



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA**



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANA PAULA PAES DOS SANTOS

**RAIOS E PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL: EFEITOS
NO SISTEMA ELÉTRICO**

278

Belém – PA

Julho – 2010

ANA PAULA PAES DOS SANTOS

**RAIOS E PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL: EFEITOS
NO SISTEMA ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau superior de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Profº. Dr. José Ricardo Santos de Souza

Belém-PA

Julho-2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S237p Santos, Ana Paula Paes dos

Raios e Precipitação na Amazônia Oriental: efeitos no sistema elétrico / Ana Paula Paes dos Santos; Orientador: José Ricardo Santos de Souza – 2010

55 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Segundo Período de 2010.

1. Descargas atmosféricas. 2. Sistemas elétricos. 3. Temperatura da Superfície do Mar. 4. Amazônia Oriental. I. Universidade Federal do Pará. II. Souza, José Ricardo Santos de, *orient.* III. Título.

CDD 20º ed.:551.5

ANA PAULA PAES DOS SANTOS

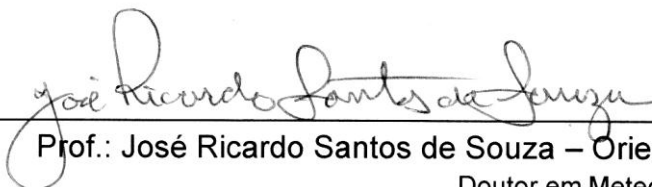
RAIOS E PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL: EFEITOS NO SISTEMA ELÉTRICO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Meteorologia
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará, como
requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Meteorologia.

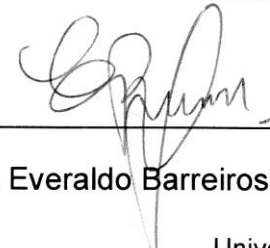
Aprovado em: 08 / 07 /2010

Conceito: EXC

Banca examinadora:



Prof.: José Ricardo Santos de Souza – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Alexandre Melo Casseb do Carmo – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Dedico esta conquista à minha
extraordinária família: meus pais,
Oiram e Paula Santos, e irmãos
Alessandra e Mário Santos.

AGRADECIMENTOS

A quem está sempre comigo, em minhas conquistas, em minhas frustrações, dando forças todos os dias incansavelmente, guiando meus passos; quem me concedeu o Dom da Vida, o Senhor meu Deus.

Aos meus exemplos de vida, minha base, minha estrutura, meus pais, Oiram e Paula Santos, por toda a formação e pela oportunidade de estudo que me proporcionaram. Sem eles, definitivamente não teria feito este trabalho.

Aos meus "irmãos-amigos" Alessandra e Mário Santos, por todo companheirismo, amizade, lealdade, paciência desmedida, por ter me ensinado o real sentido da palavra "irmão".

Ao meu namorado David Couto, pela compreensão, amizade, e pelo constante incentivo, não deixando desanimar nos momentos difíceis que surgiram.

Ao meu orientador Dr. José Ricardo Souza por toda atenção a mim dedicada, pela confiança, por ter sido um dos maiores incentivadores do meu sucesso e pela grande amizade construída.

Aos professores, Dr. Everaldo Souza, Dr. Alexandre Casseb e Dr^a Isabel Vitorino, pelo apoio e pelas valiosas contribuições e sugestões dadas para a realização desse trabalho.

Aos amigos da faculdade, Sérgio Santos, Silvia Garcêz, Thamiris Brandão, Monik de Albuquerque, Flávio Soares, Danúbia Fôro, Marcelo Favacho, Wanda Ribeiro, Venize Teixeira, e Alex Santos, dentre outros, pelo companheirismo e pelo especial apoio.

As amigas de infância, Thaíris Dias e Sara Araújo, por todas as conversas e conselhos que me ajudaram a ser um ser humano melhor, e que ensinaram a transformar minhas dificuldades em desafios.

Ao Sr. Victor Paca e à CPRM pela disponibilização dos dados de precipitação da estação do 4º Distrito Naval.

Ao CNPq pela bolsa PIBIC concedida ao projeto laboratório de previsão Climática Regional da Amazônia Oriental - (LABCLIMA) Processo: 102826/2010-2. E a CELPA Rede Energia, pelo financiamento do Projeto Nuvens e Raios, e pelos dados de desligamentos em sua rede de distribuição de energia elétrica, sem o qual, tal pesquisa não teria sido realizada.

A todos, muito Obrigada!

"As pessoas mais felizes não têm as melhores coisas.
Elas sabem fazer o melhor das oportunidades
que aparecem em seus caminhos." Clarice Lispector

RESUMO

Este trabalho faz uma análise das ocorrências de descargas atmosféricas, em escala local e em grande escala na Amazônia Oriental, para o período de 2006 a 2009. Para a escala local, foi analisada a relação entre precipitação e número de eventos de raios observados diariamente pela RDR SIPAM, durante um trimestre chuvoso e outro menos chuvoso, em área de 3600 Km² que abrange a cidade de Belém-PA. Os dados filtrados por médias móveis semanais mostraram boa correlação no período chuvoso. No trimestre menos chuvoso ocorreram tempestades de raios muito intensas, porém sem relação quantitativa aparente com a precipitação diária média. Uma regressão entre essas variáveis foi encontrada e apresentada para o período chuvoso. As diferenças de comportamento sazonal dos raios versus chuvas foram atribuídas à diferença climática de cobertura entre os sistemas de larga versus meso escala que produzem raios e chuvas sobre essa região. Para exemplificar essas diferenças, foram apresentados mapas de densidade ocorrência de raios em semanas de cada período. Foi possível concluir que no período chuvoso, estimativas de precipitação acumulada podem ser feitas a partir de observações da densidade espacial de ocorrência de raios nessa região. Para grande escala, foi feito um estudo de possíveis relações entre desligamentos dos sistemas de distribuição de energia elétrica da CELPA Rede Energia, atribuídos à incidência de raios com a temperatura da superfície do mar (TSM), dos Oceanos Pacífico e Atlântico. Os resultados mostraram que, com algumas defasagens no tempo, os números de desligamentos tendem a acompanhar as variações da densidade de ocorrência de raios. Indicaram ainda que existe uma boa relação entre as interrupções no sistema elétricos na Amazônia Oriental e anomalias negativas de TSM no Oceano Pacífico equatorial.

Palavras-Chave: Descargas atmosféricas, Precipitação, Sistemas elétricos, Temperatura da Superfície do Mar, Amazônia Oriental.

ABSTRACT

This work analyzes the atmospheric discharge occurrences, in local and large scale, over the eastern Amazon Region, during the 2006 to 2009 period. In the local scale, the relations between precipitation and lightning density of occurrences observed daily by the SIPAM's LDN were considered, during a rainy and a dry quarters, over an area of 900 km² which encloses the city of Belém-PA. The smoothed data, obtained through seven day averages filtering, showed good correlation between lightning density and precipitation during the rainy period. During the dry quarter, intense lightning storms were observed, with no apparent quantitative relation to the local daily precipitation averages. A regression between these two variables was derived and presented, for the rainy quarter. The differences between the seasonal behaviors of lightning frequency of occurrences versus rainfall were attributed to the differences of coverage between meso and large scale meteorological systems which produce lightning and rainfall over this region. In order to exemplify such distinctions, lightning density of occurrences maps were presented, for weeks of each period. It was possible to conclude that, during the rainy period, one may estimate the regional precipitation from the lightning frequency of occurrences data. A large scale study was made considering the possible relations between the power outages attributed to lightning of regional electric energy distribution systems belonging to CELPA Rede Energia and sea surface temperatures (SST) anomalies on the Pacific and Atlantic Oceans. The results showed that, with some time gaps, the number of power disruptions presented a tendency to follow the lightning occurrence density variations. Additional evidence indicated that, the power outage increments on the eastern Amazonian electrical systems were closely associated to negative SST anomalies over the equatorial Pacific Ocean.

Keywords: Lightning, Rainfall, Electrical Systems, Sea Surface Temperature, Eastern Amazon Region.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura1. Estágios de uma nuvem Cumulonimbos.....	19
Figura 2. Localização dos sensores da RDR-SIPAM.....	26
Figura 3. Linhas de tendência entre Precipitação e Descargas Atmosféricas diárias.....	28
Figura 4. Linha de tendencia entre precipitação e descargas atmosféricas. Caso de médias móveis semanais para janeiro de 2005.....	29
Figura 5. Filtro de médias móveis de Raios e Precipitação. Área metropolitana de Belém-PA.....	30
Figura 6. Linhas de tendência entre Precipitação e Descargas Atmosféricas. Caso de médias móveis semanais.....	31
Figura 7. Mapas de densidade de ocorrência de descargas atmosféricas em períodos chuvoso (Figura 7a – 09 a 15/dez 2007), e final do menos chuvoso (Figura 7b – 25/nov a 05/dez 2007).....	32
Figura 8. Localização das áreas em estudo.....	36
Figura 9. Desligamentos do sistema elétrico da CELPA considerando: (a) totais mensais entre 2006 a 2009, (b) totais anuais nas 4 localidades estudadas.....	38
Figura 10. Número de desligamentos e descargas atmosféricas nas áreas 1 e 2.....	39
Figura 11. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de fevereiro de 2006.....	41
Figura 12. Anomalias de ROL observada nos dias 10, 26 e 27 de fevereiro de 2006.....	41
Figura 13. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de março de 2006.....	42

Figura 14. Anomalias de ROL observada nos dias 2,8 e 17 de março de 2006.....	42
Figura 15. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de novembro de 2006.....	43
Figura 16. Anomalias de ROL observada nos dias 5, 10 e 19 de novembro de 2006.	43
Figura 17. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de dezembro de 2006.....	44
Figura 18. Anomalias de ROL observada nos dias 18,22 e 29 de dezembro de 2006.....	44
Figura 19. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de março de 2007.....	45
Figura 20. Anomalias de ROL observada nos dias 8, 13 e 22 de março de 2007.	45
Figura 21. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de novembro de 2007.....	46
Figura 22. Anomalias de ROL observada nos dias 8, 13 e 30 de novembro de 2007.	46
Figura 23. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de novembro de 2008.....	47
Figura 24. Anomalias de ROL observada nos dias 3, 4 e 5 de novembro de 2008....	47
Figura 25. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de dezembro de 2008.....	48
Figura 26. Anomalias de ROL observada nos dias 7, 17 e 25 de dezembro de 2008.	48

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

4° DN – 4° Distrito Naval

AB - Alta da Bolívia

AN-anomalia negativa

AP-anomalia positiva

ATD - Diferenças de Tempos de Chegada

aTSM – anomalias da Temperatura da Superfície do Mar

CENSIPAM - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia

CPC/NCEP - Climate Prediction Center/National Centers for Environmental Prediction

ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IN – Intranuvem

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LPATS - Lightning Positioning and Tracking System

NCEP - National Center for Environmental Prediction

N-neutralidade

NS - Nuvem-solo

NW - Noroeste

PRP – Precipitação

RDR-SIPAM - Rede de Detecção de Raios do Sistema de Proteção da Amazônia

ROL - Radiação de Onda Longa

SEMA- Secretaria de Estado de Meio Ambiente

SE - Sudeste

SN - Solo-Nuvem

VCAN - Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	18
2.2	ELETRIFICAÇÕES DAS NUVENS.....	18
2.3	TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS.....	21
2.4	ASPECTOS GERAIS SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA.....	22
2.5	OCORRÊNCIAS DE RELÂMPAGOS NA AMAZÔNIA.....	23
3	RESULTADOS PARTE I: VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM BELÉM-PA	25
3.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1.2	Redes de detecção de descargas atmosféricas.....	26
3.1.2.1	A Rede de Detecção de Raios do Sistema de Proteção da Amazônia (RDR -SIPAM)	26
3.1.2.2	STARNET - Sferics Tracking And Ranging NETwork	27
3.2	RESULTADOS.....	28
3.3	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	32
4	RESULTADOS PARTE II: DESLIGAMENTOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS, CAUSADOS POR RAIOS NO LESTE DA AMAZÔNIA, E SUAS CONEXÕES COM ANOMALIAS DE TSM	34

4.1	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.2	RESULTADOS	37
4.2.1	Comportamento temporal e espacial dos desligamentos.....	37
4.2.2	Condições de TSM no Pacífico e Atlântico.....	39
4.3	DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	48
5	CONCLUSÕES.....	50
	REFERENCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido como uma das principais regiões com ocorrências de relâmpagos no mundo (SAGALYN et al., 1961). Os estudos desse fenômeno na Amazônia tiveram início com o monitoramento de dias de trovoadas em estações meteorológicas de superfície (Serra, 1977; Nechet, 1994). E em São Paulo, há 25 anos com a criação do ELAT (Grupo de Eletricidade Atmosférica) no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e durante este período foi possível observar algumas características diferentes daquelas relatadas na literatura internacional. Este fato, por si só, justifica a continuidade dos esforços já realizados neste sentido (CAMPOS, 2005). Estima-se que cerca de 100 milhões de relâmpagos atinjam o território brasileiro por ano, causando vários danos à sociedade. Cerca de 100 a 200 mortes por ano registradas no Brasil são causadas por raios, além de eles serem responsáveis por um prejuízo anual em torno de 500 milhões de dólares (Pinto Jr e Pinto, 2000). Vários setores de atividades são prejudicados diretamente pelas descargas atmosféricas, sendo os setores de transmissão de energia elétrica e telecomunicações os maiores afetados, contudo eles também constituem uma grande ameaça para indústrias e edifícios (comerciais ou residenciais), além da própria segurança das pessoas.

