

Comparação da estimativa da precipitação dos produtos TRMM e dados de campo na bacia do rio Sesmaria e na cidade do Rio de Janeiro

Anderson Mululo Sato ¹
David La Croix Ferreira ¹
Ana Paula de Araújo Silva ¹
André de Souza Avelar ¹
Ana Luiza Coelho Netto ¹

¹Laboratório de Geo-hidroecologia (GEOHECO), Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CEP 21941-916, Rio de Janeiro, Brasil
sato@ufrj.br; david_la_croix@hotmail.com; anageoufrj@gmail.com; {andreavelar, ananetto}@acd.ufrj.br

Abstract. Rainfall estimation from remote sensing products has been used in many investigations, but there is a scarcity of studies that focus on this application in small drainage basins and for the description of extreme rainfall events. TRMM products were compared to field data to analyze the discrepancies from estimated to observed values using two temporal scales (monthly and twelve hours rainfall) at Sesmaria basin and Tijuca massif. Sesmaria basin has been studied since 2006 to understand the hydrological implications of eucalyptus plantations spread along middle Paraíba do Sul river valley, and Tijuca massif is constantly a scene of extreme events in Rio de Janeiro, resulting in many material and human losses. Results showed that monthly TRMM data detected rainfall seasonal variations, but estimations were far from observed values, especially for the hilly lands of Sesmaria basin. Discrepancies in this situation could be related to the spatial resolution of TRMM data, which includes lots of geomorphological and rainfall variations in pixels cells. Analysis of an extreme event occurred in April 2010 at Rio de Janeiro using twelve hours data presented worse results, not detecting temporal variation neither rainfall volumes. In this case, TRMM data underestimated precipitation in 83%. We conclude that in our situation monthly TRMM data could be useful just to detect rainfall oscillation and not to infer rainfall volumes. For the description of an extreme event at Tijuca massif, TRMM did not presented satisfactory results. More studies are needed to reach a consensus on these conclusions.

Palavras-chave: TRMM, precipitation, Sesmaria basin, Tijuca massif, TRMM, precipitação, bacia do Sesmaria, maciço da Tijuca.

1. Introdução

Na última década ocorreu o aumento e a diversificação dos trabalhos que utilizam os dados de precipitação estimados através de imagens captadas por sensores remotos orbitais, em especial após a disponibilidade dos dados da TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) em meados da década de 90. Trabalho como o de Silva et al. (2009) busca relacionar os volumes e regimes de chuva obtidos pelos produtos TRMM com a adoção de práticas agrícolas intensivas, enquanto Arai et al. (2009) utilizaram os dados de precipitação TRMM para compreender a influência da precipitação na resposta espectral dos tipos de cobertura vegetal no Nordeste do Brasil. No campo hidrológico, o trabalho de Collischonn (2006) utiliza dados de precipitação estimados pelo TRMM como parâmetro de entrada para um modelo hidrológico distribuído e Dubreuil et al. (2007) e Leivas et al. (2009) buscam comparar dados de campo com as estimativas realizadas pelos produtos do TRMM. Apesar do aumento do número de trabalhos, existe a carência de artigos que enfoquem a comparação das estimativas pluviométricas dos produtos TRMM com dados de campo em bacias hidrográficas com área inferior a 150 Km² e também na caracterização de eventos de chuva com consequências catastróficas.

Sendo assim, os objetivos deste trabalho são: 1) avaliar em escala mensal as discrepâncias e o regime da precipitação estimada pelo produto 3B43 V6 em relação aos dados de campo da bacia do rio Sesmaria, afluente do rio Paraíba do Sul, e do entorno do Maciço da Tijuca,

localizado no município do Rio de Janeiro; 2) comparar em uma escala temporal de 12 horas as estimativas de precipitação com os dados de campo ao redor do Maciço da Tijuca em um evento chuvoso que trouxe consequências catastróficas aos moradores da região metropolitana do Rio de Janeiro em Abril de 2010.

