

NIVELAMENTO DE ESTAÇÕES LINIMÉTRICAS DO RIO TAPAJÓS COM DADOS ALTIMÉTRICOS

Cláudio Augusto de Paula Lima^{1}; Mylena Vieira Silva¹; Grisel Oliveira Arenillas¹; Guilherme Cordeiro Figliuolo¹; Débora de Souza Gusmão¹; Frank Menezes de Freitas¹; Leonardo Alves Vergasta¹; Joecila Santos da Silva²; Stéphanne Calmant³ & Frédérique Seyler⁴*

Resumo: As leis do escoamento implicam em primeira ordem que a altura da superfície da água à montante seja sempre maior do que a da superfície da água à jusante. Na prática, é quase impossível usar esta regra simples para verificar a consistência hidro-dinâmica de derivados de pares de séries altimétricas, uma vez que não é muito provável que diferentes faixas atravessem o rio nas mesmas datas. Por isso, este teste foi realizado com pares de séries altimétricas e linimétricas para que seja verificado se uma série linimétrica poderia ser nivelada entre duas séries altimétricas sem violar a regra, que afirma, que nenhum ponto da série seja inferior a um ponto da série altimétrica à jusante e nenhum ponto seja maior do que a série altimétrica à montante. São apresentados seis nivelamentos no rio Tapajós. As séries que são usadas nesta parte do estudo são do satélite ENVISAT utilizando o algoritmo Ice-1.

Palavras-chave: Altimetria espacial, bacia Amazônica, declividade nula

LEVELLING THE GAUGES STATIONS IN THE TAPAJÓS RIVER BY RADAR ALTIMETRY DATA

Abstract: Flow laws imply at first order that the altitude of the water surface upstream be always higher than that of the water surface downstream. Practically, it is almost impossible to use this simple rule to verify the hydro-dynamical consistency of altimetry-derived series pairs, since different tracks are not very likely to cross the river at the same dates. Therefore, this test was performed with pairs of altimetry series when the tracks fall on either side of a gauge. 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. Six cases are presented. The time series used are the ENVISAT satellite altimetry data.

Keywords: Radar altimetry, Amazon basin, null-slope

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o estudo e conhecimento do espaço hídrico têm levado as sociedades do mundo a refletirem sobre os diversos aspectos de suas vidas, assim como a sua relação com o meio natural e a relação dos homens entre si através dos tempos, quer seja por suas próprias experiências, quer por um acervo científico.

¹ Universidade do Estado do Amazonas (Escola Superior de Tecnologia)- UEA (EST), Av.Darcy Vargas, 1200, 69065-020, Manaus - AM, Brasil . E-mail: cadpl.eng@gmail.com; mylenavieirasilva@gmail.com; grisel.arenillas@gmail.com; guilhermecordeiro_f@hotmail.com; debora.gusmao13@gmail.com; frank.meteoro@yahoo.com.br; leovergasta@hotmail.com

² Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Centro de Estudos Superiores do Trópico Úmido – CESTU, Avenida Djalmá 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 ESPACE-DEV, 500 rue Jean François Breton, 34093, Montpellier Cedex 5, France. E-mail: frederique.seyler@ird.fr

A Amazônia apresenta a maior rede hidrográfica do planeta. Sua bacia possui 20% da água doce da Terra, em uma área de cerca de 6,9 milhões de km² na América do Sul, correspondendo a 5% das terras emersas. É a maior bacia fluvial do mundo (Molinier et al., 1995). Essa grande bacia, estende-se ao longo de uma faixa tropical, desde os Andes peruanos até o oceano Atlântico. Sua área em território brasileiro que corresponde a 45,8% da área de drenagem do Brasil, apresenta como limite ao Norte o relevo do planalto das Guianas, à Oeste a cadeia Andina, à Sul o planalto brasileiro e à Leste a costa do Atlântico.

Devido à falta de continuidade espacial e temporal das medidas, o balanço hídrico na região Amazônica é difícil de ser calculado. 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 muito importantes para estudos relacionados às áreas de hidrologia e hidrodinâmica, sendo obtidos por réguas linimétricas ou por estações automáticas linimétricas.

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 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).

