

Nivelamento de estações linimétricas do rio Madeira com dados altimétricos.

Mylena Vieira Silva¹
Cláudio Augusto de Paula Lima¹
Grisel Oliveira Arenillas¹
Rafael Gomes Barbosa¹
Joecila Santos da Silva²
Stéphanne Calmant³
Frédérique Seyler⁴

¹ Universidade do Estado do Amazonas - UEA/EST
Manaus - 69065 -020- AM, Brasil
mylenavieirasilva@gmail.com
cadpl.eng@gmail.com
grisel.arenillas@gmail.com
rgb.barbosa@gmail.com

² Universidade do Estado do Amazonas – UEA/EST
Centro de Estudos do Trópico Úmido – CESTU
Manaus -69050-010 -AM, Brasil
jsdsilva@uea.edu.br

³ Institut de Recherche pour le Développement – IRD
14 Av. Edouard Belin, 31400, Toulouse - France
stephane.calmant@ird.fr

⁴ Institut de Recherche pour le Développement – IRD
0,275 km Route de Montabo, BP 165 97323, Cayenne- Guyane
frederique.seyler@ird.fr

Abstract. Radar altimetry is a technique used to the monitoring of water level in major river basins, such as the Amazon basin. Because of difficult access in many remote regions of the Amazon basin and the high cost for installation of a vast operating network of hydrological stations, this study aims determining the gauge zero along the station of the Madeira River, through the method of null-slope. We checked if a gauge series could be level-adjusted between two altimetry series without violating the rule that states that no point of the gauge series is lower than a point of the downstream altimetry series and no point is higher than the altimetry series upstream. Eight cases are presented. The series used in this part of the study are the ENVISAT Ice-1.

Palavras-chave: Radar altimetry, gauge zero, Amazon basin, null-slope.

1. Introdução

Mundialmente conhecida por sua diversidade de recursos naturais, a Amazônia apresenta a maior rede hidrográfica do planeta, cuja bacia ocupa uma área de aproximadamente 6.112.000 km², estendendo-se ao longo de uma faixa tropical, desde os Andes peruanos até o oceano Atlântico. Sua área em território brasileiro corresponde a 45,8% da área de drenagem do Brasil e seu deflúvio médio é da ordem de 238.000 m³ s⁻¹ (Ronchail *et al.*, 2006). Os restantes 37% de área da bacia estão distribuídos entre os territórios do Peru (16%), Bolívia (12%), Colômbia (5,7%), Equador (2,4%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%) (Masson, 2005). A variação da diversidade Amazônica depende principalmente de sua bacia. O balanço hídrico na região Amazônica é difícil de ser calculado, devido a falta de continuidade espacial

e temporal das medidas. O sistema de informações hidrológicas HidroWeb, mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA), contém dados de diferentes estações hidrológicas para a bacia Amazônica, em território brasileiro, contabilizando 435 estações fluviométricas, ANA (2011). Os dados linimétricos coletados são de grande importância para estudos relacionados às áreas de hidrologia e hidrodinâmica, sendo obtidos por réguas linimétricas ou por estações automáticas linimétricas que possuem softwares exclusivos, muito bem desenvolvidos.

A utilização de dados de satélite de observação da Terra, principalmente a altimetria espacial, permite uma visualização da superfície em escala continental, sobretudo nas regiões de difícil acesso como as zonas úmidas da bacia Amazônica, de forma homogênea, contínua e frequente, com detalhamento espacial e temporal que as redes tradicionais de observação não permitem (Calmant, 2006 e Seyler *et al.*, 2008).

Desta forma, o presente artigo tem por objetivo apresentar o uso da altimetria, em espacial o método de nivelamento de estações linimétricas do rio Madeira com dados altimétricos. Busca-se identificar, quantificar e melhorar os dados fluviométricos, de forma objetiva para uma melhor utilização dos recursos hídricos continentais brasileiros.