2. Área de Estudo

A bacia do rio Sesmaria está localizada na divisa dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, no médio vale do rio Paraíba do Sul, e apresenta uma área de 149 Km². Esta área vem sendo estudada desde 2006 com o objetivo de avaliar os impactos ambientais provocados pela introdução de plantios de eucalipto (Sato, 2008; Sato et al., *aceito*), assim como dos diferentes manejos destes plantios (espaçamento, rebrota e reforma dos plantios) na hidrologia das cabeceiras de drenagem (Silva et al., 2010) e dos principais rios que compõem a rede de drenagem desta bacia. Mapeamento de uso e cobertura realizado por Vianna et al. (2006) indicou que os plantios de eucalipto estão distribuídos em manchas, tendo as pastagens como matriz da paisagem e os fragmentos florestais maior adensamento nos divisores hidrográficos localizados na Serra do Mar. Na bacia do rio Sesmaria foram instaladas seis estações pluviométricas, que abrangem tanto o domínio montanhoso, na porção sul da bacia, como o domínio colinoso, na porção central e norte. Além das estações pluviométricas, foram instaladas quatro estações fluviométricas nos principais rios da bacia, além de quatro vertedores em cabeceiras de drenagem com cobertura de eucaliptos, visando monitorar as respostas dos canais fluviais às entradas de chuva.

O Maciço da Tijuca, a outra área de estudo, está situado na porção oriental do município do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22°55' e 23°00'S e os meridianos 43°10' e 43°20' W, inserido na cadeia de maciços costeiros da região sudeste brasileira. Ao sul é composto pela serra da Carioca, ao norte pela serra de Três Rios/Tijuca e pela serra dos Pretos Forros. Nestas serras existem fragmentos de Mata Atlântica que foram incorporados ao Parque Nacional da Tijuca, definido como unidade de conservação desde 1967. Neste ambiente montanhoso predominam os movimentos de massa rápidos, como os translacionais e os fluxos detríticos. Os movimentos translacionais ocorrem preferencialmente nas encostas convexo-retilíneas com declividades superiores a 35°, enquanto os fluxos detríticos tendem a ocorrer nas encostas côncavas ou fundos de vales sob declives em torno de 14° a 17° (Avelar, 1996; Lacerda, 1997). Os fluxos detríticos podem alimentar a formação de extensas avalanches detríticas, ricas em blocos, as quais podem alcançar e espalhar nas baixadas adjacentes ao maciço (Coelho Netto, 2005). A detonação destes movimentos de massa está intimamente relacionada com a ocorrência de eventos de chuva de elevada intensidade, duração e volume, o que normalmente acarreta em grandes perdas materiais e humanas, apresentando consequências catastróficas para os moradores do Maciço da Tijuca e seu entorno. Levantamento realizado no Maciço da Tijuca, uma das áreas mais afetadas pelos movimentos de massa deflagrados pelos elevados índices pluviométricos em Abril de 2010, indicou a ocorrência de quase uma centena de movimentos de massa, a maioria relacionada com cortes ou saídas de água das estradas.

