



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA

Trabalho de Conclusão de Curso

Amanda Souza Campos

**ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E ESTIMADA POR RADAR
METEOROLÓGICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Nº 301

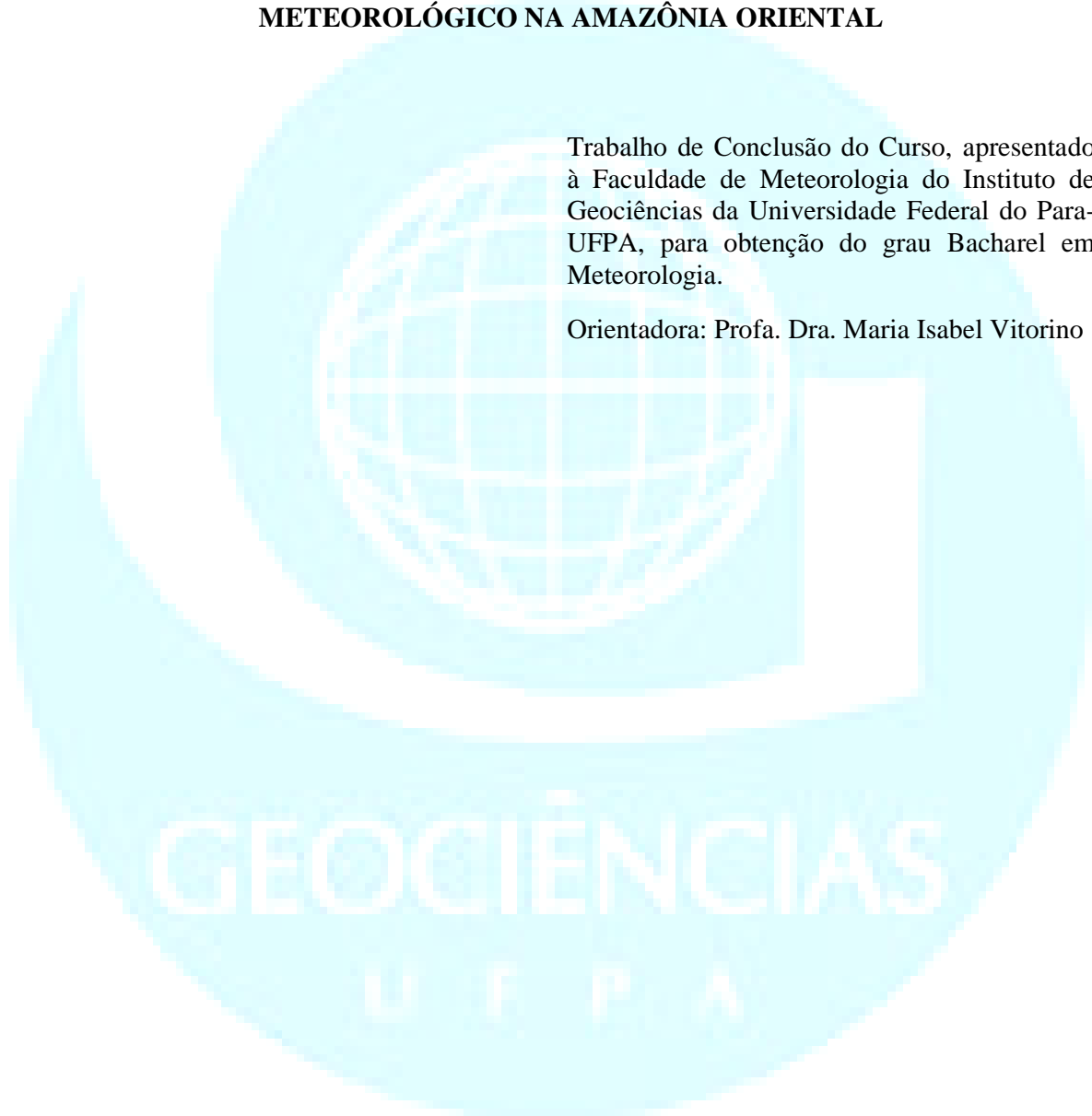
**BELÉM-PA
JANEIRO – 2012**

AMANDA SOUZA CAMPOS

**ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E ESTIMADA POR RADAR
METEOROLÓGICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

Orientadora: Profa. Dra. Maria Isabel Vitorino



BELÉM – PA

JANEIRO – 2012

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

C198a Campos, Amanda Souza

Análise da precipitação pluviométrica e estimada por radar meteorológico na Amazônia Oriental / Amanda Souza Campos; Orientadora: Maria Isabel Vitorino – 2012

46 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Meteorologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2012.

1. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. 2. Radar meteorológico. 3. Pluviômetro 4. Amazônia Oriental. I. Vitorino, Maria Isabel, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22 ed.: 551.57709811

AMANDA SOUZA CAMPOS

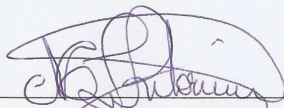
**ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E ESTIMADA POR
RADAR METEOROLÓGICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

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

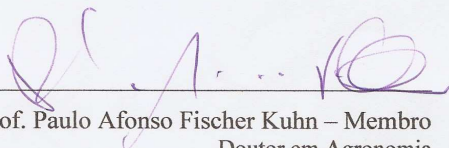
Conceito: EXCELENTE

DATA DE APROVAÇÃO: 05/03/2012

Banca Examinadora:



Prof. Maria Isabel Vitorino – Orientadora
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Paulo Afonso Fischer Kuhn – Membro
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará



Prof. Hernani José Brazão Rodrigues – Membro e Diretor da Faculdade
Doutor em Agrometeorologia
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu Deus por ter me dado a vida, a capacidade e a oportunidade de estudar e absorver todo o conhecimento possível que me foi passado durante essa caminhada de estudante que vai desde as séries iniciais até o último e mais altos nível intelectual que alcancei durante esses quatro anos de graduação.

Agradeço aos meus pais Gregório Campos e Nilza Campos, que incansavelmente, lutaram pelo meu sustento e sucesso na UFPA, me acompanhando, incentivando, aconselhando, apoiando em todos os momentos e ensinando-me os verdadeiros valores morais e legais da vida.

A minha irmã Gisely Campos, que por muitas madrugadas por telefone, dava-me palavras de ânimo, dividindo os momentos de alegrias, de conquistas e momentos de tristeza, dizia-me para nunca desistir de meus objetivos, pois para vencer os obstáculos que iriam surgir pelo caminho, a única sugestão é lutar e nunca desistir da batalha, e de ombros dados lutamos para conquistar os objetivos. Agradeço a minha tia Elizabete Santos e seu esposo Allan Patrick, por me estenderem a mão quando mais precisei, para a conclusão deste trabalho.

Sou grata aos meus professores que foram verdadeiros mestres do ensino, e em especial aos meus pais na ciência, a professora doutora Maria Isabel Vitorino e professor doutor Adriano Marlinson Leão de Sousa, por seus ensinamentos e dedicação, pois são exemplos a serem seguidos, que acreditaram em minha capacidade e dando-me a oportunidade de trabalhar ao seu lado, ao professor doutor Paulo Afonso Fischer Kuhn que sempre esteve disponível em ajudar-me e esclarecer as dúvidas e questionamentos sobre os complicados softwares e scripts.

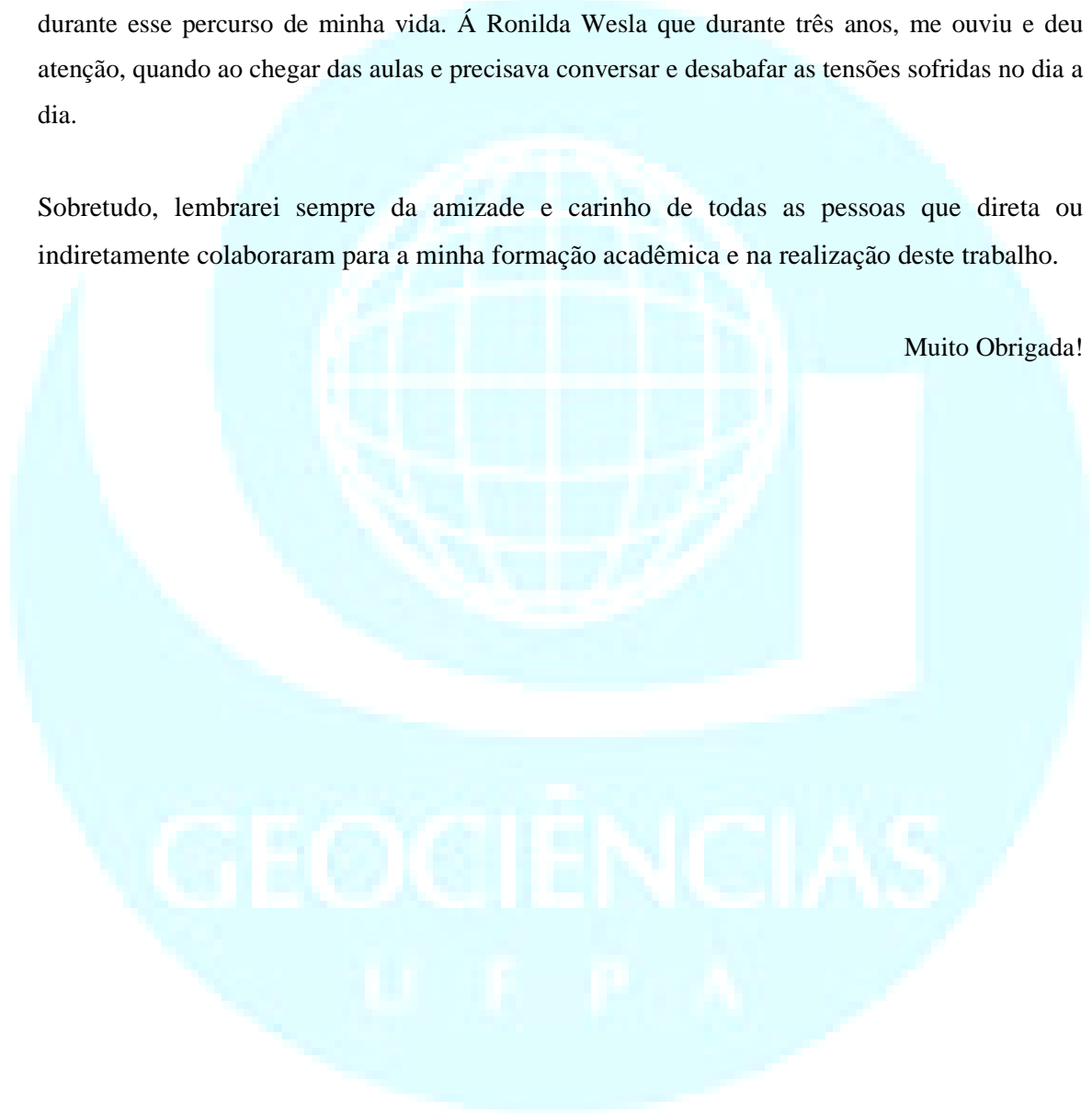
Aos amigos e colegas que fiz durante esse tempo que passei na UFPA, e a minha turma de 2008: Frank, Irene, Luciana, Thaian e Welde, onde dividíamos as tensões antes das provas e seminários, os momentos de trabalho duro e de descontração durante as viagens de campo e até mesmo as brigas. Agradeço aos meteorologistas Giordani Rafael que me socorria sempre que tinha dúvidas e dificuldades nas disciplinas do curso e ao Maurício Moura por me auxiliar no levantamento de alguns dados deste estudo.

Em especial agradeço ao meu namorado Frank Baima pelos 1460 dias de amizade em que esteve ao meu lado, sempre juntos estudando na biblioteca, mesma equipe de trabalho nas viagens de campo, em momentos de descontração e nos desafios apresentados durante o curso, sempre vinha com sua frase de incentivo “É! Guerra é Guerra, mas vai dá tudo certo!”.

Agradeço ainda ao casal Oséias Monteiro e Keylla da Costa e suas três filhas que me acolheram durante esse percurso de minha vida. À Ronilda Wesla que durante três anos, me ouviu e deu atenção, quando ao chegar das aulas e precisava conversar e desabafar as tensões sofridas no dia a dia.

Sobretudo, lembrarei sempre da amizade e carinho de todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a minha formação acadêmica e na realização deste trabalho.

Muito Obrigada!





Teu é o dia; tua, também, à noite; a luz e o sol, tu os formaste. Fixaste os confins da terra; verão e inverno, tu os fizeste. Pões nas águas o vigamento da tua morada, tomas as nuvens por teu carro e voas nas asas do vento.

(Salmos 74:16,17;104:3)

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar e caracterizar a variabilidade mensal e diária da precipitação observada por pluviômetros e estimada através de radar meteorológico na Amazônia Oriental, durante os meses de fevereiro e julho, para área de cidade e floresta, pois essas áreas possuem paisagens contrastantes, respondendo de forma diferente no quantitativo de precipitação, tanto para o período chuvoso, quanto para o menos chuvoso, independente do sistema meteorológico atuante. Desse modo, a avaliação do quantitativo de precipitação mensal, foi realizada através da utilização da normal climatológica do INMET para as áreas de cidade e do IBAMA para área de floresta em comparação com o acumulado mensal, onde as áreas urbanizadas apresentam maior quantitativo de chuva com relação à área de floresta, tanto para o período chuvoso quanto para o período menos chuvoso. Em análise do acumulado diário de precipitação, foram selecionados eventos de chuvas intensas, onde foram analisados parâmetros meteorológicos em combinação com a refletividade do radar meteorológico, onde esta refletividade foi tratada e visualizada através do software TITAN e convertida em milímetros através da relação Marshall e Palmer (1948), onde as informações fornecidas pelo radar meteorológico são coniventes ao dado coletado pelos pluviômetros.

Palavras-chave: Precipitação (Meteorologia) – Amazônia. Radar meteorológico. Pluviômetro. Amazônia Oriental.

GEOCIÊNCIAS
UFPA

ABSTRACT

This study aimed to analyze and characterize the variability of monthly and daily rainfall observed by rain gauges and weather radar estimated from the eastern Amazon, during the months of February and July, for city and area of forest, because these areas have contrasting landscapes, responding differently in quantitative precipitation for both the rainy season, and for the dry season, regardless of the weather system active. Thus, the quantitative evaluation of the monthly precipitation was performed by using the climatological normal INMET to areas of the city and IBAMA for forest area compared to the monthly cumulative, where urban areas have a higher quantity of rain relation to forest area, both for the rainy season and dry season for the period. In analyzing the accumulated daily precipitation events were selected for heavy rains, which analyzed meteorological parameters in combination with weather radar reflectivity, where the reflectivity was treated and viewed through the TITAN software and converted into millimeters by Marshall and Palmer relationship (1948), where the information given by weather radar data collected to collude by rain gauges.