Inicialmente as aplicações da técnica de altimetria espacial foram desenvolvidas para o monitoramento dos oceanos, estudos relacionados a mudanças climáticas, geodésia e geofísica. Graças a sua cobertura espacial densa e homogênea, esta técnica é utilizada para ampliar a rede de monitoramento hidrológico em áreas remotas, construindo longas séries temporais de níveis de água (Silva et al., 2013).

A operação que determina as diferenças de nível ou distâncias verticais entre pontos do terreno é conhecida como nivelamento. O nivelamento de estações linimétricas pode ser executado de duas maneiras: direto utilizando medidas provenientes do Sistema de Posicionamento Global – GPS e nivelamento indireto utilizando medidas altimétricas (Silva, 2010). Neste trabalho foi utilizado o método de nivelamento de declividade nula para o nivelamento das réguas linimétricas do rio Tapajós, determinando o nível do zero das réguas empregando-se dados do satélite altimétrico ENVISAT com o algoritmo Ice-1.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange a bacia amazônica, mais precisamente, o rio Tapajós. O Rio Tapajós é um rio brasileiro que nasce no estado de Mato Grosso. Recebe o nome de Tapajós neste ponto em que se unem os rios Juruena e Teles Píres. Faz divisa entre os estados do Amazonas e Pará, banha parte do estado do Pará e deságua no rio Amazonas na altura da cidade de Santarém.

2.2 Dados

2.2.1 Dados in situ

As séries temporais de nível de água das estações linimétricas foram obtidas no site Hidroweb, da rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA).

2.2.2 Dados Altimétricos

Para a aquisição dos 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) estava posicionado em uma órbita elíptica héliosíncrona com uma inclinação de $98,5^\circ$, a uma altitude média de 785 km e uma distância inter-traço no Equador de aproximadamente 80 km, sendo constituído por 10 instrumentos (entre eles radares, espectrômetros, radiômetro e sistemas de posicionamento precisos) que permitiram 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. Para assegurar um tempo de vida adicional o satélite 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 (Silva, 2010). 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.

2.3 Estação Virtual

Uma estação virtual consiste na interseção do curso do satélite altimétrico com o corpo hídrico, sendo possível, coletar os sucessíveis dados de variação dos níveis de água do local, a cada passo do satélite (Calmant e Seyler, 2006). Usa-se o termo virtual para diferenciá-la da estação convencional limimétrica, que de fato, está materializada no local. Com o objetivo de aprimorar o processo de escolha dos dados altimétricos foi utilizada a metodologia descrita em Silva et al. (2010) empregando o software VALS (2013) (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. 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).

2.4 Software VALS

A ferramenta VALS (Virtual Altimetry Station) consiste em um software que foi desenvolvido para gerar gráficos simultâneos permitindo, assim, uma seleção tri-dimensional dos dados altimétricos em um espaço superfície-profundidade (Silva et al., 2010).

2.5 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando o método de nivelamento com declividade nula, foram realizados seis estudos no rio Tapajós utilizando 12 estações virtuais proveniente do algoritmo Ice-1, para o satélite ENVISAT e seis estações linimétricas, conforme Tabela 1.

Iniciando o estudo com as réguas por ordem alfabética, o primeiro estudo, feito na régua de Acará dos Tapajós. Enquadra-se entre os traços 979 e 435 que cruzam o rio 22 km à montante e 32 km à jusante, respectivamente. Observa-se que a declividade média dada por ambas às séries altimétricas nesse trecho do rio Tapajós é de 0,3 cm/km, resultando em um nível interpolado para o zero da régua de 3,849 m. O gráfico de nivelamento das estações de Acará dos Tapajós é apresentado na Figura 1. Nota-se a ausência de dados da estação in situ a partir do mês XX de 2008.

