

CAPÍTULO 9

AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL ESTIMADA POR SENSORIAMENTO REMOTO PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

**Nathália Suemi Saito
Maurício Alves Moreira
Alexandre Rosa dos Santos
Ulysses Rodrigues Vianna**

1 Introdução

O Espírito Santo possui um relevo bem acidentado e, segundo Ross (1998), é constituído por duas unidades conhecidos como: Baixada Espírito-Santense e a Serra Capixaba, respectivamente.

A Baixada Espírito-Santense acompanha todo o litoral, ocupa cerca de 40% do território estadual e possui altitude média de 40 a 50 m. Por outro lado, a Serra Capixaba, no interior, possui uma altitude média de 700 m (FREITAS, 2007).

Devido a sua localização, o clima do Estado é caracterizado por grande variação espacial na magnitude de seus elementos, principalmente no sentido Leste-Oeste, ou seja, de baixa altitude (áreas litorâneas) para altitudes elevadas (áreas serranas) (ROSS, 1998). Esta variabilidade climática e sua influência nos diversos tipos de economia regional tornam o monitoramento da precipitação fundamental para o desenvolvimento do Estado.

Apesar do elevado número de estações distribuídas no território estadual, muitas áreas ainda carecem de instrumentos para mensurar a precipitação em campo. Entretanto, atualmente, são disponibilizados instrumentos de coleta de dados meteorológicos remotos, a bordo de satélites orbitais, os quais são capazes de fornecer estimativas de precipitação para toda a superfície terrestre. Entre eles, o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) lançado em 1997 em um programa de colaboração entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), emprega uma grande quantidade de sensores remotos ativos e passivos, a bordo de diversos satélites, que permitem realizar estimativas da precipitação (Huffman et al., 2007).

O TRMM tem sido utilizado em diversas aplicações da ciência, pois: i) os dados coletados pelos sensores a bordo do TRMM são únicos e disponíveis em tempo quase real; ii) sua característica orbital de baixa altitude, com uma órbita não sol-síncrona com 35 graus de inclinação nos trópicos provém amostras na região tropical com alta

frequência temporal e recobre maiores áreas que qualquer satélite padrão com órbita polar; e, iii) possui uma consistência da cobertura espacial e acessibilidade dos dados (ANDERSON et al., 2013).

Dentre os dados meteorológicos fornecidos pela missão TRMM, a precipitação acumulada mensal é disponibilizada por meio de diferentes produtos, dos quais o produto 3B43 foi desenvolvido de modo a fornecer a melhor estimativa de precipitação acumulada mensal utilizando, para isto, a integração dos dados coletados por diferentes sensores orbitais a bordo de diversos satélites e também a calibração destes dados com base em dados coletados em campo (Huffman et al., 2010).

Muitos são os esforços empreendidos para validar as estimativas obtidas por meio da missão TRMM, abrangendo regiões do oceano Pacífico (Bowman, 2005), do continente Norte-Americano (Chiu et al., 2006; Liao e Meneghini, 2009), do continente Sul-Americano (Su et al., 2008; Scheel et al., 2010) e inclusive para regiões do território brasileiro (Franchito et al., 2009; Negrón Juárez et al., 2009). Contudo, devido à variabilidade climática encontrada no Estado do Espírito Santo, à grande quantidade de dados obtidos pela missão TRMM e aos avanços no processamento destes dados (Huffman et al., 2010), torna-se fundamental uma análise da exatidão dos dados de precipitação acumulada mensal atualmente disponíveis, visando aplicações nesta região específica.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da precipitação acumulada mensal estimada por meio da missão TRMM e disponibilizada por meio do produto 3B43 V7 (versão 7), para o Estado do Espírito Santo, durante o período compreendido entre os anos de 2001 a 2011 com base nos registros de precipitação acumulada mensal fornecidos pelas estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA).

2 Metodologia

2.1 Localização e caracterização da área

A pesquisa foi realizada no Estado do Espírito Santo (Figura 1), uma das 27 unidades federativas do Brasil, localizado entre as latitudes 17°53' e 21°17' Sul e entre as longitudes 39°39' e 41°52' Oeste, com uma área total de 46.077,6 km².

