestre de MAM (mediana de 8.423 raios) verificou-se simetria nos dados (inferiores e superiores). Constata-se ainda nos Trimestres de SON e MAM a presença de outliers superiores: valores atípicos em relação aos demais dados, requerendo assim uma atenção especial no banco de dados da variável.

Figura 33: Boxplot das distribuições de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET em função da sazonalidade, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

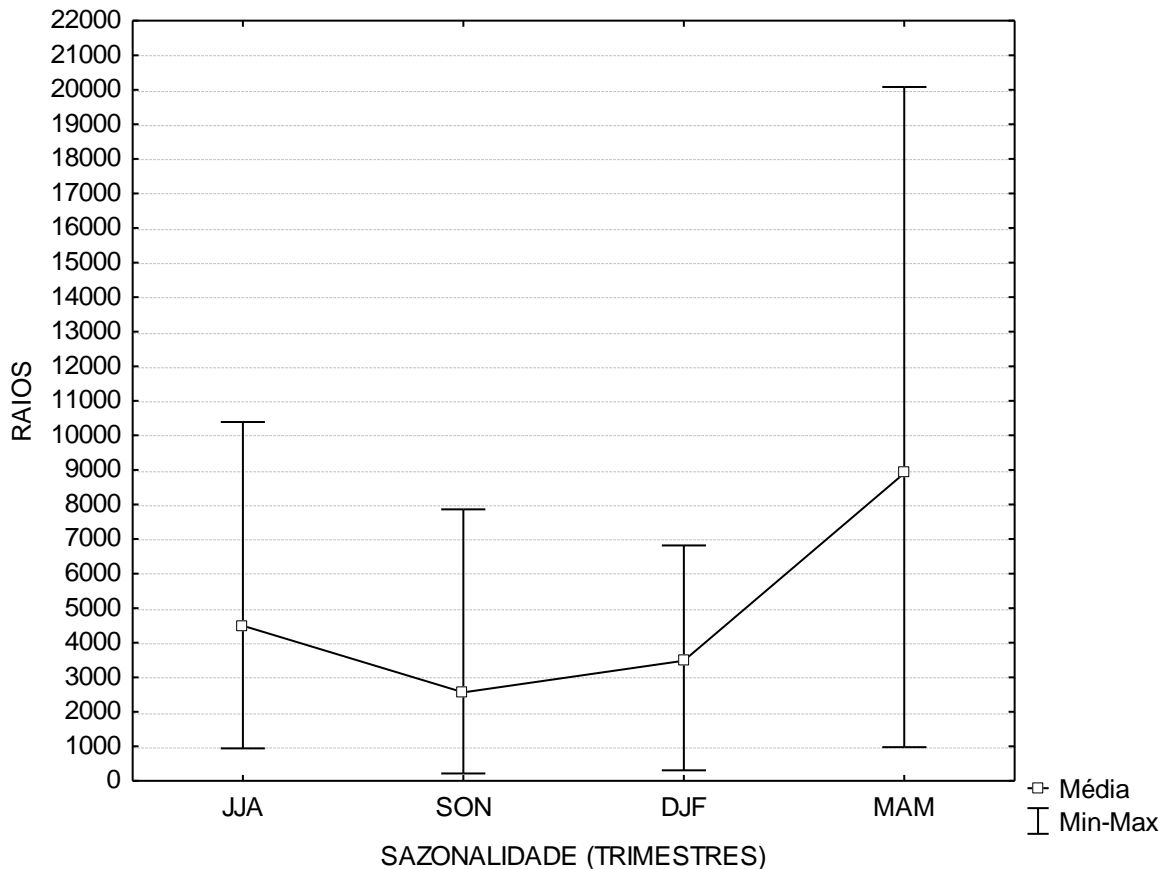


Fonte: Do Autor.

As médias de raios em relação a sazonalidade, observadas no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010, podem ser constatadas na Figura 34. Observa-se uma grande variação nas médias dos raios entre os períodos sazonais, tendo a maior média acontecida no período de MAM (8.901 raios), seguido de JJA, DJF e SON com respectivamente 4.493,

3.481 e 2.562 raios por período sazonal. Percebe-se a existência de uma dependência das ocorrências de raios em relação aos período sazonal, visto que a quantidade de eventos de raios aumenta ou diminui conforme o tipo o trimestre observado.

Figura 34: Variação das médias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET em função da sazonalidade, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Os resultados estatísticos da ANOVA, envolvendo raios e a sazonalidade (JJA, SON, DJF, MAM), mostram estatisticamente, que a sazonalidade exerce influência de maneira significativa nas ocorrências de raios. De acordo com os resultados obtidos e constatados na Tabela 02 a hipótese H_0 (sazonalidade não influencia a quantidade de raios ocorridos) é rejeitada, já que a probabilidade dessa hipótese ser verdadeira é de apenas $P=0,007742$, ou seja, existe diferenças estatísticas em pelo menos uma das médias sazonais em relação as demais. Portanto, pode-se afirmar, estatisticamente, que a sazonalidade contribui também de

maneira significativa nas ocorrências de raios detectados pela rede STARNET, visto que os trimestres se diferenciam com relação à quantidade de ocorrências de raios que apresentam.

Tabela 02: Resultado da análise de variância das médias sazonais das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

| | Soma dos Quadrados | G. L | Quadrado Médio | F | P |
|--------------|---------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Intercept | 755661969 | 1 | 755661969 | 58,00645 | 0,000000 |
| Sazonalidade | 189182959 | 3 | 63060986 | 4,84071 | 0,007742 |
| Resíduos | 364761765 | 28 | 13027206 | | |

Fonte: Do Autor.

A Tabela 03 mostra o resultado do teste de comparação de médias de Tukey, referentes aos trimestres de JJA, SON, MAM e DJF, em que se observa que os trimestres que apresentam diferenças, estatisticamente, nas médias entre si, corresponde a MAM em comparação aos trimestres de SON e DJF.

Tabela 03: Resultado estatístico de Tukey em relação as médias sazonais das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

| SAZONALIDADE (TRIMESTRES) | {JJA} média | {SON} média | {DJF} média | {MAM} média |
|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 4493,4 | 2562,0 | 3481,2 | 8901,3 |
| JJA | | 0,710183 | 0,942855 | 0,092148 |
| SON | 0,710183 | | 0,956248 | 0,007941 |
| DJF | 0,942855 | 0,956248 | | 0,027016 |
| MAM | 0,092148 | 0,007941 | 0,027016 | |

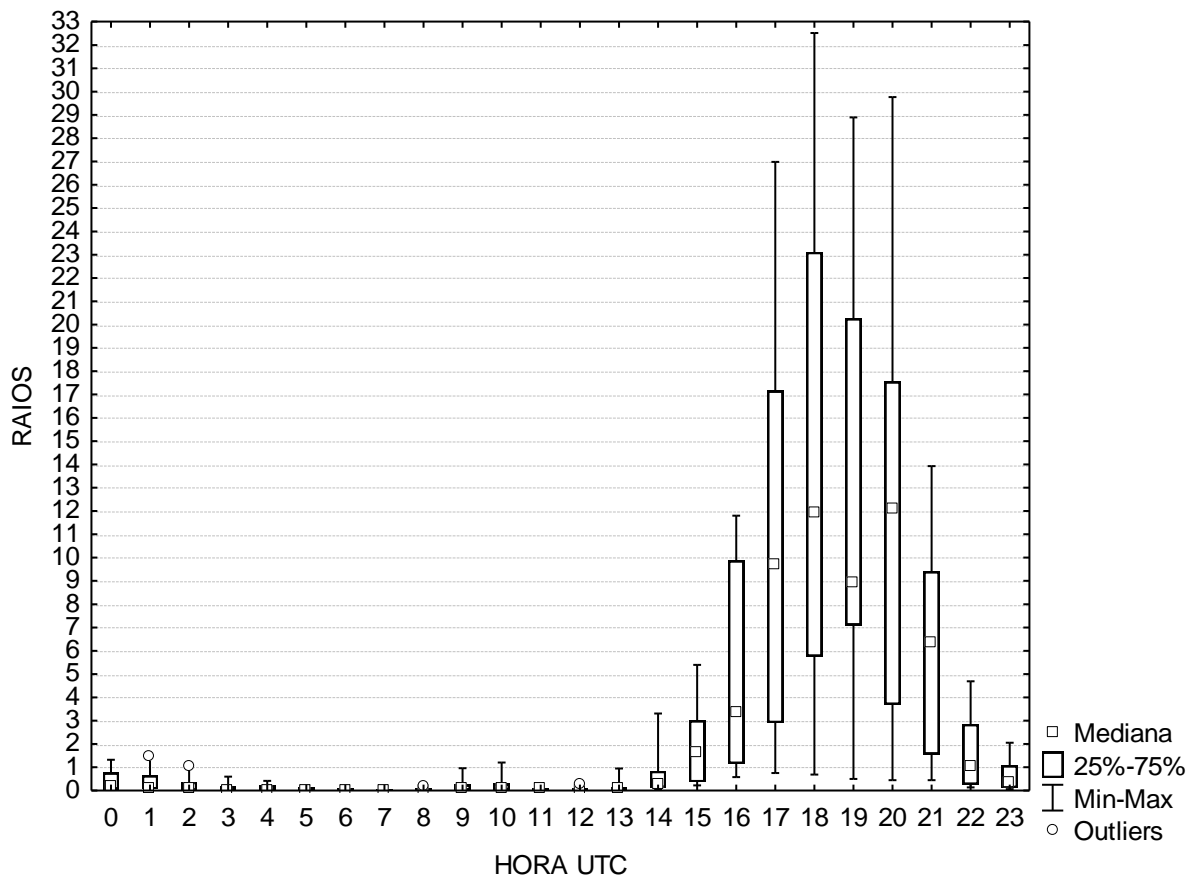
Fonte: Do Autor.

4.8.3 Análise Horária das Ocorrências de Raios no Período Chuvoso

Na Figura 35 pode ser observada a distribuição dos dados de raios em relação ao horário do dia, no período chuvoso (Dezembro a Maio) de Junho de 2008 a Novembro de 2010, em que se observa que das 00:00h UTC as 14:00h UTC não houveram registros significativos de raios. A partir das 15:00h UTC as ocorrências desses eventos apresentaram

variações e com medianas entre 2 a 12 raios. Das 14:00h UTC até 23:00h UTC foram constatados maior dispersão de dados superiores ou assimetria positiva, vistos a partir dos tamanhos dos “bigodes”. Verifica-se ainda nos horários de 01:00h UTC, 02:00h UTC, 08:00h UTC e 12:00h UTC o aparecimento de outliers superiores, ou seja, de alguns valores discrepantes em relação aos demais dados, requerendo assim uma atenção especial no banco de dados da variável.

Figura 35: Boxplot das distribuições horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período chuvoso (Dezembro a Maio), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

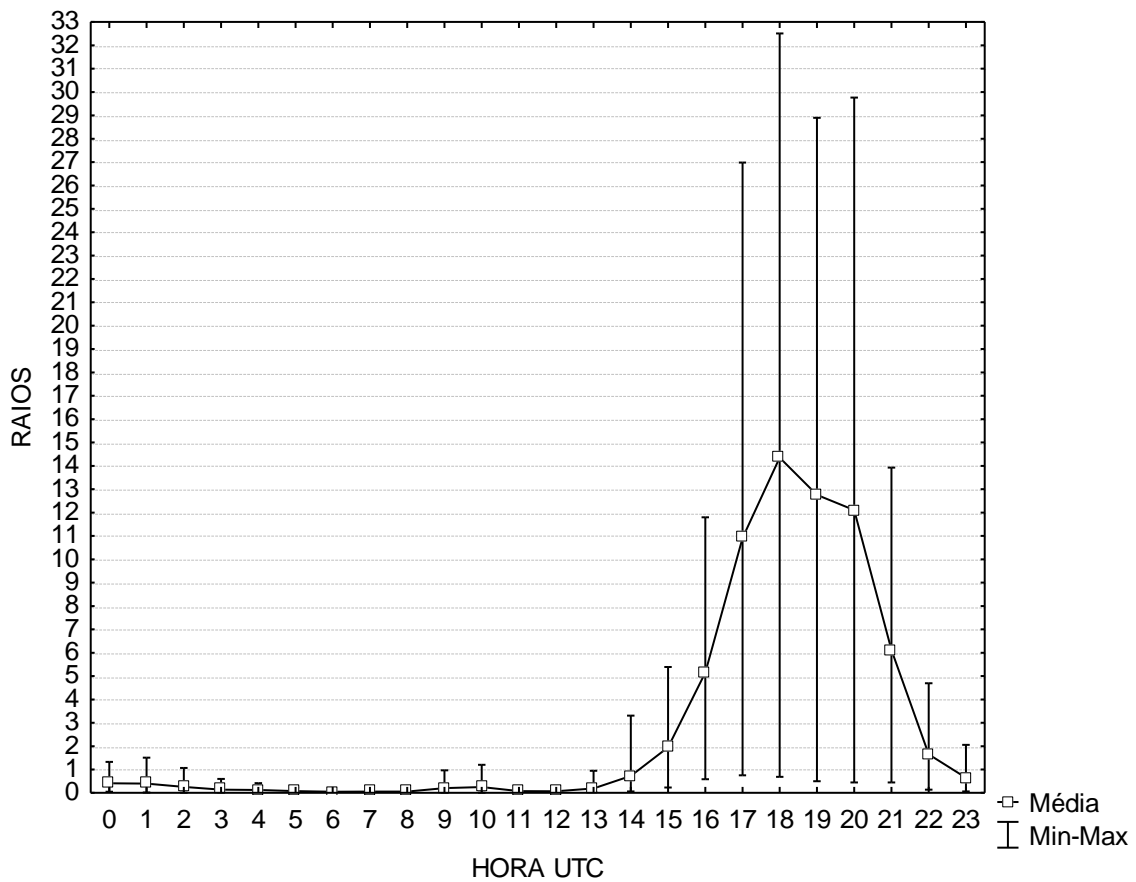


Fonte: Do Autor.

