

Revista Brasileira de Cartografia (2017), N° 69/3: 447-462
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MAPEAMENTO DA PRECIPITAÇÃO ESTIMADA E OBSERVADA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO E SUA RELAÇÃO COM A MODELAGEM DE DADOS ESPACIAIS

*Mapping of Estimated and Observed Precipitation in the Semiarid of Pernambuco
and Its Relationship to Space Data Modeling*

**Rafael Silva dos Anjos¹, Ana Lúcia Bezerra Candeias²
& Ranyére Silva Nóbrega¹**

**¹Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Filosofia e Ciências Humanas**

Av. da Arquitetura, s/n Diretoria, Centro de Filosofia e Ciências Humanas Recife – PE CEP: 50740-550
anjos.rsa@gmail.com; ranyere.nobrega@yahoo.com.br

**²Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências**

Av. da Arquitetura, s/n Diretoria, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife – PE CEP: 50740-550
analucia@ufpe.br

*Recebido em 5 de Janeiro, 2017/ Aceito em 11 de Março, 2017
Received on January 5, 2017/ Accepted on March 11, 2017*

RESUMO

A precipitação é considerada como uma das variáveis climáticas que possuem uma variabilidade espaço-temporal bastante considerável. Por isso, para sua produção cartográfica, alguns desafios se apresentam ao cartógrafo como: a interpolação de dados pluviométricos, precisão dos dados observados e falha nos sensores a bordo de satélites climáticos. Todos esses parâmetros interferem no produto cartográfico final. Diante desses pressupostos, o objetivo da pesquisa foi elaborar uma produção cartográfica da precipitação estimada e observada, no semiárido pernambucano, avaliando os melhores métodos de interpolação para mapeamento das chuvas, observadas e estimadas, além da distribuição espacial dos erros das estimativas. Para comparação das estimativas e os dados observados foi utilizado a Raiz do Erro Quadrático Médio (REMQ), para posteriormente fazer a interpolação. Foram analisados os métodos de interpolação *IDW* e Krigagem, de modo que fossem identificados os erros inerentes a cada interpolador de acordo com a série temporal dos dados, fonte (observada ou estimada), e quantidade de pontos para interpolação. Os resultados mostraram que para produção cartográfica da precipitação observada e estimada, alguns desafios mostram-se evidentes: disparidades entre as estimativas e os dados observados, métodos de interpolação que variam de acordo com a série histórica dos dados, quantidade de pontos amostrados, fonte de dados (estimada/observada).

Palavras chaves: Interpolação, TRMM, Krigagem, *IDW*, Precipitação, Estimativas.

ABSTRACT

Precipitation is considered as one of the climatic variables that have a considerable space-time variability. Therefore, for the cartographic production, some challenges are presented to the cartographer, such as the interpolation of pluviometric

data, the accuracy of the observed data and the failure of sensors on board climate satellites. All these parameters interfere with the final cartographic product. Considering these affirmatives, the objective of the research was to elaborate a cartographic production of the estimated and observed precipitation in the semiarid of Pernambuco, evaluating the best interpolation methods for rainfall mapping, observed and estimated, as well as the spatial distribution of the errors of the estimates. To compare the estimates and the observed data, the Root Mean Square Error (RMS) was used, and then, to interpolate these dates. The *IDW* and Kriging interpolation methods were analyzed, so that the errors inherent to each interpolator were identified according to the time series of data, source (observed or estimated), and number of points for interpolation. The results showed that for the production of the observed and estimated precipitation, some challenges are evident: differences between the estimates and the observed data, interpolation methods vary according to the historical series of data, number of points sampled and data source (estimated / observed).

Keywords: Interpolation, TRMM, Kriging, IDW, Precipitation, Estimates.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição da precipitação sobre a superfície terrestre é muito mais complexa que a insolação ou a temperatura do ar. Sendo assim, o padrão de distribuição das chuvas sobre o globo depende de diversos fatores, tais como a topografia, a distância de grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes entre outros (AYOADE, 2010).

Para facilitar o entendimento da variabilidade espacial das chuvas e sua relação com esses fatores, o processo de representação cartográfica mostra-se crucial. Nesse sentido, a elaboração de mapas de chuvas exige alguns procedimentos técnicos, tais como a mudança de informações pontuais (oriundas de postos de precipitação e pontos de estimativas) para espacialização da precipitação numa superfície contínua. É partindo desse princípio que Lucas *et al.* (2013) ressaltam a importância do desenvolvimento do SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e o aprimoramento de técnicas de geoprocessamento na modelagem de dados espaciais, permitindo transformar dados discretos em contínuos por meio de interpolação matemática aos dados pontuais, de área e de superfície. Diante disso, segundo os autores, a espacialização dos tipos de chuva requer a escolha do melhor método de interpolação para que se possa entender a variabilidade espacial de diferentes eventos com distintas durações e acumulados de chuva, identificando suas características espaciais.

Os dados para essa produção cartográfica na maioria das vezes são oriundos de postos pluviométricos. No entanto, esses dados estão sujeitos a falhas humanas; como erros no registro de dados de postos pluviométricos

convencionais; além disso, a sua interpolação pode ser comprometida devido à má distribuição dos postos pluviométricos por motivos econômicos e de difícil acesso (ANJOS *et al.*, 2016). Como alternativa para contrapor esses problemas, o uso de estimativas de chuva do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) pode contribuir para integração com os dados observados, embora existam erros inerentes aos sensores, como a imprecisão de quantificar a chuva.

Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos no âmbito do mapeamento e interpolação dos dados de precipitação com o intuito de avaliar as variações espaciais das chuvas mais próximas do real. Em relação aos interpoladores, não há um consenso geral do melhor interpolador das chuvas, podendo depender de alguns fatores como: escala de representação, número de amostras e qualidade dos dados. Por isso, enquanto Righil e Basso (2016) perceberam que a Krigagem teria um baixo desempenho dentre os interpoladores do *software ArcGis* no Rio Grande do Sul, Mello *et al.*, (2003) a identificaram como o melhor interpolador das chuvas no estado de São Paulo.

No que concerne a gestão dos recursos hídricos, esse processo de produção cartográfica das chuvas torna-se fundamental para um planejamento mais efetivo da água, principalmente em regiões onde a precipitação é bastante concentrada espacialmente e temporalmente. Com essas características, na Microrregião de Itaparica - que se localiza no semiárido pernambucano - são necessárias medidas para armazenamento da água para atividades econômicas de agropecuárias, por exemplo. Apesar de alguns municípios serem banhados pelo Rio São Francisco, a disponibilidade

de água é comprometida a alguns metros de distância do seu curso natural, dependendo da área.

A partir dessa abordagem, torna-se possível compreender como os tipos de aquisição de dados de precipitação; número de amostras disponíveis; série temporal dos dados e métodos de interpolação interferem no processo de mapeamento das chuvas. Dessa forma, cada etapa pode indicar as suas particularidades e assim, objetiva a representação espacial do fenômeno que seja o mais próximo do real.

É diante do pressuposto acima que o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho dos interpoladores para produção cartográfica das chuvas na Microrregião de Itaparica. Além disso, identificar a diferença das estimativas do satélite TRMM com os dados observados e sua relação com os erros inerentes aos interpoladores pelo método de Inverso da Distância Ponderada (*IDW*) e Krigagem.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Para se ter um mapa com a distribuição da precipitação, é necessário levar em consideração que existem procedimentos que podem interferir no resultado final da produção cartográfica. Tais procedimentos podem ser desde a medição ou estimativa dos dados pluviométricos até os interpoladores que serão utilizados para espacializar o dado fenômeno.

2.1 Processo de medição da precipitação: observada e estimada

A observação meteorológica é uma avaliação de um ou vários parâmetros meteorológicos. As observações são sensoriais quando são adquiridas por um observador sem ajuda de instrumentos de medição, e instrumentais, em geral chamadas medições meteorológicas, quando são realizadas com instrumentos meteorológicos (INMET, 2016).