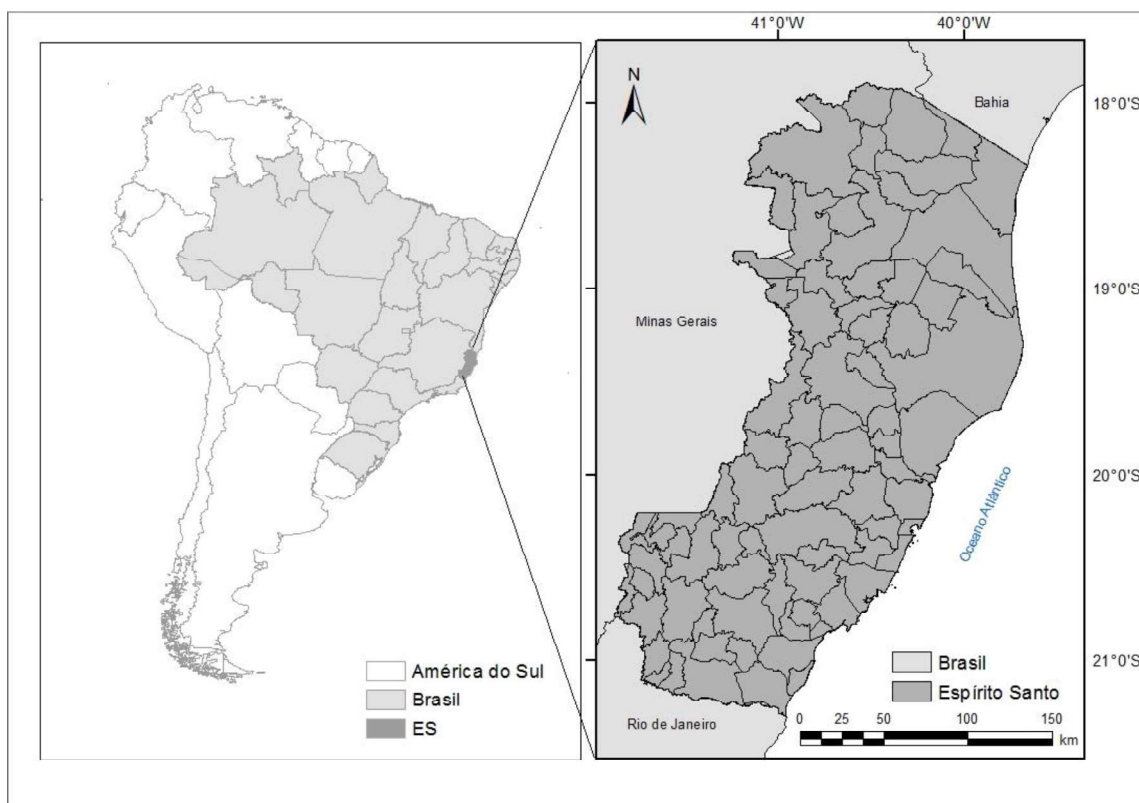


Figura 1. Localização da área de estudo.

Segundo a classificação de Köppen, o Estado do Espírito Santo enquadra-se dentro dos grupos ou zonas climáticas identificadas pelas letras A e C, sendo a primeira, quente e úmida e a outra tropical de altitude. Compreende ainda os tipos climáticos Aw, Am, Cf, e Cw e as variações: Cfa, Cfb, Cwa e Cwb (RELATÓRIO FINAL, 2008).

Nas baixadas litorâneas, bem como nos vales próximos às serras e em suas encostas (até aproximadamente 450m de altitude), o clima é tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (Aw). O clima tropical úmido sem estação seca pronunciada (Am), ocorre em uma faixa paralela a costa e em uma faixa estreita ao longo da encosta inferior da zona serrana.

Na região serrana, com face oceânica (até 650 m de altitude), predomina o clima mesotérmico úmido, sem estação seca, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, convencionado por Cfa. Já as faixas da região serrana com altitudes superiores a 650 m, a temperatura média do mês mais quente não atinge 22 °C, dessa forma é denominado como Cfb.

Encontra-se ainda o clima mesotérmico de inverno seco, como: no planalto interior, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18 °C e a do mês mais

quente ultrapassa 22 °C (Cwa); e, na encosta da Serra do Caparaó, onde a temperatura média do mês mais quente não ultrapassa a 22 °C (Cwb) (RELATÓRIO FINAL, 2008).

