

Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba

Assessment of rainfall estimates of TRMM satellite on Paraíba state

Alexleide Santana Diniz Soares¹, Adriano Rolim da Paz¹ e Daniel Gustavo Allasia Piccilli²

¹Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil

alexleide_diniz@hotmail.com;adrianorpaz@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

dga@ufsm.br

Recebido: 23/03/2015- Revisado: 20/08/2015- Aceito: 12/02/2016

RESUMO

A variabilidade espaço-temporal da precipitação, a baixa densidade de postos pluviométricos e os problemas operacionais são fatores de complexidade para estudos hidrológicos em países em desenvolvimento como o Brasil, o que pode ser amenizado pelo uso de estimativas de precipitação obtidas por sensoriamento remoto orbital. Esta pesquisa avalia as estimativas de chuva derivadas do produto 3B42 versão 7 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sobre o Estado da Paraíba, no Nordeste do Brasil. Este estudo analisou séries temporais de 212 postos pluviométricos e dados provenientes do TRMM com uma malha espacial de 198 pixels, para um período de 14 anos (1998-2011). As análises foram realizadas tanto ao nível local de cada pluviômetro quanto agregada espacialmente segundo as mesorregiões Mata, Agreste, Borborema e Sertão, considerando chuvas diárias, três dias, sete dias e mensais. Maior concordância entre estimativas do TRMM e medições pluviométricas foi obtida para a região do Sertão (coeficiente de correlação r diário = 0,89 e erro médio absoluto EMA mensal = 16 mm) e menor concordância foi identificada para a região litorânea (r diário = 0,75 e EMA mensal = 31 mm), ou seja, maior concordância para regiões com menores totais precipitados. Chuvas do TRMM subestimaram valores observados nos locais de maior índice pluviométrico (bias mensal de -24 mm na região da Mata) e superestimam nos locais de menor índice pluviométrico (bias mensal de +13 mm no Sertão e +11 mm na Borborema). A caracterização detalhada espacialmente sobre a Paraíba da qualidade das estimativas do TRMM gerada neste trabalho mostra o potencial de aplicação de tais estimativas de chuva no estado, uma vez que conhecer a existência de erros, qual tipo de erro e uma quantificação deles tende a aumentar a confiabilidade do uso das estimativas e permite inclusive o uso de métodos de correção das estimativas.

Palavras Chave: Sensoriamento remoto. TRMM. Paraíba.

ABSTRACT

The spatio-temporal rainfall variability, the low-density of rain gauges and operational problems are complexity factors for hydrologic studies in developing countries such as Brazil. This research evaluates rainfall estimates derived from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B42 product, version 7, over Paraíba state, in Northeast of Brazil. This study analyzed time series of 212 rain gauges and TRMM data within a spatial grid of 198 pixels, for a 14-years period (1998-2011). Analyses were carried out punctually for each pluviometer as well as spatially aggregated for the mesoregions Mata, Agreste, Borborema and Sertão, considering daily, 3-days, 7-days and monthly rainfall. Largest agreement between TRMM estimates and observed rainfall was obtained for Sertão region (correlation coefficient r daily = 0,89 and absolute average error EMA monthly = 16mm) and smallest agreement for seaside region (r daily = 0,75 and EMA monthly = 31 mm), i.e., the best agreement was obtained for regions with low rainfall rates. TRMM data underestimated observed rainfall in sites with large rainfall amount (monthly bias of -24 mm in Mata region) and overestimated in sites with low rainfall (monthly bias of +13 in Sertão and of +11 mm in Borborema). The spatially detailed characterization over Paraíba of the quality of the TRMM estimates showed in this work illustrates the potential of using such rainfall estimates for this state, because knowing its errors, their types and quantification tends to raise the trust in using them and also allows applying correction methods.

Keywords: Remote sensing. TRMM. Paraíba.

INTRODUÇÃO

A chuva é um elemento de grande variabilidade espaço-temporal, sendo fundamental seu conhecimento para a tomada de decisões. Identificar e medir padrões de ocorrência das chuvas traz subsídios imprescindíveis para o planejamento e operação de diversos setores da sociedade, como a agricultura, a pesca, a navegação, o abastecimento d'água, o controle e proteção contra inundações, a conservação dos ecossistemas e demais análises que envolvam o balanço hídrico de bacias hidrográficas e o regime de vazões de rios.

O estudo do regime de chuvas de uma região é tradicionalmente realizado a partir de dados de postos pluviométricos. Entretanto, a variabilidade de pequena escala e outras características do padrão de chuvas requerem observações com uma frequência temporal e uma amostragem espacial que não são adequadamente atendidas a partir de medições em superfície, quando se trata de regiões remotas, em desenvolvimento e áreas oceânicas (HUFFMAN et al., 2007). De fato, dados pluviométricos podem apresentar baixo grau de confiabilidade em áreas extensas no Brasil, uma vez que a distribuição dos pluviômetros não abrange todo o território (NÓBREGA; SOUZA; GALVÍNCIO, 2008; PEREIRA et al.; 2013). Dificuldades inerentes à instalação e manutenção de redes densas de pluviômetros em regiões de difícil acesso agravam essa questão.

Outro ponto crítico relativo à medição de chuva com pluviômetros é que esses instrumentos possuem uma área de captação de poucos cm², portanto medem a chuva em um determinado local de forma pontual, que não necessariamente permite capturar a distribuição espacial da chuva, especialmente em terrenos com topografia complexa (PEREIRA et al., 2013; VARIKODEN; PREETHI; REVADEKAR, 2012; WAGNER et al., 2012). Dessa forma, além das falhas de detecção de precipitação, podem ocorrer eventos chuvosos isolados sobre algum pluviômetro, influenciando por sua vez, na análise do escoamento superficial, do déficit hídrico e até no balanço de energia (PEREIRA et al., 2013).

Para alguns setores que usam informações de chuva, como navegação, agricultura e controle de inundações, a agilidade e o acesso aos dados mais recentes, quase instantâneos, trazem a possibilidade de adequar e otimizar decisões quase em tempo real. Redes de estações pluviométricas automatizadas podem atender a essa demanda, mas o custo de instalação e manutenção de tal tipo de rede pode ser proibitivo à medida que se aumenta a área de monitoramento.

Esse conjunto de limitações nas medições de chuva a partir de dados pluviométricos motivou o desenvolvimento de outras técnicas, com destaque para as metodologias baseadas em Sensoriamento Remoto Orbital (SRO) (HUFFMAN et al., 2007). Essa abordagem possibilita observações em qualquer parte da Terra e em pequenos intervalos de tempo, contribuindo para melhor compreensão das precipitações em regiões que não possuem rede de observações satisfatória (DUBREUIL et al., 2000; LIU; PETER, 2013).

O fato dos sensores orbitais fornecerem informações rapidamente disponibilizadas, com abrangência espacial e com

qualidade crescente tem levado ao seu uso cada vez mais frequente em vários tipos de estudos hidrológicos, principalmente envolvendo análise de cobertura vegetal e uso do solo, caracterização de bacias hidrográficas, inundações, temperatura da superfície, umidade do solo e precipitação (WAGNER et al., 2012). As estimativas de chuva por SRO têm sido avaliadas quanto à destreza em reproduzir os padrões temporais e espaciais da chuva observada em pluviômetros de diferentes formas. Apesar de medidas pluviométricas não serem isentas de erros e de certa forma serem representativas de um local específico, tais dados são os mais utilizados para avaliação de estimativas de chuva por SRO. Clarke et al. (2011) destacam dificuldades e limitações da comparação entre dados de SRO e estações pluviométricas, ressaltando para a necessidade de levar em conta a autocorrelação espacial presente em cada fonte de dados. Dentre os procedimentos mais utilizados de comparação, a análise pontual se caracteriza pela comparação, em pontos específicos da superfície, da chuva estimada pelo SRO com o dado observado em pluviômetro. A agregação no espaço é entendida quando se trabalha com a chuva média sobre uma região do espaço, como uma bacia hidrográfica, um município ou uma região qualquer de interesse. Outra abordagem é a comparação na forma de campos espaciais de precipitação, que procurem avaliar três tipos de erros em estimativas espaciais de chuva (HABETS; LEMOIGNE; NOILHAN, 2004): (i) localização espacial do evento chuvoso; (ii) intensidade da chuva; (iii) instante de tempo da ocorrência do evento. Esse último tipo de comparação entre campos de precipitação é particularmente interessante para avaliar as estimativas como fonte de entrada para modelos hidrológicos distribuídos.