1.1 Altimetria Espacial

A altimetria espacial é um método utilizado para ampliar a rede de monitoramento em áreas remotas. Segundo Silva (2010), inicialmente as aplicações da técnica de altimetria espacial foram desenvolvidas para o monitoramento dos oceanos, para estudos relacionados mudanças climáticas, geodésia e geofísica. Nos últimos anos começaram a surgir as primeiras aplicações que visam suprir a falta de informação hidrológica e o decréscimo de estações de monitoramento em águas continentais, mais especificamente sobre os rios.

Nivelamento é a operação que determina as diferenças de nível ou distâncias verticais entre pontos do terreno (Moreira, 2010). Dessa forma o nivelamento de estações fluviométricas pode ser executado de duas maneiras: direto utilizando medidas provenientes de GPS e nivelamento indireto utilizando medidas altimétricas (Silva *et al.*, 2010). Neste trabalho foi utilizado o método de nivelamento de declividade nula, determinando o nível do zero da régua linimétrica empregando-se dados do satélite altimétrico ENVISAT.

2. Área de Estudo

A área de estudo abrange a região da bacia amazônica, correspondente ao Rio Madeira, maior tributário da margem direita do Rio Amazonas percorrendo os estados de Rondônia e do Amazonas. Possui 1.459 km de extensão, a partir da confluência dos seus rios formadores Mamoré e Beni, até a sua foz no Rio Amazonas (SEDAM, 2002). A largura do rio Madeira varia de 440 a 9900 m. A bacia hidrográfica brasileira do rio Madeira possui 692.192 km² de superfície (ANA, 2003). É a maior das 19 sub-bacias brasileiras que constituem a região hidrográfica do Amazonas.

3. Metodologia de Trabalho

3.2 Dados

3.2.1 Dados *in situ*

Para este estudo, as séries temporais de nível de água das nove estações linimétricas foram obtidas da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível no site Hidroweb.

3.2.2 Dados Altimétricos

Foram utilizados os registros de dados geofísicos (*Geophysical Data Records – GDRs*) da missão altimétrica ENVISAT provenientes do algoritmo *standart* de tratamento de forma de onda (FO) *Ice-1*. O satélite ENVISAT (*ENVironmental SATellite*) está posicionado em uma órbita elíptica héliossíncrona com uma inclinação de 98,5°, a uma altitude média de 785 km e uma distância inter-traço ao Equador de aproximadamente 80 km, sendo constituído por 10 instrumentos (entre eles radares, espectrômetros, radiômetro e sistemas de posicionamento precisos) que permitem uma análise rigorosa da atmosfera, continentes, oceanos e gelo do planeta (Wehr *et al.*, 2001), incluindo um altímetro de radar RA-2 ou *Advanced Radar Altimeter*. Atualmente possui resolução temporal de 30 dias e altitude média de 782 km. 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 e encerrou definitivamente suas atividades em abril de 2012.

Os GDRs são tratados e disponibilizados pelo CTOH (*Centre de Topographie des Océans et de l'Hydrosphère*) do LEGOS (*Laboratoire d'Études en Géophysique et Océanographie Spatiales*) sendo extraídos entre as coordenadas 90°W a 40°W e 13°N a 21°S, onde obteve-se 90 traços, totalizando 93 ciclos entre o período de 10/2002 a 10/2010.

3.3 Elaboração das estações virtuais

As estações virtuais foram criadas a partir de medições do satélite ENVISAT, possuem o objetivo de produzir dados de variação dos níveis de água em um determinado local.

Com o objetivo de aprimorar o processo de escolha dos dados que foram analisados, foi utilizada a metodologia descrita em Silva *et al.* (2010) empregando o *software* VALS (2012) (*Virtual Altimetry Station*). Segundo Silva *et al.* (2010), esta metodologia possibilita realizar a seleção e a correção individuais dos dados altimétricos originários da passagem dos satélites ou de partes dela. Assim, devem-se seguir alguns passos para o processamento destes dados como: definir uma área de estudo no *Google Earth*; preparar os dados para processamento pelo VALS, no qual há a seleção de dados e; obter a série temporal de cotas proveniente das observações altimétricas (Sousa *et al.*, 2011).