As médias horárias de raios, observadas no período chuvoso (Dezembro a Maio) de Junho de 2008 a Novembro de 2010, podem ser constatadas na Figura 36. Observa-se uma grande variação nas médias horárias de raios entre as 14:00h UTC e as 23:00h UTC, tendo a maior média acontecida nos horários das 18:00h UTC e 20:00h UTC (12 raios), enquanto que

nos horários entre 00:00h UTC e 13:00h UTC não houveram variações significativas nas médias de raios. Percebe-se a existência de uma dependência das ocorrências de raios em relação ao período do dia, pois a quantidade de eventos de raios aumenta ou diminui conforme o horário do dia, sendo as maiores ocorrências observadas no período da tarde.

Figura 36: Variação das médias horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período chuvoso (Dezembro a Maio), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Os resultados estatísticos da ANOVA, envolvendo raios e o horário de ocorrências desses eventos, no período chuvoso (Dezembro a Maio) de Junho 2008 a Novembro de 2010, mostram, estatisticamente, que o horário do dia exerce influência de maneira significativa nas ocorrências de raios. De acordo com os resultados obtidos e constatados na Tabela 04 a hipótese H_0 (a ocorrência de raios não varia em função da hora do dia) é rejeitada, já que a probabilidade dessa hipótese ser verdadeira é de $P=0,000000$, ou seja, existe diferenças

estatísticas em pelo menos uma das médias horárias em relação as demais. Portanto, pode-se afirmar, estatisticamente, que o período do dia contribui também de maneira significativa nas ocorrências de raios detectados pela rede STARNET, visto que os horários do dia se diferenciam com relação à quantidade de ocorrências de raios que apresentam.

Tabela 04: Resultado da análise de variância das médias horárias das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período chuvoso (Dezembro a Maio) de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

| | Soma dos Quadrados | G. L | Quadrado Médio | F | P |
|-----------|---------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Intercept | 1574,837 | 1 | 1574,837 | 82,68825 | 0,000000 |
| Hora | 4075,576 | 23 | 177,199 | 9,30400 | 0,000000 |
| Resíduos | 3199,639 | 168 | 19,045 | | |

Fonte: Do Autor.

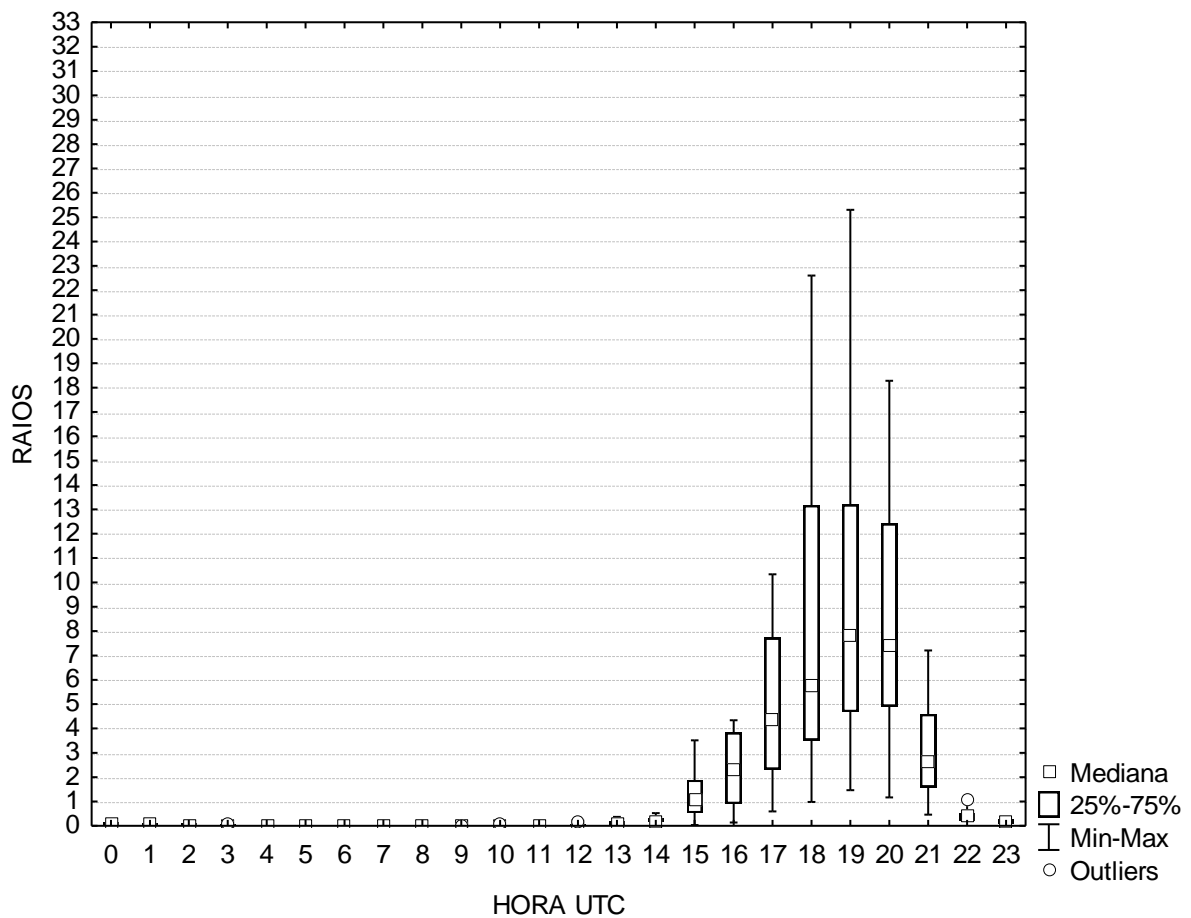
O resultado do teste de comparação de médias de Tukey, referentes às médias horárias do período chuvoso (Dezembro a Maio) de Junho de 2008 a Novembro de 2010, pode ser conferido no **ANEXO C (a e b)**, em que se observa que os horários do dia que apresentam diferenças estatísticas nas médias entre si, correspondem, principalmente, ao período da tarde, já que os horários das 17:00h, 19:00h e 20:00h UTC apresentam-se, estatisticamente, diferentes dos demais das 00:00h UTC até as 15:00h UTC e das 22:00h UTC até 23:00h UTC e o horário das 18:00h UTC se difere em relação aos outros das 00:00h UTC até as 16:00h UTC e das 21:00h UTC até 23:00h UTC.

4.8.4 Análise Horária das Ocorrências de Raios no Período Seco

Na Figura 37 pode ser observada a distribuição dos dados de raios em relação ao horário do dia, no período seco (Junho a Novembro) de Junho de 2008 a Novembro de 2010, e assim como no período chuvoso, verificou-se que das 00:00h UTC as 14:00h UTC não houveram registros significativos de raios. A partir das 15:00h UTC as ocorrências desses eventos apresentaram variações e com medianas entre 1 a 8 raios. Das 15:00h UTC até 21:00h UTC foram constatados maior dispersão de dados superiores ou assimetria positiva, vistos a partir dos tamanhos dos “bigodes”, com exceção das 16:00h UTC em que os dados

apresentam-se simétricos. Verifica-se ainda nos horários de 03:00h UTC, 09:00h UTC, 12:00h UTC e 22:00h UTC o aparecimento de outliers superiores, ou seja, de alguns valores discrepantes em relação aos demais dados, requerendo assim uma atenção especial no banco de dados da variável.

Figura 37: Boxplot das distribuições horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período seco (Junho a Novembro), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

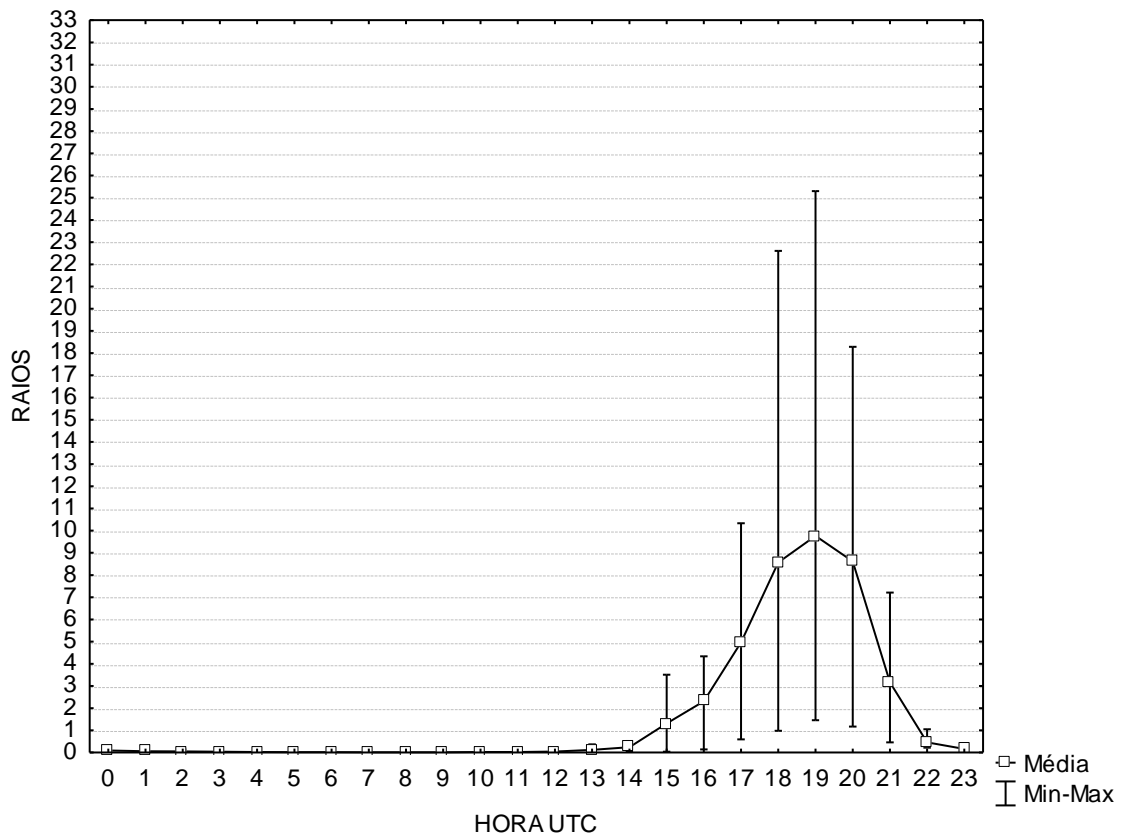


Fonte: Do Autor.

As médias horárias de raios, observadas no período seco (Junho a Novembro) de Junho de 2008 a Novembro de 2010, podem ser constatadas na Figura 38. Verifica-se, assim como no período chuvoso, uma grande variação nas médias horárias de raios entre as 14:00h UTC e as 22:00h UTC, tendo a maior média acontecida no horário das 19:00h UTC (10 raios), enquanto que nos horários entre 00:00h UTC e 13:00h UTC não houveram variações

significativas nas médias de raios. Percebe-se a existência de uma dependência das ocorrências de raios em relação ao período do dia, ou seja, a ocorrência de raios aumenta ou diminui conforme o horário do dia, sendo as maiores no período da tarde, assim como no período anterior que apresenta o mesmo perfil.

Figura 38: Variação das médias horárias de ocorrências de raios detectados pela rede STARNET no período seco (Junho a Novembro), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Fonte: Do Autor.