Dentre as estimativas de chuva a partir de SRO, tem merecido grande destaque na literatura os dados provenientes do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Diversas pesquisas tem avaliado a qualidade dessas estimativas, disponibilizadas sob a forma de diferentes produtos gerados com variadas abordagens, em termos de reprodução do regime de chuvas observado em pluviômetros, seja a nível global (HUFFMAN et al., 2007; KUMMEROW et al., 2000), áreas oceânicas (CHEN et al., 2013), para diferentes regiões mundiais (oeste da África: NICHOLSON et al., 2003; Estados Unidos: AMITAI et al., 2012; SHEPHERD; BURIAN, 2003; Equador e Peru: ARIAS-HIDALGO et al., 2013; OCHOA et al., 2014; Índia: WAGNER et al., 2012; Austrália: WOLDEMESKEL; SIVAKUMAR; SHARMA, 2013; Kuwait: UDDIN et al., 2008), para o continente sul-americano (ROZANTE et al., 2010), para a bacia hidrográfica do rio da Prata (SU; HONG; LETTENMAIER, 2008), para todo o território brasileiro (FRANCHITO et al., 2009; PEREIRA et al., 2013), para a região amazônica (CLARKE et al., 2011; NÓBREGA; SOUZA; GALVÍNCIO, 2008; PAIVA et al., 2011), para o Estado do Rio Grande do Norte (SANTOS E SILVA et al.; 2012), para áreas da região central do Brasil (COLLISCHONN et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2014), dentre outras regiões.

A partir dessas pesquisas, de forma geral, as estimativas de chuva provenientes dos dados do TRMM tem se mostrado de grande potencial para caracterizar o regime de chuvas e servir como informação básica para diferentes estudos. Shepherd e

Burian (2003), por exemplo, utilizaram dados do TRMM em conjunto com dados pluviométricos para detectar anomalias na precipitação causadas pela interação entre o uso do solo urbano e os processos atmosféricos. Su, Hong e Lettenmaier (2008) constataram que a utilização da precipitação derivada dos dados do TRMM é benéfica para analisar áreas com pequena disponibilidade de pluviômetros. Oliveira et al. (2014), utilizando as versões 6 e 7 do TRMM, avaliaram o balanço hídrico da região central do Brasil. Concluíram que há uma superestimativa de chuvas do satélite, para as duas versões, com melhores resultados quando a versão 7 foi utilizada.

A despeito dos estudos desenvolvidos a nível global, para o continente sul-americano ou mesmo considerando todo o Brasil, existe uma lacuna referente à avaliação das estimativas de chuva do TRMM especificamente para o Estado da Paraíba. Os estudos que abrangeram todo o continente sul-americano ou todo o país trabalharam com escala espacial muito maior do que a necessária para identificar os padrões espaços-temporais do regime de chuvas na Paraíba. Os estudos de Franchito et al. (2009) e Pereira et al. (2013) podem ser considerados os mais completos com abrangência nacional em termos de avaliação de estimativas de chuva a partir dos dados do TRMM. Franchito et al. (2009) analisaram as estimativas de chuva geradas pelo produto TRMM PR (precipitação por radar), considerando precipitações acumuladas trimestrais. Pereira et al. (2013) avaliaram as estimativas de chuva mensais do produto TRMM 3B43 versão 6. Apesar da abrangência nacional, tais estudos são limitados em termos de diagnosticar a performance das estimativas de chuva do TRMM para o Estado da Paraíba. A primeira questão é que ambos os trabalhos desenvolveram as análises por regiões do país, considerando a chuva média espacial sobre cada região. Outra questão é a própria representatividade da chuva observada na Paraíba, pois ambos os estudos usaram dados de apenas cerca de uma dezena de pluviômetros no interior da Paraíba, além de apresentarem resultados para versões anteriores do TRMM.

Considerando o potencial de aplicação dos dados do TRMM para os diferentes setores socioeconômicos na Paraíba, necessita-se avaliar comparativamente as estimativas do TRMM em relação à capacidade de representar a variabilidade espaço-temporal da chuva no estado, considerando de forma adequada a escala espacial de trabalho e a rede completa de postos pluviométricos.

Assim, o objetivo deste estudo é analisar o desempenho das estimativas de chuvas do TRMM especificamente para o Estado da Paraíba quanto à reprodução dos padrões espaço-temporais, de forma comparativa com os dados obtidos de toda a rede pluviométrica disponível (212 postos). São analisadas as chuvas em termos de diferentes períodos de acumulação (diário, 3 dias, 7 dias e mensal), separadamente para cada mês do ano, e considerando tanto uma análise pontual quanto agregada no espaço tomando as mesorregiões em que se divide o estado. Quatro métricas são determinadas para quantificar as análises: coeficiente de correlação de Pearson (com teste de significância t-Student), erro médio absoluto, raiz do erro médio quadrático e o bias.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é o Estado da Paraíba, localizado entre as latitudes 07° e 09° Sul e as longitudes 33° e 39° Oeste. O Estado está dividido em quatro mesorregiões geográficas: Mata Paraibana (5.242 km²), Agreste (12.914 km²), Borborema (15.572 km²) e Sertão (22.720 km²) (Figura 1).

A região da Mata Paraibana, que é coberta pelas planícies litorâneas e por restos de florestas de Mata Atlântica, compreende o litoral e se estende do mar até aproximadamente 80 km para oeste, direção interior do Estado. Trata-se da área mais populosa da Paraíba onde se situa a capital do estado – João Pessoa (MOREIRA, 1988). Segundo a classificação de Köppen, tal região tem clima quente úmido litorâneo ou tropical atlântico (As²) e temperaturas médias de 24° C a 27° C, além de elevados índices pluviométricos, variando de 900 mm a 1.800 mm ao ano e umidade alta, em torno de 80%. O período chuvoso dessa mesorregião concentra-se de abril a junho.

O Agreste, que é a segunda região em termos populacionais, engloba uma área de transição entre os ecossistemas (Mata Atlântica e Caatinga) representando 21,5% da quantidade total dos municípios paraibanos e 15,6% do território estadual. A vegetação apresenta características da Mata Atlântica e é conhecida como mata de brejo. Em termos de relevo, o Agreste está subdividido em depressão sublitorânea ou Agreste Baixo, marcado por uma forte dissecação do relevo influenciado por bacias hidrográficas, e o Agreste Serrano formado por uma área cristalina, marcada pelos esporões do maciço da Borborema e Escarpas Orientais do Maciço da Borborema. As médias altimétricas começam a aumentar na direção Leste-Oeste, ultrapassando a cota dos 300m, até atingir altitudes médias de 600m (BELARMINO, 2003; MOREIRA, 1988). Os ventos úmidos do sudeste interferem diretamente nas condições climáticas locais, passando a existir mais umidade, e em função da altitude, nota-se uma queda de temperaturas (de 22°C a 25°C), os índices pluviométricos variam de 800 a 1.000 mm e ocorrem as chamadas chuvas orográficas. O período chuvoso compreende apenas os meses de março a maio.

A Borborema compreende a porção central da Paraíba, onde se encontra a mais notável unidade geomorfológica do Nordeste: o planalto da Borborema com altitudes que variam entre 500 e 600 metros (BELARMINO, 2003; MOREIRA, 1988). É a região com menor população do Estado. Apresenta clima semiárido quente e seco (Bsh e Aw², segundo Köppen) e sua vegetação característica é a Caatinga. Nessa área do Estado, onde o período chuvoso está concentrado nos meses de março a maio, são encontrados os menores índices de chuva, com totais variando de 300 mm a 800 mm ao ano.

