



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE BACHARELADO EM METEOROLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ADRIANA ALVES DE CARVALHO



TÍTULO:

**ANÁLISE DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO SATÉLITE
TRMM E CMORPH PARA O PERÍODO DE 2007 A 2010 EM BELÉM**

Nº 314

BELÉM-PA

Janeiro 2012

ADRIANA ALVES DE CARVALHO

**ANÁLISE DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO SATÉLITE
TRMM E CMORPH PARA O PERÍODO DE 2007 A 2010 EM BELÉM**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Afonso Fischer Kuhn

Belém

2012

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

-
- C331a Carvalho, Adriana Alves de
Análise de estimativa de precipitação através do satélite TRMM e CMORPH para o período de 2007 a 2010 em Belém / Adriana Alves de Carvalho; Orientador: Paulo Afonso Fischer Kuhn – 2012
55 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. Estimativa. 3. TRMM. 4. CMORPH. I. Kuhn, Paulo Afonso Fischer, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22 ed.: 551.57709811

ADRIANA ALVES DE CARVALHO

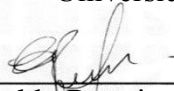
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado em: 06 de Janeiro de 2012.

Conceito: Excelente

Banca examinadora

Prof. Paulo Afonso Fischer Kuhn - Orientador
Doutor em Agronomia,
Universidade Federal do Pará



Prof. Everaldo Barreiro de Souza - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Adjunto José Danilo Souza Filho - Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho: aos meus pais
Antonia Alves e João Mariano;
e ao meu irmão Nilton Alves

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter dado forças nos momentos das maiores dificuldades encontradas no decorrer do curso.

Aos meus pais Antônia Alves e João Mariano por terem proporcionado a oportunidade, o incentivo e a confiança para avanço dos meus estudos.

A Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao meu professor e orientador Paulo Kuhn, por ter me aceitado como orientanda, pela sua disponibilidade e atenção em todos os momentos.

Aos demais discentes José Danilo, Maria do Karmo, Everaldo Barreiras, Paulo Souza e Isabel Vitorino, pela importância e contribuição que exerceram para minha formação acadêmica.

Ao meu amigo de classe Frank Baima, por tantas vezes prestar ajuda, não só na rotina acadêmica, mas também no segmento da minha vida pessoal.

RESUMO

O trabalho tem como objeto de estudo os satélites geoestacionários TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) e CMORPH (Climate Prediction Center Morphing). Avaliar se estes satélites conseguem reproduzir o regime pluviométrico, através de estimativas para cidade de Belém, bem como verificar se os mesmos estão coerentes como o período temporal, que acontece maior frequência de precipitação na região; de acordo com as pesquisas científicas. A análise de estimativa do satélite TRMM, contou com uma série de dados, provenientes do produto 3B42_V6. O período referente a esse estudo está compreendido de 2007 a 2010. Nesse trabalho foi selecionada a mesma resolução espacial de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (Aproximadamente 25 Km) e temporal de 3-horas para as duas estimativas de precipitação. O principal resultado desse estudo é a ineficiência do estimador Cmorph, quando se objetiva estudar dados a cada três horas.

Palavras-chave: Precipitação – Meteorologia (Amazônia). Estimativa. TRMM. CMORPH.

ABSTRACT

The work has as its object of study geostationary satellites TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) and CMORPH (Climate Prediction Center Morphing). To assess whether these satellites can play the rainfall through estimates for the city of Bethlehem, and see if they are consistent as the time period, this happens more frequently in the region of precipitation, according to scientific research. The analysis of the TRMM satellite estimates, included a series of data from the product 3B42_V6. The period for that study is comprised from 2007 to 2010. This work was selected the same spatial resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (approximately 25 km) and temporal-three hours for the two estimates precipitation. O main result of this study is the inefficiency of the estimator Cmorph, if the objective is to study data every three hours

Key words: Precipitation – Meteorology (Amazon). Estimates. CMORPH. TRMM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Ilustração da marcha anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) entre janeiro e julho	17
Figura 2–Seção transversal ilustrativa de uma LI.	20
Figura 3-Localização da área geográfica de Belém	21
Figura 4- Esquema ilustrativo da organização dos dados para obtenção da chuva anual através dos dados estimadores do TRMM e CMORPH	23
Figura 5-Representação esquemática da aquisição de dados pelo sensor de microondas (TMI, varredura verde), radiômetro (VIRS, varredura amarela) e radar de precipitação (PR, varredura vermelha) do satélite TRMM.	27
Figura 6-Exemplo do algoritmo TRMM 3B42_V6 e outros produtos de precipitação por satélites combinados a cada 3 horas acumuladas.	32
Figura 7-Exemplo do produto CMORPH de estimativa de chuva por satélite.	34
Figura 8- varreduras na área 50N-50S através da passagem dos sete satélites utilizados no CMORPH, e a resultante final das três horas.	34
Figura 9- Precipitação acumulada anual medida através do satélite TRMM, para o horário da 00-03UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade (mm/h)	36
Figura 10- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 03-06UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h) ..	37
Figura 11- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 06-09UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h) ..	38
Figura 12- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 09-12UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h). ..	39
Figura 13- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 12-15UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h). ..	40
Figura 14- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 15-18UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h). ..	41
Figura 15- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 18-21UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h). ..	42
Figura 16- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 21-00UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h). ..	43

Figura 17- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário da 00-03UTC.	44
Figura 18- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 03-06UTC.....	45
Figura 19- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 06-09UTC.	46
Figura 20- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 09-12UTC.	47
Figura 21- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 12-15UTC.....	48
Figura 22- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 15-18UTC.	49
Figura 23- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 18-21UTC.....	50
Figura 24- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 21-00UTC.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 PARÂMETROS DO SENSOR DE MICROONDAS PASSIVO (TMI) DO TRMM	28
Tabela 1.1 PARÂMETROS DO RADAR DE PRECIPITAÇÃO DO TRMM.....	29
Tabela 1.2 PARÂMETROS DO RADIÔMETRO NO VISÍVEL E INFRAVERMELHO DO TRMM.	30
Tabela 2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO 3B42 DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO SATÉLITE TRMM.	31
Tabela 2.1 SATÉLITES POLARES UTILIZADOS NO CMORPH.....	33
Tabela 2.2 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO CMORPH.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia

CERES – sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens

CMORPH- *Climate Prediction Center Morphing Technique*

CCM-Complexos Convectivos de Mesoescala

DOLs - Distúrbio ondulatório de leste

ESA-*European Spacial Agency*

ENOS-El Niño-Oscilação Sul

GPI – GOES “*Precipitation Index*”

GOES- *Geostationary Operational Environmental Satellite*

GV-*Ground Validation*

GrADS – “*Grid Analysis data and Display System*”

HDF – “*Hierarchical Data Format*”

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

LIS – *TRMM Lightning Sensor and Imager*

LI-Linha de instabilidade

LIT-Linha de instabilidade Tropical

LIC – Linha de instabilidade costeira

NOAA-*National Oceanic and Atmospheric Administration*

NASA- *North-American Aerospace Agency*

PR- *TRMM Precipitation Radar*

SSM/I- *Special Sensor Microwave Imager*

SCM- Sistemas Convectivos de Mesoescala

TRMM-*Tropical Rainfall Measuring Mission*

TMI-*TRMM Microwave Imager*

TIROS I – *Television and InfraRed Observation Satellite*

TSM-Temperatura da superfície do mar

VIRS – Radiômetro no visível e no infravermelho

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de convergência Intertropica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 SISTEMAS PRECIPITANTES EM BELÉM	16
2.2 Linhas de instabilidades (Squall Lines)	17
2.3 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 ÁREA DE ESTUDO	21
4 METODOLOGIA DO TRABALHO	22
4.1 ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE	24
4.1.1 O projeto TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission).....	25
4.1.1.2 O ALGORITMO 3B42_V6.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5.1 PROBLEMAS ENCONTRADOS	35
5.1.1 Análises para estimativa obtida através do TRMM	35
6 CONCLUSÃO.....	52
6.1 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a hidrologia vem ganhando cada vez mais destaque no âmbito da importância de se monitorar as variáveis hidrológicas e meteorológicas. Assim conhecendo o perfil dessas variáveis é possível direcionar para o estudo na modelagem. Para se garantir um bom conhecimento detalhado do regime local de chuvas é fundamental se ter informações de vários postos de coleta, ao invés de informações pontuais, a distância entre as estações é grande (às vezes superior a 100 km). Isso compromete a confiabilidade dos dados, gerando em muitas das vezes erros significativos. O monitoramento detalhado sobre extensas áreas exige a existência de uma densa rede de pluviômetros, o que, em certos casos, é inviabilizado em áreas de difícil acesso como a floresta Amazônica e regiões montanhosas (ANGELIS, 2004).

Com isso, consegue-se continuidade apenas temporal das medições, dada a impossibilidade de se dispor de aparelhos de medição sobre toda a superfície a ser observada, de onde vem a necessidade de extrapolação ou interpolação para toda a área. Mesmo a continuidade temporal é comprometida freqüentemente por erros, falta de pagamento dos medidores, falta de manutenção, etc.

Com a prática de extrapolação/interpolação, admite-se uma estimativa de precipitação para áreas mais distantes dos pontos medidos sem qualquer indício físico real sobre a quantidade de precipitação verdadeiramente ocorrida (CONTI, 2002).

Nesse contexto surge a modelagem hidrológica, ferramenta útil para quantificar matematicamente através de equações o volume precipitado em pontos mais difíceis da superfície. Modular distribuição de chuva usando fontes de dados pontuais se torna inviável, uma vez que o quantitativo registrado numa área não é o mesmo que o quantitativo encontrado em outro de quilômetros de distancia, ou seja, o efeito da não representatividade por conta das características físicas e locais de cada região. Como resultado, o volume precipitado não é corretamente representado espacialmente quando da ocorrência de eventos (STRUZIK, 2003).

Segundo Conti (op.cit.) o emprego rotineiro de técnicas de sensoriamento remoto para estimativas de precipitação ainda é raro. Esta ausência no Brasil deve-se ao geral desconhecimento das possibilidades do sensoriamento remoto para estimativas de precipitação, a pequena difusão na sociedade das imagens de satélite e pela ausência de técnicas adaptadas às diversas condições climatológicas existentes no país.

A utilização de sensores remotos na estimativa de precipitação vem mostrando ser uma alternativa para solucionar a escassez de dados meteorológicos.

Nos últimos anos o emprego de metodologias baseadas em estimativa de precipitação baseadas em imagens de satélite tem se tornado cada vez mais proposto. Com isso, nas últimas três décadas os resultados vêm mostrando resultados significativos através do lançamento dos satélites geoestacionários, aumentando assim a quantidade de informações disponíveis, incluindo estimativas de precipitação. Entre os satélites mais conhecidos que operam usando a metodologia das imagens de satélite está: o GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), o METEOSAT da ESA (European Spacial Agency), o TRMM, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), CMORPH (CPC MORPHING technique). Muitos métodos de estimativa de precipitação a partir de imagens de satélite são indiretos e baseados na temperatura de brilho do topo de nuvem. Imagens em diversas bandas do infravermelho ($0,7\mu\text{m}$ a $1000\mu\text{m}$) podem ser convertidas em “temperatura de brilho” ou temperatura do topo de nuvem (BARRERA, 2005), A temperatura está relacionada à altura de nuvem e ao seu desenvolvimento vertical e, conseqüentemente, à intensidade de chuva gerada em células convectivas.

A presente pesquisa é voltada para cidade de Belém, e busca caracterizar os sistemas convectivos e no estudo da precipitação associada aos mesmos utilizando os dados do satélite TRMM e CMORPH, de forma a associar qual período temporal é mais observado casos de ocorrência de precipitação.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho visa estudar os sistemas convectivos atuantes em Belém por meio da

precipitação estimada com o satélite Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) e com a técnica CPC Morphing (CMORPH) no período de 2007 a 2010. Pretende-se assim:

1-Characterizar a evolução temporal dos principais sistemas precipitantes ocorridos na região, e sua relação com o período de maiores casos de ocorrência de precipitação;

2-Analisar o ciclo diário da precipitação;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMAS PRECIPITANTES EM BELÉM

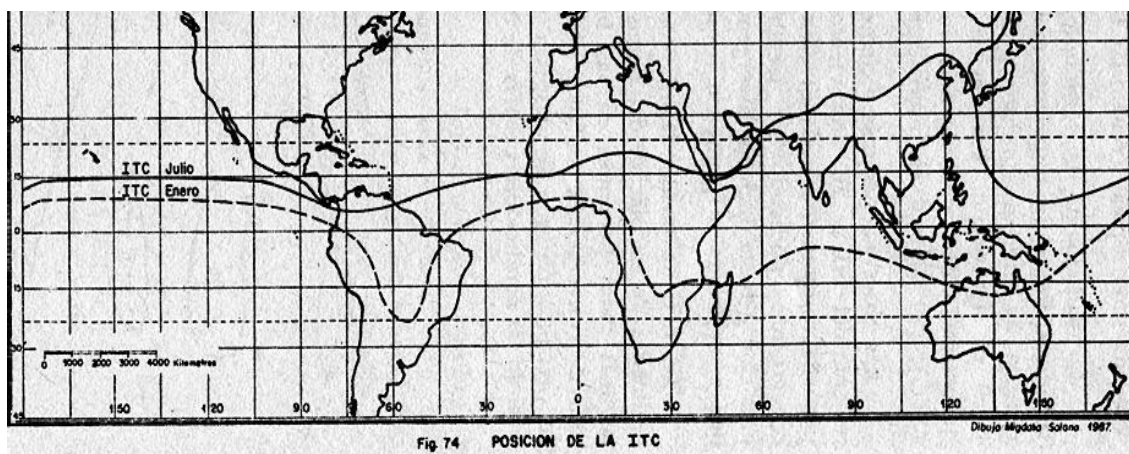
A precipitação pluvial na faixa do equador é o elemento meteorológico que apresenta maior variabilidade (MARTORANO et al 1992). Segundo (ALMEIDA et al 2003) as chuvas também variam tanto em quantidade quanto em intensidade de uma região para outra. A dinâmica climática na Amazônia é bem conhecida, sendo que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional interhemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical (Nobre & Shukla, 1996); (SOUZA et al., 2000). Os efeitos do El Niño deflagram mudanças significativas na circulação troposférica zonal da célula de Walker, inibindo a atividade convectiva da ZCIT e promovendo déficit significativo de precipitação pluvial na região (Souza et al., 2000). A precipitação é causada por vários mecanismos de larga, meso e micro escalas. Em larga escala pode-se destacar a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formada na convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste que acontece próxima ao Equador terrestre devido a baixa pressão nessa faixa longitudinal. Esse sistema de grande escala é considerado o sistema meteorológico mais importante gerador de precipitação sobre a região equatorial, em especial na cidade de Belém e outras regiões do Pará. Também é mecanismo de precipitação em larga escala a Alta da Bolívia (AB) que se forma devido à convergência do ar em baixos níveis (850 hPa) e sua posterior divergência em altos níveis (200 hPa) e que recebeu esse nome por se formar na área da América do Sul correspondente ao país de mesmo nome. Como mecanismo de precipitação em mesoescala, pode-se destacar as Linhas de Instabilidades (LI) que se formam no N – NE Amazônico, entre os estados do Amapá e do Pará. No período seco da porção central amazônica as LI's são responsáveis por cerca de 45% da precipitação (COHEN, 1989). Em micro escala, ou escala local, pode-se destacar a brisa marítima e a convecção diurna, que por sua vez acarretam em maior frequência de chuva no final da tarde e início da noite na região costeira do Norte do Brasil. Dois tipos gerais de regimes diurnos de precipitação podem ser reconhecidos, sendo a partir dos quais analisados os resultados do ciclo diurno.

1) O regime continental ou interior é caracterizado de grandes massas continentais, onde a maior parte da precipitação tende a ocorrer nas horas mais quentes do dia, quando o aquecimento solar é mais intenso. E, geralmente está associado a um máximo de precipitação durante o período da tarde, sendo amplamente convectivo.

2) O regime marítimo ou litorâneo ocorre sobre os oceanos e nas áreas costeiras e é caracterizado por um máximo de precipitação durante a noite e primeiras horas da manhã, quando o ar marítimo é mais instável.

Existem, também, notáveis variações da precipitação no decorrer do dia. Esta variação diurna da precipitação tem forte impacto em alguns setores como navegação aérea e marítima e outros meios de transporte, assim como também influencia a produtividade agrícola.

Figura 1-Ilustração da marcha anual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) entre janeiro e julho. Estão indicados contornos geográficos, latitudes e longitudes.



Fonte: Riehl (1979).

2.2 Linhas de instabilidades (Squall Lines)

A convecção se manifesta em configurações espaciais e temporais típicas que permite classificar os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) em alguns tipos básicos, tais como: Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), LI, entre outros (BROWNING, 1986).

Em imagens de satélites, as LIs se apresentam como um conjunto de nuvens Cumulonimbus (Cb) organizadas de forma linear e que se propagam com velocidade

que podem ser igual ou maior a velocidade dos Cbs individuais que as constituem (DJURIC, 1994).

