

COMPOSIÇÃO DE CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO EM GRADE REGULAR UTILIZANDO REDES PLUVIOMÉTRICAS E ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE

José Roberto Rozante¹, Demerval Soares Moreira¹, Luiz Gustavo G. De Gonçalves², Daniel A. Vila³

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPTEC/INPE. roberto.rozante@cptec.inpe.br.

²Hydrological Sciences Branch, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, and Earth System Interdisciplinary Center, University of Maryland, College Park, College Park, Maryland

³Cooperative Institute of Climate Studies, and Earth System Interdisciplinary Center, University of Maryland, College Park, College Park, Maryland

1 - Introdução

A avaliação de modelos numéricos de previsão de tempo e clima, geralmente apresentados em grades regularmente espaçadas é uma tarefa complementar às atividades rotineiras em centros operacionais. Observações de estações de superfície, consideradas como “verdade terrestre”, são geralmente utilizadas como referência nas avaliações. No entanto, as observações e as saídas numéricas apresentam escalas espaciais distintas. A rede de estações de superfície, distribuída irregularmente no espaço, representa características ambientais pontuais, enquanto, modelos numéricos produzem campos médios em grades regulares.

A utilização de dados de precipitação, interpolados em grade regularmente espaçada, é de suma importância para identificar regiões com erros sistemáticos nos resultados dos modelos numéricos de previsão de tempo. No entanto, a cobertura de dados meteorológicos observados sobre a América do Sul é muito pequena e irregularmente espaçada quando comparada com regiões do hemisfério norte ou Australiana. Esta baixa densidade de dados, principalmente no interior do continente, e a quase inexistência sobre os oceanos, faz com que a interpolação da precipitação para grade regular apresente uma baixa qualidade. Neste caso, a validação de modelos numéricos, pode ser altamente comprometida, uma vez que a precipitação interpolada não é representativa da realidade.

A utilização dos produtos de estimativa de precipitação proveniente do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) vem sendo amplamente utilizada para avaliar resultados de modelos numéricos, tais como Rozante e Cavalcanti (2008), Valverde (2003). O satélite TRMM é um projeto conjunto entre a *National Aeronautics and Space*

Administration (NASA) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), ele foi lançado em novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos (Kummerow et al. 2000). Embora os produtos do TRMM sejam extremamente úteis para validação de modelos numéricos, alguns erros sistemáticos são verificados, principalmente na faixa leste do nordeste do Brasil (subestimativas associadas às nuvens quentes (Vasques (2007)) e divisas entre a Argentina, Paraguai e sul do Brasil (superestimativas associadas às nuvens com topos frios (Rozante e Cavalcanti (2008))).

No intuito de minimizar os problemas que ocorrem nas interpolações (regiões com baixa densidade de observações) e as deficiências (subestimativas/superestimativas) dos produtos do TRMM, propõe-se neste trabalho uma combinação entre os dados pluviométricos observados (GTS, PCDs e centros regionais) e o produto de estimativa de precipitação TRMM (3B42RT), obtendo assim os campos de precipitação “observada” em grade regular sobre a América do Sul com maior qualidade.

2 – Metodologia

2.1– Dados

Atualmente, sobre a América do Sul, dispomos de aproximadamente 1500 estações que são reportadas com regularidade pelo *Global Telecommunication System* (GTS), plataformas de coletas de dados (PCDs) e centros regionais do Brasil. A distribuição espacial destas redes de observações é bastante irregular, como mostrado na figura 1. As maiores concentrações destas estações estão na faixa leste do continente sul-americano, sobre o Brasil. No interior do continente, a densidade da rede pluviométrica é bastante baixa, principalmente nas faixas norte e sul do continente, além de que sobre os oceanos adjacentes praticamente não existem medições.

O projeto TRMM produz diversos produtos de estimativas através de combinação de instrumentos, tais como o imageador de microondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS). O produto 3B42RT, que será usado neste trabalho, usa estimativas de precipitação por microondas do TMI, corrigidas através de informações sobre a estrutura vertical das nuvens, obtidas do PR. Os produtos do TRMM (3B42RT) são disponibilizados com resolução temporal de 3 horas e espacial de 0.25°.

Sobre o domínio da América do Sul (figura 1) possuem 52.528 pontos de grades que serão utilizados para a obtenção do produto combinado entre o TRMM e as observações.

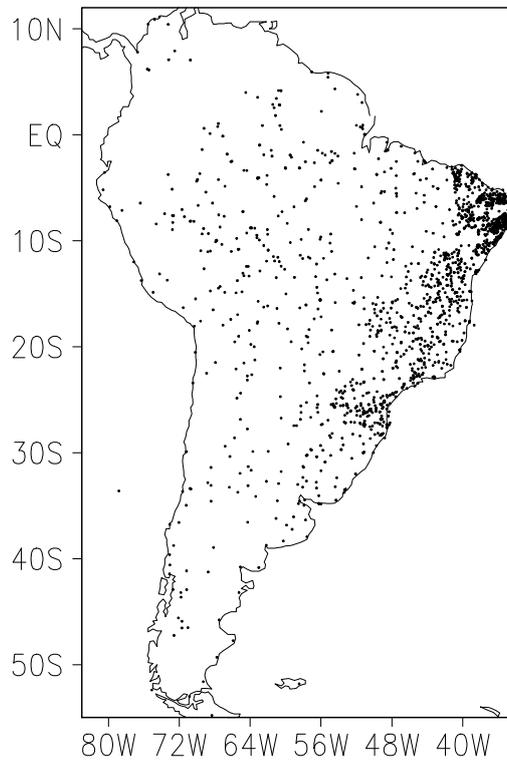


Figura 1: Distribuição espacial dos pontos de observações de precipitação provenientes do GTS, centros regionais, PCDs.

Anteriormente a este produto, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) avaliava seus modelos operacionais utilizando campos interpolados apenas com as estações de superfície (cerca de 1500), indicado na figura 1. Atualmente, essas avaliações são realizadas utilizando o produto gerado a partir da combinação entre a precipitação observada acumulada em 24 horas e a estimada pelo satélite TRMM, também acumulada em 24 horas. A metodologia utilizada para a combinação entre esses dados é descrita a seguir.

2.2 – Merge

Foi denominado de *Merge* a combinação entre os dados observados e o produto do TRMM. Primeiramente, são localizados todos os pontos de estações existentes sobre o domínio de interesse da grade do TRMM (fig. 2.a). Em seguida, nos ‘grid box’ que existem

observações, são desconsiderados os valores de precipitações estimados pelo TRMM. A fim de dar mais peso para os dados pluviométricos, são desconsiderados também os outros 24 ‘grid box’ que estão em torno do que contem a estação (fig. 2b).