O Sertão também possui, predominantemente, clima semiárido quente e seco (Bsh e Aw², segundo Köppen). Está situado na porção ocidental do Estado. Estende-se pelo pediplano sertanejo formado por serras e possui várias depressões. No entanto, nas áreas de serras e depressões o clima é semiúmido (BELARMINO, 2003; MOREIRA, 1988). O período chuvoso

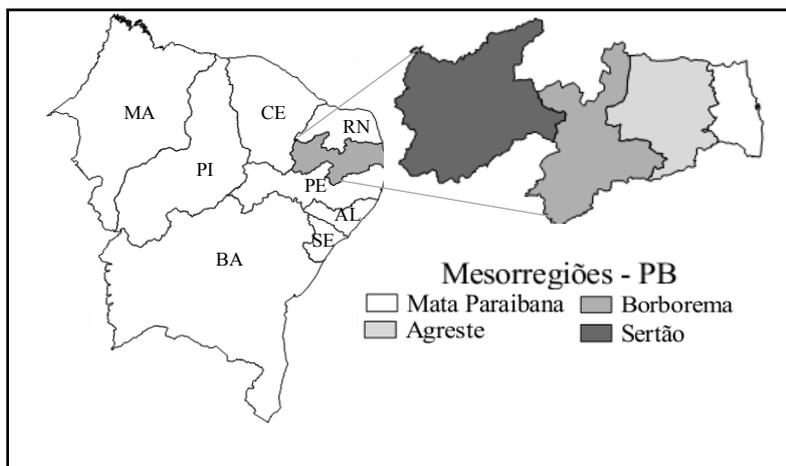


Figura 1 - Localização da Paraíba e indicação da divisão do Estado em quatro mesorregiões

está concentrado nos meses de janeiro a março, com totais anuais de precipitação, distribuídos irregularmente, variando de 400 mm a 1000 mm. A vegetação é a Caatinga e as temperaturas médias anuais são superiores a 24°C.

As mesorregiões do estado da Paraíba possuem um regime de chuvas influenciado pelos sistemas atuantes no Nordeste brasileiro. De acordo com as pesquisas de Kousky (1979), esses sistemas são classificados como mecanismos de grande, meso e microescalas, sendo responsáveis pelo total de precipitação observado na região. Dentre os mecanismos de grande escala atuantes no Estado, destacam-se os sistemas frontais, associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul, os Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera e a Zona de Convergência Intertropical. Dos mecanismos de mesoescala fazem parte às perturbações ondulatórias no campo dos alísios, os complexos convectivos e as brisas, tanto marítimas como terrestres. Com relação aos principais fenômenos de microescala destacam-se as circulações orográficas e as pequenas células convectivas.

Delineamento metodológico

O estudo consistiu em comparar as estimativas de chuva do TRMM com os dados pluviométricos figura 2, considerando períodos de 1 dia, 3 dias, 7 dias e mensal para acumulação da

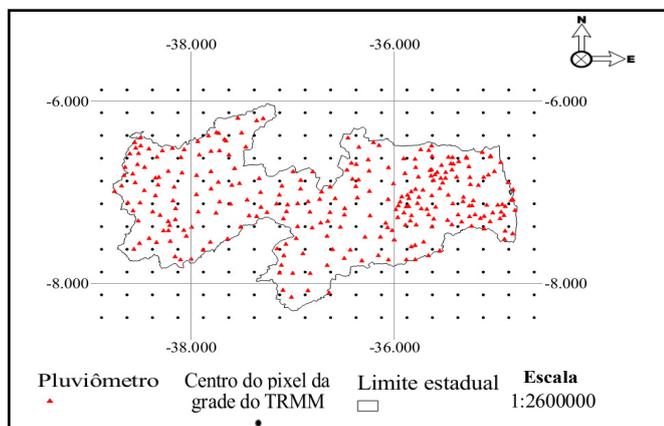


Figura 2 - Postos pluviométricos e pontos do TRMM sobre a Paraíba

chuva. Na primeira etapa, fez-se uma comparação pontual entre os dados registrados em cada posto pluviométrico e os estimados em cada ponto da grade do satélite TRMM. Em outra etapa, foram comparados valores médios espacialmente sobre áreas de interesse, a saber, a divisão do estado da Paraíba em mesorregiões. A figura 3 expõe as etapas seguidas no desenvolvimento do estudo, as quais são descritas nos itens a seguir.

Dados pluviométricos

Utilizaram-se dados de 269 postos de precipitação diária disponibilizados pela Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A) para o período de 1998 a 2011, que foram acumulados em períodos de 3 dias, 7 dias e mensal.

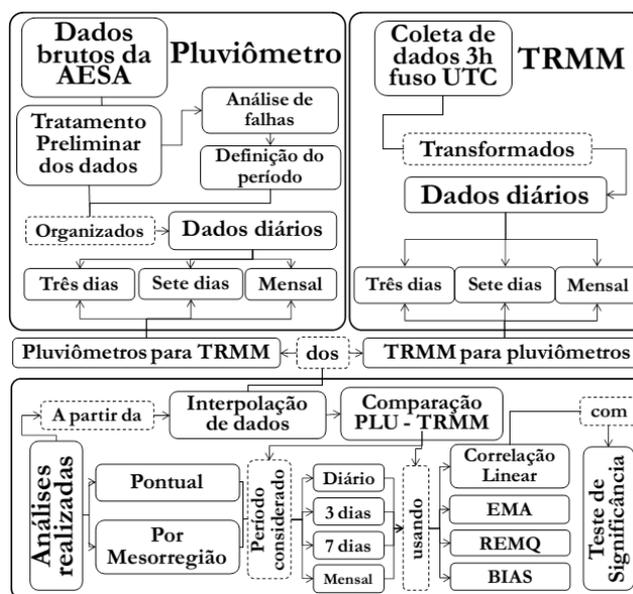


Figura 3 - Fluxograma da metodologia

Após a análise da informação, foram escolhidos os postos que apresentaram mais de 2/3 de dados válidos do total máximo da série para cada período de acumulação, o que equivale ao total de 212 postos.

Dados derivados do TRMM

Os dados estimados pelo algoritmo 3B42 (versão 7) correspondem à precipitação obtida a partir da fusão de informações de diversos satélites (GMS, GOES-E, GOES-W, Meteosat-7, Meteosat-5, and NOAA-12 data) aos dados do satélite TRMM, assim como informações de pluviômetros. Os dados são disponibilizados com uma resolução temporal de 3 horas para uma grade de 198 pixels cobrindo o estado da Paraíba (Figura 2), considerando o mesmo período de disponibilidade dos dados de chuva (1998 a 2011).

Os dados diários de estimativas do TRMM foram gerados a partir da acumulação dos diários de 3h em 3h, considerando os valores referentes às 12h de um dia até 9h do dia seguinte, horários UTC, os quais correspondem, respectivamente, às 9h de um dia até 6h do dia seguinte no horário da Paraíba. Esse arranjo foi estabelecido para coincidir o período de monitoramento do TRMM com as leituras de pluviômetros feitas às 7h da manhã. Os dados diários foram depois convertidos para acumulados de 3 dias, 7 dias e mensais.

Comparação espacial

Na comparação de dados de chuva provenientes de sensores remotos orbitais na forma de grade, como é o TRMM, com dados pontuais obtidos de pluviômetros, existem várias abordagens, como por exemplo: (a) interpolação de dados dos pluviômetros para os centros dos pontos de grade do TRMM (ex: AMITAI et al., 2012; SU; HONG; LETTENMAIER., 2008); (b) interpolação dos dados da grade do TRMM para os locais dos pluviômetros (ex: CHEN et al., 2013; UDDIN et al., 2008); (c) geração e comparação de informação agregada espacialmente, tanto proveniente do TRMM quanto dos pluviômetros, para toda uma região de maior abrangência espacial, como uma bacia hidrográfica (ex: OCHOA et al., 2014; PEREIRA et al., 2013); (d) comparação entre valores de cada ponto de grade do TRMM com o valor médio dos pluviômetros localizados em cada célula da grade (ex: NICHOLSON et al., 2003). Cada abordagem tem vantagens e limitações, devido à natureza intrínseca da comparação entre dados pontuais de medição de chuva em instrumentos como pluviômetros, sujeitos a especificidades e efeitos locais, com estimativas feitas por TRMM em termos de valores médios sobre a área do pixel (que é gigante em relação à área de cobertura do pluviômetro), sem esquecer da enorme variabilidade espaço-temporal do fenômeno em questão, a chuva.

Nesta pesquisa, a comparação de dados dos pluviômetros com as estimativas do TRMM foi realizada de duas formas: 1) análise pontual e 2) agregada espacialmente por mesorregiões. Na análise pontual, foi adotado o procedimento de interpolação dos dados da grade do TRMM para os locais dos pluviômetros, dispostos espacialmente de forma irregular sobre o estado, como indicado na figura 2, tendo em vista o foco do artigo de tentar quantificar a qualidade das estimativas do produto TRMM 3B42 v.7 em reproduzir as variações espaço-temporais de chuva nos locais dos pluviômetros. Apenas para checagem, uma pequena parte do trabalho foi refeita usando a abordagem (a) e os padrões de resultados obtidos é a mesma em ambas as abordagens (a e

b), como apresentado em Soares (2014).

