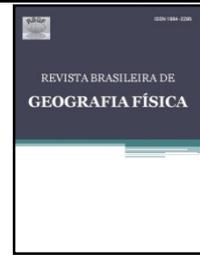




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## **Análise Quantitativa e Qualitativa Horária de Dados do Radar, TRMM e Estações Meteorológicas na Região Amazônica**

Giordani Sodré<sup>1</sup>, Luciano Borges<sup>1</sup>, Juarez Ventura<sup>2</sup>, Francisco Mello<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Pará-UFPA. Empresa Brasileira de Pecuária e Agricultura – EMBRAPA. Museu Paraense Emílio Goeldi.

Artigo recebido em 01/09/2012 e aceito em 22/12/2012

### **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma comparação entre os totais horários e mensais de precipitação observada, estimada por radar e *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) para as cidades de Santarém, Pará (-2°26'35''S e -54°42'30''W) e Macapá, Amapá (00°02'20''N e -51° 03'59''W). Para a análise dos produtos gerados por radar foi utilizado linguagem Fortran para a conversão em arquivos binários e depois submetidos a relação de Z-R para precipitação convectiva e em seguida confrontados com os registros de precipitação obtidos pelo sensor do TRMM e estações de superfície. Foi estudado o Padrão da Precipitação (PRP) nos horários de atividade convectiva mais intensa na região amazônica e o seu comportamento no acumulado mensal compreendendo o período chuvoso e seco. Os instrumentos obtiveram registro da precipitação de forma parecida, onde os máximos e mínimos tiveram a mesma localização espacial, porém houve superestimativas por parte do radar e subestimativas da precipitação por parte do TRMM.

Palavras-chave: precipitação, radar meteorológico, TRMM.

## **Quantitative and Qualitative Analysis Hourly Data Radar, TRMM and Weather Stations in the Amazon Region**

### **ABSTRACT**

This paper presents a comparison between the total hourly and monthly observed precipitation estimated by radar and Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) to the city of Santarém, Pará (-2°26'35"S and 54°42'30"W) and Macapá, Amapá (00°02'20"N and -51°03'59"W). For the analysis of the products generated by radar was used Fortran for conversion to binary and then subjected to ZR relationship for convective rainfall, and then faced with the precipitation records obtained by the sensor of the TRMM and stations surface. The rainfall pattern (PRP) at times of intense convective activity over the Amazon region and its behavior in the monthly cumulative comprising the period rainy and dry were studied. The instruments recorded rainfall with similar results, where the maxima and minima have the same spatial location, but there was overestimation by the radar and underestimates the precipitation from the TRMM.

Keywords: precipitation, weather radar, TRMM.

### **Introdução**

O clima da região Amazônica é uma combinação de vários fatores, sendo que o mais importante é a disponibilidade de energia solar, através do balanço de energia. A Amazônia, situada na região entre 5 N e 10 S recebe no topo da atmosfera um valor máximo em Dezembro/Janeiro e um valor mínimo em Junho/Julho (Salati & Marques, 1984). A convecção na região amazônica é um

importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical e sua variação, em termos de intensidade e posição, possui um papel importante na determinação do tempo e clima desta região (Fisch et al., 1998). Na região costeira (no litoral do Pará ao Amapá), a precipitação também é alta e sem período de seca definido, devido a influência das linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa litorânea durante o período da tarde e que são forçadas espacial e temporal das chuvas na Amazônia foi detalhadamente estudada por

\* E-mail para correspondência: [rafaelsodre2009@hotmail.com](mailto:rafaelsodre2009@hotmail.com).