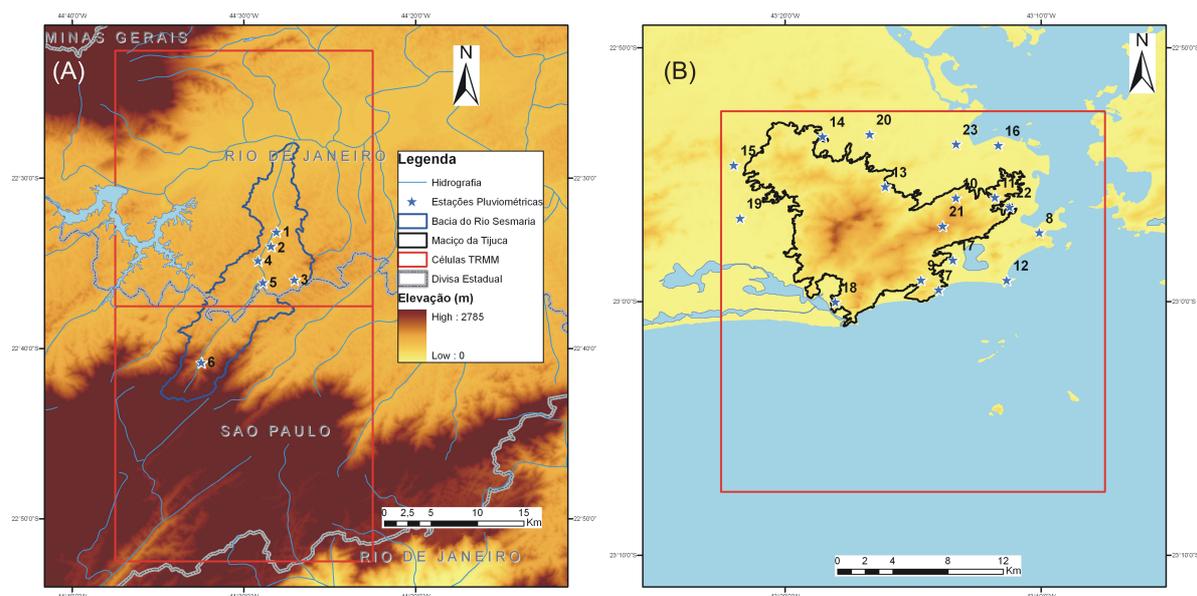


Figura 1. Localização das áreas de estudo. (A): bacia do rio Sesmaria; (B): Maciço da Tijuca.

3. Metodologia de Trabalho

Os dados de campo foram comparados às estimativas extraídas dos produtos TRMM no formato ASCII da base de dados Giovanni AOVAS/NASA (<http://agdisc.gsfc.nasa.gov/Giovanni/aovas>). Para as análises mensais da bacia do rio Sesmaria e do Maciço da Tijuca foi utilizado o produto 3B43 V6, enquanto para as análises em intervalos de 12 horas do Maciço da Tijuca foram usados os dados do produto 3B42 V6.

A instrumentação com pluviômetros na bacia do rio Sesmaria adquiriu a disposição demonstrada na Figura 1 em Julho de 2009 e para definir um ano de medições pluviométricas foram utilizados os acumulados mensais de Julho de 2009 a Junho de 2010. Apesar de existir uma estação de FURNAS no interior da bacia (Código Hidroweb 02244152 – Formoso), os dados da mesma não foram utilizados devido ao fato da precipitação acumulada no período ser considerada um *outliner* em relação às demais estações localizadas no domínio de colinas da bacia, com valor de acumulado anual 17% inferior à média das demais estações. Os dados de precipitação mensal referentes ao Maciço da Tijuca e seu entorno foram extraídos de 17 estações da GeoRio para o período de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2009 (Tabela 1).

Tabela 1. Estações pluviométricas das áreas de estudo. Compartimento geomorfológico das estações pluviométricas na bacia do rio Sesmaria: (C) colina e (M) montanha.

Bacia do Rio Sesmaria		Maciço da Tijuca	
#	Nome	#	Nome
1	Sesmaria (C)	7	Vidigal
2	São João (C)	8	Urca
3	Monte Alegre (C)	9	Rocinha
4	Feio (C)	10	Tijuca
5	Rio Formoso (C)	11	Santa Teresa
6	Barra (M)	12	Copacabana
		13	Grajaú
		14	Piedade
		15	Tanque
		16	Saúde
		17	Jardim Botânico
		18	Itanhangá
		19	Cidade de Deus
		20	Grande Méier
		21	Sumaré
		22	Laranjeiras
		23	São Cristóvão

A avaliação das chuvas em acumulados de 12 horas foi feita para o Maciço da Tijuca para o evento iniciado próximo às 16 horas do dia 05 de Abril e que terminou na maior parte das

estações às 06 horas do dia 07 de Abril. Os dados das 17 estações da GeoRio estavam disponibilizados em intervalos de 15 minutos e foram agrupados em intervalos de 12 horas, abrangendo os períodos de 00-12 h e de 12-00 h em relação ao horário local. Dados extraídos do produto 3B42 foram exportados em acumulados que abrangiam os horários dos períodos analisados, atentando para o fato dos dados TRMM estarem disponibilizados em horário UTC.

As diferenças entre as estimativas do TRMM e os dados de campo foram analisadas, assim como o regime da precipitação. A avaliação da divergência das estimativas do TRMM em relação aos dados de campo foi feita pelo coeficiente de correlação linear e pelo cálculo do *root mean square deviation* (RMSD) e de seu coeficiente de variação, conforme as equações (1) e (2):

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_i - \theta_i)^2}{n}} \quad (1)$$

onde $\hat{\theta}$ é o valor estimado e θ o valor observado para no total de n ocorrências, e

$$CV(RMSD) = \frac{RMSD}{\bar{x}} \quad (2)$$

onde \bar{x} é a média aritmética dos resultados observados.