A interpolação foi realizada via método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD), dado pela Equação 1. O uso de métodos de interpolação de chuva é amplamente discutido na literatura, sem haver consenso acerca de um método mais adequado de forma geral e que isso é variável conforme cada situação, como discutido em Plouffe, Robertson e Chandrapala (2015). Tais autores apresentam uma síntese de vários estudos que avaliam a influência e adequabilidade de diferentes métodos de interpolação de chuva. Foi adotado neste trabalho o método IQD tendo em vista a simplicidade de aplicação e por ser um método bastante utilizado (exemplos: ARIAS-HIDALGO et al., 2013; CHEN et al., 2013).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \cdot P_i \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)} \quad (1)$$

Na equação 1, P é a precipitação interpolada, P_i a precipitação no ponto de grade do TRMM e d_i é a distância entre o local do pluviômetro e o ponto considerado. Para cada pluviômetro foi definido um raio de busca e este determinou o quantitativo de pontos a ser considerado no processo de interpolação.

Na análise agregada por mesorregião, o mesmo método IQD foi usado para gerar dados de chuva (pluviométricos e provenientes do TRMM) em uma grade regular de 5 km, sendo em seguida feita a média dos valores dessa grade sobre cada mesorregião. Tais grades foram usadas também como etapa de preparação de dados para entrada de modelos hidrológicos distribuídos, em trabalhos futuros.

Medidas de desempenho

Foi estimado o coeficiente de correlação de Pearson, que mede o grau da correlação linear entre as estimativas de chuva do satélite e os totais observados em pluviômetro, nos diferentes períodos de acumulação. Os valores obtidos para o coeficiente de correlação foram analisados quanto à significância considerando $\alpha = 5\%$ (teste t-Student), e tendo em conta a quantidade de dados específica de cada caso (varia conforme a disponibilidade de dados de cada posto pluviométrico e o passo de tempo de acumulação) e a hipótese nula de não existência de correlação linear. Além disso, utilizaram-se outras três medidas de performance, que quantificam o erro associado às estimativas de chuva: Erro Médio Absoluto (EMA), ou seja a média das diferenças entre os valores observados e estimados; a Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), que é a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre a chuva obtida por satélite e por pluviômetros; e o viés (bias, que é o desvio das estimativas do satélite em relação aos valores oriundos dos pluviômetros). Tais medidas de desempenho foram aplicadas às séries temporais completas de dados diários, 3 dias, 7 dias e mensais, mas também tomando tais séries separadas por mês do ano, visando avaliar o

efeito sazonal na performance das estimativas do satélite. Todas essas análises foram repetidas para cada pluviômetro individualmente e considerando as séries de dados de valores médios espaciais por mesorregião do estado da Paraíba.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise pontual

A figura 4 apresenta a correlação linear entre as precipitações estimadas pelo satélite TRMM e as observadas por pluviômetros, para chuva diária, no período de 1998 a 2011. Nesse cenário observou-se que existe uma sazonalidade nos resultados e as maiores correlações ocorreram no primeiro semestre, de janeiro a junho e no mês de dezembro. Nesses meses,

praticamente em todos os pontos a correlação foi significativa para $\alpha = 5\%$. Esses resultados estão coerentes com as análises de correlação a nível mensal para a chuva média sobre toda a região Nordeste realizadas por Pereira et al. (2013), cujas maiores correlações também foram para o período dezembro a junho, mas para o produto TRMM 3B43 versão 6. Nas análises trimestrais acerca do produto TRMM PR (precipitação por radar) geradas por Franchito et al. (2009), o trimestre Março-Abril-Maio foi o de maior correlação para a região Nordeste.

No mês de janeiro, dos 212 postos analisados, 158 (74%) apresentaram correlações variando de 0,5 a 0,7 (Figura 5), 12 postos (5%) apresentaram as maiores correlações com resultados entre 0,7 a 0,8 e 42 postos (19%) tiveram correlação inferior a 0,5. Essas médias de valores se repetiram até o mês de junho, conforme figura 5.

O mês de julho apresentou uma variação espacial nos

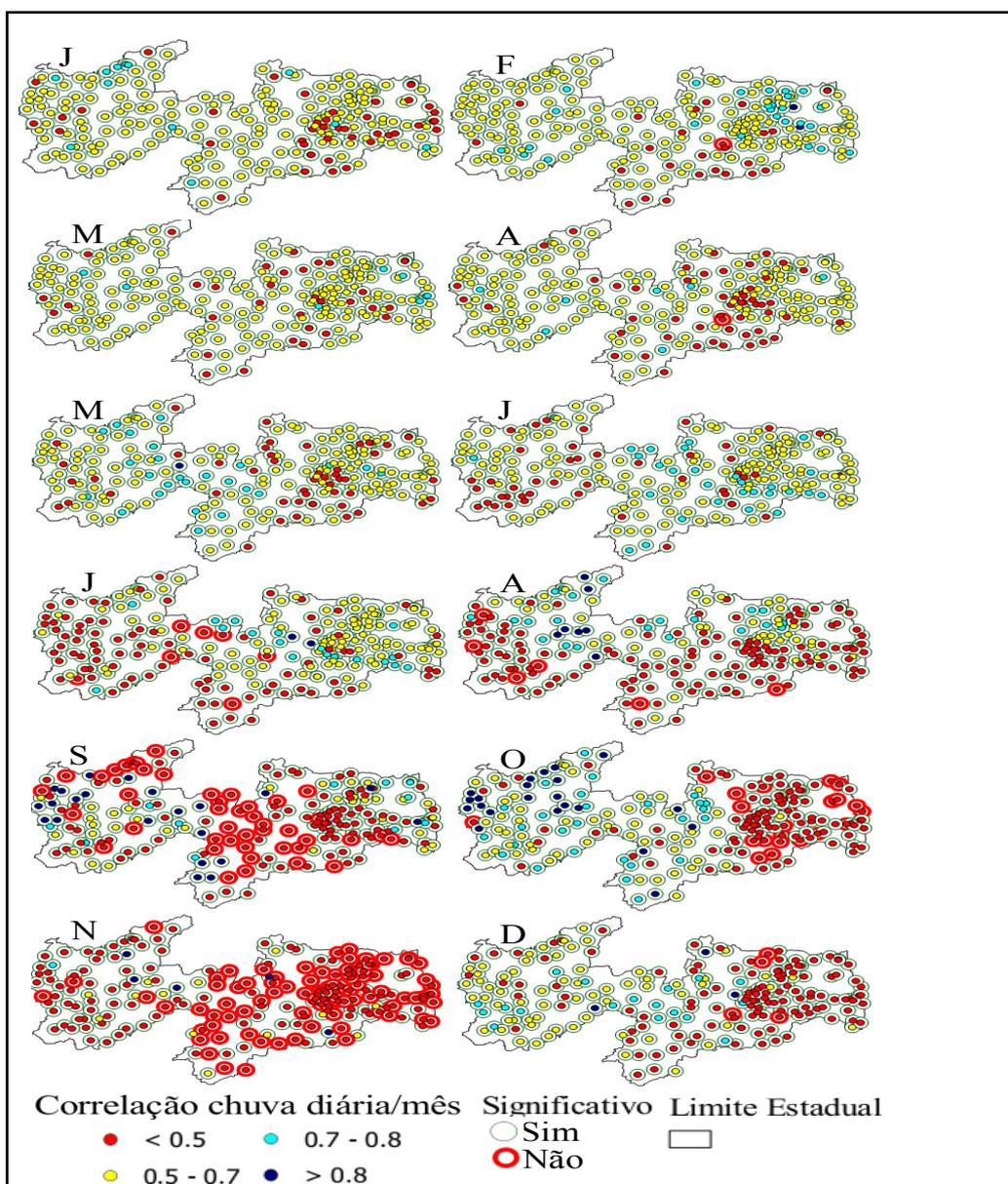


Figura 4 - Correlação de chuva diária entre pluviômetros e dados do TRMM separadamente por mês do ano (com indicação de valores para $\alpha=0,05$)

resultados, com 99 dos 212 postos (46%) apresentando uma correlação entre 0,5 e 0,7. A maioria desses valores está concentrada no litoral do Estado. Para 90 postos (42% do total), localizados majoritariamente no interior do Estado, foram obtidas correlações inferiores a 0,5, mas ainda assim significativas. Os meses de agosto e setembro apresentam respectivamente 135 (63%) e 138 postos (65%) com correlação, valores inferiores a 0,5, com aumento do número de pontos com correlações não significativas.