3.4 Nivelamento de estações fluviométricas através do método de declividade nula

Os conceitos básicos da hidrodinâmica estabelecem que a altura da superfície da água a montante do rio seja sempre mais elevada do que a jusante do rio. Para o nivelamento por declividade nula a série temporal da estação *in situ* deve ser intercalar da melhor forma entre as séries temporais altimétricas, a montante e jusante, onde suas alturas foram convertidas em altitude. Desta forma, no nivelamento da estação *in situ*, nenhum ponto da série temporal altimétrica a montante deverá ser inferior aos pontos da série temporal *in situ*, bem como nenhum ponto da série temporal altimétrica a jusante deverá ser superior aos pontos da série temporal *in situ*. Denominou-se esse método de nivelamento de declividade nula (*null-slope*), pois, na realidade, testou-se que no mínimo, a declividade entre uma série altimétrica e a série *in situ* nivelada deve ser nula e nunca se inverter.

4. Resultados e discussão

Oito estudos foram feitos aplicando o método de nivelamento de declividade nula, utilizando-se 16 estações virtuais provenientes dos algoritmos *Ice-1*, para o satélite ENVISAT. Os resultados estão descritos na tabela 1.

Tabela 1. Nivelamento das estações *in situ* com declividade nula entre os traços do satélite.

Estação <i>in situ</i>	Estação virtual Montante Jusante (lon. e lat)	Distância (km)	Nível zero da régua (m)	Declividade (cm/km)
Abunã	-65,31 e -10,0 -65,30 e -9,51	44,0 32,0	74,954 ±0,033	6,8
Borba	-59,27 e -4,34 -59,33 e -4,05	15,0 53,0	2,467±0,054	2,0
Fazenda Vista Alegre	-60,51 e -5,21 -59,92 e -4,64	97,0 34,0	4,339±0,029	2,1
Humaitá	-63,41 e -8,34 -62,93 e -7,27	139,0 34,0	25,587±0,044	4,2
Manicoré	-61,49 e -5,85 -61,14 e -5,61	27,0 33,0	8.236±0.042	4,1
Nova Olinda do Norte	-59,33 e -4,05 -58,81 e -3,45	32,0 66,0	1,788±0,049	1,6
Porto Velho	-64,02 e -8,84 -63,54 e -8,60	58,0 53,0	43,460±0,037	4,8
Prosperidade	-63,51 e -8,46 -63,41 e -8,34	2,0 17,0	38,287±0,037	3,2

O primeiro nivelamento corresponde a estação de Abunã (figura 1). A estação *in situ* é enquadrada pelos traços 278 e 035 que cruzam o rio 44 km à montante e 32 km à jusante, respectivamente. Observa-se que a declividade média entre as séries altimétricas nesse trecho do rio Madeira é de 6,8 cm/km, resultando em um nível interpolado para o zero da régua de Abunã de 74,954 m.