4. Resultados e Discussão

A comparação entre as estimativas do TRMM 3B43 e os acumulados mensais da bacia do rio Sesmaria indicaram que, de modo geral, foram detectadas as variações temporais nos índices pluviométricos na bacia, tanto no domínio de colinas (Figura 2a,c) como no montanhoso (Figura 2b,d). Entretanto, embora o regime de chuvas tenha sido detectado pelo produto TRMM, as estimativas mensais apresentaram discrepâncias entre -38% e +488% em relação aos acumulados mensais das estações pluviométricas no domínio colinoso (Figura 2a) e de -40% a +177% em relação à estação Barra, no domínio montanhoso (Figura 2b). Estas discrepâncias, ora superestimando, ora subestimando, também resultaram em baixos coeficientes de correlação linear, que foram de 0,83 e 0,70 para o ambiente colinoso e montanhoso, respectivamente (Figura 5a,b). O acumulado anual foi superestimado em +40,5% na área de colinas (Figura 2c) e em +6,7% no domínio de montanhas (Figura 2d), enquanto o coeficiente de variação do RMSD, que normaliza o erro pela média das observações, indicou valores de 61,4% e 46,8% no domínio colinoso e montanhoso da bacia do rio Sesmaria, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Médias, máximos, mínimos e RMSD dos acumulados mensais e de 12 horas para a bacia do rio Sesmaria e Maciço da Tijuca.

Intervalo	Mensal						12 horas	
	Bacia do Rio Sesmaria				Maciço da Tijuca		Maciço da Tijuca	
	Colina		Montanha		Montanha + Planície		Montanha + Planície	
Fonte	Campo	TRMM	Campo	TRMM	Campo	TRMM	Campo	TRMM
Média (mm)	149,3	209,8	181,1	193,3	115,7	105,7	49,7	8,7
Mínim (mm)	5,3	10,0	6,5	7,7	3,8	0,4	4,7	0,0
Máxim (mm)	345,9	467,3	509,0	469,2	373,7	428,1	125,1	27,4
RMSD (mm)	91,7		84,8		60,7		54,8	
CV(RMSD) (%)	61,4		46,8		52,5		110,4	

Um fator que poderia justificar a elevada superestimativa das chuvas no domínio colinoso da bacia do rio Sesmaria é o fato da área representada pela coordenada -22,50/-44,50 também

abranjer parte da Serra de Itatiaia, local onde são observados elevados índices pluviométricos (Figura 1). Segundo Sato (2008), no médio vale do rio Paraíba do Sul são observadas grandes diferenças nos índices de chuva na comparação das áreas colinosas e montanhosas, com valores anuais médios de 1509 mm e 1996 mm, respectivamente. Já a informação da coordenada -22,75/-44,50 apresenta a maior parte da sua área no domínio montanhoso, o que traria menor discrepância em relação aos valores observados na estação Barra, que se encontra localizada no domínio montanhoso da bacia do rio Sesmaria.