Key-word: Precipitation (Meteorology) – Amazon. meteorological radar. rain-gauge. Amazon region

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Condições normais oceano atmosfera.....	16
Figura 2 -	Condições de El Niño.....	16
Figura 3 -	Condições de La Niña.....	17
Figura 4 -	Esquematisação espacial da OMJ, (a) cenário desfavorável a atividade convectiva sobre a região norte, (b) cenário favorável a atividade convectiva sobre a região norte.....	18
Figura 5 -	Localização da área de estudo.....	22
Figura 6 -	Fluxograma de conversão de dados.....	25
Figura 7 -	Idem Figura 06.....	25
Figura 8 -	Esquematisação do mosaico dos radares de Belém-PA e Macapá-AP.....	26
Figura 9 -	Precipitação mensal para Belém, Macapá e Caxiuanã, durante os meses de fevereiro e julho para (a) 2007, (b) 2008, (c) 2009 e a climatologia para ambas as localidades.....	28
Figura 10 -	Precipitação diária para floresta e cidade, durante fevereiro (a) 2007, (b) 2008 e (c) 2009.....	30
Figura 11 -	Precipitação diária para floresta e cidade, durante julho (a) 2007, (b) 2008 e (c) 2009.....	31
Figura 12 -	Imagens de satélite no canal infravermelho (a) 14/02/2009 as 2345 UTC, (b) 24/02/2009 as 2045 UTC.....	35
Figura 13 -	Zoom da imagem de satélite da figura 12a. para a região de Caxiuanã-PA (a) e mosaico dos radares de Belém-PA e Macapá-AP (b) para o dia 14/02/2009.....	36
Figura 14 -	Zoom da imagem de satélite da figura 12b. para a região de Belém-PA (a) e radar meteorológico de Belém (b) para o dia 24/02/2009.....	36
Figura 15 -	Imagens de satélite no canal infravermelho (a) 09/07/2009 as 2345 UTC e (b) 13/07/2009 as 2045 UTC.....	38
Figura 16 -	Zoom da imagem de satélite da figura 15a. para a região de Caxiuanã-PA (esquerda) e mosaico dos radares de Belém-PA e Macapá-AP para o dia 13/07/2009.....	38
Figura 17 -	Zoom da imagem de satélite da figura 15a. para a região de Belém-PA (a) e radares meteorológico de Belém-PA (b) para o dia 09/07/2009.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação de valores refletividade Z (dBz) e precipitação R (mm/h).....	26
Tabela 2 -	Valores de precipitação acumulada diária para os dados precipitação obtidos pelo radar meteorológico (r (dBz), r (mm)) e pelos pluviômetros (p (mm))	33



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste;

ENOS – El Niño Oscilação Sul;

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

LI's – Linhas de Instabilidade;

NASA – National Aeronautics and Space Administration;

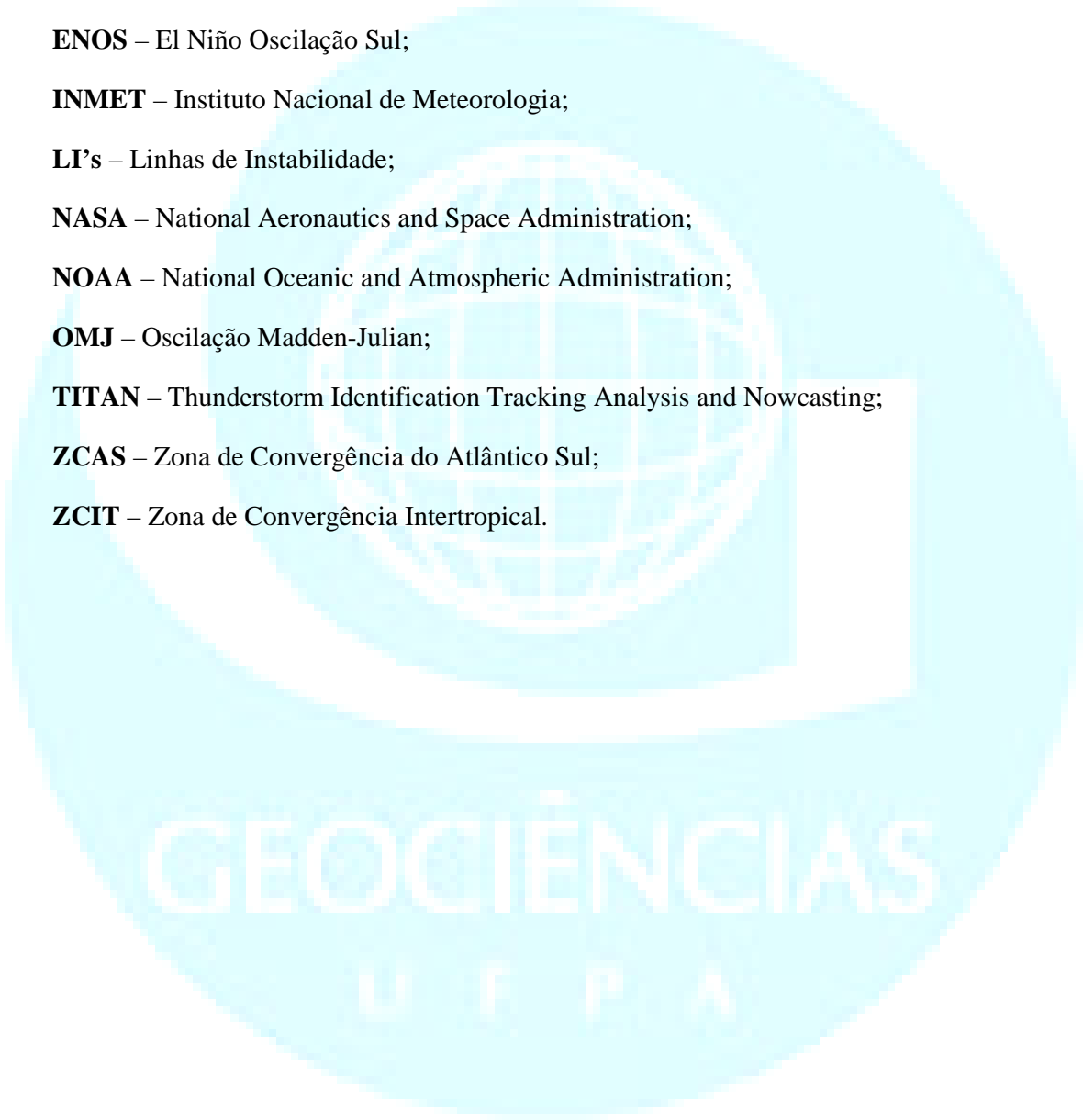
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration;

OMJ – Oscilação Madden-Julian;

TITAN – Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting;

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul;

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical.



GEOCIÊNCIAS
U.F.P.A.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 VARIABILIDADE TROPICAL – INTERANUAL E INTRASAZONAL.....	15
2.2 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO	18
2.3 RADAR METEOROLÓGICO	21
3 DADOS E METODOLOGIA	22
3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	22
3.2 DADOS	23
3.2.1 Sensoriamento remoto	23
3.2.2 Meteorológicos de superfície	24
Estação Meteorológica	24
Torre Micrometeorológica.....	24
3.3 METODOLOGIA	25
3.3.1 Dados de superfície.....	25
3.3.2 Radar meteorológico	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 ANÁLISE GERAL DA PRECIPITAÇÃO	30
4.2 COMPARAÇÃO RADAR METEOROLÓGICO VERSUS PLUVIÔMETRO.....	34
4.3 ANÁLISE DE CASOS: CHUVA INTENSA	37
5 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é um dos principais elementos meteorológicos mais estudados, por ser importante para a determinação e distinção entre os períodos chuvosos e menos chuvosos da região norte do país. Essas chuvas amazônicas ocorrem principalmente no verão do hemisfério sul, sendo válido ressaltar que, existem vários sistemas que organizam essa convecção, entre eles deve-se destacar a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Linhas de Instabilidade (LI's) e aglomerados convectivos, onde suas interações tem como resultado a precipitação (COUTINHO, 2001; COHEN et al, 1995; DUNN et al, 1940).

Por ser uma resposta de grandes sistemas, a precipitação da amazônica oriental apresenta uma intensa variação em seu quantitativo, para os dois períodos do ano (chuvoso e menos chuvoso). No contexto, as épocas chuvosas e menos chuvosas apresentam-se de maneiras diferentes, quando se observa o quantitativo da precipitação entre as áreas de floresta e de cidade (OTTO, 1979; FISCH, 2004).

Neste sentido, a variabilidade interanual e intrasazonal associada à ocorrência de El Niño ou La Niña e a Oscilação de Madden-Julian modulam os sistemas meteorológicos atuantes, contribuindo para a diminuição ou aumento deste quantitativo (GRIMM et al., 2000; ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; SOUZA; AMBRIZZI, 2006).

Apesar das chuvas amazônicas serem marcadas pela sua grande potencialidade, existe notável variação temporal entre o quantitativo da precipitação no período chuvoso e menos chuvoso, devido à modificação da paisagem, quanto ao uso inadequado do solo para diferentes fins. Essas modificações de paisagem abrangem desde as práticas de pequenos agricultores à agropecuária comercial, e ao intenso processo de urbanização que a região norte vem sofrendo nos últimos anos, causando impactos na interface solo-atmosfera, quanto ao balanço radiativo, fluxo de calor, albedo, camada de mistura, resultando em significativas alterações no regime pluviométrico.

O resultado desta interação de sistemas gera precipitação de caráter convectivo, o que é bastante comum para a região estudada, porém não há uma rede de pluviômetros homogênea,

dificultando uma avaliação significativa que represente o quantitativo de precipitação. Desse modo, o radar meteorológico torna-se uma das principais ferramentas para este tipo de avaliação, monitorando no tempo e no espaço a partir de um local fixo, a intensidade de precipitação por área (VITORINO, 1994).

A Amazônia Oriental tem importante contribuição para o balanço hídrico devido a sua complexidade convectiva, porém há deficiência em trabalhos voltados para análises desta convecção através de ferramentas de meso escala, neste sentido, a motivação para a realização deste estudo, vem com o intuito de colaborar na ampliação de conhecimentos que envolvam este tipo de ferramenta.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e caracterizar a variabilidade mensal da precipitação observada e estimada, através de radar meteorológico na Amazônia Oriental, durante os meses de fevereiro e julho.

1.1.1 Objetivo específico

- Analisar a precipitação mensal e diária no período chuvoso (fevereiro) e menos chuvoso (julho) para locais de floresta (Caxiuanã-PA) e cidades (Belém-PA e Macapá-AP), a fim de investigar as possíveis diferenças no quantitativo de chuva com relação as mudanças do uso da terra;
- Comparar o quantitativo da precipitação observada e estimada pelo radar meteorológico de Belém para o período chuvoso (fevereiro/09) com o objetivo de verificar a estimativa dos dados de radar;
- Selecionar eventos de precipitação intensa para os períodos chuvosos e menos chuvosos, a partir do pluviômetro e do radar meteorológico, com o intuito de avaliar a precipitação estimada pelo radar.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 VARIABILIDADE TROPICAL – INTERANUAL E INTRASAZONAL

As variações nos padrões atmosféricos, principalmente no escoamento em baixos níveis, influenciam e interferem na umidade do solo e vegetação e, portanto, nas trocas entre a superfície terrestre e a atmosfera (OLIVEIRA, 2005). A 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, as quais se tornam as variáveis climáticas mais importantes da região. (SOUZA, et al., 2009).

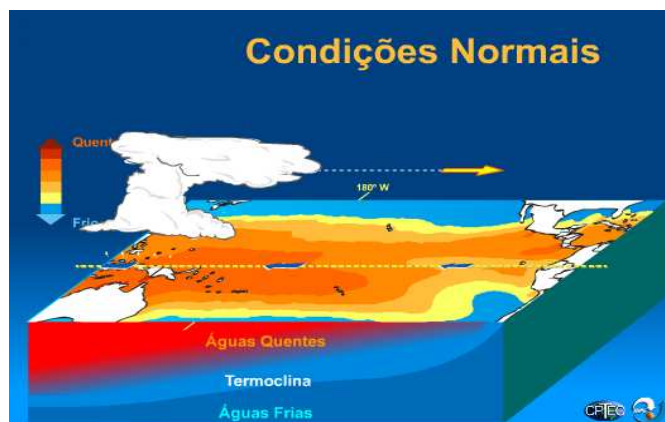
A variabilidade interanual é um dos mais importantes parâmetros climáticos apresentados com uma significativa contribuição quanto ao aspecto de modular a atividade convectiva resultando na variância das chuvas (GRIMM, 2009).

Um dos principais fatores da variabilidade interanual é o fenômeno EL NIÑO - Oscilação Sul (ENOS), sendo uma oscilação acoplada oceano-atmosfera, que produz alterações em vários parâmetros meteorológicos, entre eles a convecção tropical, sendo esta essencialmente controlada - intensificada ou inibida - pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global, resultantes da interação complexa entre a superfície do planeta (SODRÉ, 2010).

Segundo Oliveira (op.cit.), em anos normais figura 01, sem a presença do El Niño ou La Niña, as águas do Oceano Pacífico Equatorial Oeste são mais quentes junto à costa oeste da América do Sul e as águas do Pacífico são um pouco mais frias.

Nessas condições, os ventos alísios sopram para oeste, empurrando a porção quente do oceano Pacífico para a Austrália e Indonésia, acumulando essas águas quentes na região oeste do Pacífico na costa da América do Sul, e as águas mais quentes sobre o setor oeste do Oceano Pacífico Equatorial induzindo uma circulação conhecida por Célula de Walker, com ramo de ar ascendente sobre a Austrália e região da Indonésia fluindo de oeste para leste nos altos níveis da troposfera e ar descendente próximo à costa da América do Sul, causando Ressecamento da porção oeste do continente.

Figura 01-Condições normais oceano-atmosfera.