Molion (1987) estudou os fenômenos que organizam e promovem precipitação na região amazônica e os dividiu da seguinte maneira: (i) convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de grande escala favoráveis; (ii) linhas de instabilidade originadas na costa norte-nordeste do litoral do Atlântico; (iii) aglomerados convectivos de grande e mesoescala, associados com a penetração de sistemas frontais da região sul-sudeste do Brasil que interagem com a região amazônica. Cohen (1989) observou através da análise de imagens do satélite geoestacionário GOES-W no canal infravermelho, que as menores temperaturas observadas no topo das LI na Amazônia, durante o seu ciclo de vida, esteve entre $-63,2$ e $-78,2$ °C, ou seja, estavam num nível entre 150 e 100 hPa. Nesse mesmo trabalho a autora esclarece que as LI amazônicas são constituídas por células convectivas individuais que posteriormente se alinham para formar a LI, aspecto esses semelhantes ao observado por Houze (1977).

Cohen et al. (1989), utilizando imagens de satélite e uma metodologia subjetiva, identificaram as características climatológicas das LIs iniciadas na CNB tal como : maior ocorrência entre abril e agosto; 38% do total de LIs apresentaram propagação continente adentro, extensão horizontal (comprimento e largura) de 1400 km e 170 km, respectivamente, e velocidade média de propagação variando entre de 12 m s⁻¹ a 16 m s⁻¹. Ressaltaram, também, que a propagação da LI continente adentro é um mecanismo importante para a precipitação no leste da Amazônia, onde cerca de 45% da precipitação no leste paraense decorra da ação de LI.

De maneira geral as LI estão associadas a circulação de brisa marítima e foram assim denominadas por Cohen (1989): LIP – Linha de instabilidade que se propaga continente adentro; e LIC – Linha de instabilidade costeira, aquela que se forma e se dissipa na costa. As LIs podem estar associadas às frentes, ciclones extratropicais ou áreas de grande convergência de ar nos baixos níveis da troposfera, entre outros. Seu tempo de vida varia de algumas horas a alguns dias e possuem escala horizontal de dezenas de quilômetros até 1500 km (DJURIC, 1994).

Analisando ainda o papel da circulação de brisa marítima e dos perfis termodinâmicos antes e após a passagem das LI, Cohen et al. (1995) concluíram que as LIC que se propagam sobre a região Amazônica podem ser um complexo sistema cuja interação de escalas vai das características ambientes de grande escala, até a circulação

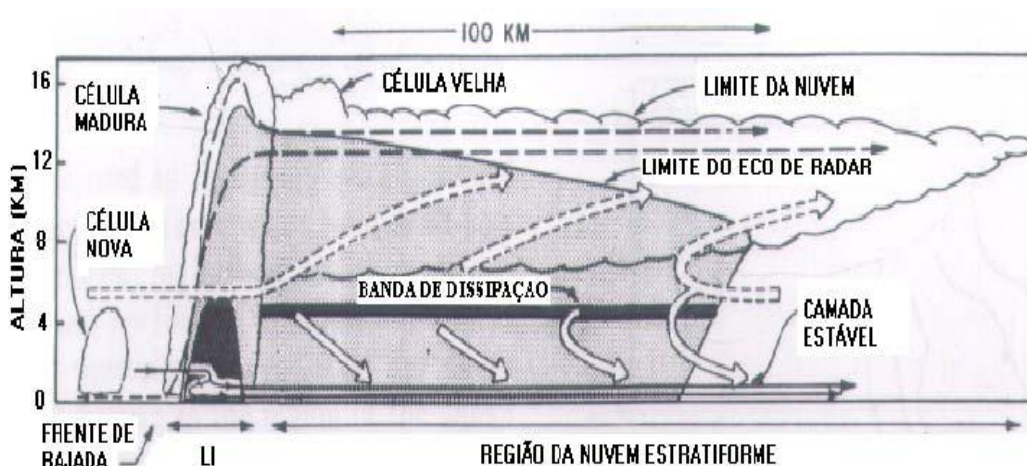
de mesoescala e na escala de nuvem. Na grande escala, as características mais importantes são a propagação de ondas de leste no Atlântico e a presença de fontes tropicais de calor no oeste da Amazônia. Em mesoescala, a advecção de umidade durante a formação e evolução da brisa marítima tem um papel fundamental. Por outro lado, as circulações na escala da nuvem mantêm a propagação em um estado quase-estacionário por distâncias de mais de 1000 Km, e permitem a existência dessas linhas por períodos maiores que 24 horas.

Gamache e Houze (1982), de acordo com os acima citados, definem uma linha de instabilidade tropical como sendo uma região da dianteira de um distúrbio que se propaga em mesoescala. Constitui-se basicamente de nuvens do tipo cumulonimbus (Cbs) e em sua retaguarda por uma nuvem na forma de “bigorna” que, em geral, possui bastante precipitação do tipo estratiforme. Os elementos convectivos que compõem a LI são do tipo “torres quentes” (mesmo tipo das discutidas por RIEHL; MALKUS, 1958; e RIEHL; SIMPSON, 1979) contendo fluxos ascendentes que, por empuxo, retiram ar úmido da camada limite para a alta troposfera. Em contra-partida, segundo Zipser (1977) e Houze, (1977), existem 2 dois gêneros de fluxos descendentes: o de escala convectiva, que ocorre numa pequena faixa de 10 a 20 km na região de intensa precipitação na LI propriamente dita ocasionando a frente de rajada; enquanto que a outra é mais suave, mas de mesoescala, ocorrendo numa grande faixa de 100 a 500 km na região abaixo da bigorna. Esses movimentos descendentes são suficientes o bastante para trazerem ar mais seco dos níveis médios da atmosfera para a camada limite e estão associados a uma fraca alta de mesoescala. A Figura (2.1) mostra a estrutura típica de uma LI Tropical (LIT). O Modelo de Gamache et al. (1982) descreve a estrutura de mesoescala e as circulações verticais numa LIT. A análise da Figura (2.1) mostra os elementos de uma LIT, tal como um núcleo convectivo intenso, células novas na dianteira do sistema, bigorna, frente de rajada em superfície, e correntes ascendentes e descendentes.

A região da bigorna apresenta uma estrutura de precipitação predominante estratiforme, com precipitação e nebulosidade uniforme. Os elementos convectivos do tipo torres quentes representada pela célula madura consistem em fluxos ascendentes de ar úmido da camada limite e de movimento descendente que carrega o ar mais seco dos níveis médios para a camada limite, sendo parte deste fluxo espalhado para a dianteira do sistema, ocasionando a frente de rajada. A outra parte do fluxo ascendente é

distribuída na retaguarda do sistema. Na célula madura há ocorrência de forte precipitação, bem como na sua dianteira ocorre rajada de vento.

Figura 2–Seção transversal ilustrativa de uma LI. As flechas tracejadas indicam movimentos ascendentes em escala convectiva e as flechas contínuas correspondem ao movimento descendente de mesoescala. A área sólida em preto indica região com forte precipitação.



Fonte: (Robson, 2007).

2.3 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

Uma das características da circulação regional, dominante durante o verão da América do Sul, é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Esta se caracteriza por uma banda de precipitação com orientação noroeste-sudeste que se estende desde o continente até o Oceano Atlântico. A formação da ZCAS depende tanto de forçantes locais quanto remotas. A ZCAS, frequentemente observada em imagens de satélite, é convencionalmente definida como uma faixa persistente, pelo menos 4 dias seguidos (Quadro, 1994), de nebulosidade e precipitação, com orientação noroeste-sudeste, que se estende desde o sul da região Amazônica até o Atlântico Sul-Central, cuja estrutura é originada e mantida pela interação entre a convecção tropical e os sistemas de grande escala.

Molion (1987) identificou que os principais mecanismos de precipitação na região amazônica são devidos à convecção diurna, linhas de instabilidade e aglomerados convectivos associados à penetração de sistemas frontais vindos de Sul/Sudeste.

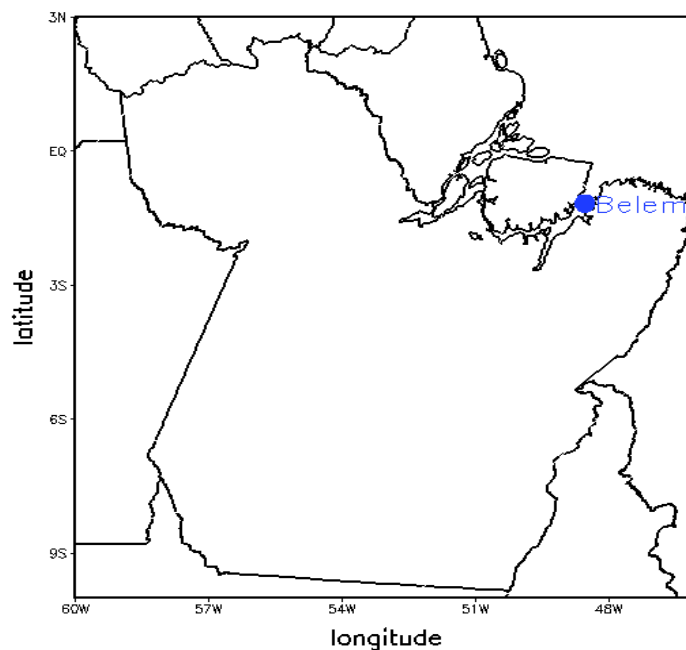
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo faz uma análise observacional sobre a cidade de Belém, buscando observar se as estimativas de satélite conseguem acompanhar o regime de precipitação da região. A capital paraense fica localizada geograficamente a $1^{\circ} 27' 21''$ de latitude Sul e $4^{\circ} 30' 15''$ de longitude Oeste, a quatro metros acima do nível do mar, às margens da Baía do Guajará e do Rio Guamá, distante 120 quilômetros do mar no estuário do Rio Pará.

A região se destaca por alguns aspectos como: clima quente úmido, precipitação média anual entre 2.600 e 3.200 mm e alta umidade relativa do ar, geralmente acima de 80%. Sem estações climáticas definidas apresenta, contudo, duas estações básicas: uma estação seca (poucas chuvas) de junho a novembro e uma estação de chuva de dezembro a maio. A temperatura média anual é de 26°C . Na classificação climática de Köppen, a área está enquadrada na zona Af_i que corresponde ao clima de Floresta Tropical, constantemente úmido, sem estação fria. Os ventos predominantes de acordo com a climatologia da região são de sentido Nordeste. A figura 2 mostra os limites territoriais do estado do Pará, em destaque para a capital e região de estudo Belém.

Figura 3-Localização da área geográfica de Belém.



Fonte: Do autor

3.1.2 Dados estimados de precipitação

Neste trabalho, utilizaram-se as estimativas do satélite TRMM, que leva a bordo os instrumentos primários que são: radar meteorológico, um sensor de microondas passivo e um sensor óptico no infravermelho (para mais detalhes acesse: http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/instrumentfacts.html). Vários produtos são gerados a partir das estimativas do satélite TRMM, neste trabalho optou-se trabalhar com o algoritmo 3B42_V6 do satélite TRMM, tendo em vista que objetivo da pesquisa é observar o acumulado de chuva no intervalo de três horas para Belém, se há uma boa representatividade pelos estimadores de chuva. O produto gerado 3B42_6 (versão 6) descrito por (Huffman et al. 2007) gerado com aproximadamente um mês de atraso, é obtido a partir da combinação dos acumulados mensais (3 em 3 horas) da versão RT, este é produzido em tempo quase real e consiste na combinação dos sensores do TRMM (micro ondas passivo e infra-vermelho) para estimar a precipitação dados de superfície observados e acumulados mensais de precipitação provenientes do CAMS (Climate Assessment and Monitoring System) e GPCP (Global Precipitation Climatology Center).

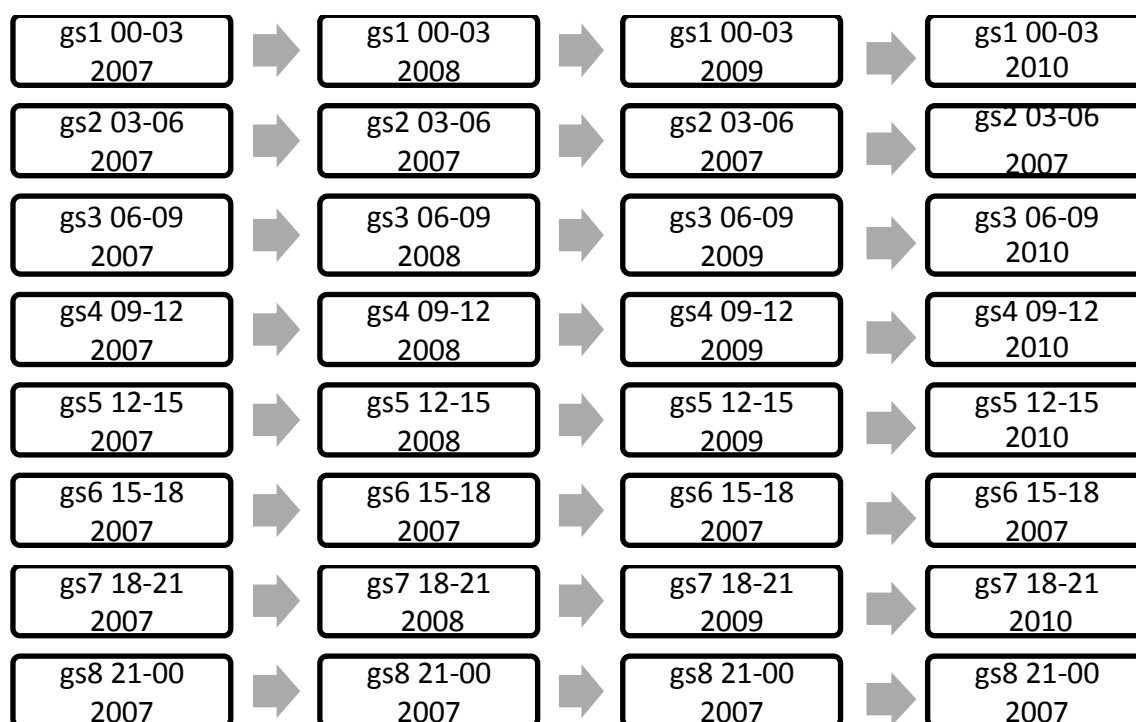
O período de análise e seleção dos dados foi de 2007 a 2010. Foram selecionados os dados horários acumulados das 00Z-03Z, 03Z-06Z, 06Z-09Z, 09Z-12Z, 12Z-15Z, 15Z-18Z, 18Z-21Z e 21-00Z, de todo o período estudado, para posteriormente obter o total de precipitação acumulada para cada ano.

4 METODOLOGIA DO TRABALHO

Neste trabalho utilizaram-se dados provenientes de dois estimadores de precipitação (TRMM E CMORPH) e que se assemelham em alguns aspectos em comum como: órbita polar baixa, grade de 0,25 °Km e saída de dados a cada 3 horas. Porém se diferenciam quanto formação do produto final gerado, o satélite TRMM carrega a bordo seus próprios instrumentos que por sua vez, podem ser combinados e inseridos em diversos algoritmos específicos, de acordo com o objetivo de análise, além disso, o projeto TRMM é custeado pela NASA (Agência Espacial Norte Americana, enquanto que a técnica CMORPH é pela NOAA (Administração Atmosférica e Oceânica Nacional). Por outro lado, a estimativa do CMORPH não é um algoritmo de estimativa de chuva, mas uma combinação de algoritmos já existentes. Ela utiliza basicamente estimativas de precipitação derivadas de sensores de micro-ondas a partir de um conjunto de satélites de órbita baixa: DMSP 13, 14 e 15 (sensor SSM/I), NOAA 15, 16 e 17 (sensor AMSU-B) e TRMM (sensor TMI). Os dados acumulados horários a

cada três horas (em mm/hora) obtidos através de estimadores de precipitação abrangem o período de 2007 a 2010, e estão disponibilizados gratuitamente no site <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>, e http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/janowiak/cmorph_description.html, respectivamente TRMM E CMORPH. As imagens foram geradas no software GRADS 2.1, este por sua vez permite que o usuário confeccione scripts, estes arquivos de texto contêm todos os comandos necessários para realizar uma tarefa. A princípio o objetivo seria criar oito GS correspondentes ao acumulado de cada intervalo de 3 em 3 horas diárias, totalizando a chuva anual referente a cada horário específico (00-03UTC, 03-06UTC...) e assim por diante até o último horário do dia (21-00UTC), para posteriormente se criar um script final a fim de, reunir a soma de todos os acumulados anuais dos quatro anos em análise. Porém, durante a realização do trabalho, o GRADS apontava erros na função “*define*” somente mais tarde conclui-se que quando a função *define* é usada sucessivas vezes, a mesma armazenar memória do computador. O que se tornou inviável no caso do presente trabalho, já que a disponibilidade de memória na máquina usada para computar os dados, não apresentava espaço suficiente para alocar o enorme volume de dados. A figura 4 tem como objetivo facilitar a compreensão, através da forma esquemática empregada na metodologia.

Figura 4- Esquema ilustrativo da organização dos dados para obtenção da chuva anual através dos dados estimadores do TRMM e CMORPH.



Diante da situação descrita, optou-se por fazer análises apenas para cada ano isolado, sempre levando em consideração o objetivo da pesquisa que é verificar os horários de maior ocorrência de precipitação para cidade de Belém, durante os anos analisados.