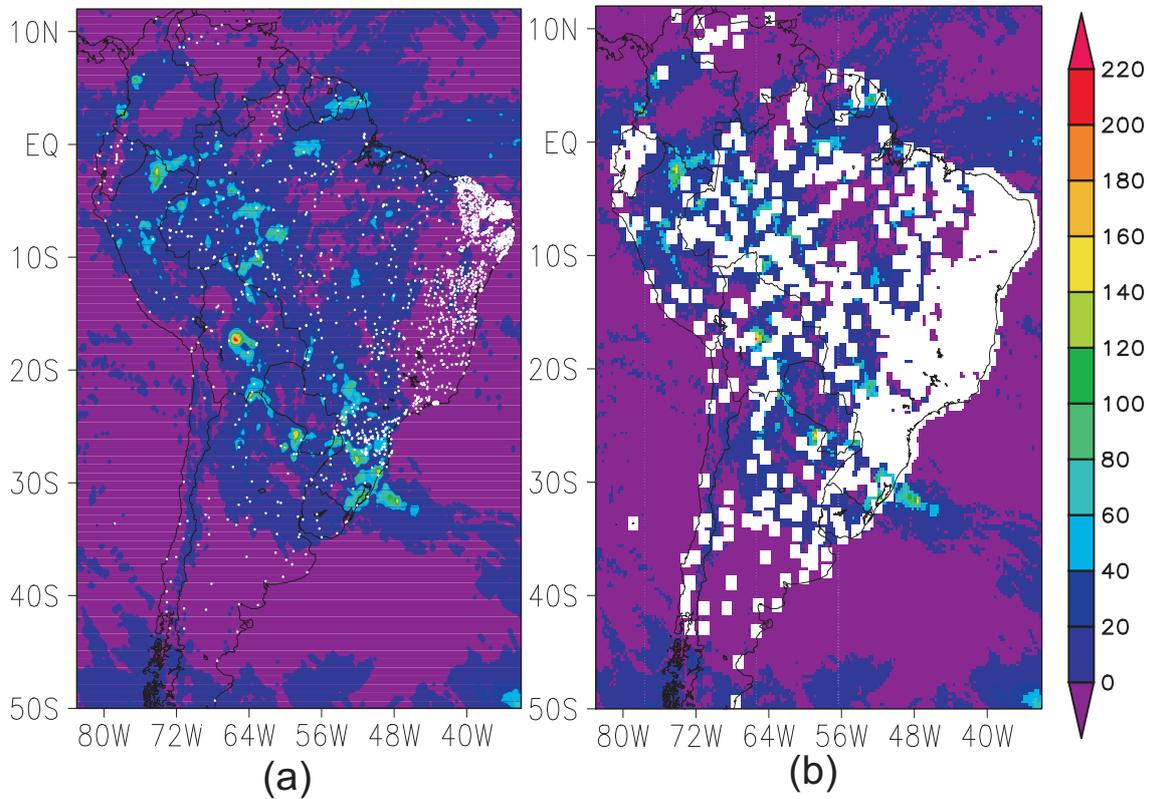


Figura 2: Precipitação acumulada em 24 horas estimada pelo TRMM (sombreado). (a) pontos brancos indicando as localizações das estações pluviométricas que fizeram registro no dia 08/03/2003 e (b) quadrados brancos indicando a retirada dos 25 “grid box” do TRMM que estão próximos das estações pluviométricas apresentadas na figura (a).

Através do campo de precipitação restante do TRMM (figura 2b), é gerada uma lista em formato ascii contendo um identificador qualquer (foi escolhido o 33333), a latitude, a longitude e os valores da precipitação para cada ponto de grade válido (retirando os pontos das regiões em branco da figura 2b). Nesta lista é adicionada a informação obtida a partir das observações de superfície, utilizando como identificador o código da estação, veja exemplo desta lista na tabela 1.

Tabela 1: Exemplo dos dados de precipitação acumulada em 24 horas do TRMM combinados com as observações de superfície.

| | ID | latitude | longitude | prec. |
|----------------------------|-------|----------|-----------|-------|
| T R M M | 33333 | -49.875 | -82.875 | 3.3 |
| | 33333 | -49.625 | -82.875 | 22.1 |
| | ... | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... | ... |
| O B S | 83849 | -25.513 | -49.171 | 32.0 |
| | 83780 | -23.615 | -46.667 | 14.0 |
| | ... | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... | ... |
| | ... | ... | ... | ... |

**M
E
R
G
E**

Os resultados da combinação entre os dados da precipitação estimada pelo TRMM e os de superfície são interpolados para uma grade regular utilizando como método de interpolação a análise objetiva de Barnes (Barnes, 1973).

2.3 – Análise objetiva de Barnes

O Processo de espacialização dos dados de precipitação foi realizado utilizando duas interações do esquema de Barnes (Barnes, 1973; Koch et al.,1983). Esta técnica consiste em atribuir um peso para a observação em função da distância entre a observação e o centro do ponto de grade. A primeira interação é realizada para produzir um campo inicial de precipitação, e em seguida a segunda interação aumenta a quantidade de detalhamento da interação anterior. Alguns detalhes do esquema são apresentados a seguir.

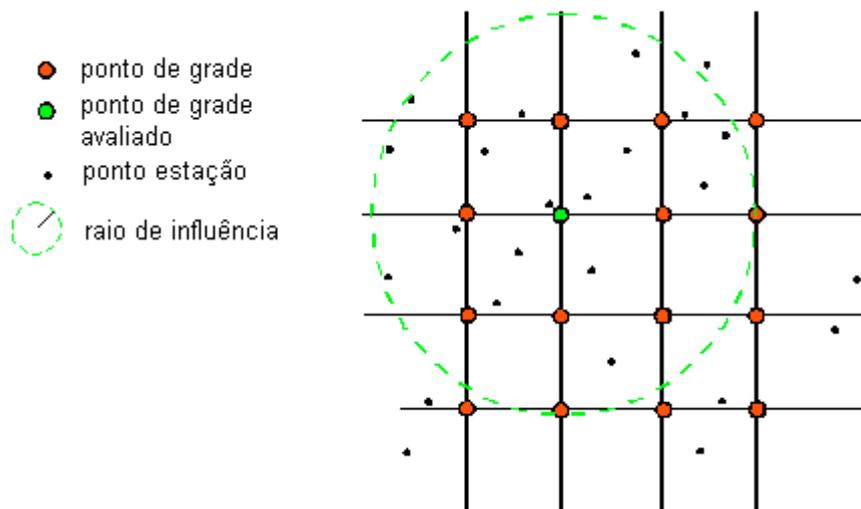


Figura 3: Ilustração do esquema da análise objetiva de Barnes

A figura 3 representa o esquema da análise objetiva de Barnes. Neste esquema são atribuídos pesos (W_n) assumidos de acordo com a distância entre o ponto de estação (x_n, y_n) e o ponto de grade (i, j) dado por:

$$W_n = \exp\left(-\frac{d_n^2}{R^2}\right)$$

Onde d é distancia entre o ponto de estação ao ponto de grade, R é o raio de influência e n é a n -ésima estação dentro do raio de influência.

