

NIVELAMENTO DE ESTAÇÕES LINIMÉTRICAS DO RIO SOLIMÕES COM DADOS ALTIMÉTRICOS

Leonardo Alves Vergasta¹; Joecila Santos da Silva^{2}; Stéphane Calmant³; Frédérique Seyler⁴; Cláudio Augusto de Paula Lima⁵*

Resumo: A altimetria espacial é uma técnica utilizada para o monitoramento do nível de água em bacias hidrográficas importantes, como a bacia amazônica. Por causa da dificuldade de acesso em muitas regiões remotas da bacia amazônica e do alto custo para a instalação de uma rede operacional vasta de estações hidrológicas, este estudo tem como objetivo determinar o calibre zero ao longo da estação do rio Solimões, através do método de declividade nula. Verificamos que uma série temporal de uma régua poderia ter seu nível ajustado entre duas séries altimétricas sem violar a regra que afirma que nenhum ponto da série ajustada seja inferior a um ponto da série a jusante e nenhum ponto é maior do que a série altimetria à montante. São apresentados sete casos. A série usada nesta parte do estudo é a ENVISAT Ice-1.

Palavras-chave: Altimetria Espacial, Hidrologia, Bacia Amazônica

FLATNESS OF LINIMETRIC STATIONS FROM RIVER SOLIMOES WITH ALTIMETRIC DATA

Abstract: The radar altimetry is a technique used to monitor the water level in major river basins such as the Amazon basin. Because of the difficulty of access in many remote regions of the Amazon basin and the high cost for installation of a wide operational network of hydrological stations, this study aims to determine the caliber zero along the Solimões river station, through the method of zero slope. We find that a time series of a ruler could have their level adjusted between two series altimetric without violating the rule that states that no point of the adjusted series is less than a point downstream of the series and no point is greater than the amount set altimetry. Seven cases are presented. The series used in this study is part of the ENVISAT Ice-1.

Keywords: Radar altimetry, Amazon basin, Amazon basin

¹ Universidade do Estado do Amazonas – UEA ; Bacharelado em Meteorologia; Escola Superior de Tecnologia – EST; Av.Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus - AM, Brasil e-mail: leovergasta@hotmail.com; vergastinha@gmail.com

² Universidade do Estado do Amazonas – UEA; Centro de Estudos Superiores do Trópico Úmido – CESTU; Avenida Djalma Batista 3578, Flores, 69050-010, Manaus-AM, Brasil; e-mail: joecila.silva@ird.fr

³ Institut 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

⁴ Institut de Recherche pour le Développement – IRD; UMR 228 ESPACE-DEV (IRD,UM2,UR,UAG) Centre IRD de Guyane, 0,275 km Route de Montabo, BP 165 97323, Cayenne, cedex Guyane Française; e-mail: frederique.seyler@ird.fr

⁵ Universidade do Estado do Amazonas – UEA ; Bacharelado em Engenharia Civil; Escola Superior de Tecnologia – EST; Av.Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus - AM, Brasil e-mail: cadpl.eng@gmail.com

1. Introdução

A vazão média anual na foz do rio Amazonas é de $238.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Ronchail *et al.*, 2006) que representa 20% da vazão de água doce afluente ao Oceano Atlântico (Tucci, 2006), caracterizando assim a bacia Amazônica como a maior bacia hidrográfica do mundo que abrange uma área de drenagem de aproximadamente $6.869.000 \text{ km}^2$ (Silva, 2010). Está posicionada entre os paralelos de 5° de latitude Norte e 20° de latitude Sul, e entre os meridianos de 48° e 79° de longitude Oeste. Por tratar-se de uma bacia transfronteiriça também está presente em território de outros países da América do Sul, ou seja, além do Brasil, ocupa a Bolívia, Peru, Equador, Venezuela, Colômbia e Guiana.

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 freqüente, com detalhamento espacial e temporal que as redes tradicionais de observação não permitem (Calmant, 2006 e Seyler *et al.*, 2008).