Os resultados estatísticos da ANOVA, envolvendo raios e o horário de ocorrências desses eventos, no período seco (Junho a Novembro) de Junho 2008 a Novembro de 2010, mostram estatisticamente e igualmente ao período chuvoso, que o horário do dia exerce influência de maneira significativa nas ocorrências de raios. De acordo com os resultados obtidos e constatados na Tabela 05 a hipótese H_0 (a ocorrência de raios não varia em função da hora do dia) é rejeitada, já que a probabilidade dessa hipótese ser verdadeira é a mesma do período anterior $P=0,000000$, ou seja, existem diferenças estatísticas em pelo menos uma das

médias horárias em relação às demais. Portanto, pode-se afirmar, estatisticamente, que o período do dia contribui significativamente nas ocorrências de raios detectados pela rede STARNET, visto que os horários do dia se diferenciam com relação à quantidade de ocorrências de raios que apresentam.

Tabela 05: Resultado da análise de variância das médias horárias das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período seco (Junho a Novembro) de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

| | Soma dos Quadrados | G. L | Quadrado Médio | F | P |
|-----------|---------------------------|-------------|-----------------------|----------|-----------------|
| Intercept | 536,783 | 1 | 536,7833 | 76,66566 | 0,000000 |
| Hora | 1743,811 | 23 | 75,8179 | 10,82863 | 0,000000 |
| Resíduos | 1176,271 | 168 | 7,0016 | | |

Fonte: Do Autor.

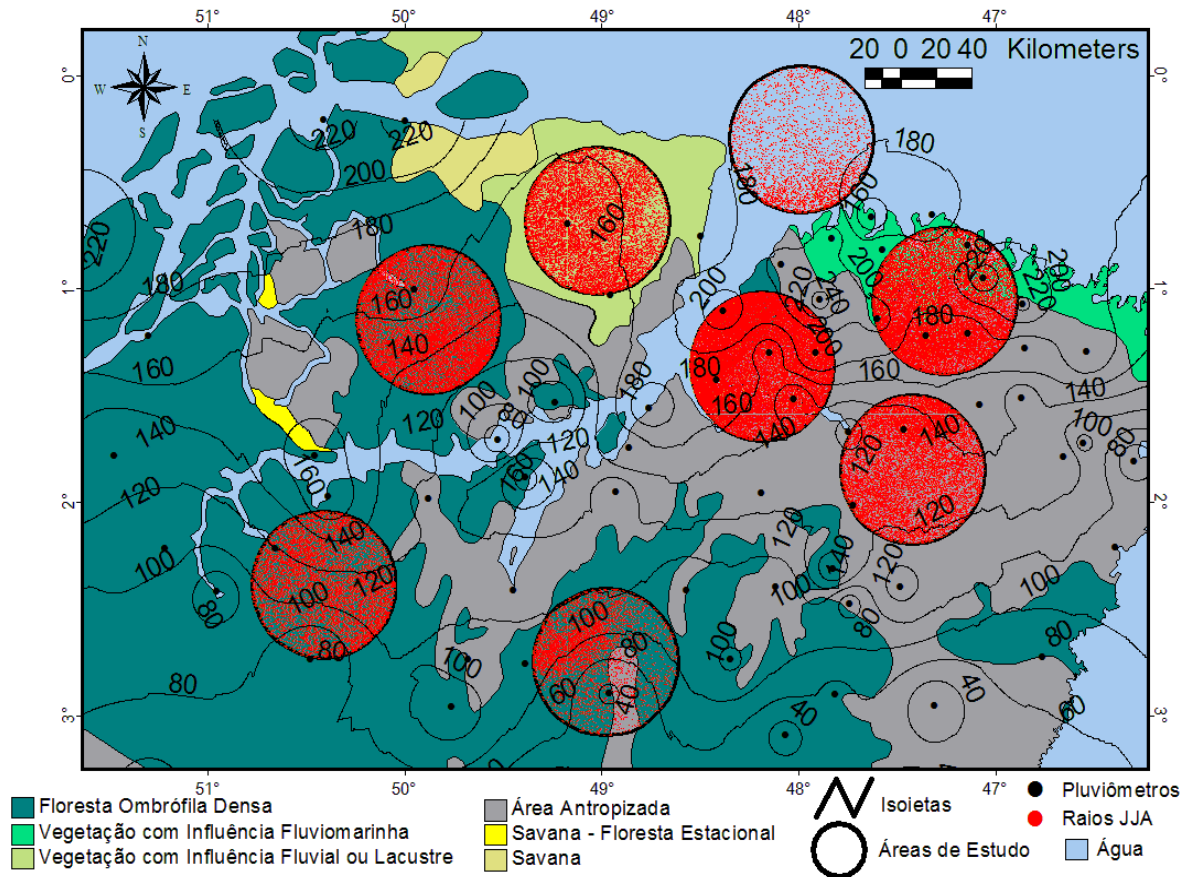
O resultado do teste de comparação de médias de Tukey, referentes às médias horárias do período seco (Junho a Novembro) de Junho de 2008 a Novembro de 2010, pode ser conferido no **ANEXO D (a e b)**, em que se observa, igualmente ao período chuvoso, que os horários do dia que apresentam diferenças estatísticas em relação às médias entre si, correspondem, principalmente, ao período da tarde, já que os horários das 18:00h, 19:00h e 20:00h UTC apresentam-se estatisticamente diferentes dos demais das 00:00h UTC até as 16:00h UTC e das 21:00h UTC até 23:00h UTC e o horário das 18:00h UTC se difere em relação aos outros das 00:00h UTC até as 13:00h UTC.

4.9 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS RAIOS E PRECIPITAÇÃO MÉDIA SOBRE OS DIFERENTES TIPOS DE SUPERFÍCIES DURANTE OS TRIMESTRES JJA, SON, DJF E MAM

Na Figura 39 é observada a distribuição espacial dos raios e a precipitação média do trimestre JJA. Neste trimestre, a área Urbana apresentou a maior quantidade de raios em relação a todas as outras áreas (29.697 raios), seguida das áreas Costeira (17.513 raios); Antropizada (14.361 raios); Oeste da ilha do Marajó (12.852 raios); Leste da ilha do Marajó

(11.305 raios); Floresta (7.772 raios); Floresta 2 (5.232 raios) e as menores quantidades de raios foram encontradas na área de superfície de Água (2.784 raios).

Figura 39: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação e ocorrências dos raios em JJA, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Já a densidade média encontrada no trimestre de JJA mostra novamente a área Urbana com as maiores densidades (1,9 raios.km⁻²), e em sequência as áreas Costeira (0,9 raios.km⁻²); Leste da ilha do Marajó e Antropizada (ambas com 0,8 raios.km⁻²); Oeste da ilha do Marajó (0,6 raios.km⁻²); Floresta 2 e Floresta (ambas com 0,5 raios.km⁻²) e finalizando novamente com a região de superfície de Água (0,2 raios.km⁻²).

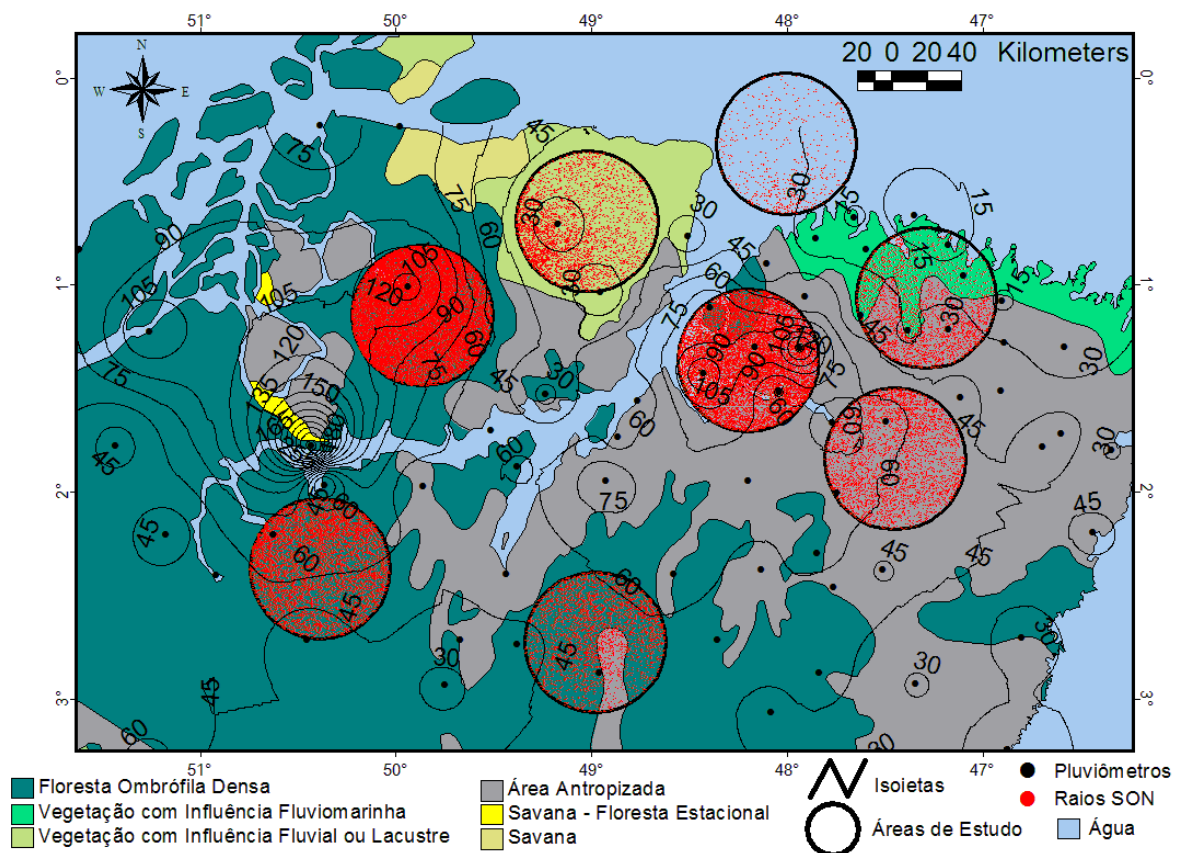
Analisando a precipitação média do trimestre, através das isoietas, percebe-se que as maiores densidades de raios encontradas não coincidem com as regiões de maiores precipitações, visto que os valores mais altos de precipitação foram observados nas áreas: Costeira (valores entre 180 mm a 220 mm); Urbana (valores entre 140 mm a 200 mm); Água (180 mm); Leste da ilha do Marajó (160 mm); Oeste da ilha do Marajó (valores entre 140 mm

a 160 mm); Antropizada (valores entre 120 mm a 140 mm); Floresta (valores entre 80 mm a 140 mm) e finalizando com a área de Floresta 2 (valores entre 40 mm a 100 mm).

Importante destacar que no trimestre de JJA foi quando se verificou a segunda maior média de densidade de raios em 5 das oito áreas, com exceções para as áreas do Oeste da Ilha do Marajó (apresentou sua segunda maior média no trimestre de SON) e as duas áreas de florestas (apresentaram sua segunda maior média no trimestre de DJF).

A distribuição espacial dos raios e a precipitação média do trimestre SON podem ser observadas na Figura 40. Neste trimestre, a área em que se verificou a maior quantidade de raios, em relação a todas as outras áreas, foi a área do Oeste da ilha do Marajó (20.224 raios); em sequência têm-se as áreas Urbana (12.106 raios); Floresta (6.552 raios); Antropizada (3.778 raios); Leste da ilha do Marajó (3.600 raios); Floresta 2 (3.112 raios); Costa (2.794 raios) e as menores quantidades de raios foram verificadas na área de superfície de Água (556 raios).

Figura 40: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação e ocorrências dos raios em SON, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Já a densidade média encontrada no trimestre de SON mostra novamente a área Oeste da ilha do Marajó com as maiores densidades (1,5 raios.km⁻²), e em seguimento das áreas Urbana (0,8 raios.km⁻²); Floresta (com 0,6 raios.km⁻²); Antropizada, Leste da ilha do Marajó e Costa (ambas com 0,3 raios.km⁻²); Floresta 2 (0,2 raios.km⁻²) e finalizando novamente com a região de superfície de Água (0,04 raios.km⁻²).