2.2 Materiais utilizados

Foram utilizados dados do satélite TRMM, ou *TRMM and Other Sources Rainfall Product* (HUFFMAN et al., 1995, 2007), disponibilizados gratuitamente no sitio da NASA (<<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov>>), no período de 2001-2011.

Os dados pluviométricos necessários para o presente estudo foram adquiridos junto ao Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HIDROWEB), com séries históricas com duração mínima de 25 anos. Sobre o Estado do Espírito Santo existem 92 estações pluviométricas que atendem os requisitos necessários exigidos e 88 dessas estações já foram utilizadas com sucesso por Saito et al. (2009) para obter a erosividade das chuvas.

Diante das Figuras 2a e 2b observa-se que a precipitação média para o Estado do Espírito Santo, período de 2001 a 2011, caracteriza como estação chuvosa os meses de outubro a abril e apresenta uma maior concentração pluviométrica na região Centro-Sul do Estado.

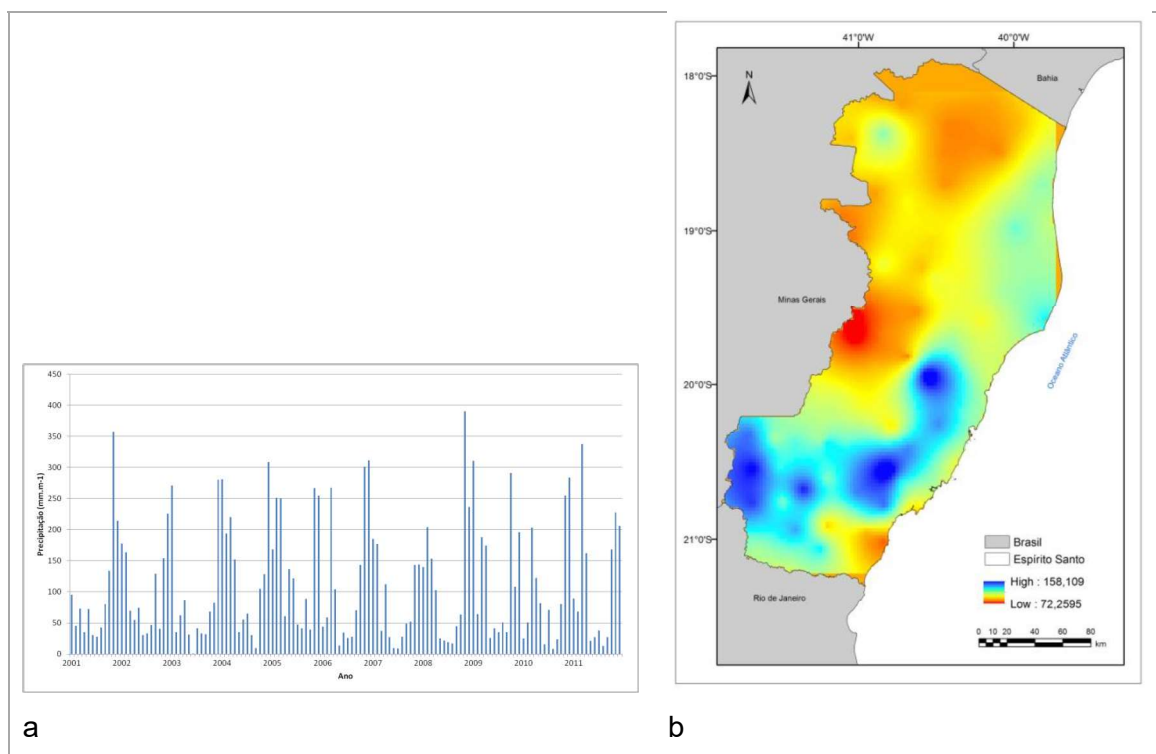


Figura 2. Precipitação média (a) mensal e (b) anual para o Estado do Espírito Santo. Fonte: Produção do autor.