Fenômenos globais como El Niño (EN) e La Niña (LN) afetam consideravelmente os padrões meteorológicos de algumas regiões. O Pará é uma das localidades atingidas pela ação destes fenômenos (SOUZA et al, 2005). Um dos efeitos climáticos mais conhecidos, em episódios de El Niño, é a redução na quantidade de chuvas na região. Entretanto, esse efeito de grande escala não impede que fatores locais em muitas situações sejam responsáveis pela evolução de sistemas meteorológicos intensos e ocorrências de falhas no sistema de transmissão de energia produzidas por descargas elétricas. Por outro lado, episódios de La Niña favorecem a precipitação acima da média climatológica em boa parte do Estado.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar as relações entre ocorrências de descargas atmosféricas, precipitação e falhas em sistemas elétricos, na Amazônia Oriental. Considerando os contextos de larga escala de TSM, ROL e sistemas meteorológicos atuantes (ZCIT, ZCAS e outros), no Estado do Pará.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a relação entre o número de ocorrências de raios e a precipitação em escala de tempo semanal.
- Efetuar diagnósticos mensais sobre causas de interrupções no fornecimento de energia elétrica da CELPA Rede Energia, determinando prováveis relações entre anomalias de ROL e de TSM com o número de desligamentos por descargas atmosféricas em municípios do Estado do Pará.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Os raios são descargas elétricas intensas que ocorrem na atmosfera em um curto intervalo de tempo, realizando um percurso de alguns quilômetros. Essas descargas elétricas podem ocorrer associadas às explosões nucleares, erupções vulcânicas e tornados. Contudo, geralmente, se originam em nuvens do tipo Cumulonimbus, ou seja, nuvens de tempestades. (UMAN, 1987).

2.2 ELETRIFICAÇÕES DAS NUVENS

As nuvens de tempestades, ou nuvens eletrificadas, são nuvens de grande desenvolvimento vertical que produzem precipitação e descargas atmosféricas. Em situações extremas podem apresentar tornados e chuvas intensas e rajadas de vento. Em geral sua extensão vertical é de 10 a 20 km, com um diâmetro de 5 a 10 km, com duração, em média, de 30 a 90 minutos. Essas nuvens podem se apresentar tanto em forma de tempestades isoladas, ou na forma de aglomerados convectivos. Estes se apresentam, em geral, como sistemas mais severos que as células isoladas, com chuva e ventos mais intensos (PINTO JR. E PINTO, 2009).

Uma nuvem Cumulonimbos isolada, também chamada de tempestade individual, apresenta três fases de evolução: formação, maturação e dissipação (BYERS E BRAHAM, 1949), conforme ilustração na Figura 1.

Na fase de formação ou Cumulus, os movimentos verticais são predominantemente ascendentes, arrastando assim partículas de gelo e gotas de água para cima. Nesta fase, geralmente atinge um desenvolvimento vertical de 8 km, o período de duração da fase Cumulus varia de 10 a 15 minutos.

Na fase de maturação há tanto a presença de movimentos ascendentes quanto descendentes. As partículas de gelo e as gotas de água que no primeiro estágio eram arrastadas para cima, tornam-se maiores e mais numerosas, iniciando-se a chuva a partir da base da nuvem. O movimento descendente que, no início desta fase, era apenas a partir da base, passa a se

intensificar horizontalmente e verticalmente. A temperatura dentro da nuvem irá depender da região. Para uma dada altura, as regiões onde o movimento do ar é ascendente, a temperatura no interior será maior que no exterior e, para regiões com movimentos descendentes, a temperatura no interior é menor que a temperatura no exterior da célula de tempestade. A duração desta fase é de aproximadamente 30 minutos e sua extensão vertical pode ser de 10 a 18 km.

A fase de dissipação constitui o último estágio, o qual é caracterizado por movimentos predominantemente descendentes. Nesta fase, a temperatura do interior da nuvem é menor que a do seu exterior. A nuvem irá se dissipar até que as temperaturas do interior e do exterior sejam iguais, tem duração de aproximadamente alguns minutos. É nesta fase que ocorrem as descargas atmosféricas.

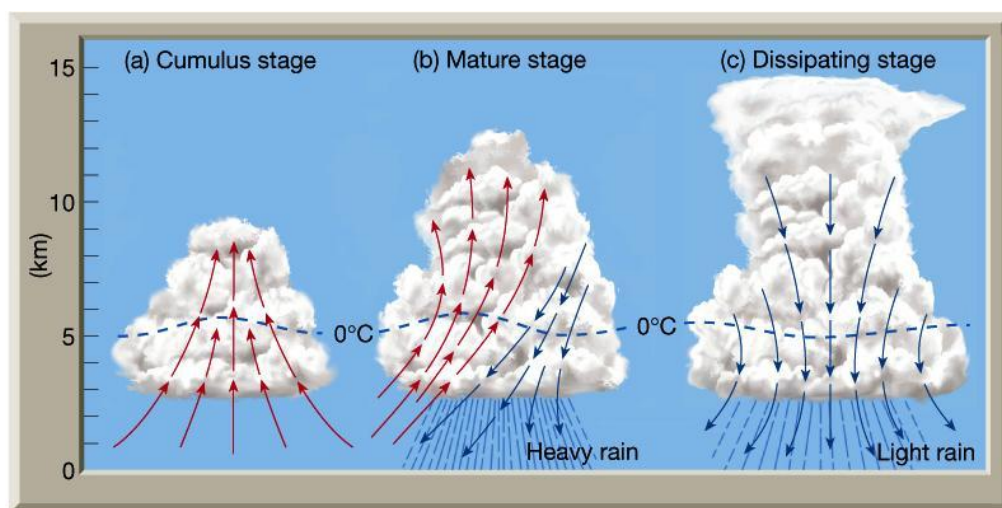


Figura 1. Estágios de uma nuvem cumulonimbos. Fonte: Google Imagens.

Acredita-se que as nuvens de tempestade possuem uma estrutura elétrica devido ao acúmulo de partículas carregadas, produzidas por processos microfísicos e microfísicos. São muitas as hipóteses existentes sobre o processo de eletrificação de nuvens de tempestade. Porém, a hipótese mais aceita é a que afirma que a eletrização das nuvens seria causada pela colisão entre partículas de água e gelo dentro da nuvem (PINTO JR. E PINTO, 2000).

À medida que o ar quente e úmido próximo do solo se eleva na atmosfera, esfria até chegar ao topo da nuvem onde a temperatura é muito

baixa, cerca de -30°C , o vapor de água que estava misturado ao ar quente transforma-se em granizo e começa a despencar (porque é mais pesado que o ar), para a base da nuvem. O granizo se choca com outras partículas menores, cristais de gelo principalmente. Os choques fazem o granizo e os cristais ficarem eletricamente carregados. As cargas negativas presas ao granizo vão para a base da nuvem. Já as positivas ficam nos cristais de gelo, mais leves, que tendem a subir com o ar quente que vem de baixo para o topo da nuvem. Ou seja, as cargas se separam: positivas em cima e negativas em baixo. Em dado momento, as cargas positivas e negativas atingem intensidade muito alta. É o que basta para o surgimento do raio. Logo que o raio sai da nuvem e segue em direção do solo não pode ser visto (nessa fase é chamado de líder escalonado). Quando essa faísca tortuosa chega entre 50 a 300 metros do chão, sai da terra outra faísca em direção à nuvem (é a descarga conectante), e ela ainda não pode ser vista. Só quando as duas correntes se encontram é que tudo se ilumina. O que vemos, então, é a descarga de retorno. Os raios que enxergamos, portanto, saem da terra para o céu. Por ilusão de óptica, achamos que o clarão do relâmpago vem do alto para a terra. O que os diferencia a polaridade dos raios é o local da nuvem onde se originam. Os negativos saem da parte baixa da nuvem, onde se concentra a energia negativa. Já os positivos saem do topo da nuvem, onde ficam as partículas carregadas positivamente. (PINTO JR, 1994).

Na literatura, a distribuição das cargas dentro de uma nuvem de tempestade pode apresentar uma estrutura dipolar ou tripolar. A estrutura dipolar é caracterizada por dois principais centros de cargas elétricas, sendo um positivo e o outro negativo. O centro de cargas negativas está situado na parte inferior da nuvem de tempestade associada à temperatura de aproximadamente -15°C (IRIBARNE E CHO, 1986; BRED DYE, 1989; WILLIAMS, 1989). A estrutura tripolar é caracterizada por três centros de cargas, dois positivos situados na base e no topo da nuvem, que acreditam ser da mesma magnitude e um negativo situado entre as isoterma -10°C a 15°C intermediários aos positivos.

Sabe-se que tanto a latitude quanto as estações do ano influenciam na altura dos centros de carga dentro da nuvem. Em baixas latitudes os centros de

cargas tendem a ser mais altos. No inverno e no verão essa alta localização dos centros de carga também é verificada

2.3 TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Denominamos os tipos de descargas atmosféricas em função de sua origem e do ponto onde terminam. Eles podem ocorrer (1) de uma nuvem para o solo (chamado Nuvem-solo ou NS), (2) do solo para a nuvem (chamado Solo-Nuvem ou SN), (3) dentro da nuvem (chamado Intranuvem ou IN), (4) entre nuvens, (5) de uma nuvem para a atmosfera acima dela e, finalmente, (6) de uma nuvem para um ponto qualquer no ar (descargas no ar).

As descargas IN são as mais freqüentes (cerca de 80% do número total global de relâmpagos), mas de difícil estudo por ocorrerem em meio à opacidade da nuvem. Sua investigação requer o uso de radares e antenas de rádio freqüência. Podem ser considerados como curto-circuito durante o processo de separação de cargas que ocorre durante a tempestade no interior da nuvem (PINTO E PINTO, 2000).

As descargas que envolvem o solo, nuvem-solo e solo-nuvem, embora não sejam os mais freqüentes, são os mais estudados por estarem mais acessíveis à observação visual – por conseguinte, à observação instrumentada também –, e por causa do perigo que apresentam. Os relâmpagos que envolvem o solo são denominados usualmente por “raios”. Estes, por sua vez, podem ser divididos em dois tipos: os negativos e os positivos, dependendo da polaridade predominante das cargas na região da nuvem onde se originam. Assim, existem quatro sub-tipos: NS negativo, NS positivo, SN negativo e SN positivo.

Os raios nuvem-solo negativos nascem no centro negativo de cargas próximo à base da nuvem e, em geral, são mais freqüentes que os positivos.

Os raios positivos são menos conhecidos, e só foram estudados mais detalhadamente nas últimas décadas. Acredita-se que, na maior parte das vezes, eles se originam no centro positivo de cargas transportando do solo para nuvem uma carga negativa, ou seja, equivalente à transferência de cargas

positivas para o solo (SABA, 1997). A polaridade da descarga é determinada, portanto, pela polaridade da carga (resultante) depositada no solo.

Os raios Solo-Nuvem são mais raros em comparação com os nuvem-solo, originando-se geralmente de pontos elevados tais como torres, edifícios, montanhas e árvores.

2.4 ASPECTOS GERAIS SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA

Estudos realizados por Souza et al (2009) permitiram que a comunidade científica compreendesse que uma característica intrínseca do clima da Amazônia é a presença de um amplo espectro de variações no tempo e espaço da atividade convectiva tropical e da precipitação. Na verdade, esta última variável climática pode ser considerada a mais importante na região. Sabe-se, ainda, que a maior parte da precipitação sobre o estado paraense ocorre entre as estações de verão e outono austral (FIGUEROA; NOBRE, 1990; MARENGO et al., 2001; SOUZA; AMBRIZZI, 2003), em associação, principalmente, aos padrões de circulação atmosférica quase-estacionários de grande escala ligados à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A ZCIT exerce um papel preponderante na modulação do regime pluviométrico na região equatorial, podendo ser considerada o sistema meteorológico de grande escala de maior importância no Pará, visto que concorre para o estabelecimento do período chuvoso do estado no decorrer de sua marcha em direção ao Hemisfério Sul, durante o verão e outono austral (LOPES, 2009).

A ZCAS é um fenômeno meteorológico de escala intra-sazonal que influencia a distribuição de precipitação, sendo em muitos casos, responsável por variabilidades no clima regional da Amazônia (KODAMA, 1992; QUADRO, 1994; NOGUES-PAEGLE; MO, 1997; LIEBMANN ET AL., 1999). Assim sendo, o Pará também está sujeito aos efeitos da ZCAS, que tem sua maior frequência nos meses de verão, coincidindo com a estação chuvosa do norte brasileiro e afetando os índices pluviométricos, principalmente na porção Sul do estado do Pará. É comum nestes episódios, haver um acoplamento da ZCAS com a ZCIT, em associação com sistemas como a Alta da Bolívia (AB) e vórtices

ciclônicos em altos níveis (VCAN), o que pode provocar chuvas generalizadas sobre grande parte do estado (GAN; KOUSKY, 1986; SOUZA; AMBRIZZI, 2003).

Waliser e Gautier (1993), em sua climatologia, mostraram a importância deste sistema na definição e análise do clima terrestre em escala global e local. Assim, a sua variabilidade sazonal e interanual em decorrência de interações com as condições oceânicas, principalmente no Atlântico Tropical, têm implicação direta na duração e intensidade da estação chuvosa paraense. Por outro lado, a ocorrência de sistemas de mesoescala, como as linhas de instabilidade, pode ser responsável por até 45% da precipitação na parte Leste do Pará (COHEN; DIAS; NOBRE, 1989).