Após o cálculo dos pesos, para cada estação, utiliza-se a seguinte equação para obter a primeira interação do esquema de Barnes:

$$g_1(i, j) = \frac{\sum_{n=1}^N W_n S(x_n, y_n)}{\sum_{n=1}^N W_n}$$

Onde $S(x_n, y_n)$ são os valores nos pontos de estação localizados dentro do raio de influência.

A segunda interação consiste basicamente em adicionar uma correção ao campo obtido na primeira, dada por:

$$g_2(i, j) = g_1(i, j) + \frac{\sum_{n=1}^N W'_n [S(x_n, y_n) - S^1(x_n, y_n)]}{\sum_{n=1}^N W'_n}$$

Onde;

$S^1(x_n, y_n)$ é o valor obtido no ponto de estação n via interpolação bilinear dos valores nos quatro pontos de grade adjacentes, encontrado na primeira aproximação. W' é o valor do peso corrigido em função de um parâmetro de convergência (γ) aplicado para controlar a quantidade de suavização do campo a ser produzido.

$$W'_n = \exp\left(-\frac{d_n^2}{\gamma R^2}\right)$$

Os valores do parâmetro de convergência (γ) variam entre 0 e 1, no entanto os valores geralmente assumidos em muitos estudos (Koch et. all, 1983; Mills et. all, 1997; Accadia, et. all, 2003; S. K. Sinha et all., 2005) variam entre 0,2 e 0,5. No intuito de encontrar o parâmetro de convergência do método de Barnes que melhor represente a especialização dos dados sobre a América do Sul, foram realizados vários testes variando o γ .

O procedimento adotado para estabelecer o valor de γ consistiu em produzir informações em formato de estações meteorológicas (em função do posicionamento de estações sobre a América do Sul) partido de uma grade regularmente espaçada do TRMM, ou seja, é construídos uma lista (vide tabela 1) com os valores no ponto de grade do TRMM mais próximo aos pontos de estações. Estes dados são interpolados através do método de Barnes para 9 diferentes valores de γ , variando de 0,1 a 1. Esse procedimento foi repetido para um conjunto de dados de 30 dias visando uma maior confiabilidade do resultado. A raiz quadrada do erro médio (RMSE) para cada valor de γ foi obtida através dos dados originais do TRMM e dos dados interpolados, determinada por:

$$\overline{RMSE} = \frac{1}{30} \sum_{d=1}^{30} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (TRMM_{ori} - TRMM_{int})^2}$$

onde N é o número de estações, $_{ori}$ significa os dados originais e $_{int}$ os interpolados via análise de Barnes.

A figura 4 mostra a média do RMSE em função dos valores de gamma testados. Através desta figura observamos que, conforme descrito na literatura, os menores valores dos erros encontram-se entre os intervalos de 0,2 a 0,5, sendo que o valor de gamma testado que apresenta o menor erro foi o de 0,3. Estes resultados são bastante consistentes com os de outros estudos onde os valores de gamma foram testados. Sendo assim, para a realização deste trabalho será utilizado no método de interpolação de Barnes o valor de 0,3 para o parâmetro de convergência (gamma).

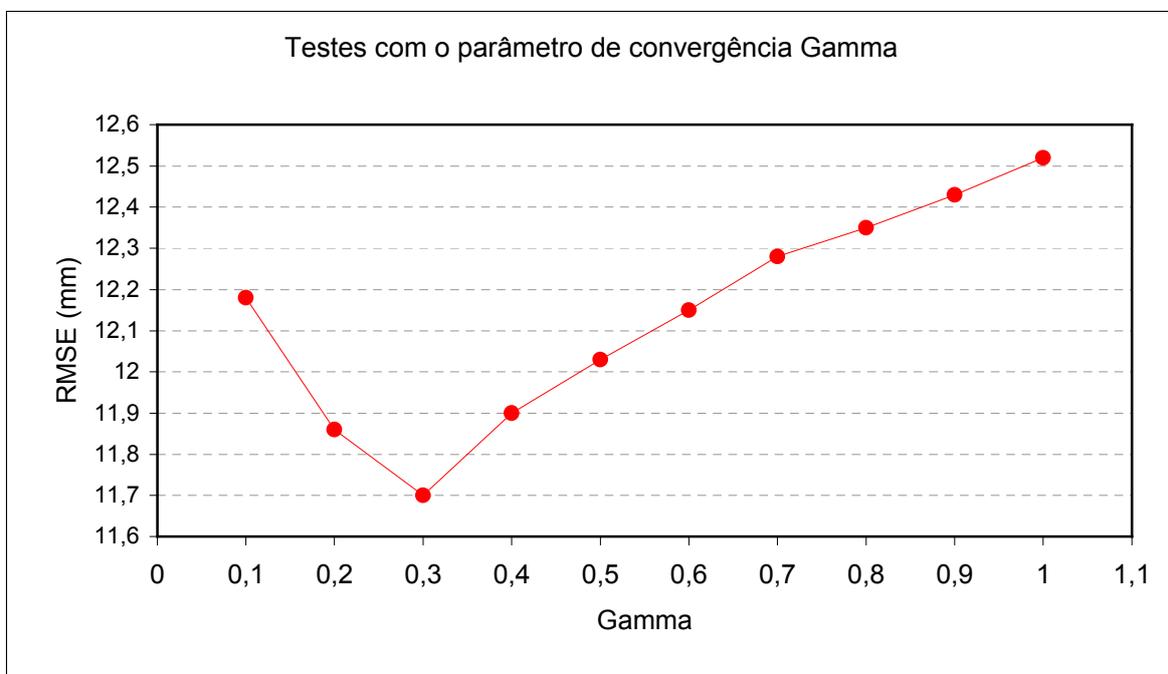


Figura 4: Média da raiz do erro quadrático médio para diferentes valores do parâmetro de convergência gamma.

2.4 – Avaliação dos resultados

A comprovação das melhorias ocasionadas pela utilização do MERGE será mostrada comparando este produto com os resultados interpolados apenas com os dados observados (OBS). Baseando-se na metodologia proposta por Caruso e Quarta (1998), foi interpolado os OBS após retirar aleatoriamente 10% das observações. A partir do campo obtido em ponto de grade (OBS90), foi extraído uma listagem, através de interpolação bilinear, para as mesmas localizações das estações que foram retiradas. O mesmo procedimento foi

adotado para os dados do MERGE (OBS+TRMM), maiores detalhes, vide esquemas abaixo.