Figuerola & Nobre (1990), utilizando-se de 226 estações pluviométricas; por Marengo (1995), que usou dados de convecção (Radiação de Onda Longa) do *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) e também por Paiva & Clarke (1995). A Amazônica oriental possui grande variação no espaço e tempo no que tange a pluviometria tropical (Souza et. al., 2009) e atividade convectiva. Nessa região registra-se um amplo banco de dados de várias variáveis de tempo e clima distribuído espacialmente (Dallarosa et al., 2005). Entretanto, pouco se sabe sobre a estrutura espacial e climatologia dos sistemas convectivos obtida a partir de dados de radar Meteorológico, ou seja, dados com registro de 12 em 12 minutos, e comparação destes à dados do TRMM e estações de superfície.

O *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) é formado por diversos os produtos de estimativa de chuva resultantes da uma missão para o melhoramento da estimativa da precipitação por sensoriamento remoto (Kummerow et al., 1998), que são processados pelo *TRMM Science Data and Information System* (TSDIS) e disponibilizados operacionalmente pelo *Gooddard Distributed Active Archive System* (DAAC). Os produtos 3B42 e 3B43 disponibilizam estimativas de chuva com resolução espacial de  $0,25^\circ$ , sobre a banda de latitude  $50^\circ\text{N-S}$ , com resolução temporal das mais variadas. Esses produtos utilizam combinações de diferentes fontes com a finalidade de obter estimativas mais precisas de chuva. Chokngamwong & Chiu (2004) compararam os produtos 3B42 e 3B43 com dados de uma rede pluviométrica na Tailândia, numa resolução de  $1^\circ \times 1^\circ$ , contendo cerca de dois pluviômetros por ponto de malha. Como resultado, encontraram um viés de  $4 \text{ mm.mês}^{-1}$  para o 3B43, e de  $28 \text{ mm.mês}^{-1}$  para o 3B42, demonstrando que os produtos que utilizam informações de múltiplas fontes (caso do 3B43), representam melhores estimativas. Nicholson et al. (2003), realizaram um estudo de validação de alguns produtos TRMM para o ano de 1998, em uma rede altamente densa contendo 920 pluviômetros na África, numa malha com resolução de  $2,5^\circ$ . Os resultados mostraram que os produtos TRMM apresentaram excelente aderência com os dados de superfície.

Assim, baseado nesses autores, será feita a elaboração de uma climatologia de precipitação obtida através de dados de Radar Meteorológico, dados TRMM e estações pluviométricas para a região da Amazônia oriental.

### Material e métodos

Serão feitos estudos do ponto de vista observacional dos CAPPI's (*Constant Altitude Plan Position Indicator*) desenvolvidos por Anagnostou et al. (1998) e recentemente utilizado nos dados do radar de Manaus (Saraiva, 2010). Este método, denominado como 3D-box, é baseado em um esquema onde somente serão utilizados os volumes iluminados dentro de um grid fixo. Um cubo conceitual (3D-box) centrado no sítio do radar com extensão horizontal de 150 km, variando entre os níveis verticais de 2 a 20 km delimitam a área de cobertura do radar. O 3D-box é dividido em vários cubos de  $5 \times 5 \text{ km}$  de extensão horizontal por 1 km de extensão vertical (3D-box-pixel). Desta forma os volumes de dados digitalizados em *scanner* são transformados de coordenadas polares para coordenadas cartesianas (contidas no 3D-box), através de tabelas de conversões. A partir deste ponto, os arquivos no formato ASCII são lidos em programação Fortran, que converte-os para arquivos com extensão CTL e GRA, para visualização no *software* GrADS (*Grid Analysis and Display System*).

A estimativa de precipitação foi obtida usando a relação de Marshal-Palmer. Segundo Fulton et al. (1998), a equação padrão atual é:

$$Z = 300R^{1.4}$$

Onde  $Z$  tem unidades de  $\text{mm}^6 \text{ m}^{-3}$  e  $R$  em  $\text{mm.h}^{-1}$ .

Alguns sítios localizados em ambientes mais tropicais usar uma relação suplente,  $Z = 250R^{1.2}$ , que é geralmente melhor para eventos tropicais de chuva (Rosenfeld et al., 1993). Porém como pretendemos usar a estimativa da precipitação para dois períodos distintos onde a precipitação observada não será somente convectiva, optamos por utilizar a equação padrão.

