

COMPARISON OF MERGE RAINFALL AND WATER LEVEL VARIATIONS BY ENVISAT DATA IN THE RIO NEGRO BASIN

Guilherme Cordeiro Figliuolo¹
Leonardo Alves Vergasta¹
Robson Azevedo de Oliveira¹
Phillipe Arantes Pereira²
Joecila Santos da Silva³
Francis Wagner da Silva Correia⁴
Stéphanne Calmant⁵
Frédérique Seyler⁶

¹Universidade do Estado do Amazonas – UEA;
Bacharelado em Meteorologia; Escola Superior de Tecnologia – EST;
Av. Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus-AM, Brasil;
email: guilhermecordeiro_f@hotmail.com; vergastinha@hotmail.com; robsonaz@ig.com.br

²Universidade Federal do Amazonas - UFAM;
Bacharelado em Engenharia da Computação; Faculdade de Tecnologia - FT;
Avenida Gen. Rodrigo Otavio, 3000, Coroado I, 69077-000 Manaus - AM , Brasil;
email: apphillipe@gmail.com

³Universidade do Estado do Amazonas – UEA;
Centro de Estudos Superiores do Trópico Úmido – CESTU;
Av. Djalma Batista 3578, Flores, 69050-010, Manaus-AM, Brasil;
e-mail: jsdsilva@uea.edu.br

⁴Universidade do Estado do Amazonas – UEA;
Curso de Graduação em Meteorologia– EST;
Av. Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus-AM, Brasil;
email: francis.wagner70@gmail.com

⁵Institut de Recherche pour le Développement – IRD;
UMR 5566 LEGOS CNES/CNRS/IRD/UT3;
14 av. Edouard Belin, 31400, Toulouse, France;
e-mail: stephane.calmant@ird.fr

⁶Institut de Recherche pour le Développement – IRD;
UMR ESPACE-DEV;
500 rue Jean François Breton, 34093, Montpellier Cedex 5, France;
e-mail: frederique.seyler@ird.fr

Abstract. This research shows a comparison between the data of water level of the mission ENVISAT and the MERGE rainfall data for period from 2002 to 2010 along the Rio Negro. MERGE rainfall data is a new technique to combine TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) satellite precipitation estimates with surface observations (Surface Synoptic Observations-SYNOP data) over the South American continent (Vila et al., 2009). The combination of data estimated by the precipitation and of TRMM surface are interpolated to a regular grid interpolation method using as the objective analysis of Barnes (Barnes, 1973). Satellite radar altimetry has been applied on Amazon Basin for the last 10 years and has presented good results, proving to be an excellent alternative to supplement or even replace in situ data, as the data is obtained remotely and the selection

made manually using the software VALS, to generate the time series, which were compared with the MERGE rainfall data. The chosen points were the 39 virtual stations made on the Rio Negro and the validation showed rms of 40 cm. The result show a delay in the variation between the maximum and the minimum of rainfall and water level, it is observed that this delay is lower in the further upstream stations and the delay increases as the stations approach the downstream.

Palavras-chave: remote sensing, radar altimetry, hydrometeorology, sensoriamento remoto, altimetria espacial, hidrometeorologia.

1. Introdução

A bacia Amazônica é caracterizada por possuir uma imensa superfície inundada (37% da América do Sul), mais, sobretudo pelo nivelamento da planície aluvial, que apresenta uma baixíssima declividade 1 a 6 cm/km (Meade *et al.*, 1991). Os rios da região Amazônica apresentam leitos de largura extensa, tendo numerosos braços de escoamento da água. Os eixos fluviais da bacia Amazônica são verdadeiras vias de comunicação humanas e corredores de grande importância socioeconômica para a bacia, onde parte de suas atividades encontra-se, com frequência, exposta às enchentes causadas pelo constante avanço e recuo das águas na região (Neves *et al.*, 2005). Durante as cheias, as águas da superfície dos grandes rios entram nos lagos podendo permanecer vários meses, alterando o valor do pico da cheia, que progride lentamente e grandes superfícies são temporariamente inundadas. Em período de vazante, as águas estocadas são liberadas, aumentando o valor da estiagem. Esses grandes lagos agem como reservatórios naturais afetando o ciclo hidrológico do curso principal do rio Amazonas e dos seus principais afluentes e conseqüentemente o ciclo hidrológico global. A prioridade, em termos de conhecimento dos rios amazônicos, reside na caracterização de seus escoamentos hidráulicos (ou hidrodinâmicos), *i. e.*, a forma como o excedente de água se propaga dos rios para as áreas adjacentes.