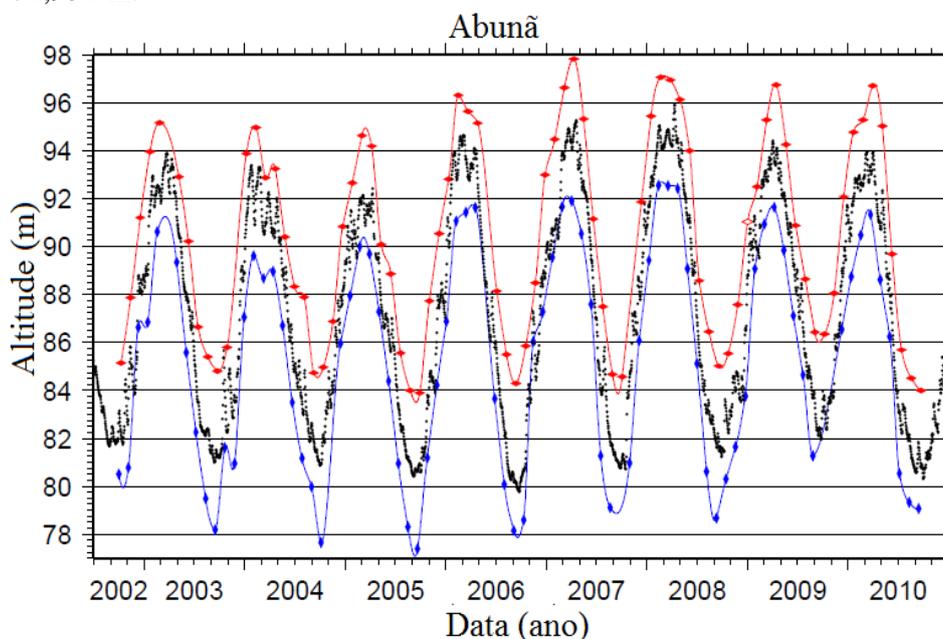


Figura 1. Nivelamento das estações de Abunã com declividade nula. As linha azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*.

O segundo estudo corresponde à estação de Borba (figura 2), formada pelos traços 020 e 607, formando um ponto de cruzamento sobre o rio 15 km a montante da estação *in situ* e o traço 607 que cruza o rio madeira a 53 km a jusante. O nível do zero da régua é 2,467 m,

enquanto a declividade média entre as duas séries altimétricas é de 2,0 cm/km. O terceiro exemplo situa-se na Fazenda Vista Alegre. A estação *in situ* é enquadrada pelos traços 693 e 149 que cruzam o rio, 97 km a montante e 34 km a jusante da estação. A declividade média entre as duas séries altimétricas é 2,1 cm/km. O nível zero da régua é 4,339 m.

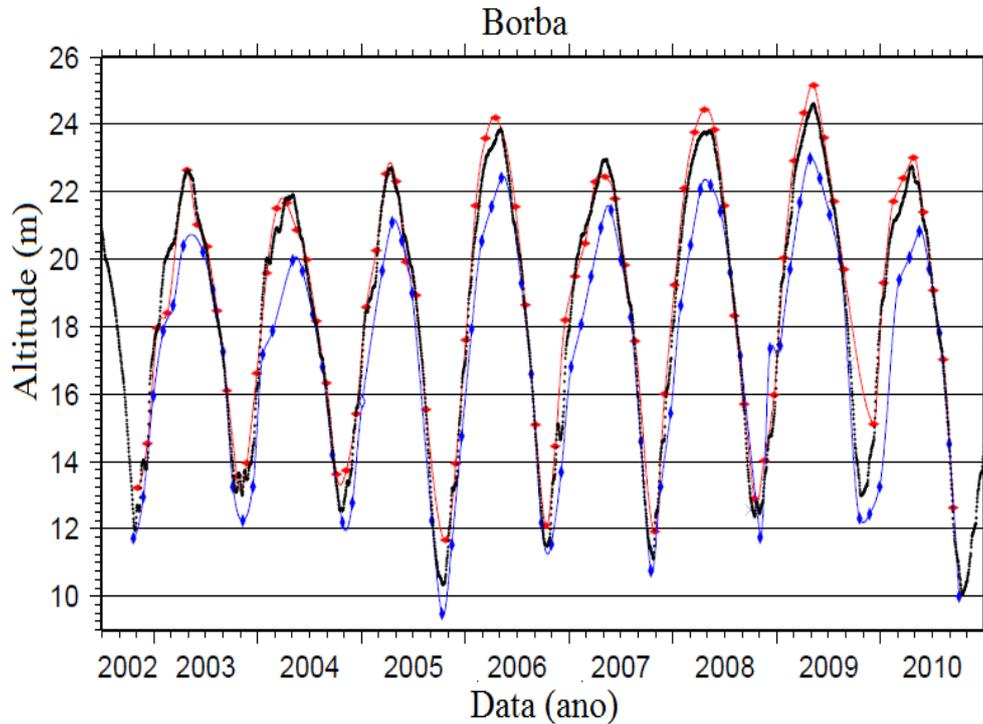


Figura 2. Nivelamento das estações de Borba com declividade nula. As linha azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*.

