



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JULIANA MARIA PINHEIRO SILVA

CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PRECIPITANTES PRODUTORES DE RELÂMPAGOS E SUAS POSSÍVEIS RELAÇÕES COM AS QUEIMADAS NO CENTRO-SUL DA AMAZÔNIA

Nº 343

BELÉM-PARÁ

JUNHO-2014

JULIANA MARIA PINHEIRO SILVA

**CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PRECIPITANTES PRODUTORES DE
RELÂMPAGOS E SUAS POSSÍVEIS RELAÇÕES COM AS QUEIMADAS NO
CENTRO-SUL DA AMAZÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
Apresentado à Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará - UFPA, em
cumprimento Às exigências para obtenção
do Grau de Bacharel em Meteorologia.
Orientador: Prof. Dr. Galdino Viana Mota.

Belém

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S586c Silva, Juliana Maria Pinheiro

Características dos sistemas precipitantes produtores de relâmpagos e suas possíveis relações com as queimadas no Centro-Sul da Amazônia / Juliana Maria Pinheiro Silva – 2014

50 f. : il

Orientador: Galdino Viana Mota

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

1. Raio - Amazônia. 2. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. 3. Queimada – Amazônia. I. Título.

CDD 22. ed.: 551.563209811

JULIANA MARIA PINHEIRO SILVA

**CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS PRECIPITANTES PRODUTORES DE
RELÂMPAGOS E SUAS POSSÍVEIS RELAÇÕES COM AS QUEIMADAS NO
CENTRO-SUL DA AMAZÔNIA**

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

Data de aprovação: ___/___/_____

Conceito: _____

Banca examinadora:

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

Meteorologista: Vanda Maria Sales de Andrade - Membro
Doutora em Agrometeorologia
Universidade Federal Rural da Amazônia

Meteorologista: Nilzele de Vilhena Gomes Jesus - Membro
Mestre em Ciências Ambientais
Universidade Federal do Pará

À Jesus Cristo, a minha família e a todos que me
auxiliaram em minha vida acadêmica.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e a Nossa Senhora, que permitiu que tudo isso acontecesse no decorrer da minha vida, não somente nestes anos como universitária, mas em todos os momentos. Obrigada pela força, determinação, estímulo e pela sabedoria com que fez eu me tornar essa pessoa que hoje sou.

À Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal do Pará, pelo seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram tanto a mim quanto aos demais que já concluíram o curso a vislumbrar um horizonte superior.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Galdino Viana Mota, pela oportunidade, ajuda, incentivo e principalmente conhecimento durante toda minha vida acadêmica e, muito mais, nesta fase em que me encontro que é a conclusão de minha graduação.

À professora Isa Maria, a quem devo todo o conhecimento, incentivo e, acima de tudo, amizade. Obrigada por sempre estar disposta a me ajudar e confiar em minha capacidade.

À minha mãe, Francisca Maria, pela heroica criação a que sou eternamente grata; pelo amor, apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai, Osvaldino Costa, que apesar de todas as dificuldades, me fortaleceu e acreditou em meus sonhos, ajudando-me e incentivando-me aos estudos. Ao senhor, sou eternamente grata.

Ao meu irmão, Oscar Costa, minhas tias, primos e, principalmente, a pessoa que conheci durante essa fase de minha vida, Claudemir Furtado, pelo amor, incentivo e ajuda a qual foram muito importantes em minha vida.

Aos meus avós, que apesar de já estarem no céu, sei que contribuíram espiritualmente para que conseguisse realizar todos os meus objetivos.

Enfim, meus agradecimentos a todos os meus amigos e irmãos na amizade, que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida; em especial a minha amiga, Jacqueline Moraes, pelos anos convívios em uma amizade sincera e de incentivos desde o período do ensino fundamental até a graduação.

RESUMO

As características da precipitação, ocorrências de relâmpagos e de cada tipo de sistema precipitante são investigados pelos dados do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) através dos sensores *Lightning Imaging Sensor* (LIS), *Precipitation Radar* (PR) e *TRMM Microwave Imager* (TMI), no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012 sobre o sul da Amazônia. Este trabalho analisou 15 anos de distribuição espacial e temporal dos relâmpagos e características dos sistemas precipitantes. Também foram analisados dados de focos de queimadas detectadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no período de 1998 a 2007. Foi selecionada uma área delimitada entre 66°W a 60°W de longitude e 14°S a 8°S de latitude, a qual, posteriormente, foi dividida em quatro sub-áreas para um melhor detalhamento das informações. Os sistemas precipitantes foram classificados seguindo a metodologia de Nesbitt et. al. 2000 e obedecendo a nova definição dos dados realizados por Liu (2007). Os sistemas precipitantes amostrados pelo satélite TRMM utilizados neste trabalho são denominados ALLPFS estes são classificados em PFS e OTHPFS, que respectivamente, são aqueles que apresentam e não apresentam informação de temperatura de brilho. Os PFS são sub-classificados em sistemas sem assinatura de gelo (WOICE), com assinatura de gelo (WICE) e sistemas convectivos de mesoescala (MCS). Os resultados mostram que as regiões próximas dos municípios de Porto Velho (extremo oeste de Rondônia), sul do município de Humaitá (no Amazonas) e parte da Bolívia foram aquelas que apresentaram as maiores ocorrências de relâmpagos, com um valor de aproximadamente 5 a 6 relâmpagos/ano*km². Os WOICES foram os sistemas mais frequentes em todas as regiões e os sistemas precipitantes da categoria WICE e MCS são aqueles que mais contribuem com a produção de relâmpagos sobre essas regiões. Os sistemas eletrificados apresentam grande contribuição no valor de precipitação sobre as regiões. Nas análises sobre a interação entre os relâmpagos e as queimadas observou que as queimadas nessa região ocorreram com mais frequência entre os meses de agosto a outubro período em que os sistemas precipitantes não estão tão atuantes em compensação aos sistemas precipitantes eletrificados e a maior quantidade de relâmpagos apresentam maior valor no segundo semestre do ano sendo assim, esse fator pode interferir na produção de relâmpagos em algumas regiões através da quantidade de aerossóis na atmosfera provenientes desta atividade.

Palavras-chave: Relâmpago; Precipitação; Queimada.

ABSTRACT

The characteristics of precipitation and lightning occurrences of each type of system are investigated by precipitating the satellite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) data through sensors Lightning Imaging Sensor (LIS), Precipitation Radar (PR) and TRMM Microwave Imager (TMI), from December 1997 to December 2012 on the southern Amazon. This study analyzed 15 years of spatial and temporal distribution of lightning and characteristics of precipitating systems. Data from outbreaks of fires detected by the National Institute for Space Research (INPE) for the period 1998-2007 were analyzed. An area bounded by 66 ° W to 60 ° W longitude and 14 ° S to 8 ° S latitude was selected, which was later divided into four sub-areas for optimum detail of information. The precipitation systems were classified following the methodology of Nesbitt et. al. 2000 and under a new definition of data conducted by Liu (2007). Precipitating systems sampled by TRMM satellite used in this work are called ALLPFS are classified in PFS and OTHPFS, which respectively are those who have and do not have information of brightness temperature. The PFS are sub-classified into systems without signature ice (WOICE), with signature ice (WICE) and mesoscale convective systems (MCS). The results show that near the cities of Porto Velho (Rondônia far west), south of the city of Humaitá (Amazonas) and part of Bolivia regions were those with the highest occurrences of lightning, with a value of approximately 5-6 lightning/year*km². The WOICES were the most common systems in all regions and precipitation systems category WICE and MCS are those that contribute most to the production of lightning over these regions. Electrified systems have great contribution in the amount of precipitation on the southern areas of the region. In the analysis of the interaction between lightning and burned noted that fires in this region occurred most frequently between August to October period when the precipitation systems are not as active in clearing electrified precipitation systems and the largest amount of lightning have higher value in the second half of the year thus, this factor can interfere with the production of lightning through the amount of aerosols in the atmosphere from this activity.

Key words: Lightning; Precipitation; Burned.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01	Classificação dos raios NS pela sua polaridade. Fonte: Visacro, 2005.	16
FIGURA 02	Destaque das respectivas sub-regiões de estudo através das latitudes e longitudes.	23
FIGURA 03	Hierarquia dos sistemas precipitantes.	24
FIGURA 04	Distribuição anual da taxa de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por quilômetro quadrado por ano), no período de 1997 a 2012 amostrado pelo LIS/TRMM.	28
FIGURA 05	Distribuição anual da quantidade de precipitação (em unidades de mm por ano), no período de 1997 a 2012 amostrado pelo TRMM-PR.	28
FIGURA 06	Distribuição da chuva volumétrica mensal no período de 12/1997 a 12/2012.	29
FIGURA 07	Distribuição mensal de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por mês por km ²).	31
FIGURA 08	(a) Distribuição sazonal da taxa de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por trimestre por km ²) e (b) distribuição sazonal da chuva (em mm/hr*km ²) no período de 12/1997 a 12/2012.	32
FIGURA 09	Fração mensal da precipitação com raios pela precipitação total.	33
FIGURA 10	Fração sazonal da precipitação com raios pela precipitação total.	34
FIGURA 11	Distribuição da média do número de sistemas precipitantes amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.	36
FIGURA 12	Distribuição do número total de sistemas eletrificados amostrados pelo LIS/TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.	37
FIGURA 13	Distribuição do número de focos de queimadas e sistemas precipitantes amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.	40
FIGURA 14	Distribuição do número de focos de queimadas e sistemas com relâmpagos amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.	41
FIGURA 15	Distribuição do número de focos de queimadas e a média mensal de relâmpagos. TRMM de 12/1997a 12/2012.	42
FIGURA 16	Distribuição do número de focos de queimadas e a média mensal da PRP amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.	43
FIGURA 17	Distribuição do número de focos de queimadas e a média mensal da PRP_F. TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALPFFS	Todos os sistemas precipitantes
WOICE	Sistemas sem gelo
WICE	Sistemas com gelo
MCS	Sistemas convectivos de mesoescala
ALPFFS_F	Todos os sistemas precipitantes eletrificados
WOICE_F	Sistemas sem gelo eletrificados
WICE_F	Sistemas com gelo eletrificados
MCS_F	Sistemas convectivos de mesoescala eletrificados
OTHPFS	Todos os Sistemas Precipitantes com temperatura de Brilho menor ou igual a 0
Km	Quilômetros
Mm	Milímetros
N	Norte
NE	Nordeste
NW	Noroeste
PRP	Precipitação
S	Sul
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
W	Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
WOICE	Sistemas sem gelo
WICE	Sistemas com gelo
MCS	Sistemas convectivos de mesoescala
NCN	Núcleo de Condensação de Nuvens
SON	Setembro, Outubro e Novembro.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	13
2.1	Nuvens	13
2.2	Raios.	14
2.3	Processo de Eletrificação das Nuvens	14
2.4	Aspectos Gerais das Queimadas	16
2.5	Queimadas e Precipitação	17
2.6	Queimadas e Raios	18
2.7	Climatologia da Região em Estudo	18
3	MATERIAIS E METODOS	21
3.1	Dados	21
3.1.1	Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)	21
3.2	Área de Estudo	22
3.3	Construção dos Gráficos	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1	Distribuição dos Relâmpagos	27
4.2	Distribuição Sazonal e Mensal dos Relâmpagos	29
4.3	Análise dos Sistemas Precipitantes e Queimadas	38
4.4	Análise dos Sistemas Precipitantes com Relâmpagos e Queimadas	38
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

Os relâmpagos são provenientes da intensa emissão de radiação eletromagnética que surge devido à separação localizada de cargas elétricas no espaço. Esses fenômenos atmosféricos geralmente são originados de nuvens convectivas do tipo Cumulonimbus, explosões nucleares e erupções vulcânicas.

Segundo Wood (1988), as descargas atmosféricas são um dos fenômenos naturais que mais causam mortes nos Estados Unidos. No Brasil, esse fenômeno também tem causado muitos prejuízos. Segundo Pinto (2000) cerca de 100 a 200 mortes por ano registradas no Brasil são causadas por relâmpagos, além de eles serem responsáveis por um prejuízo anual em torno de 500 milhões de dólares. Fernandes (2005), utilizando dados de relâmpagos obtidos através de uma rede formada por quatro antenas IMPACT situadas no solo de Rondônia e pelo sensor de imageamento de raios conhecido como *Lightning Imaging Sensor - LIS*, que se encontra a bordo do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), verificou que em ambientes poluídos as nuvens tendem a apresentar um desenvolvimento vertical maior. Nesse caso, com os centros de cargas mais elevados, devido às altas concentrações de aerossóis que afetam a microfísica das nuvens e a termodinâmica da atmosfera que, por sua vez, contribui para o desenvolvimento das nuvens. Verificou-se um aumento de raios intra-nuvem e raios positivos. Ou seja, esses estudos mostram que, além da Amazônia ser uma das regiões que apresentam as maiores densidade de raios no Brasil, a intensidade e a ocorrência desses raios pode estar sendo favorecido pelas queimadas que ocorrem frequentemente na Região Amazônica.