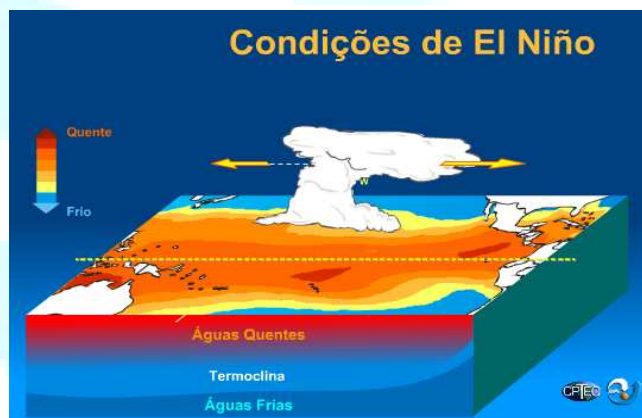


Fonte: CPTEC/INPE (2011)

Segundo Souza (2009), o El Niño figura 02 o aquecimento anômalo das águas oceânicas sobre o Oceano Pacífico tropical, indicado pela presença das anomalias positivas de TSM, onde Oliveira (2005) completa afirmando que esse aquecimento anormal, combinado com o enfraquecimento dos ventos alísios na mesma região, provoca mudanças na circulação da atmosfera.

Estudos realizados por Grimm et al. (1998) mostram que este fenômeno, ocasiona impactos na Amazônia no sentido de diminuição da precipitação, favorecendo secas de diversas intensidades, esses impactos ocorrem durante a estação chuvosa de fevereiro a maio.

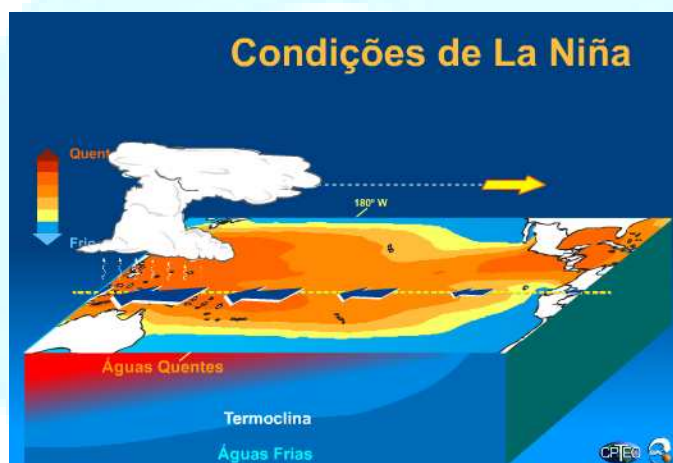
Figura 02 – Condições de El Niño.



Fonte: CPTEC/INPE (op.cit.)

Entretanto, no fenômeno La Niña figura 03, há Tendência de chuvas abundantes no norte e leste da Amazônia, resultando nas vazões dos principais rios da região amazônica. O evento La Niña é o oposto ao El Niño e neste a temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico leste fica mais fria e os ventos alísios são muito mais intensos que o normal, favorecendo a precipitação acima da normal na região norte do nordeste brasileiro e leste da Amazônia (SOUSA, 2004).

Figura 03 – Condições de La Niña



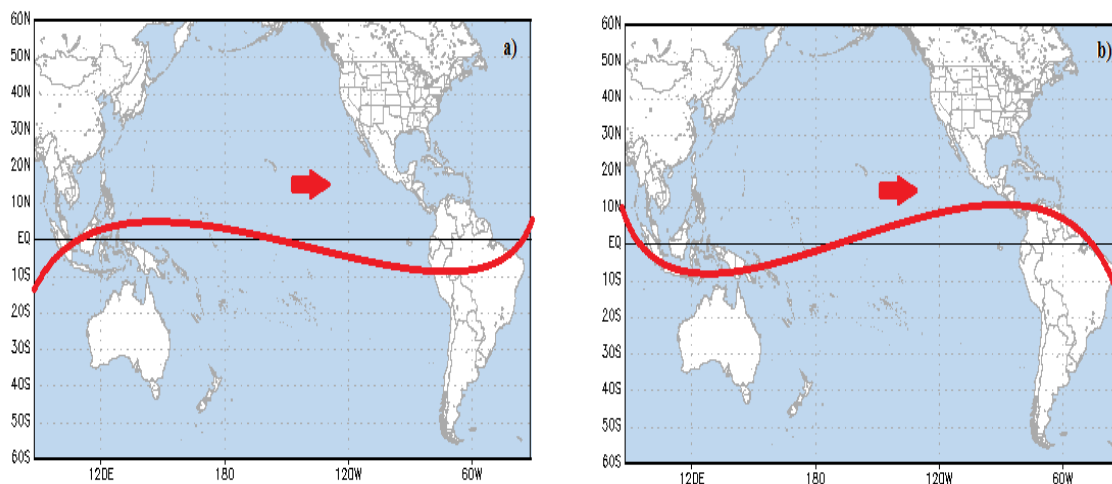
Fonte: CPTEC/INPE(2011)

Além das variações interanuais do fenômeno ENOS, as variações intrasazonais no verão austral são muito importantes, pois interagem com fenômenos de diversas escalas de tempo e espaço. A variabilidade intrasazonal (oscilação Madden-Julian) é um dos principais mecanismos moduladores das zonas de convergência do Hemisfério Sul, em que de acordo com sua fase, intensifica ou inibe a convecção (figura 04a, fase de cavado sobre a região da Indonésia e crista sobre a América do Sul, caracterizando um cenário desfavorável para a atividade sobre o norte continente americano, Figura 04b, fase de crista sobre a região da Indonésia e cavado a América do Sul, caracterizando um cenário favorável para a atividade sobre o norte Brasileiro).

Essas características são mais nítidas na faixa tropical, onde a convecção relativa à OMJ é vista fora de fase entre o Oceano Índico e o Pacífico oeste, assim como entre a região da Indonésia e América do Sul (MUZA ; CARVALHO, 2006).

Weickmann et al. (1985), usando três anos de dados de vento por satélite na região da Indonésia, estudaram as anomalias no campo do vento, onde detectaram o deslocamento para leste de uma parcela convectiva, apresentando oscilações de flutuações da radiação de onda longa com pulsos entre 28 a 72 dias e um ciclo de vida entre 30 a 90 dias, em seu ciclo no cavado há um favorecimento a convecção e em sua crista um desfavorecimento. Boiaski (2007), completa ao afirmar que esta oscilação é uma onda de baixa frequência na atmosfera tropical, que consiste em padrões acoplados entre a circulação atmosférica de grande-escala e a convecção, manifestando-se com uma lenta propagação para leste dos distúrbios atmosféricos sobre os oceanos Índico equatorial e Pacífico oeste/central, onde a instabilidade convectiva pode ser sustentada pela superfície do mar mais aquecida.

Figura 04 – Esquemática espacial da OMJ, (a) cenário desfavorável a atividade convectiva sobre a região norte, (b) cenário favorável a atividade convectiva sobre a região norte.



Fonte: Do autor

2.2 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO

As condições meteorológicas na Amazônia são afetadas por um amplo espectro de fenômenos que variam desde a escala de convecção-cúmulo até as configurações da circulação de escala global. As perturbações transientes podem ser classificadas de acordo com sua escala de tempo, variando na convecção local de microescala que tem um tempo de vida de minutos e algumas horas, até grandes aglomerados de cúmulonimbos de mesoescala, que são

organizados por sistemas troposféricos extratropicais da macroescala e que podem durar até vários dias (MOLION, 1987).

Segundo Waliser (2002) uma das características mais facilmente identificadas na atmosfera tropical é a Zona de Convergência Intertropical, tendo como característica marcante a baixa pressão permanente, confluência dos ventos de superfície, carregados de calor (sensível e latente) e umidade sendo a responsável pelo balanço energético da atmosfera, formação de nebulosidade profunda e importante contribuição para o albedo do planeta. Silva Dias (2006) acrescenta ainda que a ZCIT faz parte da célula de Hadley com ar ascendente nas proximidades do equador e descendentes nas latitudes subtropicais, sendo que este ramo ascendente inclui a convergência em baixos níveis dos ventos alísios de Nordeste do hemisfério norte e de Sudeste do hemisfério sul, provocando uma banda de nebulosidade aproximadamente zonal, com chuvas intensas, e com marcante deslocamento sazonal.

No período seco ou menos chuvoso, há a ocorrência da Alta da Bolívia que induz convergência de ar e conseqüentemente baixa pressão em baixos níveis e divergência de ar e alta pressão nos altos níveis atmosféricos. A variabilidade sazonal da Alta da Bolívia, tanto em intensidade como em posição, está diretamente relacionada com a distribuição espacial e temporal da precipitação (KOUSKY; KAYANO, 1981). Quando a Alta se enfraquece e se move para o norte no inverno, os setores sul e leste da Amazônia experimentam sua estação seca, por volta de outubro, quando a Alta começa a se mover de volta para sua posição média de verão, a estação seca vai terminando no sentido Brasil central para leste da Amazônia (MOLION, 1987).

Neste período menos chuvoso há ainda ocorrência de sistemas frontais que conseguem se deslocar mais ao norte do país devido ao forte gradiente térmico existente entre pólo e equador, onde segundo Silva Dias (op.cit.), é o período que ocorre o feito mais marcante do sistema frontal na região, quando causam impactos de modo a organizar uma banda de nebulosidade que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sul, no sentido noroeste-sudeste, favorecendo a convergência de umidade em baixos níveis e a formação de nuvens em grandes áreas. Essa banda de nebulosidade que recebe o nome de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), tendo uma rica variabilidade em diferentes escalas de

tempo, podendo influenciar padrões de nebulosidade, atividade convectiva, favorecendo ao aumento ou diminuição de precipitação, quando esta se associa a ondas planetárias.

Na região amazônica há ainda a influência das Linhas de Instabilidade (LI's). Essas linhas são capazes de provocar ascensão do ar quente, causar chuvas e trovoadas e até mesmo tempestades locais severas, com formação frequente no interior do continente, são depressões barométricas formadas principalmente pelo aquecimento diurno, tendo maior ocorrência no verão austral (LEMOS, 2000).

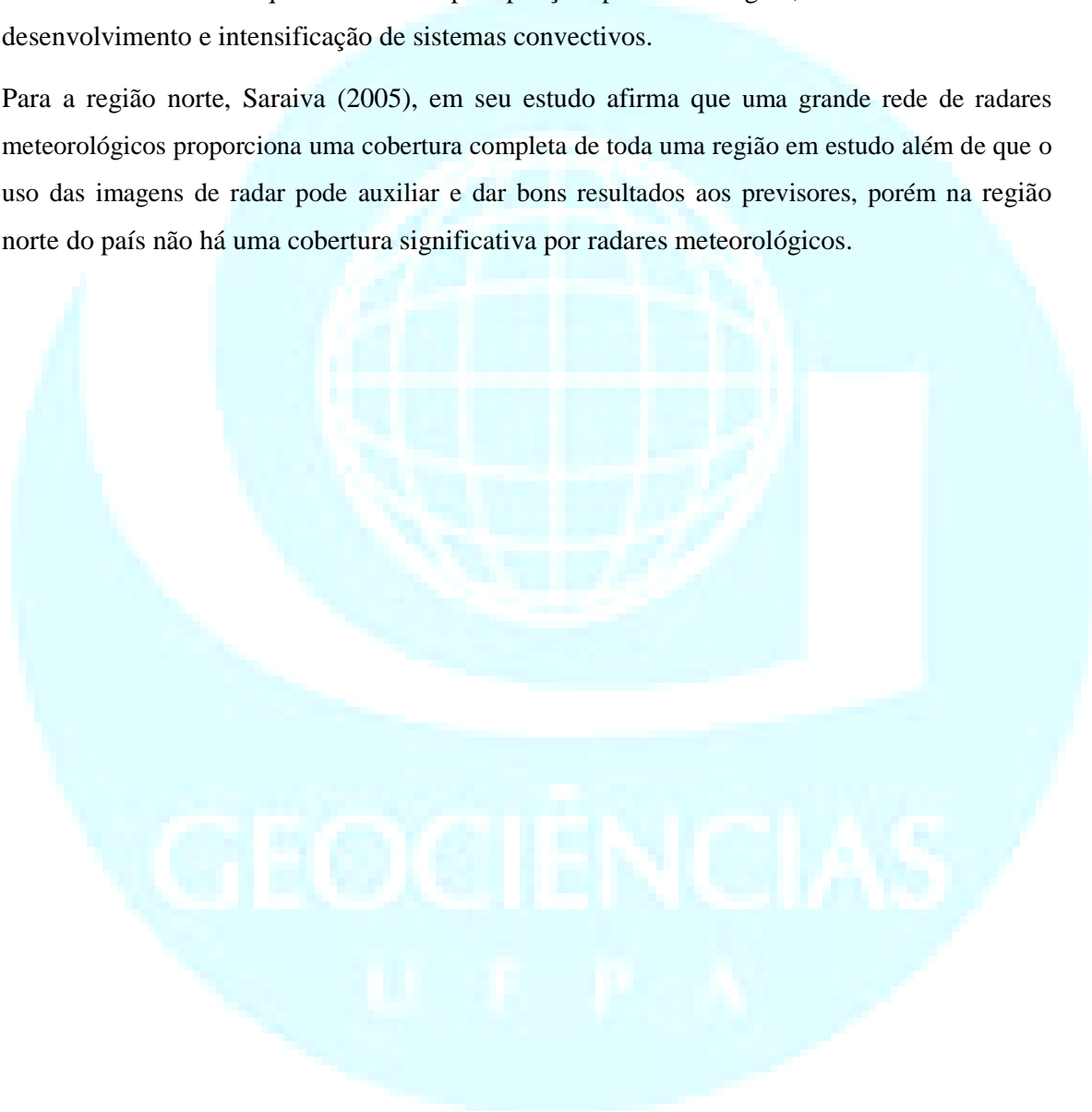
Segundo Cohen (1989) e Cohen et al. (1995), estas LI's constituem um dos sistemas mais importantes no transporte de calor para a alta troposfera, e formam-se ao longo da costa nortenordeste da América do Sul associadas à circulação da brisa marítima e aos ventos alísios, com sua organização forçada pelo Jato de Baixos Níveis associadas à perturbações da baixa troposfera no Atlântico, eventualmente constituídas pelas Ondas de Leste.

As ondas de leste ou Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), estudados por Dunn (1940) e Mota (1997) entre outros autores, são ondas vindas do leste da África associadas ao jato africano de leste, que se propagam desde o oeste africano até o Atlântico tropical, causando tempestades tropicais e até mesmo furacões. Vários estudos mostram que essas ondas ao se propagar para o Nordeste Brasileiro, são responsáveis por modular a convecção causando intensa precipitação, porém existem várias hipóteses de que essas ondas também sejam responsáveis por influenciar a formação e a propagação das linhas de instabilidade no nortenordeste brasileiro, por Barbosa, Oyama e Machado (2006), as linhas de instabilidade ao se formar, são intensificadas por alguma forçante de escala sinótica, tal como o DOL, ZCIT etc, ganham grande extensão horizontal e se propagam Rickenbach (2004), mostrou ainda que essas linhas depois de formadas conseguem chegar à Amazônia Oriental até dois dias após sua origem, e segundo Cohen (1995) seu tempo de vida persiste entorno de 12 a 24 horas, podendo causar grande quantidade de precipitação nesta região.

