

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

Liana Oighenstein Anderson^{1,2}
Luiz Eduardo Oliveira e Cruz de Aragão³
Egídio Arai²

¹Environmental Change Institute, University of Oxford,
South Parks Road, Oxford, OX1 3QY, UK
liana.anderson@ouce.ox.ac.uk

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{liana, egidio}@dsr.inpe.br

³College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter
Amory Building, Rennes Drive, Devon, EX4 4RJ, UK
L.Aragao@exeter.ac.uk

Abstract. The estimation of components of the water cycle by satellite remote sensing plays an important role particularly in areas where the densities of ground level meteorological stations are sparse. In this study, we evaluated the accuracy of versions 6 and 7 of the product 3B43 from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. The data derived from the TRMM satellite was compared with 33 rainfall gauge stations, derived from the National Institute for Meteorology (INMET). Data was selected to cover different parts of the Brazilian Legal Amazon. The data used for this study covers monthly time series from January 1998 to December 2010. A sample in the TRMM data was acquired for the location of each field station, and statistical analysis were carried out. The results showed that the TRMM product 3B43 tends to overestimate low rainfall and underestimate high rainfall. Both versions of the TRMM product explain 76% of the rainfall variability measured by the rain gauges stations ($p < 0.001$). No clear spatial bias was observed for areas where the product presents higher Root Mean Square Error (RMSE) in relation to the rain gauges. Nonetheless, there seems to be a better performance of the TRMM in areas with higher seasonality, in the cerrado region. The next steps will be to include more field data for covering larger areas of the cerrado, and also include the other regions of the Brazilian biomes.

Palavras-chave: Amazon, rainfall, TRMM, Amazônia, estações meteorológicas, chuva.

1. Introdução

O satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foi lançado em 1997 em um programa de colaboração entre a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Apesar do maior objetivo do programa ser inicialmente uma missão orientada para pesquisa, o TRMM tem sido utilizado em diversas aplicações operacionais em diversos campos da ciência. Existem três razões para atribuir o sucesso da missão TRMM. O primeiro relaciona-se aos dados coletados pelos sensores a bordo do TRMM, sendo estes únicos e disponíveis em tempo quase real. Existem cinco instrumentos a bordo do TRMM: (i) o Radar de precipitação (*Precipitation Radar* - PR), que foi o primeiro instrumento espacial desenvolvido para prover mapas de estrutura de tempestade em três dimensões; (ii) o imageador de micro-ondas (*Microwave Imager*- TMI), que é um sensor passivo desenvolvido para prover informação quantitativa de chuva em uma ampla faixa imageada; (iii) o escaneador do visível e infravermelho (*Visible and Infrared Scanner* - VIRS), que é um instrumento com sensores capturando a radiação advinda da Terra em cinco regiões espectrais, do visível ao infravermelho próximo, e entre 0.63 a 12

micrometros; (iv) o sistema de energia radiante de nuvens e da Terra (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System* - CERES), que é um instrumento que operou apenas até março de 2000, e finalmente o (v) sensor imageador de raios (*Lightning Imaging Sensor* - LIS), que detecta e localiza raios em regiões tropicais do planeta. O segundo fator que contribuiu para o sucesso da missão TRMM foi sua característica orbital que é representada por uma baixa altitude, uma órbita não sol-síncrona com 35 graus de inclinação nos trópicos e, portanto provendo amostras na região tropical com alta frequência temporal e recobrindo maiores áreas que qualquer satélite padrão com órbita polar. Finalmente, a razão mais importante para o sucesso da missão TRMM é a consistência da cobertura espacial e acessibilidade dos dados.

Na era pré-TRMM, padrões espaciais de chuva estavam restritos a modelos numéricos baseados em estações meteorológicas na superfície da Terra para coleta de dados, que podem ser utilizados para gerar tanto dados especializados em grades regulares ou utilizar diferentes métodos de interpolação para áreas onde não possuem estações. Estes dois métodos apresentam resultados diferentes, o que dificulta uma comparação direta no espaço e tempo.