Os dados observados de precipitação são medidos através de pluviômetros, dentre os quais podem ser diferenciados de acordo com a tecnologia integrada ao equipamento. Para Ayoade (2010) o volume de chuva captado por um pluviômetro em determinado local depende de numerosos fatores, tais como a sua altura em relação ao solo, a velocidade do vento e a taxa de evaporação. Segundo o autor, alguns

estudos mostram que quanto maior a altura do pluviômetro menor é o volume de chuva captado. Segundo o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, são três categorias de pluviômetros (CEMADEN, 2016):

- Convencionais: elas armazenam a quantidade de chuva, sendo necessária a medição registrada manualmente.
- Semiautomáticos: mede e armazena a informação sobre a quantidade das chuvas e a leitura é feita a partir de um painel digital.

Automáticos: mede, armazena e transmite automaticamente a informação sobre a quantidade precipitada (Figura 1). Em alguns casos, esses tipos de pluviômetros estão integrados a outros instrumentos de medição de elementos climáticos, como no caso das Plataformas de Coletas de Dados (PCD's).



Fig. 1 - Pluviômetro automático no município de Itacuruba em Pernambuco.

Através do sensoriamento remoto podemos ter acesso aos dados de chuvas como é o caso do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) que foi criado através de uma parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA). Foi lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo

específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia no clima no clima global (Figura 2). A órbita polar baixa do satélite (inicialmente 350 km e desde 2001, 403 km), juntamente com o período curto de translação (91 minutos) permite uma alta resolução temporal e espacial do imageamento (NASA, 2015).

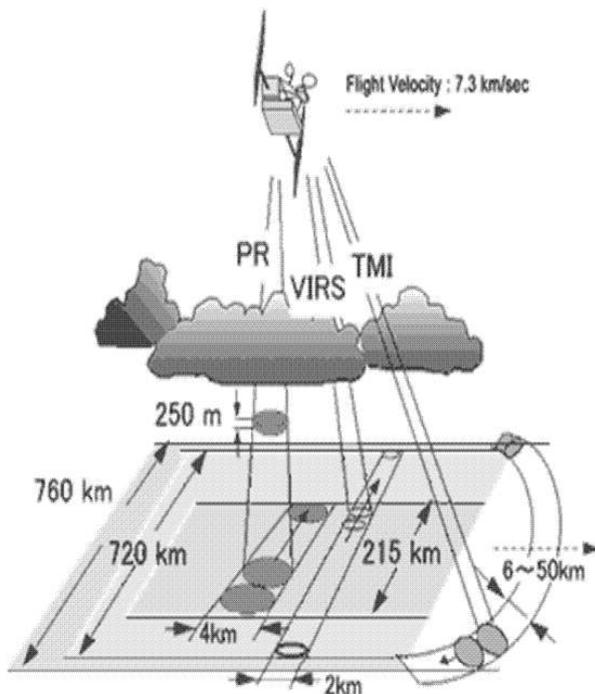


Fig. 2 - Instrumentos do satélite TRMM e o raio de alcance de cada sensor. Fonte: University of Utah (2016).

Ao todo são cinco sensores a bordo do satélite: o *Visible Infrared Radiometer (VIRS)*, *TRMM Microwave Imager (TMI)*, *Precipitation Radar (PR)*, *Lightning Imaging Sensor (LIS)* e o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)*. No entanto, para estimar a precipitação, o satélite TRMM combina os dados de microondas passivo (*HQ – High Quality Microwave Estimates*) com dados de infravermelho (*VAR – Variable Rain Rate IR Estimates*) (BIAZETO, 2007).

O *VIRS* é um radiômetro de varredura de faixa transversal passivo, com cinco canais centrados nos comprimentos de ondas 0,63; 1,6; 3,75; 10,8 e; 12 μ m, fornecendo observações de alta resolução espacial da cobertura das nuvens, a temperatura do topo da nuvem e o seu tipo (ALBRECHT & MORALES, 2014).

O *TMI* é um radiômetro de micro-ondas

passivo que fornece informações sobre o conteúdo integrado da coluna de precipitação, água líquida da nuvem, intensidade da chuva e os tipos de precipitação (convectiva e estratiforme).

Alguns estudos vêm mostrando a habilidade do satélite em quantificar a chuva. Anjos e Nóbrega (2013) compararam dados observados no estado de Pernambuco com as estimativas diárias do satélite TRMM, entre os anos de 1998 e 2010. As maiores diferenças foram encontradas próximos ao litoral do estado, enquanto nos pontos situados mais ao interior possuíam as melhores estimativas. Em outro trabalho, Ochoa *et al.* (2014) utilizaram as estimativas das versões 6 e 7 do algoritmo *3B42* no oeste do Equador e Peru e perceberam que a gênese das chuvas e suas variações espaciais iriam contribuir para que os erros das estimativas se diferenciassem de acordo com sua localização geográfica.

2.2 O processo de interpolação de dados de precipitação

A quantidade de precipitação média de longo prazo, para o mês, ou ano dificilmente indicam regularidade e confiabilidade na quantidade a ser precipitada. Tal fato, torna-se mais frequente em áreas de latitudes baixas e em áreas mais secas, onde a precipitação tende a ter uma variação espaço-temporal mais acentuada (AYOADE, 2010).

Diante dessa variabilidade espacial, ainda há o processo de representar a chuva a partir de dados de estações pluviométricas, em que dados pontuais precisariam ser interpolados para resultar em um mapa de precipitação numa superfície contínua. O principal desafio nesse processo é compreender as dinâmicas da precipitação de maneira que o número de estações meteorológicas seja o suficiente para sua representação o mais próximo do real.

O processo de interpolação de dados espaciais consiste em espacializar para uma superfície contínua, um conjunto de dados pontuais que representa aquele dado fenômeno. Para que essa espacialização do fenômeno seja o mais próximo do realística possível, é necessário modelar sua variabilidade espacial. Camargo *et al.* (2004) explicitam que esses modelos que geram as superfícies, representam a variável em estudo baseando-se na combinação da variabilidade em pequena e larga escala. Os autores citam três tipos principais de modelos

de interpolação de dados espaciais, cujas suas diferenciações baseiam-se nesse princípio:

2.2.1 Modelos determinísticos de efeito local

Nesse modelo, os pontos são interpolados a partir das amostras mais próximas, predominando assim os efeitos locais. Uma de suas funções é o Inverso da Distância Ponderada. Em alguns *softwares* de geoprocessamento esse método é conhecido como *IDW*.

2.2.2 Modelos determinísticos de efeito global

O princípio desse modelo é a variabilidade espacial em larga escala. Por isso, é comum os interpoladores serem de tendências, pois os mesmos desconsideram os efeitos locais no processo de interpolação.

2.2.3 Modelos estatísticos de efeitos globais e locais (krigagem)

Os pontos da superfície são interpolados pelas amostras mais próximas. No entanto os estimadores estatísticos levam em consideração a variabilidade local e global. Esses tipos de estimadores são caracterizados por não serem tendenciosos e de procurar minimizar os efeitos inferenciais.

A krigagem é considerada um interpolador mais complexo em relação aos outros, pois ele utiliza a geoestatística para fazer o processo de interpolação. Desenvolvida por Daniel G. Krige, ela utilizava as médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas de mineração. A diferença desse método em relação aos outros é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras, enquanto no *IDW* os pesos são ajustados pelo inverso do quadrado da distância, a krigagem utiliza os pesos a partir do semivariograma (CAMARGO *et al.*, 2004).

O Inverso da Distância Ponderada (*IDW*) generaliza a ideia de média móvel local, sugerindo que a densidade do fenômeno varia localmente de forma suave, sem picos nem descontinuidades. Seu objetivo é produzir uma superfície mais suavizada (CAMARGO *et al.*, 2004). No entanto, Alves e Vechia (2011) o definem tanto como um interpolador exato como suavizador, dependendo da influência daquele determinado ponto, que por sua vez será determinada pelo inverso da distância.

Quanto maior for a distância entre a amostra e o ponto a ser estimado, menor será a influência da amostra. Nesse método, se existirem duas amostras próximas com valores discrepantes, a superfície torna-se pouco suavizada.

Para avaliar a qualidade do interpolador pode-se utilizar um método geoestatístico que é a validação cruzada. Esse método consiste em avaliar a previsibilidade que um determinado modelo tem em estimar as amostras. Para isso, retira-se o valor amostrado e obtém-se o método de interpolação para estimar aquele ponto onde a amostra foi retirada. Esse processo é realizado em todos os valores amostrados. O gráfico gerado permite avaliar a quantidade do valor amostrado e a estimativa calculada pelo interpolador, apresentando o erro da estimação (SANTANA & SANTOS, 2016).