O monitoramento de relâmpagos no Brasil é realizado pela Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas (RINDAT) e pela rede de sensores de raios da *Sferics Timing And Ranging NETWORK* (STARNET). A RINDAT foi criada a partir de um convênio de cooperação técnico-científica entre quatro instituições: a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Furnas Centrais Elétricas (FURNAS), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR); este convênio possibilitou o desenvolvimento de vários estudos sobre as características e as ocorrências de relâmpagos nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil. A STARNET foi concebida pela Resolution Display Inc (RDI) a partir do programa de desenvolvimento inovador de pequenas empresas da NASA. A RDI desenvolveu um sistema que consistia de cinco antenas de rádio receptoras que

estavam situadas ao longo da costa leste dos EUA e em Porto Rico. Através de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Companhia Energética do Ceará (COELCE) em 2006, a Universidade Estadual do Ceará (UECE) e a Universidade de São Paulo (USP) instalaram duas estações de VLF no Brasil. A partir de projetos de pesquisa da Universidade de São Paulo e Universidade Estadual do Ceará, do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) e do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR) foram adquiridos mais 3 antenas de VLF em 2008. Em Agosto de 2008 foi instalada uma antena em São Martinho da Serra (RS) enquanto que em Dezembro de 2008 foi a vez de Curitiba (PR). Esta série de dados sem precedentes no estudo da convecção apresenta uma oportunidade original de avançar a pesquisa do ciclo hidrológico nas regiões mais ativas da terra (África, Amazônia e ZCIT). A disponibilidade de monitoramento contínuo da atividade elétrica em uma área tão extensa possibilitará aplicações em tempo real para as áreas de recursos hídricos (melhora da estimativa de precipitação), meteorologia (melhora da previsão quantitativa de tempestades convectivas com a assimilação contínua dos dados de descargas atmosféricas) e na segurança da aviação (prever regiões com movimento vertical intenso em nuvens, onde um avião deve evitar). Entretanto, pouco se sabe sobre a distribuição e ocorrências de relâmpagos nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Em virtude disso, esse trabalho tem como objetivo fazer uma análise da distribuição dos relâmpagos na parte sul da região Amazônica e adjacências utilizando dados remotos de relâmpagos associados a sistemas precipitantes e correlacionando-os aos focos de queimada nesta região.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nuvens

As nuvens se formam na atmosfera livre, como resultado da condensação do vapor de água em correntes de ar ascendente. Para a condensação ocorrer em um baixo grau de supersaturação, deve haver uma abundância de núcleos de condensação de nuvens para nuvens com partículas de água, ou núcleos de gelo para nuvens com partículas de cristais de gelo, a temperaturas consideravelmente acima de -40°C . O tamanho das gotas da nuvem varia de um tipo de nuvem para outra, e dentro de uma determinada nuvem existe sempre um conjunto finito de dimensões. Geralmente, as gotas de nuvens (gotículas) variam dentro de uma escala de $1-100\mu\text{m}$ de diâmetro e, portanto, são muito menores que as gotas que precipitam (GLICKMAN, 2000).

Para que uma nuvem precipite é necessário, primeiro, que as gotas ou cristais de gelo atinjam o tamanho mínimo para precipitar. Existem duas teorias que procuram explicar o desenvolvimento de gotas ou cristais de gelo dentro da nuvem. Uma diz respeito às “nuvens quentes”, ou seja, àquelas cuja temperatura é superior a 0°C , comuns na Região Tropical e outra que diz respeito às “nuvens frias”, isto é, àquelas que estão total ou parcialmente submetidas a temperaturas inferiores a 0°C . Uma nuvem de tempestade pode ser definida como uma nuvem fria que se iniciou em uma fase quente e possui gotículas de água e cristais de gelo.

Na Amazônia, chuvas produzidas por nuvens quentes são predominantes no período chuvoso. Segundo Williams et. al. 2002, as nuvens produzidas no “coração” do período chuvoso apresentam fracas correntes ascendentes (fraco *updraft*) e baixa concentração de núcleo de condensação de nuvens (NCN), características fundamentais das nuvens produzidas sobre as regiões marítimas, por isso, a Amazônia é comumente comparada ao um “oceano verde”. Enquanto que no período menos chuvoso observou-se uma maior predominância de chuvas produzidas por nuvens frias, principalmente nos meses de primavera, com forte correntes ascendente (forte *updraft*) e alta concentração de núcleo de condensação de nuvens (NCN). Isso ocorre porque no “coração” do período chuvoso a Amazônia se encontra frequentemente encoberta por nebulosidade, o que reduz a incidência dos raios solares sobre a superfície terrestre e faz com que o “gatilho” para a convecção de nuvens surja de temperaturas mais amenas, além disso, a baixa concentração de aerossóis também contribui para que a precipitação ocorra ainda

na fase quente da nuvem. No período menos chuvoso, principalmente nos meses de transição, a superfície terrestre ainda se encontra bastante aquecida quando a umidade do ar começa a aumentar. Essa condição favorece a formação de nuvens provenientes de correntes ascendentes mais fortes e, além disso, a alta concentração de aerossóis nesses meses, principalmente aerossóis provenientes de queima de biomassa, favorecem a supressão da precipitação na fase quente (KOREN et. al. 2004; ANDREAE et. al. 2004) e contribuem para o desenvolvimento vertical da nuvem e conseqüentemente para a produção de precipitação na fase fria, o que acaba contribuindo com a maior eletrificação das nuvens produzidas nesses meses.

2.2 Raios

Os raios são fenômenos atmosféricos que surgem devido à separação localizada de cargas elétricas no espaço. Eles podem ocorrer associados às explosões nucleares, erupções vulcânicas e em nuvens convectivas profundas do tipo Cumulonimbus. Os raios são intensas descargas elétricas que ocorrem na atmosfera em um curto intervalo de tempo, de aproximadamente 0,3 segundos, e realizam um percurso que varia de acordo com a natureza do raio. Em uma descarga entre a nuvem e o solo, geralmente, o percurso visível se estende entre 1 km a 3 km abaixo da nuvem, embora sua trajetória total possa superar 10 km (VISAGRO FILHO, 2005).

2.3 Processo de Eletrificação das Nuvens

As nuvens eletrificadas, ou nuvens de tempestades, são nuvens de grande desenvolvimento vertical, que produzem chuva e relâmpagos, geralmente, com granizo e fortes frentes de rajada. Em situações extremas podem apresentar tornados e precipitação intensa. Tipicamente sua extensão vertical é de 10 a 20 km, com um diâmetro de 10 a 20 km, podendo movimentar-se com velocidade de 40 a 50 km/h com duração, em média, de 30 a 90 minutos. Essas nuvens podem se apresentar tanto de forma de tempestades isoladas, ou na forma de aglomerados convectivos, formando tempestades organizadas, que recebem o nome de sistemas convectivos de mesoescala, e que no presente trabalho é mencionado em inglês, como *Mesoscale Convective Systems* (MCSs). Estes se apresentam, em geral, como sistemas mais severos que as

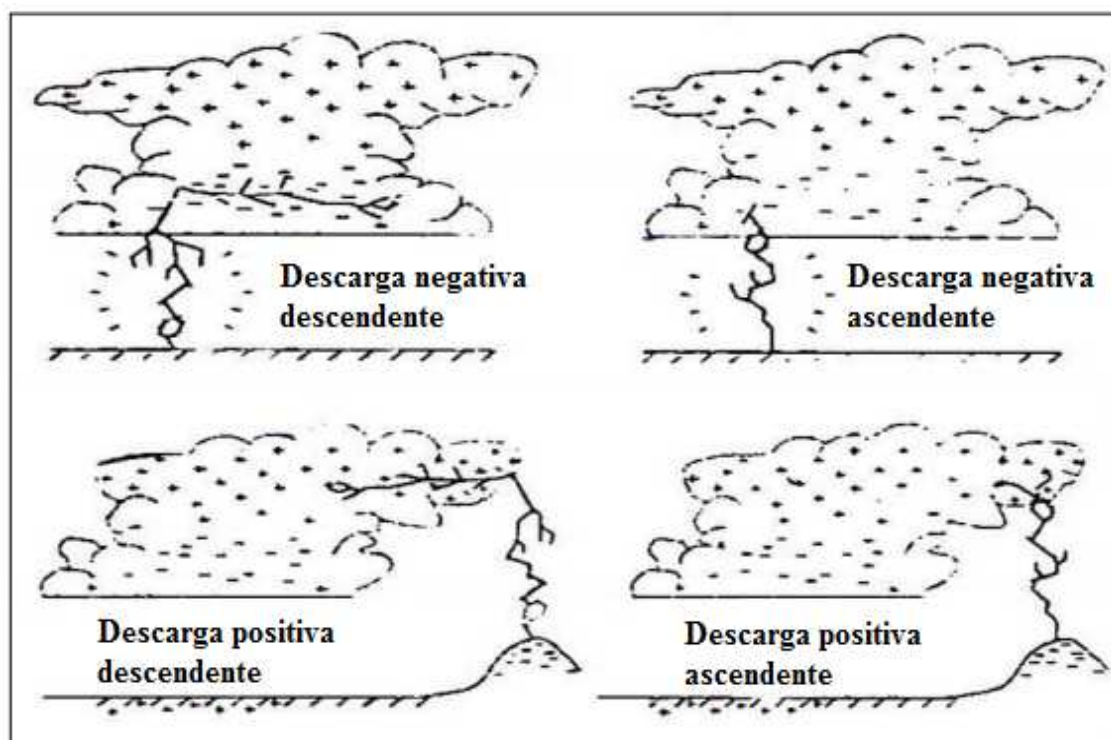
células isoladas, com chuva e ventos mais intensos, além de eventualmente produzirem granizo.

O processo de eletrificação das nuvens ocorre em diversos estágios de formação, os hidrometeoros, que são partículas formadas por água (líquida e sólida), estará diferentemente carregado, o que favorecerá a criação de regiões distintas para o aumento do campo elétrico na nuvem. Sendo que, um raio só ocorrerá quando o campo elétrico da nuvem exceder a rigidez dielétrica do ar. A rigidez dielétrica do ar é uma medida da resistência de um dielétrico que, sob a influência de fortes campos elétricos, deixa de agir como um isolante e passa agir como um condutor, geralmente expresso em volts por metro. A rigidez dielétrica do ar seco a pressão do nível do mar é de cerca de 3000 kV / m (GLICKMAN, 2000).

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

Os raios NS podem ser classificados como descendentes ou ascendentes e, ainda, de raios positivos ou negativos. Os raios negativos ocorrem quando, dentro da nuvem, neutralizam-se cargas do centro de cargas negativas e os raios positivos quando, dentro da nuvem, neutralizam-se cargas do centro de cargas positivas. Os raios descendentes ou ascendentes podem ser tanto positivos quanto negativos. Sendo que, os raios descendentes ocorrem quando o fechamento do canal, por onde ocorre à descarga elétrica, ocorre próximo do solo (Figura 1).

Figura 1. Classificação dos raios NS pela sua polaridade.



Fonte: Visacro (2005).

2.4 Aspectos Gerais das Queimadas

O acelerado processo de ocupação da Amazônia que tem levado às ações de desmatamento e queimadas causam importantes impactos nos ecossistemas e nos balanços de energia e umidade, com consequências locais e globais (SILVA DIAS, 2006). Do ponto de vista regional, as queimadas causam poluição atmosférica com prejuízos à saúde de milhões de pessoas e à aviação e transportes; elas também alteram ou mesmo destroem ecossistemas. E no âmbito global, os desmatamentos e as queimadas têm sido associados com modificações da composição química da atmosfera, e com mudanças climáticas em escala regional e global. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, os meses de maior ocorrência de focos de queimadas são setembro e outubro, principalmente no sul da região Norte e Centro-Oeste do Brasil. Essas queimadas são utilizadas normalmente como ferramentas por pequenos e grandes agricultores e pecuaristas para limpeza de áreas para fins agrícolas ou criação de gado quer sejam nas regiões de florestas primárias e secundárias e áreas de pastagens. Estas alterações no uso do solo são responsáveis por emissões significativas de partículas de aerossóis para a atmosfera, através das queimadas tanto em áreas de pastagem quanto de

floresta primária (ARTAXO et al. 2006). Recentes estudos mostraram que as partículas de aerossóis podem modificar a microfísica das nuvens em regiões tropicais, como na Indonésia e na Amazônia (KOREN et al., 2004). Isso pode causar alterações nas características das nuvens produzidas em ambientes com maior número de queimadas, levando, muitas vezes, ao aumento da ocorrência de relâmpagos sobre essas regiões (FERNANDES, 2005).

2.5 Queimadas e Precipitação

As alterações antropogênicas no solo Amazônico têm sido responsável por injetar grandes quantidades de partículas de aerossóis na atmosfera. Sabe-se que os aerossóis são de suma importância para a precipitação na Amazônia por que atuam como núcleos de condensação de nuvens (NCN). Contudo, o ciclo hidrológico e as propriedades microfísicas da nuvem podem estar sofrendo alterações devido à grande quantidade de aerossóis emitidos para a atmosfera e essas alterações podem estar influenciando o padrão de precipitação na região Amazônica (ARTAXO et al. 2006).

Os estudos realizados em Rondônia (*Smoke aerosols, clouds, rainfall and climate: aerosols from biomass burning perturb global and regional climate - SMOCC*, realizado no período de setembro a novembro de 2002) e Manaus (Cooperative LBA Airbone Regional Experiment - CLAIRE), mostraram que a distribuição e o tamanho das gotas dentro de nuvens diferem de ambientes com maior número de queimadas para ambientes limpos.