No Brasil, a organização de uma rede de estações meteorológicas foi iniciado em 1886, sendo que em 1917 o país possuía 222 estações meteorológicas em seu território (Barboza, 2006). Dentre os dados organizados e disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) existem cerca de 245 estações convencionais e 464 estações automáticas, estas instaladas na última década (Oliveira et al., 2012). Segundo as informações disponíveis no website do INMET, existem cerca de 300 estações meteorológicas com dados de séries temporais com mais de 30 anos de dados.

Em termos comparativos, nos Estados Unidos existem cerca de 1,600 estações automáticas (*Automated Surface Observing System* – ASOS e *Automated Weather Observing System* AWOS), mais de 10,000 estações de uma rede de colaborações de voluntários (*Cooperative Observer Network* - COOP) e cerca de 1218 estações com dados de séries históricas (*U.S. Historical Climatology Network* - USHCN) (NOAA, 2012).

Especificamente na região Norte do Brasil, dados históricos de chuva tem sido adquiridos por 41 estações meteorológicas convencionais do INMET para recobrir uma área de mais de 3,800,000 km². Incluindo o estado do Mato Grosso e parte do Estado do Maranhão (totalizando a Amazônia Legal Brasileira), a área a ser monitorado atinge cerca de 5,200,000 km², aproximadamente 62% do território nacional. Apesar disso, apenas 12 estações meteorológicas convencionas existem no Estado do Mato Grosso, e em todo Tocantins existem apenas seis (INMET, 2012) (Tabela 1). Portanto, pode-se concluir que existe um vazio de aquisição de dados em grandes áreas da Amazônia Brasileira. Além disso, a aquisição de dados para as demais regiões da floresta Amazônica além da fronteira brasileira são difíceis de obter, em adição ao fato de que a filtragem e correção dos dados consomem tempo e incluem diversas incertezas, como falta de informações para algumas datas ou meses.

Tabela 1. Estações meteorológicas convencionais e automáticas na Amazônia Legal Brasileira, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Estados da Amazônia Legal	Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional	Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática	Número total de estações
Mato Grosso	12	35	47
Rondônia	0	4	4
Acre	3	6	9
Amazonas	14	18	32
Roraima	2	1	3
Amapá	1	3	4
Pará	15	23	38
Tocantins	6	11	17
Maranhão	12	16	28

Estudos investigando a macro-ecologia da região Amazônica utilizando dados oriundos do TRMM produto 3B43 versão 6 – “*Monthly 0.25° x 0.25° TRMM and Other Sources Rainfall*” mostraram a relação entre secas e incêndios na Amazônia (Aragão et al., 2007, Aragão et al., 2008), relação entre chuvas, anomalias de chuvas e fenologia de florestas (Anderson et al., 2010; Bradley et al., 2011), secas e mortalidade de árvores (Phillips et al., 2009, Lewis et al., 2011, Xu et al., 2011), condições de humidade e padrões espaciais de características das folhas de árvores (Malhado et al., 2009a,b, Malhado et al., 2010, Malhado et al., 2012), distribuição de espécies arbóreas (Saatchi et al., 2008), projeções futuras de mudanças climáticas na Amazônia (Malhi et al., 2009), dentre outros. Além do produto 3B43, a utilização de outros produtos do satélite TRMM também tem sido amplamente empregados no campo da meteorologia para avaliar padrões e características de chuvas para esta região.

Apesar da grande importância do produto 3B43 do satélite TRMM para estudos ecológicos na Amazônia, não foi realizado ainda uma avaliação do desempenho deste produto para esta região, nem uma avaliação entre a versão 6, lançada em 2004 e a nova versão 7, lançada em 2012 (Zhong et al., 2012). Nesse contexto, o presente estudo visa suprir esta lacuna do conhecimento, e responder, mais especificamente as seguintes questões: (i) Como os dados do produto 3B43 versões 6 e 7 comparam-se com dados de estações meteorológicas de campo? (ii) Existe um padrão espacial na exatidão das detecções de chuvas nos dados oriundos do TRMM em relação aos dados de campo?