4.1 ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE

A estimativa de chuva por satélite iniciou-se com o lançamento do primeiro satélite meteorológico, o TIROS I (“Television and InfraRed Observation Satellite”). Na época, através das primeiras imagens de topos de nuvem (em abril de 1960), era possível estimar a ocorrência e até mesmo a intensidade de eventos chuvosos através da resposta espectral de conjuntos de nuvens (Petty, 1995). Nesta época, observaram que a radiação emitida nos topos das nuvens poderia ser um indicador da sua espessura e conseqüentemente do volume de água.

Barrett (1970) foi o pioneiro em utilizar a técnica de indexação de nuvens, baseada na observação das imagens e na identificação do tipo de nuvem. De modo simples, assume-se uma taxa de precipitação para cada tipo de nuvem. O autor objetivou estimar a precipitação mensal sobre a Austrália e suas vizinhanças associadas aos sistemas marítimos continentais. Até então as imagens de satélite não eram digitais. No final da década de 1970, as imagens passaram a ser digitais, melhorando consideravelmente os resultados.

Arkin (1979) desenvolveu um método de estimativa de precipitação no qual o autor usou o canal infravermelho do GOES para quantificar a relação entre cobertura de nuvens e temperatura do topo da nuvem para quantificar o total de precipitação na superfície nos trópicos. Mais tarde este método ficou conhecido como GOES “Precipitation Index” (GPI) (Arkin e Meisner, 1987), e ainda é bastante utilizado devido a sua simplicidade. A técnica baseia-se na alta correlação entre a fração de nuvens com temperaturas inferiores a 235 K (~ -38°C) e a área de chuva observada por radar em regiões tropicais de 2,5° x 2,5° graus ao longo do mês.

Os primeiros métodos eram baseados em imagens nas bandas do visível e infravermelho. Em seguida, surgiram metodologias utilizando imagens de sensores de microondas. Há uma tendência que as técnicas sejam aperfeiçoadas e expandidas para outros produtos, não só a precipitação.

4.1.1 O projeto TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission)

O satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) é um projeto conjunto entre os Estados Unidos (sob a liderança do NASA Goddard Space Flight Center) e Japão (sob a liderança da Agência Espacial Nacional de Desenvolvimento, ou NASDA). The first spacecraft designed to monitor rain over the tropics, was successfully launched from Tanegashima, Japan, on November 27, 1997, at 13:27pm Los Angeles (California) time. A primeira nave espacial projetado para monitorar a chuva sobre os trópicos foi lançada com sucesso a partir de Tanegashima, no Japão, em 27 de novembro de 1997. Este satélite foi desenvolvido com o objetivo de monitorar a precipitação sobre os trópicos, facilitando assim o monitoramento de regiões onde os dados convencionais são escassos o de difícil acesso,

Estima-se que três quartos do calor da atmosfera sejam obtidos por meio do calor latente associado com a precipitação, e estima-se que dois terços da precipitação global observada está localizada na região tropical, o que demonstra a importância destas variáveis (MACHADO et al., 2000).

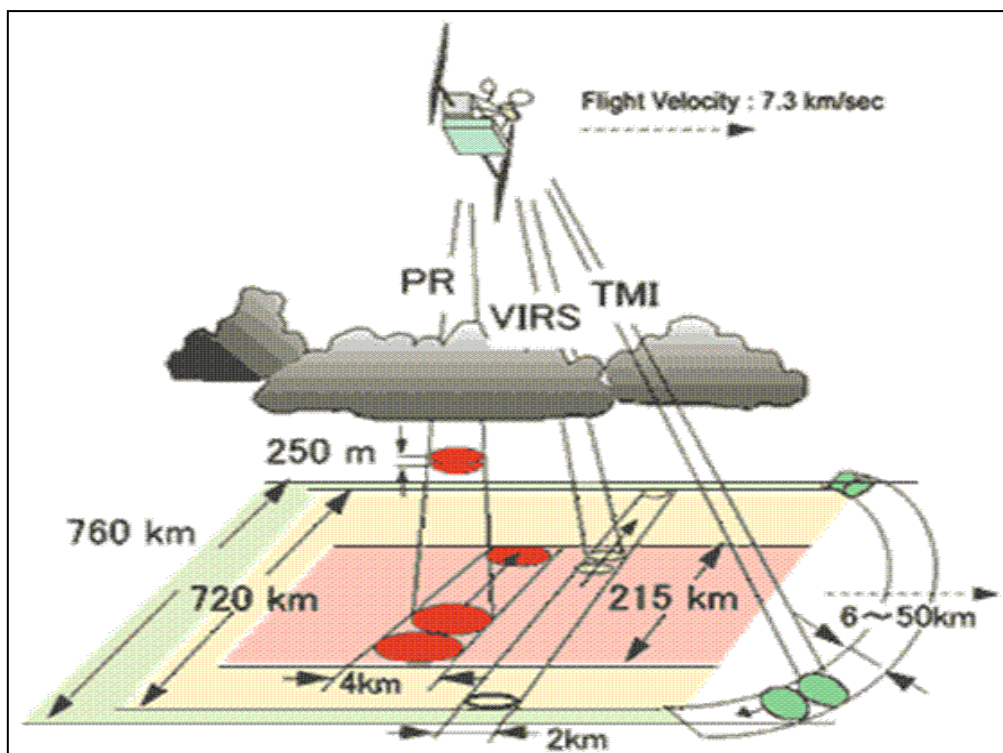
Estas áreas incluem não apenas regiões de difícil acesso das regiões tropicais a exemplo da Amazônia e oceanos, mas também áreas continentais desprovidas de qualquer informação pluviométrica. Em países industrializados, quase não se tem registro de trabalhos que abordem estimativa de chuva via imagens de satélite. O que pode ser explicado pelo alto número de radares meteorológicos instalados nestes países. O uso de monitoramento de chuva via radar fornece um excelente meio de estimar a precipitação, visto que os radares meteorológicos atuam dentro de um raio com alcance de 400 km, gerando assim informações mais precisas da distribuição espacial e temporal das chuvas. Em países em desenvolvimento, como no caso do Brasil, que possui um número razoável de radar, que nem sempre está em operação rotineira, por motivos diversos onde se pode destacar o número restrito de técnicos capacitados para efetivar a calibração e manutenção operacional do equipamento. Essa situação se torna um grande entrave nesses países, que na maioria das vezes se tornam dependentes do uso dos pluviômetros como meio de estimar a quantidade de precipitação ocorrida em alguma área. As dificuldades referentes ao fazer uso desta ferramenta são várias a começar pelo esparso rede de pluviômetros, dificuldade em acesso aos dados e alto investimento em montagem e manutenção das estações meteorológicas. O que compromete a margem de confiança desses dados. Segundo Conti (2002), a utilização operacional de técnicas de

sensoriamento remoto para estimativa de precipitação ainda é pequeno. O mesmo autor foi o primeiro a estudar estimativa de precipitação por satélite no Brasil, em estudo de caso para o Rio Grande do Sul, obtendo resultados satisfatórios. Destaca-se, também, o trabalho de Araújo e Guetter (2005), que compararam estimativa de satélite de órbita baixa com medições de solo em pequenas e médias bacias do estado do Paraná, concluindo boa aderência que há boa aderência das estimativas, Collischonn et al. (2006) mostrou que a estimativa de precipitação do satélite TRMM é bastante precisa quando comparada com dados de solo na bacia do alto São Francisco. Recentemente Janice et al. (2009) mostrou que estimativas de precipitação oriundas do satélite TRMM podem ser uma boa alternativa para obtenção dos dados em superfície.

A missão foi planejada para testar os sensores e desenvolver técnicas com objetivo principal de cobrir uma extensa lacuna observacional na região que compreende os trópicos. A princípio o satélite tinha vida útil de estimada por volta de 3,5 anos, porém já tem 10 anos e sua operação está prevista até 2009. O satélite TRMM tem uma órbita polar baixa, ou seja, 350 km acima da superfície da terra, e após 2001, aproximadamente 403 km permite que o período de translação seja curto (91 min) permitindo resolução espacial e temporal relativamente alta.

Os instrumentos a bordo do TRMM de acordo com a figura 5, relacionados com a estimativa da precipitação são: Imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e infravermelho (VIRS), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor para imageamento de relâmpagos (LIS).

Figura 5-Representação esquemática da aquisição de dados pelo sensor de microondas (TMI, varredura verde), radiômetro (VIRS, varredura amarela) e radar de precipitação (PR, varredura vermelha) do satélite TRMM.



Fonte: <http://trmm.chpc.utah.edu/>

As variáveis primárias medidas pelos instrumentos TMI, PR e VIRS são, respectivamente, temperatura de brilho, potência e radiância. A partir de combinações sucessivas entre estas medidas e seu cruzamento com produtos de outros satélites, são obtidas as estimativas referentes a precipitação, cuja resolução temporal e espacial depende do refinamento da estimativa. O sensor de microondas (TMI) é o principal instrumento na medição de precipitação, obtida através da lei inversa de Planck e correlação com temperatura de topo de nuvem. Para refinar as estimativas, afetadas pelas diferentes formações de nuvens, se faz uso do radar de precipitação (PR), que é o primeiro radar meteorológico em órbita no mundo, permitindo produzir mapas tridimensionais de estruturas precipitantes. Este radar é capaz de detectar taxas de precipitação muito baixas, da ordem de menos de 0.7 mm h^{-1} (Kawanishi et al., 2000).

Como os instrumentos a bordo dos satélites TRMM são amplamente utilizados nos produtos de estimativa de chuva por satélite, suas principais características são descritas abaixo:

(a) **TMI** (Sensor imageador de microondas)

O TMI é um sensor de microondas passivo projetado para fornecer informação quantitativa da chuva sobre uma largura de varredura de 780 km na superfície. Por meio da medição da quantidade de energia microondas emitidas pela Terra na atmosfera, o TMI é capaz de quantificar o vapor de água, a água precipitável, e a intensidade da chuva na atmosfera. É um instrumento relativamente pequeno que consome pouca energia. Isto, combinado com a boa largura de varredura, faz do TMI um dos mais eficientes instrumentos de medição de chuva do TRMM. O instrumento mede a intensidade da radiação em cinco frequências: 10.7, 19.4, 21.3, 37 e 85.5 Ghz. Estas frequências são similares ao SSM/I, exceto que o TMI tem um canal adicional 10.7 GHz projetado para fornecer uma resposta mais linear para altas taxas de chuva comumente observadas na região tropical (TRMM, 2004). A tabela 1 apresenta informações técnicas do sensor TMI.

TABELA 1 PARÂMETROS DO SENSOR DE MICROONDAS PASSIVO (TMI) TRMM

Bandas espectrais	10.7 GHz, 19.4GHz, 21.3GHz, 37GHz e 85.5GHz
Polarização	Vertical/horizontal (Canal 21.3GHz: apenas horizontal)
Taxa de dados	8.8Kbps
Tamanho da varredura	760 Km
Resolução horizontal	6-50 Km
Peso	65 Kg
Potência	50 W

Fonte: (<http://wdc.dlr.de/sensors/tmi/>)

(b) Radar de precipitação (PR)

Construído pelo Japão, é o primeiro radar a bordo de um satélite. Apesar de radares meteorológicos no solo têm sido usados desde a Segunda Guerra Mundial para estimar chuvas, havia muitos desafios técnicos que tiveram que ser superados antes que

um instrumento deste tipo poder ser usado a partir do espaço. As principais informações obtidas são: a intensidade e distribuição da chuva, o seu tipo (convectiva ou estratiforme), e a altura pluviométrica. Sua resolução horizontal na superfície é da ordem de 4 km, com largura de varredura de 220 km. Uma das características mais importantes do PR é a sua eficiência na determinação de perfis verticais da chuva e neve acima da superfície, em uma altura média de 20 km. O Radar precipitação é capaz de detectar taxas de chuva bastante leve para cerca de 0,027 polegadas ($0,7\text{mm}^{-1}$). As estimativas do calor liberado na atmosfera em diferentes alturas baseado nessas medidas pode ser usada para melhorar os modelos da circulação atmosférica global.

Os métodos de estimativa de chuva por meio de sensores de microondas ativos, como por exemplo, o radar deriva o perfil vertical da taxa instantânea de chuva. As limitações desses métodos são similares às limitações das outras técnicas a partir do microondas, sendo que a principal se relaciona à pequena cobertura espacial do equipamento. A resolução espacial do radar é melhor, sendo da ordem de 4 km. Outro problema é a dificuldade na calibração de um radar espacial, contribuindo significativamente para a incerteza da estimativa da chuva (JOBARD, 2001). A tabela 1.1 apresenta informações técnicas do radar.

TABELA-1.1 PARÂMETROS DO RADAR DE PRECIPITAÇÃO DO TRMM

Frequência	13.796GHz e 13.802GHz, com polarização horizontal
Tamanho da varredura	~220 Km
Observação vertical (altura)	20 Km
Resolução vertical	250 Km
Resolução horizontal	4,3 Km (Nadir)
Sensibilidade	0,7 mm/h
Peso	465 kg
Potência	220 KW
Distribuição da chuva	3-D

Fonte: Do autor

(c) **VIRS** (Radiômetro no visível e infravermelho)

É um instrumento primário bordo do TRMM, pois se trata de um indicador muito indireto de chuva. Esse instrumento indica a radiação que chega da Terra em cinco regiões do espectro, variando de visível ao infravermelho, ou 0,63 a 12 μm , com

resolução horizontal de 2 km e tamanho de varredura de 720 km. O VIRS se destina a fornecer informações de alta resolução da cobertura de nuvens, tipo e temperaturas topo da nuvem. Outras medidas que são feitas rotineiramente como nos satélites meteorológicos Polar Orbiting Environmental Satellites (POES) e GOES, são utilizadas em conjunto com o VIRS. São dois os motivos que destacam a inclusão do VIRS no pacote de instrumento primários: O primeiro é sua capacidade de delimitar a chuva, e o segundo e mais importante, é que serve como padrão de referência para outras medidas feitas utilizando os satélites POES e GOES. A intensidade da radiação em diferentes regiões espectrais (ou bandas) pode ser usada para determinar o brilho (visível e infravermelho próximo) ou temperatura (infravermelho) da fonte.

O princípio da estimativa de precipitação de chuva através de sensoriamento em bandas no visível é o fato de que o brilho da luz do sol refletida por nuvens pode ser uma indicação razoável de sua espessura e conseqüentemente do volume de água em seu interior (Petty, 1995).

Da mesma forma, temperaturas de topo de nuvem baixas estão associadas a um maior desenvolvimento vertical de uma nuvem e conseqüentemente a uma taxa de precipitação maior. A temperatura do topo de nuvem pode ser obtida a partir de medições de refletância em bandas de infravermelho. Não por acaso, essa banda é denominada de banda termal (Collishchonn, 2006). As informações dos parâmetros do radiômetro no visível e infra-vermelho estão listado na tabela 1.2.

TABELA 1.2 PARÂMETROS DO RADIÔMETRO NO VISÍVEL E INFRAVERMELHO DO TRMM.

Frequência	0,63 μ m, 1,6 μ m, 3,75 μ m, 10,8 μ m e 12 μ m
Tamanho da varredura	720 Km
Resolução horizontal	2 Km (nadir)

Fonte: <http://wdc.dlr.de/sensors/virs/>

O projeto TRMM possui ainda um programa de validação em campo (Ground Validation ou GV), esse programa objetiva minimizar as diferenças entre estimativas por satélite e medições em solo. Radares meteorológicos são espalhados ao longo da faixa intertropical, no caso do Brasil há um posto de validação instalado em São Paulo.

Esse posto registra o número de frequência da passagem dos principais sensores do TRMM, ou seja, TMI, PR e VIRS. Deve-se ressaltar que essa calibração com dados de campo é feita de forma bastante global e generalizada, podendo gerar estimativas locais pouco precisas.

4.1.1.2 O ALGORITMO 3B42_V6

Dentre os produtos do TRMM a presente pesquisa fez uso do produto 3B42 V6 que é um dos mais utilizados nas estimativas de chuva com resolução espacial de 0,25°, cobrindo a faixa do globo entre as latitudes de 50°N e 50°S, com resolução temporal de 3 horas. Este produto utiliza combinações de diferentes fontes com a finalidade de obter estimativas mais precisas de chuva (JOBARD, 2001). Na tabela 2 está o resumo da descrição do referido algoritmo.

TABELA 2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO 3B42 DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO ATRAVÉS DO SATÉLITE TRMM.