Aragão et al. (2008) mostraram a interação entre a precipitação, o desmatamento e os focos de fogo na Amazônia brasileira. Analisando o comportamento da precipitação com as queimadas foi possível verificar que nos meses onde o pico de queimadas foi mais alto a precipitação também apresentou seu mais baixo nível. Entretanto, em um estudo realizado por Teixeira et. al. (2005), onde se observou a anomalia de precipitação sobre quatro áreas de maior ocorrência de queimadas (leste da Amazônia) e quatro áreas de menor ocorrência de queimadas (oeste da Amazônia), verificou-se que a precipitação sobre as áreas de maior ocorrência de queimada não apresentou anomalia significativa, porém, as áreas com menor ocorrência de queimada apresentaram um aumento significativo na precipitação estimada nesses 29 anos estudados, evidenciando um possível transporte das nuvens precipitantes formadas

no leste para o oeste da Amazônia pelos ventos alísios, o que favoreceriam o aumento da precipitação sobre essas sub-regiões ocidentais.

2.6 Queimadas e Raios

As queimadas podem estar causando alterações na quantidade e na polaridade dos raios produzidos em ambientes com maior número desta atividade. Segundo Fernandes (2005), em um estudo realizado em 01 de Agosto de 2002 a 12 de Fevereiro de 2003 e 01 de Agosto a 25 de Dezembro de 2003 em Rondônia, foram os períodos que apresentam ar mais poluído, devido às queimadas, o percentual de relâmpagos intra-nuvem apresenta valores maiores que 70% do total de relâmpagos, além de ter evidenciado um aumento de mais de 5% no percentual de raios positivos. Segundo o autor, em regiões poluídas, as nuvens aumentam o seu tempo de vida devido às gotículas de nuvem inicialmente serem muito pequenas e, portanto, levarem mais tempo para se precipitar; deste modo, a fase de desenvolvimento da nuvem com correntes ascendentes também aumenta e como consequência, essas nuvens embebidas de partículas de aerossóis ficam mais tempo com os centros de cargas. Teixeira et. al. (2005), utilizando 10 anos dos dados de raios coletados pelo LIS/TRMM, verificou que as áreas impactadas por queimadas podem estar influenciando no aumento do número de raios sobre essas regiões.

2.7 Climatologia da Região em Estudo

A região Amazônica apresenta um alto nível pluviométrico, com uma precipitação de aproximadamente 2300 mm ao ano (FIGUEROA E NOBRE, 1990). Segundo Molion (1987), as circulações de meso e grande escala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que as organizam são os que promovem a precipitação sobre esta região.

Observando os mecanismos que provocam chuva no Sul da Amazônia Ocidental podem ser agrupados em: Convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga escala favoráveis e aglomerados convectivos de mesoescala, associados com a penetração de sistemas frontais nas Regiões Sul, Centro Oeste e Sudeste do Brasil interagindo com a Região Amazônica.

A distribuição espacial da precipitação sobre a Amazônia possui uma marcha anual bem definida e influenciada principalmente pelo deslocamento norte-sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esse é um dos principais sistemas meteorológicos causador de chuva na Região Amazônica (RAO e HADA, 1990).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos, ela é parte integrante da circulação geral da atmosfera. Caracterizada por uma faixa de nebulosidade que circunda todo o globo terrestre, e que apresenta uma melhor definição sobre os oceanos, devido a pouca rugosidade existente na superfície dessa região. Surge pela confluência dos ventos alísios de nordeste e de sudeste e apresenta uma migração periódica entre o Hemisfério Sul e o Hemisfério Norte, atingindo uma posição média mais ao norte em torno de 10° N e uma mais ao sul em torno de 5° S.

O regime de precipitação anual na fronteira entre Rondônia e Bolívia se eleva, com um total de aproximadamente 3500 mm, este valor de precipitação elevada se dá pela ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) devido a essa área localizar-se próxima a Cordilheira dos Andes.

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

É observada também a atuação de Sistemas Convectivos de Mesoescala (MCS) que é definido como aglomerados de nuvens convectivas e profundas com a presença de gelo na média e alta troposfera (MORH e ZIPSER, 1996). No entanto, os MCSs que ocorrem na Amazônia são numerosos, porém menos intensos que aqueles ocorrentes na bacia do Rio da Prata e no noroeste da América do Sul (MADDOX, 1980; MOHR e ZIPSER, 1996; MOHR, FAMIGLIETTI e ZIPSER, 1999; VELASCO e FRITISH, 1999e MOTA, 2003).

No verão o intenso aquecimento do continente causa desenvolvimento de um anticiclone (Alta da Bolívia) sobre a América do Sul Tropical (Figuroa et al. 1995, Carvalho, 1989). A Alta da Bolívia é um sistema de escala sinótica caracterizado por um centro de alta pressão, que se forma na alta troposfera (200 hPa). Este sistema possui uma circulação anticiclônica fechada com centro mais quente que sua periferia. É denominado de Alta da Bolívia (AB) por estar situado no altiplano boliviano e seu desenvolvimento surge na primavera quando começa a aquecer essa região. O anticiclone intensifica durante o verão e enfraquece nos meses de outono. Segundo Kousky e Kajano (1981) esse anticiclone está sobre a Bolívia no verão, em abril desloca-se para a Amazônia Central, estando durante os meses de maio e junho sobre a Venezuela e Colômbia e em outubro sobre oeste da Amazônia. A variação sazonal da intensidade e da posição da alta pressão na troposfera superior está relacionada com a distribuição espacial e temporal da precipitação. À medida que a Alta da Bolívia enfraquece o centro, move-se em direção ao norte durante o inverno, as partes sul e oeste da Amazônia sofrem uma estação menos chuvosa.

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 Dados

O presente estudo foi utilizado os dados referentes aos sistemas precipitantes coletados pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Estes dados fornecem informações sobre a localização, tamanho, intensidade, máxima altura do sistema precipitante, máxima refletividade do sistema precipitante próxima da superfície, temperatura de brilho no canal de microondas, dentre outras características dos sistemas precipitantes.

3.1.1 Satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

O Satélite TRMM é um satélite de órbita tropical, idealizado a partir da necessidade científica em compreender a precipitação tropical. Criado através de uma parceria entre a Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), foi lançado novembro em 1997 com uma altura orbital de 350 km e um ângulo de precessão de 35°, cobrindo as latitudes de 35°N a 35°S. Contudo, em 2001, buscando reduzir gastos e aumentar o tempo de vida do satélite, sua altura orbital foi elevada para 402,5 km e o grau de precessão passou a ser 40°, ou seja, cobrindo as latitudes de 40°N a 40°S. O TRMM possui uma órbita senoidal ou geocêntrica; devido a essa configuração da órbita do satélite, em 24 horas, o TRMM não cobre toda a região tropical, entretanto, no período de 2 dias toda a região tropical e subtropical teve a cobertura do satélite.

O satélite TRMM possui cinco instrumentos a bordo: o TRMM *Microwave Imager* (TMI), o *Precipitation Radar* (PR), o *Visible and Infrared Scanner* (VIS), o *Lightning Imaging Sensor* (LIS) e o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES):

-O PR é primeiro radar meteorológico no espaço, opera na frequência de 13,8 GHz, com uma varredura de 220 km, resolução horizontal de 5 km, resolução vertical 250 m e possui um perfil tridimensional da estrutura e intensidade das tempestades, distribuição horizontal, vertical e tipo da precipitação. O algoritmo estimador de precipitação e das demais variáveis de refletividade denomina-se 3A25 (KUMMEROW et al. 2000).

-O TMI é um instrumento que utiliza o 9 canais do microondas passivo para estimar a precipitação. O Algoritmo estimador de precipitação do TMI é o 3A12. A precipitação estimada pelo 3A12 sobre o continente é baseada principalmente sobre o limiar de temperatura de brilho (Tb) associadas com as assinaturas do espalhamento de gelo pelos hidrometeoros. Sobre a superfície de água a saída deste algoritmo é proveniente de um modelo de nuvens (KUMMEROW, et. al., 2001).

- O VIRS é um instrumento indireto de observação da precipitação. Ele mede a Radiação emitida da Terra em cinco bandas espectrais do visível ao infravermelho (KUMMEROW et al., 1998).

- Para fornecer o imageamento dos relâmpagos que ocorrem ao longo da trajetória do satélite é utilizado o *Lightning Imaging Sensor* (LIS) que é um dos instrumentos do TRMM em que devido à sensibilidade e ao alcance do sensor ótico é possível detectar o número e o tempo de ocorrência de todos os tipos de relâmpagos: nuvem-nuvem, intra-nuvem, nuvem-solo e solo-nuvem. Isso é possível por que nuvens eletrificadas produzem pulsos ópticos que são visíveis do espaço.

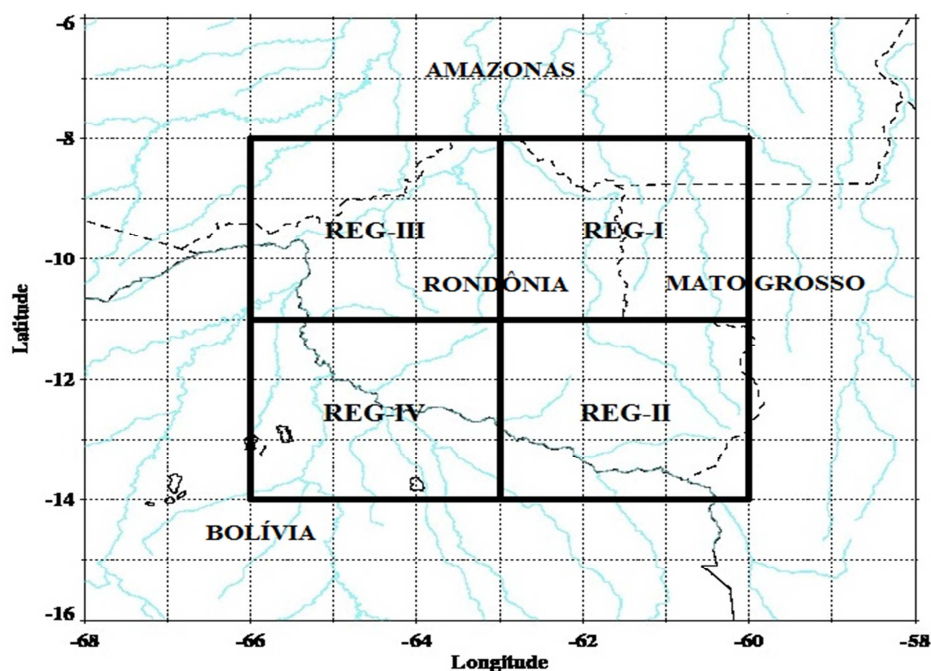
- O CERES mede a energia radiativa emitida e refletida pela superfície terrestre, pela atmosfera e pelos seus constituintes (WIELICKI et al. 1995; WIELICKI et al. 1996 e LEE et al., 1998).

3.2 Área de Estudo

A área de estudo está compreendida entre 8° e 14° de latitude Sul e 60° e 66° de longitude Oeste, abrangendo totalmente o Estado de Rondônia, parte da Bolívia e dos Estados do Mato Grosso e Amazonas.

Foram selecionadas sub-regiões subdivididas em quatro grades de 3° × 3° de latitude e longitude correspondentes à área total de 110889 km e denominadas através da localização respectivamente como: REG-I localizada entre os estados de Rondônia e Mato Grosso; REG-II localizada na parte sudeste de Rondônia; REG-III que esta delimitada a parte noroeste de Rondônia e parte do Amazonas e REG-IV localizada entre o sudoeste de Rondônia e parte da Bolívia. Adotou-se o limiar de 150,0 mm mensais, dos 15 anos de dados, nas grades, para definir os meses mais chuvosos e menos chuvosos. Em cada sub-região foram realizadas análises comparativas das quantidades de relâmpagos dos 15 anos de dados amostrados em cada sub-região. Essa área está delimitada na Figura 2 com suas respectivas sub-região.

Figura 02 – Destaque das respectivas sub-regiões de estudo através das latitudes e longitudes.



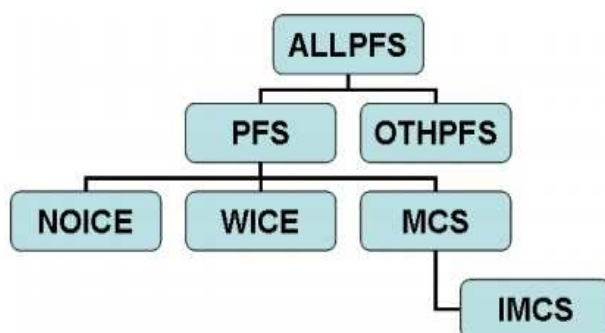
Fonte: do autor.

Os dados foram operados através do software *Interface Definition Language* (IDL) e os gráficos para cada sub-região foram criados utilizando o software Excel, em que através destes softwares foi possível fazer a representação gráfica da precipitação, número de sistemas precipitantes, número de sistemas precipitantes produtores de relâmpagos e os totais anuais e mensais de relâmpagos amostrados nas diferentes regiões no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012. Gráficos de média mensais foram criados referentes ao número de sistemas precipitantes, número de relâmpagos e precipitação.