Para responder a estas perguntas, uma metodologia robusta foi elaborada, constituindo de uma série temporal de 13 anos, entre Janeiro de 1998 e Dezembro de 2010, para 33 estações meteorológicas, recobrimdo toda a Amazônia Legal.

2. Material e métodos

2.1 Dados do satélite TRMM

Foram adquiridos dados para o período de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2010 da versão 6 (v6) e versão 7 (v7) do produto 3B43 do satélite TRMM. O produto 3B43, ou *TRMM and Other Sources Rainfall Product* (Huffman et al. 1995; Huffman et al. 2007) corresponde a series temporais de dados médios mensais de chuva, em milímetros por hora (mm hr^{-1}), calculado a partir de dados de múltiplos satélites, em adição ao TRMM, assim como dados de estações provenientes do *Global Precipitation Climatological Center* (GPCP) produzido pelo serviço meteorológico alemão e o *Climate Assessment and Monitoring System* (CAMS), produzido pela *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA).

Os dados do produto 3B43 são disponibilizados no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) em uma grade de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ graus, recobrimdo o globo terrestre entre as latitudes 50°N a 50°S .

Maiores detalhes sobre o produto 3B43 podem ser obtidos através do seguinte endereço eletrônico via *world wide web* (www): <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b43.html>.

2.2 Dados de estações meteorológicas

Dados oriundos de 33 estações meteorológicas convencionais para o período de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2010 foram adquiridos pelo website do INMET (www.inmet.gov.br/), sendo que 31 estações estão localizadas nos limites da Amazônia Legal Brasileira e duas estações localizadas mais ao sul, em uma região de cerrado, em que a sazonalidade da chuva apresenta-se mais marcada (Figura 1).

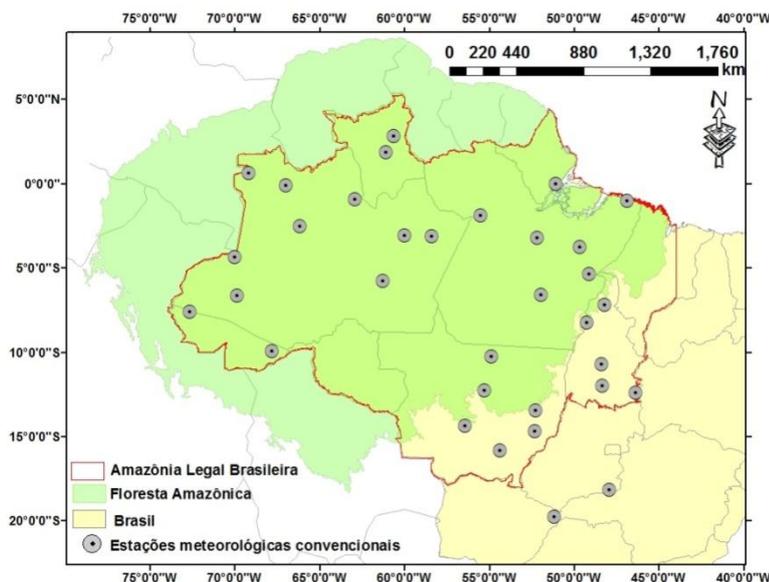


Figura 1. Localização das estações meteorológicas convencionais do INMET utilizadas nesse estudo.

2.2 Análise estatística

Primeiramente, foram realizadas análises de regressão ordinária dos mínimos quadrados (OLS) entre os dados do produto 3B43 v6 e v7 (variável dependente) em relação aos dados de estações meteorológicas (variável independente) e também entre as versões v6 e v7 do produto TRMM para avaliar a correlação entre os dois produtos. Para estas análises, o número amostral para v6 foi 4793 e para v7 5153.