No mês de outubro, dos 212 postos, 108 (51%) tiveram correlação abaixo de 0,5, com grande ocorrência de valores não significativos. Esses postos estão em sua maioria concentrados no litoral e parte central do Estado. Os demais postos apresentam correlações significativas, 51 (24%) variam de 0,5 a 0,7, 27 (12%) com correlações de 0,7 a 0,8 e 22 (10%) apresentaram valores maiores que 0,8. Em novembro, mês com menor concordância entre estimativas do satélite e dos pluviômetros, dos 212 postos, 187 (que correspondem a 88% dos postos) tiveram correlação entre chuva de pluviômetro e do TRMM abaixo de 0,5.

A figura 5 mostra o comparativo de cada mês do ano, entre acumulados de chuva observada e estimada, uma vez que pode-se identificar os níveis de correlação levando em consideração os diferentes acumulados de chuva.

Evidencia-se que nos meses de janeiro a maio, a comparação entre chuva observada e chuva estimada no acumulado mensal, na maioria dos postos (entre 58% e 95%), apresentou correlação maior que 0,8. De um modo geral, foi nesse período que ocorreram as maiores correlações, tendo em vista que para todos os perfis de acumulados, verificaram-se poucos postos na classe de correlação inferior a 0,5 (até 2%, 9%, 10% e 25% dos postos nas análises mensal, 7 dias, 3 dias e diária, respectivamente). Nos resultados das análises mensais de Pereira et al. (2013) para o Nordeste, os meses de Dezembro a Maio também foi o período de maiores correlações, com valores entre 0,97 e 0,98 (à exceção de Março cujo valor foi 0,94).

Nos meses de agosto a dezembro a correlação entre a chuva observada e a estimada a nível diário é reduzida, predominando para a maioria dos postos correlações inferiores a 0,5 (entre 52% e 91% dos postos, conforme o mês). Observou-se também que foram os meses de agosto e novembro onde houve as menores correlações em todos os perfis de acumulados, com valores concentrados na classe inferior a 0,5.

A comparação entre a precipitação estimada e a observada para acumulados de três dias apresenta significativa correlação para os seis primeiros meses do ano. Dos 210 postos analisados, a maior parte (cerca de 86% a 99%, dependendo do mês) apresenta valores superiores a 0,5. Coincidentemente, observa-se, em algumas partes do estado, que esse também é o período do ano que mais chove.

Percebe-se que no período seco (julho a novembro), ou seja, nos meses do ano que ocorrem menores quantidades de chuva na Paraíba, a correlação linear decresce em todos os meses. Esses resultados estão coerentes com a pesquisa efetuada por Pereira et al. (2013), que obtiveram maiores concordâncias entre chuva mensal de pluviômetros e chuva do TRMM (produto 3B43 versão 6) no Nordeste do Brasil no período de dezembro a junho.

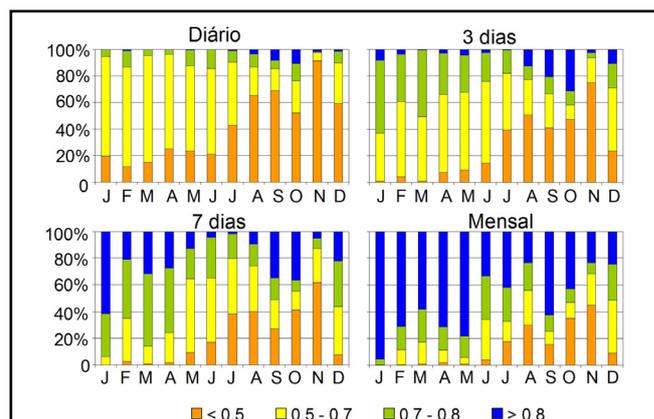


Figura 5 - Distribuição dos postos pluviométricos segundo classes de correlação linear com estimativas do TRMM, para chuva diária, 3 dias, 7 dias e mensal, separados por mês do ano

Nos acumulados de sete dias a correlação aumenta significativamente em todos os meses do ano. Percebe-se que de dezembro a junho, o índice de correlação foi alto em todo o Estado. Janeiro é o mês com os melhores resultados tendo 62% dos postos analisados com índices de correlação acima de 0,8. Nos meses de dezembro e fevereiro a julho, a predominância foi de correlações entre 0,5 e 0,8 (entre 60% e 79% dos postos). De acordo com as pesquisas de Nóbrega, Souza e Galvêncio (2008) e Woldemeskel, Sivakumar e Sharma (2013), para esse tipo de análise, esses valores são considerados bons. O período de agosto a novembro apresenta correlações mais baixas (entre 27% e 62% dos postos com correlação inferior a 0,5), fato observado, também, nos acumulados de três dias.

Evidencia-se que, quanto maiores os períodos temporais de acumulação, melhores são as correlações entre os dados de chuva do satélite e os valores observados em pluviômetros. Esse fato verifica-se, tanto nos primeiros meses do ano, onde ocorreu às correlações maiores para todos os conjuntos de dados (diários, acumulados de três dias, acumulados de sete dias e mensal), quanto nos meses de correlações menores. De certa forma, é esperado que quanto maior o período de acumulação da chuva para análise, mais facilidade e maior chance de que um estimador (seja o TRMM ou outro sensor orbital) gere valores próximos do observado em pluviômetros. Pois um maior período de tempo permite que erros temporais nas estimativas de chuva ao longo desse período de tempo se compensem de forma que o total acumulado no período seja mais próximo do observado. Em outras palavras, quanto menor o período de tempo de acumulação, a estimativa de chuva está mais sujeita à grande variabilidade temporal desse fenômeno.

Os resultados obtidos também permitem destacar a influência do regime de chuvas que ocorre na região em estudo, uma vez que o período de chuvas mais abundantes no leste do Nordeste do Brasil abrange os meses de Abril a Julho (NOBRE; MOLION, 1988), em decorrência da circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade para o continente, bem como também aos distúrbios ondulatórios de leste. Esses eventos ocorrem devido ao deslocamento meridional da ZCIT (Zona de Convergências Intertropical) e ao tempo de sua permanência em latitudes mais ao sul do Equador (DINIZ, 2013).

Os resultados observados nos diferentes perfis de acumulação indicam que as estimativas do TRMM foram mais próximas do observado no período chuvoso (que no Estado da Paraíba corresponde aos primeiros meses do ano) que no período seco. Em contrapartida, nos meses de julho a novembro percebe-se uma variação espacial nos valores de correlação. Dos 212 postos analisados, nos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro, respectivamente, 38 (17%), 64 (30%), 32 (15), 75 (35%) e 95 (45%) apresentaram valores de correlação abaixo de 0,5 (Figura 6).

Para todo o estado, a figura 7 mostra o EMA variando entre 0 e 5 mm e a REMQ variando de 5 a 12 mm em termos médios para a análise da chuva diária.