Os horários selecionados, em *Coordinated Universal Time* (UTC), foram os de 6-12 UTC e 18-24 UTC, por serem os horários onde o volume de precipitação é mais

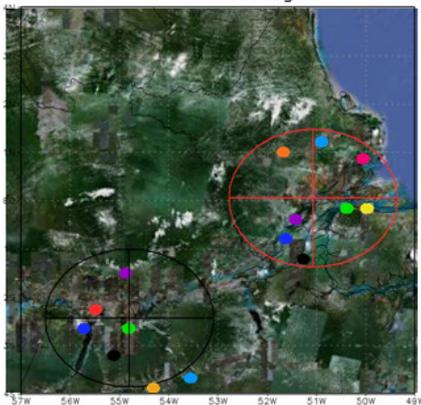
significativo, considerando a variação diurna, Nechet (1994), e a variação sazonal (Magano Junior et al., 2010).

Foram usados dados binários com informações, a cada três horas, do TRMM, os quais possuem uma grade  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , com  $50^\circ\text{S} - 50^\circ\text{N}$  global, onde os horários foram separados e acumulados, gerando um total de oito imagens, (00-06 UTC, 06-12 UTC, 12-18 UTC, e 18-24 UTC), quatro para o mês de fevereiro e quatro para o mês de julho, compreendendo o período chuvoso e o período seco, respectivamente, na região amazônica, sendo que as imagens consideradas seguiram o critério adotado para os dados de radar para fins comparativos.

Para a validação tanto dos dados de Radar e do TRMM foi utilizado o acumulado da precipitação diária (observados as 12 UTC, equivalente às 9h local) de quinze estações meteorológicas da Agencia Nacional de Águas (ANA).

A área de estudo selecionada compreende as cidades de Santarém, no estado do Pará, e Macapá, no estado do Amapá (Figura 1). A região foi considerada por possuir dados consistentes dos radares meteorológicos. Os círculos coloridos representam a área do raio do radar em cada cidade, Santarém no Pará e Macapá, em Amapá; os pontos coloridos representam a distribuição espacial das estações meteorológicas da ANA. Os dois meses considerados nesse estudo foram selecionados por apresentarem uma boa representação dos dados, sem falhas, dentro de seus respectivos períodos sazonais (fevereiro – período chuvoso e julho – período seco).

Distribution of meteorological stations



**Figura 1.** Área de estudo, os círculos grandes representam o raio dos radares em Santarém e

Macapá, os círculos menores e coloridos representam a distribuição espacial das estações meteorológicas. Fonte: Google Earth.

## Resultados e discussão

Com as imagens geradas a partir dos dados obtidos nos Radares, do TRMM e Estações Meteorológicas de Superfície, foi possível visualizar o comportamento espacial da precipitação na região Amazônica.

Na Figura 2a observa-se o acumulado de precipitação da cidade de Santarém localizada a Noroeste do estado Pará, onde o sub quadrante sudoeste possui um acumulado de precipitação observado pelo Radar ficou entorno de 900 mm, e comparando com os dados do TRMM, no mesmo período (Figura 2e), percebe-se uma grande defasagem no volume precipitado registrado, onde o TRMM estimou um máximo 190 mm. E entre as estações de superfície mais próximas do local onde o máximo foi registrado o volume pluviométrico observado foi de 632,9 mm. Assim considerando o dado da estação meteorológica como a fonte mais confiável, temos o seguinte quadro: o Radar superestimou a precipitação em mais ou menos 42% e o TRMM subestimou a precipitação em 30%.

A Figura 2b mostra um acumulado de precipitação no mês de Fevereiro sobre a cidade de Macapá, o Radar observou um acumulado total de 40 mm. O TRMM estimou a precipitação para o mesmo mês (Figura 2c) em torno de 190 mm, e a precipitação observada nas estações convencionais tiveram um acumulado máximo de 496,1 mm. Para essa localidade, tanto o radar como o TRMM subestimaram a precipitação em 80% e 38%, respectivamente.