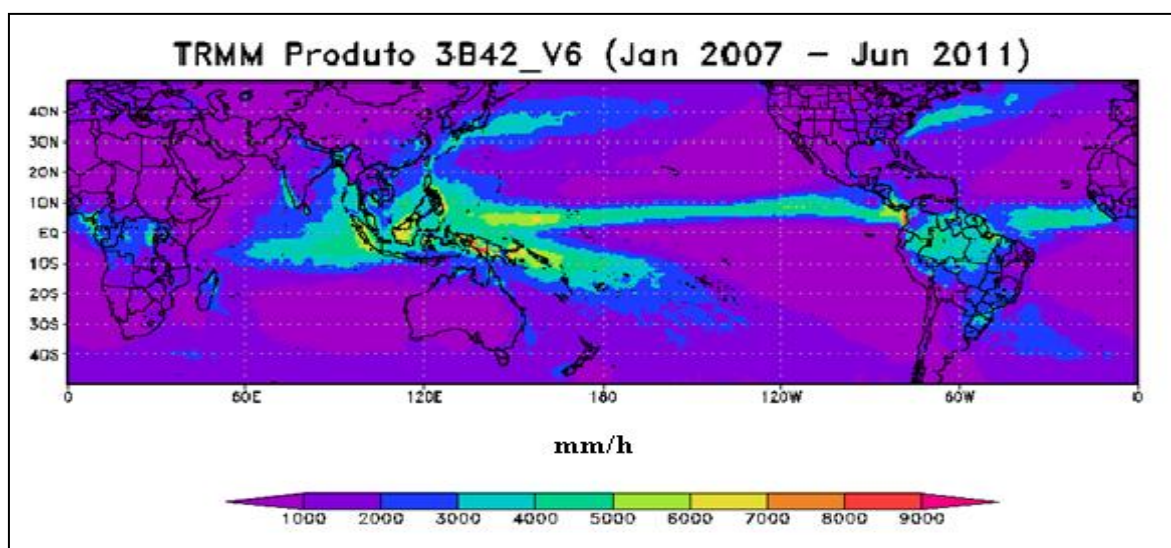
Descrição TRMM 3B42_V6	
Variáveis	Taxa de chuva (mm/h)
Longitude	180W a 180E em 0,25 ° nlon = 1440
Latitude	50S a 50N em 0,25° nlat = 400
Cobertura temporal	01/01/1998 a 30/06/2011 a cada três horas
Vertical	Superfície
Volume	36,85 Mbytes / dia, 13,2 Gbytes / ano
Tipo de Arquivo	HDF
Fonte dos dados	ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/Gridded/3B42_V6/

Fonte: Do autor

Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o produto 3B42_V6 que é uma combinação de estimativas de precipitação do TRMM, Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) e Advanced Microwave Sounding Radiometer (AMSU-B), para ajustar as estimativas de precipitação no canal infravermelho. Para mais detalhes do referido algoritmo, consultar o endereço <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>.

A grande vantagem deste produto em especial é sua alta resolução temporal, de 3 horas, e espacial de 0.25° , na faixa 50°N e 50°S . Porém a desvantagem é a complexidade do algoritmo e o número de dados necessários para gerar o produto, de forma que os dados não estão distribuídos de forma imediata. A figura 6 ilustra a exemplificação do produto 3B42_V6 gerado pelo satélite TRMM, para a distribuição da variável precipitação nos trópicos. A imagem apresentada foi gerada com a entrada de dados de janeiro de 2007 a junho de 2011.

Figura 6-Exemplo do algoritmo TRMM 3B42_V6 e outros produtos de precipitação por satélites combinados a cada 3 horas acumuladas.



Fonte: Do autor

3.2.1 CMORPH (Técnica CPC MORPHING)

O CMORPH é uma técnica que produz estimativas de chuva global em resoluções temporais e espaciais elevadas. É derivado basicamente de sensores microondas a partir de satélites de órbita polar (tabela 2.1), propagados no tempo e no espaço por meio de sensores infravermelhos. As estimativas derivadas do microondas são geradas pelos algoritmos de FERRARO (1997) para o sensor SSM/I, FERRARO et al. (2000) para o sensor AMSU-B, e KUMMEROW et al. (2001) para o sensor TMI. Uma característica que destaca o CMORPH dos outros estimadores é sua flexibilidade, onde estimativas de precipitação de qualquer fonte a partir dos microondas pode ser incorporada, demonstrando ser útil e fundamental no futuro onde um número cada vez maior de satélites de órbita polar estará em órbita. A estimativa de chuva CMORPH é disponibilizada no formato binário "big_endian", contendo dois registros: comb e

cmorph. O primeiro refere-se à chuva derivada somente dos sensores microondas, e o segundo refere-se à chuva derivada do método CMORPH propriamente dito.

TABELA 2.1 SATÉLITES POLARES UTILIZADOS NO CMORPH.

Satélite	Sensor	Resolução espacial (km)	Altitude (km)
TRMM	TMI	4,6 x 6,9	402
DMSP F13	SSM/I	13,0 x 15,0	830
DMSP F14	SSM/I	13,0 x 15,0	830
DMSP F15	SSM/I	13,0 x 15,0	830
NOAA 15	AMSU-B	13,0 x 15,0	830
NOAA 16	AMSU-B	13,0 x 15,0	830
NOAA 17	AMSU-B	13,0 x 15,0	830

Fonte: JOYCE et al. (2004)

A tabela 2.2 apresenta de forma resumida as principais características obtidas através dos sensores microondas, que por sua vez são incorporados a técnica do produto CMORPH.

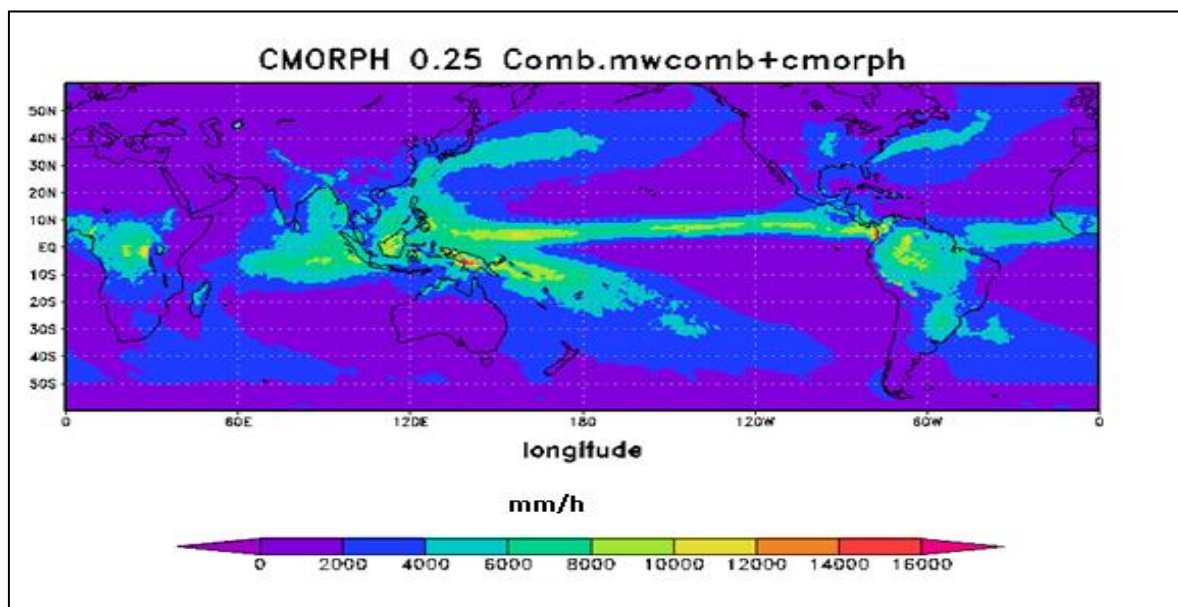
TABELA 2.2 CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO CMORPH

Estimativa de chuva através da técnica CMORPH	
Resolução da grade	0,25°
Resolução temporal	30 minutos
Domínio Global	(60N-60S)
Período de registro	Dezembro/2002 - Presente

Fonte: CPC-NOAA (2004)

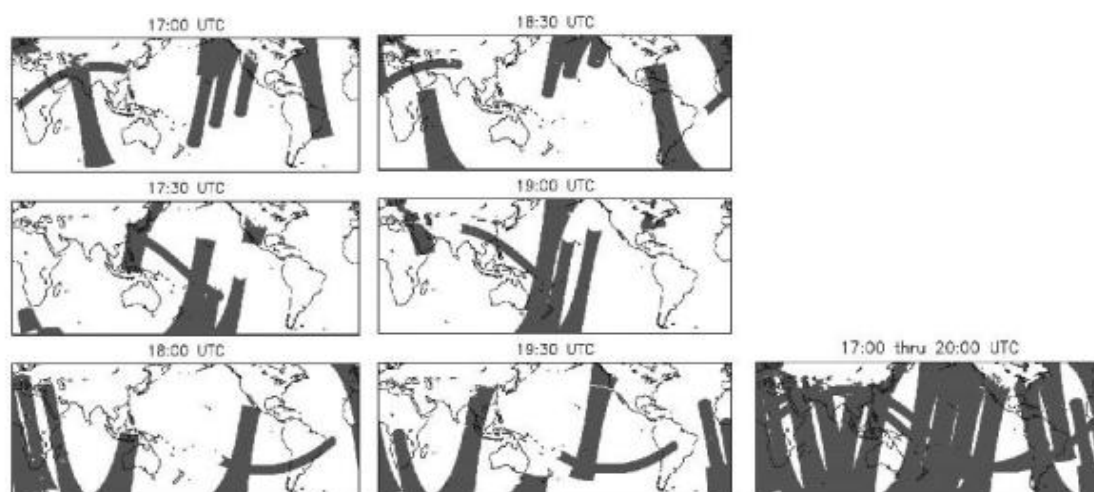
A figura 7 ilustra o exemplo do produto gerado pelo estimador CMORPH. A combinação das variáveis microondas combinadas com a técnica cmorph, é estabelecida a fim de obter estimativas mais precisas de chuva. Nota-se que para este exemplo, toda grade é preenchida, uma vez que foi obtido um intervalo de tempo diário.

Figura 7-Exemplo do produto CMORPH de estimativa de chuva por satélite.



A figura 8 Corresponde a ilustrar as varreduras dos sete satélites de órbita polar utilizados no CMORPH para intervalos de meia-hora consecutivos. Na última coluna é mostrada uma composição de todas as varreduras resultantes em um período de três horas.

Figura 8- varreduras na área 50N-50S através da passagem dos sete satélites utilizados no CMORPH, e a resultante final das três horas.



Fonte: JOYCE et al. (2004)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

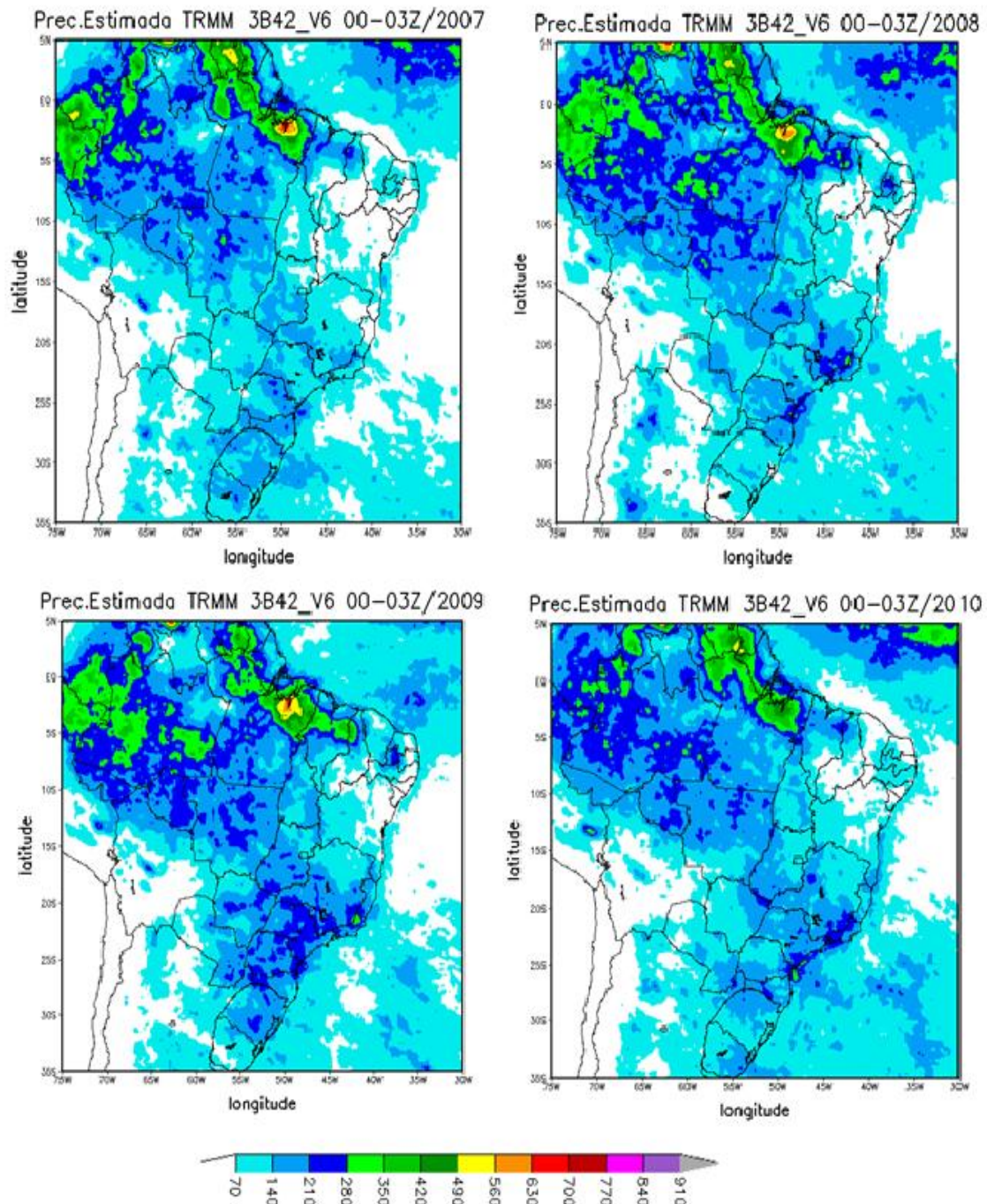
5.1 PROBLEMAS ENCONTRADOS

A princípio a idéia inicial seria abranger apenas o limite territorial para a região de estudo, Belém, porém observou-se no decorrer dos resultados que a técnica Cmorph não conseguia representar de forma coerente a precipitação ocorrida nos horários da região. Diferentemente do satélite TRMM, este por sua vez conseguiu mostrar a chuva acumulada ocorrida a cada intervalo de três horas. Dessa forma, para efeito comparativo entre as duas estimativas, optou-se por fazer uma seleção de grade maior a fim de mostrar que não apenas para Belém, mas sim para grande parte da América do Sul a técnica CMORPH não consegue simular a chuva.

5.1.1 Análises para estimativa obtida através do TRMM

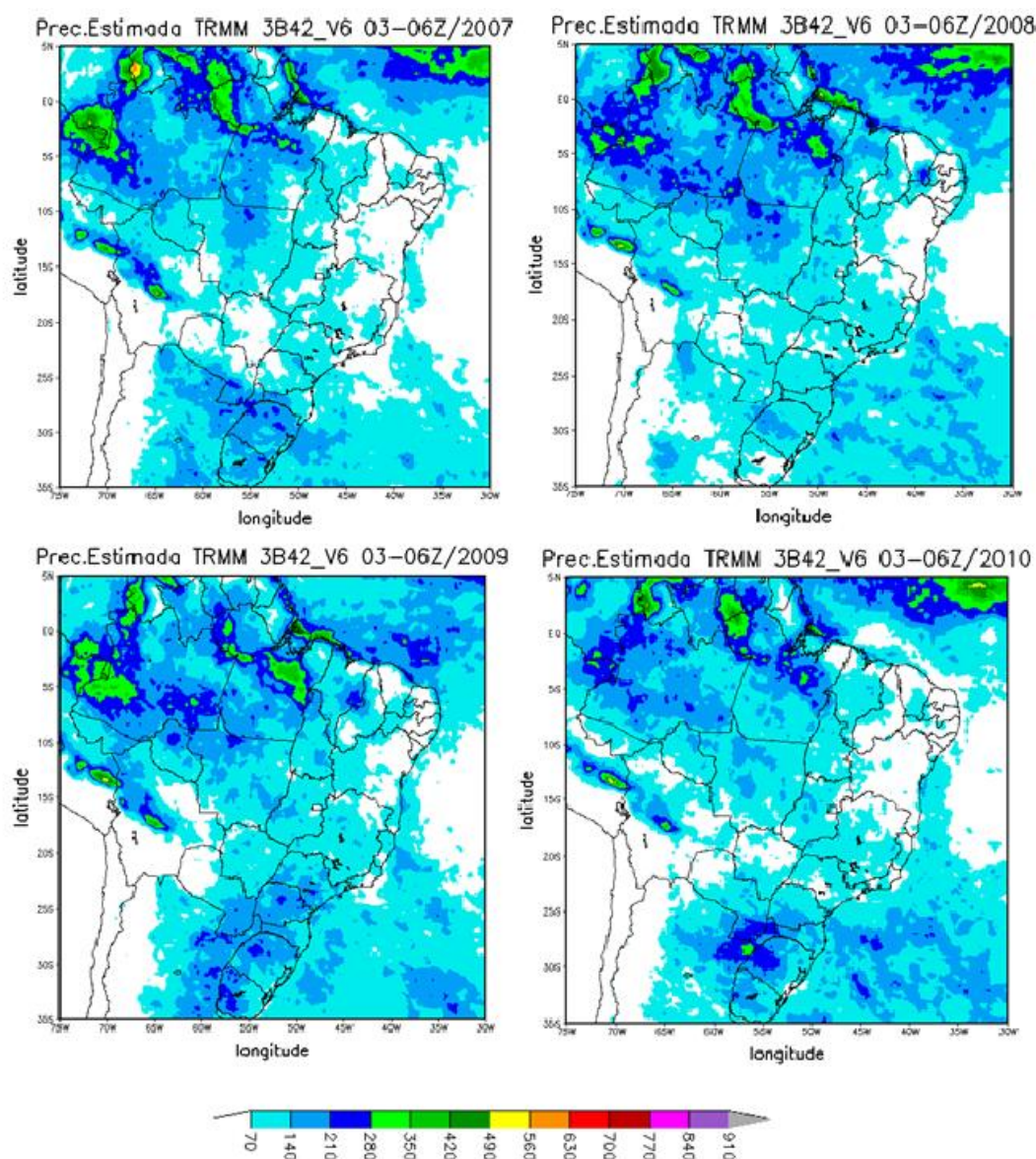
A figura 9 mostra a estimativa de precipitação derivada do algoritmo 3B42_V6 do satélite TRMM conforme foi descrito anteriormente. A figura mostra o quantitativo anual de precipitação acumulada para o ano de 2007, simulada através do satélite, referente ao horário entre 00-03UTC. Observa-se para este ano o satélite registra maior acumulado de chuva, quando comparado com o mesmo horário dos demais anos analisados. Para a figura correspondente ao ano de 2008, observa-se maior concentração de volume de chuva para região Amazônica e uma ligeira diminuição para Belém, quando comparados com o mesmo horário do ano anterior. Vale ressaltar que 2007 e 2008 apresentaram eventos de LA NINA, evento este responsável pela intensificação do volume de chuva na Amazônia. Para os anos de 2009 e 2010 o satélite TRMM registra uma diminuição do acumulado anual, em relação aos anos anteriores. Essa diminuição pode está associado ao registro do evento de EL NINÕ, acontecido em 2009 e 2010, classificado na escala de intensidade moderada. De modo geral a síntese para os quatros anos analisados através do TRMM para o horário da 00-03 UTC, é que o mesmo registra maiores acumulados de chuva na costa norte da América do Sul e oeste do Amazonas.