Porém toda tentativa de realizar estudos nessa região esbarra na carência de dados, uma vez que uma vez que um sistema de monitoramento, que seja perene, homogêneo e que produza dados rapidamente acessíveis necessita de coletas de várias informações, entre elas dados pluviométricos, medidas de vazão, observações dos níveis de água dos lagos e rios e de medidas de vazões, cujo custo de instalação é altíssimo (Alsdorf, 2001). Neste contexto o sensoriamento remoto apresenta-se como uma ferramenta de grande importância para regiões extensas com variações sazonais complexas e difícil acesso como a região Amazônica.

O presente estudo fará uma análise entre os dados de chuva e nível de água no rio Negro, observando-se quais as influências que a chuva exerce sobre o nível de água. Para a análise sazonal utilizou-se cotagramas elaborados com os dados altimétricos e as climatologias dos dados de precipitação resultantes do produto MERGE para os anos de 2002 to 2010.

2. Área de Estudo

A bacia do rio Negro possui cerca de 700 000 km², o que corresponde a aproximadamente de 10% da bacia Amazônica. A vazão média anual é 29 x 10³ m³/ e precipitação varia de 3500 mm/ano perto de sua nascente a 2137 mm/ano na sua foz (Villar *et al.*, 2009). O rio Negro nasce na Colômbia com o nome de rio Chamusiqueni, em seguida recebe a denominação de rio Guainia, para finalmente receber o nome de rio Negro, após receber as águas do canal Casiquiare. Segue a direção geral sudeste até chegar ao rio Solimões onde formam o rio Amazonas.

Neste estudo foram escolhidos dois pontos distintos da bacia do rio Negro, um em São Felipe (Latitude: 0,375; Longitude: -67,31), a uma distância de 1060,11 km da foz do rio

Negro (Figura 1) e o outro em Manaus (Latitude: -3,065; Longitude: -60,271), a apenas 35 km da foz (Figura 2).