2.3 RADAR METEOROLÓGICO

Vitorino (1994) e Blanco (1999) analisaram a precipitação para a região sudeste do Brasil relacionando dados de radar meteorológico com parâmetros meteorológicos de superfície, a fim de analisarem o quantitativo de precipitação para esta região, onde se verificou o desenvolvimento e intensificação de sistemas convectivos.

Para a região norte, Saraiva (2005), em seu estudo afirma que uma grande rede de radares meteorológicos proporciona uma cobertura completa de toda uma região em estudo além de que o uso das imagens de radar pode auxiliar e dar bons resultados aos previsores, porém na região norte do país não há uma cobertura significativa por radares meteorológicos.



3 DADOS E METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

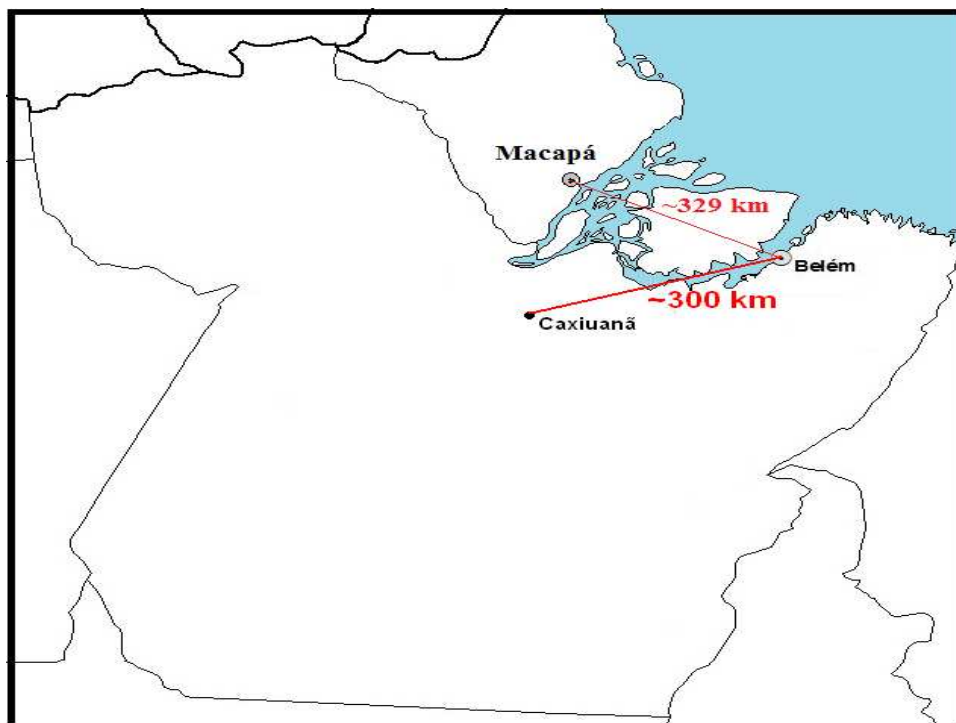
Caxiuanã é uma reserva florestal nacional localizada no estado do Pará com latitude 01° 42' 30"S, longitude 51° 31' 45"W e altitude de 60 m, apresenta baixa densidade demográfica, e excelente estado de conservação, sendo que segundo Moraes et al. (2009), a sua característica mais marcante é a intensa precipitação. No entanto, Belém por ser a capital paraense, apresenta intensa urbanização, com 1 393 399 habitantes, sendo a maior densidade demográfica da região. Está localizada na latitude 01° 27' 21"S, longitude 48° 30' 16"W e altitude 10 m, apresentando uma distância de 300 km de Caxiuanã.

Macapá é um município brasileiro, capital do estado do Amapá, localizada no sudeste do estado, é a única capital estadual que não possui interligação por rodovia a outras capitais. Ademais, é a única cortada pela linha do Equador sendo localizada às margens do Rio Amazonas. Macapá é terceira maior aglomeração urbana do norte, situa-se na latitude 00° 02' 18.84" N, longitude 51° 03' 59.10" W e altitude de 16 a uma distância de 329 km da capital paraense, com uma densidade demográfica de 398 204 habitantes. (IBGE 2010)

Segundo Nechet (1993), Belém apresenta o período chuvoso compreendido entre os meses de dezembro a maio e o período seco de junho a novembro, e segundo Marengo (2009) o litoral do Amapá, na foz do rio Amazonas, onde se situa a cidade de Macapá apresenta o maior total pluviométrico anual da região norte, com período chuvoso compreendido entre os meses de março a maio e o período seco de agosto a setembro, havendo uma defasagem de seis meses entre os períodos chuvosos e menos chuvosos entre a margem direita e esquerda do rio Amazonas.

No entanto, Caxiuanã apresenta período chuvoso de dezembro a junho e curto período seco de agosto a novembro (COSTA et al., 2009) e é classificado com o clima do tipo tropical quente e úmido e subtipo "Am" de acordo com a classificação climática de Köppen. Os detalhes físicos da área de estudo estão ilustrados na figura 05, a seguir.

Figura 05 – Localização da área de estudo



Fonte: Do autor

3.2 DADOS

3.2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

a. Radar Meteorológico

O radar meteorológico de Belém-PA pertencente ao SIPAM localizado na latitude de 1.27S e longitude 48.29W e o radar meteorológico de Macapá-PA pertencente ao SIPAM localizado na latitude de 0.02N e longitude de 51.03W, são dois radares do tipo pulsado doppler, do modelo DWSR 8500S, banda-S, com alcance entre 25 a 400 km e resolução em distância de 125 metros, geram informações referentes a uma área de 240 km de raio a partir do radar com resolução temporal de aproximadamente 10 minutos.

Para este trabalho, utilizaram-se os dados diários do MAXCAPPI de ambos os radares e o mosaico de suas refletividades, a fim de se obter uma interpolação dos volumes de radar representativa à área de estudo.

b. Imagens de Satélite

As imagens do satélite para a América do Sul, em especial para a região amazônica neste estudo, são observações do satélite meteorológico geostacionário GOES-10 no canal do infravermelho com resolução de 4 km, sendo todas estas referentes ao mês de fevereiro e julho de 2009, com o intuito de verificar o tipo de sistema atuante no período estudado.

Este satélite é mantido pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), porém seu desenvolvimento e lançamento são realizados através da NASA (*National Aeronautics and Space Administration's*). O satélite GOES-10 está situado a uma altitude de aproximadamente 35.800 km, fornecendo imagens a cada 15 minutos, tem um dispositivo de cinco canais espectrais sendo um Visível, três canais Infravermelho e um canal de Vapor d'Água.

O conjunto de imagens utilizado neste trabalho é representativo a determinados dias de fevereiro e julho de 2009 as quais foram obtidas através do site CPTEC/INPE.

3.2.2 METEOROLOGICOS DE SUPERFICIE

a. Estação Meteorológica

As informações de precipitação representativas as áreas de cidade são da estação meteorológica de superfície pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situada no município de Belém-PA, operante desde o ano de 2003, localizada na latitude 1.41S e longitude 48.43W com altitude de aproximadamente 24 metros e no município de Macapá, localizada na latitude de 0.02N e longitude de 51.03W

Para este estudo, foram utilizados os dados horários, diários e climatológicos da precipitação referentes aos meses de fevereiro e julho de 2007, 2008 e 2009.

b. Torre Micrometeorológica

Utilizaram-se dados de precipitação coletados a cada meia hora na torre meteorológica de

Caxiuanã pertencente ao experimento LBA (Experimento de grande escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia), situada na latitude 01° 42' 30"S, longitude 51° 31' 45"W e altitude de 60 m tendo 50 metros de altura. Estes dados estão armazenados desde o ano de 2001 até o ano presente, porém devido a problemas técnicos e de ausência de dados será utilizado apenas uma série de dados de 2007 a 2009.

Fez-se necessário ainda a utilização do conjunto de dados climatológicos de precipitação do IBAMA para Caxiuanã, referentes aos meses de fevereiro e julho de 2007 a 2009. Tais meses foram selecionados por apresentar continuidade temporal e representar a estação chuvosa e menos chuvosa, respectivamente.

3.3 METODOLOGIA

Os dados coletados são quantitativos de precipitação no qual em comparação da climatologia para cada área analisada, obtêm-se valores correspondentes a indicadores acima e/ou abaixo da média histórica de cada uma das localidades.

3.3.1 DADOS DE SUPERFICIE

Os dados da estação meteorológica de superfície e da torre micrometeorológica, foram tratados através da planilha eletrônica LibreOffice Calc, sendo que os valores a cada meia hora foram acumulados a fim de se obter a precipitação acumulada diária em seguida os valores diários foram acumulados para a obtenção dos valores mensais de precipitação. Para a análise das chuvas intensas adotou-se o critério de valores acumulados de precipitação ≥ 30 mm para o período chuvoso, e precipitação ≥ 20 mm no período menos chuvoso, para a determinação desses máximos acumulados.

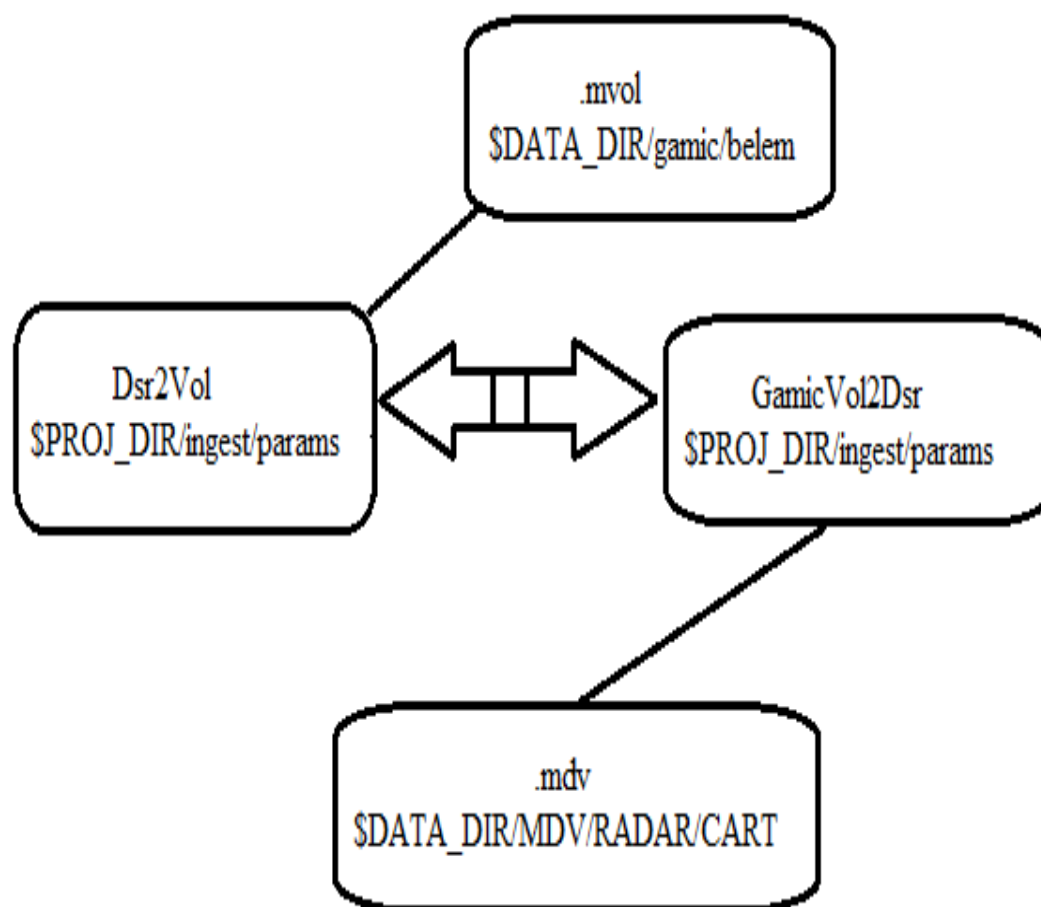
3.3.2 RADAR METEOROLOGICO

Os dados brutos compactados dos radares meteorológicos de Belém e Macapá, representativos para os meses de fevereiro e julho de 2009, foram tratados no laboratório de Sinótica (LABSIN) que é vinculado ao projeto de pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Para isso utilizou-se o software TITAN (Thunderstorm Identification Tracking Analysis and Nowcasting) em que a partir da introdução dos dados brutos de radar com extensão *.mvol* (formato não reconhecido pelo TITAN), este software os transforma em dados tratados com extensão *.mdv* (formato reconhecido pelo TITAN) para identificação das células de tempestades em dados volumétricos de radar, logo após utilizando-se do *CIDD*, as imagens armazenadas em uma média de cada 10 minutos, podem ser visualizadas. Essa transformação ocorre através da aplicação dos programas conversores, como o Dsr2Vol e GamicVol2Dsr.