2.3 Metodologia de trabalho

Foram analisados os dados de precipitação acumulada mensal (mm.mês^{-1}) referentes ao período de janeiro de 2001 a dezembro de 2011 da versão 7 (v7) do produto 3B43 do satélite TRMM. Estes dados, disponibilizados no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) em uma grade de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ de resolução espacial, correspondem a séries temporais de dados médios mensais de chuva, em milímetros por hora (mm.h^{-1}), calculados a partir de dados de múltiplos satélites, em adição ao TRMM, assim como dados de estações provenientes do *Global Precipitation Climatological Center* (GPCC) produzido pelo serviço meteorológico alemão e o *Climate Assessment and Monitoring System* (CAMS), produzido pela *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) (ANDERSON et al., 2013).

Diante disso, para obter a precipitação acumulada mensal (mm.mês^{-1}) os dados de precipitação (mm.h^{-1}) foram multiplicados por 24 (h) e pelo número de dias no mês de registro, os quais foram posteriormente testados com dados de campo (valores de referência), para averiguar o grau de concordância com os das estações terrenas. Ao todo, foram utilizadas 92 estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) disponibilizadas a partir do endereço virtual <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>> e distribuídas por todo o território do Estado (Figura 3).

O controle de qualidade dos dados de precipitação baseou-se na análise estatística das discrepâncias entre a média da precipitação de referência (x_i^r), e as obtidas no modelo analisado (x_i^m) dentro de um período de 11 anos de precipitação. Para essas análises o número de amostras foi de 132 dados por estação.

Para obter essa discrepância considerou-se a Equação 1:

$$\Delta x_i = x_i^r - x_i^m \quad (\text{eq.1})$$

Em que,

Δx_i é o valor da discrepância.

Essas discrepâncias serviram para o cálculo da variância, do desvio padrão das discrepâncias, do Índice Residual Normalizado (IRN) e da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ).

Os valores das discrepâncias serviram para estimar o quanto estes dados subestimam ou superestimam os dados de chuva em relação aos dados coletados por meio das estações meteorológicas.

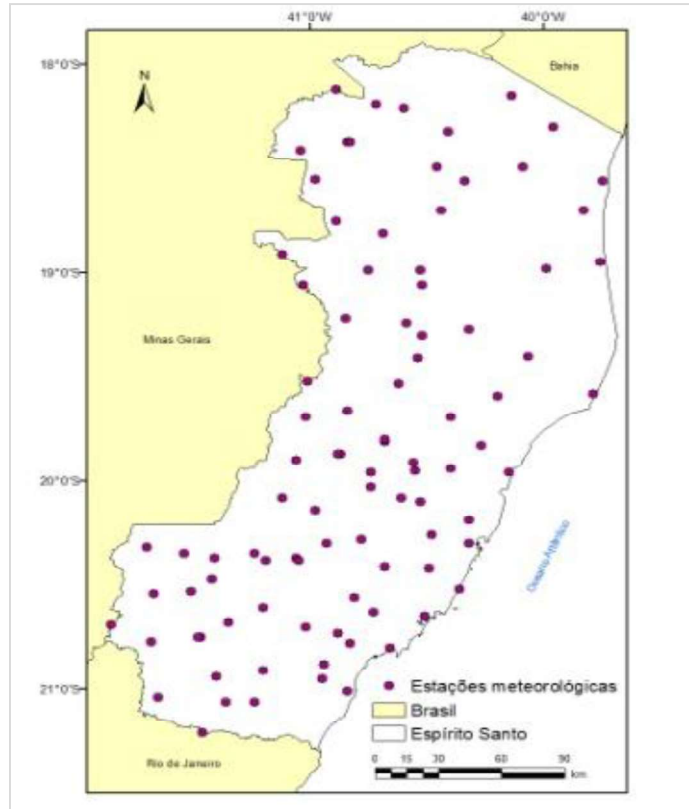


Figura 3. Distribuição espacial das estações meteorológicas no Estado do Espírito Santo. Fonte: Produção do autor.

Para os n pontos de controle de cada estação foram calculados os valores da variância, do desvio padrão das discrepâncias e da REMQ, respectivamente, pelas Equações 2 a 4:

$$S^2 = \frac{1}{(N - 1)} \times \sum \left(\Delta x_i - \frac{\Delta x_i}{N} \right)^2 \quad (\text{eq.2})$$

$$s = \sqrt{S^2} \quad (\text{eq.3})$$

$$\text{REMQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^r - x_i^m)^2}{N}} \quad (\text{eq.4})$$

Em que,

S^2 é a variância;

s é o desvio padrão;

Δx_i é a discrepância entre a precipitação de referência e as obtidas no modelo analisado;

N é o número de pontos de controle.