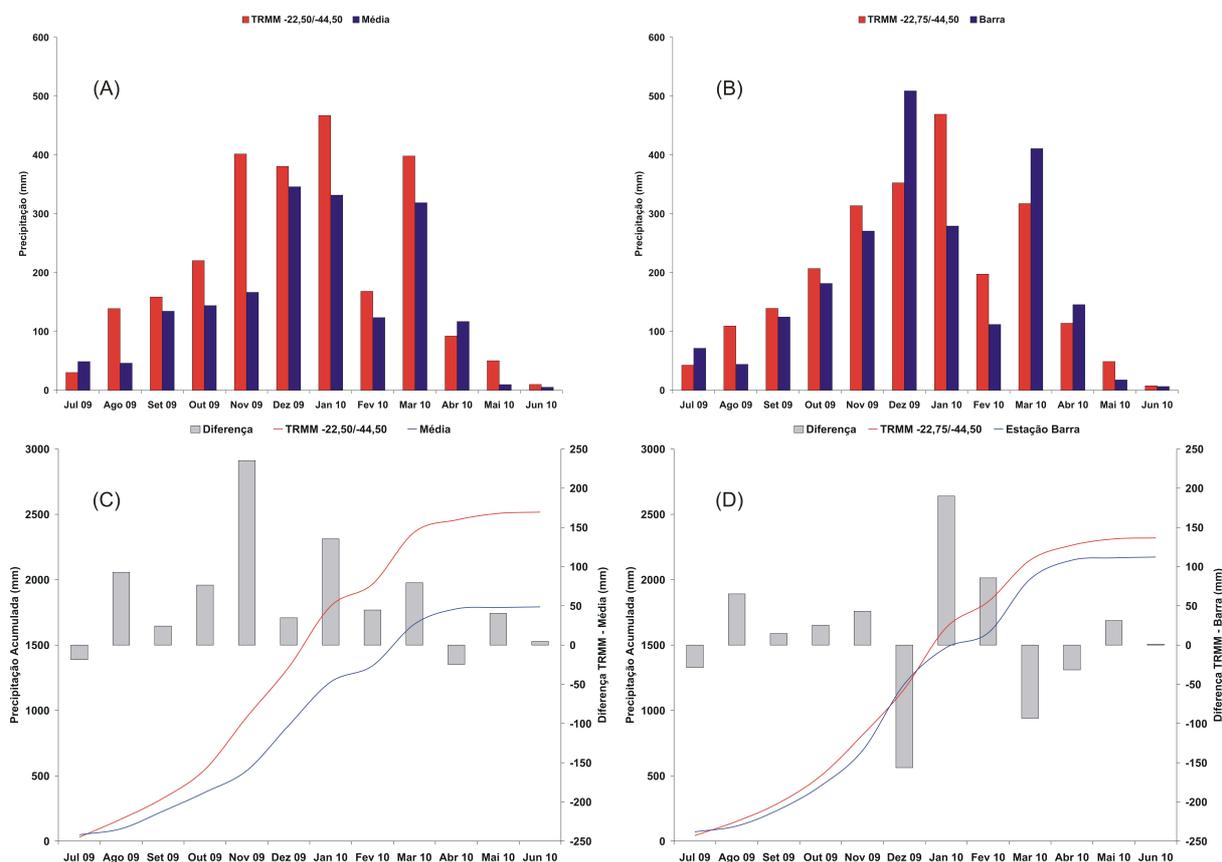


Figura 2. Precipitação mensal e acumulada do TRMM 3B43 e das estações pluviométricas do domínio colinoso (A, C) e montanhoso (B, D) da bacia do rio Sesmaria no período de Julho 2009 a Junho 2010.

Conforme observado na bacia do rio Sesmaria, as estimativas do TRMM 3B43 detectaram a variação sazonal nos índices de chuva no período de 2000 a 2009 no Maciço da Tijuca e seu entorno, mas as discrepâncias das estimativas superaram +100% em nove meses dos 120 computados em relação à média dos acumulados mensais das 17 estações pluviométricas. As discrepâncias negativas foram mais freqüentes e chegaram a atingir o valor de -97% (Figura 3). Conforme observado na Figura 5c, os dados apresentaram grande dispersão ao redor da curva de correlação, o que resultou em um baixo coeficiente de correlação (0,52). No período de 2000 a 2005 a precipitação acumulada pelas estimativas TRMM e pelos dados de campo apresentavam uma diferença de apenas -173 mm, demonstrando assim que em grande parte as discrepâncias negativas eram compensadas pelas positivas e vice-versa. Entretanto, a partir de 2006 as estimativas TRMM passaram a subestimar sistematicamente os valores de chuva, o que acarretou em uma diferença de -1195 mm na precipitação acumulada para todo o período analisado (Figura 3b). Não foi possível detectar o motivo da mudança de comportamento das estimativas do TRMM 3B43 a partir de 2006. O coeficiente de variação do RMSD apresentou um valor intermediário aos observados

na bacia do rio Sesmaria (52,5%), o que indica que as estimativas feitas pelo TRMM apresentaram grandes diferenças em relação aos valores observados nas estações da Georio.

Os resultados encontrados no presente estudo no que diz respeito à detecção da sazonalidade da precipitação mensal estão de acordo com os resultados observados por Leivas et al. (2009) e Collischonn et al. (2006). Porém, diferentemente dos referidos autores, que consideraram as estimativas geradas pelo TRMM satisfatórias em seus estudos, os resultados não foram considerados satisfatórios para a porção colínica da bacia do rio Sesmaria e nem para o período pós 2005 no Maciço da Tijuca. Com relação ao trabalho de Collischonn et al. (2006), esta divergência de conclusões pode estar relacionada com a diferença de escalas utilizadas, sendo avaliado por estes autores a precipitação em uma bacia de 48.530 Km², uma área muito maior à levantada neste presente trabalho.