O período seco, representado pelo mês de julho (Figura 2c), mostra o acumulado de precipitação na cidade de Santarém, onde o radar meteorológico estimou um acumulado de 180 mm, o TRMM registrou 130 mm (Figura 2f), e as estações meteorológicas tiveram um acumulado máximo de 117 mm. Neste caso, os dois instrumentos superestimaram a precipitação em 54% e 11%, respectivamente.

Na Figura 2d observa-se que o acumulado do mês de julho para a cidade do Amapá, onde o radar mostra um cumulado

máximo de 200 mm em alguns pontos, o TRMM observou um acumulado máximo de 170 mm, e a estação de superfície observou acumulado de 264,5 mm. Os dois instrumentos subestimaram os dados observados em 24,5% e 64,4%, respectivamente.

Para compreender melhor a estimativa dos instrumentos em relação aos dados observados, comparamos o acumulado pluviométrico observado pelo radar, TRMM e estações de superfície. Analisando atentamente a Tabela 1 podemos observar como os instrumentos superestimaram ou subestimaram a precipitação medida nas estações. Somados todos os acumulados, foi obtida a média, considerada como a precipitação média mensal sobre a cidade. A cidade de Santarém, no mês de fevereiro, mostrou um acumulado médio, estimado pelo radar, de 240 mm e a precipitação estimada pelo TRMM foi de 150 mm, Como o volume observado foi de 333 mm, o radar subestimou em 28% e o TRMM subestimou em 55% do volume total precipitado sobre a cidade de Santarém para esse mês.

Durante o mês mais seco, julho, o radar estimou a precipitação em 35,7 mm, o TRMM em 84,3 mm e a precipitação observada foi de 55,5 mm. Assim, o radar subestimou a precipitação em 36% e o TRMM superestimou a precipitação observada em 52%.

Para a cidade de Macapá, foi observado um comportamento similar, onde no mês de fevereiro o radar estimou a precipitação em 22 mm, o TRMM em 153,8 mm, e a precipitação observada foi de 405,9 mm. Assim, verificamos que o radar subestimou a precipitação observada em 94.6%, e o TRMM subestimou em 62.2%.

No mês de julho, o radar estimou um acumulado de 57,5 mm, o TRMM estimou um volume de 125 mm, e a precipitação observada foi de 178,6 mm. O radar subestimou a precipitação em 67.9% e o TRMM subestimou o acumulado observado em 30.1%.

Na comparação percebe-se que os instrumentos tendem a subestimar a precipitação observada nas duas cidades, principalmente em Macapá onde obteve o maior erro, subestimativa de 94.6%, feita pelo radar durante o mês chuvoso, essa complexidade em analisar a precipitação esta

relacionada com erros de calibração, principalmente dos radares, e a dinâmica atmosférica da região amazônica, pois a mesma apresenta grande variabilidade temporal e espacial quanto ao ciclo da precipitação, devido a sua extensa área (Marengo, 1992; Ribeiro et al., 1996; Molion, 1987).