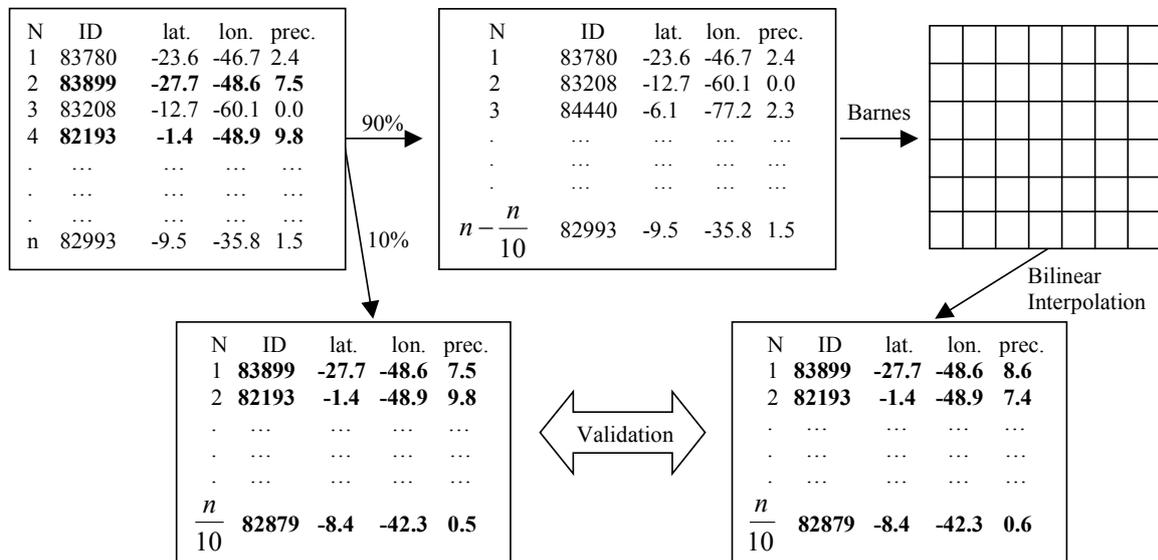


Figura 5: Esquema representativo para a metodologia de avaliação.

Para a realização da avaliação foram selecionados dois períodos de três meses; o primeiro sendo os meses de janeiro, fevereiro e março (verão) e o segundo junho, julho e agosto (inverno). A escolha dos períodos deve-se ao regime de precipitação atuante sobre a América do Sul, que de forma geral apresenta maiores índices pluviométricos durante o verão e menores durante o inverno. A validação dos resultados foi realizada utilizando o RMSE além dos índices quantitativos de precipitação (QPF) Equitable Treath Score normalizado (ETS) (Mesinger e Brill (2004)), BIAS, probabilidade de detecção(POD) e índice de falso alarme (RAF).

3 – Resultados

A figura 6 mostra a evolução temporal das pentadas do RMSE para os trimestres de verão (a) e de inverno (b) de 2007, considerando a retirada aleatória de 10% de todas as estações do domínio. Observa-se nesta figura um comportamento semelhante entre os erros do OBS90 e do MERGE, em ambos os trimestres. No caso do trimestre de verão (fig. 6a), onde a magnitude do erro é maior que no trimestre de inverno (fig. 5b), devido o maior volume de precipitação, pode-se observar que os erros referentes ao MERGE são ligeiramente inferiores em quase todo o trimestre. No entanto, para o inverno (fig. 6b) os erros são inferiores em alguns dias do trimestre e superiores em outros dias. Portanto, os

resultados mostram que quando são levados em conta os dados retirados sobre todo o domínio, a técnica de misturar os dados do TRMM com as observações de superfície não apresenta melhorias significativas. Como visto na figura 1, a distribuição espacial das estações é bastante irregular, onde a grande maioria concentra-se na faixa litorânea do continente, principalmente sobre o nordeste do Brasil. Neste caso, embora a retirada das estações para a validação tenham sido aleatória, a grande maioria das estações retiradas (cerca de 92%) estão localizadas nas longitudes maiores que 56W, região onde a densidade dos dados é alta e portanto praticamente não são utilizadas as informações da estimativa do TRMM.

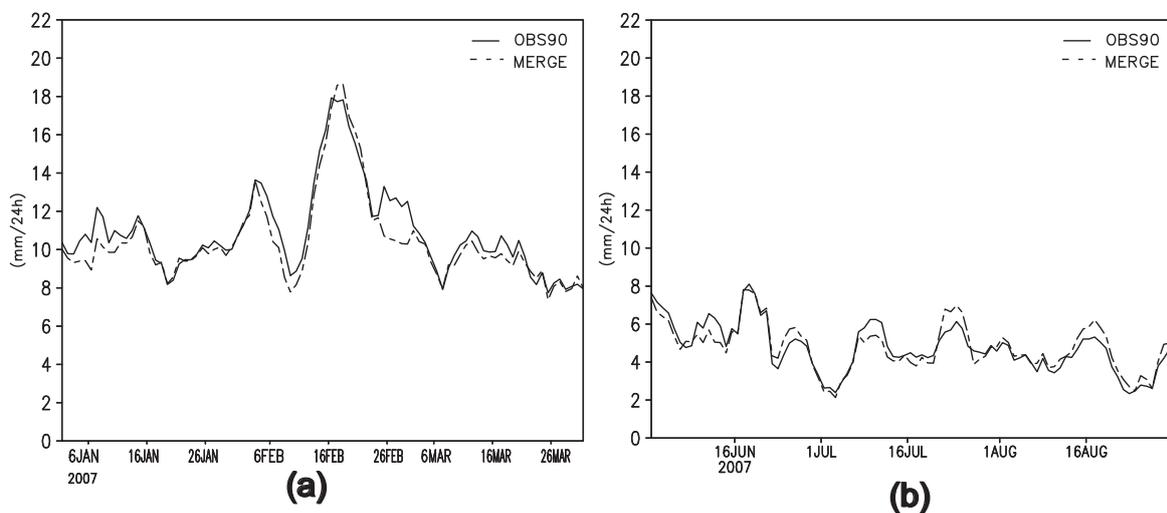


Figura 6: Evolução temporal das pentadas do RMSE para os trimestres de verão (a) e de inverno (b) de 2007, considerando a retirada aleatória de 10% de todas as estações do domínio.