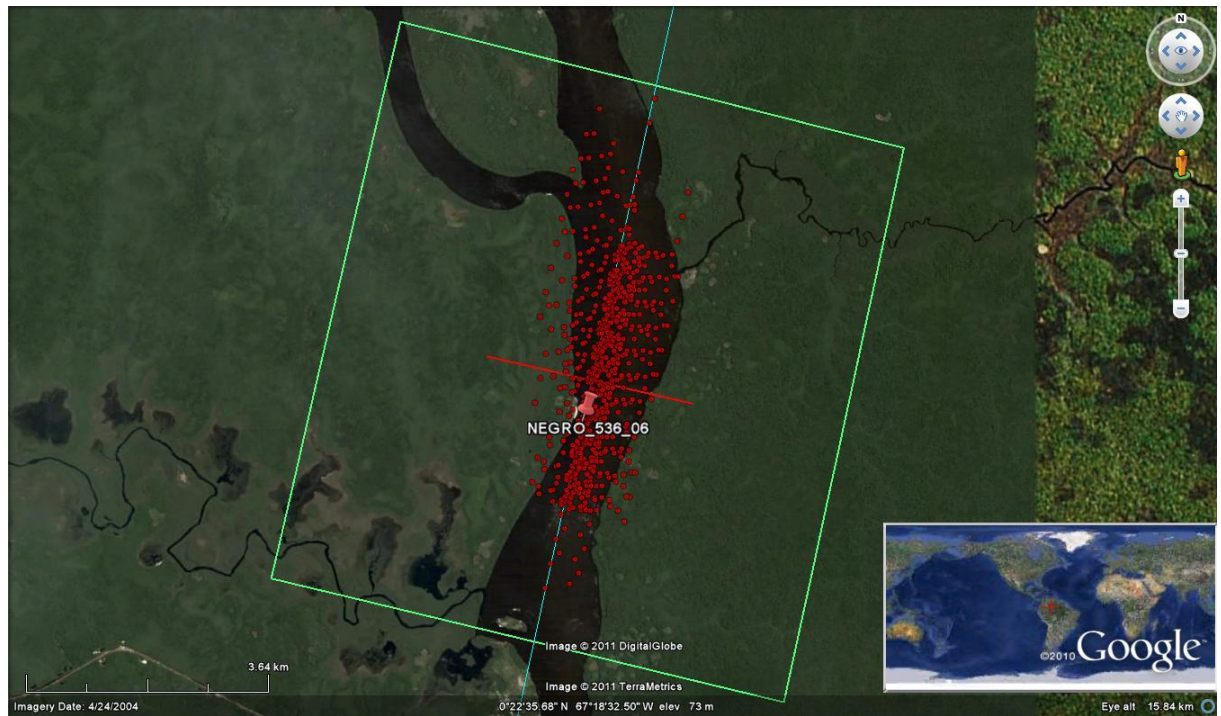


Figura 1. Estação de São Felipe do rio Negro.

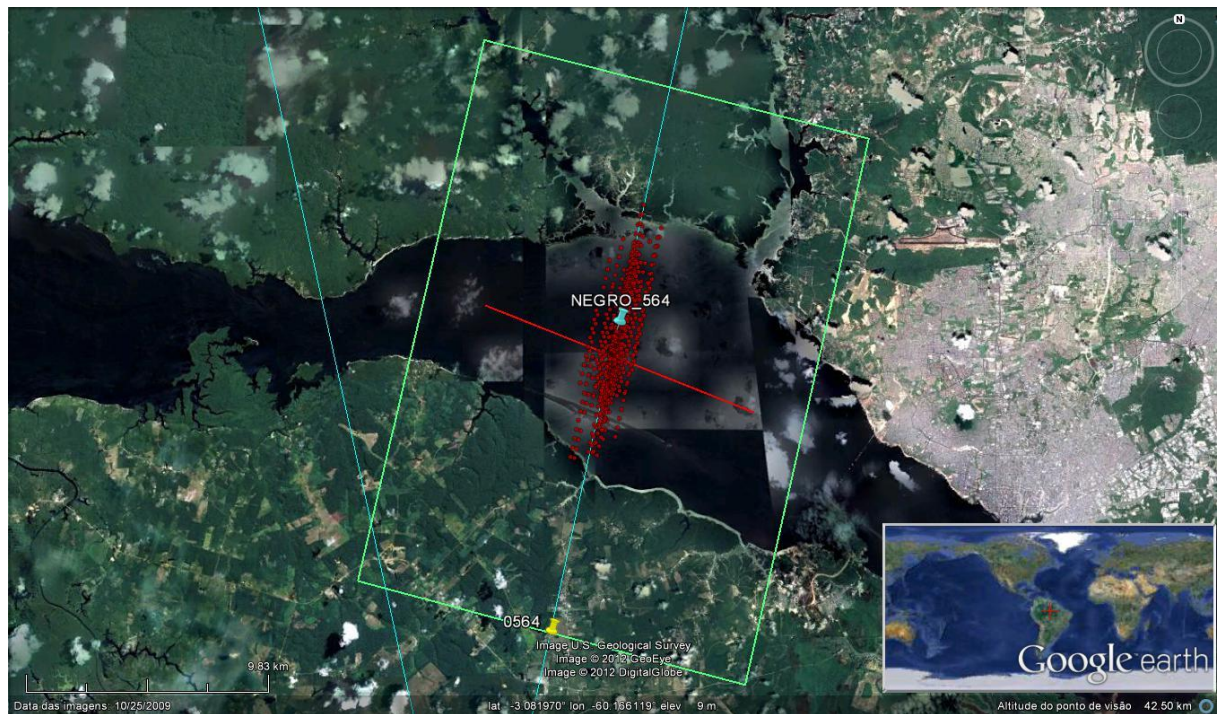


Figura 2. Estação de Manaus, próximo à foz do rio Negro.

3. Materiais e Métodos

3.1 Dados do satélite ENVISAT

Em março de 2002, a ESA lançou o satélite ENVISAT, que foi o maior satélite construído para observação da Terra. O ENVISAT estava posicionado na mesma órbita do satélite ERS-2, seus dados foram utilizados para estudo científico da Terra, análise ambiental e alterações climáticas. Os dois grandes objetivos da missão ENVISAT foram: coletar séries temporais do meio ambiente em escala global para observar suas tendências, melhorando o monitoramento e controle dos recursos naturais e contribuir para uma melhor compreensão dos fenômenos que ocorrem na parte sólida da Terra (Gardini et al., 1995). Esse satélite pesava mais de 8 toneladas e foi constituído por 10 aparelhos que permitem uma análise rigorosa da atmosfera, continentes, oceanos e gelo do planeta (Wehr e Attema, 2001), são eles: *Advanced Synthetic Aperture Radar* (ASAR), *Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars* (GOMOS), *Medium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS), *Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding* (MIPAS), *Radar Altimeter 2* (RA-2), *Micro Wave Radiometer* (MWR), 2 sistemas de posicionamento precisos DORIS e *Laser RetroReflector* (LRR) (Silva, 2010)