Alguns *softwares* elaboram os gráficos da validação cruzada para cada tipo de interpolação de um determinado fenômeno. Uma das maneiras de se avaliar esse erro por meio da validação cruzada é através da raiz do erro quadrático médio (REQM) ou *root mean square error* (RMSE). Ela é uma medida da magnitude média dos erros estimados tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, melhor o interpolador (ALVES & VECCHIA, 2011).

O gráfico gerado dos valores das amostras e os estimados pelo interpolador oferece uma opção facilmente interpretável, quando o modelo consegue ser bem-sucedido, através da análise da linha de tendência para todas as amostras. Se a linha possuir um ângulo em relação ao eixo (x) de 45°, o modelo tende a ter uma boa previsão de estimativa para todas as amostras calculadas.

Em interpoladores que utilizam a dependência espacial dos valores amostrados, como a krigagem, é necessária a análise de uma ferramenta de avaliação de dependência espacial entre esses valores. O semivariograma é considerado como uma ferramenta básica de suporte a técnica de krigagem, porque permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (CAMARGO *et al.*, 2004). Wanderley *et al.*, (2012) afirma que o semivariograma expressa a dependência espacial através da medida da variância dos valores amostrais, separados por uma distância. Os autores destacam os parâmetros do semivariograma na Figura 3:

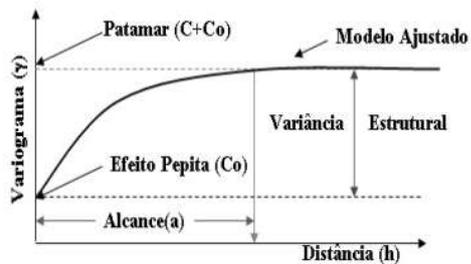


Fig. 3 - Parâmetros de um semivariograma.
Fonte: Wanderley *et al.* (2012)

Onde, o patamar ($C+Co$) é tido como o ponto de estabilização do semivariograma. É a partir desse ponto que não há dependência espacial entre as amostras, porque a variância entre as amostras mostra-se independente da distância entre elas. O alcance (a) é a distância em que as amostras se encontram dependentes espacialmente. O Efeito Pepita (Co) é o ponto onde o variograma toca o eixo das coordenadas. A Variância Estrutural (C) é a diferença entre o patamar ($C+Co$) e o efeito pepita (Co).

Uma vez detectada a dependência espacial, é possível usar a técnica de krigagem. Esse interpolador usa o semivariograma para encontrar os pesos a serem associados às amostras como os valores conhecidos que irão estimar os pontos desconhecidos (WANDERLEY *et al.*, 2012).

Fazendo uma revisão bibliográfica acerca da aplicação do tema, os principais métodos de interpolação de dados de precipitação são a Krigagem e o Inverso da Distância Ponderada (conhecido como *IDW*).

Alguns estudos avaliam a precisão dos interpoladores para a representação cartográfica da precipitação. Wanderley *et al.*, (2012) encontraram resultados satisfatórios no processo de interpolação por krigagem ordinária no estado de Alagoas.

Os interpoladores krigagem, *IDW* e modelos estatísticos no geral, tiveram baixa dispersão utilizando o coeficiente de dispersão para a interpolação da chuva em Minas Gerais. Viola *et al.*, (2010) perceberam que a época das chuvas interferia nos erros absolutos médios.

Para interpolar os dados de precipitação no estado de Goiás, Alves e Vecchia (2011) verificaram que dentre os interpoladores de Triangulação, Krigagem, Mínima Curvatura e *IDW*, o último apresentou melhores resultados na validação cruzada.

Magalhães *et al.*, (2016) verificaram no Espírito Santo que dentre o *IDW*, Krigagem esférica, *Spline* e *Trend*, o primeiro foi o que apresentou menor erro na interpolação. O *Trend* foi o que apresentou o maior erro.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para serem analisados os mapas de precipitação estimado e observado pelos diferentes interpoladores foi necessária a execução de alguns procedimentos. Ressalta-se a importância nesse sentido de uma breve caracterização da área de estudo.

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo abrange a Microrregião de Itaparica que está inserida no Semiárido Brasileiro (Figura 4). É composta por sete municípios: Itacuruba, Belém de São Francisco, Floresta, Jatobá, Tacaratu, Itacuruba e Carnaubeira da Penha. Sua população ao total é de 134.933 habitantes (IBGE, 2016).

A precipitação média da região é de 516,4 mm e a temperatura média anual é de 25,5 °C (UFCG, 2016). A classificação climática segundo Köppen para a região é BShw', caracterizada por ser um clima semiárido seco e quente com chuvas que abrangem o período de verão e outono. Essas características climáticas associadas aos solos pouco férteis para agricultura fazem com que as populações residentes nas áreas elaborem técnicas de convivências com o semiárido.

3.2 Dados utilizados do satélite TRMM

Foram utilizados os dados do algoritmo *3B43_V7* que disponibiliza estimativas de chuvas mensais numa resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (aproximadamente 27,5 Km). O Sistema Geodésico de Referência adotado pelo satélite é o *World Geodetic System 1984* (WGS 84). Esses dados são obtidos gratuitamente através do site da NASA.

3.3 Dados dos postos pluviométricos

Os dados das estações pluviométricas para comparação das estimativas estão disponibilizados gratuitamente no banco de dados da Agência Nacional das Águas (ANA). Foi preciso fazer uma análise preliminar dos dados visto que eles estavam suscetíveis a descontinuidade.

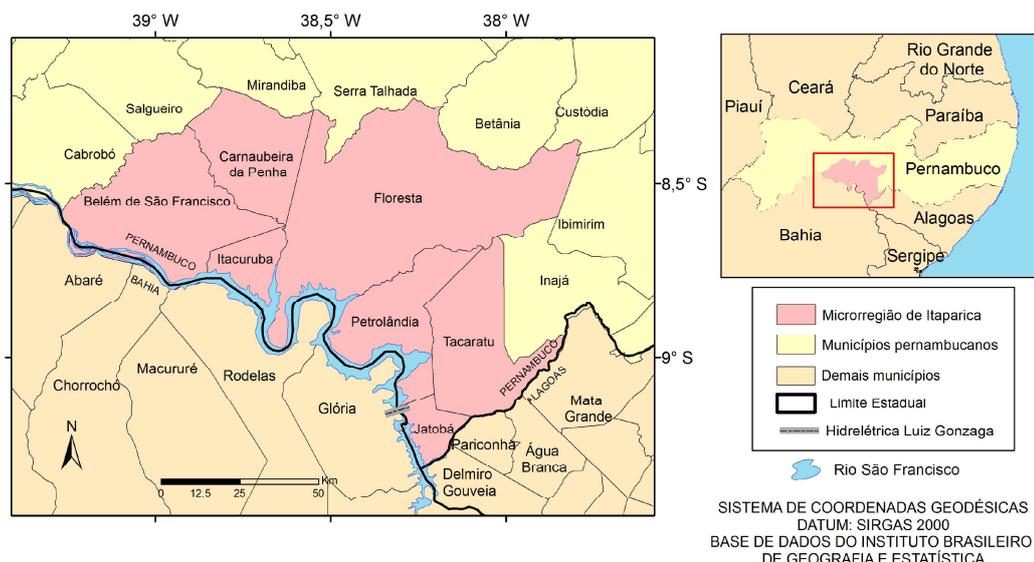


Fig. 4 – Localização da Microrregião de Itaparica – PE.

3.4 Softwares utilizados

Para converter as estimativas do algoritmo 3B43 do formato binário para o tipo texto, foi necessário a utilização do *software* gratuito *GrADS*. Nesse processo de conversão foi necessário o uso de um *script* elaborado por Neto e Nóbrega (2009).

Para interpolar todos os pontos com dados de precipitação e representa-los cartograficamente foi necessário o *software ArcGis 10.2* com licença do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco.

3.4 Metodologia

Por existirem estações pluviométricas com ausência de dados na série histórica de 1998 a 2014, a série temporal para análise comparativa da precipitação observada e estimada foi dividida em duas categorias:

Municípios que tinham dados observados de 1998 a 2014 (Figura 5): Belém de São Francisco-Sede (PE), Belém de São Francisco-Ibó (PE), Delmiro Gouveia (AL), Floresta- Sede (PE), Floresta (Airi) (PE), Inajá (PE), Mirandiba (PE), Serra Talhada (PE), Orocó (PE), Parnamirim (PE) e Ibimirim (PE).