Na parte central do estado da Paraíba observaram-se os menores valores de EMA e de REMQ, com variações de 0 a 2 mm e de 5 a 7 mm, respectivamente, ou seja, ocorreu a menor

diferença entre estimativas do TRMM e medidas pluviométricas segundo tais métricas. No Sertão, a maioria dos valores calculados de EMA variou de 2 a 3 mm, enquanto que o REMQ variou de 7 a 9 mm. Na parte litorânea da Paraíba foram detectados os maiores valores de EMA e de REMQ para a chuva diária. Tais resultados de EMA e REMQ estão relacionados ao quantitativo de chuvas, já que a parte litorânea tem a maior ocorrência pluviométrica, enquanto Sertão e Borborema, no centro do estado apresentam menores totais pluviométricos. Também se pode argumentar que a não ocorrência de chuvas é relativamente mais simples de detectar do que a quantidade de chuva durante dias chuvosos, o que torna mais favorável o acerto das estimativas nos postos pluviométricos do Sertão e Borborema, os quais têm menor total pluviométrico anual e menor quantidade de dias chuvosos, como é típico de tais regiões. Além disso, a ocorrência de complexos convectivos de curta duração na região litorânea

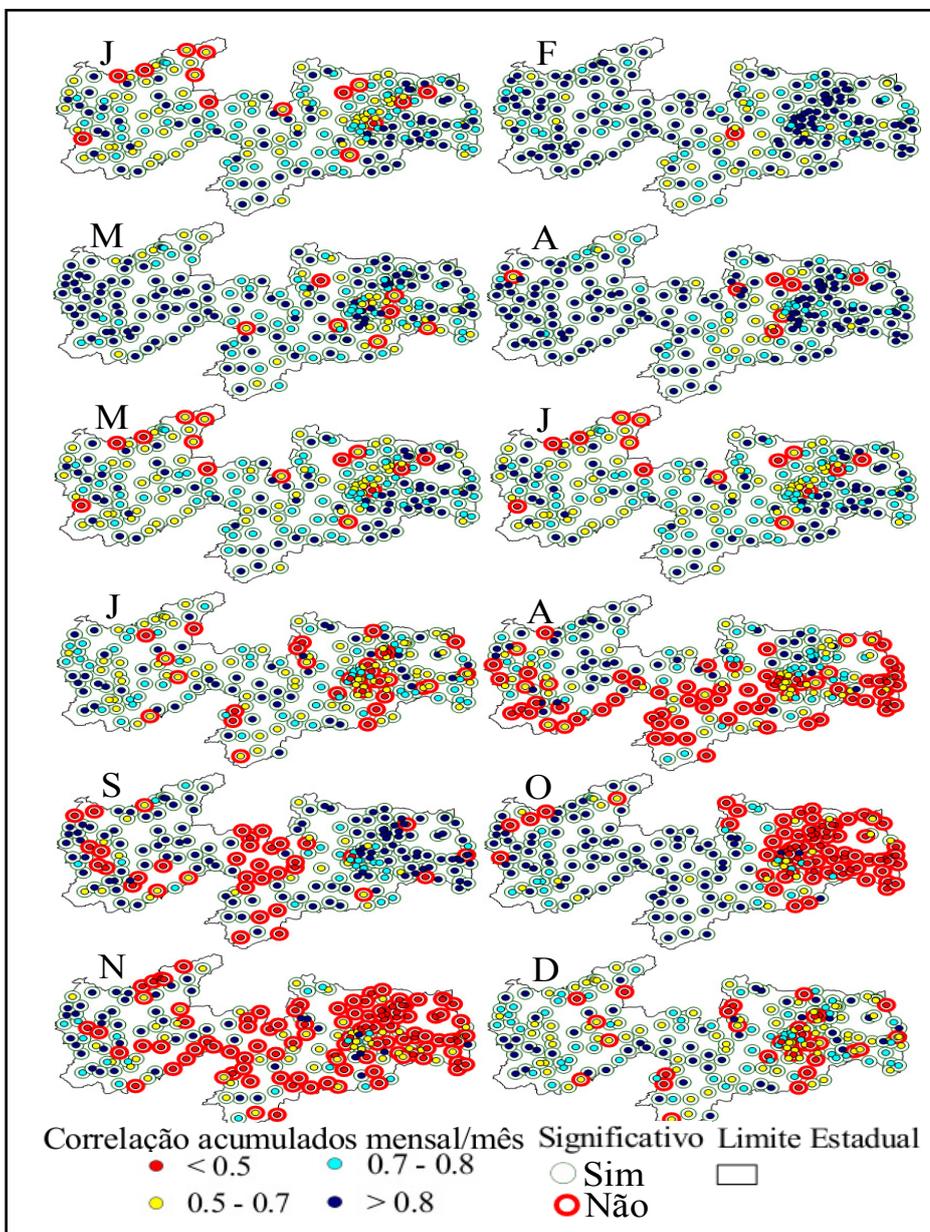


Figura 6 - Correlação de chuva mensal entre pluviômetros e dados do TRMM separadamente por mês do ano (com indicação de valores para $\alpha = 0,05$)

que se desenvolvem em poucas horas e não são capturados plenamente pelo TRMM contribuem para maiores erros nas estimativas de chuva nessa área.

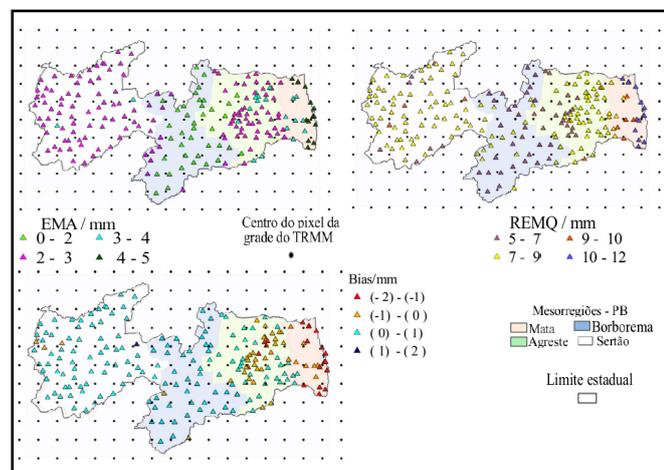


Figura 7 - Análise espacial do Erro Médio Absoluto (EMA), da Raiz do Erro Médio Quadrático (REM) e do BIAS para chuva diária

Na análise mensal, o EMA teve uma variação entre 21 e 64 mm e o REM varia de 32 a 92 mm (Figura 8) ao longo todo o território paraibano. Cerca de 27 dos 212 postos apresentaram os menores valores de EMA, variando de 21 a 25 mm. Esses postos estão distribuídos nas áreas que correspondem ao Sertão e a Borborema. De fato, nessas áreas do estado ocorreu grande predominância de pontos com EMA de até 30 mm, enquanto na porção litorânea predominou EMA na faixa de 40 a 64 mm. Esse padrão se repete para o REM, com os maiores valores na região litorânea e os menores nas áreas de Sertão e Borborema. Ou seja, tem-se novamente o padrão de ocorrência de maiores erros nas estimativas nas áreas de maiores precipitações.

No trabalho de Pereira et al. (2013), foi obtido EMA a nível mensal para a região Nordeste variando de 0,7 mm no mês de julho a 24 mm no mês de outubro, enquanto REM variou de 4 mm no mês de agosto a 24 mm no mês de março. Tem-se, portanto, que os valores obtidos nesta pesquisa são bem superiores aos de Pereira et al. (2013). Além da questão de diferenças em termos do produto TRMM analisado e da base de dados observados, tem-se um importante fator que diferencia os resultados das duas pesquisas, que é o fato de que Pereira et al. (2013) trabalharam com valores de precipitação médios espacialmente para todo o Nordeste (baseados em 183 pluviômetros para todo o Brasil), enquanto aqui são apresentados resultados a nível de pluviômetro baseado em 212 postos com dados especificamente no território paraibano. Ao comparar a média espacial da precipitação tanto observada quanto estimada a partir de dados do TRMM, erros de super e subestimativa distribuídos espacialmente tendem a se compensar, aumentando a chance de maior concordância entre as duas variáveis.

Observa-se um padrão espacial definido de valores positivos de bias: valores positivos para todos os pluviômetros localizados na metade do oeste paraibano (Sertão e Agreste), e valores negativos para os pontos situados na região litorânea. Na região do Agreste, vê-se claramente a transição entre os dois

tipos de ocorrência. Isso pode estar relacionado também à distribuição espacial do quantitativo de chuvas no estado. Na faixa litorânea, que apresenta maior total pluviométrico, ocorreram os maiores desvios negativos (de até 2 mm na análise diária e de até 58 mm na análise mensal). Para os postos pluviométricos de menor ocorrência de total precipitado, os quais se localizam nas regiões Sertão e Borborema, ocorreu o predomínio quase exclusivo de desvios positivos, de até 2 mm a nível diário e de até 34 mm a nível mensal. Tem-se, então, maiores desvios negativos nas áreas com maiores totais pluviométricos e maiores desvios positivos nas áreas com menores totais pluviométricos. Esse padrão está condizente com os trabalhos de Franchito et al. (2009) e de Oliveira et al. (2014), segundo os quais existe a tendência dos dados do TRMM subestimarem as maiores precipitações e de superestimarem as menores precipitações. Para fins de comparação, os resultados de Pereira et al. (2013) indicaram Bias positivo na comparação mensal entre estimativas TRMM e chuva observada para toda a região Nordeste, variando de 8 mm no mês de agosto até 29 mm no mês de outubro. Novamente, tem-se a questão da agregação espacial da chuva, possivelmente compensando desvios negativos e positivos e contribuindo para um menor valor final.