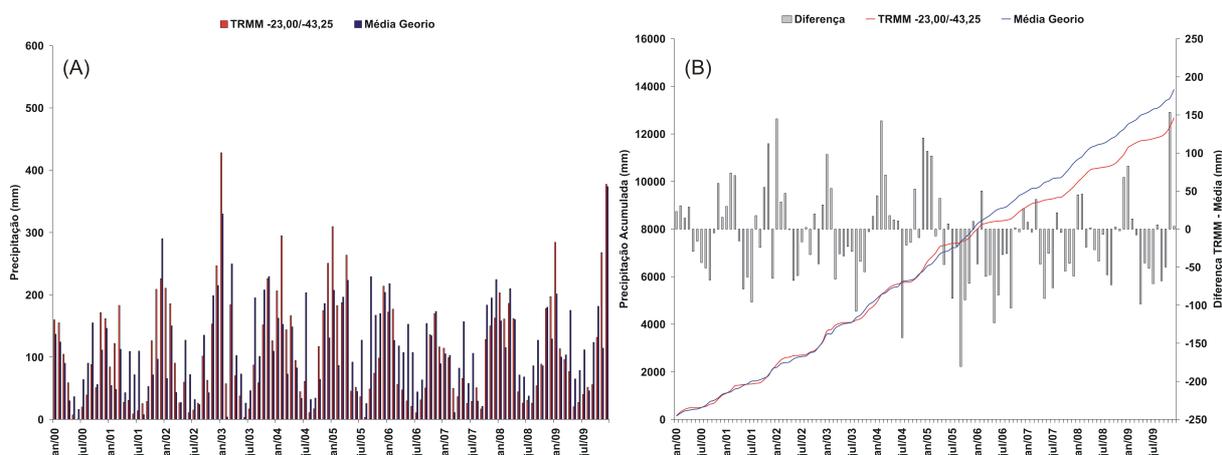


Figura 3. Precipitação mensal (A) e acumulada (B) do TRMM 3B43 e das estações pluviométricas da Georio no Maciço da Tijuca e entorno no período de Janeiro 2000 a Dezembro de 2009.

As análises das chuvas em intervalos de 12 horas durante o evento iniciado no dia 05 de Abril de 2010 e finalizado na maior parte das estações pluviométricas no dia 07 de Abril apresentaram resultados que indicam a dificuldade de aplicar o produto TRMM 3B42 na detecção deste evento chuvoso nesta escala temporal. Diferentemente das análises dos acumulados mensais, os dados TRMM 3B42 não detectaram a variação dos índices pluviométricos ao longo do evento chuvoso e, além disso, exibiram valores de chuva extremamente subestimados em relação aos observados nas estações da Georio. Conforme observado na Figura 4, o volume médio acumulado nas 17 estações da Georio foi de 298 mm, enquanto os dados TRMM totalizaram 52 mm, uma diferença de 246 mm (82,6% em relação à precipitação acumulada). O coeficiente de variação do RMSD foi extremamente elevado (110,4%), o que indica as elevadas discrepâncias entre os valores estimados e os observados durante este evento chuvoso no município do Rio de Janeiro (Tabela 2). Além disso, o coeficiente angular da linha de regressão é de apenas 0,22, distanciando-se de forma bastante acentuada do valor unitário.