2.5 OCORRÊNCIAS DE RELÂMPAGOS NA AMAZÔNIA

A Região Amazônica é constantemente coberta por nuvens do tipo Cumulonimbus, sabe-se que essas nuvens são caracterizadas por apresentarem descargas elétricas. Estudos realizados na Amazônia mostraram que esta é uma região com grande ocorrência de relâmpagos. Um estudo realizado por Rocha (2007) analisou as frequências de ocorrências de relâmpagos e a suas respectivas distribuições mensais e horárias, nas localidades de Belém, Paragominas, Tucuruí e São Luís, no período de novembro de 2006 a março de 2007. Nesse estudo foi possível verificar que localidades litorâneas tendem a apresentar um número menor de relâmpagos. Todas as localidades apresentaram variação no número de relâmpagos influenciados pelo deslocamento da ZCIT.

O estudo sobre relâmpagos de Almeida et al. (2007) realizou uma análise das características dos relâmpagos em cinco eventos de tempestades severas em Belém, com precipitações acima de 40 mm em menos de três horas, registradas por pluviômetro do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Por meio deste trabalho foi possível verificar que em todos os eventos analisados ocorreu um máximo da frequência de relâmpagos com antecedência de 20 a 70 minutos em relação ao máximo de precipitação. Sendo que, essas análises mostraram-se independentemente do horário das

tempestades severas que ocorreram entre 16 e 22 UTC (13 e 19 horas locais). Com esse estudo foi possível verificar a importância do monitoramento da frequência de ocorrência dos relâmpagos, já que eles podem servir para alertar em tempo real, o acontecimento de tempestades severas.

RESULTADOS - PARTE I

3 VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM BELÉM-PA

Segundo Molion (1987), a precipitação na Amazônia é basicamente promovida pelas circulações de meso e grande escala que atuam nessa região e os processos dinâmicos que as organizam. A região Amazônica é caracterizada por um alto índice de ocorrência de descargas atmosféricas produzidas por esses sistemas meteorológicos, as quais causam interrupções no fornecimento de energia elétrica, falhas no setor de telecomunicações e diminuição do tempo de vida dos equipamentos. Além disso, a alta umidade regional, com valores superiores a 80% em média, levam a condições de alta adversidade operacional, necessitando de estudos dirigidos para o aumento da confiabilidade dos equipamentos e novas técnicas de proteção elétrica (RIBEIRO, 2010). Souza e Rocha em pesquisas realizadas na década de 90 do século passado já davam conta da grande quantidade de raios sobre a região e de seus efeitos prejudiciais em sistemas elétricos e de telecomunicações. A relação entre os parâmetros dos raios, precipitação e os sistemas meteorológicos convectivos que os produzem tem sido estudada por vários métodos. Roohr (1994) e Carey (2005), utilizaram imagens de satélite, Wang (2006), Macgorman (2005), Gungle (2005) e Soriano (2001), usando radar, balões-sonda de ar, mais sistema de detecção e localização de raios na superfície, associando os parâmetros de raios e precipitação em Taiwan, E.U.A. e Espanha, respectivamente. Na região Amazônica, especialmente em torno de Belém, as primeiras tentativas de estimar chuva, a partir da frequência de ocorrência de descargas foram feitos por Rocha (1996).

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os estudos de escala local, os dados de descargas atmosféricas utilizados foram da rede de detecção de raios do Sistema de Proteção da Amazônia (RDR-SIPAM). Para os mapas de estudo de casos de incidência de raios, usado para exemplificação dos períodos chuvoso (dezembro a maio), e menos chuvoso (junho a novembro), foi usado o software Visual Basic, com

dados da STARNET (por mostrar-se mais uniforme em escalas maiores que a local). Para tal foram selecionadas uma semana de cada período.

REDES DE DETECÇÃO DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A Rede de Detecção de Raios do Sistema de Proteção da Amazônia (RDR – SIPAM).

A Rede de Detecção de Raios do SIPAM (RDR) é composta por 12 sensores LPATS IV manufaturados pela Empresa VAÍSALA, instalados no Leste da Amazônia cobrindo parte dos estados do Pará, Maranhão e Tocantins, conforme mostra a Figura 2. Os dados das diferenças de tempos de chegada (ATD) dos sinais nos detectores, são retransmitidos para a estação integradora, com processador de rede CP 8000, situada em Belém. Através do software L-Trax, planilhas com informações detalhadas de cada evento são geradas para análise.

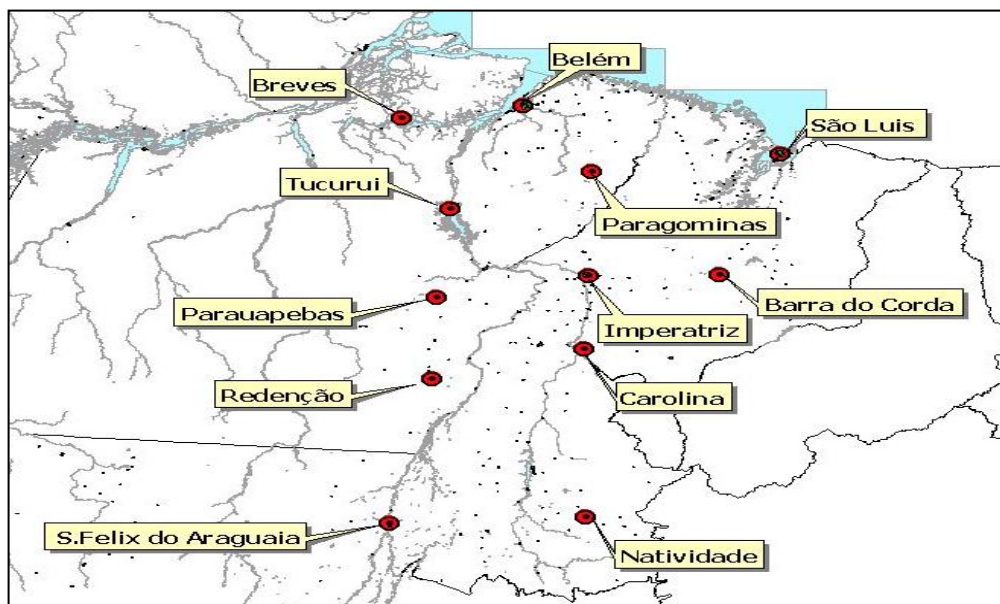


Figura 2. Localização dos sensores da RDR-SIPAM.

O LPATS (*Lightning Positioning and Tracking System*) é um sensor do sistema que localiza descargas atmosféricas avaliando o tempo de chegada do sinal (TOA) a partir das medidas de campos elétricos e magnéticos. Ele determina a localização de um relâmpago pela diferença do tempo de chegada do sinal eletromagnético (MACGORMAN, 1998). Os sensores LPATS sofreram inúmeros aperfeiçoamentos tecnológicos ao longo dos anos, dando origem a

diferentes séries de produtos, entre elas as séries III e IV em uso atualmente em vários sistemas de localização, inclusive no Brasil. Os aperfeiçoamentos concentraram-se essencialmente nos circuitos eletrônicos utilizados para a amostragem do sinal eletromagnético de uma descarga no que se refere ao aumento da taxa de amostragem, memória, precisão e parâmetros amostrados e na sincronização temporal com o sinal de GPS com o objetivo de aumentar a precisão na localização.

A eficiência da Rede de Detecção de Raios do SIPAM (RDR) é de 70% de todas as ocorrências na sua área de melhor detecção, a RDR possibilita a geração de informações e dados para o desenvolvimento de pesquisas na área de climatologia e hidrologia.

O INPE, Furnas e Eletronorte, órgãos parceiros do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), contribuem para a manutenção e operacionalização dos sensores de descargas atmosféricas em campo.

2.6.2. STARNET - Sferics Tracking And Ranging NETWORK

A rede de detecção de relâmpago de longa distância, STARNET (antiga Rede Zeus), é baseado na detecção de Sferics - o ruído impulsivo emitido por um raio no espectro de frequência de VLF (VLF-Very Low Frequency), entre 7 e 15 kHz. Na faixa do VLF, as ondas de rádio dos sferics se propagam a milhares quilômetros de distância através do guia de onda formado pela superfície terrestre e a ionosfera. A rede STARNET consiste de uma rede de sete sensores de VLF instalados no continente Africano e Sul Americano e no Caribe, que medem continuamente o campo elétrico vertical, que está temporalmente sincronizado por um GPS (Sistema de Posicionamento Global). O sinal detectado por cada sensor representa formas de onda dos sferics e estas séries são utilizadas para o cálculo da diferença do tempo de chegada (ATD) dos sferics a partir da correlação temporal entre os diversos receptores de rádio. Cada ATD representa posições sobre a superfície terrestre com a mesma diferença de tempo de chegada, e são representadas

por hipérboles. A intersecção destas curvas representa a localização de uma descarga atmosférica.

PRECIPITAÇÃO

Para análise do comportamento entre chuvas e raios os dados de precipitação foram de 4 pluviômetros: 4º Distrito Naval (4ºDN - 01º 28' e - 48º 27'), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA - 01º 28' e - 48º 27'), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET- 01º 28' e - 48º 27'), e da Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA - 01º 28' /- 48º 27'). O aplicativo Excel do software Microsoft Office 2007 foi utilizado para o tratamento dos dados e confecção dos gráficos. Os dados de ambas as variáveis foram totalizados do primeiro ao sétimo dia, logo em seguida foram feitas médias e aplicados no dia correspondente ao último da semana (7º); sendo que os dados de chuva foram primeiramente feitos médias diárias dos pluviômetros supracitados. Para o gráfico da regressão foram utilizados todos os meses em estudo, dividindo-os em períodos chuvosos e menos chuvosos. Os meses em estudo foram escolhidos por disponibilidade simultânea de dados.

3.2 RESULTADOS

A relação diária entre descargas atmosféricas e precipitação na região metropolitana de Belém, nos anos de 2004 e 2005, não apresentou uma boa correlação. No período chuvoso o $R^2 = 0,0038$, o que corresponde a aproximadamente 0,38%. E no período menos chuvoso o $R^2 = 0,0009$, o que corresponde a aproximadamente 0,09% (Figura 3).

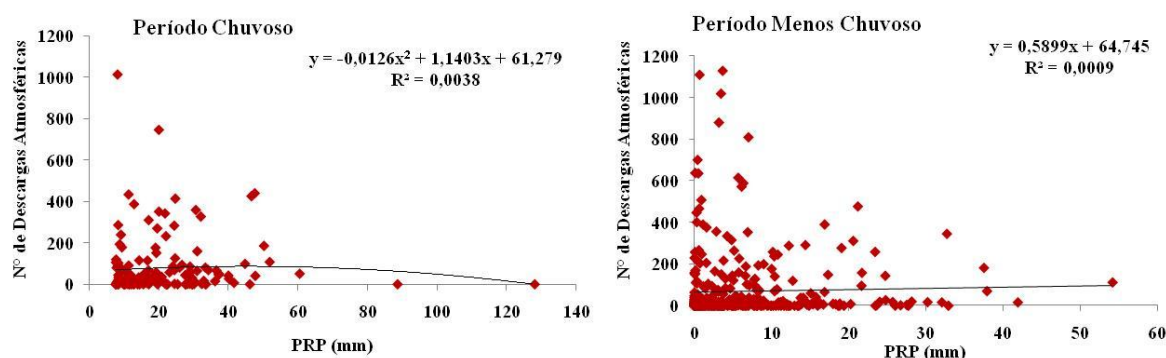


Figura 3. Linhas de tendência entre Precipitação e Descargas Atmosféricas diárias.

Visto que a relação diária entre descargas atmosféricas e precipitação não apresentou resultados satisfatórios, foram analisadas as relações semanais destas variáveis.

Para o estudo do período chuvoso foram selecionados os meses de janeiro, março e maio de 2005, onde podemos perceber que ocorreu uma boa correlação entre as descargas atmosféricas e as precipitações observadas durante a totalização das semanas que antecederam o sétimo dia. Deste período o mês de janeiro destaca-se por apresentar as maiores correlações chegando a 73% como mostra a Figura 4.

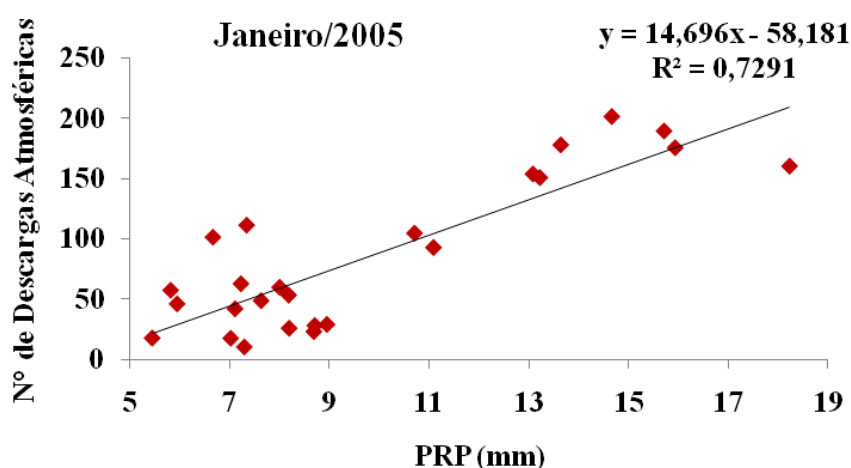


Figura 4. Linha de tendencia entre precipitação e descargas atmosféricas. Caso de médias móveis semanais para janeiro de 2005.