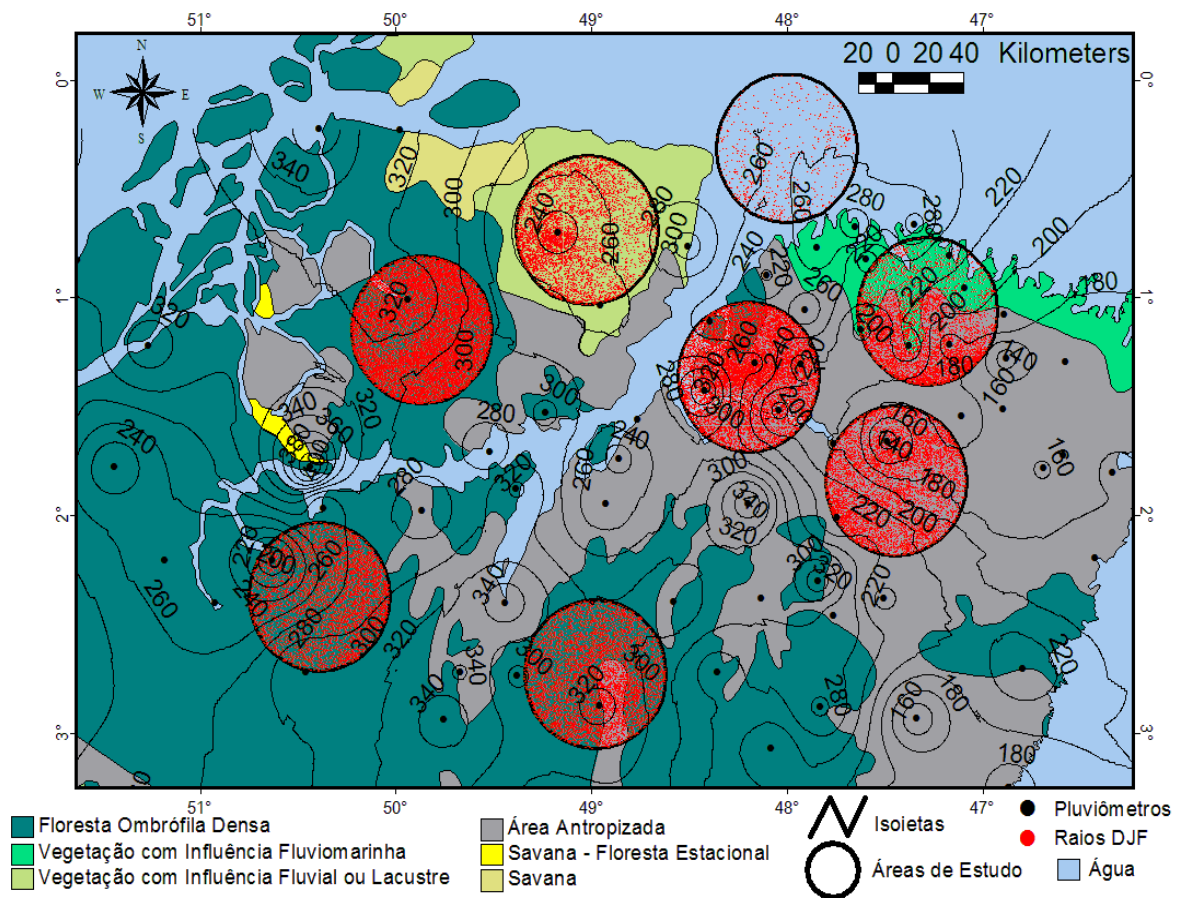
Verificando a precipitação média do trimestre SON, através das isoietas, infere-se que as maiores densidades de raios encontradas (Oeste do Marajó, Urbana, Floresta e Antropizada) combinam com as regiões de maiores precipitações e duas das três áreas com as menores densidades (Costa e Água) também possuem as menores quantidades de precipitação, visto que os valores mais altos de precipitação foram observados nas áreas do Oeste da ilha do Marajó e Urbana (valores entre 60 mm a 120 mm); em sequência têm-se as áreas Antropizada (60 mm); as duas Florestas (valores entre 45 mm a 60 mm); Costa (valores 15 mm a 45 mm); e finalizando com as áreas do Leste da ilha do Marajó e de Água (ambas com 30 mm).

Importante destacar que no trimestre de SON é onde se observa as menores médias trimestrais de densidades de raios na maioria das áreas (seis das oito áreas), com exceções para as áreas do Oeste da Ilha do Marajó e Floresta (apresentaram suas menores médias no trimestre JJA). Assim como também se verifica que os raios e a precipitação coincidem para a maioria das áreas, ao contrário do trimestre anterior.

A distribuição espacial dos raios e a precipitação média do trimestre DJF podem ser constatadas na Figura 41. Neste trimestre, a área em que se verificou a maior quantidade de raios, em relação a todas as outras áreas, foi, assim como em SON, a área do Oeste da ilha do Marajó (13.628 raios); em sequência têm-se: a área Urbana (10.964 raios); Antropizada (7.223 raios); Floresta 2 (6.278 raios); Costa (5.901 raios); Floresta 2 (5.900 raios); Leste da Ilha do Marajó (5.192 raios) e as menores quantidades de raios foram verificadas, assim como nos trimestres anteriores de JJA e SON, na área de superfície de Água (616 raios).

Enquanto que a densidade média encontrada no trimestre de DJF mostra, uma vez mais, a área Oeste da ilha do Marajó com as maiores densidades, assim como no trimestre passado de SON, apresentando uma densidade média de 1,4 raios.km⁻², sendo seguida das áreas Urbana (1,1 raios.km⁻²); Antropizada (0,7 raios.km⁻²); as duas áreas de Florestas e Costa (ambas com 0,6 raios.km⁻²); Leste da ilha do Marajó (0,5 raios.km⁻²) e finalizando, novamente e igualmente aos trimestres JJA e SON, com a região de superfície de Água (0,06 raios.km⁻²).

Figura 41: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação e ocorrências dos raios em DJF, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010.

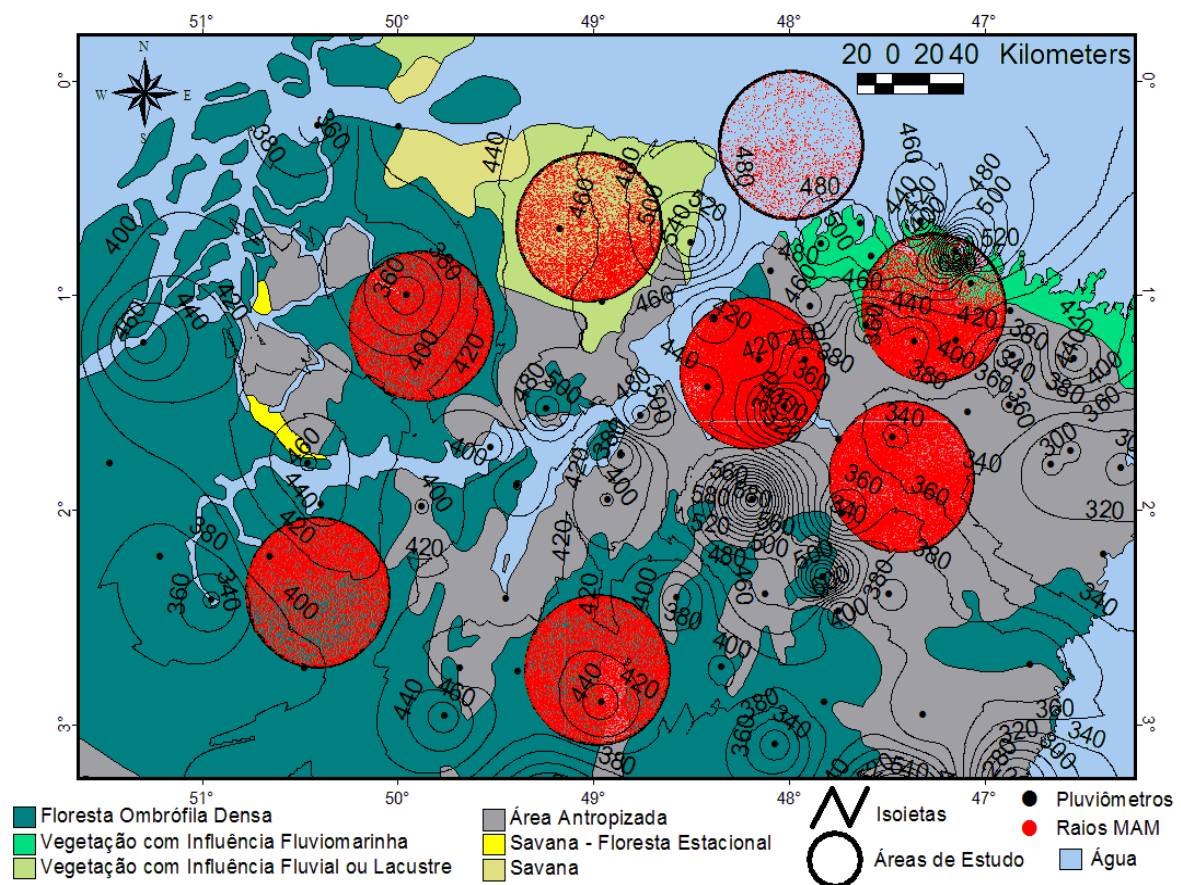


Analisando a precipitação média do trimestre DJF, através das isoietas, concebe-se que as duas maiores densidades de raios encontradas (Oeste do Marajó e Urbana) estão localizadas nas regiões de maiores precipitações, visto que os valores mais altos de precipitação foram encontrados nas áreas do Oeste da ilha do Marajó, Floresta 2 e Urbana (valores entre 300 mm a 320 mm para a primeira e segunda, e entre 200 mm a 320 mm para a terceira); em seguida apresentam-se as áreas de Floresta (entre 200 mm a 300 mm); Leste da ilha do Marajó (entre 240 mm a 280 mm); Costa (entre 180 mm a 280 mm); Água (260 mm); e finalizando com a área Antropizada (entre 140 mm a 220 mm).

Importante frisar que no trimestre de DJF seis das oito áreas observadas, apresentaram nesse período a segunda menor média de densidade de raios em relação a todos os trimestres, com exceções para as áreas de Floresta (apresentando sua segunda menor média no trimestre de SON) e a área de Floresta 2 (apresentando sua segunda menor média no trimestre de JJA).

A Figura 42 mostra a distribuição espacial dos raios e a precipitação média do trimestre MAM. Neste trimestre, a área em que se constatou a maior quantidade de raios, em relação a todas as outras áreas, foi, assim como em JJA, a área Urbana (40.163 raios); posteriormente têm-se as áreas Antropizada (26.601 raios); Costa (18.233 raios); Oeste da ilha do Marajó (17.352 raios); Floresta 2 (16.341 raios); Floresta (12.670 raios); Leste da Ilha do Marajó (9.108 raios) e as menores quantidades de raios foram verificadas, assim como nos trimestres anteriores de JJA, SON e DJF na área de superfície de Água (1.956 raios).

Figura 42: Distribuição espacial da média trimestral da precipitação de MAM e ocorrências dos raios, durante o período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.



Já a densidade média encontrada no trimestre de MAM, corresponde perfeitamente a sequência onde estão localizadas as maiores ocorrências de raios, que são respectivamente as áreas Urbana (4 raios.km⁻²); Antropizada (2,6 raios.km⁻²); Costa (1,8 raios.km⁻²); Oeste da ilha do Marajó (1,7 raios.km⁻²); Floresta 2 (1,6 raios.km⁻²); Floresta (1,3 raios.km⁻²); Leste da ilha

do Marajó ($0,9 \text{ raios.km}^{-2}$) e finalizando, como nos trimestres anteriores de JJA, SON e DJF, com a região de superfície de Água ($0,2 \text{ raios.km}^{-2}$).

Observando a precipitação média do trimestre MAM, através das isoietas, percebe-se que as maiores densidades médias de raios encontradas não estão localizadas nas maiores regiões de precipitação, dado que os valores mais altos de precipitação foram observados nas áreas da Costa (valores entre 360 mm a 680 mm, em que se observaram também as maiores variações da precipitação); em seguida têm-se as áreas do Leste da ilha do Marajó (entre 460 mm a 500 mm); Água (480 mm); Urbana (entre 300 mm a 440 mm); as duas áreas de Florestas (ambas entre 400 mm a 420 mm); Oeste da ilha do Marajó (entre 360 mm a 420 mm) finalizando, assim como em DJF, com a área Antropizada (entre 340 mm a 380 mm).

Importante destacar que no trimestre de MAM todas as áreas observadas, apresentaram a maior média de densidade de raios nesse trimestre.

Vale lembrar que a quantidade de raios observados refere-se a somatória dos raios agrupados nos respectivos trimestres (JJA, SON, DJF e MAM), entretanto os meses em que a detecção da rede STARNET apresentou falhas foram descartados. No caso em questão foram os meses de Agosto e Outubro de 2009, e por isso não foram contabilizados nas somatórias de seus trimestres correspondentes. Já a média trimestral das densidades de raios não leva em consideração os trimestres em que houve meses com falhas, neste caso os trimestres de JJA e SON de 2009 não foram contabilizados nas médias trimestrais. Em vistas disso é que se diferenciam as áreas de ocorrências totais de raios dos trimestres com as áreas de densidade média dos eventos de raios.