Em seguida, para cada uma das estações meteorológicas e os respectivos dados derivados do TRMM-3B43 v6 e v7, foram calculados: (a) o coeficiente de determinação da regressão, que mede a proporção da variância em Y (produto 3B43) que é explicada por X (dados do INMET), e avaliados a 5% de significância pela análise de variância (ANOVA); (b) o resíduo entre os produtos 3B43 e dados do INMET, para avaliar a diferença entre o valor observado em campo (INMET) e valor oriundo dos dados de satélites (TRMM 3B43); (c) a Raiz do Erro Médio Quadrático para as v6 e v7 de forma a estimar o quanto estes dados subestimam ou superestimam os dados de chuva em relação aos dados coletados por estações meteorológicas. Para estas análises o número de amostras foi de 156 dados por estação.

3. Resultados e Discussão

A análise de regressão entre os dados do produto 3B43 v6 e v7 e os dados das estações meteorológicas convencionais mostraram resultados similares (Figura 2). As duas versões do produto 3B43 explicam 76% da variância da chuva medida pelas estações meteorológicas ($p < 0.001$) (Figura 2a, b). Além disso, os dados das duas versões apresentam-se fortemente correlacionados (Figura 2c) ($p < 0.001$).

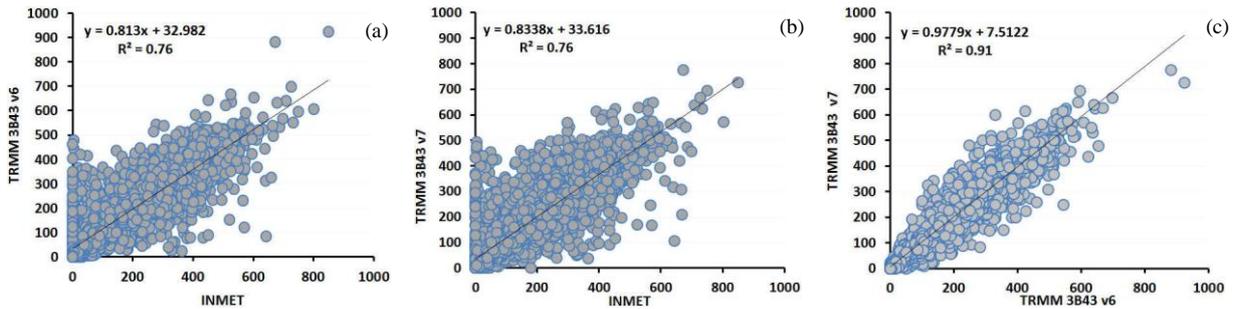


Figura 2. Gráficos de correlação entre dados observados em campo (INMET) e oriundos do satélite TRMM: (a) INMET e versão 6, produto 3B43, (b) INMET e versão 7, produto 3B43 e (c) entre as versões 6 e 7 do produto 3B43 do satélite TRMM.

O resíduo entre os dados de estações meteorológicas e os dados do produto 3B43 apontam para um pequeno melhoramento do desempenho da versão 7 em relação a versão 6, já que a versão 7 apresenta uma maior frequência de resíduos nulos (Figura 3a). No entanto, observa-se que as duas versões superestimam a detecção de chuvas leves – até cerca de 175 mm de chuva, e subestimam a detecção de eventos de chuva forte – maiores que 300 mm de chuva (Figura 3b).