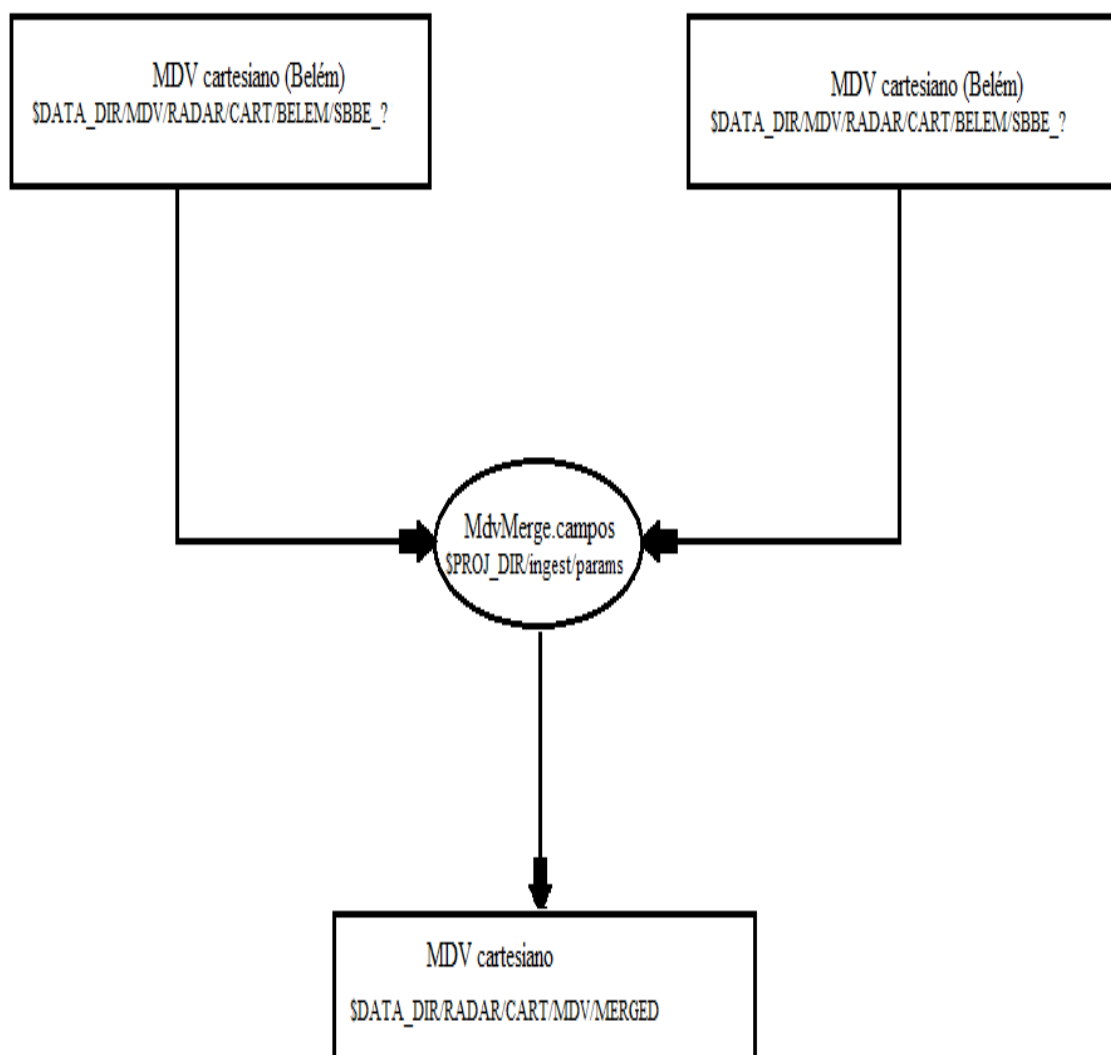
A conversão dos dados dos radares de Belém-PA e Macapá-AP pode ser observada na figura 06 a seguir.

Figura 06 – Fluxograma de conversão de dados.



A partir desses dados descompactados, com a geração de imagens aproximadamente a cada 10 minutos, foi gerado ainda outro produto de refletividade através do software TITAN, sendo este o “MERGING” que consiste em permitir a fusão dos volumes de diferentes radares, combinando-os formando um único mosaico comum, através do programa conversor MdvMerged2 (FIGURA 07).

Figura 07 – Idem Figura 06

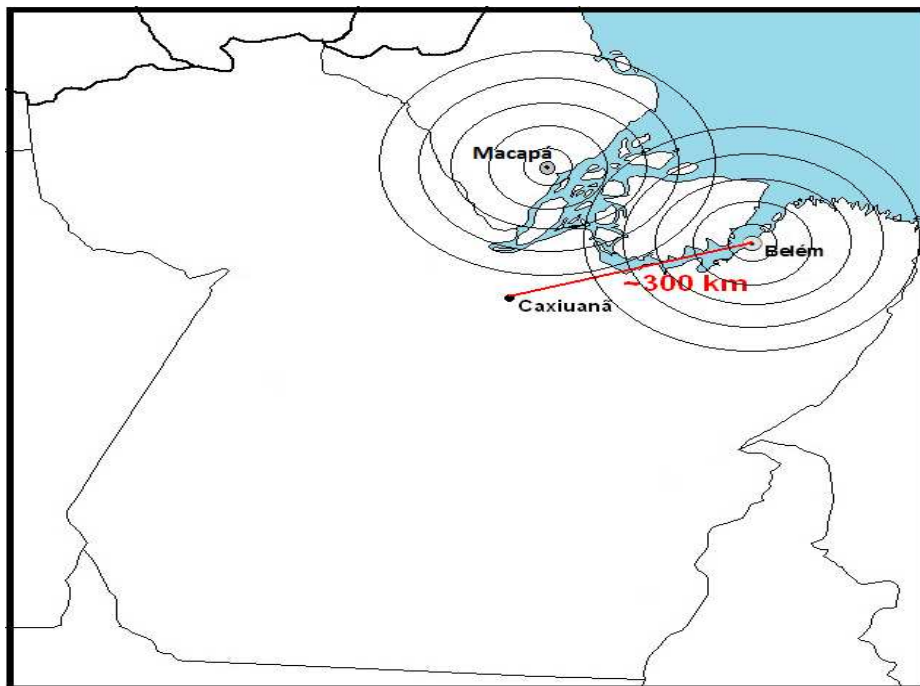


Fonte: Do autor

Depois de realizada as conversões, as imagens foram geradas através do visualizador *CIDD* para a obtenção da refletividade em dBz, observada pelos radares.

O mosaico dos radares de Belém-PA e Macapá-AP pode ser observado na figura 08 abaixo.

Figura 08 – Esquemática do mosaico dos radares de Belém-PA e Macapá-AP.



Fonte: Do autor.

Logo após a visualização e análise dos dados de refletividade correspondentes ao acumulado diário de fevereiro para o radar meteorológico de Belém, os mesmos foram convertidos em unidade de precipitação horária, a partir da relação Z-R de MARSHALL & PALMER (1948), onde Z é a refletividade (dBz) do radar, R a precipitação (mm/h), **a** e **b** são constantes, com valores de 200 e 1,4, respectivamente.

$$Z = a R^b$$

A Tabela 1 mostra alguns exemplos quantitativos de refletividade (Z) e seus equivalentes em precipitação (R) em mm/h.

Tabela 1: Relação de valores refletividade Z (dBz) e precipitação R (mm/h).

	1	2	3	4	5	6
Z (dBz)	25	34	40	42	47	55
R (mm/h)	1,3	5	10	15	30	100

Fonte: Vitorino, 1994.

Após a conversão da refletividade em precipitação horária foi ainda analisado os dados de precipitação acumulada diária pelo pluviômetro da estação meteorológica de Belém. Construiu-se uma tabela com a precipitação diária acumulada dos pontos de observações em superfície e suas precipitações convertidas de dBz para mm. Desta forma, comparou-se a chuva (mm) detectada pelo pluviômetro e pelo radar meteorológico de Belém.

Na análise da precipitação diária (entre pluviômetro e radar) na área do radar meteorológico (≤ 200 km), considerou-se que se a diferença (D) entre o valor da chuva obtida pelo pluviômetro e a do radar para a mesma localidade for entre $10 \leq D \leq -10$ mm foram considerados satisfatórios. Mas, quando a diferença (D) é superestimada, o radar apresenta um limiar ≥ 10 mm, com relação ao pluviômetro, no caso oposto de subestimativa o pluviômetro indica valor ≥ 10 mm com relação ao radar. Assim, foi avaliado todo o mês de fevereiro, com representação em porcentagem do número de dias, com precipitação (mm) satisfatória, superestimada e subestimada.

Este método foi aplicado apenas para o radar meteorológico de Belém para o mês de fevereiro, devido ao curto período de tempo disponibilizado para a análise desfavorecendo assim o estudo da avaliação para os dados do radar de Macapá para os meses de fevereiro e julho e o radar de Belém para julho.

Para esta análise dos dados de refletividade do radar de Belém, foram coletadas informações das estações meteorológicas de Belém, Cametá e Soure, com a finalidade de quantificar e qualificar os volumes gerados pelo radar meteorológico de Belém em comparação aos pluviômetros no em torno.

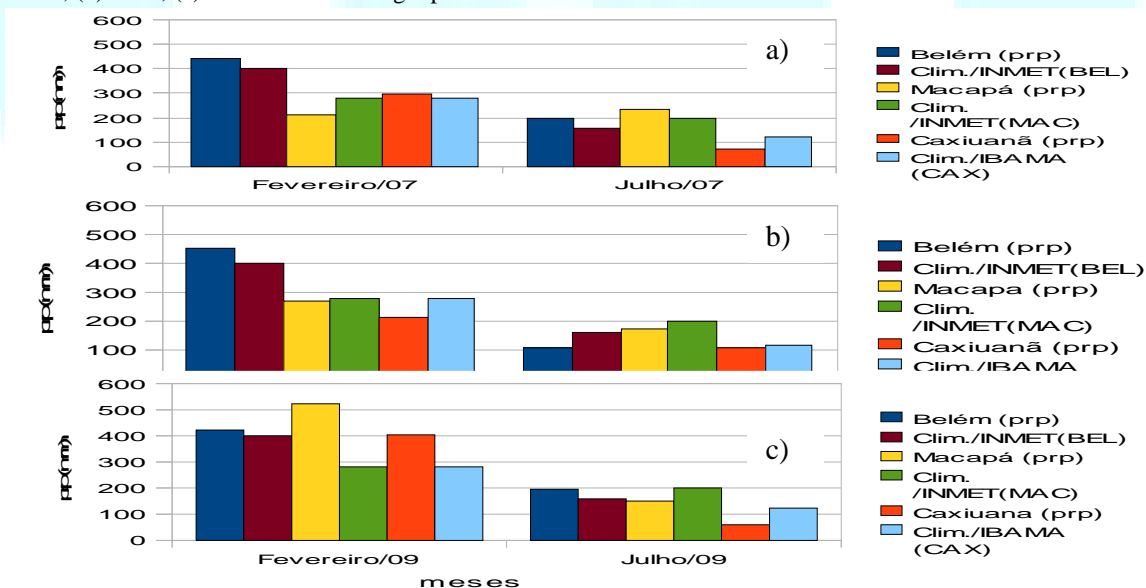
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANALISE GERAL DA PRECIPITAÇÃO

Em análise geral da precipitação, são mostrados valores do acumulado mensal das chuvas para os meses de fevereiro e julho de 2007 a 2009 (Figura 09) para as cidades de Belém e Macapá, e para a floresta de Caxiuanã. Esta por sua vez mostra que a precipitação é maior quantitativamente nas cidades do que na floresta, tanto para o período chuvoso como para o menos chuvoso, entretanto, no ano de 2007 a cidade de Macapá, apresentou este acumulado mensal de fevereiro, muito inferior que o da floresta. Observa-se ainda que entre as duas cidades, há uma alternância no máximo quantitativo de precipitação para os dois períodos.

Ainda com relação ao período chuvoso para os três anos, Belém apresenta pouca variação na quantidade de precipitação, com máxima de 450,8 mm em 2008 e mínima em 2009, com 422 mm e Macapá apresenta grande variação nesse quantitativo, com mínimo de precipitação em 2007 com 209 mm e máximo em 2009 com 522,7 mm. Para a floresta, as maiores chuvas ocorreram em fevereiro, com precipitação de 406 mm em 2009 e mínima em 2008, com 215 mm.

Figura 09: Precipitação mensal para Belém, Macapá e Caxiuanã, durante os meses de fevereiro e julho para (a) 2007, (b) 2008, (c) 2009 e a climatologia para ambas as localidades.



Fonte: Do autor.

No período menos chuvoso, a cidade de Macapá em dois anos consecutivos 2007 e 2008 apresenta máxima quantidade das chuvas com 232,6 mm e 172,6 mm respectivamente e em 2009, Belém apresenta essa máxima quantidade de 193,1 mm. Ainda em relação a este período, Caxiuanã apresenta os menores valores de precipitação da série analisada para os anos de 2007 e 2009 com 74,17 mm e 58,42 mm respectivamente.

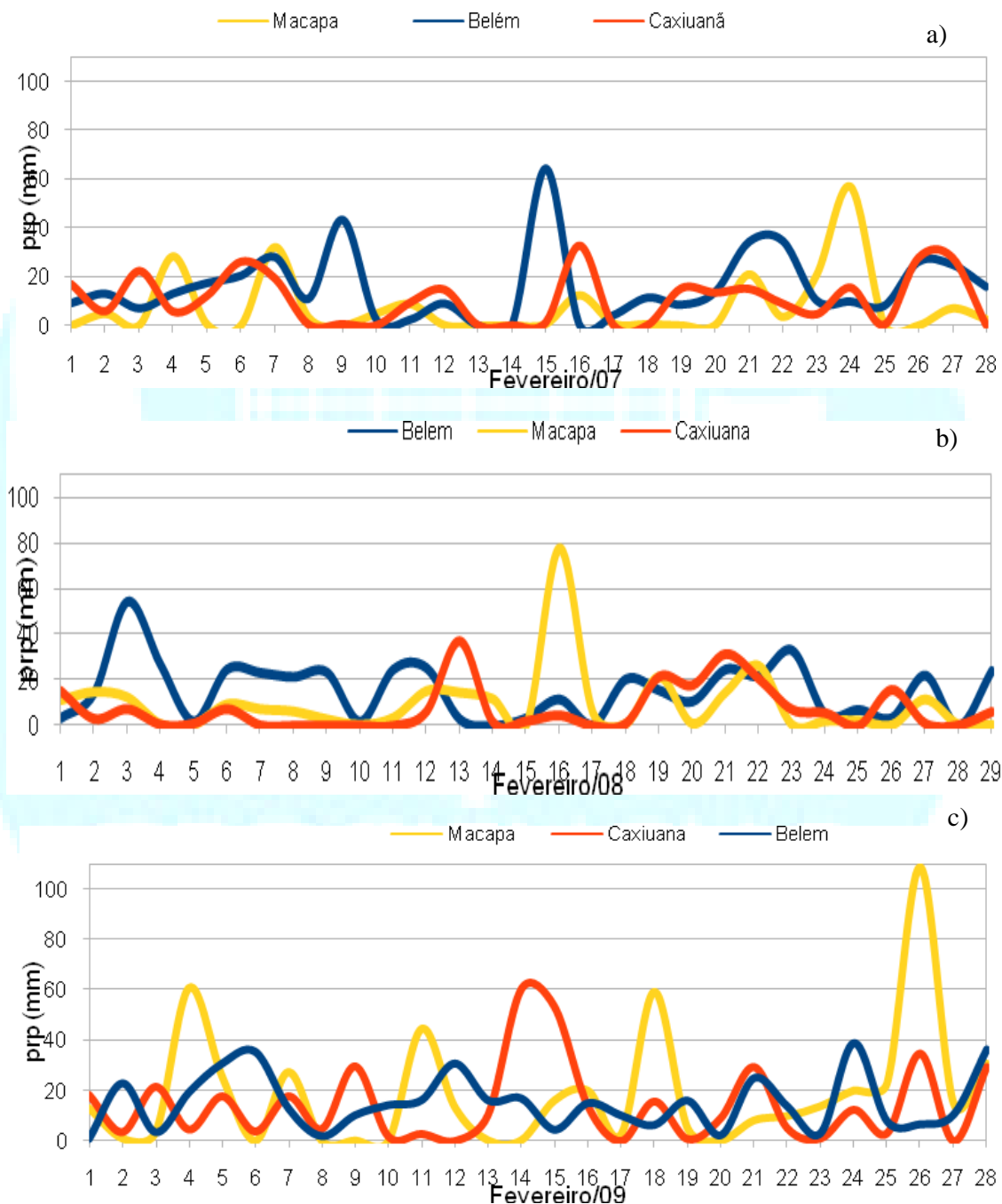
Percebe-se ainda que Belém esteve acima da média climatológica do INMET, para o mês de fevereiro em três anos consecutivos, no entanto para julho houve uma alternância desses valores de acumulado mensal, estando acima da média nos anos de 2007 e 2009 e abaixo em 2008. Para o período chuvoso, a cidade de Macapá esteve acima da climatologia esperada no ano de 2009 e abaixo nos anos de 2007 e 2008, no período menos chuvoso, os anos de 2008 e 2009 apresentaram-se abaixo da média, entretanto o ano de 2007 esteve acima da média, e Caxiuanã esteve acima da média histórica do IBAMA para 2007 e 2009, e abaixo da média para 2008. Vale ressaltar, que durante 2007/2008 ocorreu o fenômeno La Niña contribuindo para o aumento da precipitação no norte do Brasil, Grimm et al (2000), em um estudo analisam a interação deste fenômeno e sua modulação de sistemas sobre a América do Sul, intensificando a atividade convectiva.