A Figura 5a mostra que nas semanas referentes à segunda quinzena do mês de janeiro de 2005, as tempestades de chuvas e raios foram mais severas que na primeira. O mês de Março, apesar de apresentar algumas defasagens, mostrando o máximo de raios antecedendo os máximos de precipitação, ainda permite visualizar uma correlação em fase entre estas variáveis filtradas através de médias móveis de sete dias. As semanas de 7 à 13, 13 à 19, 23 à 29 e 25 à 31 foram as mais significativas em termos de tempestades severas (Figura 5b). Em março ocorreram defasagens com antecedência do pico de descargas atmosféricas com relação ao pico de chuva. Isto se repetiu em maio (Figura 5c). Todavia, sem alterar a correlação entre tais variáveis; os maiores valores de raios e chuvas ocorreram nas semanas de 1 à 7, 3 à 9, 15 à 21 e 21 à 27.

Os meses de junho e agosto de 2004 além de setembro de 2005 foram os meses estudados para o período menos chuvoso. Os gráficos destacam o desacoplamento existente entre as descargas atmosféricas e precipitações para este período. No mês de junho podemos perceber claramente uma relação defasada, com os máximos de chuva coincidindo com os mínimos de raios até a semana de 17 à 23. Já nas semanas que sucedem esses dias há uma inversão nestas variáveis (Figura 5d). No início do mês de agosto estas variáveis tenderam a apresentar uma relação, mas no final do mês esta situação mudou. As tempestades elétricas ficaram mais intensas e diminuíram os volumes de chuva. Pode-se destacar a semana correspondente ao dia 28 que apresentou 446 raios, e 2 mm de precipitação (Figura 5e). Setembro apresentou máximos de chuvas intercalando máximos de raios durante o mês inteiro (Figura 5f), o que ressaltou ainda mais esta anticorrelação para o período.

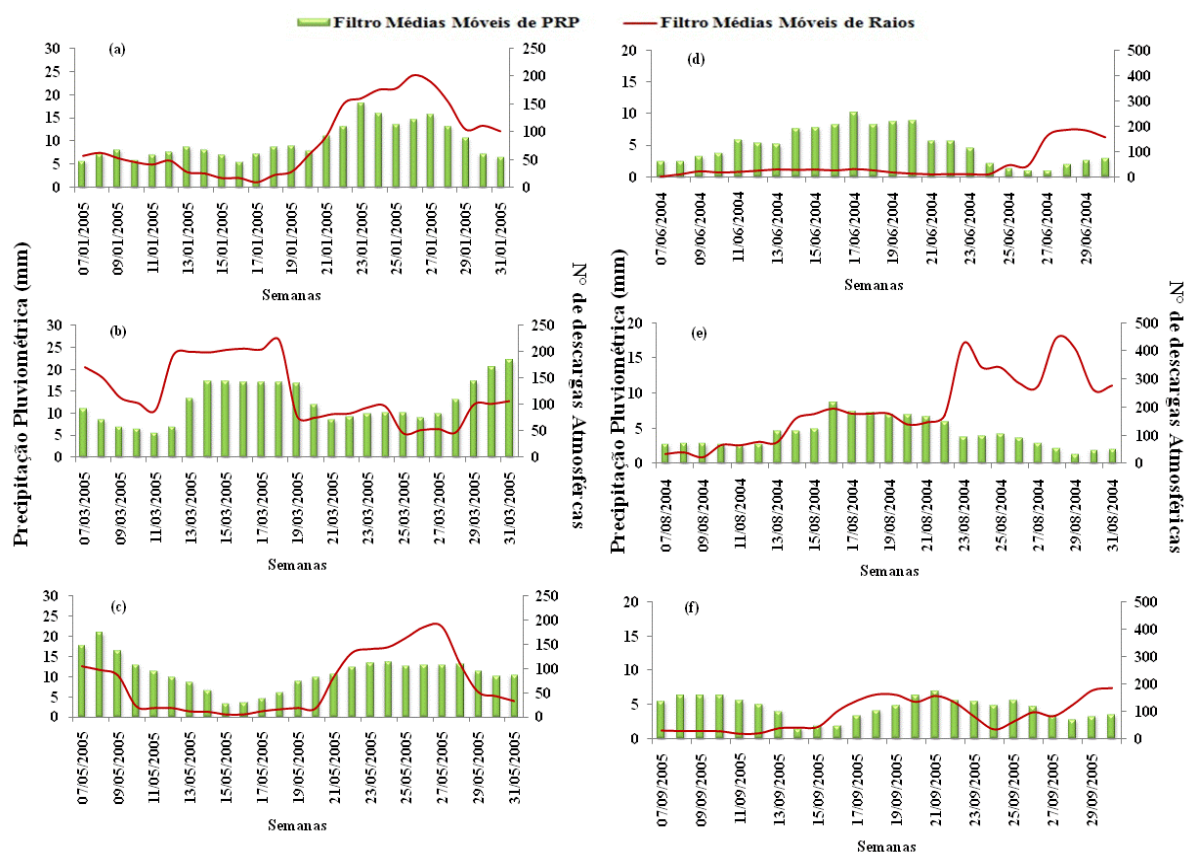


Figura 5. Filtro de médias móveis de Raios e Precipitação. Área metropolitana de Belém-PA

Na Figura 6 podemos perceber a relação das descargas atmosféricas e da precipitação para os períodos chuvosos e menos chuvosos. No período chuvoso (Figura 6a), embora tenha apresentado R^2 relativamente baixo, 0,4255, o que corresponde aproximadamente 43% há uma relação muito maior, quando comparado ao período menos chuvoso, que apresentou um R^2 de 0,0608, aproximadamente 6% (Figura 6b).

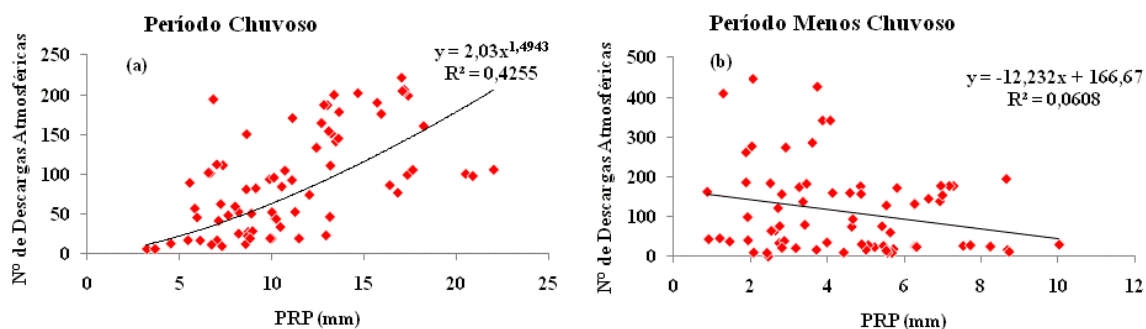


Figura 6. Linhas de tendência entre Precipitação e Descargas Atmosféricas. Caso de médias móveis semanais.

As correlações em fase e defasada entre a chuva e as descargas elétricas podem ser explicadas pelo fato dos raios estarem relacionados com maior atividade convectiva no período chuvoso, associados a sistemas de grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Desta forma, a convecção gera tempestades mais uniformemente distribuídas no espaço, representando assim a atuação, de modo adequado, da ocorrência dos raios. No período menos chuvoso os raios estão associados a sistemas convectivos de mesoescala, como por exemplo as linhas de instabilidade, bem como a nuvens estratiformes, gerando chuvas contínuas e poucas descargas elétricas. As situações das densidades de ocorrência de raios em uma semana chuvosa e outra menos chuvosa são exemplificadas nas Figuras 7a e 7b, respectivamente.

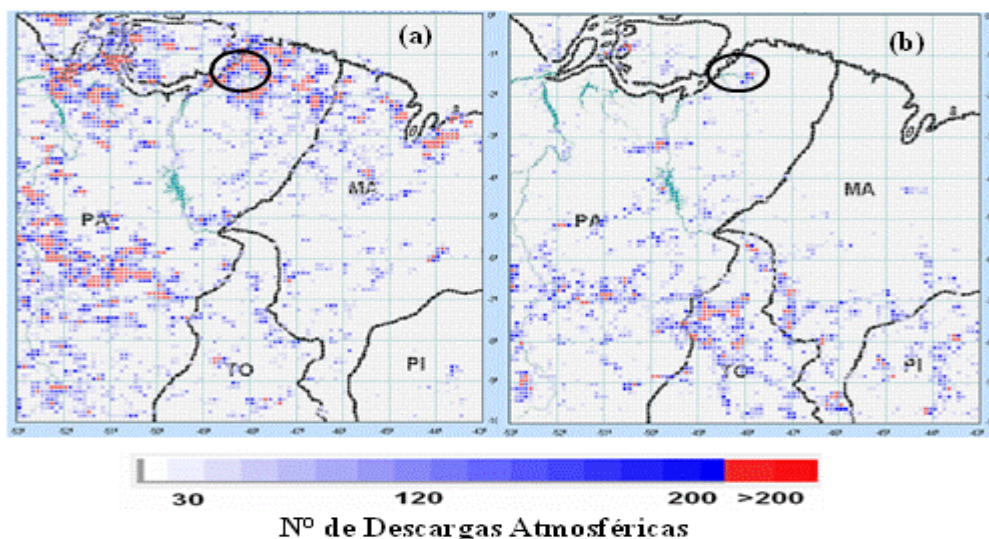


Figura 7. Mapas de densidade de ocorrência de descargas atmosféricas em períodos chuvoso (Figura 7a – 09 a 15/dez 2007), e final do menos chuvoso (Figura 7b – 25/nov a 05/dez 2007).

3.3 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Através do filtro de médias móveis semanais observou-se em geral, uma relação ainda que defasada, dos raios antecedendo e sucedendo a precipitação no período chuvoso na região metropolitana de Belém. No período menos chuvoso não se observou uma correspondência entre estas variáveis. De fato, em escala semanal, foram totalizados maiores números de raios e menores volumes pluviométricos ou vice versa. Foi evidenciado também que no total ocorreram números menores de descargas atmosféricas neste período, mas que as tempestades elétricas eram mais intensas quando comparadas ao período chuvoso. Quanto à dispersão destas variáveis, o período menos chuvoso apresentou o R^2 baixo, e o período chuvoso, embora o R^2 tenha sido relativamente baixo (43%), em alguns meses como o de janeiro esse ajuste foi bom, apresentando 73% de correlação, o que indica que pelo menos neste período podemos fazer prognósticos diários baseados em dados da semana anterior de ocorrência de descargas atmosféricas. Também, pode-se concluir que estimativas de precipitação acumulada média diária podem ser feitas a partir de observações da densidade de ocorrência de raios sobre essa região. A amostra de dados para este estudo foi pequena para que possamos afirmar que o padrão entre essas duas variáveis sempre se comportam desta maneira.

Todavia, é possível aumentar o tamanho desta amostra para gerar resultados ainda mais estatisticamente confiáveis.

RESULTADOS - PARTE II

4. DESLIGAMENTOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS, CAUSADOS POR RAIOS NO LESTE DA AMAZÔNIA, E SUAS CONEXÕES COM ANOMALIAS DE TSM

Diversas pesquisas têm mostrado que o comportamento dos oceanos é o principal modulador do clima nas escalas global e regional (MOURA; SHUKLA, 1981; ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; ACEITUNO, 1988; NOBRE; SHUKLA, 1996; GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; SOUZA ET AL., 2000). O estado do Pará é claramente influenciado tanto pelos modos climáticos anômalos do Pacífico equatorial, quanto pelos que ocorrem no Atlântico tropical (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA; ALVES; XAVIER, 1999). Desvios da ordem de meio grau Celsius, positivos ou negativos, por um período consecutivo igual ou superior a cinco meses na faixa equatorial do oceano Pacífico, correspondentes aos fenômenos El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria), já são suficientes para produzir alterações em toda a dinâmica da circulação geral da atmosfera, especialmente na célula de Walker, influenciando o regime de chuvas na Amazônia oriental (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA; ALVES; XAVIER, 1999).

Estudos observacionais têm mostrado ainda que a Amazônia oriental é sensível a pequenos desvios de TSM no Atlântico tropical, onde anomalias absolutas a partir de $0,20^{\circ}\text{C}$, especialmente quando ocorrem com sinais opostos entre as bacias Norte e Sul, podem produzir um gradiente térmico inter-hemisférico capaz de influenciar o posicionamento da ZCIT (HASTENRATH, 1976; HASTENRATH; HELLER, 1977; HASTENRATH, 1978; SOUZA ET AL., 2000) e, conseqüentemente, modular a precipitação nesta região durante a estação chuvosa. Quando ocorre simultaneamente um evento de ENOS com gradiente de TSM dirigido para o hemisfério Norte, potencializa-se o cenário desfavorável para formação de chuvas na Amazônia oriental (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA, 1997; UVO ET AL., 1998), pois tem-se um deslocamento da circulação de Walker para Leste, acentuando o ramo descendente sobre o Leste da Amazônia (KOUSKY; KAYANO; CAVALCANTI, 1984; MARENGO; HASTENRATH, 1993), da mesma forma que nestas condições, a bacia do Atlântico tropical favorece o fortalecimento

(enfraquecimento) dos alísios de Sudeste (Nordeste), ocasionando um escoamento horizontal mais intenso proveniente do hemisfério Sul. Esta condição resulta em uma antecipação quanto ao deslocamento da ZCIT para o hemisfério Norte e um enfraquecimento no ramo ascendente da célula de Walker na região da Amazônia Oriental, com as consequências acima mencionadas, ou seja, déficit de precipitação na região.