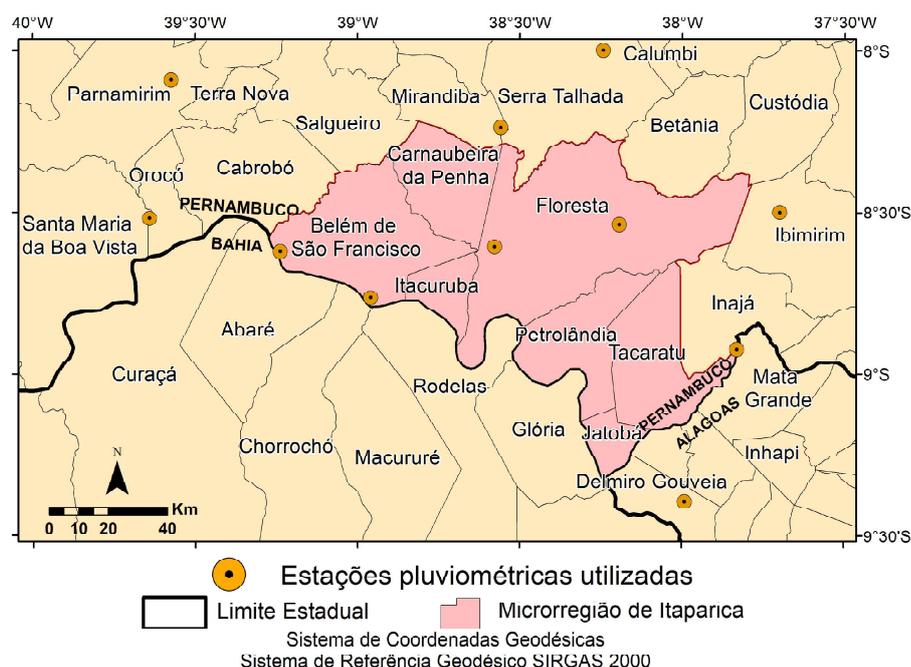


Fig. 5 – Dados de precipitação com série histórica de 1998 à 2014.

Municípios que tinham dados observados de 2005 a 2014 (Figura 6): Abaré (BA), Chorrochó (BA), Mirandiba (PE), Curaça (BA), Glória (BA), Parnamirim (PE), Macururé (BA), Inajá (PE), Sertânia (PE), Serra Talhada (PE),

Santa Maria da Boa Vista (PE), Floresta-Airi (PE), Belém de São Francisco-Sede (PE), Belém de São Francisco - Ibó (PE), Floresta (PE), Orocó (PE), Delmiro Gouveia (AL), Ibimirim (PE).

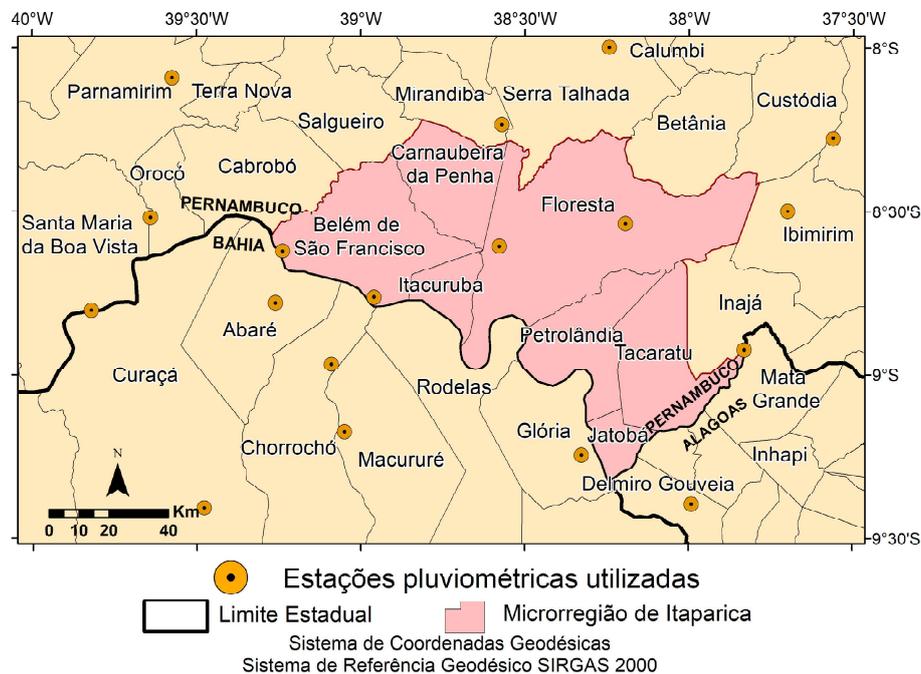


Fig. 6 - Dados de precipitação com série histórica de 2005 a 2014.

Optou-se por dividir em duas categorias porque o número de pontos aumentava a medida que a série histórica fosse mais curta e recente. Portanto, com duas categorias de séries históricas foi permitido avaliar as estimativas sob duas perspectivas: série histórica mais longa com menos pontos (17 anos e 11 pontos) e série histórica de dados mais curta com mais pontos (10 anos e 18 pontos).

Para comparação das estimativas do algoritmo *3B43* com os dados dos postos pluviométricos e, assim, verificar os erros das estimativas em relação a sua variabilidade espaço-temporal foi utilizado o método comparativo baseado no trabalho de Dinku *et al.* (2007). A seguinte análise estatística baseou-se na seguinte equação:

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum (P_{est} - P_{obs})^2} \quad (1)$$

onde (P_{est}) são as estimativas do TRMM, (P_{obs}) são os dados observados dos postos pluviométricos, (P_{obs}) é a média dos dados observados e N o número de meses para o ano.

Após o processamento dos dados a etapa seguinte foi constituída pela interpolação dos dados de precipitação observada e estimada para todas as categorias série temporal já mencionadas. Para avaliar a qualidade dos interpoladores por método IDW e Krigagem foi efetuada a validação cruzada, observando a REMQ referente a diferença entre o valor amostral e o valor estimado que o interpolador calculou. Além disso, também foi avaliada a dependência espacial entre os dados do TRMM e dos, para os períodos já mencionados, com o intuito de avaliar se esses fatores iriam interferir no REMQ dos interpoladores.

Diante da análise dos resultados, foi elaborada a produção cartográfica das chuvas com o interpolador que apresentou o menor erro, para identificar as diferenças nas variações espaciais das chuvas estimadas e observadas. Com o intuito de verificar a distribuição espacial dos REMQ referentes aos erros dos dados do satélite, deu-se preferência a interpolação por método do *IDW*, por esse método ser mais propício a evidenciar as diferenciações locais, sem considerar tendências gerais.

4. RESULTADOS

Em relação à validação cruzada da interpolação da precipitação acumulada de 1998 a 2014, percebe-se poucas diferenciações entre os métodos de *IDW* e Krigagem, exceto na precipitação estimada interpolada por Krigagem (Figura 7). Observando a (REQM) da validação cruzada, o método de Krigagem possui melhores resultados (909,1 mm no observado e 669,3 mm no estimado) que o *IDW* (938,3 mm no observado e 921,4 mm no estimado). Em relação a comparação entre a precipitação observada e estimada percebe-se que os dados oriundos do TRMM apresentaram menores diferenças no processo de interpolação com relação aos dados

levantados pelos postos pluviométricos nos dois métodos de interpolação.

Se não for considerado a precipitação estimada interpolada por Krigagem, a tendência no gráfico não apresentou uma forte correlação entre o que o interpolador estimou com o valor real da amostra, visto que o mesmo teve uma angulação próxima de 0°, inferindo que apesar de determinados interpoladores apresentarem menores REQM que os outros, não significa necessariamente que o resultado final no mapa de precipitação seja próximo do real. Os erros consideráveis dos interpoladores podem estar relacionados com a baixa quantidade de amostras (11 pontos) na região de estudo.