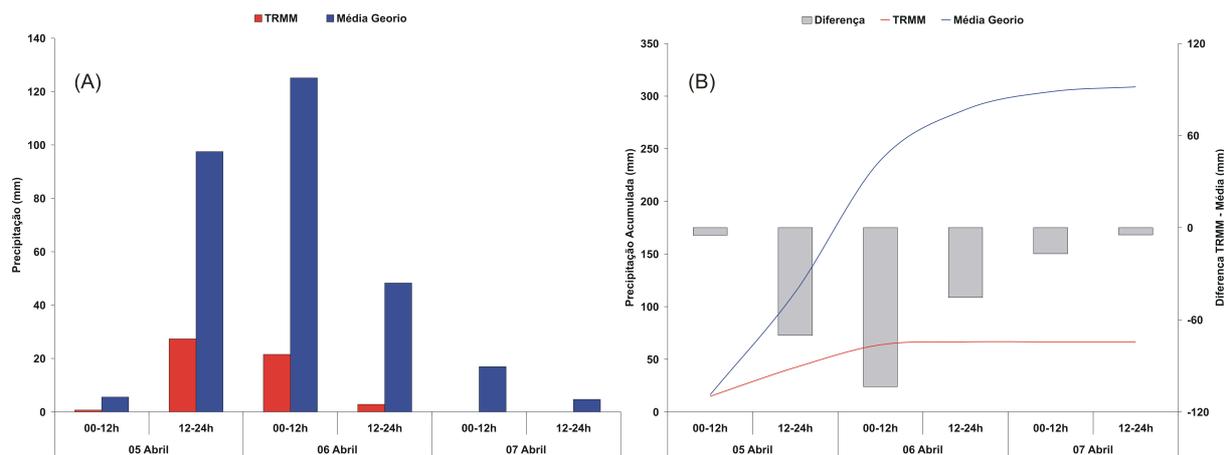


Figura 4. Precipitação em 12 horas (A) e acumulada (B) do TRMM 3B42 e das estações pluviométricas da Georio no Maciço da Tijuca e entorno do dia 05 ao 07 de Abril de 2010.

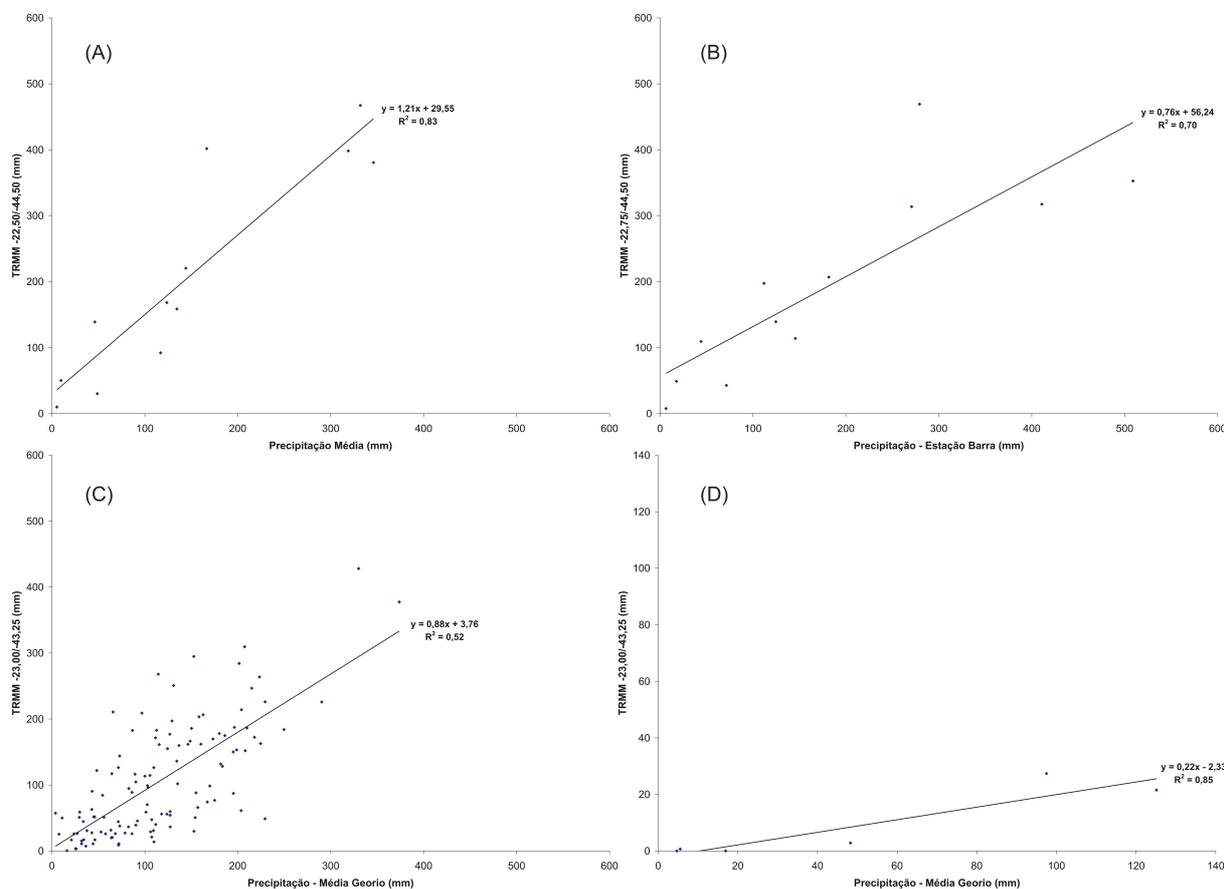


Figura 5. Correlação linear entre os valores de chuva observados e os estimados pelo TRMM. Precipitação mensal no domínio de colinas (A) e montanhas (B) da bacia do rio Sesmaria no período de Julho 2009 a Junho 2010 e no Maciço da Tijuca e seu entorno (C) no período de Janeiro 2000 a Dezembro 2009. Precipitação em intervalos de 12 horas no Maciço da Tijuca e seu entorno (D) no período de 05 a 07 de Abril de 2010.