Figura 9- Precipitação acumulada anual medida através do satélite TRMM, para o horário da 00-03UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade (mm/h)



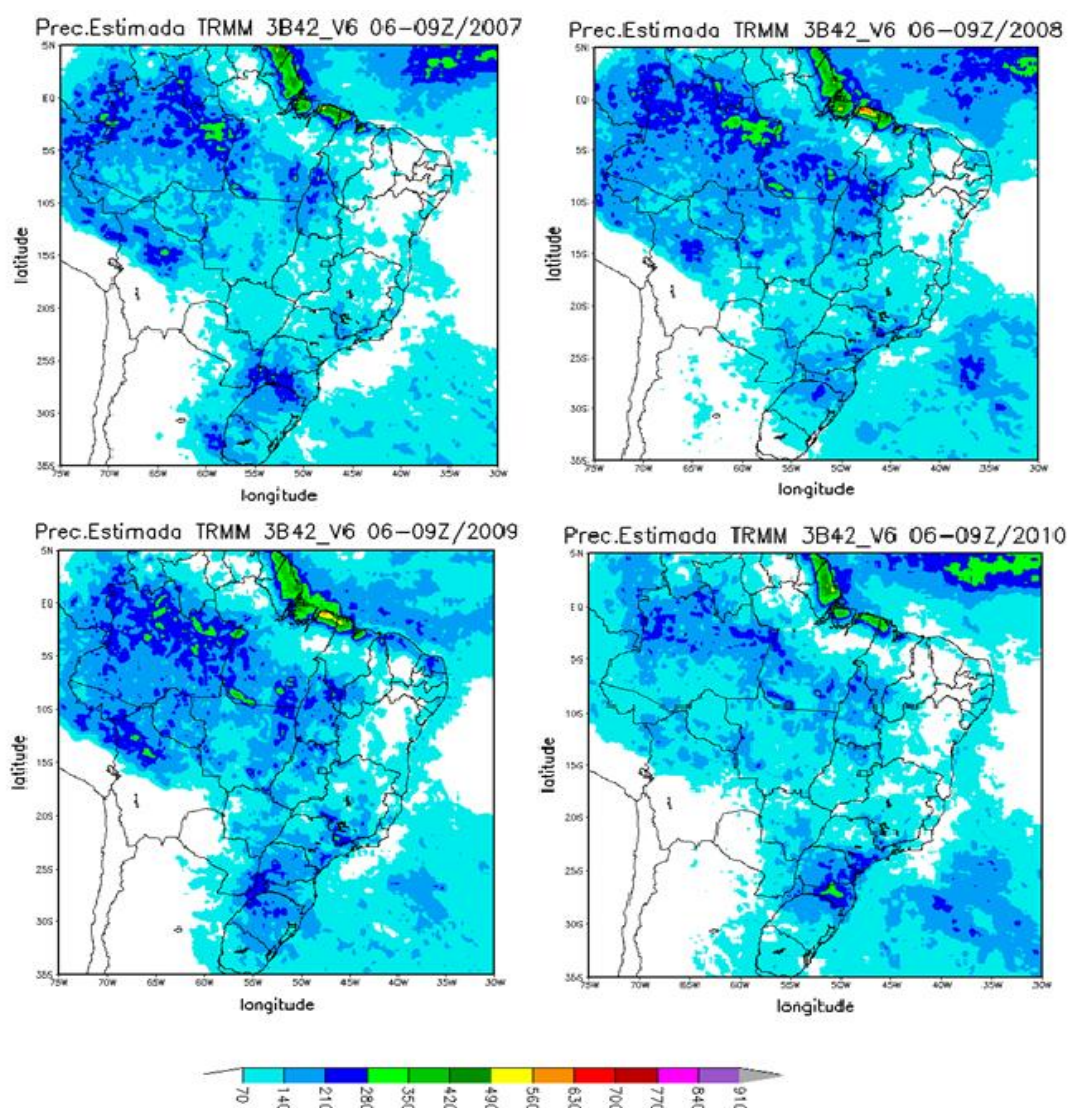
A figura 10 se refere à precipitação acumulada para o horário entre 03-06 UTC. Pode-se inferir que para esse horário o satélite TRMM registra baixo valores de precipitação para Belém. O quantitativo anual acumulado estimado pelo satélite, para os quatros anos analisados, está abaixo de 70 mm^{-1} , com exceção de 2009 que chega a totalizar valores entre 70 e 140 mm^{-1} . Logo, para esse horário 03-06UTC, (00:00 e 03:00 HL) pode-se inferir que o estimador TRMM não interpreta condições locais em superfície, favoráveis a intensificação da precipitação.

Figura 10- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 03-06UTC para os anos de 2007, 2008 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



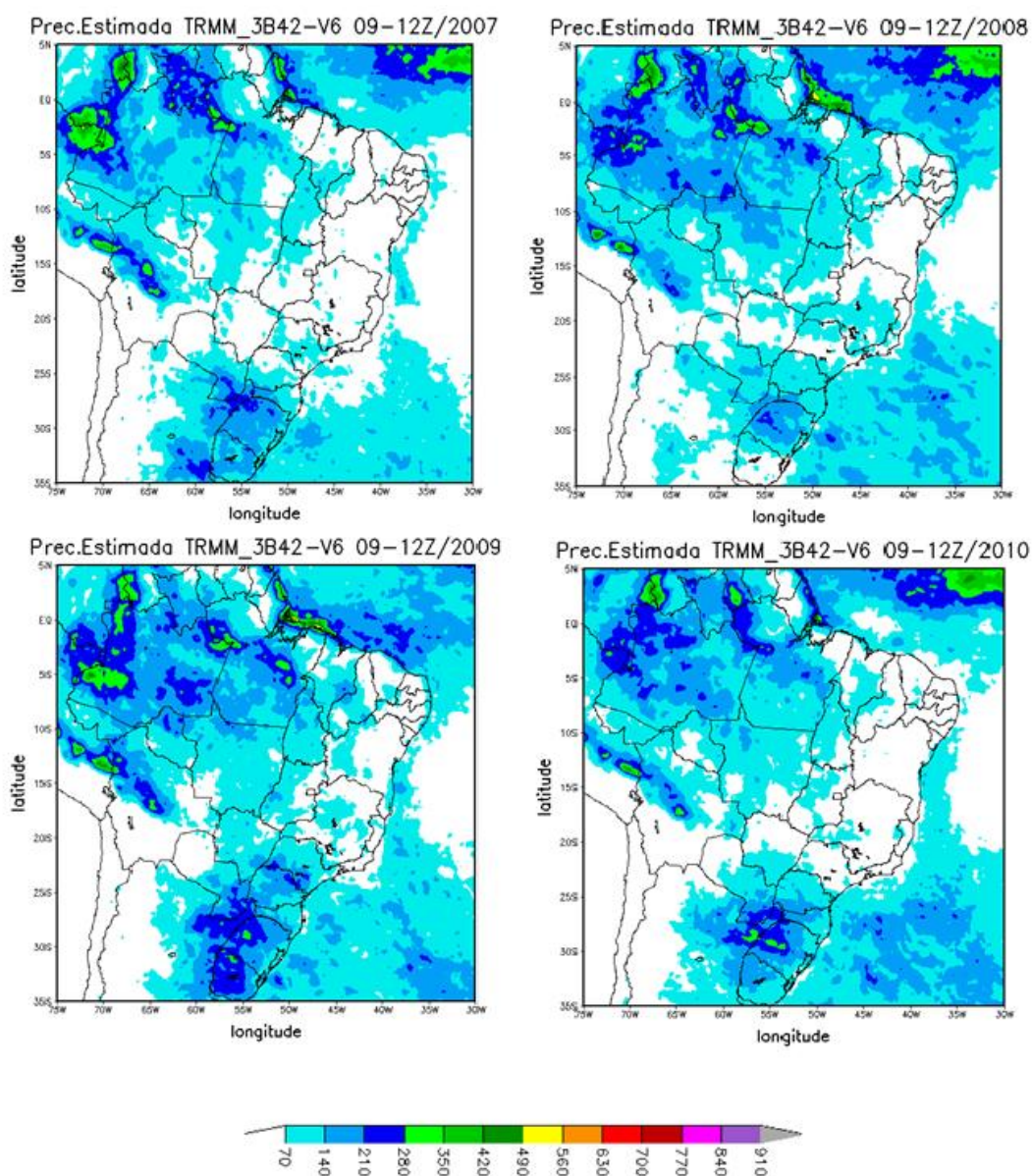
A figura 11 mostra a precipitação estimada pelo satélite TRMM para o horário de 06-09UTC. Para esse horário observa-se que ocorre um relativo aumento de precipitação em relação ao quantitativo das três horas anterior. De forma que o estimador registra chuva de 140 mm^{-1} anual, para todos os anos posteriores analisados. Dessa forma os resultados simulados através do estimador TRMM, sugerem que para o período da madrugada, Belém por possuir localização costeira, está sob influência de circulações marítimas, esse regime marítimo segundo Cláudia et al(2006) é caracterizado por um máximo de precipitação durante a noite e primeiras horas da manhã, quando o ar marítimo é mais instável.

Figura 11- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 06-09UTC para os anos de 2007, 2008 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



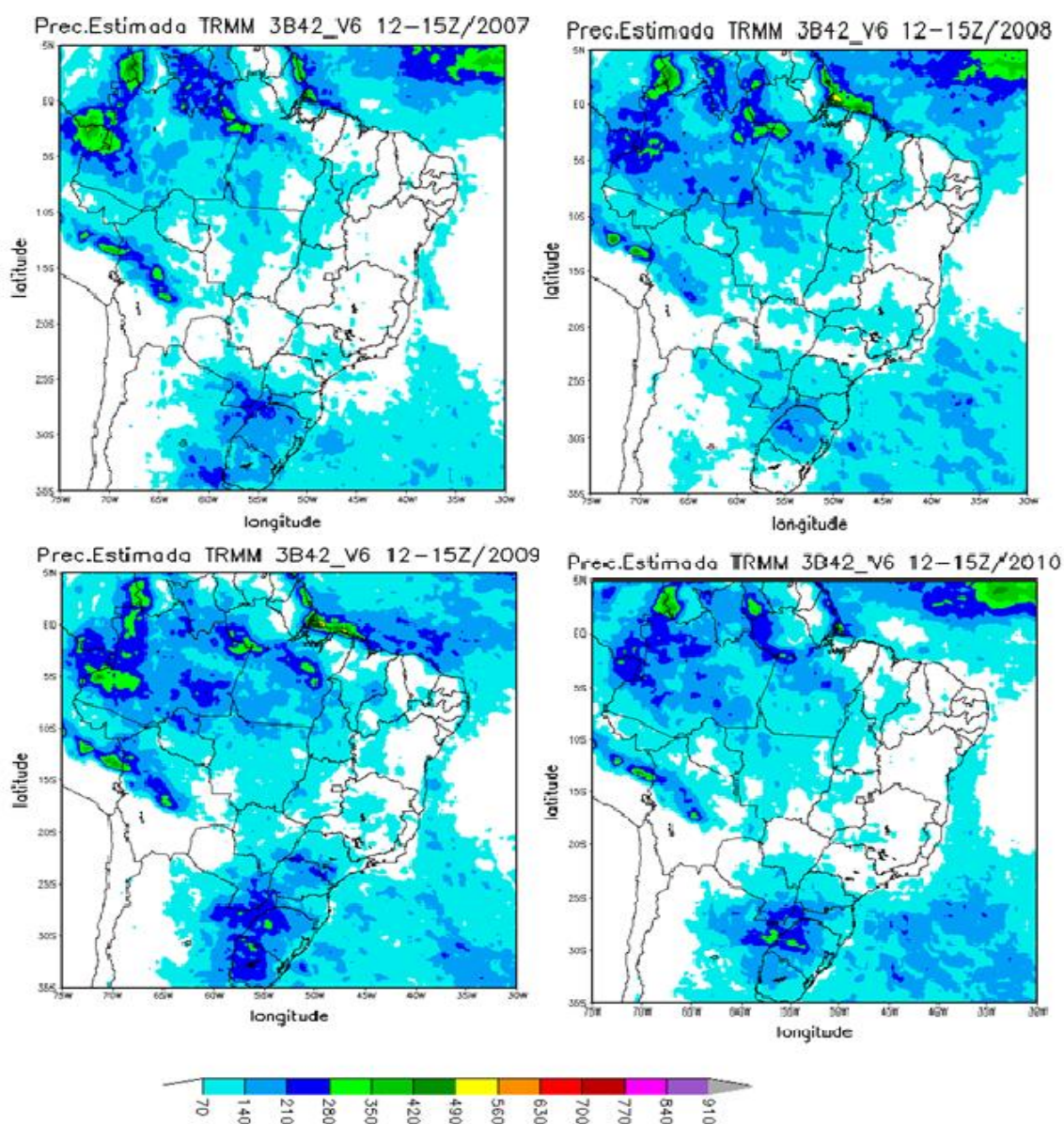
A figura 12 mostra a precipitação estimada pelo satélite TRMM para o horário das 09-12UTC. Para este horário verifica-se que o estimador de chuva registra valores abaixo de 70 mm^{-1} , para todos os anos observados em Belém. Esse resultado apresentado pelo estimador, sugere dizer que no período da manhã em Belém, quando apresenta um gradativo aquecimento na superfície, quase não há registro de precipitação. Porém a chuva que acontece é influenciados por sistemas de grande escala como a zona de convergência intertropical (ZCIT).