Os resultados da avaliação quantitativa da precipitação (ETS(a), POD(b), BIAS(c), e RAF(d)) para todo o período (verão e inverno) considerando a retirada aleatória de 10% de todas as estações do domínio são mostrados na figura 7. O ETS (fig. 7a) mostra ligeiras melhorias por parte do MERGE, principalmente para limiares de chuvas fracas e moderadas(0.254 a 25.4 mm). Observa-se também que a probabilidade de detecção das chuvas (fig. 7b) é superior em todos os limiares, exceto para chuvas intensas (acima de 38.1 mm) onde o desempenho é semelhante ao OBS90. Notamos ainda que o MERGE apresenta uma leve tendência em superestimar as chuvas (fig. 7c), já o OBS90 apresenta valores mais próximos aos observados, principalmente para chuvas acima dos limiares de

0.254 mm (fig. 7c). Observam-se performances semelhantes entre o MERGE e OBS90 no que diz respeito a indicar chuvas em situação em que não houve a ocorrência (fig. 7d).

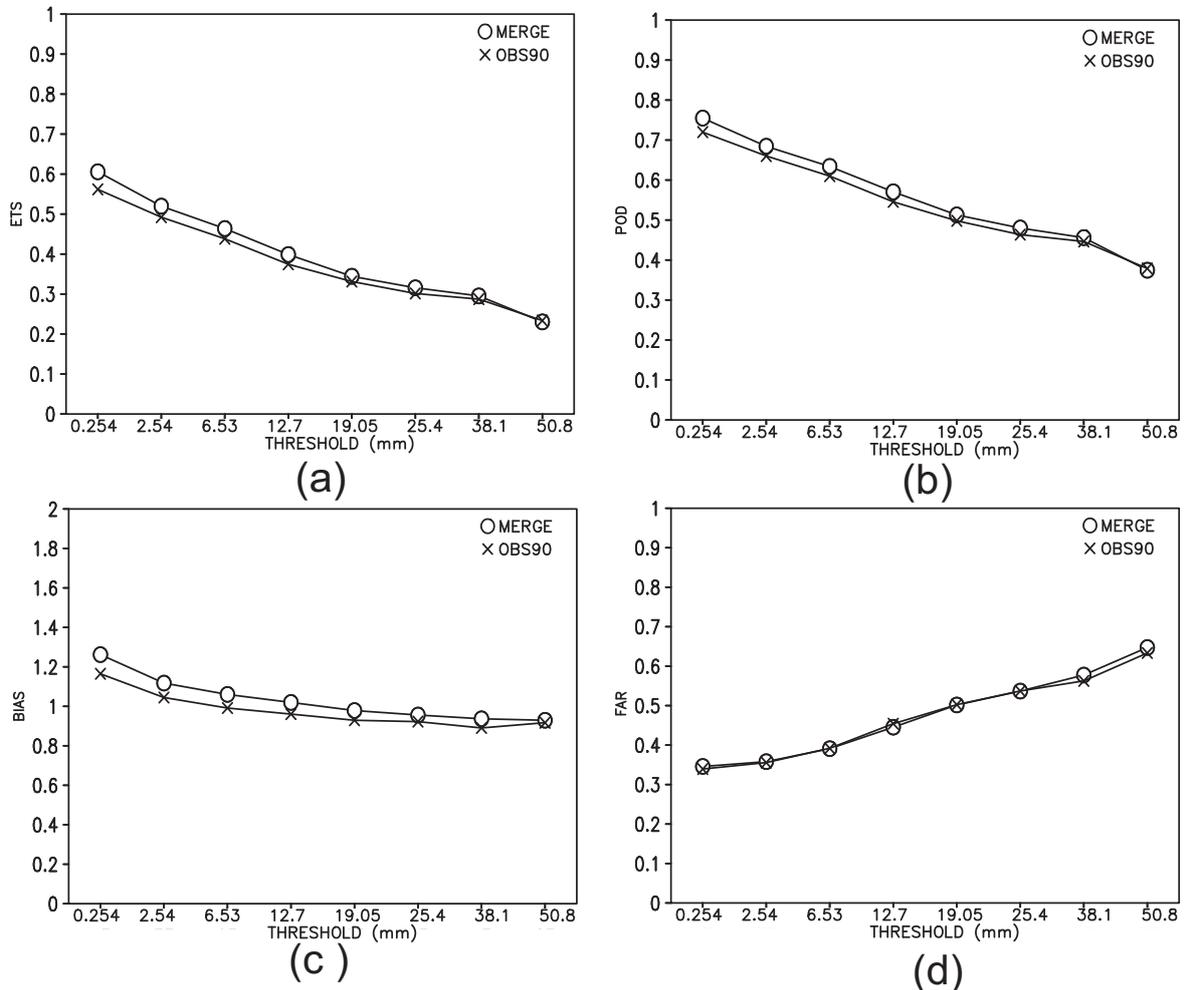


Figura 7: Avaliação quantitativa da precipitação (ETS(a), POD(b), BIAS(c) e RAF(d)) válida para todo o período estudado (verão e inverno de 2007) considerando a retirada aleatória de 10% de todas as estações do domínio.

Portanto, para uma melhor avaliação deste método, foi realizado uma análise retirando (aleatoriamente) os 10% somente da região de baixa densidade de observações (longitudes menores que 56W). A figura 8 apresenta a evolução temporal das pentadas do RMSE para os trimestres de verão (a) e de inverno (b) de 2007, considerando somente as estações retiradas sobre a região de baixa densidade de. Durante o trimestre de verão (fig. 8a) observa-se que o produto MERGE indica uma redução bastante significativa dos erros na maioria dos dias, principalmente durante todo mês de janeiro e alguns dias do mês de março. No caso do inverno (fig.8b) nota-se que a combinação da estimativa de precipitação

com as observações reduziu os erros em quase todo o período avaliado, exceto em alguns dias do mês de agosto.