Para assegurar um tempo de vida adicional o satélite de ENVISAT moveu-se para uma órbita a uma altitude média de 782 km em 22 de outubro de 2010. A resolução temporal passou de 35 dias para 30 dias. Em abril de 2012 encerrou suas atividades.

Os registros de dados geofísicos (*Geophysical Data Records – GDRs*), processados e disponibilizados pelo *Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère – CTOH do Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales – LEGOS*, para uso no presente estudo proveniente da missão ENVISAT, utilizando-se o algoritmo *standard* de tratamento de FO *Ice-1*, foram obtidos entre as coordenadas geográficas 90°W a 40°W e 13°N a 21°S. Extraíram-se do CTOH 90 traços, totalizando 93 ciclos de 10/2002 a 10/2010.

3.2 Dados do MERGE

Para a obtenção dos dados de precipitação foi utilizado o produto MERGE, processado e disponibilizado pelo CPTEC/INPE, acumulado em 24 horas em grade regularmente espaçada que combina os dados do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) com os dados de observação de superfície (*Surface Synoptic Observations-SYNOP*) sobre o continente da América do Sul (Vila et al., 2009).

3.3 Elaboração das estações virtuais

Uma estação virtual pode ser feita em cada interseção de um traço de satélite altimétrico com uma lâmina de água, onde se pode obter uma série temporal da altura do plano de água (Silva, 2010). Foi desenvolvida e testada uma metodologia manual para criação das estações virtuais pela seleção dos dados correspondentes ao cruzamento do plano de água, adaptadas as variações no tempo e no espaço, permitindo uma seleção tridimensional dos dados em um espaço superfície profundidade através do programa VALS (*Virtual ALtimetry Station*) (VALS, 2011), descrito em Silva et al (2010), partindo-se de um polígono definido no software *Google Earth 6.0.3* (Google Earth, 2011), para que se obtenha uma seleção prévia dos dados. Em seguida o arquivo é lido pelo software VALS para uma seleção refinada dos dados permitindo se extrair apenas os pontos correspondentes à superfície lâminas de água do corpo hídrico, excluindo as medidas que são indesejáveis, tais como contaminação do sinal pela presença de bancos de areia, margens e vegetação. Concluindo-se com a extração das

séries temporais de altura altimétrica do nível da água, calculadas para a média e a mediana dos dados selecionados para cada ciclo. Adicionalmente, as alturas que antes eram elipsoidais foram convertidas em altitudes, utilizando-se o modelo de ondulação geoidal EGM2008 desenvolvido por Pavlis *et al.* (2008).

3. Resultados e discussão

Para analisar os resultados foram gerados dois gráficos comparando a média de precipitação com a média da cota altimétrica, para os anos de 2002 a 2010, nas estações de São Felipe e Manaus. Os gráficos são apresentados nas Figuras 3 e 4, constituem a composição de cotagramas com pluviogramas. Ressalta-se que esta análise representa um comportamento médio do regime hidrológico da bacia do rio Negro, devido aos grandes espaços que intercalam as estações e as variações na largura do rio e da planície de inundação em diversos pontos.

Na Figura 3 incluem-se os dados da estação de São Felipe. Observa-se que os valores de cota (curva) e chuva (barras) apresentam valores máximos de 69 m, no mês de junho e 324 mm, no mês de maio, sendo que os valores mínimos de 19 cm e 174 mm ocorrem no mês de fevereiro e setembro, respectivamente. Nota-se um mês de defasagem em relação ao máximo de chuvas e o máximo da cota, com 4 meses de defasagem para o período de estiagem.