O IRN foi obtido por meio da equação 5:

$$IRN = \frac{MEE}{\bar{x}_i^r} \quad (\text{eq.5})$$

Em que,

\bar{x}_i^r é a média da precipitação de referência.

3 Resultados e discussão

A avaliação da qualidade dos dados de precipitação, provenientes do produto 3B43 do satélite TRMM ao longo do período estudado (janeiro de 2001 a dezembro 2011) indicou uma alta correlação ($0,82 \leq r \leq 0,95$) entre os dados obtidos por sensoriamento remoto e os dados coletados por estações meteorológicas em campo. Segundo Negrón Juárez et al. (2009), ao avaliar a precisão dos dados TRMM 3B43 V6 utilizando, para isto, três diferentes produtos de precipitação acumulada mensal, gerados a partir de dados coletados por estações meteorológicas, posteriormente interpolados, também observaram valores similares do coeficiente de correlação, o qual variou espacialmente de 0,83 a 0,94 na região Nordeste do Brasil.

O resultado da REMQ mostrou um padrão espacial para áreas que apresentaram um melhor ajuste entre os dados de estações meteorológicas e dados do TRMM (Figura 4). As maiores diferenças entre as estimativas obtidas a partir dos dados de satélite e das estações de campo foram encontradas na região Centro-Sul do Espírito Santo, com destaque para os dados de sete estações (Povoação, Santa Tereza, Vasulgama Velha Montante, Matilde, Iconha-Montante, Burarama e São José das Torres).

Os sete pontos com os maiores valores de REMQ localizam-se na região de maior concentração pluviométrica do Estado (Figura 4) e, como observado, apresentaram subestimativas do produto TRMM em relação aos dados de campo. De acordo com Anderson et al. (2013), os produtos TRMM tendem a subestimar eventos de chuva forte. Além disso, subestimativas dos dados do TRMM também foram encontrados por Collischonn et al. (2008) ao avaliarem o produto TRMM 3B42, que representou a chuva a cada 3 horas (também denominado produto 3B42 real time) para uma série de nove anos na região da bacia do Tapajós.

Sendo assim, o modelo analisado nesta pesquisa superestimou os dados de precipitação, uma vez que das 92 estações analisadas 54 apresentaram valores negativos das discrepâncias o que pode estar relacionado com a extensa área

denominada Baixada Espírito-Santense que acompanha todo o litoral e que apresenta baixos volumes de precipitação. Este resultado discorda de Gonçalves et al. (2006), que ao detectarem chuvas na América do Sul encontraram que este produto tende significativamente a subestimar as chuvas.

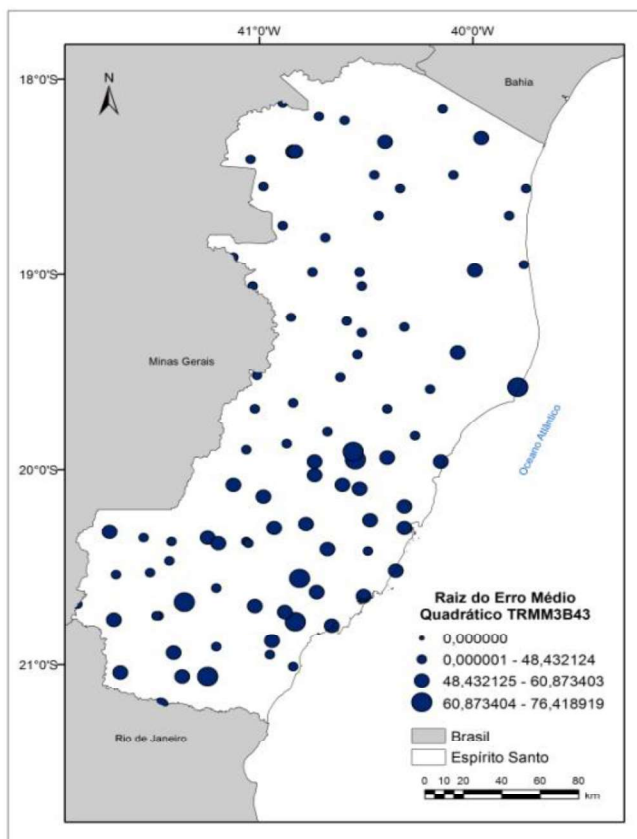


Figura 4. Raiz do Erro Médio Quadrático (REM) para o produto 3B43 do satélite TRMM. Fonte: Produção do autor.