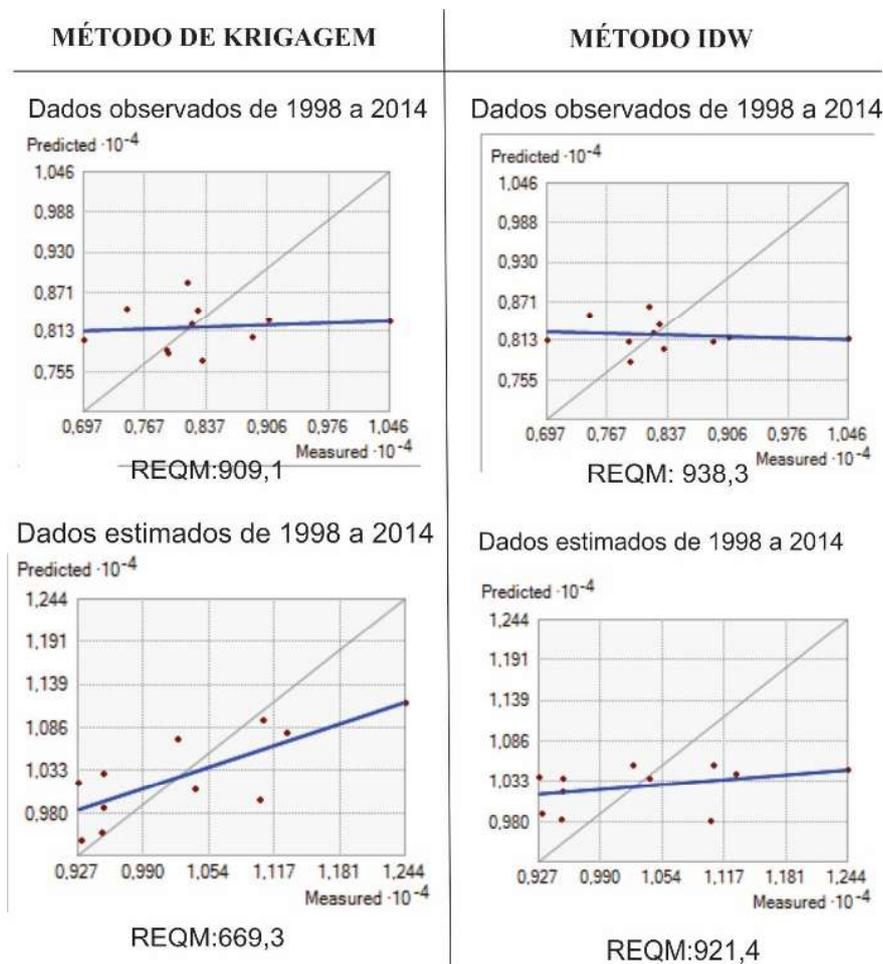


Fig. 7 - Validação cruzada dos métodos de Krigagem e *IDW* dos dados de precipitação estimada e observada acumulada de 1998 a 2014.

Em relação a validação cruzada da precipitação acumulada de 2005 a 2014, estimadas e observadas, por meio do *IDW* e Krigagem (Figura 8), foi verificado que as tendências no gráfico possuem angulações maiores que as que foram apresentadas na figura

anterior. Tal fato pode ser explicado porque os pontos disponíveis para interpolação são maiores entre 2005 a 2014 (18 pontos) que no período que abrange os anos de 1998 a 2014 (11 pontos). Partindo desse pressuposto, quando se tem uma quantidade menor de pontos para interpolação,

existe a possibilidade de amostras que tenham erros consideráveis inerentes a sua medição interferirem no processo final da interpolação. Se existir um valor discrepante entre as amostras ao seu redor, quando for calculado a REQM da

validação cruzada, os interpoladores tenderão a estimar aquele valor de acordo com as amostras que o circundam, resultando numa maior diferença entre os dados estimados pelo interpolador e o valor amostral.

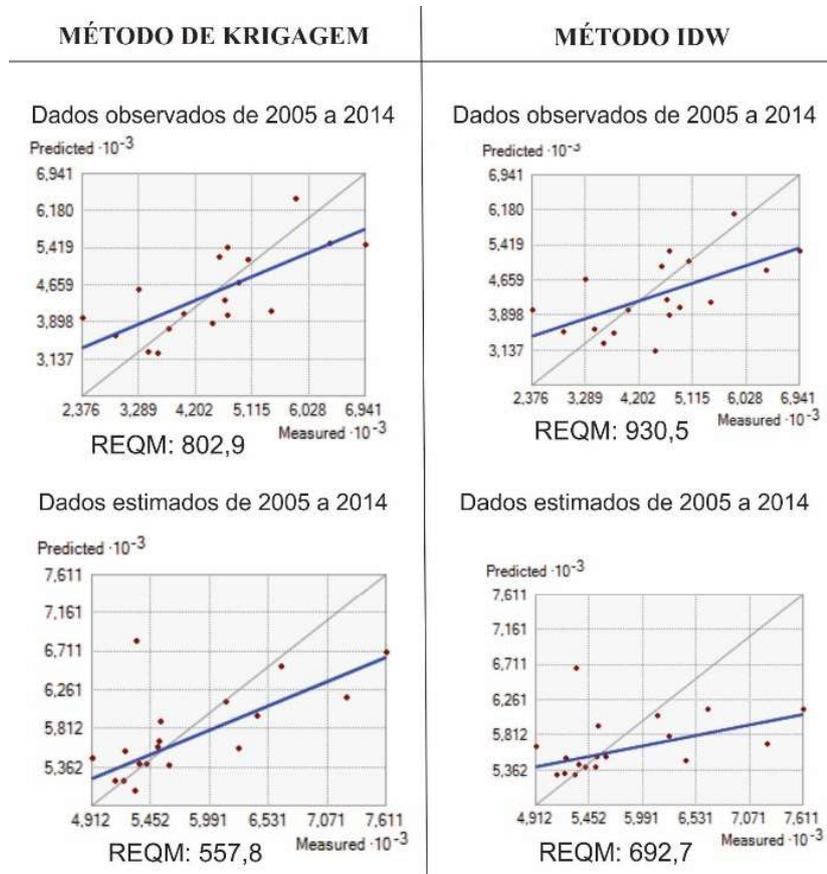


Fig. 8 - Validação cruzada dos métodos de Krigagem e *IDW* dos dados de precipitação estimada e observada acumulada de 2005 a 2014

Ao ser observado o tipo de interpolador, o método de Krigagem foi o que teve os menores REQM (802,9 mm da precipitação observada e 557,8 mm estimada) em comparação com o método de *IDW* (930,5 mm da precipitação observada e 692,7 mm da precipitação estimada). Não diferente da interpolação do período de 1998 a 2014, as precipitações estimadas tiveram menores erros que as precipitações observadas.

Considerando as análises efetuadas, os melhores resultados da interpolação abrangeram os 18 pontos com precipitação estimada acumulada entre o período de 2005 a 2014.

No que se refere a dependência espacial dos valores amostrais apresentada no semivariograma (Figura 9), obtida a partir da Krigagem, teve como interpolação dos dados observados de 1998 a 2014, a que apresentou a menor dependência. Isso reflete no resultado final da validação

cruzada, apresentada na (Figura 7), com maiores REQM em relação as demais produções cartográficas da chuva.

No entanto, o gráfico que apresenta maior dependência espacial, se refere aos dados estimados de 1998 a 2014. Por isso, não significa que o número de pontos irá interferir no resultado final do semivariograma. Diante dos resultados dos semivariogramas apresentados, mostra-se que no geral a precipitação tende a ser um fenômeno cuja espacialidade possui certa dependência espacial. É importante fazer uma ressalva, pois no gráfico que apresentou a menor dependência, o método de Krigagem não pôde ser tão eficiente, porém, o que justificou a sua escolha para produção cartográfica da precipitação foi pelo fato de a REQM ser menor que no método *IDW*.

Um dos motivos para os valores amostrais não possuírem dependência espacial, seria a alta

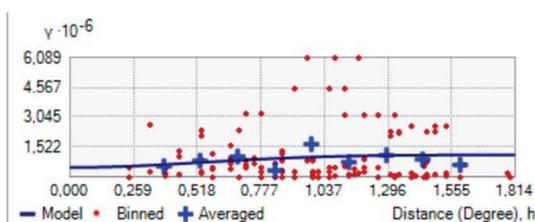
variabilidade da precipitação mesmo em pontos que estão próximos uns dos outros.