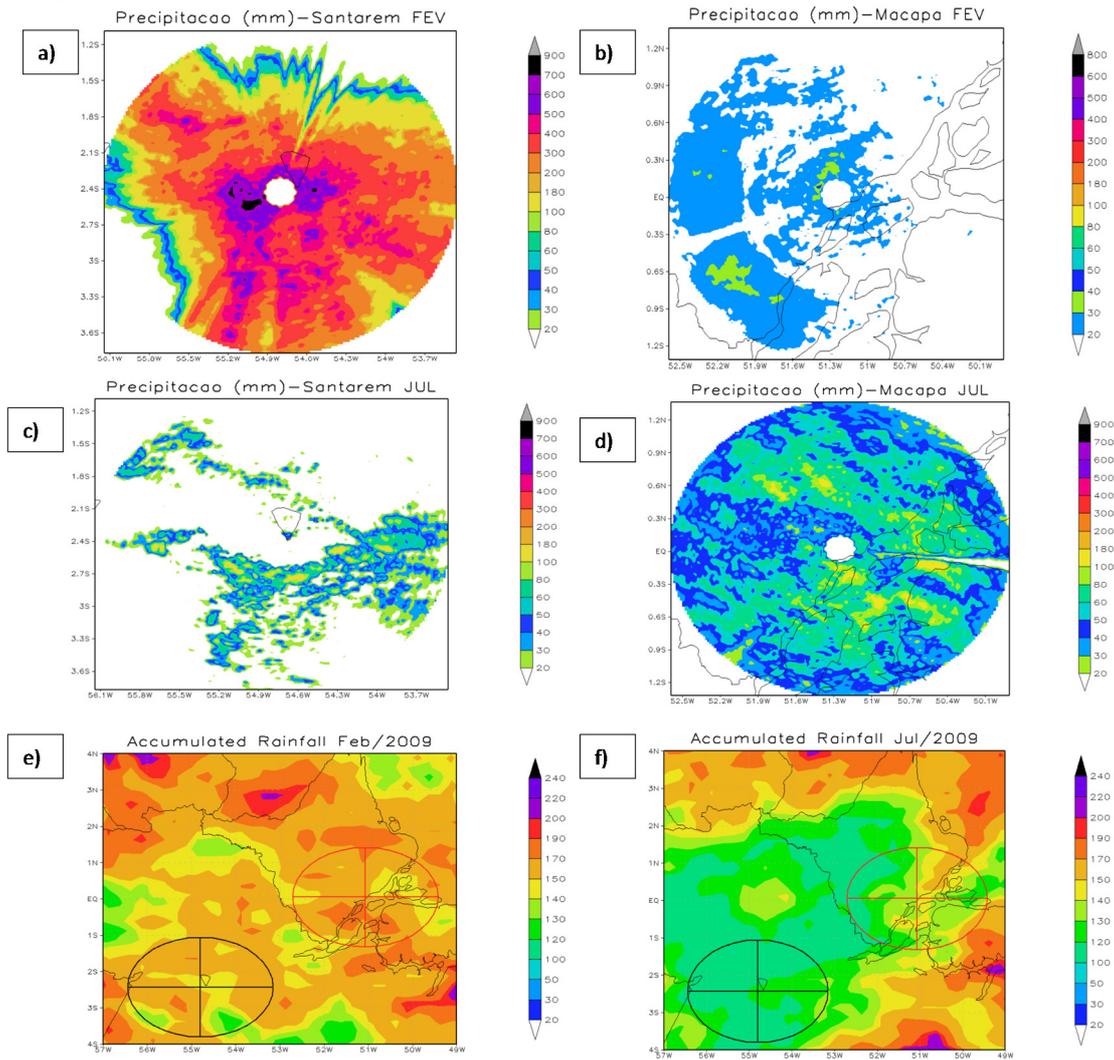
#### *Ciclo diurno*

A análise do ciclo diurno da precipitação revelou padrões distintos de acordo com a época do ano estudada, bem como amplitudes diferentes. A Figura 3 mostra a média de precipitação acumulada observada pelo radar de Santarém (Figura (3a) acumulado das 06 às 12 UTC e (3b) acumulado das 18 às 24 UTC) e Macapá (Figura (3d) acumulado das 06 às 12 UTC e (3e) acumulado das 18 às 24 UTC), e precipitação acumulada pelo TRMM (Figura (3c) acumulado das 06 às 12 UTC e (3f) acumulado das 18 às 24 UTC) para estas duas localidades.

As imagens a esquerda são referentes ao mês de fevereiro e as imagens à direita ao mês de julho.