Nota-se também a não uniformidade dos raios dentro das próprias áreas, assim como ocorre entre as áreas a diferença na quantidade de raios, como, por exemplo, na área de Floresta 2 em JJA; no Leste da ilha do Marajó em SON; na Costa em DJF e nas áreas de Floresta e Leste da ilha do Marajó em MAM. Assim como ocorre variação nas médias da precipitação entre e dentro das áreas. Também se verificou que regiões que possuem as maiores precipitações nem sempre apresentam as maiores ocorrências de raios, como pode ser visto em JJA na área do Oeste da ilha do Marajó; em DJF nas áreas da Costa e do Leste da ilha do Marajó; e em MAM novamente na Costa.

As maiores ocorrências e as maiores densidades médias de raios, correspondem ao trimestre MAM, em que se verificam também, através das isoietas, as maiores médias de precipitação, enquanto no trimestre que se apresenta mais seco (SON), verifica-se que seis das

áreas possuem as menores densidades de raios (Urbana, Costa, Antropizada, Leste da ilha do Marajó, Floresta 2 e Água).

Os resultados encontrados no período de JJA, em relação a densidade, corroboram com os obtidos por Ribeiro (2010) em JJA, já que ela encontrou as maiores densidades de raios nesse período na região de estudo denominada de área 1 (composta na sua maioria (33%) por pastagens e agricultura; a região urbana de Belém; região costeira e partes da ilha do Marajó) com máximos densidades de 18 raios.km².ano⁻¹, usando dados da rede do SIPAM.

Em SON as maiores densidades observadas por Ribeiro (2010) foram em sua área de estudo 3, composta por 63% de pastagens e agricultura e apresentando densidades de até 18 raios.km².ano⁻¹ e com as menores densidades encontradas na área 1 com até 10 raios.km².ano⁻¹, corroborando com as baixas densidades médias encontradas na área Costeira do presente estudo, mas em oposição com as densidades médias encontradas na área Urbana, dado que esta última apresentou a segunda maior densidade média nesse período.

No trimestre de DJF os resultados encontrados mais uma vez são corroborados pelos de Ribeiro (2010), já que as maiores densidades observadas nesse período correspondem a área 1, com valores de até 22 raios.km².ano⁻¹, combinando com as maiores densidades médias, que foram encontradas nas áreas Oeste da Ilha do Marajó, Urbana e Antropizada.

Finalmente, em MAM, as densidades encontradas por Ribeiro (2010) observadas na sua Área 2 (correspondente a 60% de florestas) com densidade de até 28 raios.km².ano⁻¹, enquanto que nesse período as maiores densidades médias foram detectadas nas áreas Urbanas, Antropizada e Costa, que corresponderia a Área 1 de Ribeiro (2010).

Como pode ser observado pelos resultados encontrados por Ribeiro (2010), as densidades de raios obtidas através da rede STARNET são bem menores do que as apresentadas pela rede do SIPAM. Dentel et al. (2014) avaliaram o desempenho da rede STARNET através de comparação simultânea com dados da rede do SIPAM, em um período de 110 dias (entre Agosto de 2008 e Março de 2009), período esse em que a rede STARNET apresentou-se estável, localizado em uma área em que a rede do SIPAM encontrava-se mais eficiente (4° S, 48° W) no Leste da Amazônia. Os resultados mostraram que a detecção total de raios feitos pela rede do SIPAM eram cerca de 1,75 maior do que os encontrados pela rede STARNET. Apesar de a rede STARNET apresentar baixo índice de detecção de raios, a análise relativa entre os diversos tipos é válida para a esse estudo de comparação de áreas.

Uma possível solução de correção do nível de detecção de raios pela rede STARNET foi proposto por Santos (2010), em que fez uma correção do quantitativo de raios da rede

STARNET a partir dos dados de raios da região de máxima eficiência da rede do SIPAM, fazendo com que os valores dos dados da rede STARNET se tornassem mais próximos dos reais níveis da atividade cerâmica da região Leste da Amazônia. Com o resultado obtido foi possível a combinação das melhores características da rede do SIPAM (alto nível de detecção em uma pequena área de boa eficiência) com as da STARNET (detecção de raios mais uniforme sobre área mais abrangente) que operam na Amazônia. A partir de dados emitidos pelas redes de detecção de raios STARNET e SIPAM, a utilização de métodos estatísticos, programados em linguagem computacional, proporcionou a elaboração de equações de ajuste que emitiram dados e diagramas os quais possibilitam uma interpretação consistente da incidência de raios no leste da Amazônia e também a elaboração de um software para ajustes da detecção da rede STARNET aos níveis de maior eficiência de detecção da rede do SIPAM.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou a relação existente entre as ocorrências de raios e os diferentes tipos de superfícies existentes em uma região com climatologia quase homogênea e cobertura uniforme na detecção de raios pela rede STARNET. Com uma base de dados de 352.364 raios detectados no total, sobre as 8 áreas de estudo, em um período de 28 meses compreendido entre Junho de 2008 a Novembro de 2010 (exceto agosto e outubro de 2008), foi possível tirar como a principal conclusão deste estudo a existência de diferenças na ocorrência de raios em relação aos variados tipos de superfícies, ou seja, os tipos de superfícies influenciam significativamente nas ocorrências desse fenômeno atmosférico.

Também se conclui que a ocorrência de raios varia em função da sazonalidade, já que houve diferenças significativas entre os trimestres nas ocorrências desses eventos atmosféricos, assim como ao longo dos meses no decorrer do ano. As maiores médias de ocorrências de raios estiveram correlacionadas com o período de máxima precipitação, tendo o trimestre de MAM com as maiores ocorrências de raios e precipitação.

Através da distribuição da média das ocorrências de raios nos períodos seco e chuvoso, conjuntamente com as observadas sazonalmente, pode-se inferir que as áreas de estudo estão contempladas em uma região que apresenta uma climatologia parecida, já que tanto no período seco, quanto no chuvoso todas as áreas apresentaram o mesmo comportamento, em que o período chuvoso apresentou-se com as maiores médias de raios, assim como também a área Urbana com as maiores ocorrências. Pode-se concluir ainda que a diferença nas ocorrências de raios encontradas entre as áreas estudadas é resultante, além da influência dos diferentes tipos de superfícies apresentados no estudo, da ação da climatologia. O efeito combinado desses dois fatores levou a diferença no total de raios observados entre uma área e outra que chega a ser de mais de 90%, como pode ser observado na área das maiores ocorrências totais (área Urbana) e as de menores ocorrências totais (Água). Embora sendo a climatologia que domina as ocorrências de raios na região de estudo, as contribuições dos tipos de superfícies mostraram-se muito significativas. A separação quantitativa dessas duas contribuições ainda não foi possível de realizar nesse estudo.

As diferenças nas ocorrências de raios ficam mais evidentes no período seco, já que nesse período não apresenta a presença de sistemas de grande escala e, com isso, a contribuição dos tipos de superfícies ficam mais perceptíveis.

Quando se observa a distribuição horária das ocorrências de raios, conclui-se a existência de uma grande variação nas ocorrências desse evento, em que tanto no período chuvoso, quanto no período seco as ocorrências de raios tendem a acontecer no período compreendido entre as 14:00h UTC (15:00h UTC para período seco) e 22:00h UTC, com maiores picos observados no período chuvoso.

Conclui-se ainda a existência de uma não uniformidade na distribuição espacial das ocorrências de raios e da precipitação dentro das próprias áreas e entre elas. Nem sempre as regiões que possuem as maiores médias de precipitação vão corresponder com as áreas das maiores densidades de raios observados.

Este trabalho trouxe evidências qualitativas ou quantitativas relativas da importância dos tipos de superfícies nas densidades de raios. Essa é uma contribuição importante para outros estudos na Amazônia e em outras áreas da Terra, embora ainda não tenha sido possível quantificar separadamente as contribuições da climatologia e das superfícies para esses fenômenos, o que deve ser objeto de estudos futuros.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em 19 abr. 2012.

ALMEIDA, A. C.; ROCHA, B. R. P.; SOUZA, J. R. S.; SÁ, J. A.; PISSOLATO FILHO, J. A. Cloud-to-Ground Lightning Observations Over The Eastern Amazon Region. **Atmospheric Research**. v. 117, p. 86-90, 2012.

ALMEIDA, A. C.; SOUZA, J. R. S.; SÁ, J. A.; MONTEIRO, J. H.; ROCHA, B. R. P.; PISSOLATO FILHO, J. A. Características dos Raios Nuvem-Solo na Amazônia Oriental: Subsídios para Proteção de Sistemas Elétricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 2010, Belém, PA. **Anais...** Belém: [s.n.], 2010.

ALVES, I. C. C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M. L. S.; MONTEIRO, S. M.; BARBOSA, L. P. F.; GUIMARÃES, J. T. F. Qualidade das Águas Superficiais e Avaliação do Estado Trófico do Rio Arari (Ilha do Marajó, norte do Brasil). **Revista Acta Amazonica**. v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012.

ARAÚJO, R. L.; DINIZ, L. C.; CHERCHIGLIA, A. J., ERICSSON, H. J. Applied Research in a Intertropical Mountainous Are. In: International Conference on Power Distribution, 1990, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [AIEE], 1990. p. 1-6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5419**: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, Junho 1993.

BARROS, M. V. G.; REIS, R. S. **Análise de dados em atividade física e saúde**: demonstrando a utilização do SPSS. Londrina: Midiograf, 2003.

BASTOS, M. N. C.; SANTOS, J. U. M.; AMARAL, D. D.; NETO, S. V. C. Alterações Ambientais na Vegetação Litorânea do Nordeste do Pará. In: PROST, M. T.; MENDES, A. C. (ed.). **Ecosistemas Costeiros**: Impactos e Gestão Ambiental. Belém: MPEG, 2001. p. 28-38.

BETTS, A. K.; AND SILVA DIAS, M. A. F. Progress in Understanding Land-Surface Atmospheric Coupling From LBA Research. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 2, doi:10.3894/JAMES.2010.2.6. 2010.

BOURSCHEIDT, V. **Estudo da Relação Entre Relâmpagos, Relevo, Temperatura de Superfície e Tipos de Solo no Rio Grande do Sul**. 2008. 127 p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2008.

BOURSCHEIDT, V.; PINTO JR, O.; NACCARATO, K. P.; AND PINTO, I. R. C. A. The Influence Of Topography On The Cloud-To-Ground Lightning Density In South Brazil. **Atmospheric Research**. v. 91, p. 508–513. 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA. **Diagnóstico e Planejamento de Desenvolvimento do Território Rural do Nordeste Paraense**. Capanema-Pará, 2006.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **J. Climate**, v. 17, n.1, p.88-108, 2004.

CAVALCANTE, F. C., O Processo De Metropolização De Belém: Ponto De Partida Para A Formação Da MetrÓpole Dispersa. In: XII Simpósio Nacional de Geografia Urbana, 2011, Belo Horizonte – MG. **Anais...**, Fortaleza [s.n], 2011.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um Estudo Sobre Interações Entre Sistemas de Circulação de Escala Sinótica e Circulações Locais**. 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1982.

CHALMERS, J. A. Atmospheric Electricity. **Pergamon Press**, London, v. 327, p. 235-255, 1957.

CHAUZY, S.; SOULA, S. Contribution of the Ground Corona Ions to the Convective Charging Mechanism. **Atmospheric Research**, v. 51, n. 3-4, p. 279-300, 1999.

COHEN, J. C. P., SILVA DIAS, M. A. F., NOBRE. C, A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia, **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, vol. 4, p. 33-40. 1989.

COHEN, J. C. P., SILVA DIAS, M. A. F., NOBRE, A.C. Enviromental Conditions Associated with Amazonian Squall Lines: A Case Study; American Meteorological Society, **Monthly Weather Review**, v.123, n.11, p. 3163-3174, 1995.

DAVIDSON, E. A.; ALESSANDRO, C. A.; ARTAXO, P.; JENNIFER, K. B.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, W.; SCHROEDER, W.; SOARES FILHO, B. S.; SOUZA JR., C. M.; WOFYSY, S. C.: The Amazon Basin In Transition. **Nature**, v. 481, p. 321–328, 2012.

DENTEL, L. M.; ROCHA, B. R. P; SOUZA, J. R. S. Evaluation of Starnet Lightning Detection Performance in The Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 1, p. 115-126, 2014.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística**: para engenharia e ciências. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

DISSING, D.; VERBYLA, D. L. Spatial Patterns of Lightning Strikes in Interior Alaska and Their Relations to Elevation and Vegetation. **Can. J. For. Res.**, v. 33, p.770–782, 2003.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Criação de Gado Leiteiro na Zona Bragantina**. Sistemas de Produção, 02 ISSN 1809-4325. Versão Eletrônica Dezembro de 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/GadoLeiteiroZonaBragantina/paginas/criacao.htm>>. Acesso em: 7 mar. 2013.

FARIAS, W. R. G.; PINTO JR., O.; NACCARATO, K. P.; PINTO, I. R. C. A. Anomalous Lightning Activity Over The Metropolitan Region Of São Paulo Due To Urban Effects. **Atmospheric Research**, v. 91, p. 485-490, 2009.