Os sistemas precipitantes foram classificados seguindo a metodologia de Nesbitt et. al. 2000 e obedecendo à nova definição dos dados realizado por Liu, 2007. Onde, dentro do grupo do RPF (que são sistemas precipitantes definidos pelo agrupamento dos pixels com precipitação estimada pelo algoritmo 2A25 do PR/TRMM), os ALLPFS (que são os OTHPFS mais os PFS) são aqueles que apresentam pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25. Os OTHPFS serão aqueles que apresentaram pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25 e não apresentam informação de temperatura de brilho. Os PFS (que são os WOICE + WICE + MCS, que inclui IMCS) serão aqueles que, além de apresentarem pixel de chuva estimado pelo algoritmo 2A25, apresentam informação

de temperatura de brilho (Figura 3). Sendo que, um PF “sem gelo” (WOICE) é um sistema que contém pixels com temperaturas de brilho, no canal de microondas (85 GHz), maiores que 250 K. Um PF “com gelo” (WICE) é um sistema com pelo menos um pixel contendo temperatura de brilho maior ou igual a 250 K. Um PF com MCS é um sistema que contém área maior ou igual a 2000 km² com temperatura de brilho menor ou igual a 250 K e área maior ou igual a 185 km² com temperatura de brilho menor ou igual a 225 K. Os PFS com um intenso MCS (IMCS) são aqueles que têm área maior ou igual a 2000 km² com temperatura de brilho menor ou igual a 200 K e área maior ou igual a 185 km² com temperatura de brilho menor ou igual a 175 K.

Figura 03. Hierarquia dos sistemas precipitantes.



Para verificar os focos de queimadas o INPE, com o objetivo de desenvolver tecnologias e aplicações com satélites artificiais e produtos relacionados ao tempo e clima que sejam úteis à sociedade, monitoramento de queimadas com satélites artificiais, estima e prever riscos de queimada da vegetação e as emissões produzidas desde 1987. Contudo, este monitoramento foi particularmente aperfeiçoado a partir de 1998 mediante apoio do Projeto Emergencial de Prevenção e Controle do Fogo na Amazônia (PROARCO) no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) e dos Recursos Naturais Renováveis criados para controlar as queimadas e o desmatamento no arco do desmatamento da Amazônia com recursos do Ministério do Meio Ambiente.

Para o monitoramento dos focos de queimadas são utilizados todos os satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. A Divisão de Geração de Imagens - DGI recebe e processam as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18 e NOAA-19, as imagens MODIS dos satélites polares NASA TERRA e AQUA, as imagens dos satélites geoestacionários GOES-13 e MSG-2 e as imagens VIIRS do satélite de orbita

polar NPP. Cada satélite de órbita polar produz pelo menos um conjunto de imagens por dia, e os geostacionários geram algumas imagens por hora, sendo que no total o INPE processa mais de 100 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. Ainda em 2014 espera-se iniciar a recepção das imagens AVHRR do novo satélite MetOp. As recepções são feitas nas estações de Cachoeira Paulista, SP (próximo à divisa com o RJ), de Cuiabá, MT e NATAL, RN.

3.3 Construção dos Gráficos

Os gráficos de variação mensal dos sistemas e relâmpagos foram gerados no software Excel, através da construção de planilhas. Os gráficos de variações mensais foram construídos com a média mensal de sistemas e relâmpagos observados em cada uma das quatro regiões dentro do período estudado.

Os gráficos de distribuição espacial dos relâmpagos e precipitação foram feitos utilizando a linguagem de programação IDL. Primeiramente os dados foram baixados do nível 2 de dados do TRMM em formato HDF, depois foram transformados, com a utilização de um script em dados binários para posteriormente serem gerados os plots desejados. Para os plots da taxa de relâmpagos por quilômetro quadrado por ano, somou-se o número total de raios do período estudado e dividiu-se pelo número de pixel amostrado e o número de anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico do trabalho, são apresentados os resultados do estudo da influência de relâmpagos, obtidos através dos dados da rede do sensor LIS a bordo do satélite TRMM para a região de estudo visualizada na Tabela 1.

Através dos dados analisados foram observados mais de 118 mil sistemas precipitantes em 15 anos, dos quais, aproximadamente 3,1% foram eletrificados e responsáveis por uma produção de mais de 29 mil relâmpagos, comportamento semelhante ao observado por Liu et. al. 2008 que mostrou, utilizando 9 anos de dados do TRMM, que aproximadamente 2 a 3% dos sistemas precipitantes amostrados sobre a região norte do Brasil são eletrificados.

A análise da distribuição dos sistemas precipitantes visualizados sobre as regiões em estudo mostra que, em geral, as áreas representadas pela REG-II e REG-IV (parte sul da região em estudo) apresentam o maior número de sistemas precipitantes, em contraposto, a região REG-III que apresentam o menor número de sistemas precipitantes, com um máximo superior a 26 mil sistemas coletados em 15 anos de dados. Quando se observa apenas os sistemas eletrificados verificamos uma maior distribuição na REG-IV e conseqüentemente um valor maior referente à quantidade de relâmpagos. Isso pode ser explicado, devido essa área abranger uma parte da Cordilheira dos Andes onde os altos índices de precipitação elevada próximo a essa região devem-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios de leste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) associados também ao desmatamento em que segundo José A. Marengo e Carlos A. Nobre (1996) a parte sul de Rondônia é a região que mais sofre com essa atividade.

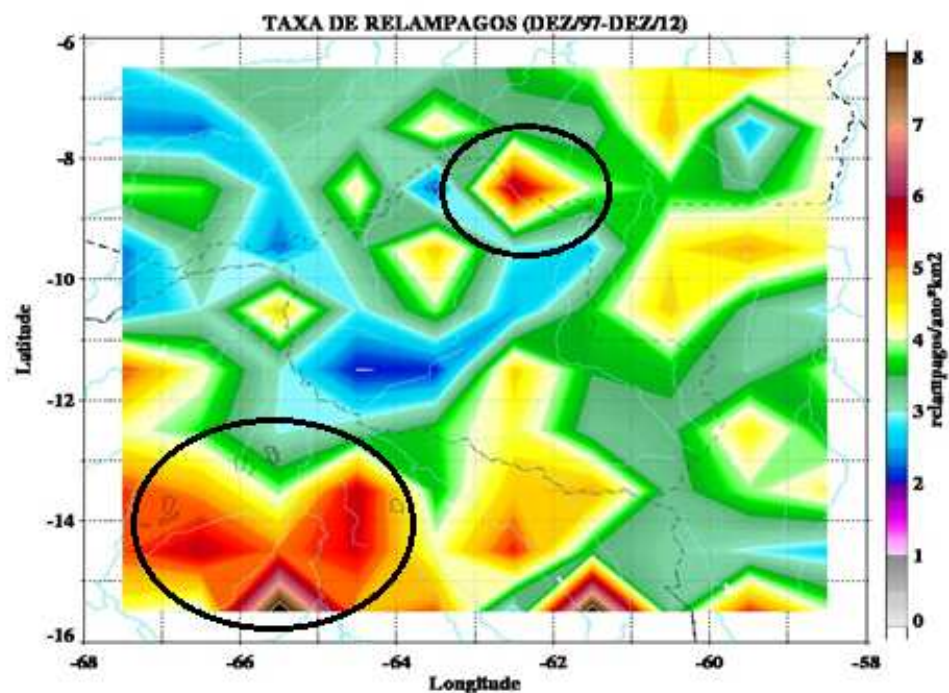
Tabela 01. Distribuição do total de sistemas precipitantes amostrados no período de dezembro de 1997 a dezembro de 2012.

DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO TOTAL DE SISTEMAS PRECIPITANTES E RAIOS					
Nº DE SISTEMAS	ÁREA DE ESTUDO				TOTAL
	REG-I	REG-II	REG-III	REG-IV	
ALLPFS	28824	32130	26113	31788	118855
WOICE	26131	29404	24059	29123	
WICE	2385	2376	1801	2272	
MCS	186	243	161	259	
Nº DE SISTEMAS ELETRIFICADOS					TOTAL
ALLPFS	962	978	732	983	3655
WOICE	67	70	51	95	
WICE	753	749	576	715	
MCS	142	157	105	172	
Nº DE RELAMPAGOS					TOTAL
ALLPFS	7904	7268	5209	8636	29017
WOICE	109	132	80	157	
WICE	4288	4020	3026	3987	
MCS	3507	3113	2103	4491	

4.1 Distribuição dos Relâmpagos

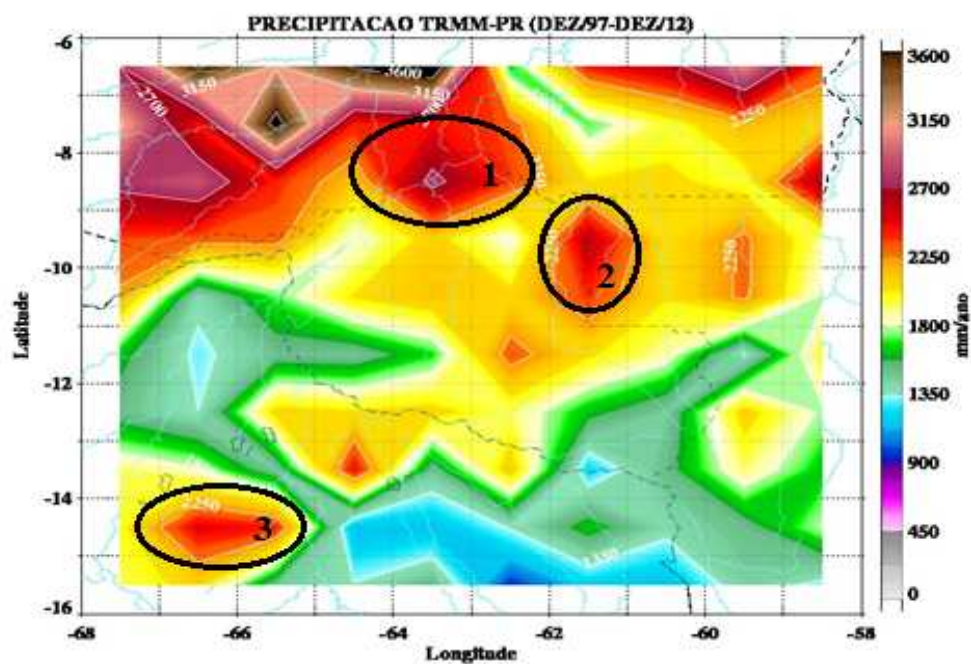
As regiões próximas dos municípios de Porto Velho (extremo oeste de Rondônia), sul do município de Humaitá (no Amazonas) e parte da Bolívia foram aquelas que apresentaram as maiores ocorrências de relâmpagos, com um valor de aproximadamente 5 a 6 raios/km²/ano amostrados (Figura 04). Na figura é observado o declínio da amostragem de raios na parte central do estado. Esta distribuição pode ser associada à distribuição anual da precipitação em que analisando a precipitação sobre a área estudada; podemos observar na Figura 05 que existem três regiões de máxima precipitação, uma sobre a região norte de Rondônia se estendendo até a parte sul do Estado do Amazonas (1), parte nordeste de Rondônia até o oeste do Mato Grosso (2) e Bolívia (3). Estas regiões citadas se encontram com valores acima de 2250 mm/ano.

Figura 04. Distribuição anual da taxa de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por quilômetro quadrado por ano), no período de 1997 a 2012 amostrado pelo LIS/TRMM.



Fonte: do autor.

Figura 05. Distribuição anual da quantidade de precipitação (em unidades de mm por ano), no período de 1997 a 2012 amostrado pelo TRMM-PR.



Fonte: do autor.

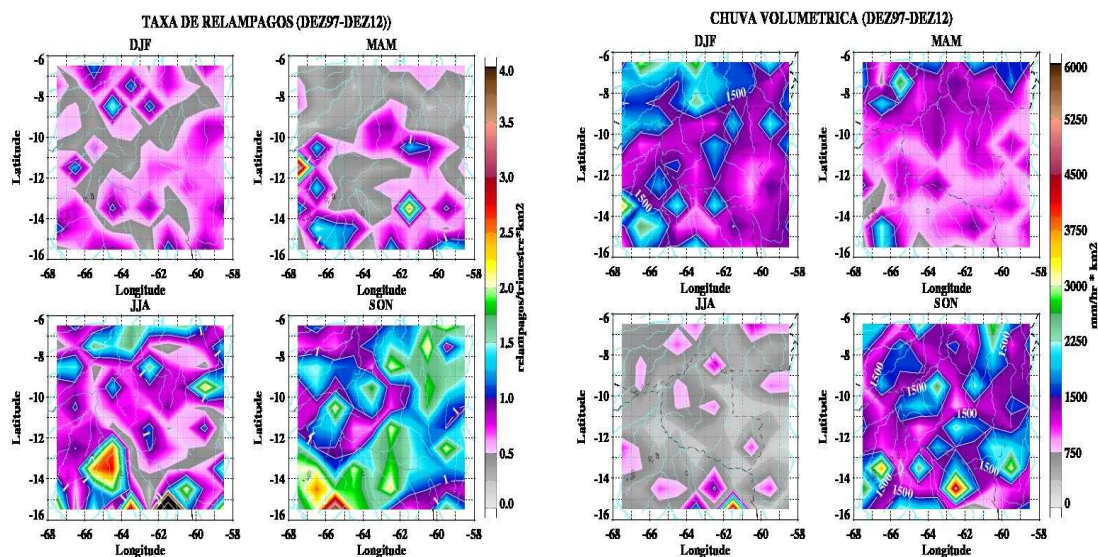
Com relação à distribuição do acumulado mensal dos raios (Figura 07), verifica-se a máxima amostragem no mês de setembro e outubro, com pico de aproximadamente 2.0 relâmpagos/mês/km² e nos meses de abril e maio, com um pico inferior a 0.8 relâmpagos/mês/km² sobre a área de estudo. É possível observar também, que na parte sul da região, essas máximas amostragens concentram-se nos meses de agosto a outubro.