Nesta etapa do trabalho, foram estudados os acumulados médios em períodos de seis horas de duração. Foram selecionadas as imagens com maiores valores de precipitação acumulada de acordo com estudos previamente realizados. Magano Junior et al. (2010) concluíram sobre a sazonalidade da precipitação em diversas cidades da Amazônia, que em Santarém, durante a estação chuvosa, a frequência de chuva é maior nas primeiras horas do dia, no entanto, durante a estação seca, os autores afirmam que a maior frequência se mantém durante a manhã, diferindo dos resultados apresentados neste artigo. Nechet (1994) mostrou o comportamento do ciclo diurno da precipitação durante o período de 1975 a 1993 em Macapá e notou que em Fevereiro a maior frequência de precipitação ocorre no período da manhã, passando pouco das 12h, em julho a probabilidade de chuva é maior no final e início do dia, confirmando os resultados obtidos neste trabalho. Durante fevereiro, o máximo de PRP ocorreu no intervalo das 06 às 12 horas nas duas cidades, no entanto, com uma grande diferença no valor máximo entre

elas, enquanto que, em Santarém, chega a 350 mm, Macapá fica entre 20 e 30 mm.



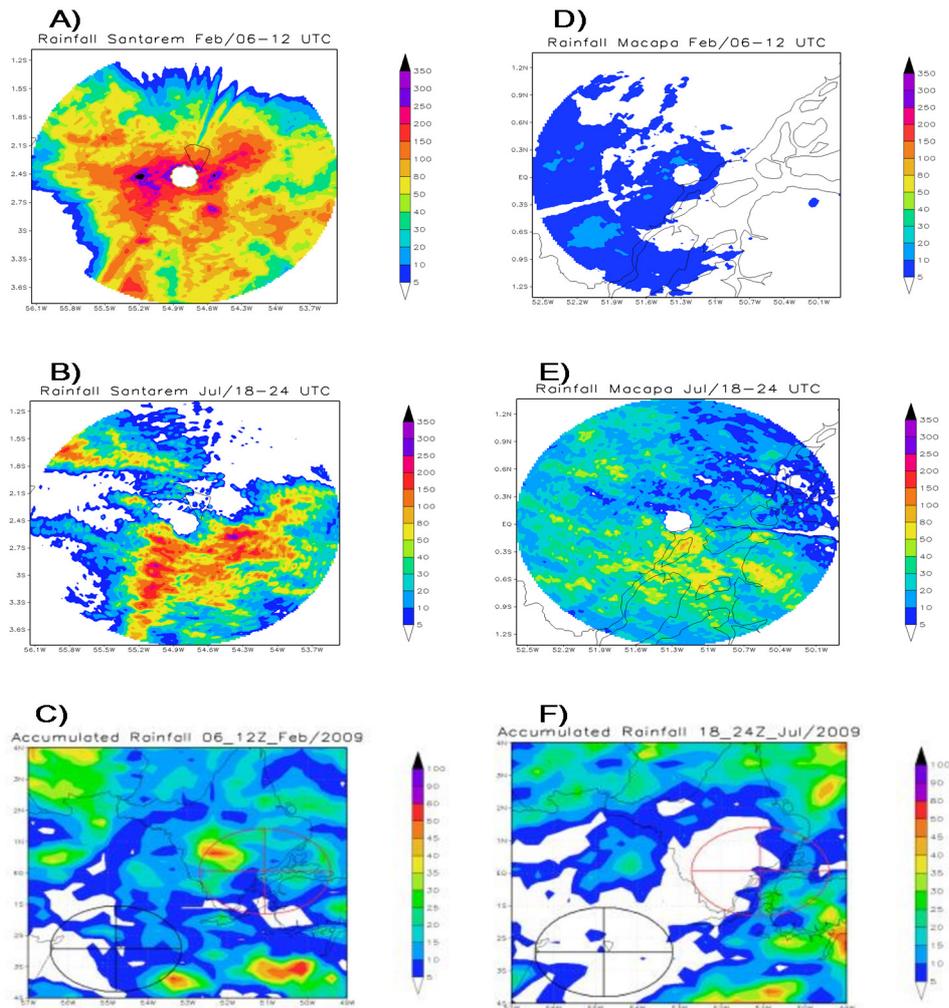
**Figura 2.** a) Dados do radar de Santarém - acumulado de precipitação fevereiro; b) Dados do radar de Macapá - acumulado de precipitação fevereiro; c) Dados do radar de em Santarém - acumulado de precipitação julho; d) Dados do radar de Macapá - acumulado de precipitação julho; e) Dados do TRMM sobre o Santarém e Macapá - acumulado de precipitação fevereiro; f) Dados do TRMM sobre o Santarém e Macapá - acumulado de precipitação julho.