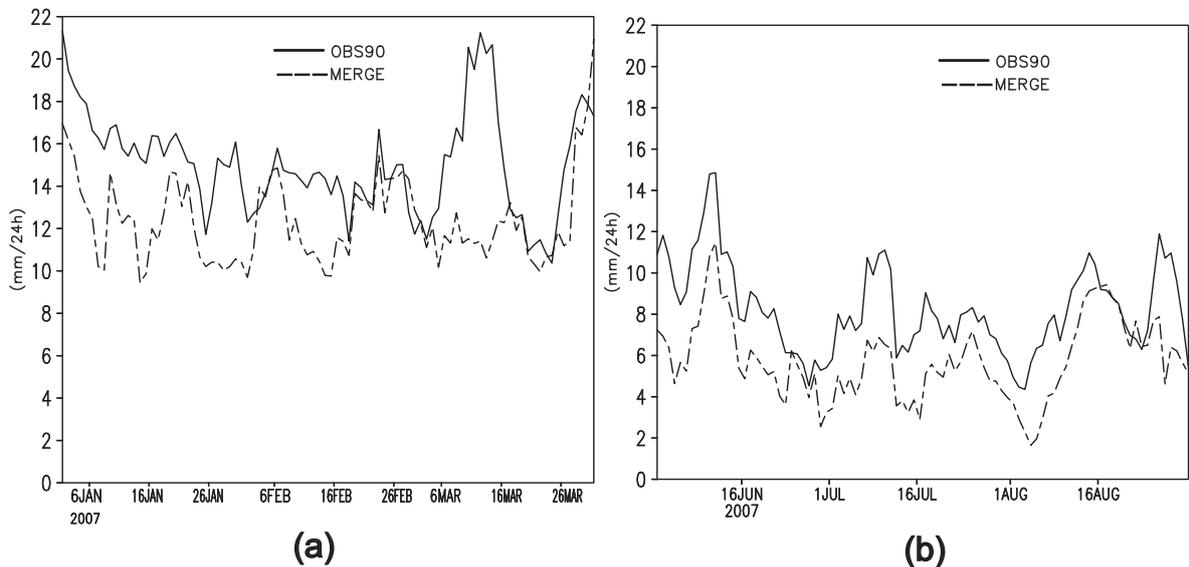


Figura 8: Evolução temporal das pentadas do RMSE para os trimestres de verão (a) e de inverno (b) de 2007, considerando as estações retiradas aleatoriamente no domínio com menor densidade de observações ($< 56W$).

Os resultados da avaliação quantitativa da precipitação (ETS(a), POD(b), BIAS(c), e RAF(d)) para todo o período (verão e inverno) considerando 10% das estações retiradas aleatoriamente no domínio com menor densidade de observações (longitude $< 56W$) são mostrados na figura 9. Os valores do ETS (fig 9a) indicam que o MERGE apresenta resultados mais satisfatórios em todos os limiares de precipitação e o POD (fig. 9b) mostra uma maior probabilidade de detectar as chuvas que realmente ocorreram, também em todos o limiares de precipitação. No que diz respeito ao BIAS (fig. 9c), verifica-se que o MERGE apresenta uma leve tendência em superestimar os valores de precipitação em todos os limiares, enquanto que os valores para o OBS90 indicam ligeiras subestimativas, também em todos os limiares de chuvas. Assim como foi verificado nos resultados anteriores considerando todo o domínio, o RAF (fig. 9d) indica valores semelhantes entre o MERGE e OBS90, sendo que para a região com baixa densidade de observações a tendência deste índice é indicar um número ligeiramente maior de falso alarme quando comparado com os resultados de todo o domínio.

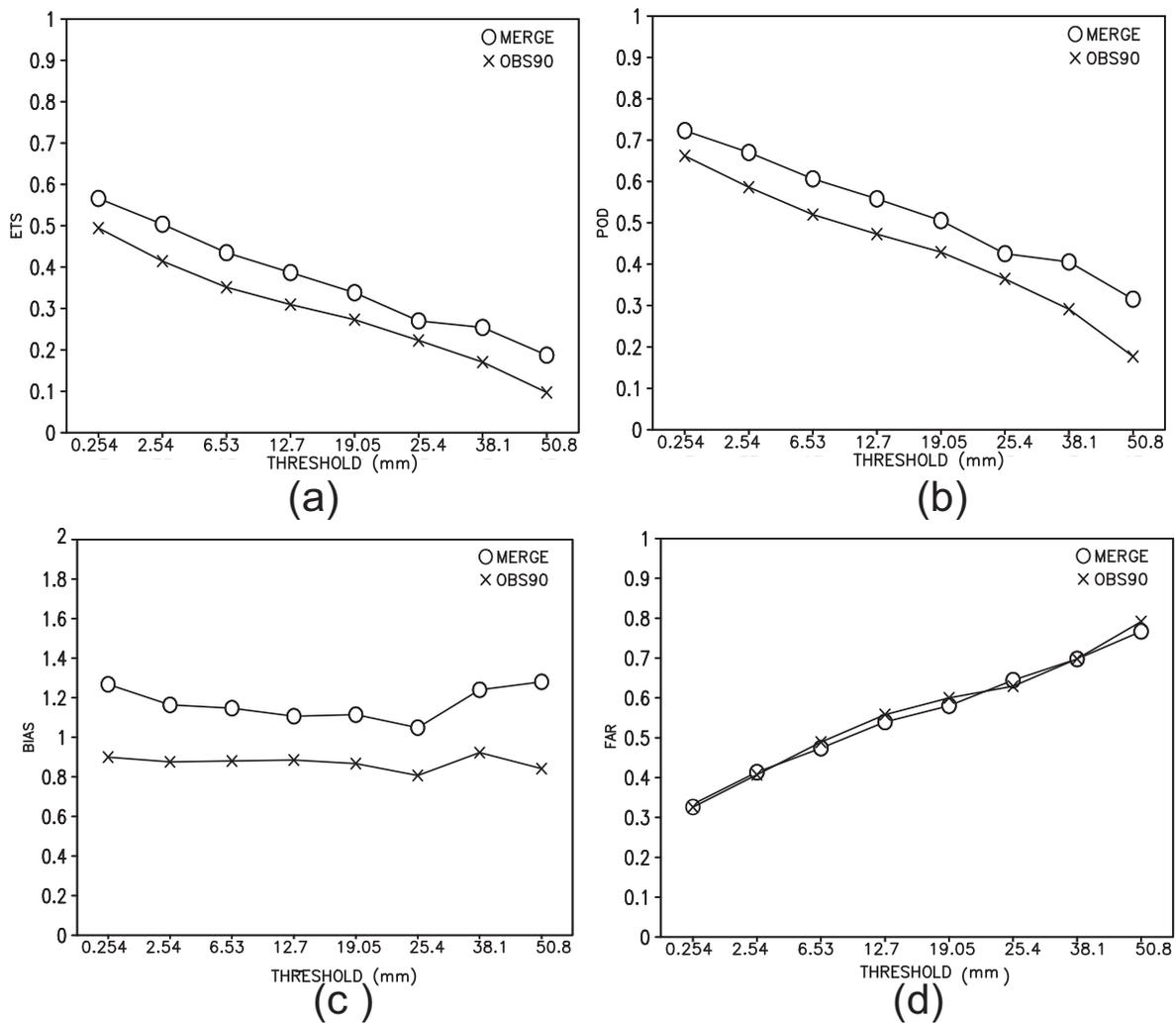


Figura 9: Avaliação quantitativa da precipitação (ETS(a), POD(b), BIAS(c) e RAF(d)) válida para todo o período estudado (verão e inverno de 2007) considerando as estações retiradas aleatoriamente no domínio com menor densidade de observações (longitude < 56W)

A figura 10 mostra a média da precipitação para o trimestre de verão obtidas a partir do MERGE (a) e OBS90 (b). Nota-se que para a região com alta densidade de dados os resultados são bastante semelhantes, no entanto, para a região com menor densidade de dados podemos observar precipitações mais intensas nos resultados referentes ao MERGE. Verifica-se que sobre a região central da Amazônia o MERGE indica uma ampla área de precipitação variando em torno de 10 a 14 milímetros, enquanto que o OBS90 os valores de precipitação não chegam a atingir 4 milímetros.