Na estação de Humaitá (figura 3), os traços 407 e 865 cruzam o rio 139 km a montante e 34 km a jusante. A declividade média é 4,2 cm/km e o nivelamento zero da régua é 25,587m. O quinto estudo encontra-se na estação Manicoré . O nivelamento zero da régua resultou em 8,236 m e a declividade média em 4,1 cm/km. Na estação Nova Olinda do Norte, onde os traços 607 e 478 formam um ponto de cruzamento sobre o rio 32 km a montante e 66 km a jusante. O resultado da declividade média foi de 1,6 cm/km e o nivelamento da régua de 1,788 m.

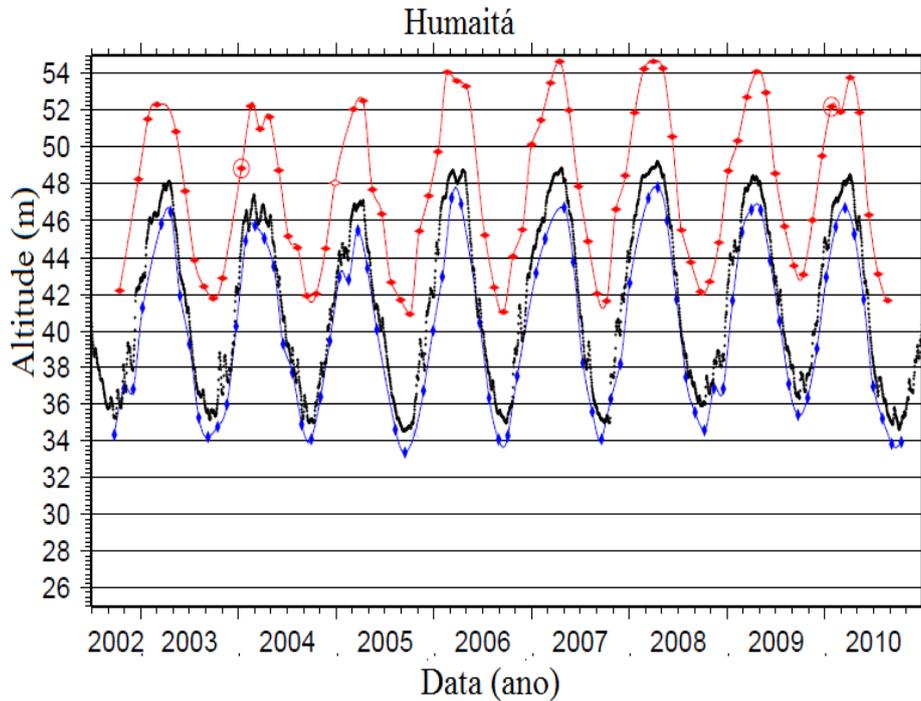


Figura 3. Nivelamento das estações de Humaitá com declividade nula. As linha azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*.

Na estação de Porto velho (figura 4), os traços do satélite são bastante próximos da estação *in situ*, as distâncias correspondem a 58 e 53 km, a montante e a jusante respectivamente. Os resultados obtidos para nivelamento e declividade foram 43,46 m e 4,8 cm/km, respectivamente .