5. Conclusões

As estimativas mensais do produto TRMM 3B43 permitiram a detecção da variação sazonal da precipitação tanto na bacia do rio Sesmaria quanto no Maciço da Tijuca. Entretanto, os valores estimados apresentaram grandes discrepâncias em relação aos valores

observados nas estações pluviométricas das duas áreas de estudo. A análise realizada com maior resolução temporal (12 horas) para o evento ocorrido em Abril de 2010 no Rio de Janeiro indicou que o produto TRMM 3B42 não detectou as variações temporais nos índices pluviométricos e também apresentou estimativas de chuva extremamente subestimadas em relação aos dados de campo. Como sugestão para próximos trabalhos pode-se avaliar a viabilidade da aplicação do produto TRMM 3B42 em outros eventos de grande magnitude em outras áreas, assim como do produto TRMM 3B43 em outras bacias de drenagem de tamanho similar em outras condições ambientais para que se busque um consenso.

Referências

- Arai, E.; Adami, M.; Freitas, R.M.; Shimabukuro, Y.E.; Rao, V.B.; Moreira, M.A. Análise de Séries Temporais MODIS e TRMM nas áreas de caatinga, cerrado e floresta. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 5081-5088. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.53.52/doc/5081-5088.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.
- Avelar, A.S. Investigação histórica e geotécnica do movimento de massa do Soberbo RJ. 1996. 122 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - COPPE-UFRJ. 1996.
- Coelho Netto, A.L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 46-60. 2005.
- Collishonn, B. Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído. 2006. 128 p. Dissertação (Mestrado) - IPH-UFRGS, Porto Alegre. 2006.
- Collishonn, B.; Allasia, D.; Collishonn, W; Tucci, C.E.M. Estimativas da precipitação por sensor remoto passivo: desempenho do sensor TRMM na bacia do alto rio Paraguai até Descalvos. In: Simpósio de Geotecnologias do Pantanal, 2006, Campo Grande. **Anais...** Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17276>>. Acesso em 25 out 2010.
- Dubreuil, V.; Arvor, D.; Nédélec, V.; Maitelli, G.T. Comparação entre os dados TRMM, GOES e SPOT-VGT para a estimativa das chuvas em Mato Grosso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 3849-3851. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.10.06/doc/3849-3851.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.
- Lacerda, W.A. Stability of natural slopes along the tropical coast in Brazil. In: Symposium on recent development in Soil & Pavement Mechanics, COPPE-UFRJ, 1997, Rio de Janeiro. M. Almeida. BLKEMA. p. 17-40. 1997.
- Leivas, J.F.; Ribeiro, G.G.; Souza, M.B.; Rocha Filho, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 47-53. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.40/doc/1611-1616.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.
- Sato, A.M.; Avelar, A.S., Coelho Netto, A.L. Spatial variability and temporal stability of throughfall in an eucalyptus plantation in the hilly lowlands of Southeastern Brazil. Hydrological Processes (aceito).
- Sato, A.M. Respostas geo-hidroecológicas à substituição das pastagens por plantações de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul: a interface biota-solo-água. 2008. Dissertação (Mestrado), PPGG/UFRJ. 2008
- Silva, A.E.P.; Angelis, C.F.; machado, L.A.T. Impactos da precipitação e uso do solo na qualidade da água do Rio Purus. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 4867-4874. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.16.40/doc/4867-4874.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2010.
- Silva, A.P.A.; Ferreira, D.L.; Sato, A.M.; Avelar, A.S.; Coelho Netto, A.L. Monitoramento da Oscilação do Nível Freático em Plantios de Eucalipto Submetidos a Diferentes Manejos: Bacia do Rio Sesmaria, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural UFRJ, 2010, Rio de Janeiro. **Anais...** p. 351.
- Vianna, L.G.G.; Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S.; Sato, A.M.; Baca, J.F.M. Mapeamento de Uso e Cobertura do Solo na Bacia do Rio Sesmaria Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural da UFRJ, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**