Também se verificou os maiores produtores de relâmpagos na região próxima aos ANDES, foram os MCSs. Nas demais regiões, os grandes responsáveis pela produção de relâmpagos foram os sistemas com assinatura de gelo.

Com relação aos picos de relâmpagos essa frequência se deve ao maior gradiente térmico existente no período de agosto, setembro e outubro que favorece a formação de sistemas mais intensos e com grande atividade elétrica mais especificamente na parte sul de Rondônia e fronteira com Bolívia.

Observando o comportamento da distribuição da chuva volumétrica mensal pela distribuição mensal de relâmpagos podemos verificar que existe uma coerência maior, entre as duas variáveis, no período de setembro a novembro. Essa coerência entre a localização espacial dos relâmpagos e a chuva, também é observado na distribuição trimestral das duas variáveis. Onde podemos verificar que em todos os trimestres os máximos acumulados de chuva ocorrem em regiões diferentes dos picos de relâmpagos, exceto no trimestre SON, onde verificamos que os máximos acumulados de chuva ocorrem no sul do Estado de Rondônia e parte oeste do Mato Grosso, juntamente com a máxima ocorrência de relâmpagos (Figura 08).

Figura 08. (a) Distribuição sazonal da taxa de relâmpagos (em unidades de relâmpagos por trimestre por km²) e (b) distribuição sazonal da chuva (em mm/hr*km²) no período de 12/1997 a 12/2012.

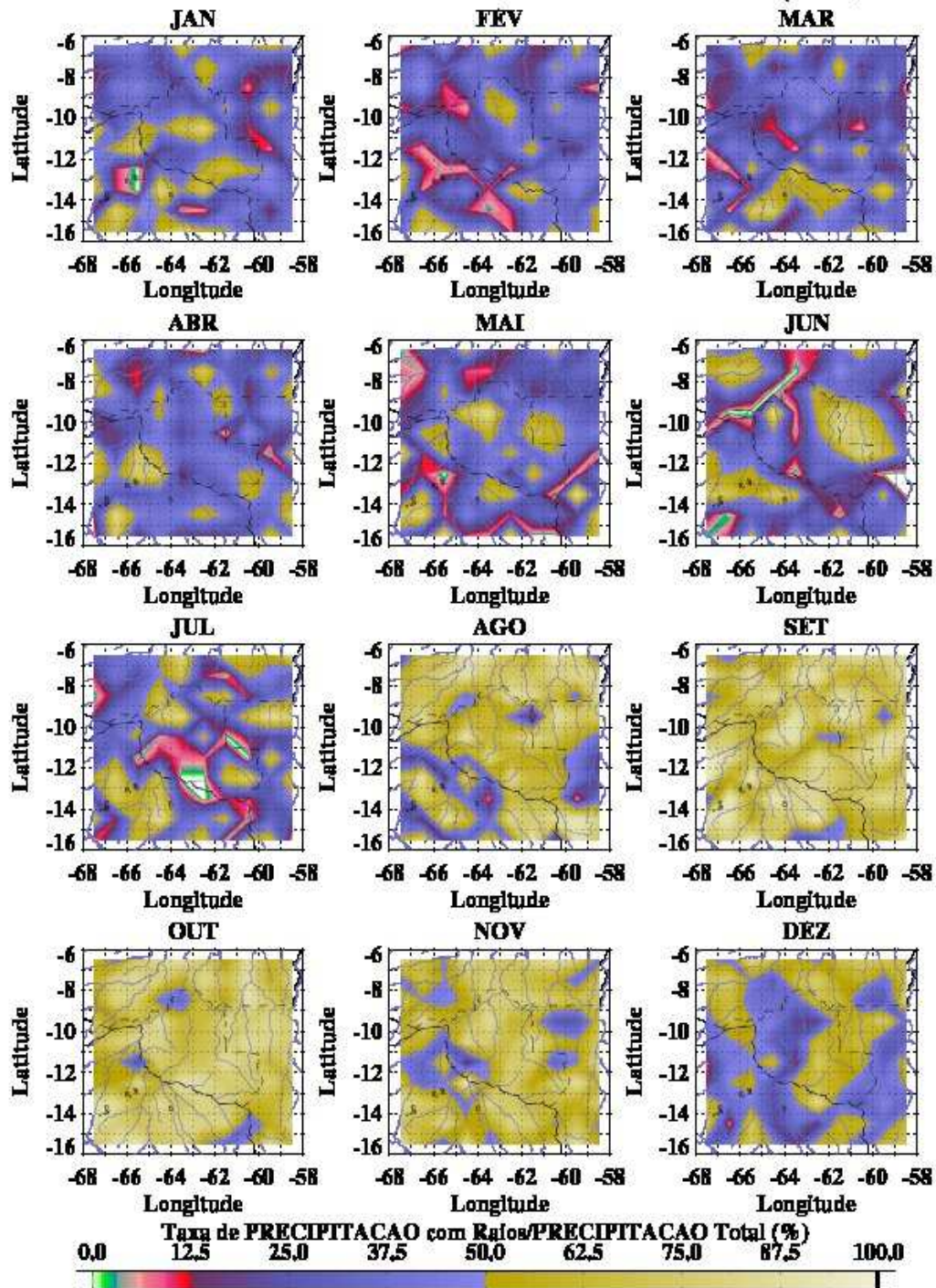


Fonte: do autor.

A figura 09 representa a porcentagem da taxa de precipitação com raios. Observa-se que no primeiro semestre do ano não há tanta precipitação com raios, no entanto, no segundo semestre já é possível identificar grandes porcentagens dela em grande parte da região em estudo, tendo sido registrado a maior porcentagem nos meses de setembro e outubro, com mais de 87.5% de precipitação eletrificada do valor total de precipitação. Na análise sazonal (Figura 10) observamos que as chuvas produzidas em grande parte do Estado de Rondônia, no trimestre SON são quase que totalmente eletrificadas. Segundo Cotton e Anthes, 1989; Houze, 1993, os sistemas convectivos de mesoescala podem ser definidos como sendo aglomerados de nuvens Cumulonimbus, responsáveis por produzir uma área de precipitação, de aproximadamente, 100 km² ou mais, dentro de uma escala horizontal, apresentando uma duração típica de 6 a 12 horas. Ou seja, são sistemas bastante intensos com alto grau de eletrificação e com um grande volume de chuva presente. O que nos faz sugerir que a eletrificação produzida nessa região é proveniente grande parte por MCS's.

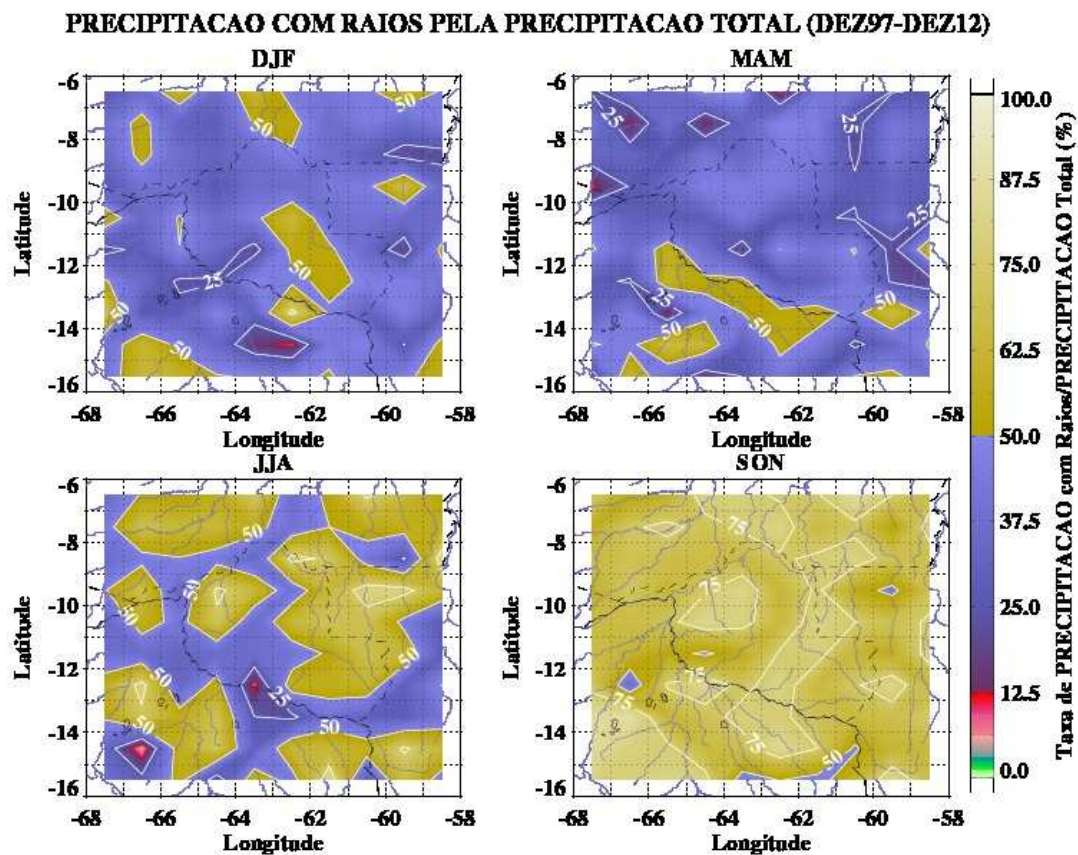
Figura 09. Fração mensal da precipitação com raios pela precipitação total.

RECIPTACAO COM RAIOS PELA PRECIPTACAO TOTAL (DEZ97-DEZ1



Fonte: do autor.

Figura 10. Fração sazonal da precipitação com raios pela precipitação total.



Fonte: do autor.

Analisando a distribuição mensal dos sistemas precipitantes (Figura 11), podemos verificar que as regiões em estudo variam de acordo com a marcha anual da ZCIT, com grandes quantidades de ALLPFS no período chuvoso, que se inicia em novembro e se dissipa em meados de maio. Podemos observar também que esses sistemas precipitantes, em comparação com os outros meses, já se mostra bem expressivo desde outubro. Outro motivo para explicar a maior quantidade de sistemas precipitantes é nas regiões próximas a Cordilheira dos Andes onde ocorre uma maior formação de nebulosidade sobre essa área devido ao escoamento do vento ser de leste para oeste associado à orografia dessa região.

Com relação aos sistemas eletrificados (Figura 12), podemos verificar que as maiores amostragens ocorrem nas regiões II e IV. E que, diferentemente do observado na figura 11, nem todas as regiões parecem acompanhar a marcha anual da ZCIT. Podemos verificar que a maior amostragem de sistemas eletrificados ocorre na REG-IV,

com um total de 180,0 sistemas no mês de outubro. Na REG-I e REG-II, a maior amostragem se verifica no mês de outubro, com um total de 140 e 155 sistemas respectivamente. E na REG-III, se verifica poucos sistemas eletrificados. Podemos observar nas 4 regiões que a quantidade de sistemas eletrificados se mostra mais intensa no segundo semestre. O mês de outubro é o mês que percebemos uma maior quantidade de sistemas eletrificados e uma menor quantidade nos meses de junho e julho.

A REG-IV mostra uma maior quantidade e distribuição de sistemas eletrificados. Os totais ficam em torno de 180,0 sistemas no mês de outubro. Esse é um período em que se observa maior frequência da ocorrência de MCS's na REG-IV, favorecidos pelo aquecimento local e pela penetração de sistemas frontais. Além disso, esse é um período de maior ocorrência de focos de queimadas nessa região. Segundo o INPE, a região central da Amazônia, representada pelos Estados de Rondônia e Manaus, apresenta a maior ocorrência de relâmpagos no segundo semestre do ano. Tendo sido observado, através da análise mensal do número de relâmpagos amostrados nessa região, um pico nos meses de setembro a novembro, sabe-se que esses são os períodos que mais se registra a ocorrência de queimadas sobre essas regiões. Por isso, especula-se que as queimadas contribuam para esses altos valores de relâmpagos sobre essas regiões, em comparação a outras. Segundo Fernandes (2005), a grande quantidade de aerossóis liberados por queimadas podem interagir com a microfísica da nuvem e favorecer o atraso no processo de precipitação, provocando a elevação da base da nuvem, o que contribuem para correntes ascendentes mais fortes e conseqüentemente para a maior eletrificação da nuvem.