O cenário oposto, portanto favorável a excessos de precipitação, pode ser observado durante os eventos de La Niña concomitantes com a ocorrência de gradiente inter-hemisférico do Atlântico tropical dirigido para o hemisfério Sul. Nestas condições, há um favorecimento do ramo ascendente da circulação troposférica de Walker no Leste da Amazônia, ao mesmo tempo que os alísios de Nordeste (Sudeste) se fortalecem (enfraquecem), intensificando o escoamento horizontal proveniente do hemisfério Norte, contribuindo, assim, para intensificação do ramo ascendente da circulação de Hadley e para a localização da ZCIT mais ao Sul da sua posição climatológica. (LOPES, 2009). O desempenho dos sistemas de energia elétrica é bastante suscetível a variações no clima, e muito vulnerável aos eventos extremos de chuva (FARIAS, 2008). No Pará, episódios de interrupção no fornecimento de energia elétrica decorrentes de ventos fortes e descargas elétricas associados com tempestades severas são bastante frequentes. Estas ocorrências são registradas em situações de intensa atividade convectiva e representam uma das principais causas de desligamentos na área de transmissão da CELPA Rede Energia.

A identificação de padrões atmosféricos causadores de tempestades severas é, portanto de grande importância para o desenvolvimento de sistemas de alerta para a melhoria da proteção e desempenho do sistema de distribuição de energia elétrica regional. Dentro desse contexto, foram processados dados da empresa para a identificação dos períodos com elevados número de falhas no sistema de transmissão de energia elétrica causados por descargas atmosféricas, relacionando-os com meses de ocorrência de intensas tempestades de raios. Os períodos de maior número de desligamentos foram analisados sempre que possível associando-os aos eventos de resfriamento ou aquecimento ou neutralidade da TSM.

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma fonte de informações usada para esta pesquisa foram as planilhas de registros de desligamentos do sistema da empresa CELPA. Este banco de dados contém informações das regionais operacionais centralizada nas cidades de Belém, Castanhal, Santarém e Marabá. Além das datas e horários dos eventos, foram registrados os motivos dos desligamentos divididos entre descargas atmosféricas e causas desconhecidas. Nesse trabalho foram usadas apenas os dados de desligamentos por raios. O conjunto de dados usados abrange o período de 4 anos entre 2006 a 2009. O aplicativo Excel do software Microsoft Office 2007 foi utilizado para as análises estatísticas e confecção de gráficos. Os dados de descargas atmosféricas foram da rede de detecção de raios do Sistema de Proteção da Amazônia (RDR-SIPAM). Para análise dos dados de raios primeiramente utilizou-se a planilha do EXCEL para passar os dados recebidos da central CP 8000 da RDR SIPAM para um formato de texto. No ambiente do software Arc View 3.2 foram criados sub arquivos de modo a considerar apenas os raios detectados dentro da área em estudo, considerando Área 1 abrangendo as cidades de Belém e Castanhal, por se posicionarem geograficamente próximas, e Área 2 abrangendo a cidade de Marabá (Figura 8), onde foram utilizados apenas os raios do tipo nuvem-solo por serem mais danosos aos sistemas elétricos.

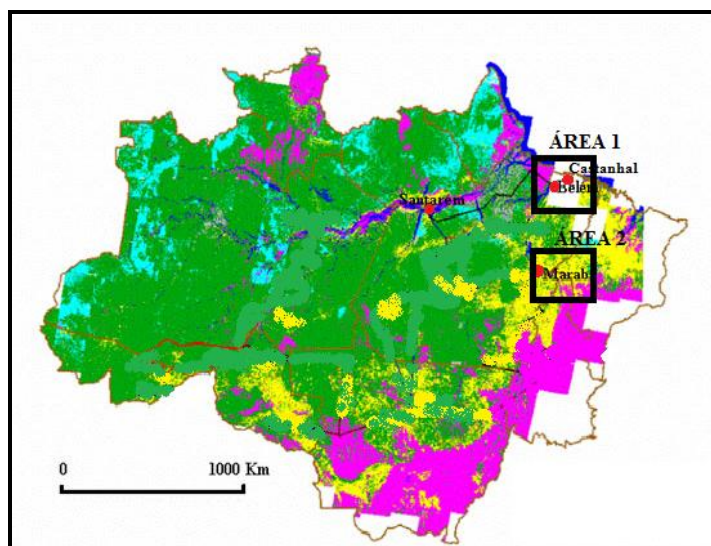


Figura 8. Localização das áreas em estudo.

As informações de TSM foram obtidas de produtos gerados pelo projeto RPCH (Rede de Previsão Climática e Hidrometeorológicas do Estado do Pará), com dados do NCEP (National Center for Environmental Prediction). Foi utilizada também a anomalia da Radiação de Onda Longa (ROL), nos dias de maiores desligamentos, estas figuras foram geradas no software GraDs, que consiste em um sistema de visualização e análise de dados em pontos de grade. É um software interativo utilizado nas tarefas de acesso, manipulação e visualização de dados geofísicos em geral, com dados do NCEP. Foi utilizado o método dos percentis para selecionar os meses de maiores desligamentos, onde foram destacados os meses acima do 50º percentil (segundo quartil).

4.2 RESULTADOS

4.2.1 Comportamento temporal e espacial dos desligamentos

A distribuição temporal dos desligamentos por descargas atmosféricas no sistema de distribuição da CELPA Rede Energia é mostrada na Figura 9a nela também são identificados os meses com deligamentos acima do 50º percentil, que posteirormente foram analisados associando-os aos números de raios e as anomalias de TSM; é mostrado também os meses com desligamentos acima do 85º percentil, aos quais foram analisadas as configuração das anomalias de ROL observadas nos dias com maior número de desligamentos. Com esta figura pode-se perceber que no ano de 2006 a CELPA registrou 529 desligamentos em seu sistema elétrico ocasionados por descargas atmosféricas nas regiões em estudo. A maior parte deles ocorreram nos meses de fevereiro, março, novembro e dezembro. Em 2007 foram registrados 523 interrupções, os maiores números foram nos meses de março e novembro. Já no ano de 2008 foram identificado 377 falhas no sistema, os máximos ocorreram em novembro e dezembro. Em 2009 não ocorreram muitos desligamentos se comparado aos anos anteriores.

O sub sistema de Marabá apresentou maiores ocorrências de desligamentos em todos os anos estudados, alcançando um máximo de 231 interrupções no fornecimento de energia elétrica no ano de 2006, sendo que a cada ano ocorreu um decréscimo nesses números. Santarém foi a cidade que

registrou as menores falhas por raios, com número máximo de 45 em 2006, coincidindo com o mesmo ano de máximo em Marabá. Belém e Castanhal ficaram entre as cidades com número de desligamentos entre os máximos e mínimos supracitados. Notou-se, também, que o ano de 2009 foi o que registrou os menores desligamentos em todas as cidades (Figura 9b).

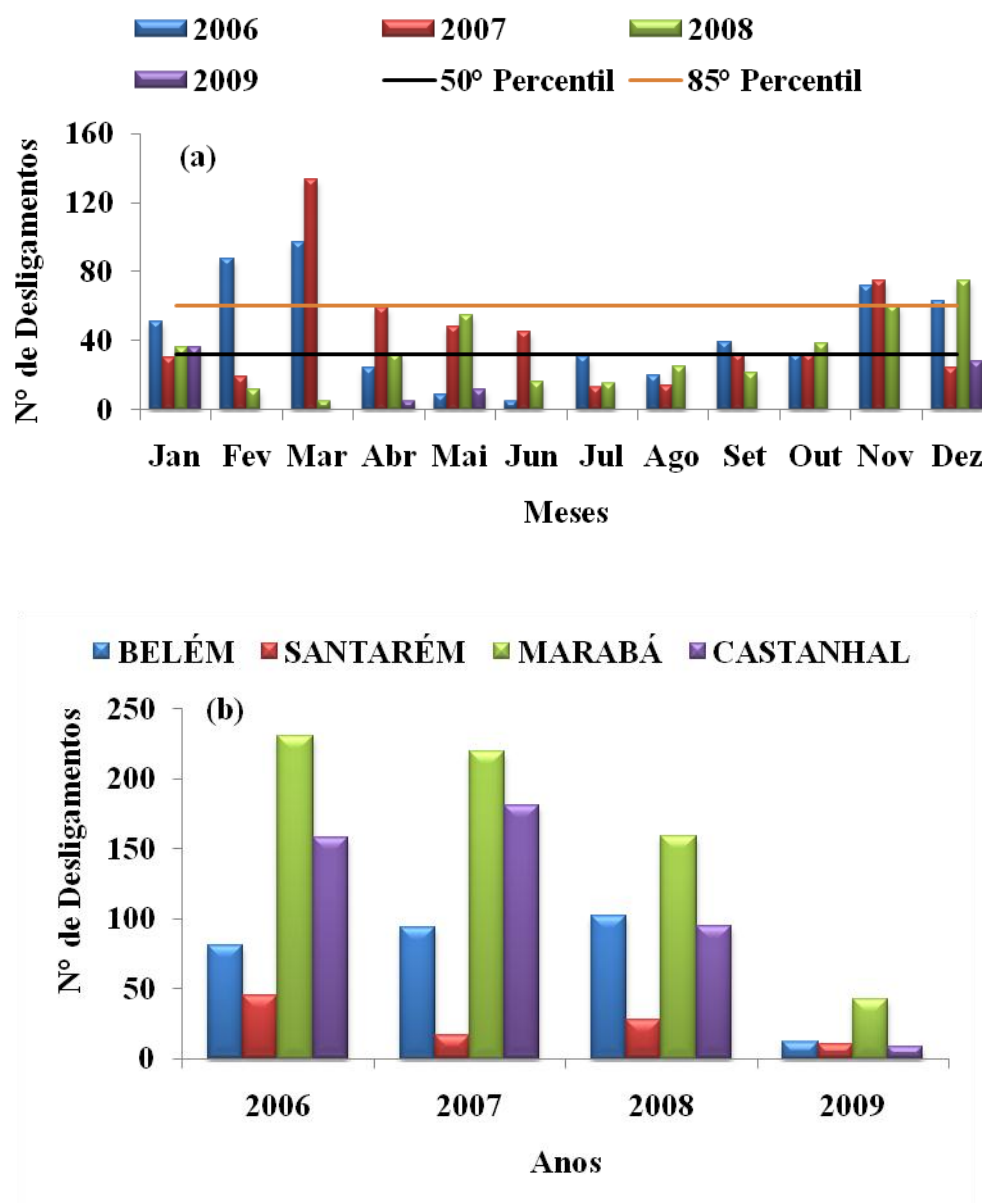


Figura 9. Desligamentos do sistema elétrico da CELPA considerando: (a) totais mensais entre 2006 a 2009, (b) totais anuais nas 4 localidades estudadas.

As cidades de Belém e Castanhal (área 1), apresentaram máximo de desligamentos coincidindo com os máximos do número de descargas atmosféricas. Também em Marabá (área 2), a maior parte dos desligamentos

coincidiram com máximos de ocorrência de raios, contudo nos meses de outubro e novembro de 2007 notou-se um alto número de desligamentos e poucas descargas atmosféricas. Ambas as áreas apresentaram um número considerável de descargas atmosféricas em março de 2007, ao qual foi o mês com maiores desligamentos no período em estudo (Figura 10).