Diante dos resultados analisados, o método de interpolação selecionado para produção cartográfica da precipitação observada e estimada foi a krigagem.

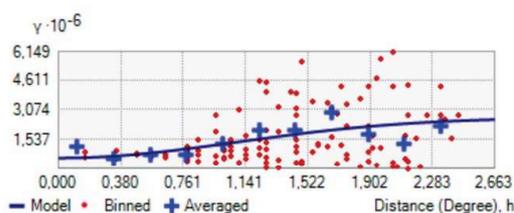
Através da análise da Figura 10, percebe-se que a quantidade da precipitação acumulada de 1998 a 2014 foi diferenciada entre a interpolação das estimativas e dos dados observados, onde os dados do satélite TRMM tenderam a superestimar na microrregião de Itaparica. Além disso, observa-se uma tendência nas chuvas estimadas e observadas a aumentarem no sentido nordeste.

DADOS OBSERVADOS

1998 a 2014

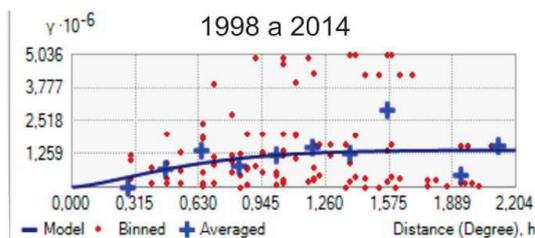


2005 a 2014



DADOS ESTIMADOS

1998 a 2014



2005 a 2014

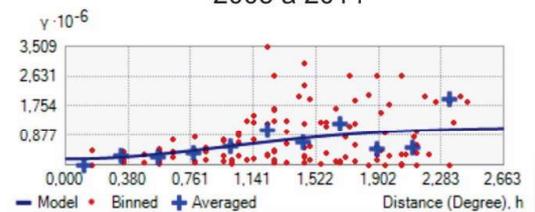


Fig. 9 - Semivariograma da precipitação acumulada, observada e estimada, dos períodos de (1998-2014) e (2005-2014).

Se forem observados os valores da precipitação ao longo dos transectos no sentido Norte-Sul, as variações das chuvas tenderam a ser semelhantes nos dois tipos de dados. Infere-se que o processo de interpolação e a tendência do satélite em acompanhar a precipitação observada contribuíram para tais semelhanças. Embora as variações das chuvas sejam parecidas através da análise do perfil, elas não são perceptíveis devido aos intervalos da precipitação serem diferentes nos dois tipos de precipitação. Se considerarmos apenas o perfil, a precipitação acumulada estimada varia de aproximadamente 11500 mm à 9000 mm (norte-sul), enquanto que a precipitação observada varia de 9000 mm à 7500 mm (norte-sul).

No caso da distribuição espacial da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) dos erros entre os acumulados, de 1998 a 2014, das estimativas e os dados observados (Figura 11), percebe-se que o mesmo não possui um padrão na distribuição espacial. O erro acumulado variou entre 245 e 18 mm. Para produção cartográfica do mesmo, optou-se por utilizar o método do *IDW*, visto que as amostras não apresentaram dependência espacial, analisada através do semivariograma.

Alguns fatores para a alta variação dos erros podem estarem relacionados à qualidade das estações pluviométricas e erros humanos na coleta dos dados, embora não se deva desconsiderar os erros inerentes a estimativa do TRMM para quantificar as chuvas.

Algumas regiões isoladas mostram uma maior congruência entre o satélite e os dados observados, como o que se localiza a oeste do município de Floresta, com erros variando de 70 a 95 mm. Porém, nota-se que algumas regiões os erros foram consideráveis, como no norte dos municípios de Carnaubeira da Penha e Floresta e oeste de Tacaratu, com erros entre 220 e 245 mm.

Ao ser analisado o mapa de precipitação estimada e observada, acumulada entre os anos de 2005 a 2014 (Figura 12), verifica-se que há uma tendência da quantidade das chuvas aumentarem no sentido nordeste, corroborando com os resultados encontrados do período de 1998 a 2014 (Figura 10). Em relação à quantidade das chuvas, foi observado que as estimativas superestimaram os dados observados, onde variou de 6600 mm à 5100 mm a precipitação estimada, e 6500 a 2000 mm a precipitação observada.

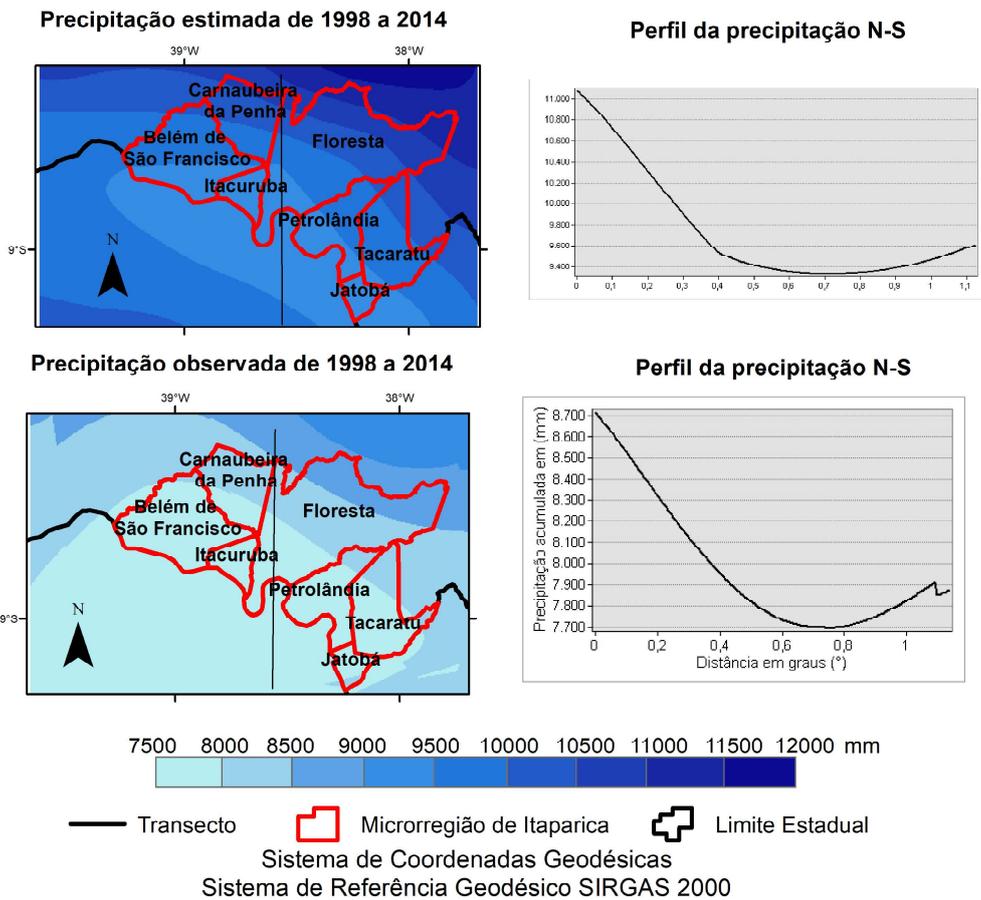


Fig. 10 - Mapa de precipitação acumulada de 1998 a 2014 estimada e observada.