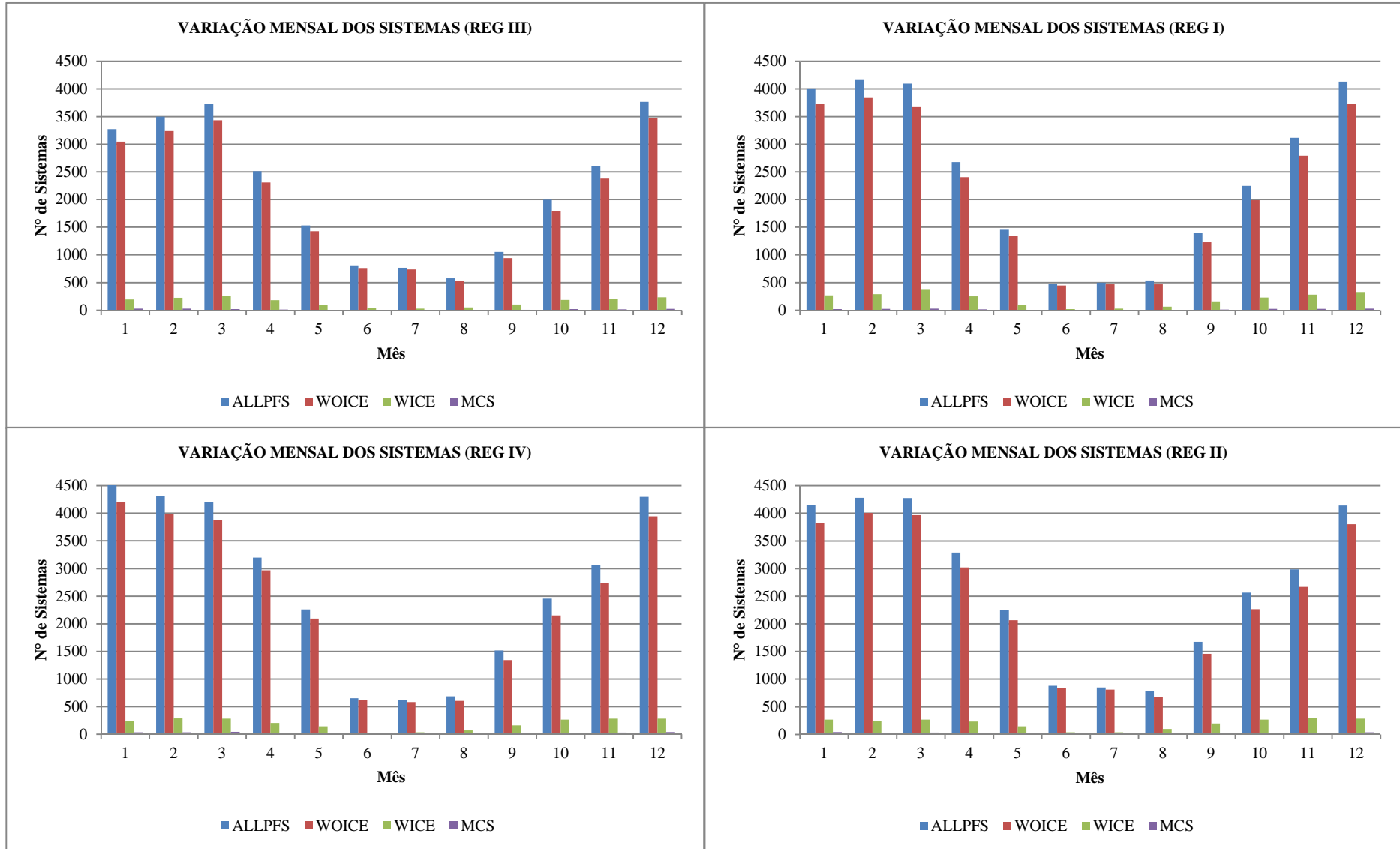


Figura 11. Distribuição da média do número de sistemas precipitantes amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.

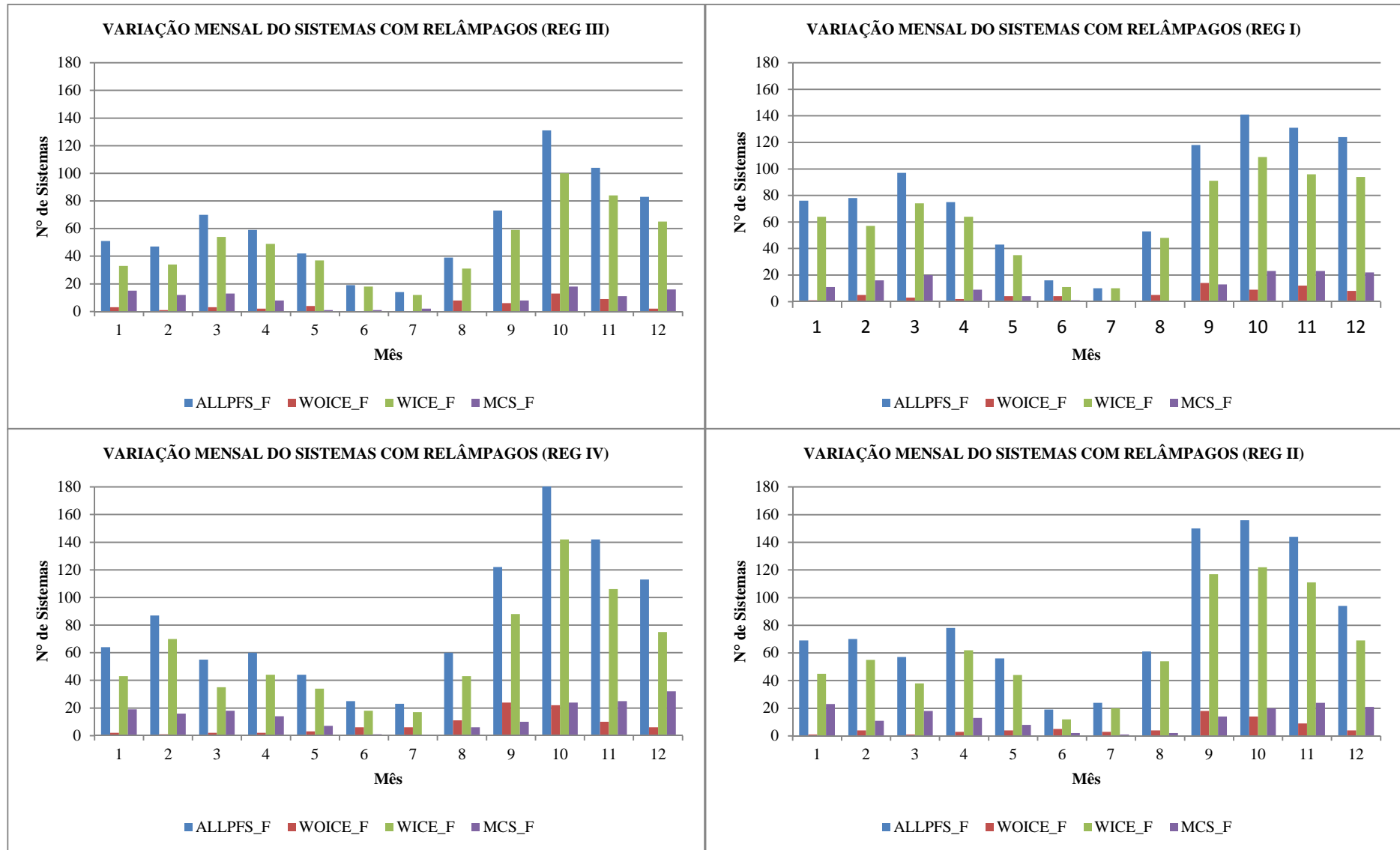


Figura 12. Distribuição do Número total de sistemas eletrificados amostrados pelo LIS/TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.

4.3 Análise dos Sistemas Precipitantes e Queimadas.

Analisando o comportamento mensal dos sistemas precipitantes sobre as 4 regiões em estudo pelo número de focos de queimadas, verificamos que com relação aos sistemas precipitantes das áreas de maior número de queimadas observamos que assim como nas áreas de menor queima os sistemas mais frequentes são os WOICES. Sendo verificada a maior amostragem de ALLPFS nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março nas regiões (Figura 13).

Foi verificado também que as maiores amostragens de sistemas precipitantes localizam-se nas áreas de menor número de queimadas.

4.4 Análise dos Sistemas Precipitantes com Relâmpagos e Queimadas.

Na figura 14 podemos visualizar o comportamento mensal dos sistemas precipitantes com relâmpagos sobre as 4 áreas em questão. Verificamos que os WICES_F são os sistemas mais frequentes, sendo verificada a maior amostragem de ALLPFS_F nos meses de setembro a dezembro na REG-I, nos meses de setembro a novembro na REG-II e IV e nos meses de outubro e novembro na REG-III. Com relação aos sistemas precipitantes com relâmpagos das áreas de maior número de queimadas verificamos que assim como nas áreas de menor número de queimadas REG-IV os sistemas mais frequentes são os WICES. Tendo sido verificado a maior ocorrência nos meses de setembro a dezembro em todas as regiões.

Essa análise pode levar a uma conclusão, visto que, a REG-III mostra menos sistemas eletrificados nos meses de maior ocorrência de queimadas. Contudo, é importante lembrar que os meses de maior ocorrência de queimadas também são os meses mais secos, com menor formação de nebulosidade, ou seja, diante de uma baixa amostragem de sistemas precipitantes só podemos esperar uma baixa amostragem de sistemas precipitantes com raios.

Na figura 15 podemos observar a distribuição mensal dos relâmpagos. Verificamos que os picos de relâmpago ocorrem nos meses de setembro e outubro nas 4 regiões.

Com relação aos sistemas produtores de relâmpagos, podemos verificar que os WICES são os sistemas que mais participam da produção de raios mensal, exceto em alguns meses onde prevalece maior participação de MCSs como pode ser verificado na

REG-IV nos meses de outubro, novembro e dezembro e na REG-I no mês de novembro. Com relação aos relâmpagos produzidos em ambientes com maior número de queimadas, podemos observar que os picos de relâmpagos ocorrem nos meses de setembro e outubro nas áreas. Verificou-se também que os WICEs foram os que mais contribuíram para a produção mensal dos relâmpagos, entretanto nos meses de setembro, novembro e março na REG-I, julho na REG-III e outubro a dezembro na REG-IV, observou-se a maior participação dos MCSs na produção de raios.

Analisando o comportamento da precipitação em áreas com menor número de queimadas e em áreas com maior número de queimadas podemos verificar que os WICEs e os MCSs são os que mais contribuem para produção da precipitação em ambos os ambientes com picos máximos de precipitação nos meses de novembro a janeiro e março na REG-I e IV, dezembro, janeiro e março na REG-II e novembro a março na REG-III (Figura 16). Com relação à precipitação com relâmpagos observamos que a maior ocorrência se dá em meados do segundo semestre tal como a presença dos picos de focos de queimadas em todas as regiões. (Figura 17).

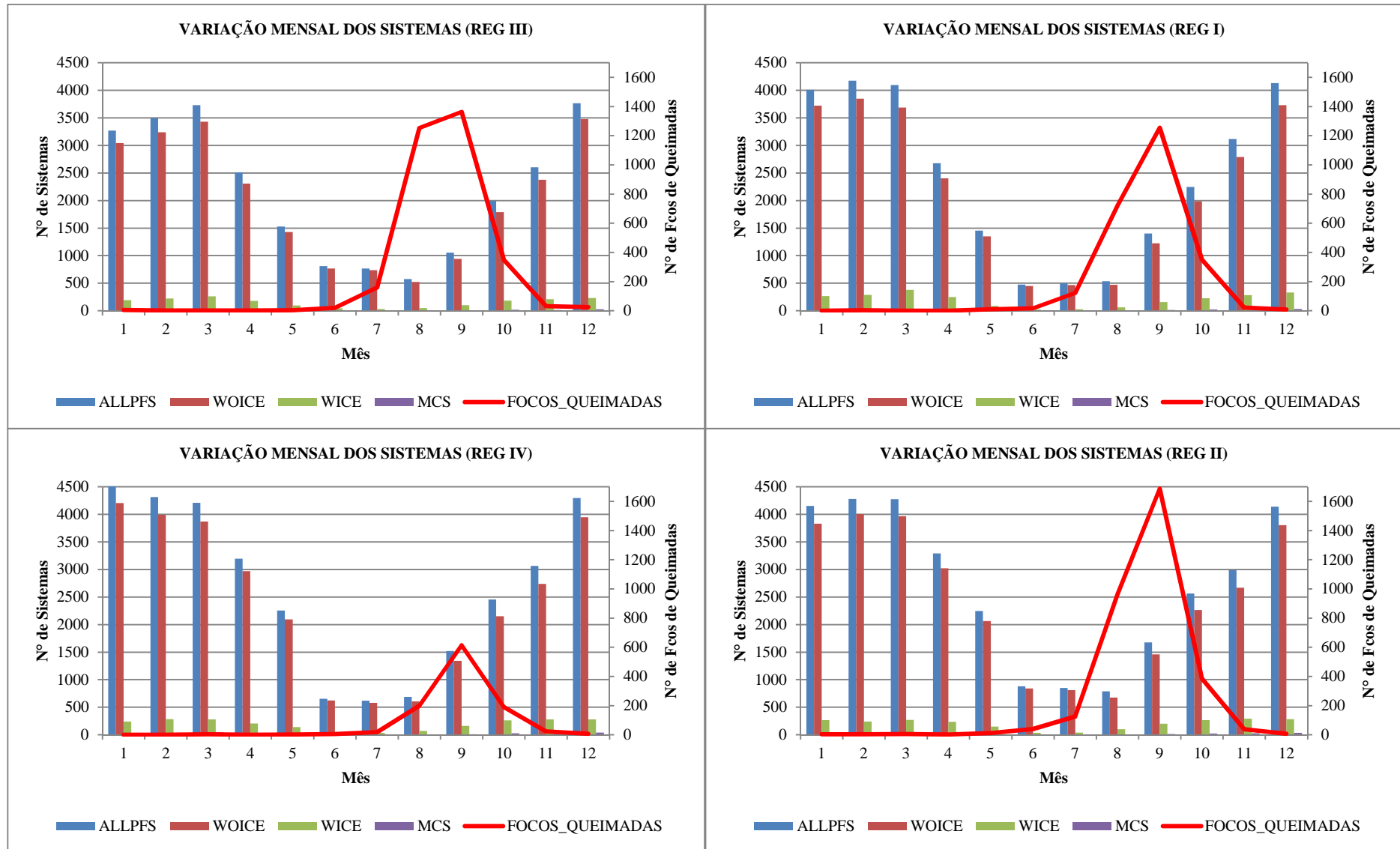


Figura 13. Distribuição do número de focos de queimadas e sistemas precipitantes amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012