Figura 12- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 09-12UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



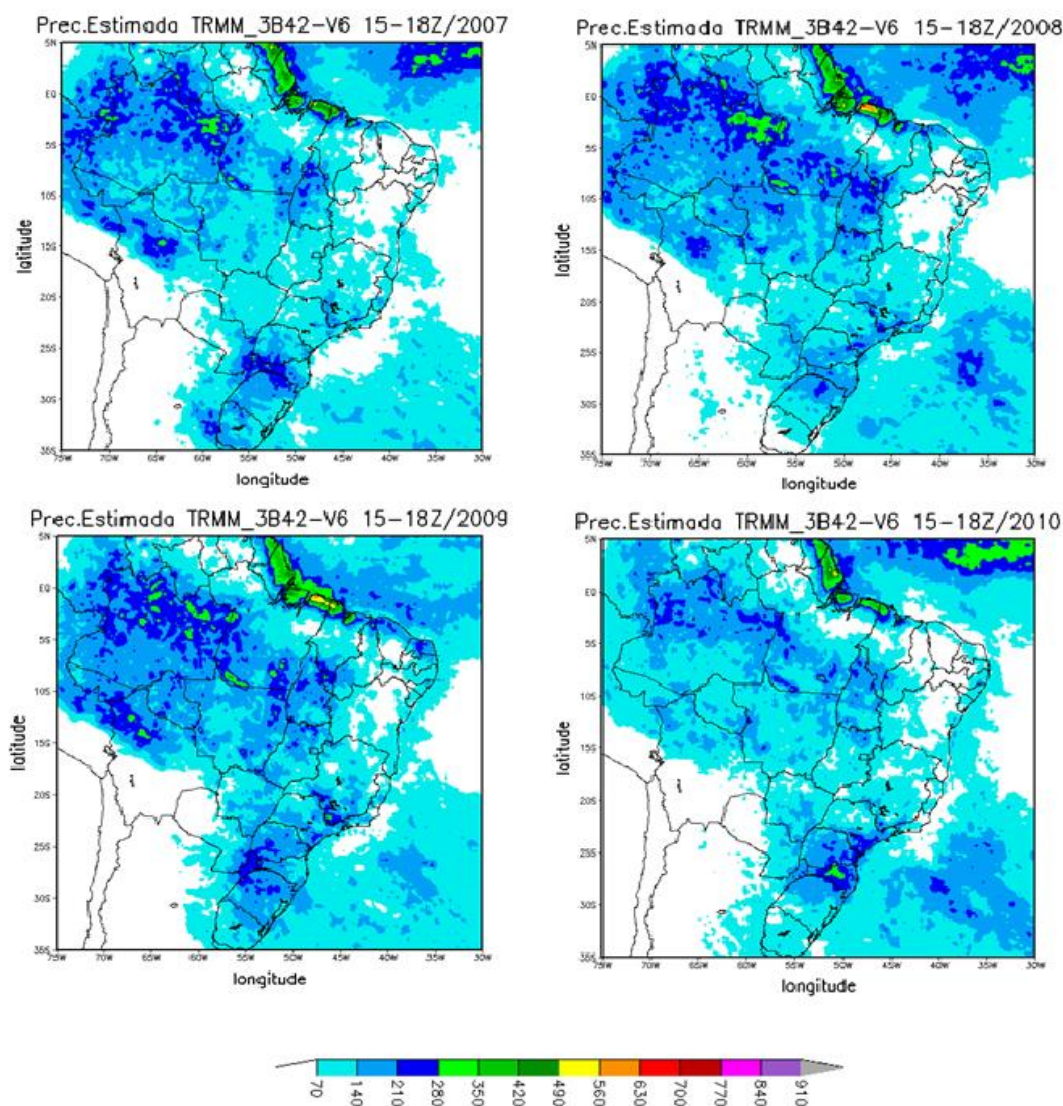
A figura 13 mostra a precipitação estimada pelo satélite TRMM para o horário das 12-15UTC. Observa-se que para esse horário os quatros anos analisados mostram que o total anual de precipitação está abaixo de 70 mm^{-1} , mantendo os mesmos valores das três horas anteriores. Pode-se dizer que o estimador TRMM para o horário matutino registra pequeno ou nenhum volume de precipitação para Belém. A precipitação ocorrida nesse período deve estar associado a atuação dos sistemas de grande escala como ZCIT e entrada de sistemas frontais a exemplo das ZCAS.

Figura 13- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 12-15UTC para os anos de 2007, 2008 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



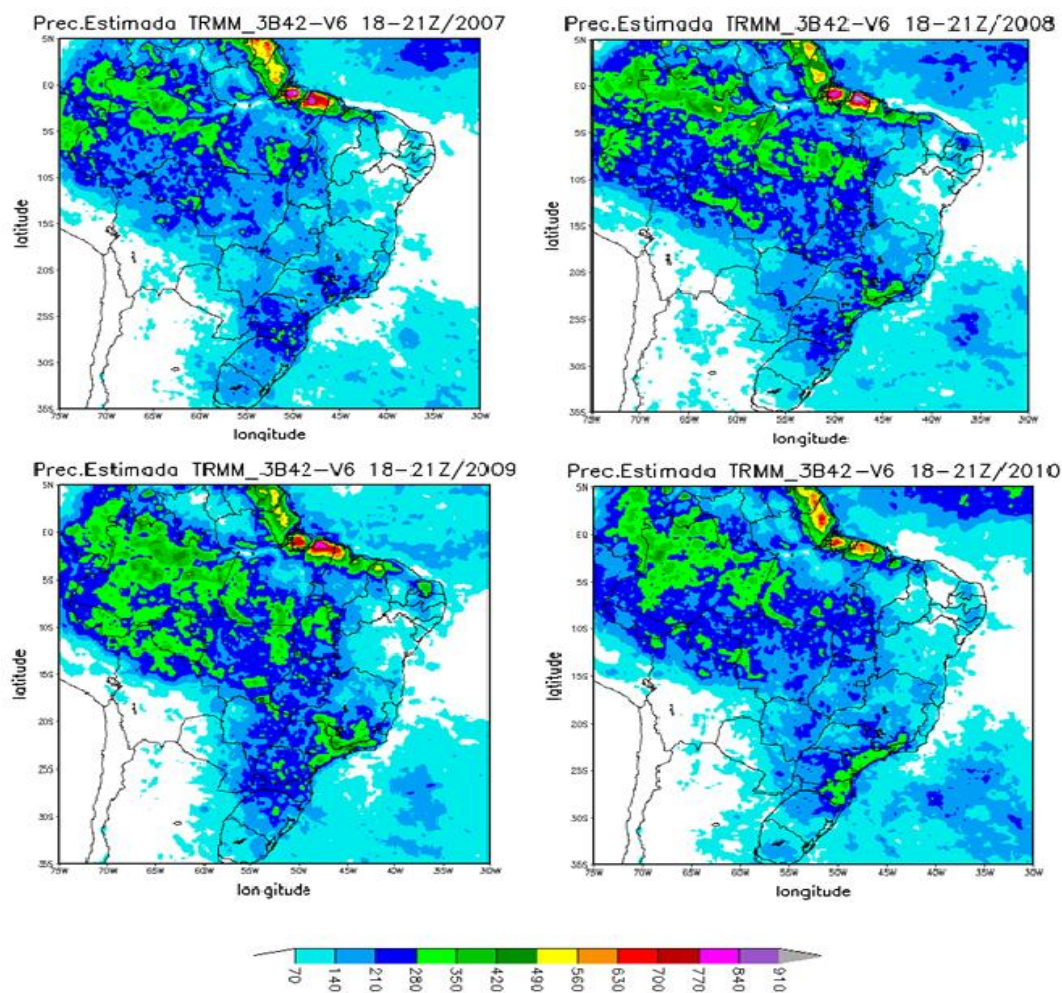
A figura 14 mostra a precipitação estimada pelo satélite TRMM para o horário das 15-18UTC. Observa-se que para este horário o estimador TRMM registra maior quantitativo acumulado anual de chuva, para os quatros anos analisados. A estimativa mostrada pelo satélite pode estar relacionada a características locais, freqüentes neste período como: Baía do Guajará e urbanização da cidade. O ciclo diurno da chuva em Belém parece possuir regime marítimo. De acordo com Oliveira (1986), o sistema atmosférico que influencia diretamente na precipitação local é a ZCIT, principalmente na região costeira da Amazônia, atingindo cerca de 500 km continente adentro sendo que Belém é uma região afetada por tal sistema, devida sua posição geográfica estar em uma região costeira.

Figura 14- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 15-18UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



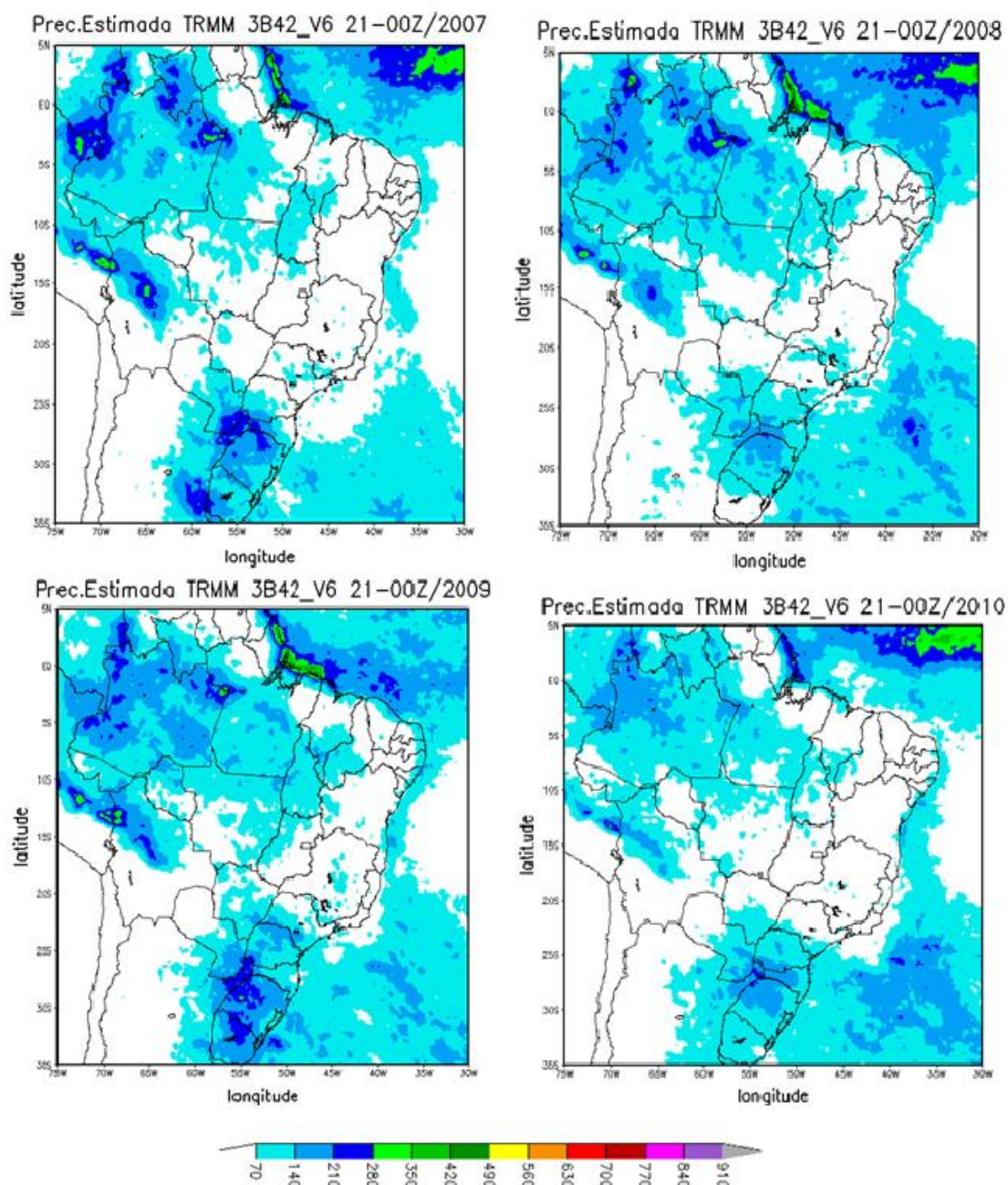
A figura 15 mostra a precipitação estimada pelo satélite TRMM para o horário das 18-21UTC. Para este horário verifica-se que a estimativa de precipitação mostrada pelo TRMM se destaca em relação aos outros horários apresentados. O período das 18-21UTC(15:00 18:00 HL) é o período onde se há um maior acumulado de chuva, para todos os anos analisados. A precipitação que ocorre no final da tarde estão relacionadas as linhas de instabilidade originadas na costa norte-nordeste do litoral do Atlântico e se propagam continente a dentro para o continente, atingindo diferentes escalas horizontais. Estudos feitos por Cohen et al. (1989) mostraram que cerca de 45% da precipitação no leste paraense decorra da ação de LI. Em micro escala, ou escala local, pode-se destacar a brisa marítima e a convecção diurna, que por sua vez acarretam em maior frequência de chuva no final da tarde e início da noite na região costeira do Norte do Brasil.

Figura 15- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 18-21UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



A figura 16 mostra a precipitação estimada pelo satélite TRMM para o horário das 21-00UTC. Para este horário verifica-se que o estimador registra baixos valores de precipitação para os quatros anos consecutivos. O resultado apontado para esse horário pode significar que o estimador interpreta de forma coerente o início do resfriamento da superfície, quando cessa a chegada de ondas curtas na atmosfera.

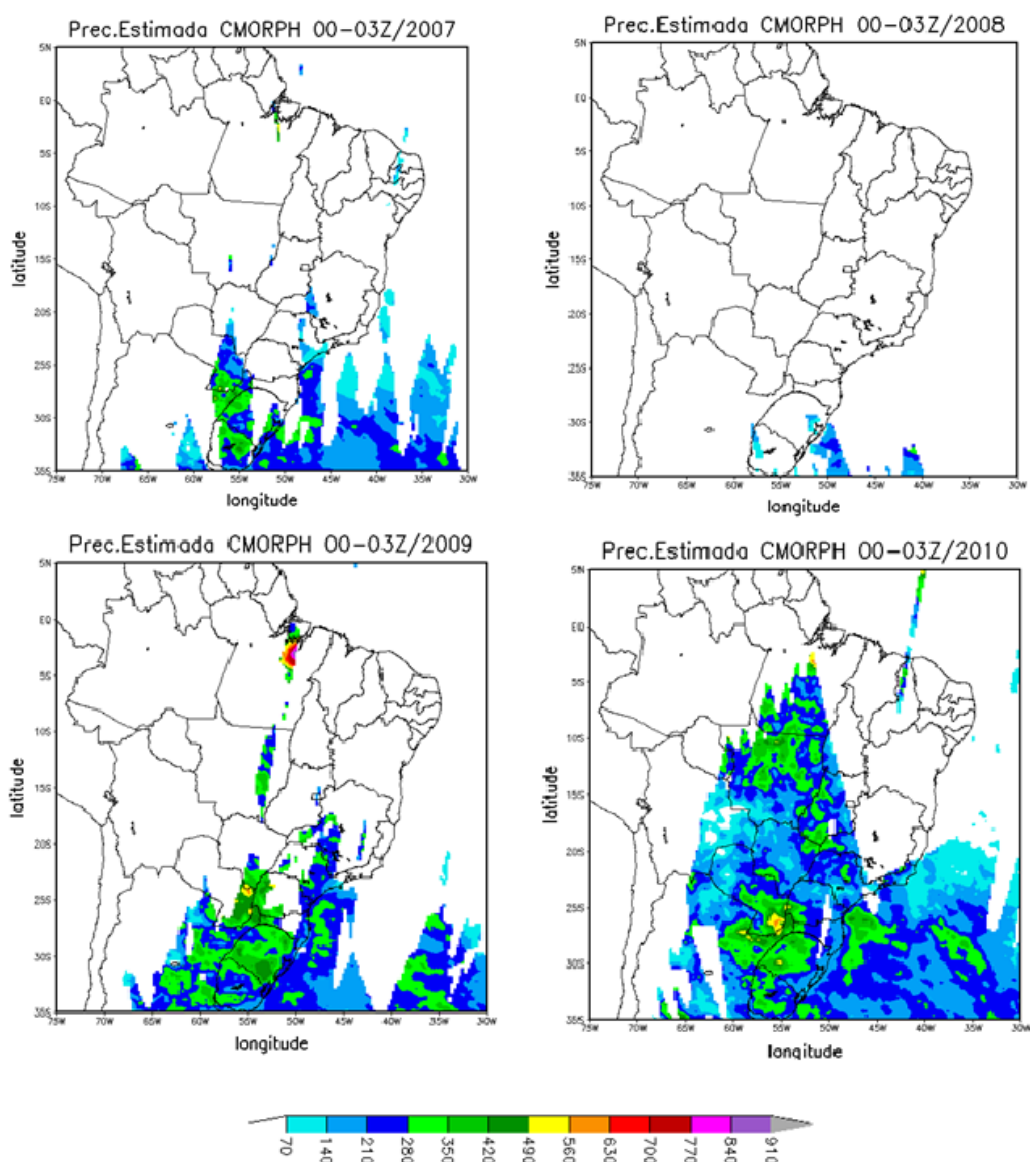
Figura 16- Precipitação acumulada anual medida através do TRMM para o horário das 21-00UTC para os anos de 2007, 2008, 2009 e 2010 expressa na unidade de (mm/h).