O presente artigo tem por objetivo apresentar o uso da altimetria, em espacial o método de nivelamento de estações linimétricas do rio Solimões 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 consiste na calha principal do rio Solimões, da bacia Amazônica com cerca de $6.112.000 \text{ km}^2$ (SILVA, 2010), estendendo-se da latitude de 5°N até 20°S , drenando área de 8 países da América do Sul, com vazão média estimada em $209 \text{ mil m}^3 \text{ s}^{-1}$, no qual representa 20% da vazão de

água doce afluente ao Oceano Atlântico (TUCCI, 2006). A bacia possui uma baixa declividade, em torno de 1cmkm⁻¹ (SILVA *et al.*, 2009).

O rio Amazonas nasce no Nevado de Mismi, Cordilheira oriental dos Andes peruanos, entre as cidades de Cuzco e Arequipa, a uma altitude de aproximadamente 5.300 m, à montante do rio Apurimac, que formará o rio Ucayali. Após a confluência com o rio Marañon, passa a se chamar Amazonas, mudando para Solimões quando entra no Brasil. Chegando próximo da cidade de Manaus, encontra-se com o rio Negro, voltando a chamar-se Amazonas. Quanto à extensão do rio existem controvérsias, mas é estimado em aproximadamente 6.992,15km (SILVA, 2010). Apresenta afluentes nos dois hemisférios e, dentre os principais, da margem esquerda encontram-se o Japurá, o Negro e o Trombetas; na margem direita, o Juruá, o Purus, o Madeira, o Xingu e o Tapajós.

3. Metodologia de Trabalho

3.1 Dados

3.1.1 Dados *in situ*

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

3.1.2 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 héliosíncrona 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.

3.2 Elaboraões 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).

3.3 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

Sete estudos foram feitos aplicando o método de nivelamento de declividade nula, utilizando-se 14 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)
Tabatinga	-70,11 e -4,05	28,53	57,274 ± 0,019	4,4
	-69,79 e -4,38	25,55		
São Paulo de Olivença	-69,40 e -3,98	106,36	46,639 ± 0,080	3,4
	-68,86 e -3,44	4,59		
Santo Antônio do Içá	-68,11 e -3,34	45,31	43,483 ± 4,407	1,5
	-67,52 e -2,75	62,72		
Laranjal	-65,15 e -2,91	59,14	24,170 ± 0,147	2,4
	-64,53 e -3,33	27,77		
Codajás	-62,27 e -3,75	25,44	12,128 ± 0,022	1,4
	-61,79 e -3,97	33,67		
Anamã	-61,56 e -3,73	26,09	9,921 ± 0,026	2,0
	-60,99 e -3,59	42,63		
Tefé	-60,88 e -3,56	41,89	23,722 ± 0,161	2,3
	-60,22 e -3,33	43,74		

O primeiro nivelamento corresponde a estação de Tabatinga (figura 1). A estação *in situ* é enquadrada pelos traços 751 e 622 que cruzam o rio 28,53 km à montante e 25,55 km à jusante, respectivamente. Observa-se que a declividade média entre as séries altimétricas nesse trecho do rio Solimões é de 4,4 cm/km, resultando em um nível interpolado para o zero da régua de Tabatinga de 57,274 m.