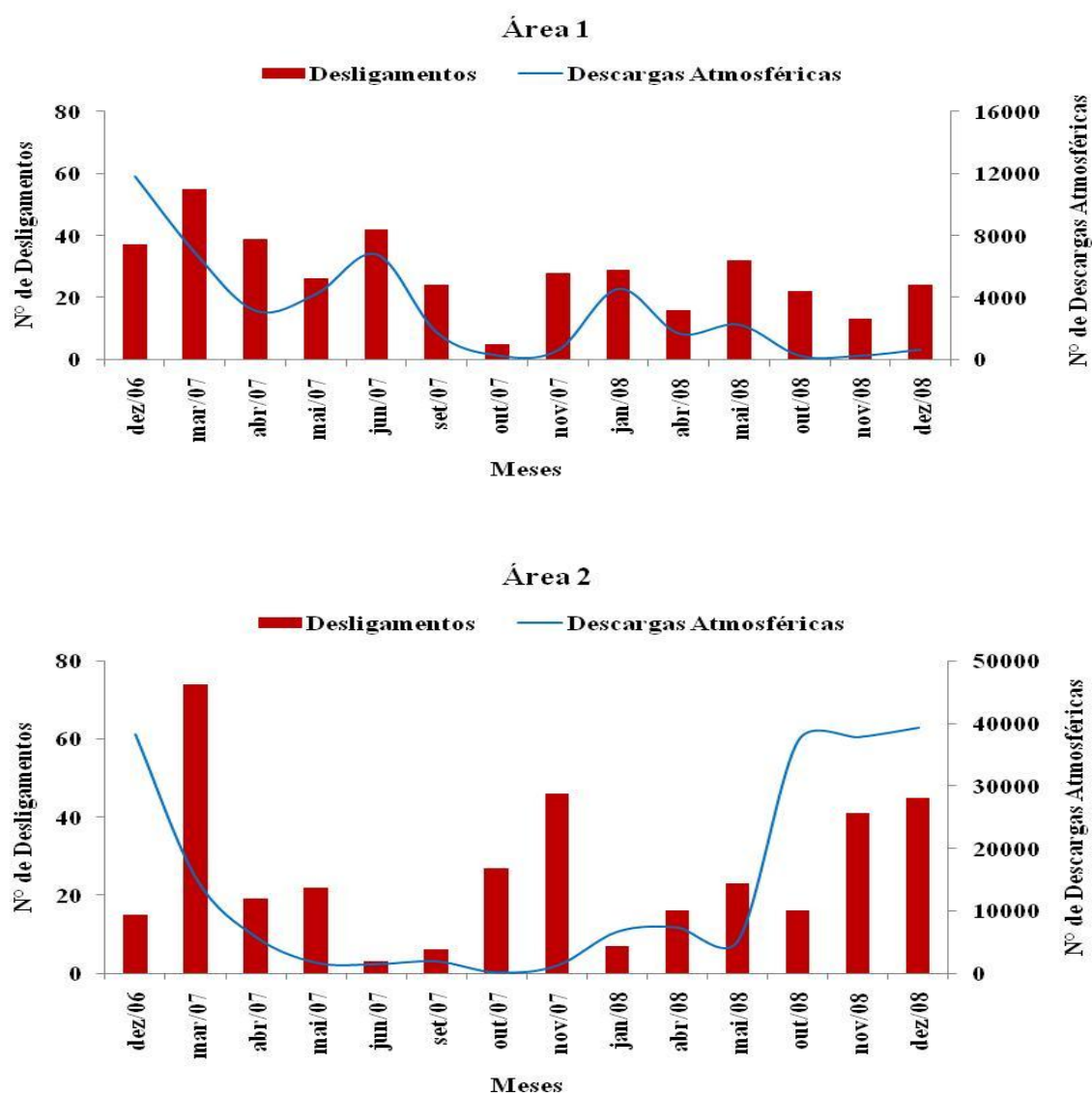


Figura 10. Número de desligamentos e descargas atmosféricas nas áreas 1 e 2.

4.2.2 Condições de anomalias de TSM no Pacífico e Atlântico

Dos 21 meses estudados o Oceano Pacífico apresentou 67% (14 meses) de anomalias negativas de TSM (águas mais frias que o normal), 29 %

(6 meses) com anomalias positivas e 5% (1 mês) com configurações de neutralidade. Por outro lado o Atlântico Norte apresentou 57% (12 meses) de anomalias positivas e 43% (9 meses) de neutralidade. O Atlântico Sul apresentou 10% (2 meses) de anomalias positivas e 90% (19 meses) dentro dos padrões de neutralidade. Nas duas bacias do Atlântico não houve registro de TSM abaixo da normal para o período (Tabela 1- pode assim considerar que AN-anomalia negativa; AP-anomalia positiva; N-neutralidade).

Tabela 1. Condições de TSM observada nos Oceanos Pacífico e Atlântico durante os eventos de desligamentos do sistema elétrico da CELPA

Meses	Pacífico Equatorial	Atlântico Norte	Atlântico Sul
Jan/06	AN	AP	N
Fev/06	AN	AP	N
Mar/06	AN	N	N
Set/06	AP	AP	N
Out/06	AP	AP	N
Nov/06	AP	AP	N
Dez/06	AP	AP	N
Mar/07	AN	AP	N
Abr/07	AN	AP	N
Mai/07	AN	N	N
Jun/07	AN	N	N
Set/07	AN	N	N
Out/07	AN	N	N
Nov/07	AN	N	N
Jan/08	AN	N	N
Abr/08	AP	N	AP
Mai/08	AP	N	AP
Out/08	N	AP	N
Nov/08	AN	AP	N
Dez/08	AN	AP	N
Jan/09	AN	AP	N

Nos meses acima do 85° percentil foram destacados os dias com maior número de desligamentos e analisadas as configurações das anomalias de ROL (Figura 11 e 12, respectivamente). No dia 10 fevereiro de 2006 observou-se anomalias negativas de ROL, orientada no sentido NW-SE do Brasil, contudo no Estado do Pará apesar dos 14 desligamentos no sistema elétrico da CELPA por motivo de descargas atmosféricas, foi observado ROL dentro dos padrões de normalidade. No dia 26 observou-se anomalias negativas de ROL sobre todo o Estado do Pará. No dia 27 verifica-se uma banda meridional contendo anomalias negativas de ROL, numa orientação NW-SE, que é uma indicativa da atuação da ZCAS (Figura 12).



Figura 11. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de fevereiro de 2006

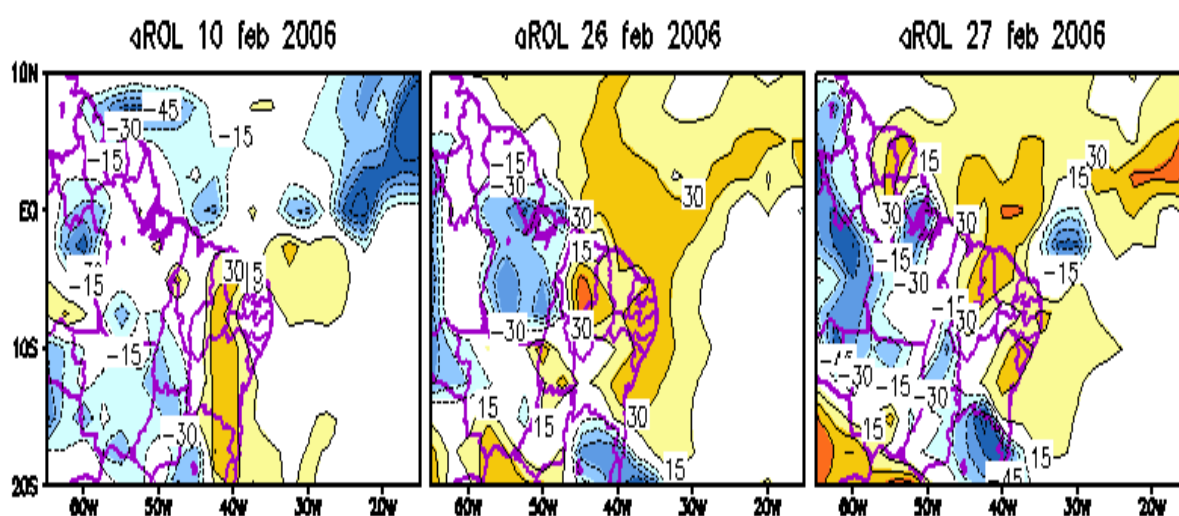


Figura 12. Anomalias de ROL observada nos dias 10, 26 e 27 de fevereiro de 2006.

A Figura 14 mostra os dias de maiores desligamentos em março de 2006, no dia 2 observou-se ROL dentro dos padrões de normalidade sobre as cidades em estudo, o que não significa ausência de nebulosidade. Já no dia 8 verificou-se algumas áreas no Oeste do Estado contendo anomalias negativas de ROL. No dia 17 evidencia-se uma banda de nebulosidade orientada no sentido NW-SE, que associa-se a posição da ZCAS, cobrindo grande parte do Estado Pará, e com anomalias mais intensas que as observadas no dia 8.

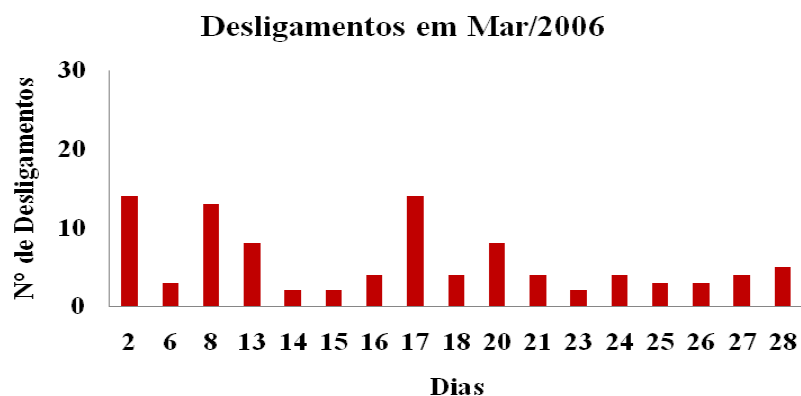


Figura 13. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de março de 2006.

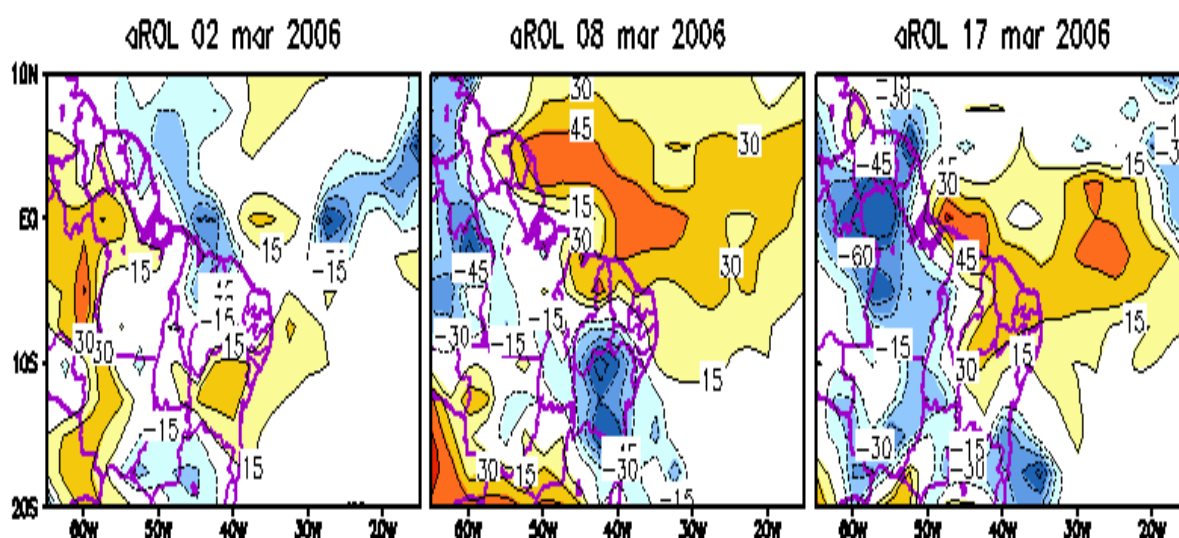


Figura 14. Anomalias de ROL observada nos dias 2,8 e 17 de março de 2006.

As anomalias de ROL nos dias de maiores números de desligamentos no mês de novembro de 2006 é mostrado na Figura 16. No dia 05 mesmo tendo ocorrido 18 desligamentos no sistema elétrico, foi observado anomalias positivas de ROL sobre o Pará,. Já no dia 10 verifica-se uma banda meridional contendo anomalias de ROL, numa orientação NW-SE, que associa-se a posição da ZCAS, do Pará ao Atlântico Sul, e outra banda de nebulosidade no sentido zonal, que associa-se a aproximação da ZCIT para o Hemisfério Sul. No dia 19 observou-se uma nebulosidade no sentido zonal, do Pará ao Maranhão.

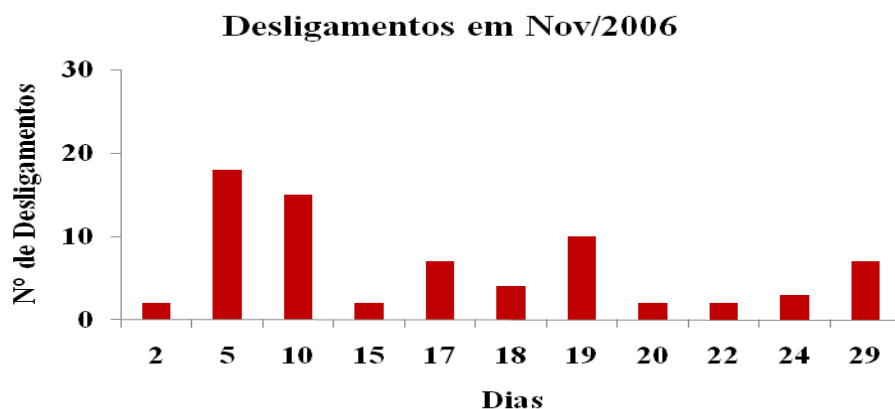


Figura 15. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de novembro de 2006.