FERNANDES, A. W. **Características dos Relâmpagos Gerados por Nuvens de Tempestades em Ambientes sob a Influência das Queimadas em Rondônia**. São José dos Campos, 2005. 184 p. (INPE-13831-TDI/1054). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2005.

FERREIRA, N. J., REPELLI, A. C., ALVES, J. M. B., SOUZA, E. B. LOCZCIT – Um Procedimento Numérico Para Localização do Eixo Central da Zona de Convergência Intertropical no Atlântico Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 159-164, 2005.

FERREIRA, N. J., SANCHES, M., SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitations Distribution Over Central and Western Tropical South America. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 5, n. 6, p.36-45. 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. M.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p.101-126, 1998.

FOLHA METROPÓLE. **Em Rondônia, um Único Raio Matou 64 Cabeças de Gado**. 2013. Disponível em <<http://www.folhametropole.com.br/em-rondonia-um-unico-raio-matou-64-cabecas-de-gado/>> Acesso em: 23 jun. 2013.

FRANÇA, C. F.; SOUZA FILHO, P. W. M. Analysis of Morphological Changes of Coastal Average Period On The Eastern of The Marajo Island (PA) In Landsat Image. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 12, 2003.

FURTADO, A. M. M; FRANÇA, C. F; PIMENTEL, M. A. S; et al. Relação Relevo-Solo-Vegetação da Ilha de Marajó. In: XI Simpósio Nacional e Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa - MG. **Anais...** Viçosa – MG: [s.n], 2009.

G1. **Raio Cai em Fazenda e Mata 36 Cabeças de Gado em Minaçu, Goiás**. 2013. Disponível em <<http://g1.globo.com/goias/noticia/2013/02/raio-cai-em-fazenda-e-mata-36-cabecas-de-gado-em-minacu-goias.html>> Acesso em: 23 jun. 2013.

GIN, R. B. B. **Estudo Coordenado De Um Sistema De Tempestade Sobre A América Do Sul**. 1192. 98 p. (INPE-5388 -TDI/477). Dissertação (Mestrado em Ciência Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1992.

GOMES, A. C. S. **Estudo Bioclimatológico entre as condições do tempo e a malária na Amazônia legal**. 2011. 84 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

GOMES, M. A. S. S. **Estudo dos Relâmpagos na Região Sudeste do Brasil em Função das Características Geográficas**. 2002. 149 p. (INPE-10055-TDI/889). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2002.

GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA - ELAT. 2011. Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>> Acesso em: 20 nov. 2011.

GRUPO DE ELETRICIDADE ATMOSFÉRICA - ELAT. **Boletim ELAT**. 2013. Disponível em <<http://www.inpe.br/webelat/boletim/displayAllBoletins.html>> Acesso em: 23 jun. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 10 out. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

KAMRA, A. K.; RAVICHANDRAN, M. On the Assumption of The Earth's Surface as a Perfect Conductor in Atmospheric Electricity. **Journal of Geophysical Research**, v. 98, n. D12, p. 22.875-22.885, 1993.

KINDERMANN, G. **Descarga Atmosférica**. Porto Alegre-RS: Sagra Ed., 1992, 132 p.

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

MACHADO, W. B. **Balço de Energia em Áreas de Florestas e de um Campo Agrícola no Leste da Amazonia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2012.

MARENGO, J. A. Condições climáticas e os recursos hídricos no norte brasileiro. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B.(Org.). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Coleção ABRH, 2003.

MARENGO, J.A; LIERBMANN, B.; KOUSKY, V.E.; FILIZOLA N.P.; WAINER, I.C. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833-852, 2001.

MARINHO, R. S. Aspectos Geográficos da zona Costeira Paraense: o caso do município de Salinópolis. In: VI Congresso Brasileiro de Geógrafos, 2004, Goiânia. **Caderno de Resumos**. Goiânia, p. 271-271, 2004.

MARSHAL SPACE CENTER / NASA: **New Maps From Orbiting Sensors Reveal Where On Earth The Powerful Bolts Will Most Likely Strike**. Disponível em: <<http://www.msfc.nasa.gov/news/NSSTC/news/photos/2002/photosN02-001.htm>>. Acesso em 20 abr. 2013.

MEDRI, W. **Análise Exploratória de Dados**. Londrina: UEL, 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/estatisticaeducacao/textos_didaticos/especializacao_estadistica.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

MENDES, O.; DOMINGUES, M. O. Introdução a Eletrodinâmica Atmosférica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, p. 3-19, 2002.

MOLION, L. C. B. Amazonian Rainfall And Its Variability. In: **HYDROLOGY and Water Management in the Humid Tropics**. Cambridge University. Ed., p. 99-111, 1993.

MOURA, M. A. L.; X. MEIXNER, F.; TREBS, I.; LYRA, R. F. F.; O. ANDREAE, M.; FILHO, M. F. N. Evidência Observacional Das Brisas do Lago de Balbina (Amazonas) e seus Efeitos Sobre a Concentração do Ozônio. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 4, p. 605-611. 2004.

NACCARATO, K. P. **Estudo de Relâmpagos no Brasil com Base na Análise de Desempenho do Sistema de Localização de Tempestades**. 2001, 165 p. (INPE-8380-TDI/770). Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2001.

NACCARATO, K. P. **Análise das características dos relâmpagos na Região Sudeste do Brasil**. 2006. 362 p. (INPE-14083-TDI/1069). Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.

NACCARATO, K. P. et al. Evidence of Thermal and Aerosol Effects on The Cloud to - Ground Lightning Density and Polarity Over Large Urban Areas of Southeastern Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 13, p. 71-74, 2003.

NECHET, D. Variabilidade Diurna de trovoadas em Belém-PA. In: VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1990, Salvador. **Anais...** Salvador: [s.n.], 1990, p. 393-396.

NECHET, D. Variabilidade Diurna de Precipitação e de trovoadas em Manaus-AM. In: VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 1992, p. 243-247.

NECHET, D. Variabilidade Diurna de Precipitação e de trovoadas em Macapá-AP. In: VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: [s.n.], 1994, p. 184-187.

NECHET, D. Variabilidade Diurna de Precipitação e de Trovoadas em Boa Vista-RR. In: IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1996, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: [s.n.], 1996, p. 176-180.

NECHET, D.; BARROS, E. S. Variabilidade Diurna de Precipitação e de Trovoadas em Porto Velho-RO. In: VIII Congresso da FLISMET, 1998, Brasília. **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET.** Brasília, 1998.

NECHET, D.; CUTRIM, E.; SOUZA, D. C.; SOUZA, P. F. S. Variação Diurna de Eventos de Trovoadas em Santarém-PA. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2006.

NECHET, D.; SA, M. O.; BARROS, E. S.; PEREIRA, L. C. Variabilidade Diurna de Precipitação e de Trovoadas em Rio Branco-AC. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. p. 478-483.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes Estatísticos Para Comparação de Médias. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 5, n. 6, p. 777-788, 2008.

OLIVEIRA, A. P.; FITZJARRALD, D. R. The Amazon River Breeze and the Local Boundary Layer I Observations. **Boundary Layer Meteorology**, v. 63, n. 1-2, p. 141-162, 1993.

ORVILLE, R. E.; HUFFINES, G. R. Lightning Ground Flash Measurements Over the Contiguous United States: 1995 to 1997. **Monthly Weather Review**, v. 127, n. 11, p. 2693-703, 1999.

PARÁ. Secretaria Executiva de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças - SEPOF. **Estatística Municipal – Microrregião do Salgado. Governo do Estado do Pará.** Belém-Pará, 2005.

PINTO, I. R. C. A.; PINTO JR., O.; GIN, R. B. B.; DINIZ, J. H.; ARAÚJO, R. L.; CARVALHO, A. M. 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, 1992b.

PINTO, JR. O., GARCIA, S. A. M. The Brazilian Integrated Lightning Detection Network – RINDAT the third largest network in the world, **II Workshop RINDAT – GROUND.**2004.

PINTO JR., O.; PINTO, I. R. C. A.: **About Sensitivity Cloud-To-Ground Lightning Activity To Surface Air Temperature Changes At Different Time Scales In The City Of São Paulo**. Brazil Proceedings of the 20th International Lightning Detection Conference and 2nd International Lightning Meteorology Conference, Inc., Tucson, AZ. 2008.

PINTO JR., O.; PINTO, I. R. C. A. **Relâmpagos**. 2. Ed. São Paulo: Brasiliense, 2008. 1012 p.

PINTO JR., O.; PINTO, I. R. C. A. **Tempestades e Relâmpagos no Brasil**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 185p.

PINTO JR., O.; PINTO, I. R. C. A.; GIN, R. B. B.; MENDES JR., O. A Coordinated Study Of A Storm System Over The South American Continent 1. Weather Information And Quasi-dc-Stratospheric Electric Field Data. **Journal of Geophysical Research**, v. 27, n. D16, p. 18195-18204, Nov. 1992a.

PINTO JR., O.; PINTO, I. R. C. A.; NACCARATO, K. P.: Maximum Cloud-To-Ground Lightning Flash Densities Observed By Lightning Location Systems In The Tropical Region: A Review. **Atmospheric Research**, v. 84, p. 189–200. 2007.

PINTO JR, O. et al. Cloud-to-ground Lightning in Southeastern Brazil in 1993 1. Geographical distribution. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. D24, p. 31369-31379, 1999.

POMPEU, M. M. **Relações Entre Raios e Chuvas na Amazônia Oriental**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2012.

REAP, R. M. Evaluation of Cloud-to-Ground lightning Data From the Western United States for the 1983-84 Sumer Seasons. **Journal of Applied Meteorology**. v. 25, n. 6, p. 785-799, 1986.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

RIBEIRO, W. M. N. **Distribuição de Raios, Precipitação e Casos de Tempestades Severas na Amazônia Oriental**. 2010. 126 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2010.

RIBEIRO, W. M. N.; SOUZA, J. R. S.; ALMEIDA, A. C., F.; SANTOS, A. A.; E ROCHA, B. R. P. Lightning and Precipitation Distributions over Different Surface Types, in Eastern Amazonia. **XIV International Conference on Atmospheric Electricity**. Rio de Janeiro, Brazil, 2011.

RIBEIRO, W. M. N.; SOUZA, J. R. S.; TEIXEIRA, V. A.; SANTOS, A. P. P. Variabilidade temporal e espacial dos Raios e Chuva no Leste da Amazônia. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia CBMET 2010, Belém. **Anais...** Belém: [s.n.], 2010.

ROCHA, B. R. P.; SOUZA, J. R. S.; PEREIRA, C. S.; MOTA, G. V.; ROCHA, E. J. P.; LOBATO, M. P.; LESSA, L. A. S.; MONTEIRO, J. H. A. Lightning Characteristics Time Distribution Over Four Locations in Eastern Amazonia. In: IX International Symposium on Lightning Protection, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s.n.], 2007.

ROCHA, B. R. P.; SOUZA, J. R. S.; SILVA, I. M. O; ARAÚJO, A. X. S. Estimativas de Precipitação através da Frequência de Raios Nuvem-Solo, em Belém. In: V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 1997, p. 1163-1166.

SÁ, T. D. A. A Embrapa Contribuindo em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Sistemas Agroflorestais para o Desenvolvimento Sustentável do Brasil. In: RIBEIRO, D. (Org.). **Sistemas Agroflorestais - Bases Científicas Para o Desenvolvimento Sustentável**. Campos dos Goytacazes: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais e Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006, p. 321-330.

SALAGYN, R. C., CURTIS, H. O., SMITH, L. G. Atmospheric Electricity. In: CAMPEN Jr., C. F.; COLE, A. E. (Ed.). **Handbook of geophysics**, New York: MacMillan, 1961. cap. 9. p. 9.1-3.6.

SALOMÃO, R. DE P.; NEPSTAD, D. C.; VIEIRA, I. C. G. Como a Biomassa de Florestas Tropicais Influi no Efeito Estufa? **Ciência Hoje**, v. 21, n. 23, p. 38 – 47, 1996.

SANTOS, A. A. S. **Influência De Sistemas Meteorológicos De Grande Escala Sobre A Distribuição De Raios Na Amazônia Oriental, Com Aplicação No Setor Elétrico**. 2010. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2010.

SANTOS, R. C. P.; LISBOA, R. C. L. Musgos (Bryophita) do Nordeste Paraense, Brasil -1. Zona Bragantina, Microrregião do Salgado e Município de Viseu. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 3, p. 415-422. ISSN 0044-5967, 2003.

SCHONLAND, B. F. **The Flight of Thunderbolts**. Oxford: Claredon Press, 1950. p. 152.

SELLERS, P. J. et al. A Simple Biosphere Model (SIB) For Use Within General Circulation Models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 6, p. 505-531, 1986.