Ainda em análise da precipitação acumulada mensal para Macapá, deve-se destacar a fevereiro de 2009, em que as chuvas excederam a normal climatológica em 242,7 mm, este fato é devido à interação da atuação de fenômenos de escala local e grande escala tais como Linhas de Instabilidade, Vórtices Ciclônico de Altos Níveis, Cavados do Nordeste, influência da Zona de Convergência Intertropical e do Cavado Equatorial, presença de Distúrbios Ondulatórios de Leste e episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (CLIMANÁLISE, 2009). Por outro lado, 2006/2007 ocorreu El Niño e em 2008/2009 a variabilidade interanual se mostrou dentro da normalidade. Neste sentido, nota-se que a resposta da precipitação para a cidade foi anormalmente positiva, como é de se esperar, durante o fenômeno La Niña, enquanto que a floresta mostrou anomalia negativa.

A variabilidade da precipitação está associada à atuação de sistemas meteorológicos que intensificam ou inibem as chuvas, na região norte do país, contribuindo para o excesso de chuvas, principalmente em fevereiro. Para o período menos chuvoso, os principais sistemas

atmosféricos mais atuantes foram de escala local, ligados LI's e aglomerados convectivos. Em geral, na figura 10 abaixo, para o período chuvoso observa-se uma diferença de fase entre a precipitação diária nas cidades e na floresta. Além disso, se nota o máximo principal de precipitação para Belém em 2007, Macapá em 2008 e 2009.

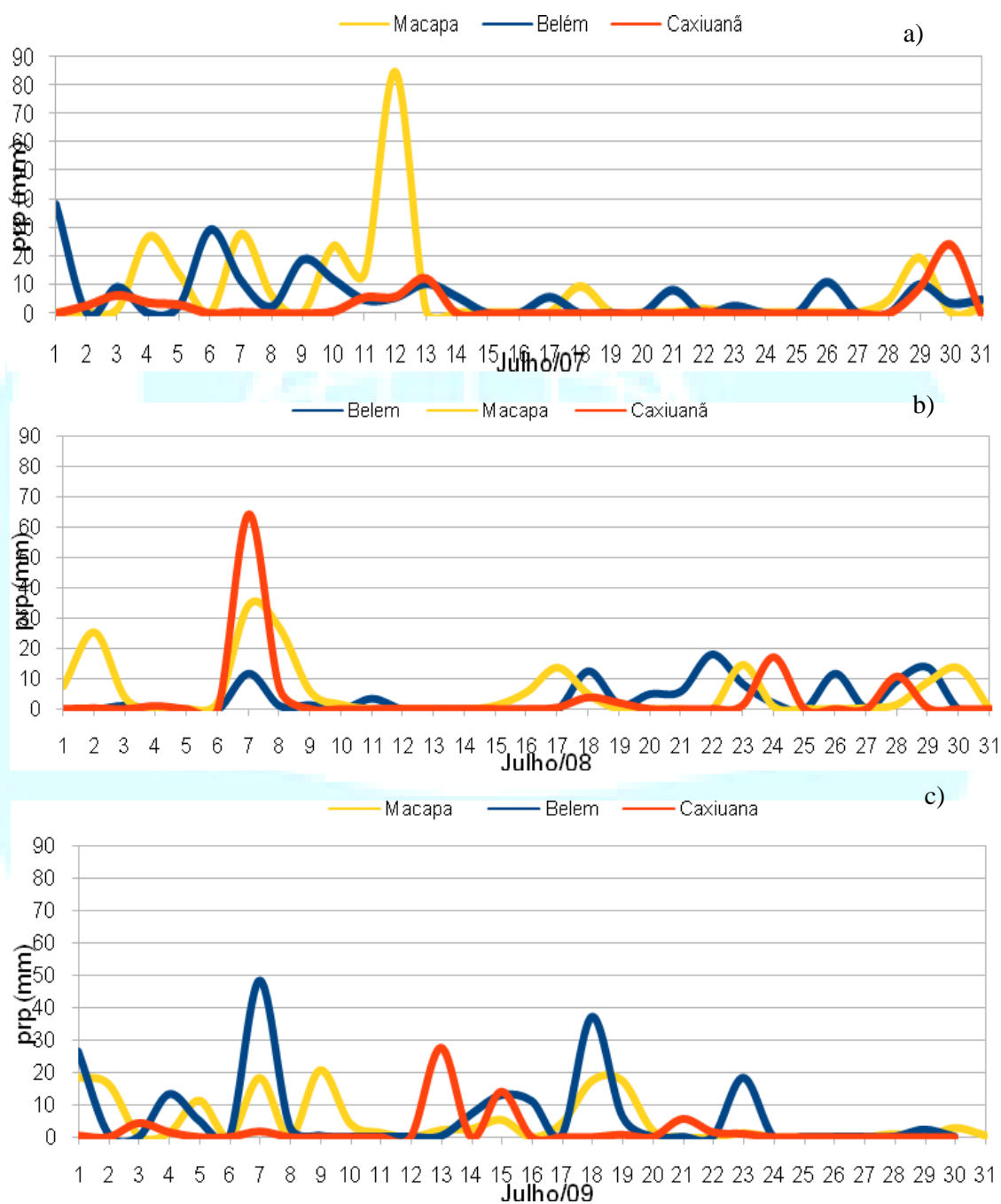
Figura 10: Precipitação diária para floresta e cidade, durante fevereiro (a) 2007, (b) 2008 e (c) 2009.



Fonte: Do autor.

A figura 11 correspondente ao período menos chuvoso, nota-se o máximo principal de precipitação para Macapá em 2007, Caxiuanã em 2008 com valores de 84,4 mm e 64 mm respectivamente, e 2009 para Belém com valor entorno de 48,4 mm.

Figura 11: Precipitação diária para floresta e cidade, durante julho (a) 2007, (b) 2008 e (c) 2009.



Fonte: Do autor.

No entanto, durante os anos extremos, como o El Niño (2007) e a La Niña (2008) a cidade e a floresta respondem de modo diferenciado para o período chuvoso, ou seja, a cidade chove mais do que a floresta. Segundo Fisch et al. (2001) a camada limite convectiva varia sazonalmente sobre áreas de vegetação densa e áreas onde a vegetação foi alterada drasticamente, justificando assim como a precipitação pode variar quantitativamente com a concentração de umidade.

A precipitação diária do período menos chuvoso se mostra com valores acentuados, em alguns dias durante os anos estudados, uma vez que estes estão relacionados com a ocorrência de LI's que se formam na costa e se deslocam continente adentro. Segundo Cohen et al. (1995) as chuvas em Belém são praticamente de origem local, devido aos efeitos causados pela circulação de brisa marítima e lacustre na costa norte do Brasil.

A cidade tem paisagem bastante modificada e continua se modificando a cada dia, devido ao crescimento sócio-econômico. Mas, a área de floresta, a paisagem ainda é primitiva, apresentando pouca ou nenhuma alteração do seu estado inicial ao longo dos anos. Isto contribui para que o balanço de energia e água das diferentes superfícies responda de modo distinto, sob o ponto de vista do clima.

4.2 COMPARAÇÃO RADAR METEOROLÓGICO VERSUS PLUVIÔMETRO

Os resultados aqui apresentados têm a finalidade de quantificar e qualificar a relação entre as precipitações observadas pelo radar meteorológico de Belém e pelos pluviômetros no entorno.

O mês estudado se apresentou com seus sistemas meteorológicos localizados, comuns a área de estudo e combinado com outros sistemas de escala atmosférica maiores. De acordo com a análise feita pelo CPTEC/INPE, durante fevereiro de 2009 dez sistemas frontais agiram sobre o continente. Estes sistemas, ao se deslocarem, atuaram praticamente sobre latitudes mais altas e, sobre o Brasil, favorecendo a chuva, principalmente, no Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina, deslocando-se em seguida para o Atlântico. Os eventos mais significativos de tempo ocorridos no Brasil foram provocados por fatores termodinâmicos, deslocamento de

cavados, ondas frontais subtropicais, atuação de Vórtices Ciclônico de Altos Níveis, Cavados do Nordeste, influência da Zona de Convergência Intertropical e do Cavado Equatorial, presença de Distúrbios Ondulatórios de Leste e episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (CLIMANALISE, 2009).

A Tabela 2 mostra que as linhas de dados de precipitação em vermelho estão incompletas, desta forma não foram utilizadas na contabilidade da comparação entre os dados de chuva obtidos pelo radar e pelo pluviômetro. Entretanto, para os dias restantes, notou-se que apenas 23 dias de Fevereiro de 2009 apresentaram dados de chuva a partir do pluviômetro e do radar para as localidades de Belém, Cametá e Soure. Assim, 35%, 61% e 22% dos dias foram satisfatórios (preto) para a precipitação observada pelo radar meteorológico para Belém, Cametá e Soure, respectivamente. Por outro lado, 52%, 17% e 39% da precipitação foram superestimadas (azul) pelo radar meteorológico e 13%, 22% e 39% foram subestimados (verde), respectivamente.

O radar meteorológico mostra que a precipitação observada em Cametá apresenta 61% de acerto com a do posto pluviômetro, diferente de Belém e Soure que apresentam 35 e 22 %, respectivamente. Isto parece estar relacionado com a estrutura urbana da região de Cametá com relação a cidade de Belém, ou seja, Belém apresenta urbanização com estruturas de prédios elevadas, podendo causar ecos de terrenos, com superestimativas ou subestimativas de precipitação. Enquanto que, Cametá com uma área urbana de construção baixa, pouco deve influenciar no quantitativo da precipitação do radar. No caso de Soure, os resultados indicam que a subestimativa e a superestimativa estão presentes na observação da chuva pelo radar, sugerindo que a proximidade com a lamina de água possa provocar algum tipo de influencia na captura da refletividade do radar meteorológico. Por outro lado, e interessante comentar que estudos com dados de radar na Amazônia ainda e bastante incipiente, sendo este uma análise objetiva da qualidade dos dados do radar meteorológico de Belém.

Tabela 2. Valores de precipitação acumulada diária para os dados precipitação obtidos pelo radar meteorológico (r (dBz), r (mm)) e pelos pluviômetros (p (mm)).

Dia/Mês/Ano	Belém			Cametá			Soure		
	mm (p)	dbz (r)	mm (r)	mm (p)	dbz (r)	mm (r)	mm (p)	dbz (r)	Mm (r)
01/02/09	22,7	42	22,7	11,5	0	0	41,2	52	118
02/02/09	3,2	30	3,2	5,6	0	0	22,4	48	61
03/02/09	19,1	-	-	7	-	-	15,2	-	-
04/02/09	30,6	51	99,8	3	36	8,5	14,8	42	22,7
05/02/09	35,3	51	99,8	0,3	30	3,2	0	0	0
06/02/09	12,6	20	0,6	2,5	0	0	3,3	36	8,5
07/02/09	1,6	42	22,7	0,3	0	0	0	0	0
08/02/09	10	50	84,7	0	0	0	0	0	0
09/02/09	14	25	1,4	39,2	39	13,9	4,8	42	22,7
10/02/09	16	51	99,8	0,9	39	13,9	10	42	22,7
11/02/09	30,6	51	99,8	10	0	0	3,9	48	61
12/02/09	15,9	35	7,2	16,6	48	61	0	42	22,7
13/02/09	16,7	45	37,2	7,7	39	13,9	33,4	35	7,2
14/02/09	4,2	42	22,7	0,3	0	0	13,9	33	5,2
15/02/09	14,8	51	99,8	86,2	36	8,9	52,8	39	14,0
16/02/09	9,9	25	1,4	2,6	0	0	9,6	36	8,5
17/02/09	6,1	30	3,2	2,5	0	0	6	0	0
18/02/09	15,8	20	0,6	10,4	0	0	17,4	25	1,4
19/02/09	2	7	0,1	1,8	0	0	13,3	42	22,7
20/02/09	24,8	20	0,6	6,9	0	0	130,6	51	99,8
21/02/09	13,5	-	-	0,1	-	-	75,5	-	-
22/02/09	2,8	36	8,5	5,6	0	0	43,7	35	7,2
23/02/09	38,8	45	37,2	46,4	35	7,2	28,9	39	14,0
24/02/09	7,6	39	13,9	0	0	0	3,8	45	37,0
25/02/09	6,4	30	3,2	6,6	0	0	19,1	0	0
26/02/09	10,2	0	0	10,2	0	0	30,8	0	0
27/02/09	36,2	48	61	29,2	36	8,5	31	25	1,4
28/02/09	13	51	99,8	0,1	49	72	75,5	30	3,4

Fonte: Do autor.