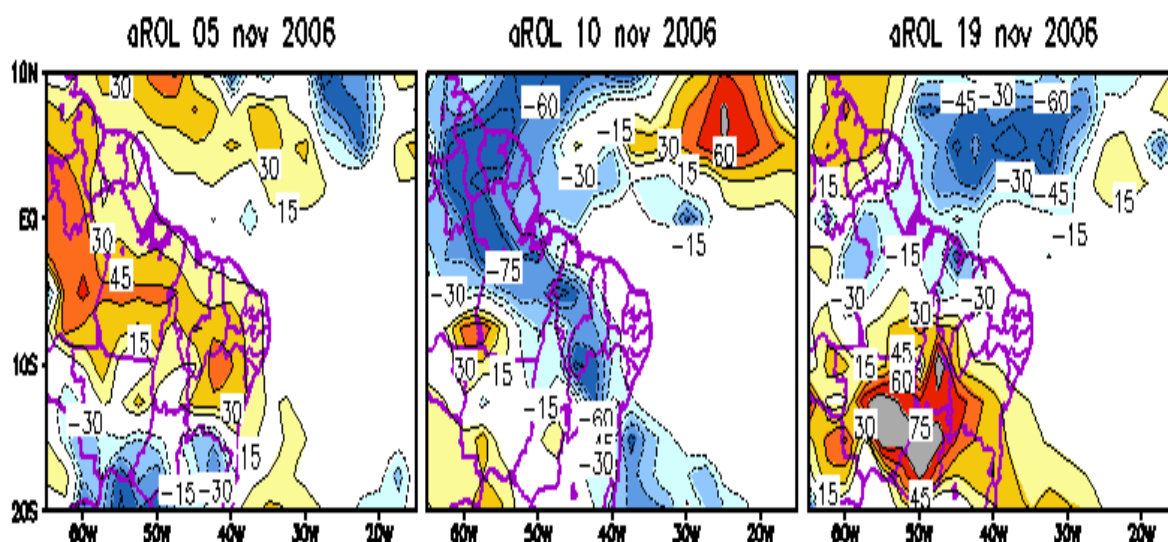


Figura 16. Anomalias de ROL observada nos dias 5, 10 e 19 de novembro de 2006.

A Figura 17 mostra a distribuição de desligamentos durante o mês de dezembro de 2006, o elevado número de desligamentos foi dividido em vários dias com um pequeno número de interrupções, o que explica a nebulosidade não tanto significativa para os dias em destaque na Figura 18. No dia 18 de dezembro de 2006 verificou-se anomalias negativas de ROL sobre o Nordeste do Estado do Pará, área onde localizam-se as cidades de Belém e Castanhal (cidades com sub sistemas elétricos da CELPA). Já nos dias 22 e 29 observou-se anomalias positivas de ROL sobre o Estado.



Figura 17. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de dezembro de 2006.

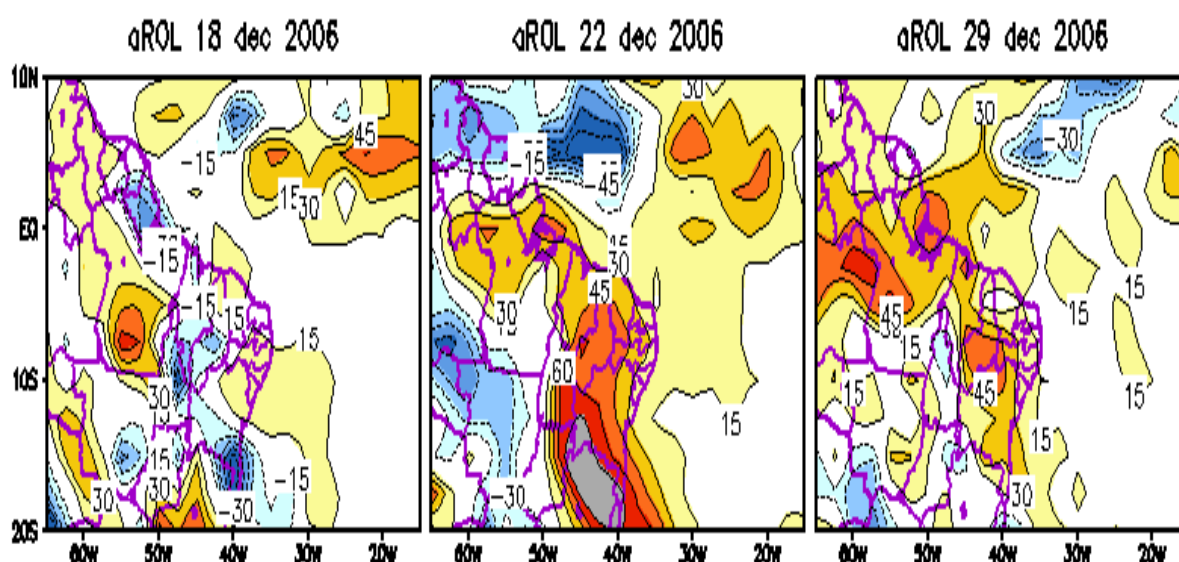


Figura 18. Anomalias de ROL observada nos dias 18,22 e 29 de dezembro de 2006.

Foi feito um estudo mais detalhado do mês com maior número de desligamentos no sistema elétrico (março de 2007), quando observaram-se quase que sistematicamente todos os dias um grande número de problemas de interrupção do sistema elétrico (Figura 19). O mês foi caracterizado pela atuação do fenômeno La Niña, ou seja, TSM anormalmente frias de até -2°C na bacia equatorial do Oceano Pacífico e também um padrão aquecimento em grande parte da Bacia Norte do Atlântico Norte principalmente entre 40°W e 20°W , enquanto que na Bacia Sul do Atlântico verificou-se a predominância de um padrão de neutralidade (Figura não mostrada; RPCH, 2007). A Figura 20 mostra a configuração das anomalias de ROL observadas nos dias com maior

número de desligamentos. No dia 8 evidencia-se uma banda zonal contendo anomalias negativas de ROL entre o Pará e o Atlântico equatorial, a qual é indicativa da atuação da ZCIT. No dia 13, observou-se tanto a banda zonal associada a ZCIT, como também outra banda meridional contendo anomalias de ROL, em uma orientação NW-SE, que associa-se a posição da ZCAS. No dia 22, verificou-se novamente a banda associada a ZCAS atuando no sul do Pará e a proximidade da ZCIT no litoral do Amapá.

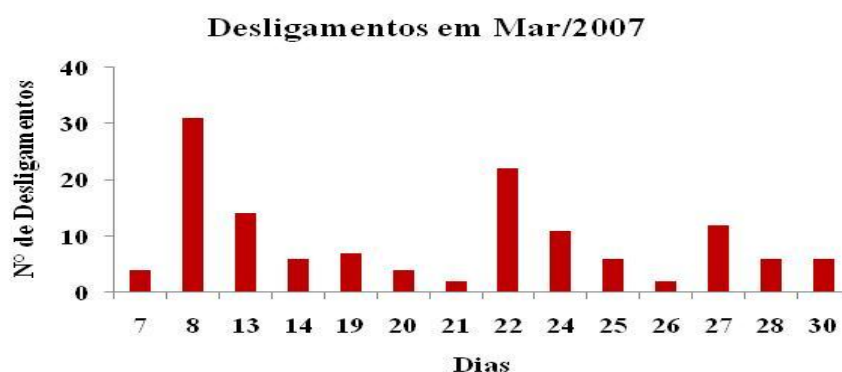


Figura 19. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de março de 2007.

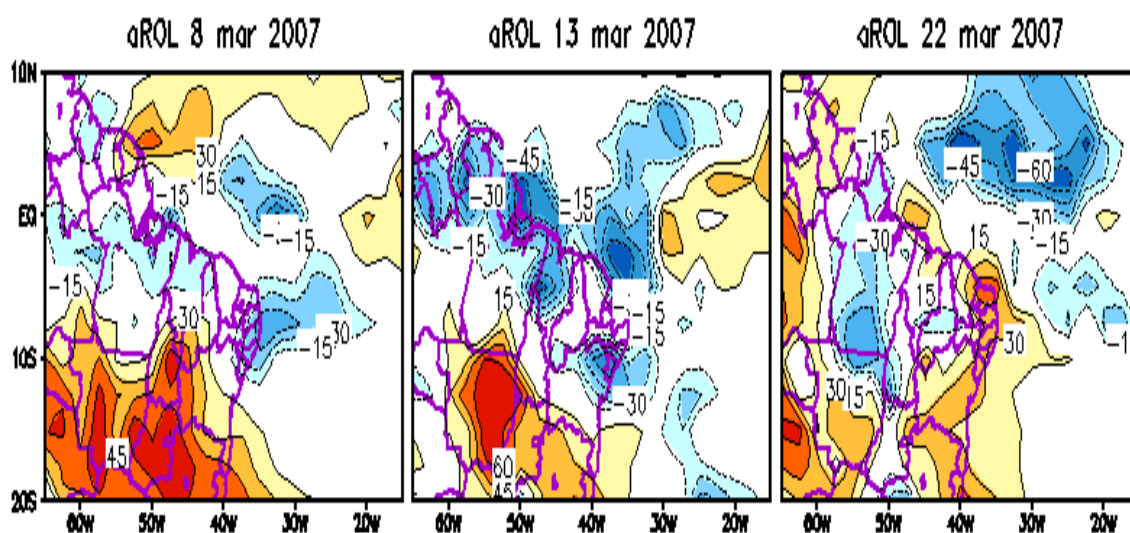


Figura 20. Anomalias de ROL observada nos dias 8, 13 e 22 de março de 2007.

A Figura 22 mostra as condições de anomalias de ROL em novembro de 2007, o dia 6 foi marcado por anomalias negativas de ROL em uma orientação NW-SE do Pará, abrangendo as cidade des Santarém e Marabá. No dia 13 verificou-se que parte do Estado apresentou algumas áreas contendo

anomalias positivas de ROL, sendo que sobre o SE do Estado observou-se anomalias negativas. Já no dia 30, observou-se uma banda de nebulosidade atuando sobre o NW do Estado do Pará.



Figura 21. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de novembro de 2007.

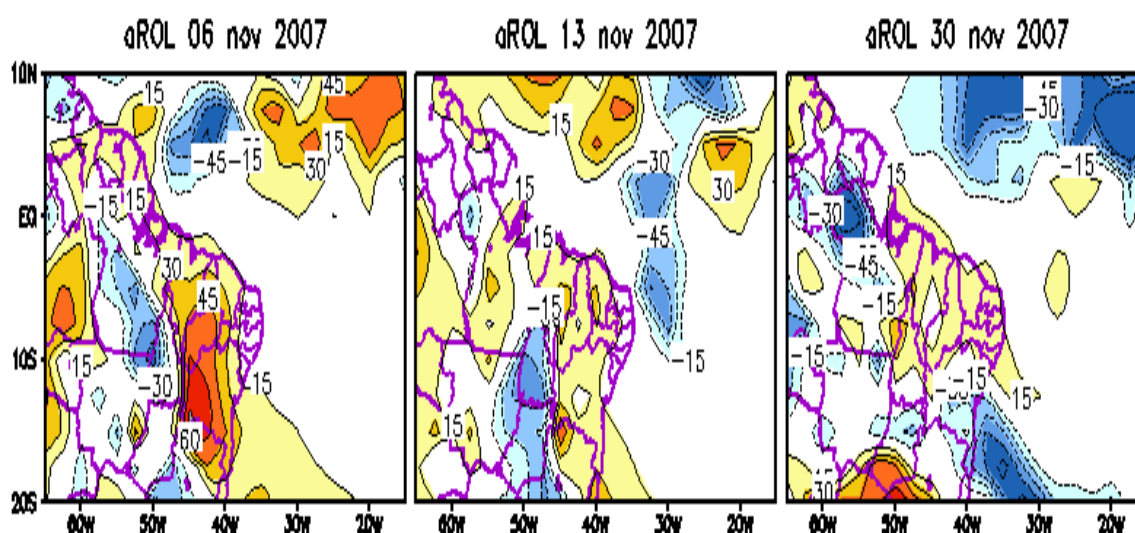


Figura 22. Anomalias de ROL observada nos dias 8, 13 e 30 de novembro de 2007.

Os dias 3 e 4 de novembro de 2008 foi observado anomalias positivas de ROL sobre o Pará. Já no dia 5 verificou-se anomalias negativas de ROL sobre o Oeste do Pará, ao qual localiza-se a cidade de Santarém (Figura 24).



Figura 23. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de novembro de 2008.

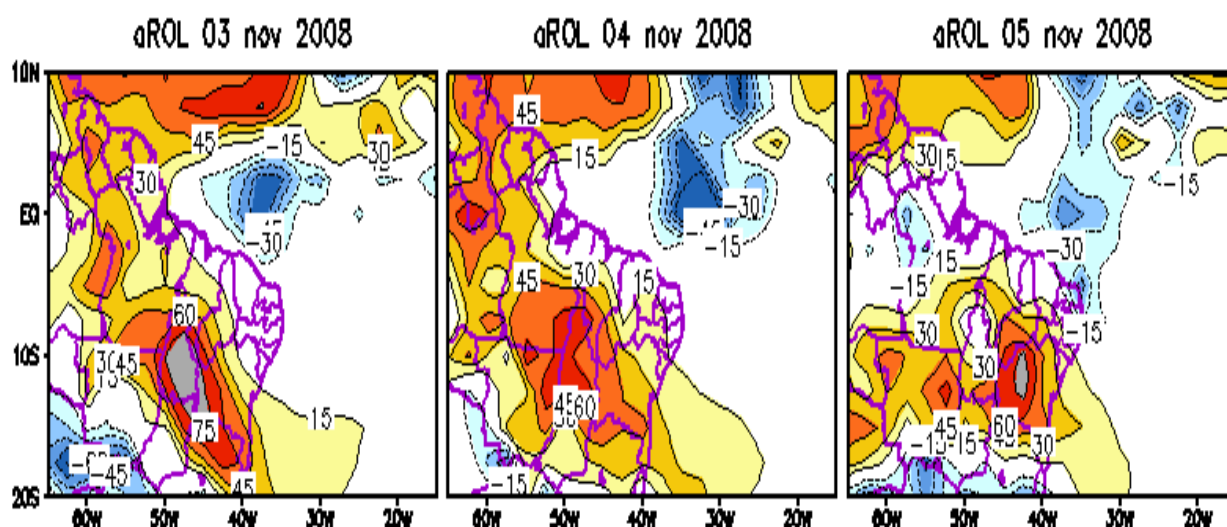


Figura 24. Anomalias de ROL observada nos dias 3, 4 e 5 de novembro de 2008.