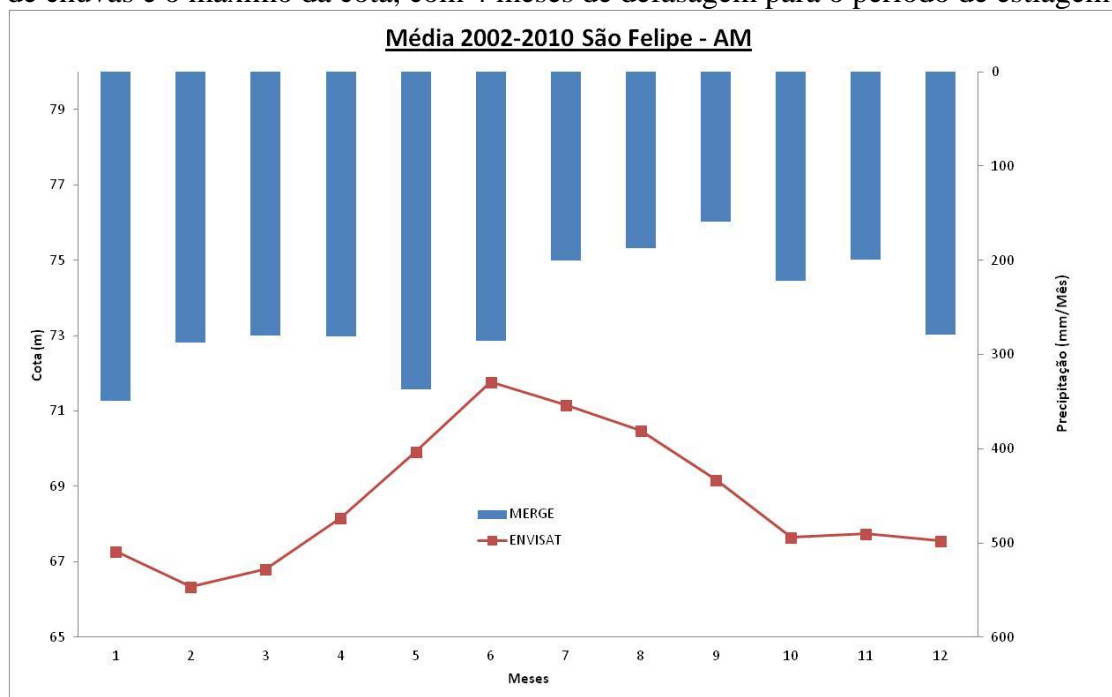


Figura 3. Gráfico de cota (linhas contínuas) e precipitação (barras) para a estação de São Felipe - AM

As medidas das estações de Manaus são mostradas no gráfico da Figura 4 onde se observa uma significativa defasagem de 3 meses entre o máximo de cotas e de chuvas, com valores de 21 m, no mês de julho e 262 mm, no mês de abril; assim como, entre os valores mínimos, que correspondem a 12 m, no mês de outubro e 67 mm, no mês de julho. Adicionalmente, ressalta-se que corresponde à estação mais a jusante do rio Negro com registros equivalentes de chuvas e cotas para o período de 2002 a 2010.