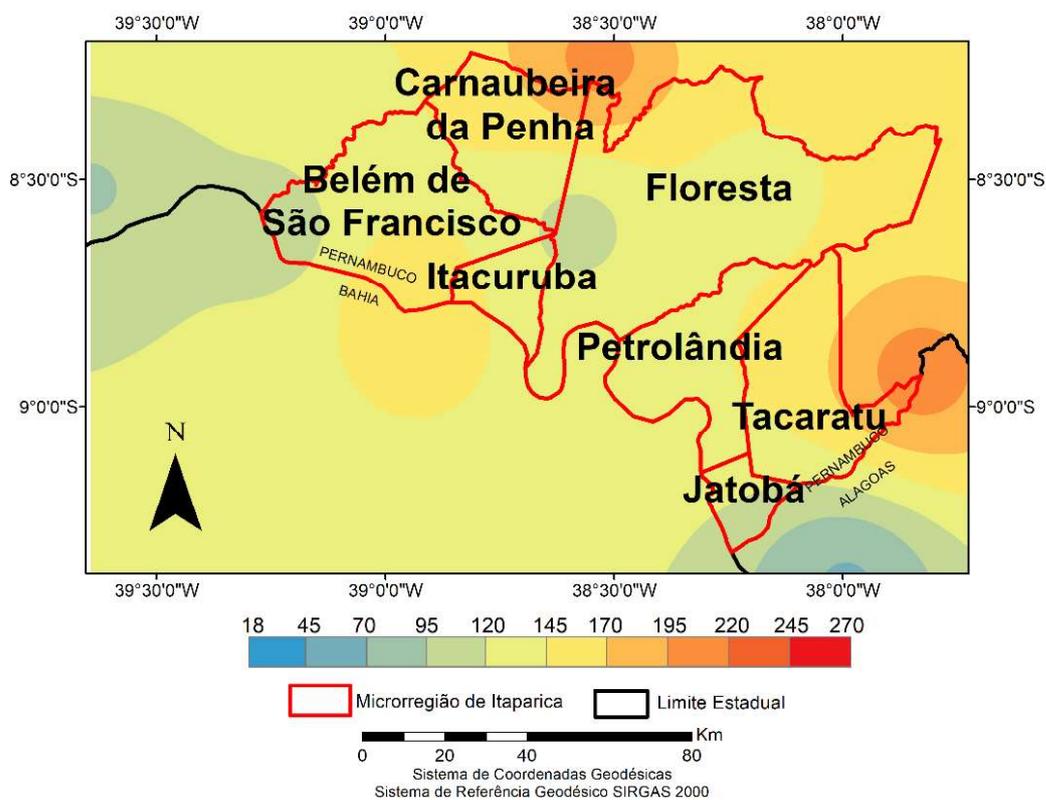


Fig. 11 - Mapa da Raiz do Erro Quadrático Médio entre a estimativa do TRMM e a precipitação observada no período de 1998 a 2014.

Apesar dessa diferenciação da quantidade das chuvas, os perfis mostraram que a variabilidade espacial da precipitação é semelhante entre os dados do TRMM e os observados. Corroborando com o perfil anterior, percebe-se uma tendência de uma diminuição da chuva em direção ao sul nos dois tipos de levantamento das chuvas. O máximo e o mínimo do perfil das chuvas estimadas foram de 6600 à 5100 mm, respectivamente, enquanto para as chuvas observadas foram de 5200 à 3200 mm, aproximadamente.

Ao serem comparados os resultados da

produção cartográfica da precipitação acumulada nos dois períodos, percebe-se que apesar da quantidade entre as estimativas e observadas, o TRMM mostra-se viável em mostrar a variabilidade espacial das chuvas, facilitando a interpretação onde ocorre as maiores e menores quantidades de chuvas. Nesse sentido, o processo de escolha do método de interpolação das chuvas deve partir de uma análise prévia dos dados, visto que os resultados dos interpoladores dependem das características dos fenômenos, quantidade de amostras e região estudada.

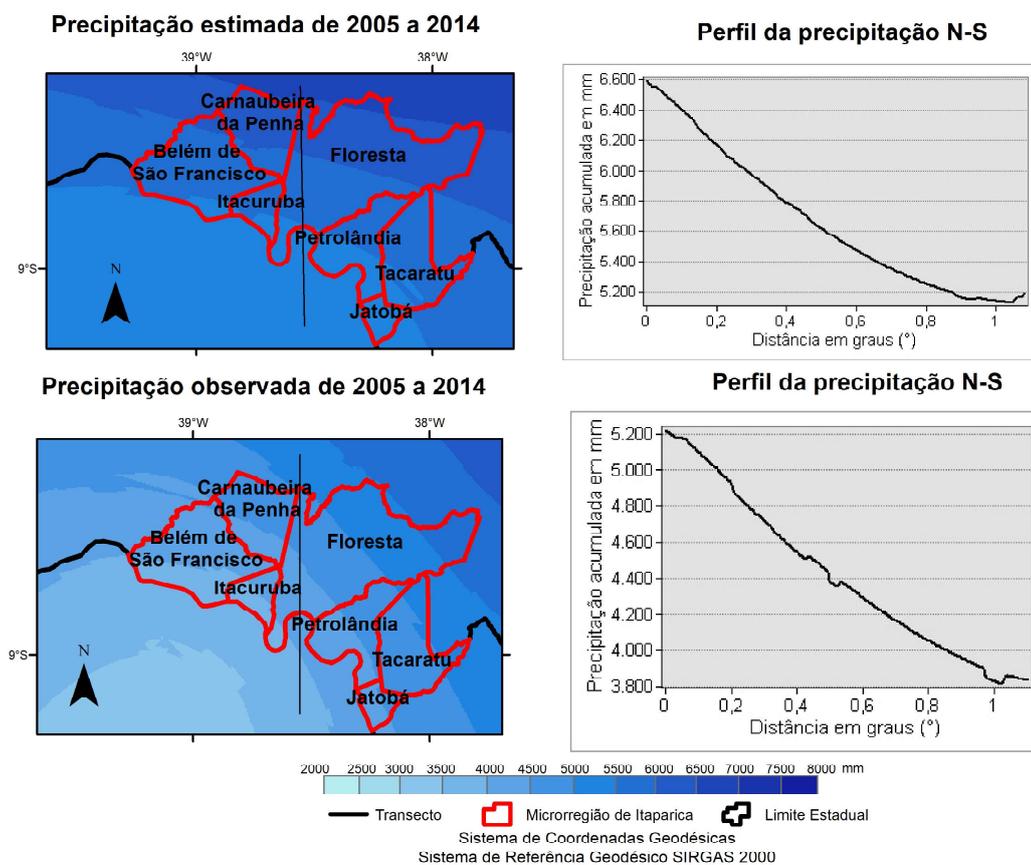


Fig. 12 - Mapa de precipitação estimada e observada acumulada de 2005 a 2014.

Ao serem adicionados mais pontos no mapa interpolado, tem-se uma maior variação do REMQ ao longo da região. Neste mapa (Figura 13) não é verificado um padrão na distribuição espacial. O município de Floresta foi o que apresentou maior parte do território com o menor REMQ em relação aos outros municípios. A região que apresentou maior erro localiza-se no estado da Bahia próximo ao município de Belém de São Francisco.

É válido salientar que no município de Belém de São Francisco ainda há uma região com valores de REMQ baixos.

Essas disparidades de diferenças do REMQ enfatizam as hipóteses levantadas anteriormente. Por isso, devem-se considerar estudos futuros que analisem a qualidade dos dados de precipitação, estimados e observados.

É válido destacar a importância de um maior número amostral para verificar a distribuição espacial dos REMQ. Em comparação com o REMQ do período anterior (Figura 11), a Figura 13 mostra uma maior variação dos erros. Como alguns postos pluviométricos do estado baiano foram adicionados, os maiores erros tenderam

a encontrar-se no estado da Bahia. No entanto, a poucos quilômetros de distância dessa área, pode ser observada uma área com menores erros, localizado a oeste do município de Belém de

São Francisco. Algumas regiões mantiveram os bons resultados se compararmos com o REMQ anterior, como, por exemplo, o oeste de Floresta e o sul de Jatobá e Tacaratu.