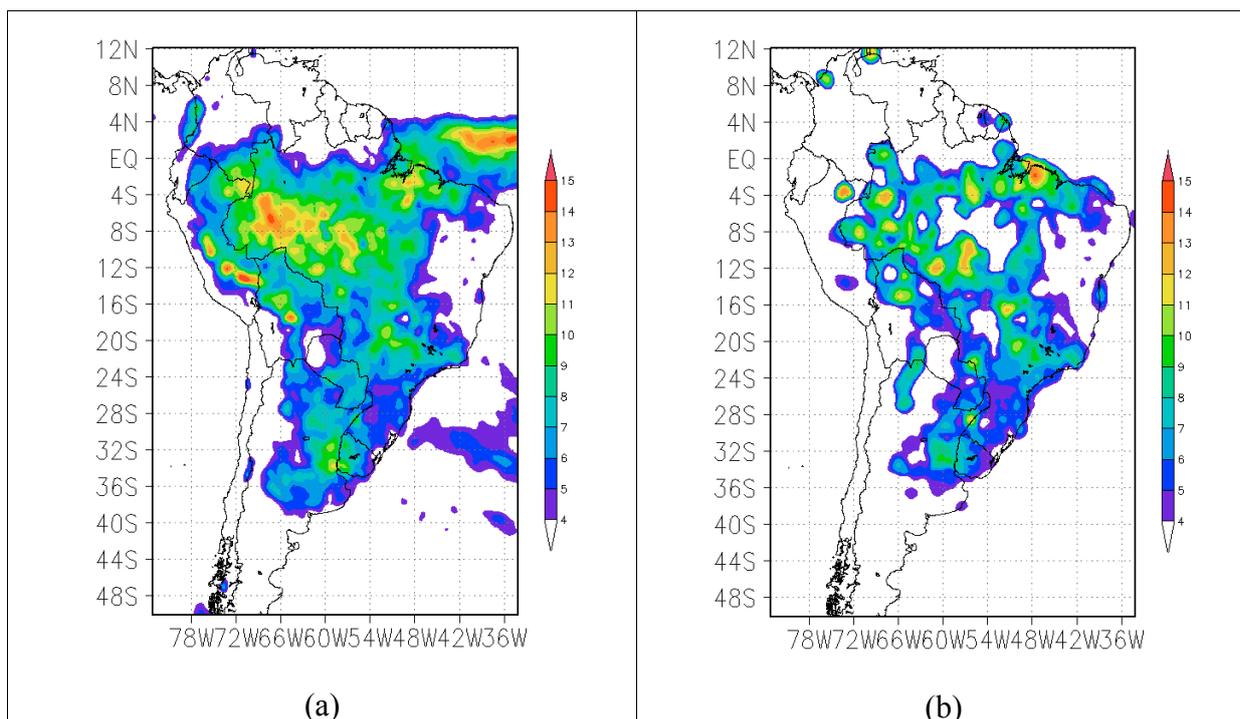


Figura 10: Média da precipitação para o trimestre de verão obtidas a partir do MERGE (a) e OBS90 (b).

A média da precipitação para o trimestre de inverno obtidos a partir do MERGE (a) e OBS90 (b) é mostrado na figura 11. Assim como foi verificado no trimestre de verão, a região com alta densidade de informações apresentam padrões bastante semelhantes. A maior intensidade da precipitação do MERGE também foi constatado neste trimestre, dando um núcleo de precipitação bem intenso sobre a Venezuela. Observa-se também que no MERGE tem-se uma estimativa da precipitação sobre o oceano (proveniente do TRMM) já no OBS não possui esta informação devido a falta de dados observados neste local .

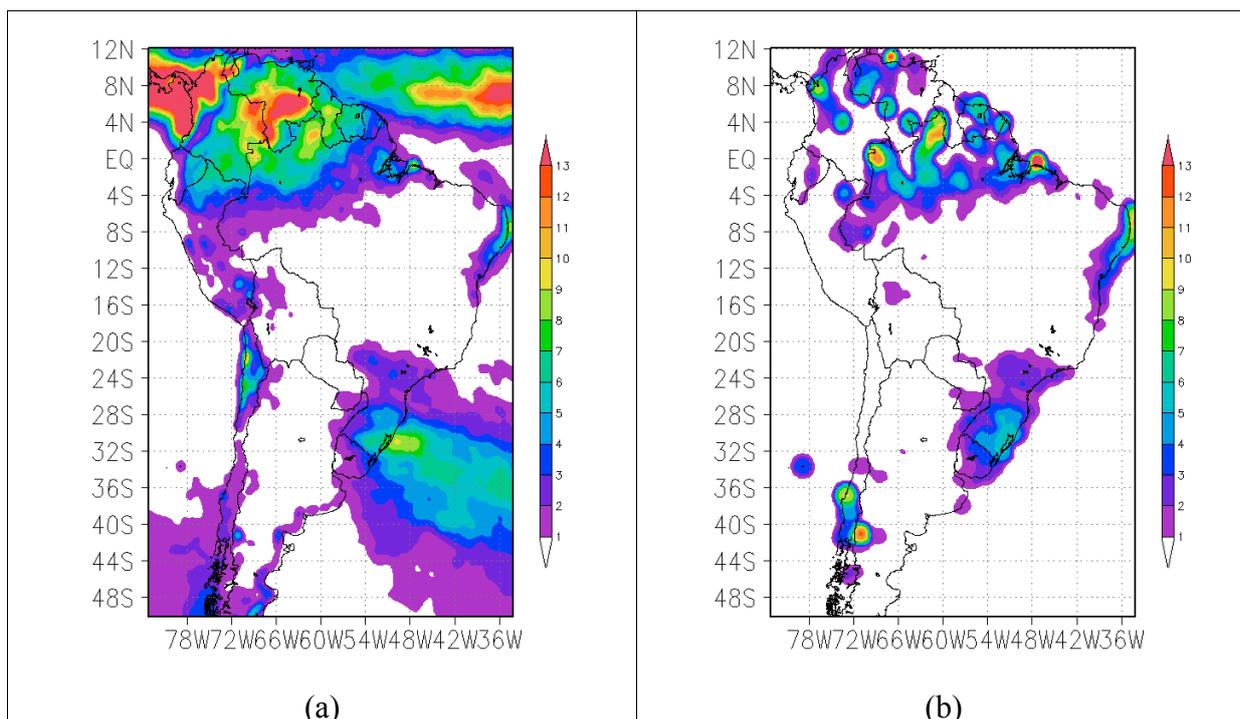


Figura 11: Média da precipitação para o trimestre de inverno obtidas a partir do MERGE (a) e OBS90 (b).