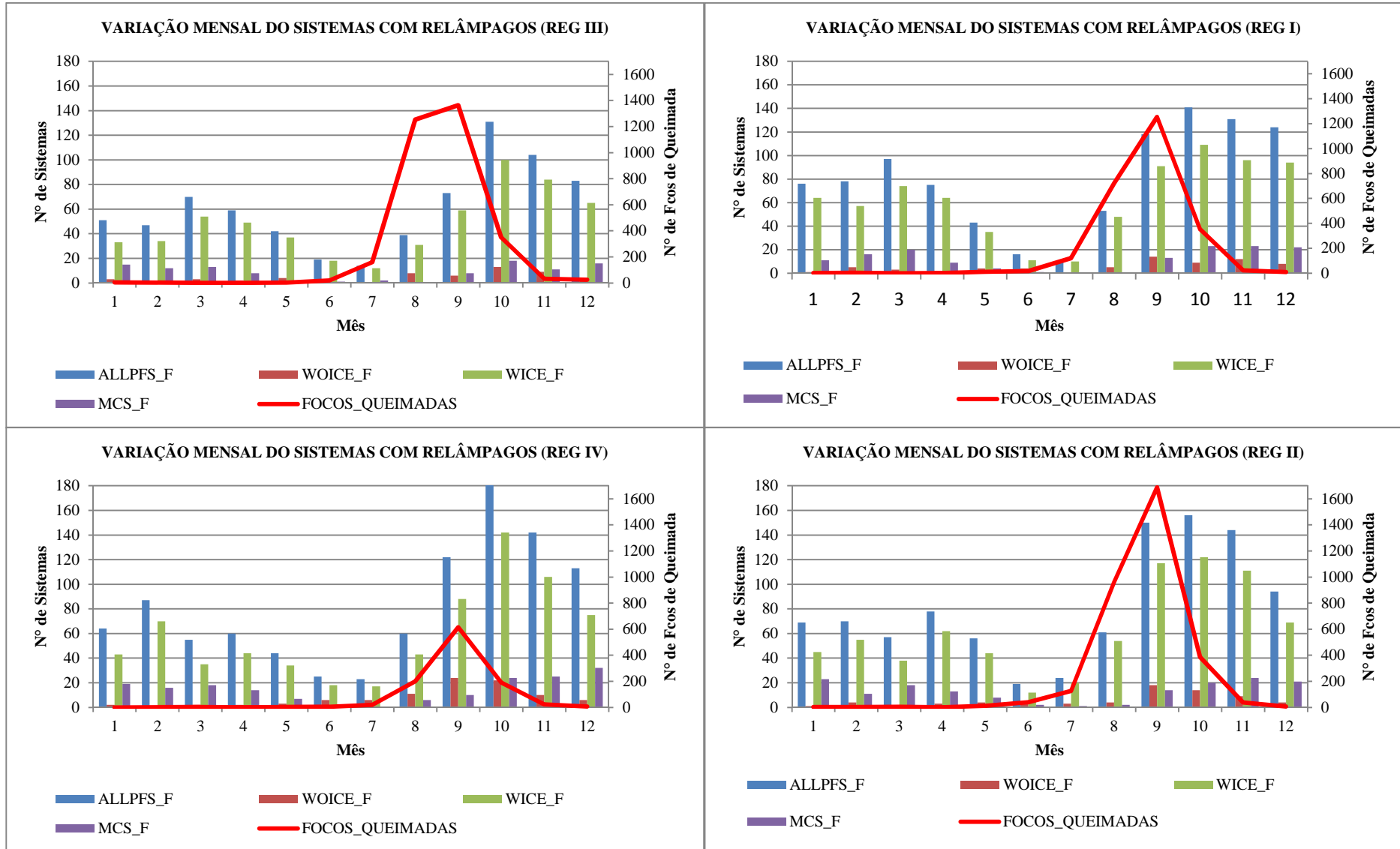


Figura 14. Distribuição do número de focos de queimadas e sistemas com relâmpagos amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.

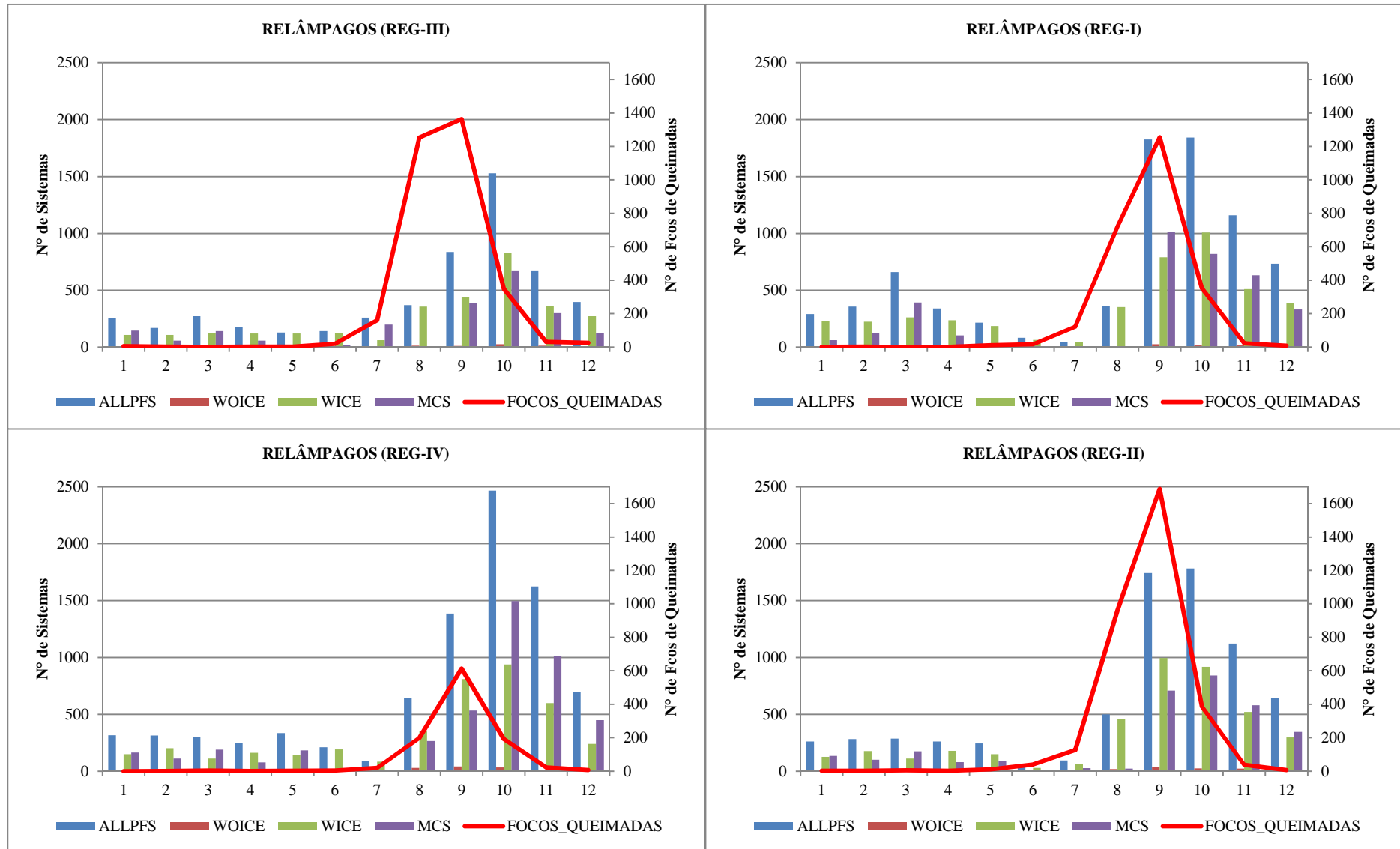


Figura 15. Distribuição do número de focos de queimadas e a média mensal de relâmpagos. TRMM de 12/1997a 12/2012.

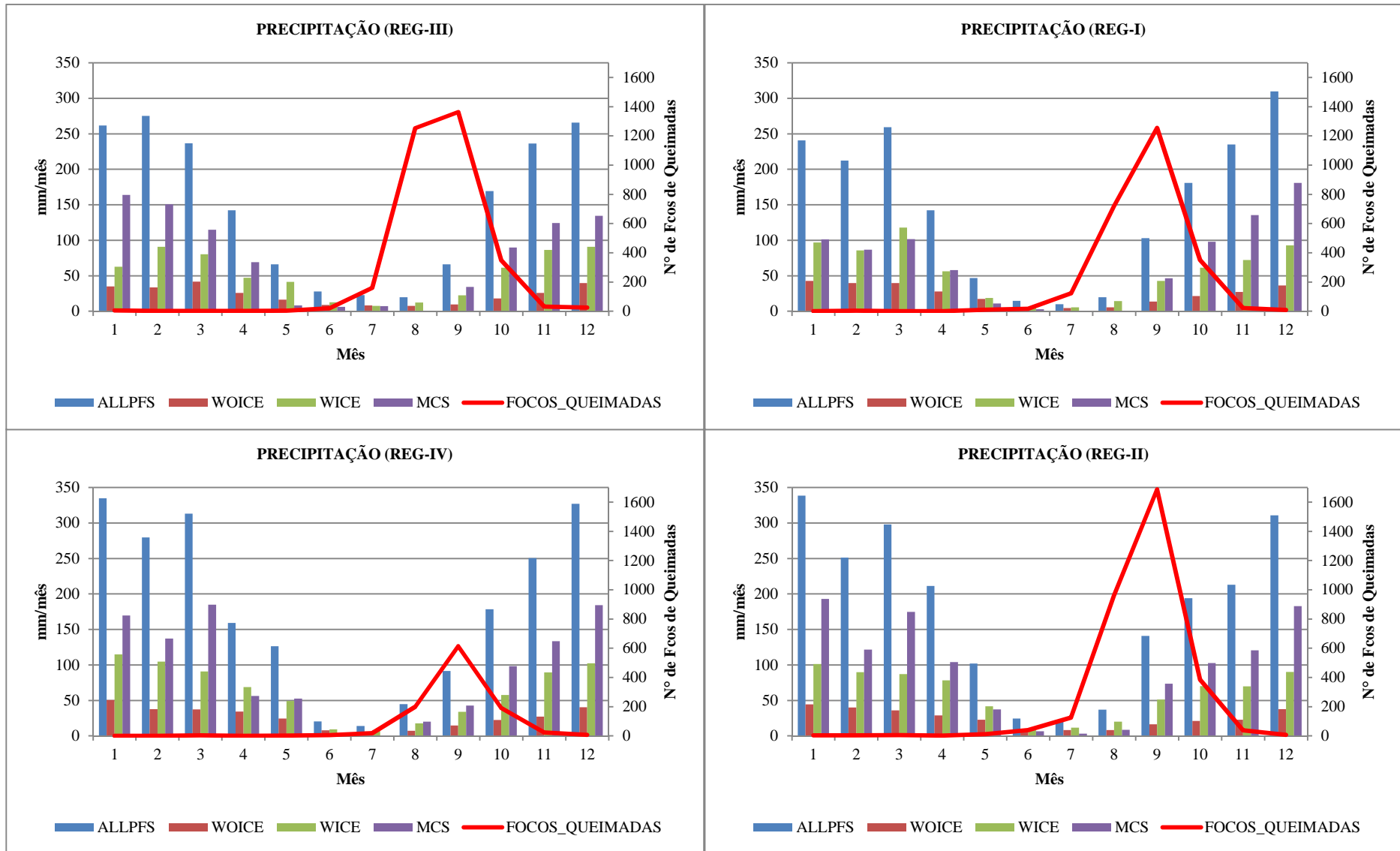


Figura 16. Distribuição do número de focos de queimadas e a média mensal da PRP amostrados pelo TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.