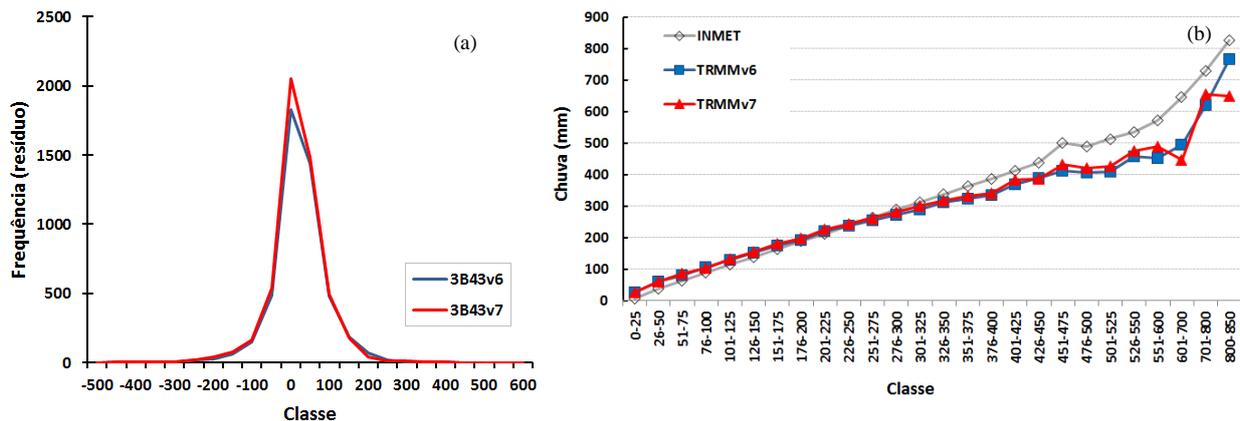


Figura 3. (a) Frequência da distribuição do resíduo entre valores de estações de campo e dados TRMM, (b) Comparação por classes de chuva, entre valores do INMET e TRMM 3B43 v6 e v7.

A avaliação da Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQU) para as v6 e v7 não mostra um padrão espacial definido para áreas que em existe um melhor ajuste entre os dados de estações meteorológicas e dados do TRMM (Figura 4). Maiores diferenças entre as estimativas do satélite e das estações de campo são encontradas na região central da Amazônia, extremo oeste e sul, sendo que em pontos muito próximos são encontrados valores de REMQU baixos, com o mesmo padrão para as duas versões do produto 3B43 analisadas. Para os cinco pontos com valores mais altos de REMQU observados, a versão 7 do produto TRMM 3B43 exhibe relativamente valores mais baixos que a versão 6. De uma forma geral, para as áreas em que existe uma maior sazonalidade na precipitação, localizadas no cerrado, o REMQU é menor.

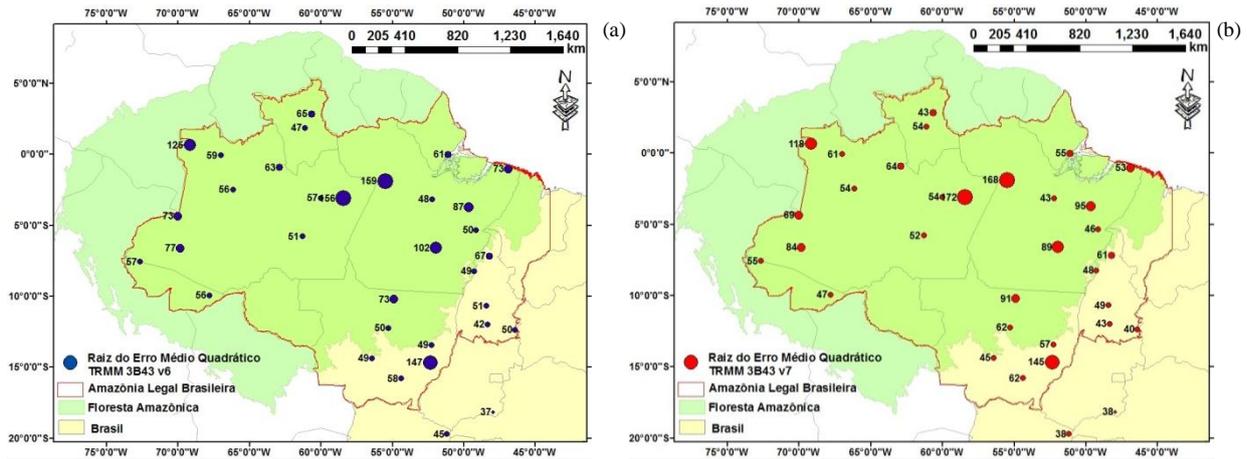


Figura 4. Raiz do Erro Médio Quadrático (REM) para o produto TRMM 3B43. (a) versão 6 e (b) versão 7.