5.1.2 Análises para estimativa obtida através do CMORPH

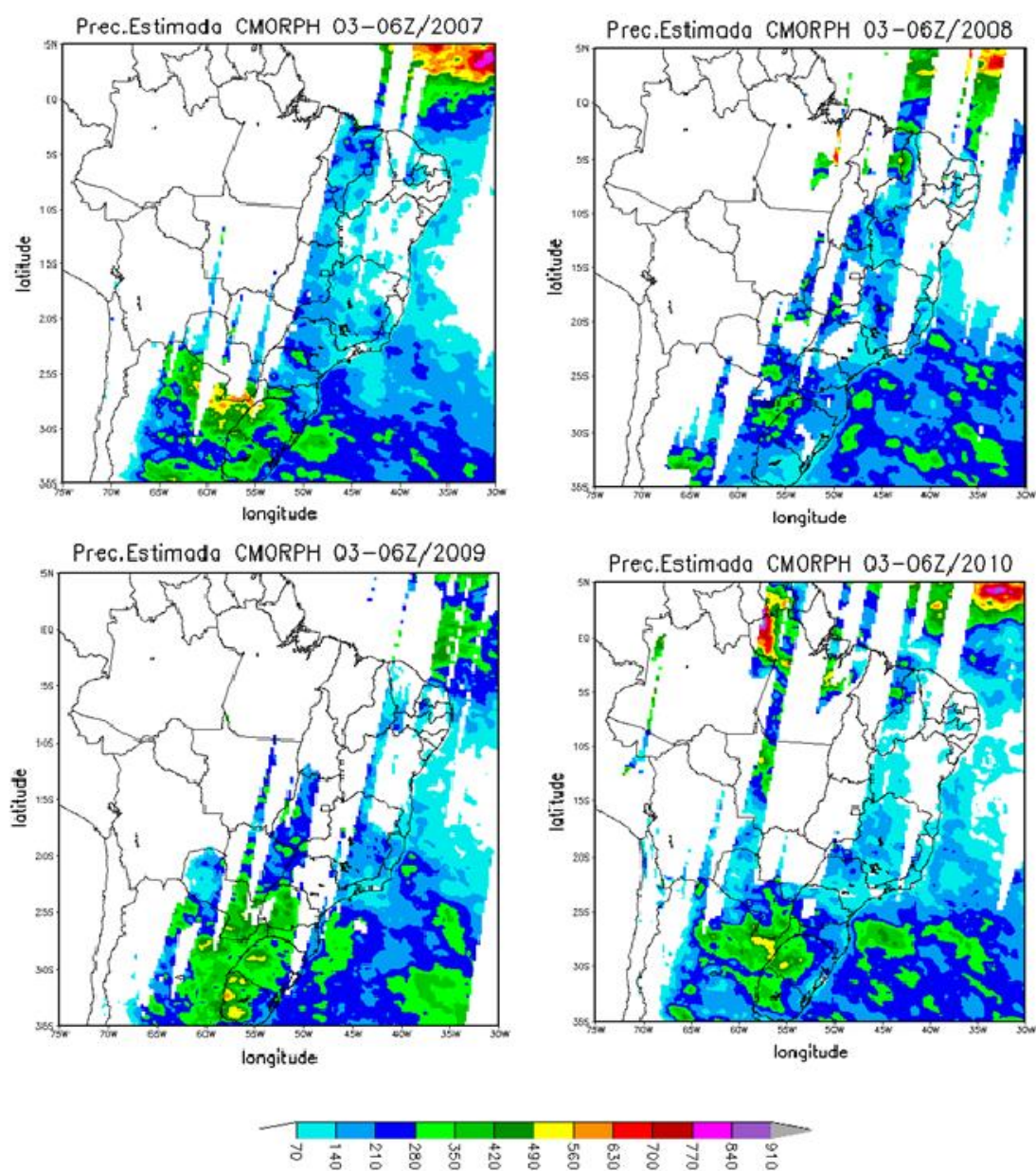
A figura 17 mostra estimativa de precipitação acumulada anual para cidade de Belém, no período de 00-03UTC. Verifica-se que técnica CMORPH não consegue representar toda grade, como o TRMM. Razão essa pela qual, fez-se necessário setar uma grade maior a fim de mostrar área onde realmente o Cmorph registra precipitação. Ressaltando que para este mesmo horário, o TRMM estimou precipitação para os quatro anos analisados, o que não pode ser observado pelos resultados da técnica CMORPH.

Figura 17- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário da 00-03UTC.



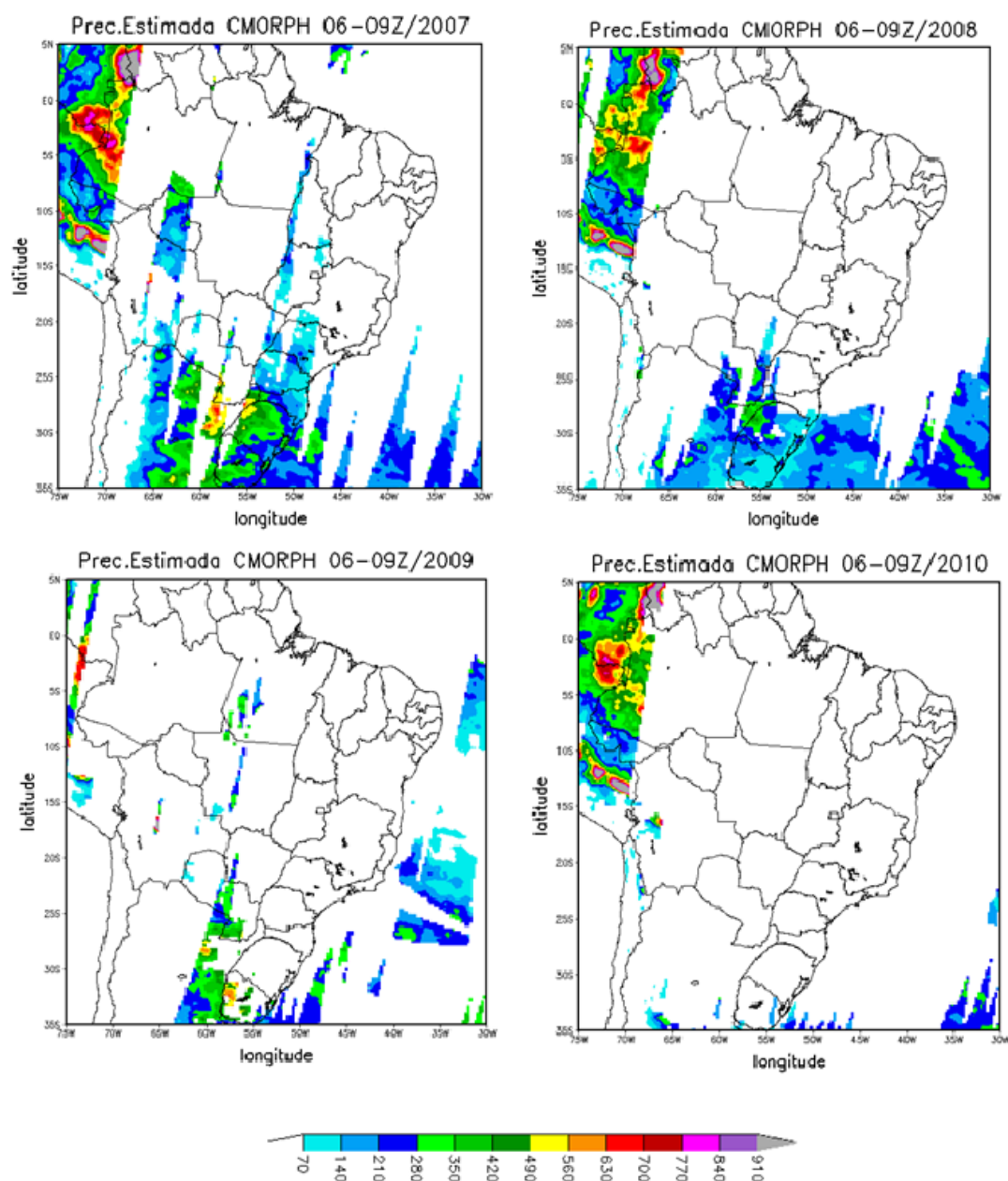
A figura 18 mostra estimativa de precipitação acumulada anual para cidade de Belém, no período de 03-06UTC. Observa-se que para este horário a estimativa Cmorph já consegue registrar mais áreas onde ocorre precipitação, quando comparado com as três horas anteriores; além de mostrar uma concentração de chuva para o referido horário para os quatros anos analisados mais nos oceanos tropicais. Para região de Belém, o estimador CMORPH não chega a registrar chuva para nenhum dos anos estudados.

Figura 18- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 03-06UTC.



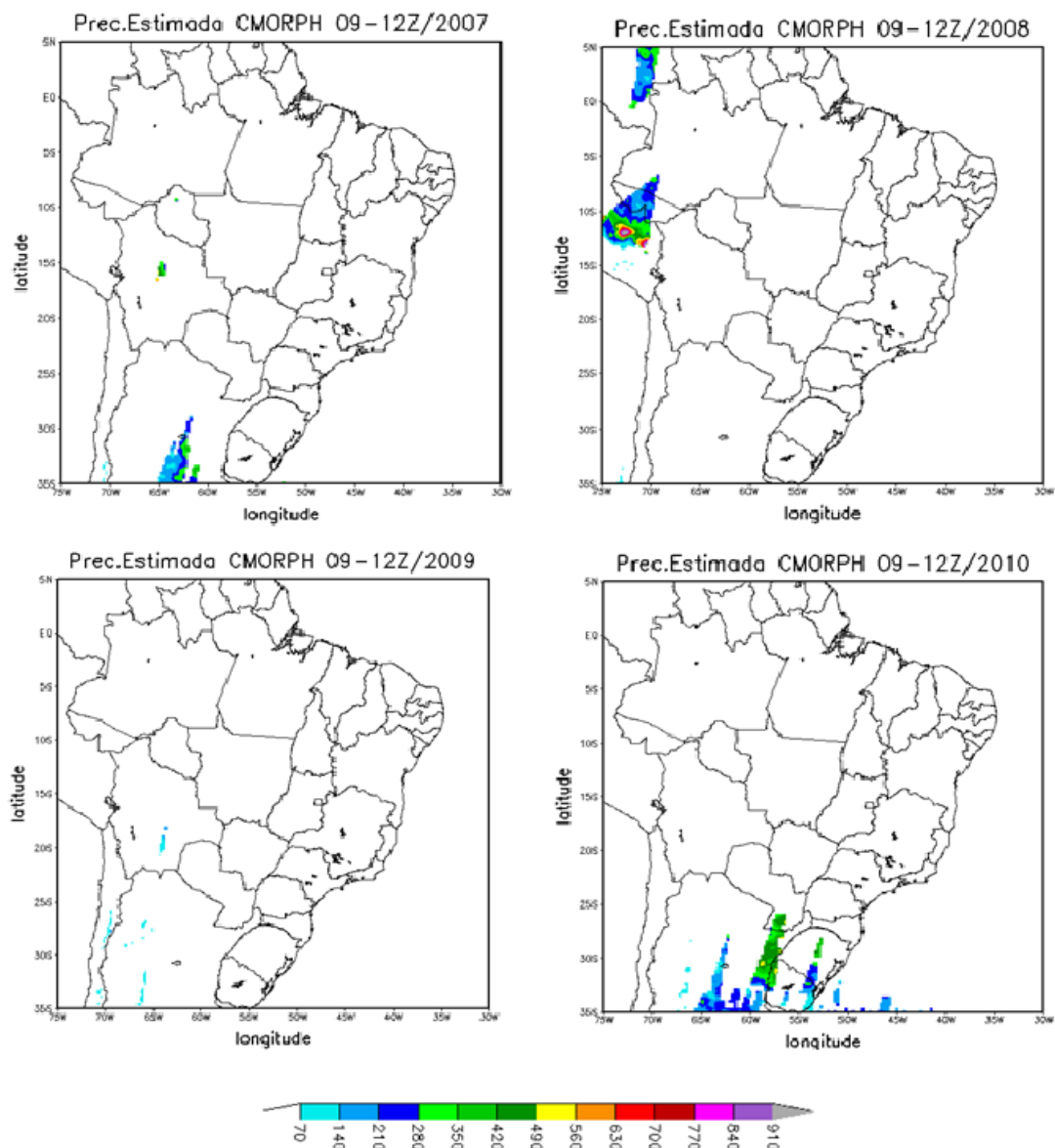
A figura 19 mostra estimativa de precipitação acumulada anual para cidade de Belém, no período de 06-09UTC. Para este horário observa-se que durante a passagem realizada pelos sete satélites utilizados pela técnica Cmorph, as varreduras estão concentradas mais na porção oeste do Amazonas, que pode ser verificado a todos os anos consecutivos analisados. Porém para área de Belém, novamente se mantém a ausência de registro de chuva.

Figura 19- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 06-09UTC.



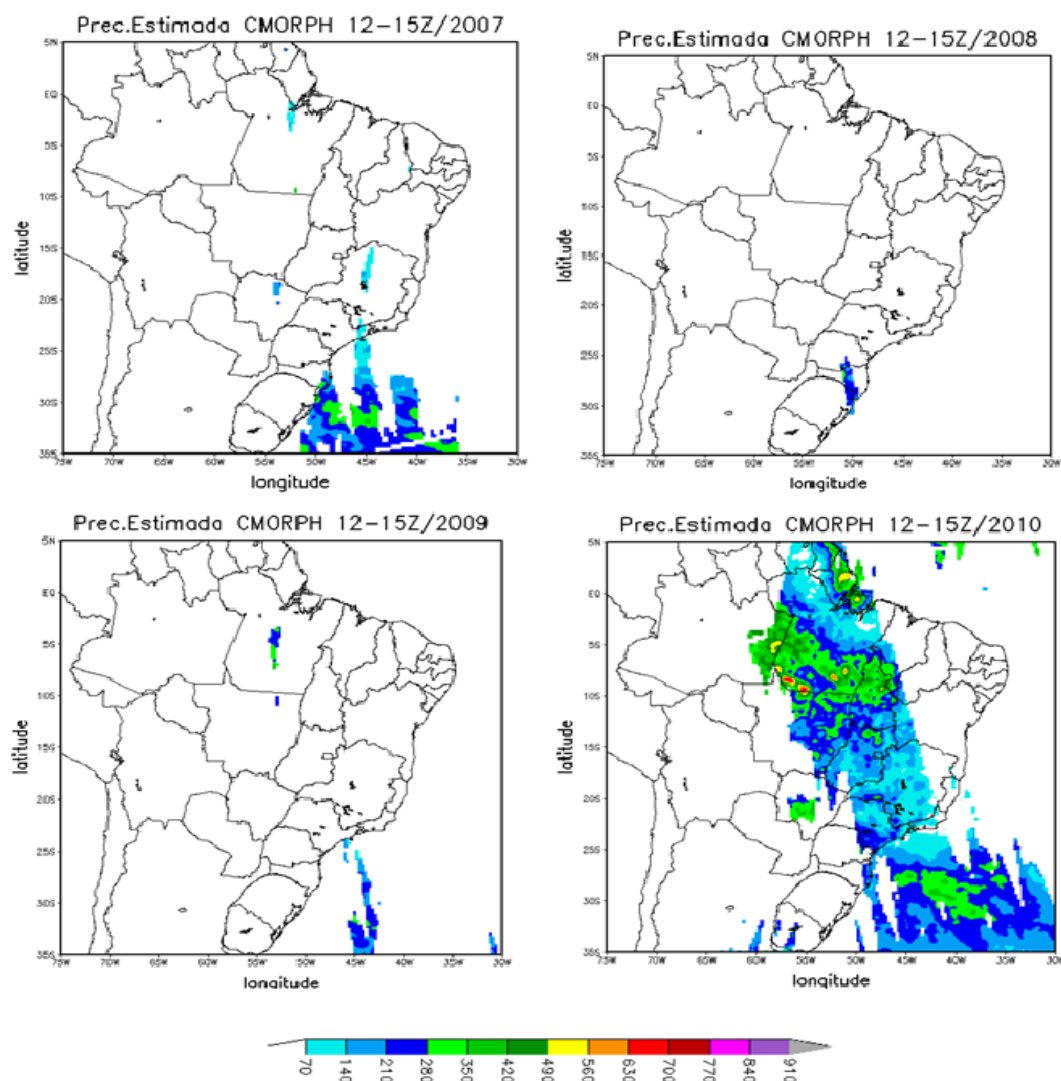
A figura 20 mostra estimativa de precipitação acumulada anual estimada pelo Cmorph, com foco para cidade de Belém, no período de 09-12UTC. Observa-se que para este horário a passagem dos satélites, utilizados na técnica Cmorph não estima chuva para grande parte da grade. No caso particular de Belém é possível interpretar que a estimativa CMORPH, assim como a do TRMM apresentada para esse horário, pode estar coerente com o regime de chuva para este período, quando as duas registram valores abaixo de 70 mm/h.

Figura 20- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 09-12UTC.