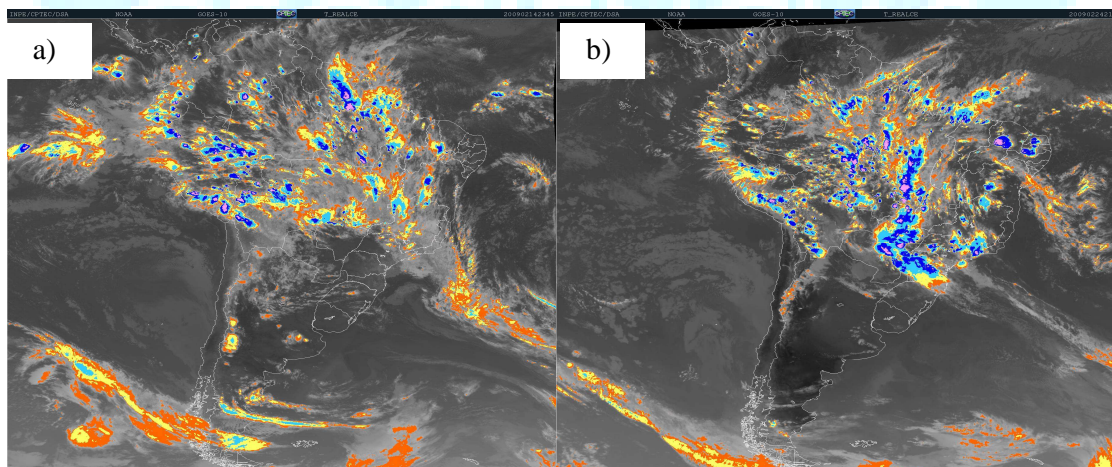
4.3 ANÁLISE DE CASOS: CHUVA INTENSA

Os casos analisados foram específicos para os dias 14/02/2009 e 24/02/2009, para o período chuvoso e 09/07/2009 e 13/07/2009 para o período menos chuvoso, utilizando-se dos produtos de radar e imagens de satélite para melhor visualização da atuação dos sistemas meteorológicos referentes aos dias selecionados.

a) Período chuvoso

Na análise para o dia 14/02/2009, (FIGURA 12a) a imagem de satélite das 23:45 UTC, mostra nebulosidade sobre o norte do Brasil e oceano Atlântico equatorial, o qual compreende a região em estudo. Esta atividade convectiva foi intensificada devido à presença da ZCIT que é o principal modulador das precipitações da região, a presença de VCAN's sobre o nordeste, onde o ramo ascendente a noroeste deste vórtice favorece a atividade convectiva no norte do país, e acoplamento a um sistema frontal atuante no sentido noroeste-sudeste sobre o Brasil, formando o padrão “Y”, tornando propício a maior instabilidade e assim a intensificação da nebulosidade na faixa norte da região norte e nordeste do PA e AP. A configuração deste padrão permanece até o dia 24/02/2009 (FIGURA 12b), onde pode ser observado em análise através da imagem de satélite no canal do infravermelho para as 20:45 UTC, bastante nebulosidade associada a atividade convectiva. A interação destes sistemas contribuiu para que ocorresse acumulado significativo de chuva ao longo do mês de fevereiro entre o Amapá, norte e nordeste do Pará, e Maranhão

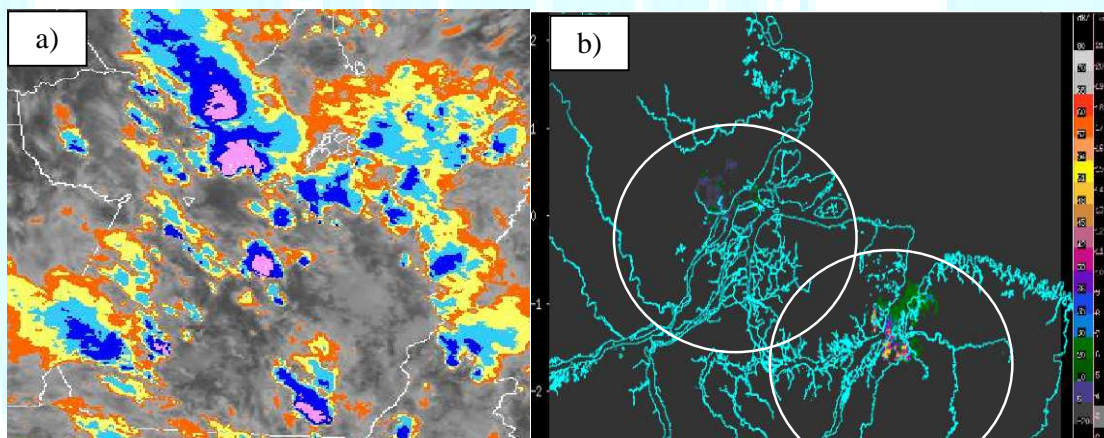
Figura 12. Imagens de satélite no canal infravermelho (a) 14/02/2009 as 2345 UTC, (b) 24/02/2009 as 2045 UTC.



Fonte: DSA/CPTEC.

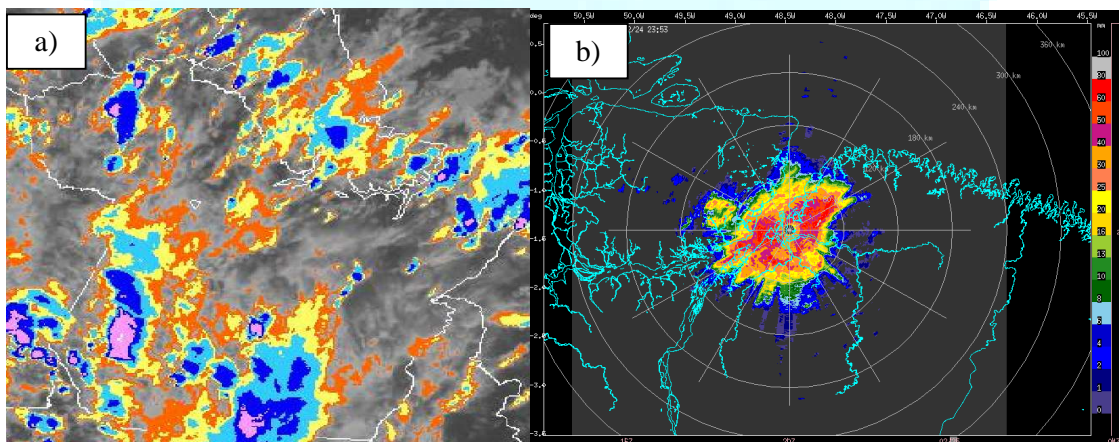
Em uma análise mais detalhada, apenas sobre o estado do Pará para o dia 14/02 (Figura 13a), observa-se forte nebulosidade e uma concentração de nuvens baixas principalmente sobre a região mais a norte/nordeste do estado, onde se deve destacar a região da floresta de Caxiuanã-PA, uma vez que a intensa atividade convectiva associada com a instabilidade atmosférica resultou em um acumulado de precipitação diária em 60,46 mm, o que foi representado pelo radar meteorológico (Figura 13b). Para o dia 24/02 (Figura 14a), há bastante atividade convectiva e nebulosidade devido ao posicionamento favorável dos sistemas atuantes neste período. Através dos dados de pluviômetro para este dia, encontramos os maiores valores de precipitação acumulada para Belém, no mês de fevereiro com 38,8 mm, e o radar meteorológico de Belém (Figura 14b) detectou este acumulado em torno dos 40 mm, podemos associar a intensa nebulosidade à atuação da ZCIT estando posicionada mais ao sul de sua climatologia em torno de 5°N e 3°S, com seu ramo, associada ao cavado equatorial e as interações de escala local.

Figura 13 – Zoom da imagem de satélite da figura 12a. para a região de Caxiuanã-PA (a) e mosaico dos radares de Belém-PA e Macapa-AP (b) para o dia 14/02/2009.



Fonte: DSA/CPTEC ; Do autor.

Figura 14 – Zoom da imagem de satélite da figura 12b. para a região de Belém-PA (a) e radar meteorológico de Belém (b) para o dia 24/02/2009.



Fonte: DSA/CPTEC; Do autor.

O mês de fevereiro choveu acima da média histórica na maior parte da região norte, em especial no extremo norte do Amapá e Pará. O ano de 2009 para o primeiro semestre apresentou-se dentro das condições normais do ciclo de ENOS, mesmo assim houve a ocorrência de chuvas mais acentuadas, destacando-se os acumulados diários de precipitação registrados nas cidades de Belém (38,8 mm no dia 24), e na floresta de Caxiuanã (60,46 mm no dia 14), essa convecção na região norte foi fortalecida, pois a OMJ estava na fase de cavado sobre a América do Sul favorecendo as anomalias positivas de TSM e consequentemente a convecção ativa para este período analisado.

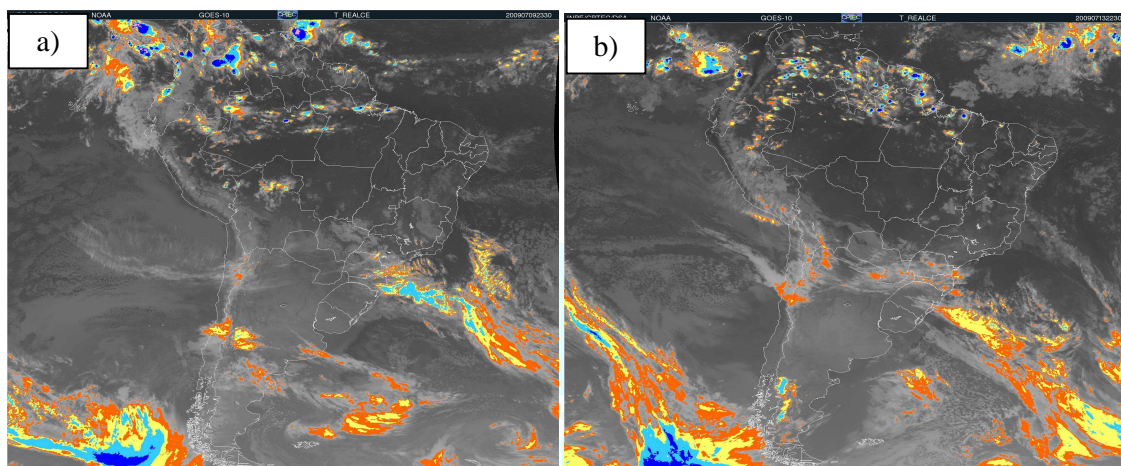
b) Período menos chuvoso

Durante julho de 2009, a atuação de sete sistemas frontais, associada ao escoamento na média e alta troposfera e corrente de jato subtropical, contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da climatologia em várias regiões do Brasil, as chuvas mais acentuadas concentraram-se no extremo norte da região norte, porém o norte do Pará apresentou-se com pouca quantidade de precipitação, em parte associada à atuação preferencial da ZCIT ao norte de sua posição climatológica. As chuvas ocorreram abaixo da média no Acre e acima da média em Rondônia e no norte do Amapá (CLIMANÁLISE, 2009).

De acordo com análises feitas pelo CPTEC/INPE, durante o mês de julho, houve uma bifurcação do jato subtropical sobre a Argentina, quando este passava sobre a América do Sul, posicionando-se ao sul do Uruguai, houve ainda a ocorrência de VCAN no qual intensificou o centro de baixa pressão à superfície dando origem a sistemas frontais. As linhas de cumulonimbus estiveram atuando essencialmente sobre a costa norte do Pará, no qual favoreceram a ocorrência de poucas chuvas entre o Amapá e Pará.

Na análise das imagens de satélite no canal do infravermelho para 23:45 UTC dos dias 09/07/2009 e 13/07/2009 (Figura 15 a e b) observa-se uma massa de ar seco sobre a região central da América do Sul reduzindo a atividade convectiva, porém sobre o norte do Brasil e oceano Atlântico equatorial adjacente nota-se nebulosidade associado ao ramo secundário da ZCIT e sobre o sul do continente, a atividade convectiva está associada a subida de sistemas frontais que favoreceram essa convecção nesta área.

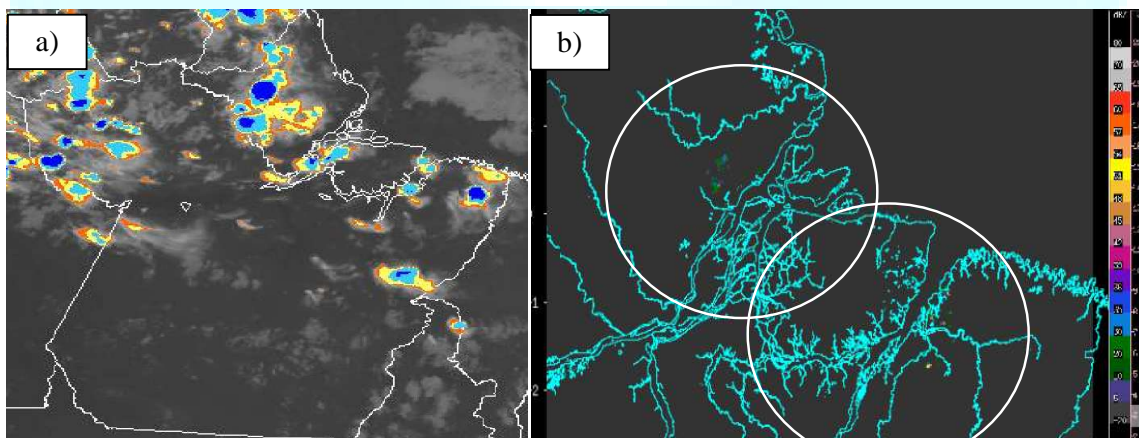
Figura 15 - Imagens de satélite no canal infravermelho (a) 09/07/2009 as 2345 UTC e (b) 13/07/2009 as 2045 UTC



Fonte: DSA/CPTEC

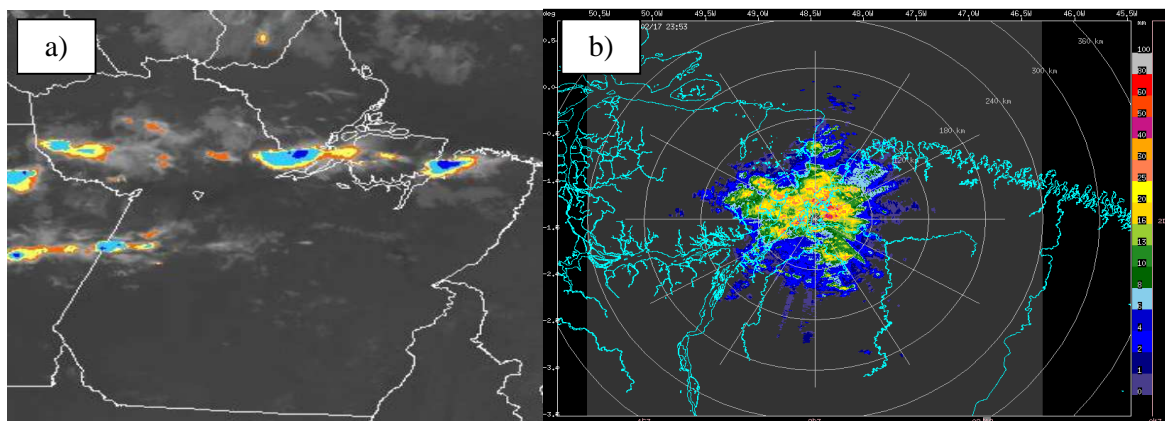
Neste sentido, em uma análise mais detalhada sobre o estado do Pará para o dia 13/07 (Figura 16a), podemos associar a nebulosidade destes dias sobre a região norte, à atuação do ramo secundário da ZCIT no qual oscilou em torno de 5°N e 10°N (CLIMANÁLISE, 2009), influenciando as interações de escala local, tal como o sistema de brisas locais que originam as LI's, no qual resultou em valores de acumulado diário de precipitação pluviométrica em 27, 43 mm para Caxiuanã no dia 13/07 onde pode ser observada através do mosaico do radar meteorológico, a refletividade que representa a nebulosidade das áreas próximas a floresta e 37,2 mm para Belém no dia 09/07, onde o radar meteorológico (Figura 17b) registrou este acumulado em torno dos 40 mm.