O desvio padrão das discrepâncias variou de 33,1 a 73,39 mm. Já o Índice Residual Normalizado (IRN) foi, em média, igual a 0,3, o que indica um bom ajuste dos dados, já que quanto mais próximo de zero for o valor do IRN calculado melhor o modelo analisado. Segundo Anderson et al. (2013) os produtos 3B43 v6 e v7 para a região Amazônica, também apresentaram um bom ajuste em relação às chuvas medidas pelas estações meteorológicas.

4 Conclusões

- Os dados de precipitação, provenientes do TRMM produto 3B43, demonstraram-se adequados e com bom ajuste quando comparados aos dados de estações

meteorológicas no Estado do Espírito Santo, o que confirma o grande potencial dos dados de precipitação obtidos a partir de sensoriamento remoto nos estudos ambientais.

- Os dados TRMM 3B43 tendem a superestimar a precipitação acumulada mensal em locais com baixo volume pluviométrico e subestimar os resultados em locais com altos volumes de precipitação ou eventos de chuva forte.
- Foi encontrado um padrão espacial para as áreas que apresentaram um melhor ajuste entre os dados de estações meteorológicas e dados do TRMM.

5 Referências bibliográficas

- ANDERSON, L. O., ARAGÃO, L. E. O. C. de; ARAI, E. Avaliação dos dados de chuva mensal para a região Amazônica oriundos do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) produto 3b43 versões 6 e 7 para o período de 1998 a 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil: INPE, 2013, p. 6743-6750.
- BOWMAN, K. P. Comparison of TRMM precipitation retrievals with rain gauge data from ocean buoys. **Journal of Climate**, v.18, p.178-190, 2005.
- CHIU, L.S.; LIU, Z.; VONGSAARD, J.; MORAIN, S.; BUDGE, A.; NEVILLE, P.; BALES, C. Comparison of TRMM and Water District Rain Rates over New Mexico. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 23, n. 1, p. 1-13, 2006.
- 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. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. 1-9, 2009.
- FREITAS, E. **Brasil Escola: Aspectos naturais do Espírito Santo**. 2007. Disponível em: <<http://200.226.135.50/brasil/aspectos-naturais-espirtosanto.htm>>. Acesso em março de 2012.
- GONÇALVES, L. G. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; NIJSSEN, B.; BURKE, E. J.; MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; HOUSER, P.; TOLL, D. L. Evaluation of model - derived and remotely sensed precipitation products for continental South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, D16113, 2006.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA). In: HOSSAIN, F.; GEBREMICHAEL, M. (Ed.). **Satellite Applications for Surface Hydrology**. Berlin: Springer Verlags, 2010. p. 3-22.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007.
- HUFFMAN, G.; ADLER, R.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; KEEHN, P. Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. **Journal of Climate**, v. 8, n. 5, p. 1284-1295, 1995.
- LIAO, L.; MENEHINI, R. Validation of TRMM Precipitation Radar through comparison of its multiyear measurements with Ground-Based Radar. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, p. 804-817, 2009.
- NEGRÓN JUÁREZ, R. I.; LI, W.; FU, R.; FERNANDES, K.; CARDOSO, A. O. Comparison of Precipitation Datasets over the Tropical South American and African Continents. **Journal of Hydrometeorology**, v. 10, p. 289-299, 2009.
- RELATÓRIO final. **Estudo técnico sobre educação ambiental no meio rural no estado do Espírito Santo: uma contribuição para o plano estratégico de desenvolvimento da agropecuária capixaba – Novo PEDEAG**. Vitória: PROJETO CORREDORES ECOLÓGICOS/CCMA, 2008.
- ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Ed. USP. 2. ed. 1998, 547p.
- SCHEEL, M. L. M.; ROHRER, M.; HUGGEL, C.; VILLAR, D. S.; SILVESTRE, E.; HUFFMAN, G. J. Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 7, p. 8545-8586, 2010.
- 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. **Journal of Hydrometeorology**, v. 9, p. 622-640, 2008.