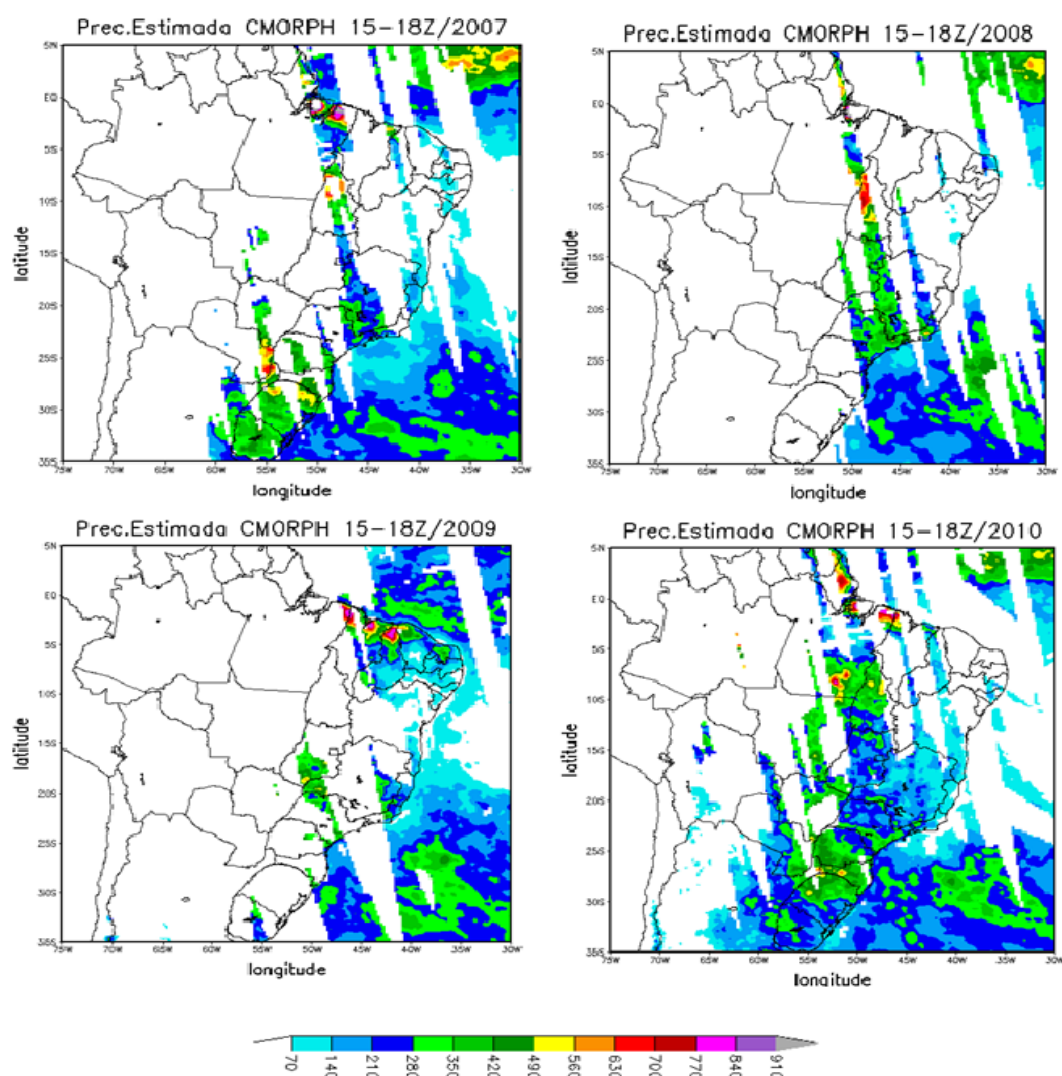
A figura 21 mostra estimativa de precipitação total anual estimada pelo Cmorph, com foco para cidade de Belém, no período de 12-15UTC. Para este horário verifica-se que a técnica Cmorph novamente não registra ocorrência de chuva para grande parte da grade, para os anos de 2007, 2008 e 2009, com exceção para o horário do ano de 2010, quando os satélites utilizados pela técnica Cmorph durante a varredura registram quantitativo de chuva para quase toda região Paraense, incluindo Belém, áreas centrais e sudeste do Brasil. A precipitação que está sendo representada para o ano de 2010 pode está associada com a atuação de sistema de grande escala a exemplo da ZCIT, presente no período chuvoso da região; ou ainda efeitos locais como urbanização e sistemas de brisa, tendo em vista que 2010 houve ocorrência do episódio de El Nino.

Figura 21- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 12-15UTC.



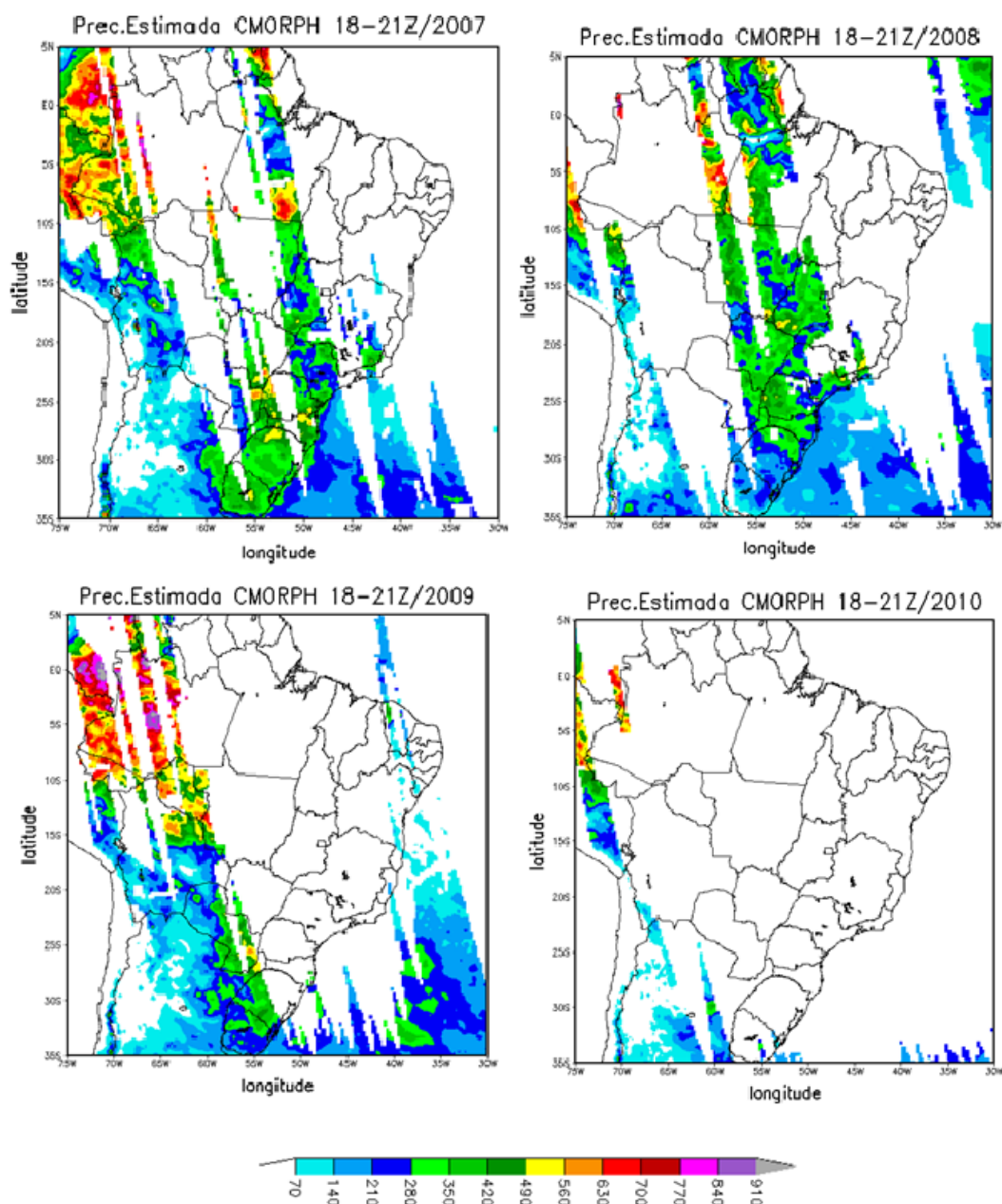
A figura 22 mostra estimativa de precipitação total anual estimada pelo Cmorph, com foco para cidade de Belém, no período de 15-18UTC. Para este horário a estimativa mostrada pela técnica Cmorph se mostra diferente para cada ano analisado, porém mantido o mesmo horário. Para o ano de 2007, a estimativa registra um quantitativo de chuva bem elevado para cidade de Belém, em torno de 910 mm/h, ultrapassando os valores registrados pelo TRMM, para o referido ano. Vale ressaltar que o ano de 2007 experimentou episódio de LA NINA, fenômeno este que intensifica a quantidade de Chuva na Amazônia, sobretudo Belém. Já para o anos posteriores 2008, 2009 e 2010 não há registro de chuva para Belém. Destacando 2008 que teve a persistência de LA NINA, porém a estimativa CMORPH, não conseguiu representar o volume de chuva, tão bem quanto em 2007.

Figura 22- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 15-18UTC.



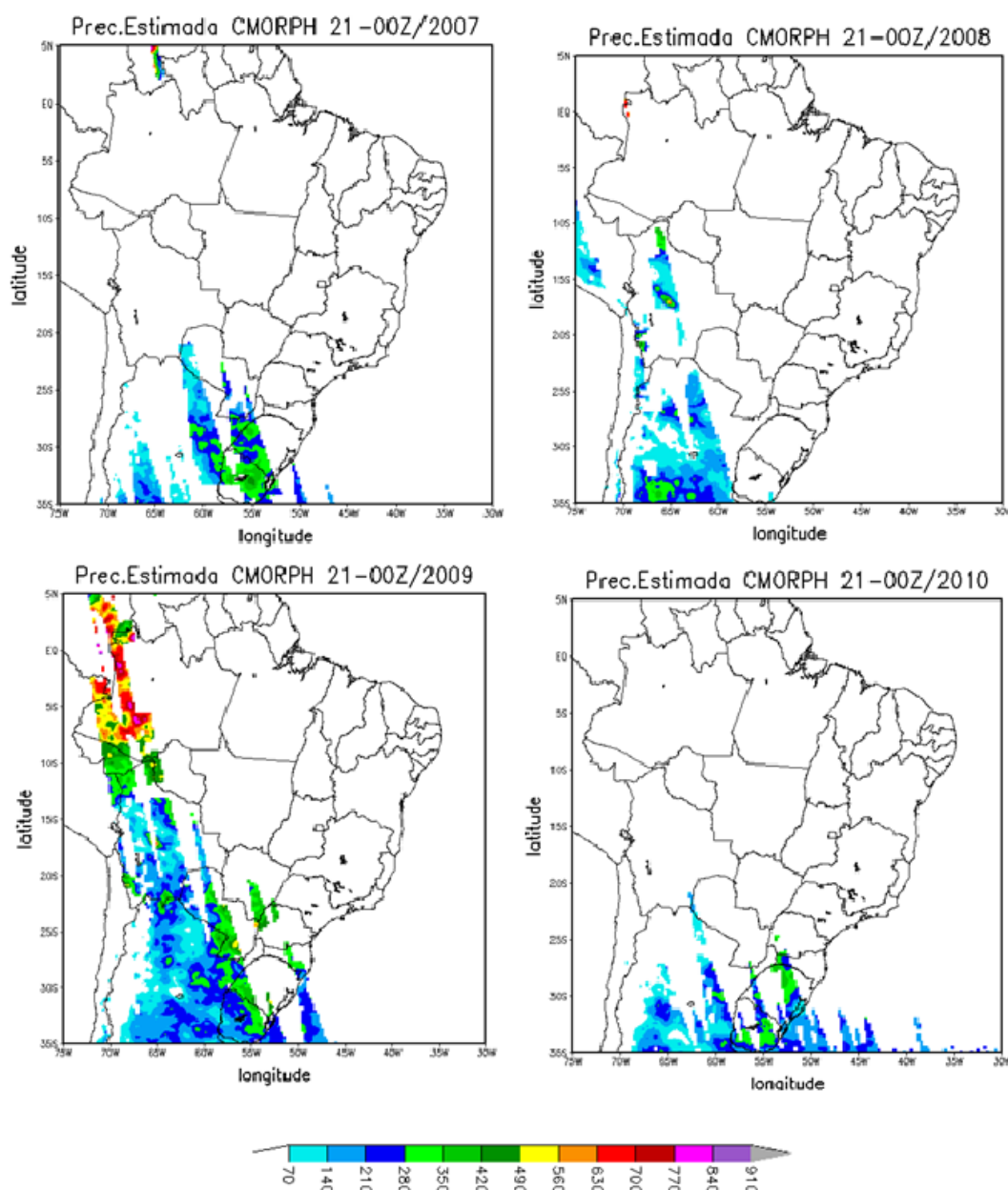
A figura 23 mostra estimativa de precipitação total anual estimada pelo Cmorph, com foco para cidade de Belém, no período de 18-21UTC. Para este horário observa-se que a estimativa Cmorph passa apenas por algumas regiões como metade do Pará, não incluindo Belém, região central e sudeste do Brasil. Isso é representado para os anos de 2007 e 2008. Já para 2009 o satélite usado pela técnica Cmorph passa apenas pela parte oeste da América do Sul e parte do nordeste brasileiro. Para o ano de 2010 quase não áreas com registro de chuva, inclusive Belém.

Figura 23- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 18-21UTC



A figura 24 mostra estimativa de precipitação total anual estimada pelo Cmorph, com foco para cidade de Belém, no período de 21-00UTC. Para este período observa-se que não registro de chuva para a maioria das regiões que estão dentro da grade, incluindo Belém. A análise dos quatros anos analisados representados pela técnica Cmorph sugere que para este horário não ocorre chuvas com frequência.

Figura 24- Precipitação acumulada anual obtida através da combinação das variáveis de microondas combinadas e CMORPH para o horário das 21-00UTC.



6 CONCLUSÃO

Os Resultados obtidos através de diferentes estimadores de precipitação, TRMM e CMORPH analisados e discutidos para cidade de Belém no período de 2007 a 2010, indicam que a passagem do satélite TRMM consegue melhor representar a ocorrência de chuva para Belém, quando comparado com o segundo estimador.

A Estimativa obtida através do satélite TRMM é capaz de representar a chuva quantitativamente, a partir de qualquer que seja a grade estabelecida. O que não é válido para a técnica CMORPH, já que os dados só conseguem preencher totalmente uma grade quando se obtêm o total diário, mensal ou anual. Dessa forma, se torna inviável trabalhar com dados acumulados a cada três horas. Razão essa pela qual, os resultados apontados neste estudo apresentaram apenas a passagem dos satélites usados no Cmorph, visto que se usaram apenas dados de um único horário a cada dia.

A partir do período de tempo diário, divididos em oito intervalos de três horas apresentados através da estimativa do TRMM, o intervalo que registrou maior ocorrência de chuva foi o das 18-21 UTC (15:00 e 18:00 HL), chegando a estimar valores entre 770 e 840 mm^{-1} , se destacando assim dos outros horários. Esse resultado corrobora com os estudos levantados por Cohen (1989) e Molion (1987). Vale ressaltar que embora esse resultado não seja representativo climatologicamente, o mesmo pode dispor de fundamental informação para diversas áreas influenciadas pela chuva.

Dentre os quatros anos analisados e discutidos, a estimativa CMORPH mostra o horário das 15-18 UTC como sendo de maior ocorrência de chuva, discordando com o TRMM. Porém, no caso do estimador cmorph esse resultado só é visto para o ano de 2007, ficando sem nenhuma representação para os demais anos.

6.1 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Aos interessados em dar prosseguimento na mesma linha do trabalho apresentado, como Pesquisadores, doutores e profissionais da área afim, fica como proposta realizar um estudo com o intuito de verificar a sazonalidade da região de Belém. Dessa forma, se torna possível fazer a relação do período onde ocorre maior ocorrência de chuvas, com o horário de maior frequência. Além disso, seria interessante estender o estudo da chuva através de estimativas para a Amazônia toda, tendo em vista tamanha a contribuição que os resultados podem apresentar para essa região tão influente no Brasil e no mundo.

Em relação aos dados do estimador CMORPH, sugere-se que se dispensem os dados horários e se faça uso de dados diários em diante. Por fim, é indicado que se obtenha dados medidos em superfície, a fim de comparar-los com os dados estimados por satélite.

REFERÊNCIAS

ANGELIS, C. de. **Análises dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrador de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos** - PRECIBRA. projeto de pesquisa. CPTEC. INPE, 2004.

ARAUJO, A.N. **Simulação hidrológica com o uso de chuva estimada por satélite**. 2006. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná, **Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental**, Curitiba, 2006.

BRAGA, R. H. M.; COHEN, J. C. P. Estudo de casos de linhas de instabilidade no Leste da Amazônia. Caso 1: linha de instabilidade marítima. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza – CE. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2004. 1 CD-ROM.

COHEN, J.C.P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. 1989. 174f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos 1989. (INPE–4865–TDL/376).

COLLISCHONN, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. 2006. 196f. (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2006.

CONTI, G. N. **Estimativa de precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: estudo de caso para o estado do Rio Grande do Sul**. 2002. 205f. Dissertação (mestrado) - IPH-UFGS.

GOBO, J.P.A. **Integração de dados de precipitação TRMM com índices de vegetação do modis para o monitoramento de estiagem na região sul do Brasil**. Santa Maria, 2010. 47p. (Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE)).

JOYCE, R.J.; JANOWIAK, J.E.; ARKIN, P.A.; XIE, P. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. **Journal of Hydrometeorology**, v. 996, n.5, p. 487-503. 2004.

KAGANO, M.T. **Um estudo climatológico e sinótico utilizando dados de radiossondagem (1968-1976) de Manaus e Belém**. 1979. 103 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1979. (INPE–1559–TDL/013).

KODAMA, Y.-M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **J. Meteor. Soc. Japan**, n.70, p.813-836. 1992

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L.C.; COSTA, A. C. L. da; RIBEIRO, J. T. Variabilidade da precipitação pluviométrica em Belém-Pará associada ao fenômeno "El Niño". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., 1992, São Paulo – SP. **Anais...** São Paulo: SBMET, 1992. p. 86-89.

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

MOLION, L.C.B.; Kousky, V.E. **Uma contribuição à climatologia da dinâmica da troposfera tropical sobre a Amazônia**. INPE, São José dos Campos, 1985. (INPE-3560-RPE/480)

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

NOBREGA, R.S. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM**. 2008. 213f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

RAMÍREZ, J.G.M. **Estudo de sistemas convectivos na Venezuela por meio de sensoriamento remoto com satélite**. 2007. 213 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2007.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A.R. **Meteorologia e aplicações**. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa – UFV, 1991. 449p.