Os dias 7, 17 e 25 de dezembro de 2008 evidencia-se uma banda meridional contendo anomalias negativas de ROL em uma orientação NW-SE, que associa-se a posição da ZCAS, sendo que no dia 25 observou-se também uma banda zonal com anomalias negativas de ROL entre o Pará e o Atlântico equatorial, a qual é indicativa da atuação da ZCIT (Figura 26).



Figura 25. Número de desligamentos ocorridos durante os dias de dezembro de 2008.

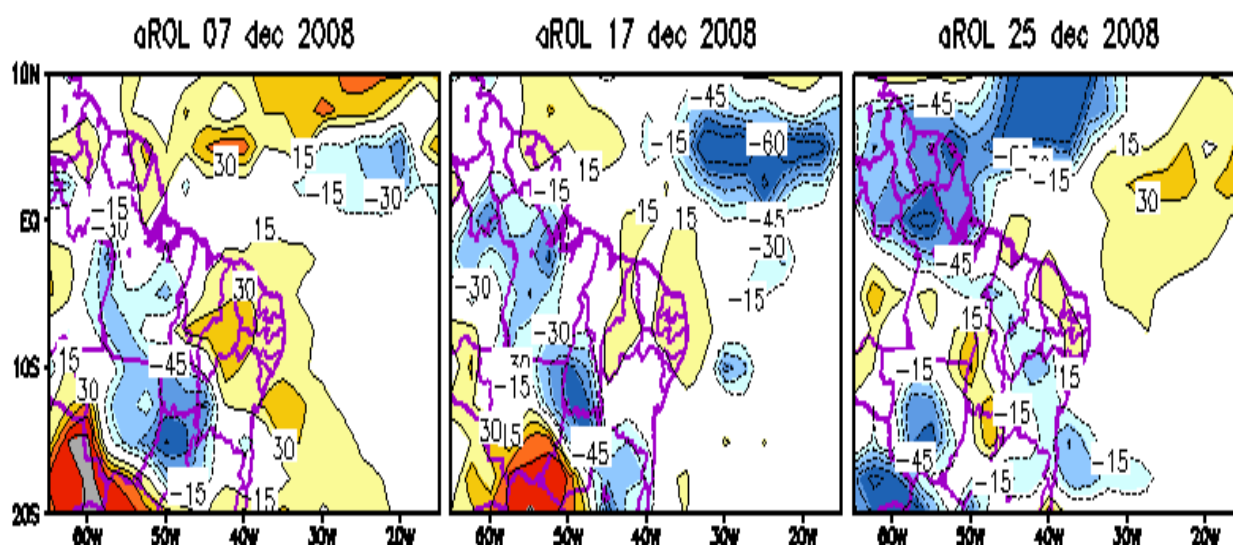


Figura 26. Anomalias de ROL observada nos dias 7, 17 e 25 de dezembro de 2008.

4.3 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A regional de Marabá foi a que apresentou maiores números de desligamentos em seu sistema de transmissão de energia elétrica, e Santarém os menores desligamentos. A temperatura da superfície do mar mostrou ter influencia remota sobre as descargas atmosféricas seguidas de desligamentos no sistema elétrico, nos anos de 2006 a 2009. Cerca de 67% dos casos de desligamentos ocorreram quando o Oceano Pacífico apresentou-se com TSM anormalmente mais frias que o normal; 57% dos desligamentos parecem ter

boa correspondência com anomalias positivas do Atlântico Norte e 90% com a neutralidade do Atlântico Sul. Com a análise das condições de anomalias de radiação de onda longa, verificou-se que os maiores números de eventos de falha na transmissão de energia elétrica em grande parte dos meses, foram causados pelo desenvolvimento de atividade convectiva intensa decorrente principalmente da atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul e Zona de Convergência Intertropical.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O objetivo principal desse trabalho foi analisar se as condições atmosféricas da semana que antecede um dia tem influência sobre este, na região metropolitana de Belém, e se a temperatura da superfície do mar tem conexão com o número de descargas atmosféricas e consequentes desligamentos no sistema de distribuição de energia elétrica sobre a Amazônia Oriental.

Pode-se concluir que a semana que antecede o 7º dia teve influencia no período chuvoso dos meses em estudo, e que os máximos de raios antecedem os máximos de chuva, podendo assim fazermos estimativas de precipitação média diária a partir de observações da densidade de ocorrência de raios sobre essa região.

Quanto às conexões entre a TSM e os raios, evidenciou-se que as anomalias negativas da temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico equatorial tem influência sobre o número de interrupções no fornecimento de energia elétrica no Estado do Pará, sendo os principais sistemas meteorológicos atuantes a ZCAS e a ZCIT.

REFERENCIAS

- ACEITUNO, P. **On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate.** Monthly Weather Review, v.116, n.3, p. 505-524. 1988.
- ALMEIDA, A.C.; **Lightning characteristics associated to severe rainfall events, around belém–pa–brazil.** IX International Symposium on Lightning Protection. 26th-30th November 2007 – Foz do Iguaçu, Brazil
- ANAGNOSTOU, E.N., AND T. CHRONIS, 2004. **The worth of long-range lightning observations on overland satellite rainfall estimation,** Book Chapter, Kluwer Academic Publishers (in review).
- BREED, D.W.; DYE, J.E. **The eletrification of New Mexico thunderstorms 2. Electric field growth during initial eletrification.** Journal of Geophysical Research, v. 94, n. D12, p. 14841-14854, Oct. 1989.
- BYERS, H. R., and R. R. BRAHAM Jr., 1949: **The Thunderstorm.** U.S. Government Printing Office, 287 pp.
- CAMPOS, L.Z.S. **Estudo da corrente contínua de relâmpagos naturais através de uma câmera rápida.** INPE-13007-PRE/8284. São José dos Campos, 2005
- CAREY, L. D., MURPHY, M. J., MCCORMICK, T. L., DEMETRIADES, N. W. S. **“Lightning location relative to storm structure in a leading-line, trailing-stratiform mesoscale convective system”,** J. Geophys. Res., vol. 110, D03105, doi: 10.1029/2004JD004371, 2005.
- COHEN, J. C. P; DIAS, M. A. F. S.; NOBRE, C. A. **Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia.** Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.4, n.11, p.34-40. 1989.
- FARIAS, W.R.G. et al. **Descargas atmosféricas e interrupções de energia elétrica na área da CHESF: Relação com Variáveis atmosféricas em anos de El Niño e La Niña.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.3, 270-281, 2008.
- FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. **Precipitation distribution over central and western tropical South America.** Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.5, p.36-45. 1990.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. **Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.1, p.19-28. 1986.
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. **Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events.** Journal of Climate, v.2, p.2863-2980. 1998.

GUNGLE, B., KRIDER, E. P.. (2006). **“Cloud-to-ground lightning and surface rainfall in warm-season Florida thunderstorms”** J. Geophysics. Res., 111, D19203, doi:10.1029/2005JD006802, 2005.

HASTENRATH, S. **Climate Dynamics of the Tropics**. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. 488 p.

HASTENRATH, S.. **Variations in low-latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas**. Journal of Atmospheric Sciences, v.33, n.2, p.202-215. 1976.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. **Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.103, n.435, p.77-92. 1977.

HASTENRATH, S. **On modes of tropical circulation and climate anomalies**. Journal of Atmospheric Sciences, v.35, n.12, p. 2222-2231. 1978.

IRIBARNE, J.V.; CHO, H.R. **Atmospheric physics**. Dordrecht, D. Reidel, 1986.

KODAMA, Y. **Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ)**. Journal of the Meteorological Society of Japan, v.70, n.4, p.813-836. 1992.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. **A review of the Southern oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies**. Tellus, v.36A, p.490-504, 1984.

LIEBMANN, B. et al. **Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone**. Journal of Climate, v.12, p.1877-1891. 1999.

LOPES, M.N.G. **Aspectos regionais da variabilidade de precipitação no estado do Pará: estudo observacional e modelagem climática em alta resolução**. Dissertação apresentada ao PPGCA da UFPa, 2009.

MACGORMAN, D. R., RUST, W. D., KREHBIEL, P., RISON, W., BRUNING, E., WIENS, K. **“The electrical structure of two supercell storms during STEPS”**. Mon. Wea. Rev., 133, pp. 2583–2607, 2005.

MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. **Case studies of climatic events in Amazon basin**. Journal of Climate, v.6, n.4, p.617-627. 1993.

MARENGO, J. A. et al. **Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin**. Journal of Climate, v.14, p.833-852. 2001.

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

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. **On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation mode.** Journal of Atmospheric Sciences, v.38, n.12, p.2653-2675. 1981.

NECHET, D. **Dias de trovoadas na Amazônia,** Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia e II Congresso Latino-Americano Ibérico de Meteorologia. Vol. 1, PP. 184 – 187, Belo Horizonte-MG, 1994.

NIMER, E. Climatologia do Brasil, Rio de Janeiro. IBGE, 1979.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. **Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America.** Journal of Climate, v.9, p.2464-2479. 1996.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. **Alternating wet and dry conditions over South America during summer.** Monthly Weather Review, v.125, p.279-291. 1997.p.01-09. 1997.

PINTO JR, O. **Brasil: o país dos 100 milhões de raios.** Revista superinteressante, edição 083, agosto de 1994.

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

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** 1994, 123f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo. 1994.

RIBEIRO, W.M.N. et al. **Rainfall and lightning relations derived from TRMM satellite data, over eastern Amazonia.** X International Symposium on Lightning Protection. 9th-13th November, 2009 – Curitiba, Brazil. Pg. 211-216.

RIBEIRO, W.M.N. **Incidência de Raios Próxima à uma Linha de Transmissão da CELPA.** Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, 2010.

ROCHA, B. R .P. J.R.S. Souza, J.M. Costa. **“Electric and Magnetic Fields from Lightning in Belem”.** Anais do II Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, pp. 55-58, Ouro Preto - MG, 1996.

ROCHA, B.R.P.; et al .2007. **Lightning Characteristics Time Distribution over Four Locations in Eastern Amazonia.** Proceedings of the IX International Symposium on Lightning Protection. Foz do Iguaçu – PR-Brazil – 26th- 29th November 2007.pp. 31-34.

ROOHR, P.B., VONDER HAAR, T.H... **“A Comparative Analysis of the Temporal Variability of Lightning Observations and GOES Imagery”.** Journal of Applied Meteorology. Vol. 33, pp. 1271-1290, 1994

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. **Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation.** Monthly Weather Review, v.115, n.8, p.1606-1626. 1987.

SABA, M. M. F. **Estudo de condutividade, campo elétrico e relâmpagos associados a nuvens de tempestade.** 1997. 180 p. (INPE-6675-TDI/625). Tese (Doutorado em Ciência Espacial/ Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

SAGALYN, R.C.; CURTIS, H.O.; SMITH, L.G. **Atmospheric electricity.** In: Campen Jr., C.F.; Cole, A.E., ed. Handbook of geophysics, New York, NY, MacMillan, 1961. cap.9. p.9.1-9.36.

SERRA, A. **Trovoada e Névoa seca.** In: Boletim Geográfico. Vol. 35, N°225, pp. 142 – 163, Rio de Janeiro – RJ, 1997.

SORIANO, L. R., DE PABLO, F., DÍEZ, E. G. **“Relationship between convective precipitation and cloud-to-ground lightning in the Iberian Peninsula”.** Monthly Weather Review 129: pp. 2998-3003. 2001.

SOUZA, E. B. **Um estudo observacional sobre o padrão do dipolo de anomalias de TSM no Oceano Atlântico Tropical.** 1997, 110f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Paulo. 1997.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B.; XAVIER, T. M. S. **Distribuição mensal e sazonal da precipitação no semi-árido nordestino durante os anos de predominância de aquecimento ou de resfriamento observado em toda a Bacia do Atlântico Tropical.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.14, n.1, 1999.

SOUZA, E. B. et al. **On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998.** Acta Amazônica, v.30, n.2, p.305-318. 2000.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. **Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms.** Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v.1. 2003.

SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. **Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season.** Theoretical and Applied Climatology, v.81, p.177-191. 2005.

SOUZA, E. B. et al. **Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o regcm3.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.2, 111-124, 2009

SOUZA, J. R. S.; ROCHA B. R. P.; G. T. Carrera. **“CG-Lightning Observation (and applications) Around Belém During the 1995-1998 Period”**. In: Proceedings of the V International Symposium on Lightning Protection, Vol. 1, pp. 17-21, São Paulo - SP, 1999.

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

UVO, C.B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 1989. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 1989.

UVO, C. R. B. et al. **The relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation**. Journal of Climate, v.11, n.4, p.551-562. 1998.

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Pernambuco, 2006. Versão Digital 2.

VIANELLO, R.L. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991.

WALISER, D. E.; GAUTIER, C. **A satellite-derived climatology of the ITCZ**. Journal of Climate, v.6, n.11, p.2162-2174. 1993.

WANG, K. Y., LIAO, S. A. **“Lightning, radar reflectivity, infrared brightness temperature, and surface rainfall during the 2-4 July 2004 severe convective system over Taiwan area”**, J. Geophysics. Res., Vol. 111, D05206, doi:10.1029/2005JD006411, in press, 2006 (SCI).

WILLIAMS, E. R. **The tripole structure of thunderstorms**. Journal of Geophysical Research, v. 94, n. D11, p. 13151-13167, Sept. 1989.