SERRA, A. Climatologia: Trovoadas e Névoa Seca. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 255, Out/Nov, p. 142-163, 1977.

SILVA, M. T. F. **Estudo das Descargas Elétricas Atmosféricas associadas a Sistemas Convectivos de Mesoescala para a região Sudeste do Brasil**. 2009. 115 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

SMITH, R. B. The Influence of Mountains on The atmosphere. In: SALTZMAN, B. (Ed.). **Advances in geophysics**. New York: Academic Press Inc., v. 21, p. 87-230, 1979.

SORIANO, L. R.; DE PABLO, F. Effect of Small Urban Areas in Central Spain on the Enhancement of Cloud-to-Ground Lightning Activity. **Atmospheric Environment**, v. 36, n. 17, p. 2809-2816, 2002.

SOUZA, E. B. AMBRIZZI, T. Pentad Precipitation Climatology Over Brasil And Associated Atmospheric Mechanisms. Climanálise – **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, 2003.

SOUZA, J. M.; PÓVOA, M. M.; FRAIHA NETO, H. Malária. In: VERONESI, R.; FOCACCIA, R. (Coord.). **Tratado de Infectologia**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2004. p. 1518-1519.

SOUZA, J. R. S.; ROCHA, B. R. P.; COSTA, J. M.; DUTRA, S. L. G. Características Dos Eventos de Raios Nuvem-Solo E Sua Distribuição Em Área No Leste Do Pará. In: V Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 1997, São Paulo - SP. **Anais...** São Paulo: [s.n], 1997, p. 1152-1155.

SOUZA, W. A. P. **Análise de Desempenho da Rede de Detecção de Raios do Sipam**. 2009. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

TAVARES, J. P. N. **Tempestades severas na região metropolitana de Belém: avaliação das condições termodinâmicas e Impactos socioeconômicos.** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2009.

TAVARES, J. P. N. Interação Entre a Vegetação e a Atmosfera Para Formação de Nuvens e Chuva na Amazônia: Uma Revisão. **Estudos Avançados** (USP. Impresso), v. 26, p. 219-228, 2012.

TAVARES, J. P. N.; MOTA, M. A. S. Condições Termodinâmicas De Eventos De Precipitação Extrema Em Belém-PA Durante A Estação Chuvosa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 207-218, 2012.

TEIXEIRA, V. A.; MOTA, G. V.; SOUZA, J. R. S.; RIBEIRO, W. M. N. Lightning Density Distribution over Eastern Amazonia, from 10-years Data of Observations by TRMM – LIS. In: XIV International Conference on Atmospheric Electricity, 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n.], 2011.

TIMOSSI, L. S. **Correlações Entre a Qualidade de Vida e a Qualidade de Vida no Trabalho em Colaboradores das Indústrias de Laticínios.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2009.

TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

UMAN, M. A. **The Lightning Discharge.** Orlando, Florida: Academic Press, p. 370, 1987. (International Geophysics Series, v. 39).

VENTURIERI, A.; WATRIN, O. DOS S.; ROCHA, A. M. A. DA; SILVA, B. N. R. DA; Avaliação da Dinâmica da Paisagem da Ilha do Mosqueiro, Município de Belém, Pará. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Santos: [s.n.], 1998, INPE, p. 247-256.

VIEIRA, I.C.G. **Forest succession after shifting cultivation in easter Amazônia.** 1996. 639 p. Thesis (Ph.D). Department of Biological and Molecular Sciences University of Stirling, Scotland. 1996.

WAGNER, D.K. Mesos e Microrregiões Formam um Grande Estado. **Nosso Pará.** Belém, n. 2, p. 12-13, 1995.

WEBSTER, A. L. **Estatística aplicada à administração e economia**. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

XAVIER, T. M. B., XAVIER, A. F. S., SILVA DIAS, P. L., SILVA DIAS, M. A. F. A Zona de Convergência Intertropical – ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 15, n. 1, p. 27-43. 2000.

ANEXO A

ANEXO 01: Relação das estações meteorológicas, suas localizações geográficas e médias trimestrais e totais de precipitação do período de Junho de 2008 a Novembro de 2010.

| Nome da Estação | Responsável | Operador | Lat | Long | JJA | SON | DJF | MAM | Média do Período |
|------------------------------|-------------|----------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|------------------|
| Abaetetuba | ANA | CPRM | -1,7503 | -48,866 | 157 | 57 | 230 | 358 | 182 |
| Acampamento Mendes Junior | ANA | CPRM | -2,3433 | -47,846 | 157 | 75 | 333 | 604 | 257 |
| Acará | ANA | CPRM | -1,9708 | -48,205 | 122 | 65 | 352 | 689 | 281 |
| Alto Bonito | ANA | CPRM | -1,8175 | -46,343 | 67 | 29 | 182 | 293 | 129 |
| Badajós | ANA | CPRM | -2,5128 | -47,768 | 72 | 45 | 276 | 380 | 167 |
| Bujaru | ANA | CPRM | -1,5211 | -48,046 | 124 | 59 | 195 | 287 | 151 |
| Cachoeira | ANA | CPRM | -3,5142 | -49,222 | 15 | 50 | 278 | 255 | 119 |
| Tracambeua | | | | | | | | | |
| Cafezal | ANA | CPRM | -2,7717 | -46,802 | 66 | 25 | 231 | 399 | 150 |
| Capanema | ANA | CPRM | -1,2036 | -47,178 | 171 | 41 | 174 | 410 | 181 |
| Castanhal | ANA | CPRM | -1,2975 | -47,939 | 195 | 138 | 216 | 366 | 211 |
| Colônia Santo Antônio | ANA | CPRM | -1,6672 | -47,496 | 129 | 65 | 134 | 337 | 185 |
| Curuçá | ANA | CPRM | -0,7375 | -47,853 | 205 | 21 | 274 | 504 | 225 |
| Emborai | ANA | CPRM | -1,2917 | -46,583 | 199 | 17 | 160 | 455 | 187 |
| Fazenda Juará | ANA | CPRM | -2,0355 | -47,750 | 121 | 68 | 227 | 321 | 166 |
| Fazenda Maringa | ANA | CPRM | -3,1544 | -48,085 | 34 | 42 | 224 | 327 | 136 |
| Fazenda Planalto | ANA | CPRM | -3,4625 | -47,479 | 31 | 28 | 195 | 621 | 181 |
| Fazenda Rural Zebu | ANA | CPRM | -3,3469 | -46,877 | 44 | 25 | 173 | 244 | 104 |
| Fazenda São Raimundo | ANA | CPRM | -2,4283 | -47,514 | 126 | 44 | 215 | 368 | 168 |
| Fazenda Urucure | ANA | CPRM | -2,4456 | -48,582 | 87 | 71 | 317 | 370 | 185 |
| Goianésia | ANA | CPRM | -3,8336 | -49,085 | 20 | 55 | 312 | 374 | 163 |
| Igarapé-Açu | ANA | CPRM | -1,1325 | -47,628 | 205 | 34 | 195 | 341 | 181 |
| Igarapé-Miri | ANA | CPRM | -1,9706 | -48,933 | 109 | 90 | 244 | 399 | 181 |
| Japiim | ANA | CPRM | -1,7989 | -46,696 | 139 | 50 | 157 | 296 | 161 |
| Magalhães Barata | ANA | CPRM | -0,7944 | -47,599 | 190 | 30 | 210 | 494 | 207 |
| Maruda | ANA | CPRM | -0,6336 | -47,658 | 143 | 12 | 297 | 487 | 207 |
| Mosqueiro | ANA | CPRM | -1,0942 | -48,398 | 212 | 84 | 255 | 399 | 226 |
| Nova Mocajuba | ANA | CPRM | -1,2728 | -46,889 | 175 | 30 | 131 | 324 | 144 |
| Nova Timboteua | ANA | CPRM | -1,2111 | -47,386 | 169 | 27 | 234 | 366 | 179 |
| Ourem | ANA | CPRM | -1,5516 | -47,117 | 144 | 55 | 190 | 350 | 168 |
| Pa-256 / Rio Acara- Mirim | ANA | CPRM | -2,7836 | -48,359 | 102 | 46 | 250 | 397 | 170 |
| Pa-256 / Rio Capim | ANA | CPRM | -2,9542 | -47,836 | 57 | 49 | 283 | 405 | 170 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Paragominas | ANA | CPRM | -3,01 | -47,343 | 25 | 29 | 149 | 381 | 153 |
| Primavera | ANA | CPRM | -0,9294 | -47,099 | 234 | 26 | 218 | 421 | 206 |
| Salinópolis | ANA | CPRM | -0,6231 | -47,353 | 162 | 3 | 287 | 381 | 184 |
| Santa Isabel do Pará | ANA | CPRM | -1,2964 | -48,170 | 149 | 97 | 263 | 439 | 214 |
| Santa Luzia do Pará | ANA | CPRM | -1,5161 | -46,906 | 129 | 38 | 177 | 361 | 164 |
| Santa Maria do | ANA | CPRM | -2,2352 | -46,435 | 89 | 47 | 194 | 323 | 147 |
| Gurupí – Cigana | | | | | | | | | |
| São Domingos do | ANA | CPRM | -1,6775 | -47,77 | 113 | 49 | 199 | 365 | 158 |
| Capim | | | | | | | | | |
| São João de Pirabas | ANA | CPRM | -0,7747 | -47,177 | 192 | 8 | 221 | 695 | 205 |
| Tailândia | ANA | CPRM | -2,9503 | -48,966 | 38 | 50 | 324 | 449 | 181 |
| Tararua – Ponte | ANA | CPRM | -1,7330 | -46,598 | 95 | 51 | 177 | 296 | 140 |
| Terra Alta | ANA | CPRM | -1,0386 | -47,913 | 248 | 53 | 274 | 473 | 240 |
| Tomé-Açu | ANA | CPRM | -2,4283 | -48,137 | 84 | 57 | 281 | 461 | 191 |
| Vigia | ANA | CPRM | -0,8680 | -48,110 | 202 | 33 | 218 | 452 | 204 |
| Vila do Conde | ANA | CPRM | -1,5656 | -48,766 | 199 | 52 | 268 | 509 | 195 |
| Vila Elim | ANA | CPRM | -2,8044 | -49,377 | 80 | 42 | 297 | 414 | 179 |
| Viseu | ANA | CPRM | -1,2314 | -46,187 | 211 | 3 | 148 | 438 | 181 |
| Acampamento IBDF | ANA | CPRM | -1,7922 | -51,434 | 120 | 40 | 226 | 400 | 181 |
| Acangata | ANA | CPRM | -2,245 | -50,629 | 120 | 73 | 187 | 416 | 152 |
| Afuá | ANA | CPRM | -0,1603 | -50,389 | 227 | 69 | 368 | 355 | 237 |
| Altamira | INMET | INMET | -3,2142 | -52,213 | 85 | 47 | 290 | 463 | 198 |
| Anajás | ANA | CPRM | -0,9853 | -49,939 | 164 | 123 | 329 | 352 | 229 |
| Antônio Lemos | ANA | CPRM | -1,7917 | -50,434 | 173 | 260 | 415 | 462 | 305 |
| Areias | ANA | CPRM | -1,2131 | -51,262 | 180 | 116 | 328 | 472 | 249 |
| Bom Jardim da | ANA | CPRM | -3,6697 | -50,971 | 69 | 26 | 301 | 444 | 179 |
| Transamazônica | | | | | | | | | |
| Bom Jardim | ANA | CPRM | -0,7947 | -51,623 | 228 | 77 | 320 | 385 | 233 |
| Cachoeira do Arari | ANA | CPRM | -0,6653 | -49,171 | 141 | 24 | 233 | 450 | 186 |
| Carrazedo | ANA | CPRM | -1,5825 | -51,917 | 163 | 64 | 334 | 345 | 204 |
| Chaves | ANA | CPRM | -0,1656 | -49,978 | 224 | 79 | 320 | 437 | 235 |
| Cipoal | ANA | CPRM | -2,785 | -50,453 | 60 | 34 | 320 | 397 | 180 |
| Fazenda Estrela do | ANA | CPRM | -3,8706 | -50,462 | 28 | 37 | 298 | 380 | 161 |
| Norte | | | | | | | | | |
| Granja Gazela | ANA | ELETRONORTE | -3,4194 | -51,255 | 55 | 65 | 259 | 389 | 166 |
| Irapuru | ANA | CPRM | -2,4533 | -50,922 | 68 | 47 | 243 | 337 | 151 |
| Jarilândia | ANA | CPRM | -1,1233 | -51,996 | 171 | 51 | 178 | 329 | 186 |
| Joana Coeli | ANA | CPRM | -1,8975 | -49,381 | 169 | 62 | 323 | 461 | 226 |
| Maracacuera Florestal | ANA | CPRM | -2,245 | -51,179 | 102 | 36 | 253 | 372 | 167 |
| Muaná | ANA | CPRM | -1,5364 | -49,232 | 84 | 27 | 304 | 511 | 196 |
| Oeiras do Pará | ANA | CPRM | -2,0019 | -49,863 | 118 | 49 | 265 | 399 | 188 |
| Santa Cruz do Arari | ANA | CPRM | -1,0158 | -48,959 | 158 | 20 | 253 | 464 | 197 |
| São Sebastião da Boa | ANA | CPRM | -1,7167 | -49,516 | 69 | 49 | 268 | 389 | 192 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Vista | | | | | | | | | |
| Senador José Porfírio | ANA | ELETRONORTE | -2,5867 | -51,948 | 76 | 41 | 343 | 374 | 178 |
| Vila São Benedito | ANA | CPRM | -1,9916 | -50,368 | 175 | 32 | 264 | 448 | 224 |
| Baião | ANA | CPRM | -2,785 | -49,669 | 95 | 36 | 341 | 409 | 198 |
| Joana Peres | ANA | CPRM | -3,0169 | -49,75 | 116 | 25 | 350 | 471 | 208 |
| Nova Jacunda | ANA | CPRM | -4,4628 | -49,119 | 52 | 74 | 272 | 373 | 166 |
| Novo Repartimento | ANA | CPRM | -4,24 | -49,954 | 44 | 55 | 327 | 371 | 181 |
| Vila do Carmo | ANA | CPRM | -2,4497 | -49,438 | 113 | 58 | 351 | 425 | 207 |
| Belém | INMET | INMET | -1,43 | -48,43 | 175 | 117 | 335 | 447 | 244 |
| Tracuateua | INMET | INMET | -1.06 | -46.9 | 223 | 12 | 196 | 419 | 194 |
| Soure | INMET | INMET | -0.73 | -48.51 | 160 | 23 | 306 | 557 | 227 |