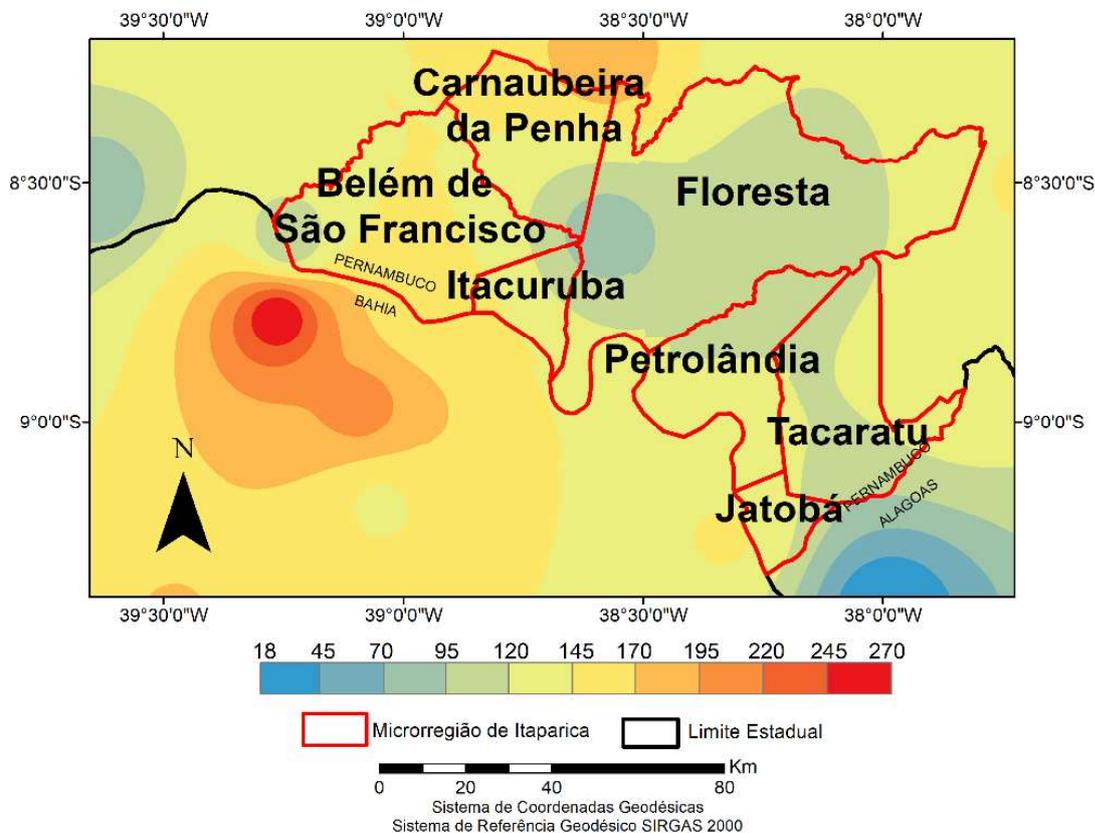


Fig. 13 - Mapa da Raiz do Erro Médio Quadrático entre a precipitação estimada e observada no período de 2005 a 2014.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando a validação cruzada das interpolações da precipitação acumulada de 1998 a 2014, a Krigagem mostrou melhor desempenho que o método *IDW*. Se considerarmos a origem dos dados (estimados e observados) quando se interpolava os dados do satélite TRMM os mesmos tiveram menores erros na interpolação que os dados observados. É importante destacar que os números limitados de amostras (11 pontos) podem ter resultado em erros consideráveis na REMQ da validação cruzada.

Na validação cruzada da precipitação acumulada no período de 2005 à 2014, foi observado que tanto na precipitação observada como na estimada o método que apresentou melhor desempenho foi a krigagem. Em relação à origem dos dados para interpolação, os dados estimados tiveram menores REMQ no processo

de interpolação em comparação com os dados dos postos pluviométricos. Os resultados da validação cruzada tiveram melhores resultados em relação ao do período anterior, podendo ter como um dos fatores relacionados uma maior disponibilidade de amostras (18 pontos). Partindo desse princípio, o processo de interpolação das chuvas está atrelado a origem dos dados (estimados e observados), série histórica das amostras e disponibilidade de amostras para a região.

No que se refere a dependência espacial dos valores amostrais apresentada no semivariograma, obtida a partir da krigagem, a interpolação dos dados observados de 1998 a 2014 foi a que teve a menor dependência, refletindo em maiores erros na validação cruzada. No entanto, nas demais interpolações mostraram que os dados de precipitação possuem dependência espacial

evidenciando que o método de krigagem pode ser o mais aconselhável para a produção cartográfica para essa situação.

A precipitação acumulada de 1998 a 2014, observada e estimada, tiveram uma tendência de aumento no sentido nordeste. As estimativas superestimaram em relação aos dados observados para toda a região. No entanto, ao analisar os perfis das chuvas do TRMM e dos postos, no sentido norte a sul, foi verificado que ambos são semelhantes no que se refere a variabilidade espacial das chuvas. Os mesmos resultados foram encontrados nos mapas do período de 2005 a 2014.

Em ambos os mapas do REMQ para os períodos mencionados não foi apresentado um padrão na distribuição espacial. No entanto, ao serem adicionados mais pontos no mapa interpolado correspondente ao período de 2005 à 2014, tem-se uma maior variação do REMQ ao longo da região. Algumas regiões mantiveram os bons resultados se compararmos com o REMQ anterior, como, por exemplo, o oeste de Floresta e o sul de Jatobá e Tacaratu.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo projeto INNOVATE *INterplay between the multiple use of water reservoirs via inNOVative coupling of substance cycles in Aquatic and Terrestrial Ecosystems*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, R. I.; DIAS, M. A. F. S. Características microfísicas da precipitação convectiva e estratiforme associadas à oscilação de larga-escala no sudoeste da Amazônia. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 20 p. Disponível em: http://www.cbmet.com/cbm-files/22-c901354623b3_8c702a3f4c36bb3d5871.pdf. Acesso em: agosto de 2014.

ALVES, E. D. L. A.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences Maringá**, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

ANJOS, R. S.; NÓBREGA, R. S. Validando os dados de estimativa de precipitação por

sensoriamento remoto do satélite TRMM para Pernambuco – Brasil. In: **I Workshop em Ciências da Terra e do Espaço**, Évora, Portugal. p. 129-136, 2013.

ANJOS, R.S.; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, p.307-326, 2016.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 14ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 350 p.

BIAZETO, B. **Impacto da precipitação no ciclo de assimilação em modelos de mesoescala**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo (SP). 2007. 118 p.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise Espacial de Superfícies por Geoestatística Espacial. In: **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA. p. 1-37, 2004.

CEMADEN. **Pluviômetros**. Disponível em: < <http://www.cemaden.gov.br/o-que-sao-pluviometros/>>. Acesso em outubro de 2016.

DINKU, T.; CECCATO, P.; GROVER-KOPEC, E.; LEMMA, L.; CONNOR, S. J.; ROPELLEWSKI, C. F. **Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography**. International Journal of Remote Sensing, vol. 28, p. 1503-1506, 2007.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?cod_umn=261160> . Acesso em julho de 2016.

INMET. **Instrumentos meteorológicos**. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=instrumentos>> . Acesso em outubro de 2016.

LUCAS, T.P.B.; PLEC, D.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.13, p.7-21, 2013.

MAGALHÃES, I. A. L. Análise de métodos de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na região Norte do estado do Espírito Santo, Brasil. In: **XVI Simpósio Brasileiro**

de Sensoriamento Remoto. p. 5651 – 5657. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0801.pdf>. Acesso em maio de 2016.

MELLO, C. ; LIMA, J. L. ; SILVA, A. M. ; MELLO, J. M. ; OLIVEIRA, M. S. Krigagem e Inverso do Quadrado da Distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** v.27, p.925-933, 2003.

NASA. NASA Facts: TRMM Instruments. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/ceres.html> Acesso em julho de 2015.

NETO, L. A. S.; NÓBREGA, R. S. Conversão dos dados diários do TRMM de formato binário para texto. In: **XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, p 1-5, 2009. Disponível em <www.sbagro.org.br/anais_congresso_2009/cba2009/301.pdf>. Acesso em setembro de 2015.

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.**, 18. p. 3179–3193, 2014.

RIGHIL, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Revista Ambiência Guarapuava**

(PR) v.12 n., p. 101 – 117, 2016.

SANTANA, R. A.; SANTOS, N. T. Utilização de técnicas geoestatística na otimização de amostragem em parcelas de povoamentos de Tectona Grandis. In: **XIX Simpósio Nacional de Probabilidade Estatística**. p. 1-6, 2010. Disponível em: <http://www.ime.unicamp.br/sinape/19sinape/node/661>. Acesso em: maio de 2016.

UFCG. Dados Climatológicos de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/chuvape.htm>>. Acesso em outubro de 2016.

UNIVERSITY OF UTAH. Precipitation Measuring Missions (PMM). Disponível em <<http://trmm.chpc.utah.edu/>>. Acesso em outubro de 2016.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M.; AVILLA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.9, p.970–978, 2010.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. Variabilidade Espacial e Preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 347 - 354, 2012.