Figura 16 Zoom da imagem de satélite da figura 15a. para a região de Caxiuanã-PA (esquerda) e mosaico dos radares de Belém-PA e Macapa-AP para o dia 13/07/2009.



Fonte: DSA/CPTEC; Do autor.

Figura 17 - Zoom da imagem de satélite da figura 15a. para a região de Belém-PA (a) e radares meteorológico de Belém-PA (b) para o dia 09/07/2009.



Fonte: DSA/CPTEC; Do autor

No mês de julho, a OMJ para os referidos dias, esteve em fase desfavorável à atividade convectiva, combinado com a fase de El Niño para o segundo semestre de 2009, embora este padrão de ENOS ainda não tenha se estabelecido totalmente para este período. No entanto as chuvas mais acentuadas concentraram-se no extremo norte da região devido ao posicionamento da ZCIT mais ao norte de sua climatologia.

GEOCIÊNCIAS
UFPA

5 CONCLUSÃO

Este trabalho analisa dados de precipitação mensal e diária das cidades de Belém e Macapá e da floresta de Caxiuanã, no leste da Amazônia utilizando-se do radar meteorológico e pluviômetros para caracterizar o quantitativo e qualitativo de precipitação nas diferentes condições de superfície. Desta forma, as principais conclusões obtidas foram:

Dentre os anos analisados, na comparação entre as duas cidades para o período chuvoso, a cidade de Belém destacou-se com acumulados em 2007 e 2008 acima da climatologia do INMET, e Macapá apresentou-se com valores abaixo de sua climatologia nestes anos, no entanto, no ano de 2009, Macapá apresentou um acumulado excedendo sua média histórica e para o período menos chuvoso do ano de 2008, as cidades de Belém e Macapá estiveram abaixo da média climatológica, sendo este ano considerado o mais seco dentre os três anos analisados, porém no ano de 2009, Belém esteve acima da média. Isto parece estar relacionado com o favorecimento da posição geográfica de cada uma das cidades em relação à ZCIT quando esta oscila mais ao norte ou mais ao sul de sua climatologia e interage com sistemas locais e os sistemas atmosféricos e meteorológicos que estão atuantes nos períodos chuvosos e menos chuvosos.

Em geral, dentre os anos selecionados no período chuvoso, a cidade de Belém chove mais do que cidade de Macapá, no entanto para o período menos chuvoso, a cidade de Macapá choveu mais que a cidade de Belém.

Em comparação entre as cidades e a floresta, as áreas urbanizadas apresentam maior quantidade de chuva com relação à área de floresta, tanto para o período chuvoso e quanto para o menos chuvoso, independente da variabilidade interanual associada ao ENOS, onde a precipitação mensal durante o período chuvoso do ano normal de 2008/2009 parece influenciar as áreas de floresta-cidade de modo semelhante. No entanto, na La Niña a cidade responde com maior intensidade de precipitação diária do que a floresta.

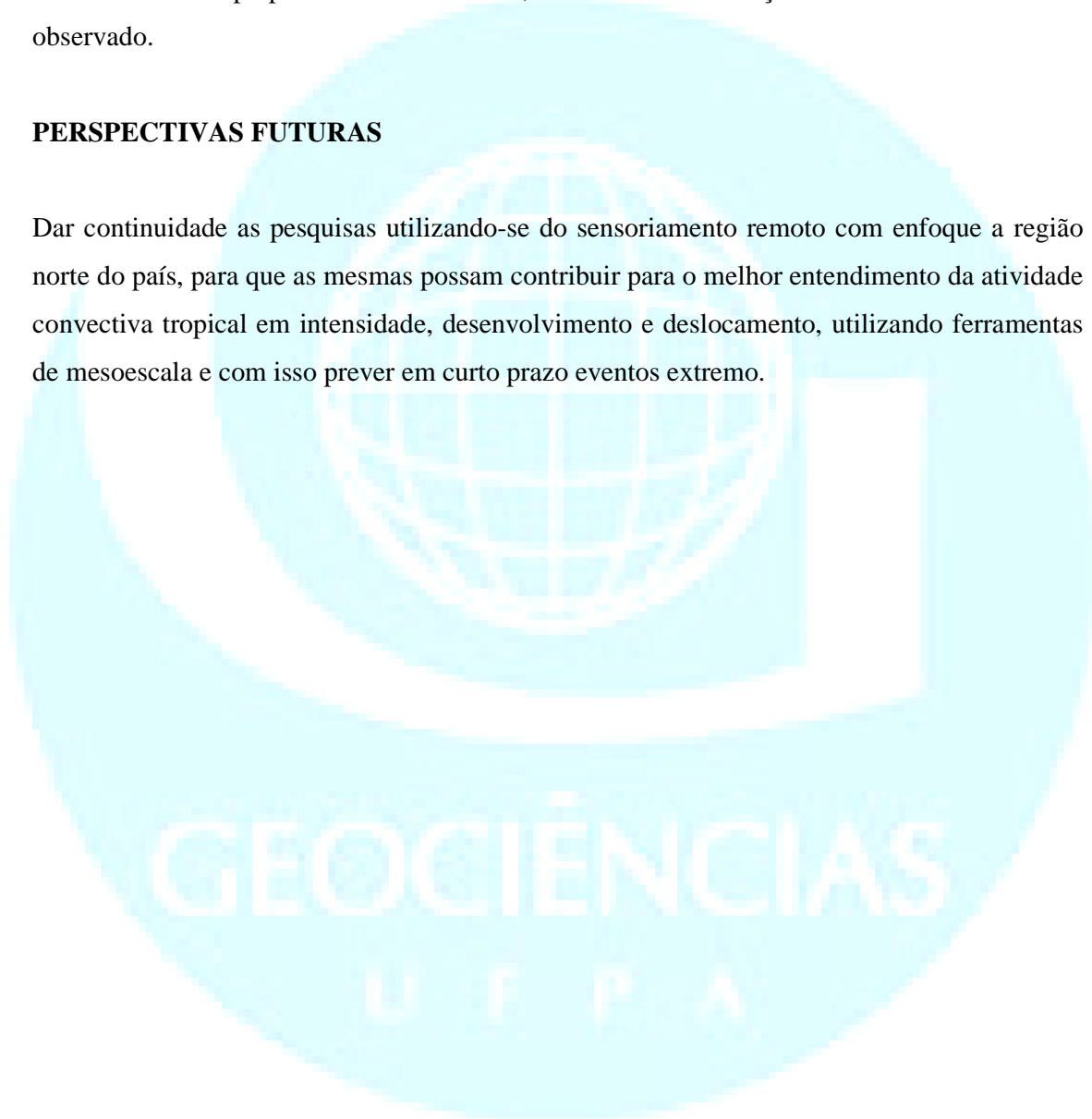
Nas análises dos parâmetros meteorológicos visando à combinação da refletividade do radar e da precipitação observada em superfície por pluviômetros indicam que as informações do radar meteorológico de Belém respondem em média de forma satisfatória, no entanto em

alguns períodos apresentou pequenos erros de coerência com as outras fontes observadas, porém em forma qualitativa e quantitativamente o radar obteve um bom desempenho.

Para os eventos selecionados representativos a chuvas intensas, a precipitação estimada pelo radar meteorológico de Belém para a área urbana, e o mosaico construído a partir dos radares de Belém e Macapá para a área de floresta, forneceram informações coniventes com o dado observado.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Dar continuidade as pesquisas utilizando-se do sensoriamento remoto com enfoque a região norte do país, para que as mesmas possam contribuir para o melhor entendimento da atividade convectiva tropical em intensidade, desenvolvimento e deslocamento, utilizando ferramentas de mesoescala e com isso prever em curto prazo eventos extremo.



REFERÊNCIAS

- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H, LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; JUNIOR, C. P.; PAIXÃO, M. A. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.21, n.3, p.168-189. 2006.
- BARBOSA, R. L.; OYAMA, M. D.; MACHADO, L. A. Climatologia das perturbações convectivas iniciadas na costa norte do Brasil. *Rev. Bras. Meteor.*, v. 21, n. 1, p. 107-117. 2006.
- BLANCO, C. M. R. *Processos de intensificação orográfica da precipitação na Serra do Mar em São Paulo*. 1999. 149f. Dissertação (mestrado em meteorologia) – USP, São Paulo, 1999.
- BOIASKI, N. T. *Extremos intra-sazonais de temperatura na península antartica e mecanismos atmosféricos associados*. 2007. 137f. Dissertação (mestrado em meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, 2007.
- COHEN, J.C. P. *Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia*. 1989. 153f. Dissertação (mestrado em meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 1989.
- COHEN, J.C. P.; SILVA DIAS, M.A.; NOBRE, C. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. *American Meteorological Society*, v.123, n.11, p.3129-3143. 1995.
- COUTINHO, E.C. *Estudo das características atmosféricas na região do Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (CLA)*. 2001. 141p. Dissertação (mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.
- COSTA, A.C.L et al, Experimento ESECAFLOR-LBA em Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B.. (Org.). *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma floresta nacional na Amazônia*. 1ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009, v. 3, p. 45-52.
- CLIMANALISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática. São José dos Campos: INPE, v. 24, nº 02. p.01-47. 2009a.
- CLIMANALISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática. São José dos Campos: INPE, v. 24, n. 07, p. 01- 47. 2009b.
- DUNN, G.E. Cyclogenesis in the tropical Atlantic. *Bull. Amer. Meteor. Society*, n. 21, 215-229. 1940.
- FISCH, G.; TOTA, J.; MACHADO, L. A. T.; LYRA, R. F. F.; SILVA DIAS, M. A. F. ; DOLMAN, A.J.; GASH, J. H. C. The convective boundary layer over pasture and forest in amazonia. *Theoretical and applied climatology*, Hamburgo, Alemanha, v. 77, n. 1-3, p. 47-59. 2004.

- GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F. de A. et al. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 353-374.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 13, p. 35-58. 2000.
- GRIMM, A. M.; ZARATINI, P.; MARENGO, J. Sinais de El Niño na precipitação da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF. *Anais ...* Brasília, DF: SBMET, 1998.
- KOUSKY, V. E; KAYANO, M.T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon Region. *Acta Amazon.* n. 11, p. 743-758. 1981.
- LEMONS, C. F.. Reanálise das linhas de corrente nos níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 500 hPa e 150 hPa sobre a América do Sul no período entre 1979 A 1995 e a análise dinâmica sobre a região do Vale do Paraíba - SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA, 2., 2000, Rio de Janeiro. *A Meteorologia Brasileira além do ano 2000*. Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 1 CD-ROM.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima na região amazônica. In: CAVALCANTI, I.F. de A. et al. (Org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 197-212.
- MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p. 107- 1 17. 1987.
- MOTA, G.V. *Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste Brasileiro*. 1997.92 f. Dissertação (mestrado em meteorologia) – IAG/USP, São Paulo, 1997.
- MORAES, B. C.; SILVA, M. da S.; RUIVO, M. L. P.; RIBEIRO, J. B. M. . Variabilidade da Precipitação na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA. In: LISBOA, P. L. B. (Org.). *Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia*. 1 ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2009, v. 3, p. 91-98.
- MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M. V. Variabilidade intrasazonal e interanual de Extremos na Precipitação sobre o centro-sul da Amazônia durante o Verão austral. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3a, 29-41. 2006.
- NECHET, D. Análise da precipitação em Belém, de 1896 a 1991. *Boletim de Geografia Teorética*, Rio Claro, SP, v. 23, n.45-46, p. 144-149. 1993.
- OTTO, L. G. *Avaliação das florestas de Araucária Angustifolia (Bert.) O. Ktze do sul do Brasil, através de imagens do satélite LANDSAT-II*. 1979. 117f. Dissertação (mestrado em ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.
- ROPELEWSKI, C.F. ;HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/southern oscillation. *Mon. Wea. Rev.* n. 115, p.1606-1626. 1987.

SARAIVA, I; FOSTER, P. R. P.; ANDRIONI, J. Análise da passagem de um sistema frontal sobre a cidade de Porto Alegre/RS – estudo de chuvas intensas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. [Anais...] Florianópolis: SBMET, 2006. 1 CD Rom.

SILVA DIAS, M.A.F. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3, 190-199. 2006.

SODRÉ, G.R.C. *Estudo de caso: análise sinótica de um evento extremo de precipitação ocorrida no estado de Pernambuco entre os dias 17 a 19 de junho de 2010*. 2010.48f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em meteorologia) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by Madden-Julian Oscillation. *Int. J. Climatol.*, v. 26, p. 1759-1776. 2006.

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.

SOUSA, E. P. P. Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental - São José dos Campos: INPE, 2003. 78p. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

WALISER, D.E. Tropical meteorology: intertropical convergence zone (ITCZ). In: HOLTON, J.; PYLE, J. C. (Ed). *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. [S.l.]: Academic Press, 2002.

WEICKMANN, K. M.; LUSSKY G. R.; KUTZBACH, J. E. Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb streamfunction during northern winter. *Mon. Wea. Rev.* 113,941-961. 1985.

VITORINO, M.I. *Previsão estatística de precipitação a curto prazo com base em dados de radar meteorológico*. 1994. 97f. Dissertação (mestrado) - IAG-USP, São Paulo-SP, 1994.

Imagens (1, 2 e 3) retiradas do Centro de Previsão de Tempo e Clima. Site <http://enos.cptec.inpe.br/> Acesso em: 12/12/2011.