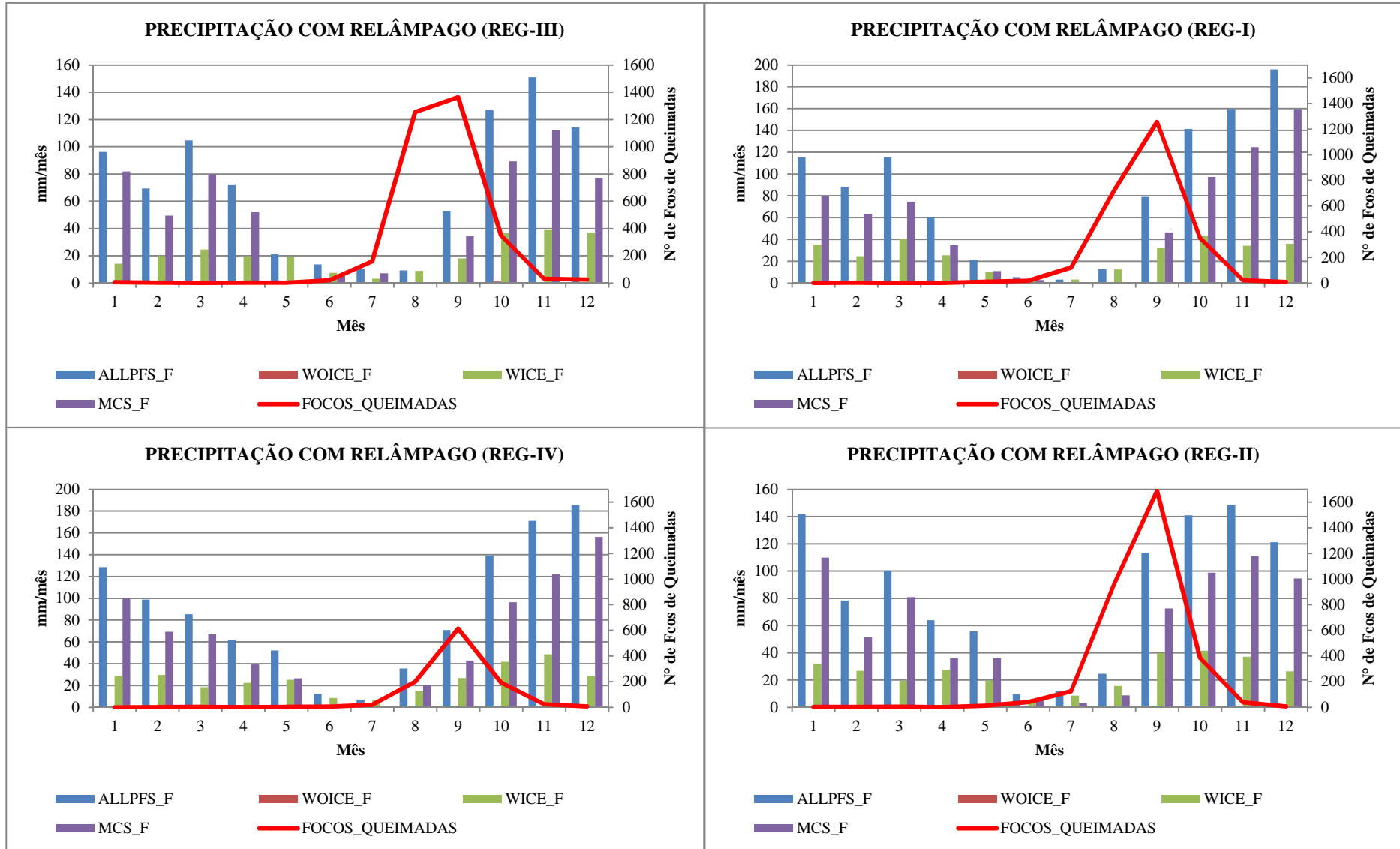


Figura 17. Distribuição do número de focos de queimadas e a média mensal da PRP_F. TRMM no período de 12/1997 a 12/2012.

5 CONCLUSÃO

Os resultados das análises dos 15 anos de dados de relâmpagos provenientes do LIS/TRMM mostraram que as regiões do sul do Estado de Rondônia e parte da Bolívia são aquelas que apresentam as maiores ocorrências de relâmpagos no sul da região amazônica. Sendo os sistemas precipitantes da categoria MCS os que mais contribuem com a produção de raios sobre a REG-IV.

Os resultados também mostraram que, os sistemas eletrificados apresentam grande contribuição no volume de precipitação sobre a REG-II, definidas nesse estudo.

Nas áreas II e IV, as maiores ocorrências de relâmpagos acontecem nos meses de setembro a novembro, meses onde observamos os MCSs mais intensos. Os MCS responsáveis pela eletrificação das nuvens e são favorecidos mais por convecção local, devido o aquecimento diurno. Seguindo a climatologia de formação dos MCSs que costumam se formar ou intensificar no período da tarde. Contudo, é importante lembrar que o sul do Estado de Rondônia também apresenta grande quantidade de liberação de aerossóis no período de junho a novembro, favorecido pelo aumento do número de focos de queimadas nessa época. Por isso, buscando verificar a possível influência desses focos no número de relâmpagos amostrados a esses focos de queimadas.

Analisando o comportamento de cada sistema precipitante nos diferentes ambientes estudados (ambiente com mais focos de queimadas e ambiente com menor foco de queimadas), verificamos que os WOICES são os sistemas mais frequentes em ambos os ambientes. Os WICE e MCSs são os que mais contribuem para a precipitação em ambos os ambientes.

Entretanto, verificamos uma redução do volume de precipitação produzido por WOICES no período de maior ocorrência de queimadas, o que pode evidenciar a inibição de produção de chuva de nuvens quentes.

Entre os sistemas eletrificados os WICEs são o sistemas mais frequentes nos ambientes. Verificou-se que em todas as áreas estudadas os maiores valores de sistemas eletrificados ocorrem no segundo semestre do ano, que compreende ao período mais seco regionalmente. Na REG-II verificou-se que os meses com maiores picos de queimadas foram também os meses que registraram a maior quantidade de WICEs eletrificados. Na comparação do comportamento dos relâmpagos produzidos em ambientes com menor número de queimadas e ambientes com maior número de queimadas não foi possível identificar grandes diferenças, exceto na REG-II em que há uma grande quantidade de

WICEs eletrificados o que induz a uma maior quantidade de relâmpagos e consequentemente no mesmo período em que se observa um pico nos focos de queimadas para essa região.

Em comparação com as duas áreas da parte Sul, verificamos que a REG-II apresenta um pico maior de focos de queimada o que é o contrário da REG-IV. Isso pode ser um indicativo de que o período de estiagem e o eventual desmatamento da REG-IV sejam fatores mais significativos do às queimadas locais.

Assim, a análise da comparação entre as áreas de focos de queimadas o número de relâmpagos verificados não proporcionaram uma análise conclusiva da relação das queimadas e relâmpagos, visto que, apesar de termos observado uma comparação entre as duas variáveis e verificaram que essa comparação é maior com uma defasagem temporal de um mês. Isto significa dizer que uma queimada que ocorre em setembro só iria impactar no número de raios em outubro ou novembro. Esse comportamento, analisado de modo físico é incoerente com os estudos que vem sendo realizados sobre o impacto das queimadas nas nuvens visto que, os aerossóis liberados pelas queimadas apresentam uma duração na ordem de semanas e por isso é questionável essa comparação após um mês de queima. Contudo, o estudo sugere que se faça um estudo mais apurado sobre o tempo de influência dos aerossóis de queimadas sobre o sistema precipitante.

REFERÊNCIAS

ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G.P.; LONGO, K. M.; SILVA-DIAS, M.A.F. Smoking rain clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p.1337- 1342, 2004.

ARAGÃO. L. E. O. C.; MALHI. Y.; BARBIER. N.; LIMA. A.; SHIMABUKURO. Y.; ANDERSON. L.; SAATCHI. S. (2008). **Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazônia**. Phil. Trans. R. Soc. B 363. 1779–1785. (doi:10.1098/rstb.2007. 0026).

ARAÚJO, R.L. de; DINIZ, J.H.; CHERCHIGLIA, L.C.; ERICSSON, A.J.; GELDENLUYS, H.J. Applied lightning research in an intertropical mountainous area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON POWER DISTRIBUTION, 1., 1990, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1990. p.1-6.

ARTAXO, P., OLIVEIRA, P.H., LARA, L.L., PAULIQUEVIS, T.M., RIZZO, L.V., PIRES JUNIOR, C., PAIXÃO, M.A. (2006). Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 21(3):168-189.

FERNANDES, W. A. **Características dos relâmpagos gerados por nuvens de tempestades em ambientes sob a influência das queimadas em Rondônia/ W. A. Fernandes**. – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. 182 p. ; - (INPE-13831-TDI/1054).

FERNANDES, W. A; I. PINTO, O. PINTO JR. Como as queimadas afetam as nuvens de tempestades e os relâmpagos. **Ciência Hoje**• v o l . 4 2 • n ° 2 5 2, p. 32-33, sep. 2008.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. **Precipitation Distribution Over Central and Western Tropical South America**. **Climanálise**, v. 5, n. 6, p. 36-45, June 1990.

FREITAS, S.; LONGO, K.; SILVA DIAS, M.; SILVA DIAS,P. Emissões de queimadas em

ecossistemas da América do Sul. **Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP**, v. 19, n.53, p. 167-185, 2005.

GLICKMAN, T. S., Ed., 2000:**Glossary of Meteorology**. 2d ed. Amer. Meteor. Soc., 855 pp.

GUYON;P.; FRANK G.; WELLING M.; CHAND D.; ARTAXO P.; RIZO L. ; NISHIOKA G.; KOLLE O.; FRITSCHCH H.; SILVA DIAS M. A. F.; GATTI L. V.; CORDOVA A. M.; ANDREAE M. O. Airborne measurements of trace gas and aerosol particle emissions from biomass burning in Amazonia . **Atmospheric. Chemistry. Physics**.5, 2989-3002, 2005.

KOREN I.; KAUFMAN, Y.; REMER, L.A.; MARTINS, J.V. Measurement of the effect of Amazon smoke on inhibition of cloud formation. **Science**, v. 303, p. 1342-1345, 2004.

LIU C., **University of Utah TRMM precipitation and cloud feature database-Description version 1.0**. Salt Lake City: University of Utah, Department of Meteorology, 2007.

LIU, C.; ZIPSER E. J. (2008), **Diurnal cycles of precipitation, clouds and lightning in the tropics from 9 years of TRMM observations**, Geophys. Res. Lett., 35, L04819, doi:10.1029/2007GL032437.

MADDOX, R. A. **Mesoscale convective complexes**. Bulletin American Meteorology Society, v. 61, n. 11, p. 1374-1387, Nov. 1980.

MOLION, L. C. B. **Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação**. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2 n. 1, p. 107-117, dez. 1987.

MOTA, G. V: **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over South America**. 2003. 201 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - University of Utah, Utah, 2003.

NESBITT, S. W.; ZIPSER E. J.; CECIL, D. J. A Census Of Precipitation Features In The Tropics Using Trmm: Radar, Ice Scattering, And Lightning Observations. **Journal Climate**, v. 13, n.23, p. 4087-4106, Dec. 2000.

NESBITT, S.W.; ZIPSER E. J; KUMMEROW C. D., 2004: **An examination of Version-5 rainfall estimates from the TRMM Microwave Imager, Precipitation Radar, and rain gauges on global, regional, and storm scales.** J. Appl. Meteor., 43, 1016-1036.

NESBITT, S.W.; ZIPSER E. J. 2003: The diurnal cycle of rainfall and convective intensity according to three years of TRMM measurements. **J. Climate**, 16 (10), 1456-1475

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

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, Nov.1992.

PINTO, I. R. C. A.; PINTO JR O. / **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics** 65 (2003) 733 – 737.

PINTO, I.R. C.A.; PINTO JR., O. (2003), **Cloud-to-ground lightning distribution in Brazil**, J. Atmos. Solar-Terr. Physics, 65(6), 733–737.

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 continente 1. Weather information and quasi-dc stratospheric electric field data. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D16, p. 18195-18204, Nov.1992.

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

SILVA DIAS, M. A. F. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, nº3, p.190-199, 2006.

SILVA DIAS, M. A. F. 1996. **Complexos Convectivos de Mesoescala sobre a Região Sul do Brasil**. *Climanálise Especial*, 1: 173-179.

TEIXEIRA V. A.; MOTA G. V. **Distribuição e ocorrência de relâmpagos e Sistemas Convectivos de Mesoescala na Amazônia Oriental**. Trabalho de Conclusão de Curso– Universidade Federal do Pará, UFPa, Guamá, 2008.

TEIXEIRA V. A.; MOTA G. V.; VITORINO M. I. Influência das queimadas sobre o regime de precipitação em sub-regiões da Amazônia. Apresentação em pôster. **Conferência Científica Internacional: Amazônia em Perspectiva Ciência Integrada para um Futuro**– LBA, GEOMA, PPbio. Manaus –AM,17-20 de novembro de 2008.

TEIXEIRA V. A.; MOTA G. V.; SOUZA, J. R. S.; RIBEIRO W. M. N.; SANTOS A. P. P.; SARAIVA J. B.; ROCHA E. J. P., **Distribution and Characteristics of Lightning Produced by Mesoscale Convective Systems Within SIPAM'S LDN Coverage Area**. X International Symposium on Lightning Protection. 9th-13th November, 2009 – Curitiba, Brazil.

WILLIAMS E.; ROSENFELD D.; MADDEN N.; GERERLACHCH J.; GEARS N.; ATKATKATKINSON L.; DUNNEMEMANN N.; FROSTRTRON G.; ANTONIO M.; BIAZON B.; CAMARGRGO R.; FRANCA H.; GOME A. ; LIMA M.; MACHCHADO R.; MANHAES S.; NACHTCHTCHTIGALL L.; PIVA H.; QUINTILIANO W.; MACHADO L.; ARTAXO P.; ROBERTBERTS G.; RENNO N.; BLAKESLEE R.; BAILEY J. ; BOCCIPIO D.; BETETS A.; WOLF D.; ROY B.; HALVERSON J.; RICKENBACH T.; FUENTES J.; AVELINO E., **Contrasting convective regimes over the Amazon: implications for cloud electrification**. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D20): 50.1-50.19, 2002.