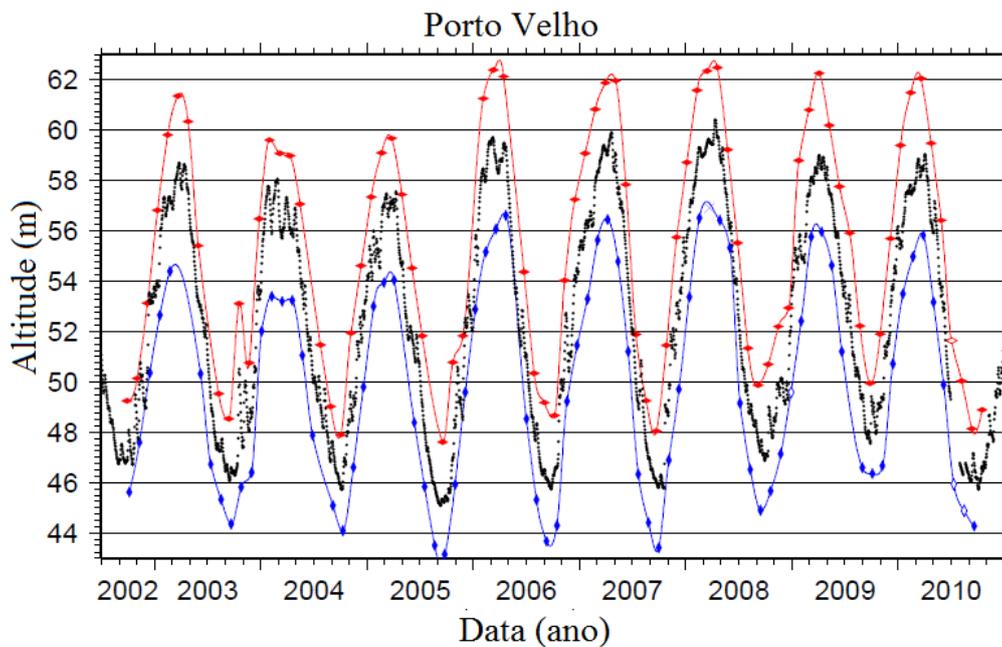


Figura 4. Nivelamento das estações de Porto Velho com declividade nula. As linha azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*.

Na estação Prosperidade (figura 5) o nivelamento zero da régua resultou em 38,287 m e a declividade média em 3,2 cm/km.

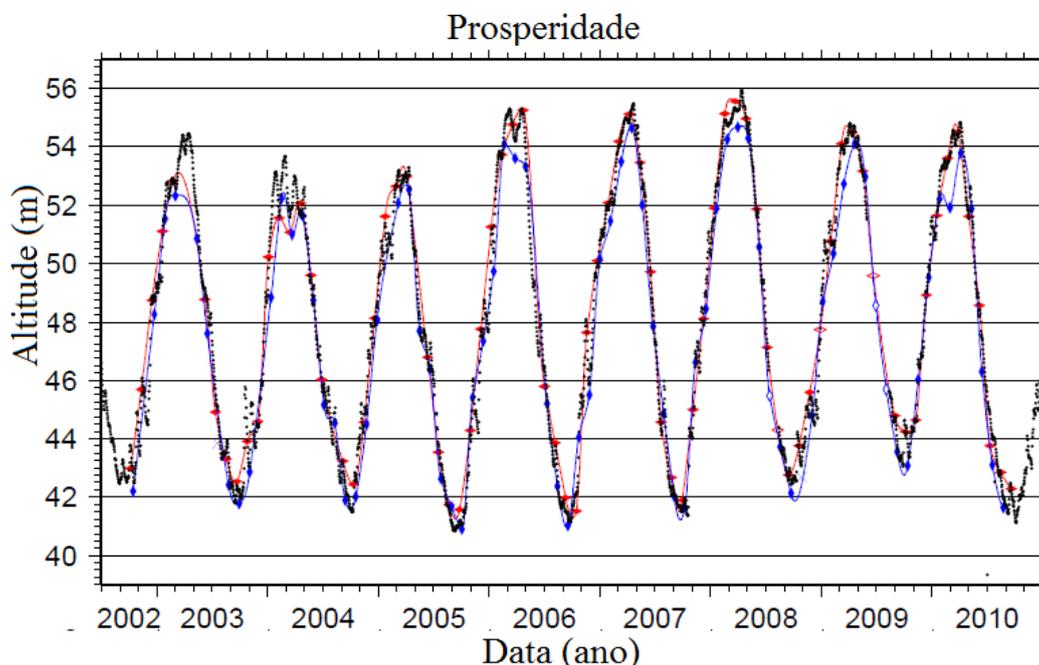


Figura 5. Nivelamento das estações de Prosperidade com declividade nula. As linha azul, vermelha e preta correspondem respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*.