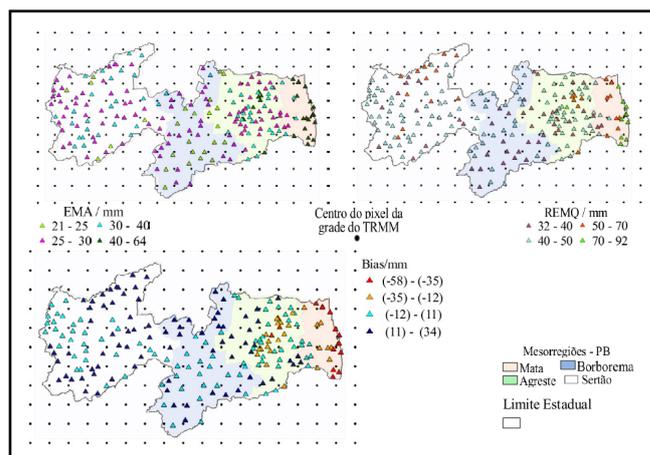


Figura 8 - Análise do EMA e do REM e do BIAS para a chuva mensal

Análise por mesorregiões

Na análise por mesorregiões do estado da Paraíba, a figura 9 ilustra o grau de concordância entre chuva observada em campo com os dados estimados pelo TRMM para cada período de acumulação. De modo geral, tem-se uma maior dispersão entre chuva proveniente dos dados do TRMM e dos pluviômetros para a região da Mata Paraibana, aumentando a concordância para as regiões no sentido do interior do estado, sendo o Sertão com menor grau de dispersão. Esse padrão se reflete nos valores dos coeficientes de correlação, EMA e REM obtidos tanto a nível diário quanto mensal (Tabela 1). Por exemplo, o coeficiente de correlação na análise diária variou de 0,75 na região da Mata Paraibana até 0,89 no Sertão. A nível mensal, o EMA e o REM no litoral são de, respectivamente, 31 e 43 mm, enquanto no Sertão tais métricas se reduzem para 16 e 23 mm, respectivamente. Isso está relacionado ao total plu-

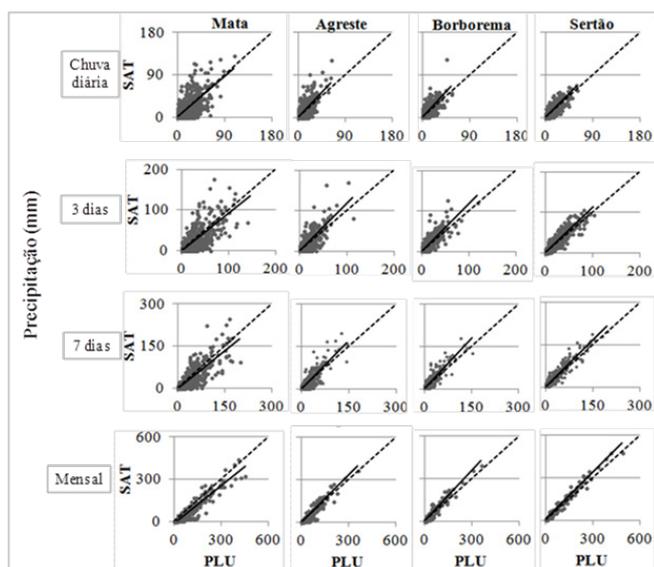


Figura 9 - Correlação entre valores estimados pelo satélite (SAT) e valores observados (PLU) de chuvas diárias, acumuladas de 3 dias, de 7 dias e mensal, nas mesorregiões da Paraíba; linha de tendência (linha cheia); linha de proporção 1:1 (linha tracejada)

viométrico de cada região, que é maior no litoral (Mata) e menor no Sertão e Borborema, como já comentado na seção anterior.

Os valores de EMA e REMQ a nível mensal obtidos para as mesorregiões são relativamente inferiores aos obtidos para a análise individual por pluviômetros e, portanto, mais próximos daqueles relatados por Pereira et al. (2013) na análise para todo o Nordeste, corroborando o argumento discutido na seção anterior, de maior facilidade de estimar chuva sobre uma área extensa do que sobre uma localidade específica. Analogamente, a integração temporal que ocorre ao aumentar o período de acumulação também resultou em melhorias nas medidas de desempenho.

A análise do viés por mesorregião comprova o padrão constatado pela análise por pluviômetros, segundo o qual existe o predomínio de subestimativa de chuva na região da Mata (viés mensal de -24 mm) e de superestimativa de chuva nas regiões do Sertão (viés mensal de +13 mm) e da Borborema (viés mensal de +11 mm). O Agreste foi identificado como uma região de transição entre os dois comportamentos ao analisar o conjunto de pluviômetros e isso se refletiu na compensação entre as duas tendências resultando em um desvio reduzido, mas positivo (+3 mm).

Tabela 1 – Medidas de desempenho para análise agregada por mesorregiões, considerando chuvas acumuladas diárias (d) e mensais (m)

Mesorregião	r*		EMA (mm)		REMQ (mm)		Bias (mm)	
	d	m	d	m	d	m	d	m
Mata	0,75	0,94	3	31	7	43	-0,8	-24
Agreste	0,78	0,93	2	19	4	27	0,1	3
Borborema	0,84	0,96	1	16	3	24	0,4	11
Sertão	0,89	0,99	1	16	3	23	0,4	13

* Todos os valores obtidos são significativos para $\alpha = 5\%$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises desenvolvidas nesta pesquisa, tem-se que as estimativas de chuva provenientes do TRMM produto 3B42 versão 7 reproduzem de modo geral o padrão espaço-temporal do regime de chuvas no Estado da Paraíba, seja em termos de sazonalidade quanto em termos da distribuição espacial de chuvas. Maior concordância entre estimativas do TRMM e medições pluviométricas foi obtida para a região do Sertão e da Borborema, enquanto menor concordância foi identificada para a região litorânea. Esse desempenho pode estar associado ao quantitativo pluviométrico de cada região (maior concordância para regiões de menor total pluviométrico) e à questão de maior facilidade de estimativa de não ocorrência de chuva do que da quantidade de chuva em dias chuvosos.

Outro padrão de erro identificado foi o de subestimativa das chuvas nos locais de maior índice pluviométrico e de superestimativa nos locais de menor índice pluviométrico. Tais padrões se repetiram para os diferentes períodos de acumulação analisados (diário, 3 dias, 7 dias e mensal). Porém, reduziram-se os erros e aumentou-se a concordância entre estimativas do TRMM e medições pluviométricas com o aumento do período de tempo de acumulação, o que é esperado tendo em vista que quanto menor o passo de tempo de acumulação da chuva maior variabilidade da chuva e, assim, maior dificuldade em estimar corretamente tal variabilidade.

Analogamente, as análises agregadas espacialmente por mesorregião permitiram identificar os principais padrões identificados na análise por pluviômetros, porém com redução de erros entre estimativas do TRMM e dados pluviométricos relativamente à análise pontual, o que é devido também ao amortecimento da variabilidade espacial ao passar da escala de pluviômetros individuais para um valor médio espacial sobre uma extensa área. Embora a análise agregada no espaço tenha identificado os principais padrões, pode-se concluir que a análise pontual torna-se necessária a fim de ter um diagnóstico específico da performance das estimativas do TRMM em cada localidade ao longo do estado da Paraíba. Essa caracterização individual possibilita aumentar o potencial de aplicação de tais estimativas de chuva, uma vez que conhecer a existência de erros, qual tipo de erro e uma quantificação deles, tende a aumentar a confiabilidade do uso das estimativas e permite inclusive o uso de métodos de correção das estimativas. Nesse sentido, tem-se a contribuição deste trabalho em relação a estudos anteriores, que avaliaram apenas a precipitação média espacialmente para toda a região Nordeste.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor; à AESA pela disponibilização dos dados pluviométricos; à agência espacial americana (NASA) pela disponibilização dos dados de chuva do TRMM.