**Tabela 1.** Distribuição da precipitação por quadrante das estações meteorológicas e acumulado mensal de precipitação das mesmas do mês de fevereiro para Santarém e Macapá.

Macapá						
Estações	Rainfall		Radar		TRMM	
	Fev	Jul	Fev	Jul	Fev	Jul
Afuá	440,7	264,5	0	100	150	130
Bom Jardim	393,8	201,3	0	60	150	140
Chaves	430,2	250,4	0	60	140	120
Aporema	429,6	110,4	20	40	150	140
Areias	496,1	122,4	20	40	150	100
Belique	164,4	129,2	30	50	170	120
Capivara	436,9	176,8	20	60	170	130
Navio	455,7	173,6	20	50	150	120
PRP Média	405,9	178,6	22,0	57,5	153,8	125

Estações	Santarém					
	Rainfall		Radar		TRMM	
	Fev	Jul	Fev	Jul	Fev	Jul
Mutum	469,3	27,3	500	60	170	50
Sítio São Pedro	213,5	21,0	200	20	140	120
Uruará	268,9	58,9	100	0	140	120
Boca do Inferno	213,5	23,2	100	0	150	50
Curuai	199,5	47,6	200	30	150	50
Km 1707 - BR 163	333,5	92,5	400	60	150	100
Cachoeira do Aruá	632,9	117,8	180	80	150	100
PRP Média	333,0	55,5	240	35,7	150	84,3

**Tabela 2.** Acumulado mensal da precipitação, onde a chuva é o registro das estações meteorológicas, o TRMM é a estimativa em mm da precipitação e o Radar é a estimativa de precipitação em mm observada pelo mesmo. As cores representam a localização de cada estação na Figura 1.



**Figura 3.** Imagens mostrando período com maior volume de precipitação (mm) registrada durante o ciclo diurno; comparação entre radar e TRMM para Santarém (esquerda) e Macapá (direita) durante fevereiro (topo) e julho (centro).

Para um mês chuvoso, este valor observado em Macapá está abaixo do esperado. Tavares (2009) sugere o posicionamento Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte da sua localização climatológica pode resultar em redução de 78% da precipitação, no entanto, de acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC), a ZCIT, durante este mês, estava ao sul em relação a climatologia, de modo a favorecer a precipitação. Ao comparar o resultado obtido pelo radar com o TRMM, nota-se uma pequena diferença em relação ao posicionamento dos máximos observados, sendo esta mais evidente na região de Macapá, além de diferenças nas magnitudes destes valores. As diferenças observadas entre os dois métodos pode estar relacionada com as escalas trabalhadas por cada instrumento. Silva (2009) concluiu que o radar, apesar de possíveis erros,

consegue representar bem os efeitos de fenômenos locais e pode ser utilizado no estudo da distribuição espacial de precipitação.

Observando a Figura 3 percebe-se a grande divergência entre as estimativas do Radar e do TRMM, como já exposto anteriormente, os dois instrumentos subestimam de forma significativa a precipitação observada. Assim, para uma análise do ciclo diurno a confiabilidade desses dados deve ser questionada, pois em alguns períodos, como o chuvoso, os mesmos apresentam uma defasagem de mais de 100 mm entre duas fontes de informações. A variação sazonal de fenômenos de grande escala e os processos convectivos locais, como o deslocamento de linhas de instabilidade (Cohen, 1989) podem ser os responsáveis por esses erros sistemáticos, porém estudos mais aprofundados são necessários para sanar essas

deficiências encontradas.