Uma avaliação do produto TRMM 3B42, que representa a chuva a cada 3 horas (também denominado produto 3B42 *real time*) para uma série de nove anos na região da bacia do Tapajós aponta para subestimativas do produto TRMM em relação a dados de campo diários, assim como subestimativas para o período das chuvas (outubro a abril), com superestimava no período seco (maio a setembro) (Collischonnet al., 2008). Estes resultados apresentam as mesmas características observadas na análise do presente estudo. Resultados complementares foram encontrados por de Gonçalves et al. (2006), que avaliando o produto TRMM 3B42 para detectar chuvas na América do sul encontrou que este produto tende a subestimar áreas sem chuvas e fortemente superestimar a chuva em áreas com poucas chuvas, mas de uma forma geral o TRMM significativamente subestima chuvas.

Em uma análise criteriosa do produto TRMM 3B42 para o período de 1998 a 2005 em relação a dados de estações meteorológicas na Amazônia Legal, Clarke et al. (2011) reportam um erro padrão da diferença de médias de ± 21 mm, e quando leva-se em consideração o padrão espacial de auto-correlação devido a proximidade das estações meteorológicas utilizadas, o erro padrão aumenta em ordem de quatro vezes, passando a ± 84 mm.

4. Conclusões

Diversos estudos avaliaram o produto 3B42 derivado do satélite TRMM, apontando para subestimativas em períodos de maiores chuvas e superestimativas em períodos de pouca chuva. Este mesmo padrão foi observado para as versões 6 e 7 do produto TRMM 3B43, avaliado no presente estudo.

Não foi encontrado nenhum padrão espacial distinto em áreas que o produto apresentou maiores diferenças em relação aos dados de estações meteorológicas de campo. No entanto, possivelmente em áreas com uma maior sazonalidade, como no cerrado, os dados do satélite se aproximam mais aos dados de campo.

Próximos passos visam a realização de uma análise completa, incluindo dados de estações meteorológicas localizadas nos demais biomas brasileiros, que possuem padrões de chuvas distintos aos aqui avaliados.

Agradecimentos

A primeira autora agradece ao projeto AMAZONICA, financiado pelo *Natural Environment Research Council*–NERC-Reino Unido (NERC/grant: NE/F005806/1). <http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/amazonica/>