4 – Conclusões

A combinação dos dados de precipitação observados e estimados pelo satélite TRMM sobre a América do Sul foi realizada para dois trimestres de 2007, sendo um para o trimestre de verão e outro para o inverno. Pode-se concluir que sobre a faixa litorânea do continente, onde a densidade das observações é relativamente alta, a combinação das observações e o produto do TRMM não apresentam melhorias significativas, uma vez que sobre esta região os dados do TRMM praticamente não são utilizados. Os resultados para a região com baixa densidade de observações (à oeste de 56W), mostram que a combinação entre o produto de estimativa de precipitação do TRMM com os dados observados proporcionou melhorias significativas na obtenção do campo de precipitação em grade regular.

A análise quantitativa da precipitação mostrou ligeiras melhorias para o produto MERGE quando consideramos todo o domínio, no entanto, sobre a região onde a densidade de observações é menor, essas melhorias são bastante significativas. Neste caso, a utilização deste produto para a validação de modelos numéricos deverá fornecer resultados mais realísticos.

A análise das distribuições espaciais mostrou que o produto MERGE tende a indicar valores mais intensos de precipitação, principalmente nas regiões onde a estimativa de satélite é mais utilizada. Na faixa litorânea do continente, onde a densidade dos dados é alta, os resultados entre o MERGE e o OBS90 são bastante semelhantes, indicando que a estimativa de satélite é pouco utilizada nesta região. Sobre a região norte do Brasil, durante o trimestre chuvoso, o produto OBS90 apresenta descontinuidade no campo de precipitação devido à ausência de observações nesta região. Essa deficiência é minimizada quando se utiliza a estimativa de precipitação por satélite.

O produto MERGE além da vantagem de fornecer resultados mais coerentes sobre o continente, este produto também possibilita a validação dos resultados dos modelos numéricos sobre os oceanos adjacentes a América do Sul.

REFERÊNCIAS

- Accadia, C., S. Mariani, M. Casaioli, A. Lavagnini, and A. Speranza, 2003: Sensitivity of Precipitation Forecast Skill Scores to Bilinear Interpolation and a Simple Nearest-Neighbor Average Method on High-Resolution Verification Grids. *Wea. Forecasting*, **18**, 918–932.
- Barnes, S. L., 1973: Mesoscale objective analysis using weighted time-series observations, NOAA Tech. Memo. ERL NSSL-62 *National Severe Storms Laboratory, Norman, OK 73069*, 60 pp. [NTIS COM-73-10781.], 1973. 2359
- C. Caruso and F. Quarta, Interpolation methods comparison, *Computers and Mathematics with Applications*, **35** (12) (1998), pp. 109–126.
- de Goncalves, L. G. G., W. J. Shuttleworth, B. Nijssen, E. J. Burke, J. A. Marengo, S. C. Chou, P. Houser, and D. L. Toll, 2006: Evaluation of model-derived and remotely sensed precipitation products for continental South America, *J. Geophys. Res.*, **111**, D16113, doi:10.1029/2005JD006276
- Franchito, S. H., V. B. Rao, A. C. Vasques, C. M. E. Santo, and J. C. Conforte (2009), Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil, *J. Geophys. Res.*, **114**, D02105, doi:10.1029/2007JD009580.
- Huffman, G.J., R.F. Adler, E.F. Stocker, D.T. Bolvin, and E.J. Nelkin, 2003: Analysis of TRMM 3-Hourly Multi-Satellite Precipitation Estimates Computed in Both Real and Post-Real Time. Combined Preprints CD-ROM, 83rd *AMS Annual Meeting*, Poster P4.11 in: 12th Conf. on Sat. Meteor. and Oceanog., 9-13 February 2003, Long Beach, CA, 6 pp.
- Huffman G. J., Coauthors, 2007: The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *J. Hydrometeor.*, **8**, 38–55
- Koch S. E., M. desJardins, and P. J. Kocin, 1983: An interactive Barnes objective map analysis scheme for use with satellite and conventional data. *J. Climate Appl. Meteor.*, **22**, 1487–1503.
- Kummerow, C., J. Simpson, O. Thiele, W. Barnes, A.T.C. Chang, E. Stocker, R.F. Adler, A. Hou, R. Kakar, F. Wentz, P. Ashcroft, T. Kozu, Y. Hong, K. Okamoto, T. Iguchi, H. Kuroiwa, E. Im, Z. Haddad, G. Huffman, B. Ferrier, W.S. Olson, E. Zipser, E.A. Smith, T.T. Wilheit, G. North, T. Krishnamurti, and K. Nakamura, 2000: The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 1965–1982.
- Mesinger, F.; K. Brill., 2004: Bias normalized precipitation scores. Preprints, *17th Conf. on Probability and Statistics*, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., CD-ROM, J12.6, 2004.
- Mills, G. A., Weymouth, G., Jones, D., Ebert, E. E., Manton, M., Lorkin, J. and Kelly, J., 1997: A National objective daily rainfall analysis system. *BMRC Techniques Development Report*, **1**, 30 pp
- Rozante, J. R., and I. F. A. Cavalcanti, 2008: Regional Eta model experiments: SALLJEX and MCS development, *J. Geophys. Res.*, **113**, D17106, doi:10.1029/2007JD009566.
- Sinha, S. K., Narkhedkar, S. G. and Mitra, A. K., 2006: Barnes objective analysis scheme of daily rainfall over Maharashtra (India) on a mesoscale grid, *Atmosfera*, **19**, 59–76.

- Valverde Ramirez, M. C., 2003: Use of Neural Network for Analysis and Forecast over the South and Southeast Brazil. PhD dissertation, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 238 pp. [Available from INPE-13950-TDI/1061 <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/02.16.14.01>>].
- Vila, D.A., L.G.G. de Goncalves, D.L. Toll, and J.R. Rozante, 2009: Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimates over Continental South America. *J. Hydrometeor.*, **10**, 533–543.