TABATINGA

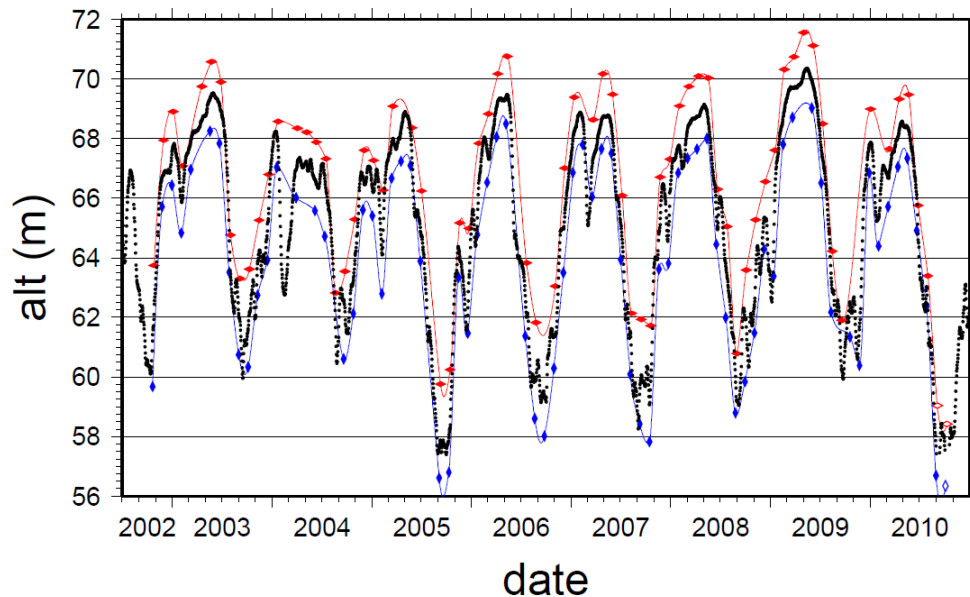


Figura 1. Nivelamento das estações de Tabatinga com declividade nula. A linha azul, vermelha e preta corresponde respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*.

O segundo estudo corresponde à estação de São Paulo de Olivença (figura 2), formada pelos traços 207 e 078, formando um ponto de cruzamento sobre o rio 106,36 km a montante da estação *in situ* e o traço 078 que cruza o rio Solimões a 4,59 km a jusante. O nível do zero da régua é 46,639 m, enquanto a declividade média entre as duas séries altimétricas é de 3,4 cm/km.

SAO_PAULO

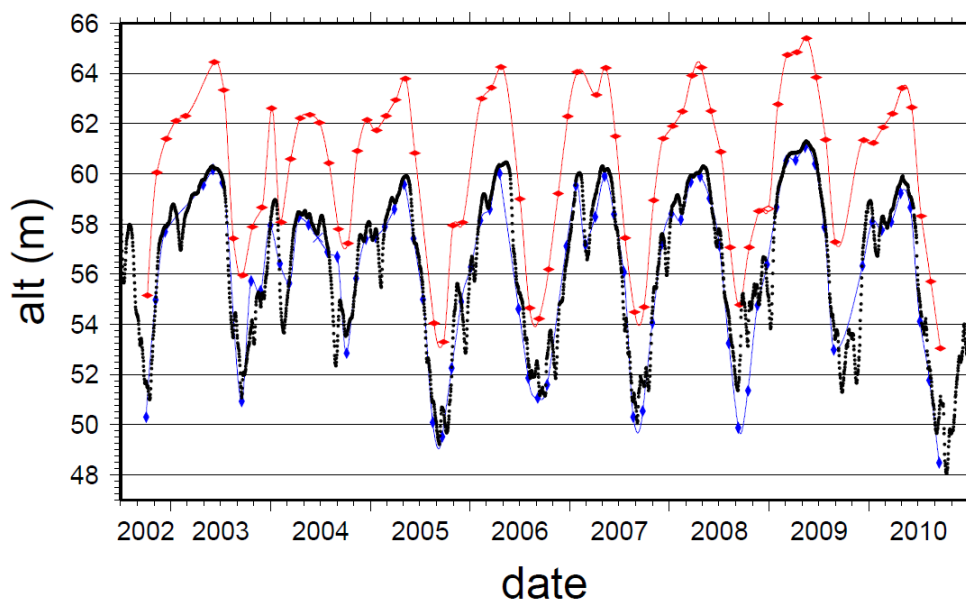


Figura 2. Nivelamento das estações de São Paulo de Olivença com declividade nula. A linha azul, vermelha e preta corresponde respectivamente, a estação montante, a estação jusante e a estação *in situ*

5. Conclusões

A aplicação da técnica de altimetria espacial com dados provenientes do satélite altimétrico ENVISAT possibilitou a realização de nivelamentos de réguas 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 réguas 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 ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 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

Agência Nacional de Águas. Rede Hidrometeorológica da Amazônia –ANA . Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrológicas/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 ungrauged bassin with altimetry: the exemple of ENVISAT overAmazon Basin. **Journal of Aplplied 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.