REFERÊNCIAS

- AMITAI, E.; UNKRICH, C. L.; GOODRICH, D. C.; HABIB, E.; THILL, B. Assessing satellite-based rainfall estimates in semiarid watersheds using the USDA-ARS Walnut Gulch gauge network and TRMM PR. *J. Hydrometeorol.*, v. 13, n. 5, p. 1579-1588, Oct. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/JHM-D-12-016.1>>. Acesso em: 12 fev. 2013.
- ARIAS-HIDALGO, M.; BHATTACHARYA, B.; MYNETT, A. E.; VAN GRIENSVEN, A. Experiences in using the TMPA-3B42R satellite data to complement rain gauge measurements in the Ecuadorian coastal foothills. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 17, n. 7, p. 2905-2915, 2013. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/2905/2013/hess-17-2905-2013.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2014.
- BELARMINO, M. N. *Geografia: textos, contextos e pretextos para o planejamento ambiental*. 1. ed. Guarabira, PB: Gráfica São Paulo, 2003.
- CHEN, Y.; EBERT, E. E.; WALSH, K. E.; DAVIDSON, N. E. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates of tropical cyclone rainfall using PACRAIN data. *J. Geophys. Res. Atmos.*, v. 118, n. 5, p. 2184-2196, Mar. 2013. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrd.50250/abstract>>. Acesso em: 19 set. 2013.
- CLARKE, R. T.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. Issues of spatial correlation arising from the use of TRMM rainfall estimates in the Brazilian Amazon. *Water Resour. Res.*, v. 47, n. 5, W05539, May 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010WR010334/abstract>>. Acesso em: 29 out. 2015.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Rev. Bras. Cartografia*, v. 59, n. 1, p. 93-99, abr. 2007. Disponível em: <[http://lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path\[\]=302](http://lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path[]=302)>. Acesso em: 20 abr. 2013.
- DINIZ, J. M. T. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. *HOLOS*, v. 3, p. 171-180, ago. 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1291>>. Acesso em: 30 nov. 2013.
- DUBREUIL, V.; LECAMUS, A.; DAGORNE, D.; MATTELLI, G. T. Apport des satellites géostationnaires GOES pour l'étude du climat du Mato Grosso, Brésil. *Assoc. Int. Climatol.*, v. 13, p. 401-409, Dec. 2000.
- FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B.; VASQUES, A. C.; SANTO, C. M. E.; CONFORTE, J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. *J. Geophys. Res.*, v. 114, D02105, 2009. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JD009580/full>>. Acesso em: 8 mar. 2014.
- HABETS, F.; LEMOIGNE, P.; NOILHAN, J. On the utility of operational precipitation forecasts to serve as input for streamflow forecasting. *J. Hydrol.*, v. 293, n. 1-4, p. 270-288, June 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169404000885>>. Acesso em: 11 jun. 2013.
- HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; WOLFF, D. B.; ADLER, R. F.; GU, G.; HONG, Y.; The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeorol.*, v. 8, n. 1, p. 38-55, Feb. 2007. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JHM560.1>>. Acesso em: 11 jun. 2013.
- KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Rev.*, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, Sept. 1979. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1979\)107<1140:FI ONB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107<1140:FI ONB>2.0.CO;2)>. Acesso em: 11 jun. 2013.
- KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BAENES, W. The status of the rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. *J. Appl. Meteorol.*, v. 39, n. 12, p. 1965-1982, Dec. 2000. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040%3C1965:TSOTTR%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040%3C1965:TSOTTR%3E2.0.CO;2)>. Acesso em: 12 jun. 2013.
- LIU, J. K.; PETER, T. Y. Topographic correction of wind-driven rainfall for landslide analysis in Central Taiwan with validation from aerial and satellite optical images. *Remote Sens.*, v. 5, n. 6, p. 2571-2589, 2013. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/5/6/2571>>. Acesso em: 3 fev. 2014.
- MOREIRA, E. R. F. *Mesorregiões e Microrregiões da Paraíba: delimitação e caracterização*. João Pessoa, PB: Gaplan, 1988.
- NICHOLSON, S. E.; SOME, B.; MCCOLLUM, J.; NELKIN, E.; KLOTTER, D.; BERTE, Y.; DIALLO, B. M.; GAYE, I.; KPABEBA, G.; NDIAYE, O.; NOUKPOZOUNKOU, J. N.; TANU, M. M.; THIAM, A.; TOURE, A. A.; TRAORE, A. K. Validation of TRMM and other rainfall estimates with a high-density gauge dataset for West Africa. Part II: validation of TRMM rainfall products. *J. Appl. Meteorol.*, v. 42, n. 10, 1355-1368, Oct. 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042%3C1355:VOTAOR%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042%3C1355:VOTAOR%3E2.0.CO;2)>. Acesso em: 25 jun. 2013.
- NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. *The climatology of drought prediction*. Norwell: Kluwer, 1988.
- NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. *Rev. Geografia*, v. 25, n. 1, p. 6-20, jan./abr. 2008. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/184/78>>.

Acesso em: 22 ago. 2013.

OCHOA, A.; PINEDA, L.; CRESPO, P.; WILLEMS, P. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 18, n. 8, p. 3179-3193, Aug. 2014. Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/3179/2014/hess-18-3179-2014.html>>. Acesso em: 24 dez. 2015.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. *Water Resour. Res.*, v. 50, n. 9, p. 7100-7114, Sept; 2014. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013WR015202/abstract>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G. Reduced precipitation over large water bodies in the Brazilian Amazon shown from TRMM data. *Geophys. Res. Lett.*, v. 38, n. 4, L04406, Feb. 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010GL045277/full>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 18, n. 3, p. 139-148, jul./set. 2013. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=109&SUMARIO=1612>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

PLOUFFE, C. C. F.; ROBERTSON, C.; CHANDRAPALA, L. Comparing interpolation techniques for monthly rainfall mapping using multiple evaluation criteria and auxiliary data sources: a case study of Sri Lanka. *Environ. Model. Software*, v. 67, p. 57-71, May 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815215000328>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONCALVES, L. G. G.; VILA, D. A. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. *Weather Forecasting*, v. 25, n. 3, p. 885-894, June 2010. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/2010WAF2222325.1>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

SANTOS E SILVA, C. M.; FREITAS, S. R.; GIELOW, R.; BARROS, S. S. Distribuição espacial da precipitação sobre o Rio Grande do Norte: estimativas via satélites e medidas por pluviômetros. *Rev. Bras. Meteorol.*, v. 27, n. 3, p. 337-346, Sept. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v27n3/a08v27n3.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2014.

SHEPHERD, J. M.; BURIAN, S. J. Detection of urban-induced rainfall anomalies in a major coastal city. *Earth Interactions*, v. 7, n. 4, p. 1-19, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1175/1087-3562\(2003\)007%3C0001:DOUIRA%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1087-3562(2003)007%3C0001:DOUIRA%3E2.0.CO;2)>. Acesso em:

12 mar. 2014.

SOARES, A. S. D. *Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba*. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2014.

SU, F.; HONG, Y.; LETTENMAIER, D. P. Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *J. Hydrometeorol.*, v. 9, n. 4, p. 622-640, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/2007JHM944.1>. Acesso em: 2 set. 2014.

UDDIN, S.; AL-DOUSARI, A.; RAMDAN, A.; AL GHADBAN, A. Site-specific precipitation estimate from TRMM data using bilinear weighted interpolation technique: an example from Kuwait. *J. Arid Environ.*, v. 72, n. 7, p. 1320-1328, Aug. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196307003412>>. Acesso em: 4 out. 2013.

VARIKODEN, H.; PREETHI, B.; REVADEKAR, J. V. Diurnal and spatial variation of Indian summer monsoon rainfall using tropical rainfall measuring mission rain rate. *J. Hydrol.*, v. 475, p. 248-258, Dec. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412008748>>. Acesso em: 11 jan. 2014.

WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *J. Hydrol.*, v. 464-465, p. 388-400, Sept. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412006270>>. Acesso em: 25 jun. 2014.

WOLDEMESKEL F. M.; SIVAKUMAR, B.; SHARMA, A. Merging gauge and satellite rainfall with specification of associated uncertainty across Australia. *J. Hydrol.*, v. 499, p. 167-176, Aug. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413004824>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Alexleide Santana Diniz Soares - Realizou pesquisa bibliográfica, coleta e tratamento de dados, análise de dados, discussão de resultados e escrita do artigo.

Adriano Rolim da Paz - Professor orientador, contribuiu na concepção do trabalho, análise de dados, discussão de resultados e escrita do artigo.

Daniel Gustavo Allasia - Contribuiu na concepção do trabalho, discussão de resultados e escrita do artigo.