### Conclusões

A análise da precipitação de Santarém e Macapá através dos dados observados, estimativas dos radares e do TRMM mostraram uma grande deficiência na precisão das informações, principalmente na variação diurna, onde percebe-se claramente a grande falta de coerência dessas duas fontes de estimativas de precipitação. Contudo, o TRMM, apesar de suas falhas em subestimar a precipitação, foi o método que mais se aproximou da condição real, enquanto os radares, por motivos não explorados, apresentam baixa confiabilidade em suas informações.

### Referências

Anagnostou, E.N.; Witold, F.K. (1998). Calibration of the WSR-88D Precipitation Processing Subsystem. *Weather and Forecasting*, v. 13, p. 396-406.

Cohen, J.C.P. (1989). Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia. 153 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Chokngamwong, R.; Chiu, S.L. (2004). Comparisons of daily hailand rain gauge with GPCP and TRMM satellite precipitation measurements. The 2nd TRMM International Science Conference, Nara, Japão.

Fisch, G.; Marengo, J.M.; Nobre, C.A. (1998). Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101-126.

Figueroa, S.N.; Nobre, C.A. (1990). Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 5, n. 6, p. 36-45.

Fulton, R.A.; Jay, P.B.; Seo, D.J.; Miller, D.A.; O'Bannon, T. (1998). The WSR-88D Rainfall Algorithm. *Weather and Forecasting*, v. 13, p. 377-395.

Marengo, J. (1995). Interannual Variability of deep convection in the tropical South

American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal of Climatology*, v. 15, n. 9, p. 995-1010.

Marengo, J. (1992). Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, v. 12, n. 8, p. 853-863.

Molion, L.C.B. (1987). *Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação*. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, p.107-117.

Nechet, D. (1994). Variabilidade Diurna de Precipitação e de Trovoadas em Macapá-AP. *Anais do 8º o Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belo Horizonte, pp. 184-187.

Nicholson, S.E.; Some, B.; Mccollum, J.; Nelkin, E.; Klotter, D.; Berte, Y.; Diallo, B.M.; Gaye, I.; Kpabebe, G.; Ndiaye, O.; Noukpozoukou, J.N.; Tanu, M.M.; Thiam, A.; Toure, A.A.; Traore, A.K. (2003). Validation of TRMM and other rainfall estimates with a high-density gauge dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. *Journal of Applied Meteorology*, v. 10, n. 42, p. 1355-1368.

Paiva, E.M.C.D.; Clarke, R.T. (1995). Time trends in rainfall records in Amazonia. *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 76, n. 11, p. 2203-2209.

Salati, E.; Marques, J. (1984). *Climatology of the Amazon Region*. In: Sioli, H. (Ed). *The Amazon – Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dr. W. Junk Publishers, Bonn, Alemanha, pp. 85-126.

Saraiva, I. (2010). Características dos sistemas precipitantes observados via radar meteorológico de Manaus. Dissertação de mestrado - Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

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

Tavares, J.P.N. (2009). Influência da Zona de Convergência Intertropical na variabilidade da precipitação em Macapá – Brasil. *Caminhos da Geografia*, v. 9, p. 58-70.

Ribeiro, A.; Victoria, R.L.; Pereira, A.R.; Villa N.N.A.; Martinelli, L.A.; Mortatti, J. (1996). Análise do regime pluviométrico da Região Amazônica a partir de dados de onze

localidades. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 11, n.1, p.25-35.

Rosenfeld, D.; Wolff, D.B. (1993). Atlas, 1993: General probability matched relations between radar reflectivity and rain rate. *J. Appl. Meteor.*, v. 32, p. 50-72.