Referências

- Anderson, L. O.; Malhi, Y.; Aragão, L. E. O. C.; Ladle, R.; Arai, E.; Barbier, N.; Phillips, O. Remote sensing detection of droughts in Amazonian forest canopies. **New Phytologist**, 187: 733–750, 2010. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03355.x
- Aragão, L. E. O. C.; Malhi, Y.; Roman-Cuesta, R. M.; Saatchi, S.; Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, 34, L07701, 2007. doi:10.1029/2006GL028946.
- Aragão, L.E.; Malhi, Y.; Barbier, N.; Lima, A.; Shimabukuro, Y.; Anderson, L.; Saatchi, S. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transaction of the Royal Society London Biological Sciences**, 363(1498), 1779-1785, 2008.
- Barboza, C. H. A previsão do tempo no Império. **Nossa História**, ano 3, n. 27, pp. 74-79, 2006.
- Bradley, A.V.; Gerard, F.F.; Huntingford, C.; Barbier, N.; Weedon, G.P.; Anderson, L.O.; Zelazowski, P.; Anderson, L.O.; Aragão, L.E.O.C.; Arai, E. Relationships between phenology, radiation and precipitation in the Amazon region. **Global Change Biology**, 17(6), 2245-2260, 2011.
- Clarke, R. T.; Buarque, D. C.; de Paiva, R. C. D.; Collischonn, W. Issues of spatial correlation arising from the use of TRMM rainfall estimates in the Brazilian Amazon. **Water Resources Research**, 47, W05539, 2011.
- Collischonn, B.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. **Journal of Hydrology**, 360, 207–216, 2008.
- de 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**, 111, D16113, 2006.
- 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**, 8 (5), 1284–1295, 1995.
- Huffman, G.; Adler, R.; Bolvin, D.; Gu, G.; Nelkin, E.; Bowman, K.; Hong, Y.; Stocker, E.; Wolff, D. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, 8 (1), 38–55, 2007.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados de estações meteorológicas convencionais, e automáticas, disponível on-line em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 12 nov. 2012.
- Lewis, S. L.; Brando, P. M.; Phillips, O. L.; van der Heijden, G. M. F.; Nepstad, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, 331 (6017), 5544, 2011.
- Malhado, A.C.M.; Whittaker, R.J.; Malhi, Y.; Ladle, R.J.; Butt, N.; Aragão, L.E.O.C.; Anderson, L.O.; TerSteege, H.; Quesada, C.A.; Phillips, O.L. Spatial distribution and functional significance of leaf lamina shape in Amazonian forest trees. **Biogeosciences**, 6(8), 1577-1590, 2009.
- Malhado, A.C.M.; Malhi, Y.; Whittaker, R.J.; Ladle, R.J.; Butt, N.; Aragão, L.E.O.C.; Anderson, L.O.; TerSteege, H.; Phillips, O.L.; Quesada, C.A. Spatial trends in leaf size of Amazonian rainforest trees. **Biogeosciences**, 6(8); 1563-1576, 2009.
- Malhado A.C.M.; Whittaker R.J.; Malhi Y.; Ladle R.J.; Aragão L.E.O.C.; TerSteege H.; Phillips O.; Baker T.R.; Arroyo L.; Almeida S. Are compound leaves an adaptation to seasonal drought or to rapid growth? Evidence from the Amazon rain forest. **Global Ecology and Biogeography**, 19(6), 852-862, 2010.
- Malhado, A.C.M.; Ladle, R.J.; Fabré, N.N.; Malhi, Y.; Whittaker, R.J.; Ladle, R.J.; Aragão, L.E.; terSteege, H.; Phillips, O.; Laurance, W.F. Drip-tips are Associated with Intensity of Precipitation in the Amazon Rain Forest. **Biotropica**, 44 (6): 728–737, 2012.
- Malhi, Y.; Aragão, L.E.; Galbraith, D.; Huntingford, C.; Fisher, R.; Zelazowski, P.; Sitch, S.; McSweeney, C.; Meir, P. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA (PNAS)**, 106(49), 20610-20615, 2009.
- Negri, A. J.; Adler R.F.; Xu L.; Surratt J. The Impact of Amazonian Deforestation on Dry Season Rainfall. **Journal of Climate**, 17, 1306–1319, 2004.
- Oliveira, M.J.; Baptista, G.M.M.; Machado, W.P. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar. Disponível on-line; www.eventweb.com.br/. Acesso em: 12 de nov. de 2012.
- Phillips, O.L.; Aragão, L.E.; Lewis, S.L.; Fisher, J.B.; Lloyd, J.; López-González, G.; Malhi, Y.; Monteagudo, A.; Peacock, J.; Quesada, C.A. et al. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, 323(5919), 1344-1347, 2009.
- Saatchi, S.; Buermann, W.; terSteege, H.; Mori, S.; Smith, T. B. Modeling distribution of Amazonian tree species and diversity using remote sensing measurements. **Remote Sensing of Environment**, 112 (5)2000-2017, 2008.
- Xu, L.; Samanta A.; Costa, M. H.; Ganguly, S.; Nemani, R. R.; Myneni, R. B. Widespread decline in greenness of Amazonian vegetation due to the 2010 drought. **Geophysical Research Letters**, 38, L07402, 2011. doi:10.1029/2011GL046824.

Zhong, L.; Ostrenga, D.; Teng, W. L.; Trivedi, B.; Kempler, S. Newly Released TRMM Version 7 Products, Other Precipitation Datasets and Data Services at NASA GES DISC. Report number GSFC.CPR.5969.2012, ID: 20120008258, NASA - Goddard Space Flight Center, Janeiro de 2012.