5. Conclusões

A aplicação da técnica de altimetria espacial com dados provenientes do satélite altimétrico ENVISAT possibilitou a realização de nivelamentos de régua linimétricas. Esse nivelamento permite a determinação da declividade constante ao longo do segmento entre os dois traços do satélite. Desta forma este procedimento pode ser empregado em agências da água para obtenção do nível do zero de régua linimétricas auxiliando desta forma a gestão e planejamento racional dos recursos hídricos, bem como para o desenvolvimento de projetos em vários segmentos da economia como: agricultura, transporte, energia e meio ambiente..

Agradecimentos

Este estudo se insere nos projetos de pesquisa CASAM (CNPq), DS BIODIVA e CLIVAR (FAPEAM), Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas (CPRM) e FOAM (CNES/TOSCA). Os autores agradecem a Fundação de amparo à pesquisa no Amazona (FAPEAM) pela bolsa de Iniciação Científica cedida aos primeiro e terceiro autores. 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.

Referências

- Agência Nacional de Águas. Rede Hidrometeorológica da Amazônia –ANA . Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/RHAmazonica.pdf>. > Acesso em : 03 de novembro 2012.
- Boletim Climatológico de Rondônia. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), Porto Velho, 22 p. 2002.
- Calmant, S.; Seyler, F. Continental surface water from satellite altimetry. **Comptes Rendus Geosciences**. v.338, n.14-15, p.1113-1122, 2006.
- Masson, Christine G. M. J. **Subsídios para uma Gestão dos Recursos Hídricos na Amazônia: Estudo de Caso da Bacia do Rio Madeira**. 2005. 258p. Tese (Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2005.
- Moreira, D. M. **Rede de referência altimétrica para avaliação da altimetria por satélites e estudos hidrológicos na região amazônica**, 2010. 157 p. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2010.
- Ronchail, J., Guyot, J. L., Villar, J. C. E., Frazy, P., Cochonneau, G., Oliveira, E., Filizola, N., Ordenez, J. J., 2006, Impact of the Amazon tributaries on major floods at Óbidos, Em: *Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Climate Variability and Change—Hydrological Impacts*, pp. 1-6. Cuba, November 2006. IAHS Publ. 308
- Seyler, F.; Calmant, S.; Santos Da Silva, J.; Filizola, N.; Roux, E.; Cochonneau, G.; Vauchel, P.; Bonnet, M-P. Monitoring water level in large trans-boundary ungauged basin with altimetry: the exemple of ENVISAT over Amazon Basin. **Journal of Applied Remote Sensing – SPIE**, 2008.
- Silva, J.S. **Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica – Aplicações Hidrológicas**. Saarbrücken (GE): Édition Universitaires Européennes, 2010. 350 p.
- 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*, 114(10):2160-2181, doi: 10.1016/j.rse.2010.04.020
- Sousa, A.; Oliveira, R.A; Silva, J.S.; Calman, S; Seyler, F. aplicações da altimetria espacial para monitoramento hidrológico da bacia do rio javari 2011. XIX simpósio brasileiro de recursos hídricos. 2011, Maceió. <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/9b1ca09d9a8d710aa356007fad21abc5_f411e44c26f1fc17c8d557643a534309.pdf> Acesso em : 16 nov. 2012.
- Wehr, T.; Attema, E. Geophysical validation of ENVISAT data products. *Adv. Space Res.*, v. 28 (1), p. 8391, 2001.