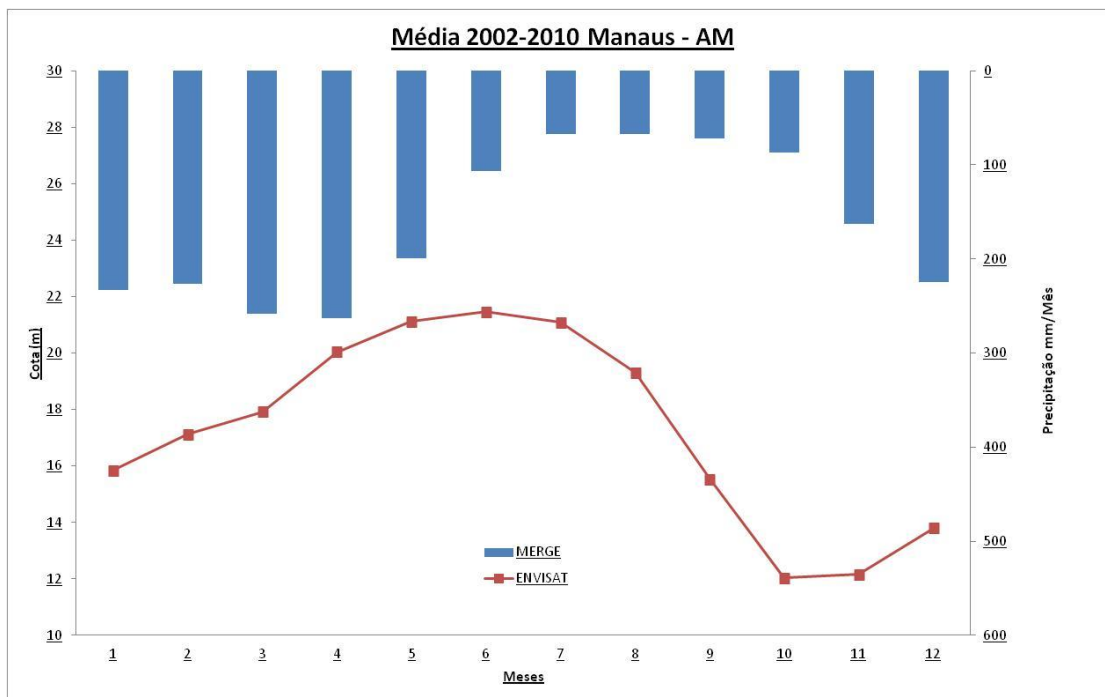


Figura 4. Gráfico de cota (linhas contínuas) e precipitação (barras) para a estação de Manaus – AM

4. Conclusões

Os resultados obtidos permitiram conhecer melhor a relação entre a precipitação e a cota do rio Negro, assim como regiões de maior precipitação e menor precipitação.

A precipitação ao longo do rio determinou que a estação seca ocorre entre os meses de junho a novembro e a chuvosa iniciando-se em dezembro estendendo-se durante até o mês de maio. A resposta hidrológica do rio em relação às precipitações, na foz, demonstrou-se lenta com defasagem de três meses, dessa forma, o regime hidrológico do rio se apresentou multimodal com dois períodos hidrológicos definidos ao longo do ano com o nível de água alcançando os valores mínimos, preferencialmente, entre os meses de novembro a fevereiro e o valores máximos em junho e julho.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pelos projetos de pesquisa CASAM (CNPq), Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas (CPRM), FOAM (CNES/TOSCA). Os autores agradem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas - FAPEAM, pela bolsa de Iniciação Científica cedida ao primeiro autor. Ao *Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère* - CTOH do *Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales* - LEGOS, pelos *Geophysical Data Records* - GDRs e as correções troposféricas correspondentes e à *European Space Agency* - ESA pela garantia do uso dos dados da missão ENVISAT disponibilizados para o estudo.

Referencias Bibliográficas

GARDINI, B. *et al.* (1995). The instruments on ENVISAT. *Acta Astronautica*, v.37, p. 301-311.

GOOGLE EARTH (2011), *Google Earth*, versão 6.0.3.2197. Google Inc.

IBAMA. Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2007). *Região hidrográfica amazônica*. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/pndpa/index.php?id_menu=71 Acesso em: 05/jun/2007.

MEADE, R. H., RAYOL, J. M., DA CONCEIÇÃO, S. C., NATIVIDADE, J. R. G. (1991). Backwater effects in the Amazon river basin of Brazil, *Environmental Geology and Water Sciences*, v. 18,n. 2, pp. 105-114. doi: 10.1007/BF01704664.

NEVES, B.L., SILVA, J. S. e Rotunno Filho, O. C. (2005). Proposta para avaliação espacial entre doenças hídricas e inundação por meio de imagens de radar JERS-1. Estudo de caso: rio Madeira. In: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 2527–25341, Goiânia, Brasil, 16-25 abril 2005. 10.1109/IGARSS.1995.524084

PAVLIS, N. K. *et al.* (2008). Factor J.K. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008”, in: *Proceedings of the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union*. Vienna, Austria, 13-18/04/2008. Disponível em: http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html

SILVA, J. S. (2010). *Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica - Aplicações Hidrológicas*. Saarbrücken (GE), Édition Universitaires Européennes. 360p.

SILVA, J. S. *et al.* (2010). Water levels in the Amazon Basin derived from the ERS 2- ENVISAT radar altimetry missions. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 2160-2181, doi: 10.1016/j.rse.2010.04.020

VALS, 2011, *Virtual ALtimetry Station*, Versão 1.0.3, 05/2011, COCHONNEAU, G. CALMANT, S. Disponível em: http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels_test.php

VILA, D. A.; GONCALVES, L. G. G.; TOLL, D. L.; ROZANTE, J. R. (2009). Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite estimates over continental South America. *J. Hydrometeor.*, 10, 533–543.