ANEXO B

ANEXO 02: Resultado estatístico de Tukey em relação as médias mensais das ocorrências de raios ocorridas nos diferentes tipos de superfícies (tratamento), no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental.

| TRATAMENTO | {1} média 3389,3 | {2} média 2335,1 | {3} média 1977,9 | {4} média 1593,9 | {5} média 1218,9 | {6} média 1184,6 | {7} média 1054,3 | {8} média 203,50 |
|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| {1} ÁREA URBANA | | 0,589425 | 0,220235 | 0,044595 | 0,006196 | 0,005097 | 0,002384 | 0,000123 |
| {2} OESTE MARAJÓ | 0,589425 | | 0,998479 | 0,896782 | 0,516507 | 0,476615 | 0,335657 | 0,007714 |
| {3} ÁREA ANTROPIZADA | 0,220235 | 0,998479 | | 0,997545 | 0,884673 | 0,859075 | 0,737535 | 0,049265 |
| {4} COSTA | 0,044595 | 0,896782 | 0,997545 | | 0,997887 | 0,996309 | 0,980520 | 0,236737 |
| {5} FLORESTA | 0,006196 | 0,516507 | 0,884673 | 0,997887 | | 1,000000 | 0,999992 | 0,634906 |
| {6} FLORESTA 2 | 0,005097 | 0,476615 | 0,859075 | 0,996309 | 1,000000 | | 0,999998 | 0,674332 |
| {7} LESTE MARAJÓ | 0,002384 | 0,335657 | 0,737535 | 0,980520 | 0,999992 | 0,999998 | | 0,809862 |
| {8} ÁGUA | 0,000123 | 0,007714 | 0,049265 | 0,236737 | 0,634906 | 0,674332 | 0,809862 | |

ANEXO C

ANEXO 03a: Resultado estatístico de Tukey em relação as médias horárias das ocorrências de raios no período chuvoso (Dezembro a Maio), ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental (primeira parte).

| HORA (UTC) | {00:00} média 0,41250 | {01:00} média 0,40000 | {02:00} média 0,25590 | {03:00} média 0,13750 | {04:00} média 0,12292 | {05:00} média 0,07535 | {06:00} média 0,05313 | {07:00} média 0,05382 | {08:00} média 0,05833 | {09:00} média 0,20521 | {10:00} média 0,25278 | {11:00} média 0,07396 |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 00:00 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:01 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:02 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:03 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:04 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:05 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:06 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:07 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:08 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:09 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 |
| 10:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 |
| 11:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | |
| 12:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 13:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 14:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 15:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 16:00 | 0,884768 | 0,882103 | 0,848645 | 0,817470 | 0,813410 | 0,799846 | 0,793344 | 0,793549 | 0,794877 | 0,835693 | 0,847864 | 0,799443 |
| 17:00 | 0,000414 | 0,000404 | 0,000305 | 0,000214 | 0,000207 | 0,000187 | 0,000178 | 0,000179 | 0,000180 | 0,000277 | 0,000303 | 0,000186 |
| 18:00 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000017 |
| 19:00 | 0,000021 | 0,000021 | 0,000020 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000020 | 0,000019 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 20:00 | 0,000038 | 0,000037 | 0,000031 | 0,000027 | 0,000027 | 0,000026 | 0,000025 | 0,000025 | 0,000025 | 0,000029 | 0,000031 | 0,000026 |
| 21:00 | 0,584730 | 0,580100 | 0,526644 | 0,483059 | 0,477740 | 0,460492 | 0,452493 | 0,452743 | 0,454364 | 0,507908 | 0,525488 | 0,459991 |
| 22:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 23:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |

ANEXO 03b: Resultado estatístico de Tukey em relação as médias horárias das ocorrências de raios no período chuvoso (Dezembro a Maio), ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental (segunda parte).

| HORA (UTC) | {12:00} média 0,07257 | {13:00} média 0,19340 | {14:00} média 0,72882 | {15:00} média 1,9507 | {16:00} média 5,1497 | {17:00} média 10,915 | {18:00} média 14,351 | {19:00} média 12,751 | {20:00} média 12,108 | {21:00} média 6,1191 | {22:00} média 1,6472 | {23:00} média 0,64757 |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 00:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,884768 | 0,000414 | 0,000018 | 0,000021 | 0,000038 | 0,584730 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:01 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,882103 | 0,000404 | 0,000018 | 0,000021 | 0,000037 | 0,580100 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:02 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,848645 | 0,000305 | 0,000018 | 0,000020 | 0,000031 | 0,526644 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:03 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,817470 | 0,000214 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000027 | 0,483059 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:04 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,813410 | 0,000207 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000027 | 0,477740 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:05 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,799846 | 0,000187 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000026 | 0,460492 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:06 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,793344 | 0,000178 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000025 | 0,452493 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:07 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,793549 | 0,000179 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000025 | 0,452743 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:08 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,794877 | 0,000180 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000025 | 0,454364 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:09 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,835693 | 0,000277 | 0,000018 | 0,000019 | 0,000029 | 0,507908 | 1,000000 | 1,000000 |
| 10:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,847864 | 0,000303 | 0,000018 | 0,000020 | 0,000031 | 0,525488 | 1,000000 | 1,000000 |
| 11:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,799443 | 0,000186 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000026 | 0,459991 | 1,000000 | 1,000000 |
| 12:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,799039 | 0,000186 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000026 | 0,459490 | 1,000000 | 1,000000 |
| 13:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,832591 | 0,000271 | 0,000017 | 0,000019 | 0,000029 | 0,503559 | 1,000000 | 1,000000 |
| 14:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,939663 | 0,000789 | 0,000018 | 0,000026 | 0,000063 | 0,698770 | 1,000000 | 1,000000 |
| 15:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999034 | 0,008856 | 0,000020 | 0,000204 | 0,000837 | 0,967569 | 1,000000 | 1,000000 |
| 16:00 | 0,799039 | 0,832591 | 0,939663 | 0,999034 | 0,999034 | 0,562971 | 0,005674 | 0,081841 | 0,187803 | 1,000000 | 0,996365 | 0,927813 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 17:00 | 0,000186 | 0,000271 | 0,000789 | 0,008856 | 0,562971 | | 0,997224 | 1,000000 | 1,000000 | 0,871928 | 0,004998 | 0,000668 |
| 18:00 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000018 | 0,000020 | 0,005674 | 0,997224 | | 1,000000 | 0,999998 | 0,031424 | 0,000019 | 0,000018 |
| 19:00 | 0,000019 | 0,000019 | 0,000026 | 0,000204 | 0,081841 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 0,269410 | 0,000107 | 0,000024 |
| 20:00 | 0,000026 | 0,000029 | 0,000063 | 0,000837 | 0,187803 | 1,000000 | 0,999998 | 1,000000 | | 0,480398 | 0,000451 | 0,000054 |
| 21:00 | 0,459490 | 0,503559 | 0,698770 | 0,967569 | 1,000000 | 0,871928 | 0,031424 | 0,269410 | 0,480398 | | 0,932394 | 0,670315 |
| 22:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,996365 | 0,004998 | 0,000019 | 0,000107 | 0,000451 | 0,932394 | | 1,000000 |
| 23:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,927813 | 0,000668 | 0,000018 | 0,000024 | 0,000054 | 0,670315 | 1,000000 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 20:00 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 |
| 21:00 | 0,805217 | 0,787108 | 0,783625 | 0,775393 | 0,771024 | 0,767421 | 0,764197 | 0,762172 | 0,761496 | 0,762037 | 0,768090 | 0,770891 |
| 22:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 23:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |

ANEXO 04b: Resultado estatístico de Tukey em relação as médias horárias das ocorrências de raios no período seco (Junho a Novembro), ocorridas nos diferentes tipos de superfícies, no período de Junho de 2008 a Novembro de 2010 em áreas da Amazônia Oriental (segunda parte).

| HORA (UTC) | {12:00} média | {13:00} média | {14:00} média | {15:00} média | {16:00} média | {17:00} média | {18:00} média | {19:00} média | {20:00} média | {21:00} média | {22:00} média | {23:00} média |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0,04453 | 0,12318 | 0,24167 | 1,3138 | 2,3146 | 4,9607 | 8,5659 | 9,7661 | 8,6193 | 3,1630 | 0,45990 | 0,16328 |
| 00:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,993466 | 0,043954 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,805217 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:01 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,991850 | 0,039908 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,787108 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:02 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,991513 | 0,039186 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,783625 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:03 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,990682 | 0,037546 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,775393 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:04 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,990220 | 0,036712 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,771024 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:05 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,989828 | 0,036041 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,767421 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:06 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,989470 | 0,035454 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,764197 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:07 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,989240 | 0,035091 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,762172 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:08 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,989163 | 0,034971 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,761496 | 1,000000 | 1,000000 |
| 00:09 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,989225 | 0,035067 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,762037 | 1,000000 | 1,000000 |
| 10:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,989902 | 0,036165 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,768090 | 1,000000 | 1,000000 |
| 11:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,990206 | 0,036687 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000017 | 0,770891 | 1,000000 | 1,000000 |
| 12:00 | | 1,000000 | 1,000000 | 0,999999 | 0,991085 | 0,038320 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,779331 | 1,000000 | 1,000000 |
| 13:00 | 1,000000 | | 1,000000 | 1,000000 | 0,994404 | 0,046908 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,817075 | 1,000000 | 1,000000 |
| 14:00 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 0,997417 | 0,062956 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,866823 | 1,000000 | 1,000000 |
| 15:00 | 0,999999 | 1,000000 | 1,000000 | | 1,000000 | 0,470988 | 0,000027 | 0,000018 | 0,000025 | 0,999540 | 1,000000 | 1,000000 |
| 16:00 | 0,991085 | 0,994404 | 0,997417 | 1,000000 | | 0,947059 | 0,000612 | 0,000022 | 0,000511 | 1,000000 | 0,999518 | 0,995650 |
| 17:00 | 0,038320 | 0,046908 | 0,062956 | 0,470988 | 0,947059 | | 0,496083 | 0,050855 | 0,463985 | 0,999708 | 0,104596 | 0,051894 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 18:00 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000027 | 0,000612 | 0,496083 | | 1,000000 | 1,000000 | 0,009761 | 0,000018 | 0,000018 |
| 19:00 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000017 | 0,000018 | 0,000022 | 0,050855 | 1,000000 | | 1,000000 | 0,000168 | 0,000017 | 0,000017 |
| 20:00 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000018 | 0,000025 | 0,000511 | 0,463985 | 1,000000 | 1,000000 | | 0,008309 | 0,000018 | 0,000018 |
| 21:00 | 0,779331 | 0,817075 | 0,866823 | 0,999540 | 1,000000 | 0,999708 | 0,009761 | 0,000168 | 0,008309 | | 0,934394 | 0,834910 |
| 22:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,999518 | 0,104596 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,934394 | | 1,000000 |
| 23:00 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 0,995650 | 0,051894 | 0,000018 | 0,000017 | 0,000018 | 0,834910 | 1,000000 | |