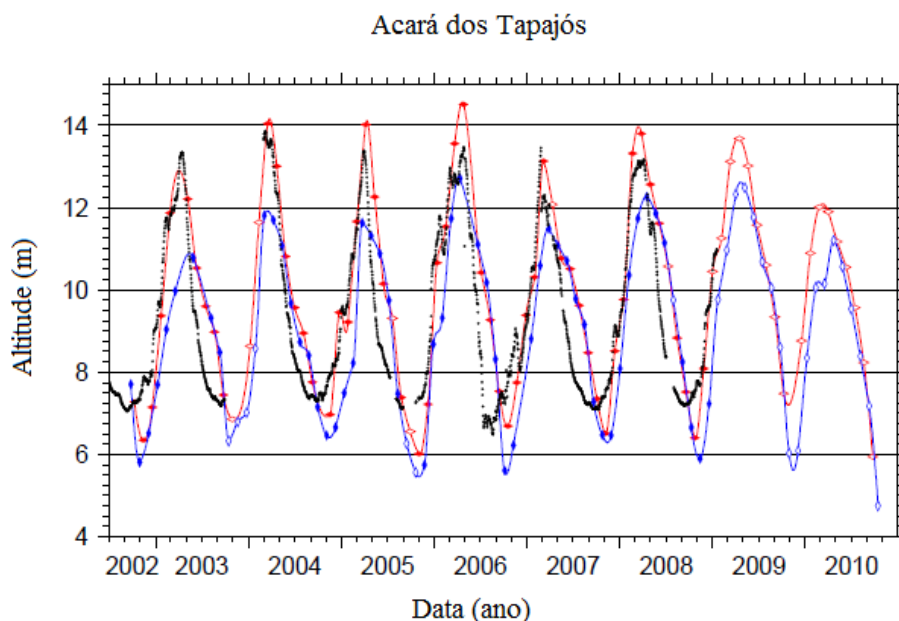


Figura 1 - Nivelamento da estação linimétrica de Acará dos Tapajós com declividade nula. As linhas azul, vermelha e preta correspondem à estação montante, a estação jusante e a estação in situ, respectivamente.

A estação de Bela Vista, encontra-se entre o traço 435 23 km à montante da estação in situ e o traço 306 que cruza o rio Tapajós 24 km à jusante. O nível do zero da régua é 14,5 m, enquanto a declividade média entre as duas séries é de 44,5 cm/km. O gráfico de nivelamento da estação de Bela Vista é apresentado na Figura 2.

Enquadrada pelos mesmos traços que a estação de Bela Vista, 435 e 306, que cruzam o rio 3 km à montante e 41 km à jusante da estação, o terceiro exemplo situa-se na estação linimétrica de Bujuré. A declividade média entre as duas séries altimétricas é 47,9 cm/km. O nível do zero da régua é 24,23 m. O gráfico de nivelamento da estação de Bujuré é apresentado na Figura 3.

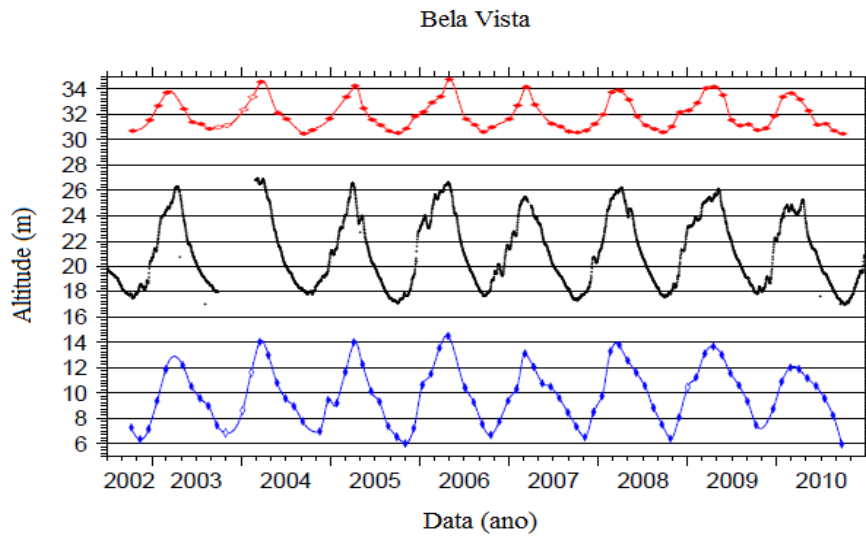


Figura 2 - Nivelamento da estação limimétrica de Bela Vista com declividade nula. As linhas azul, vermelha e preta correspondem à estação montante, a estação jusante e a estação in situ, respectivamente.

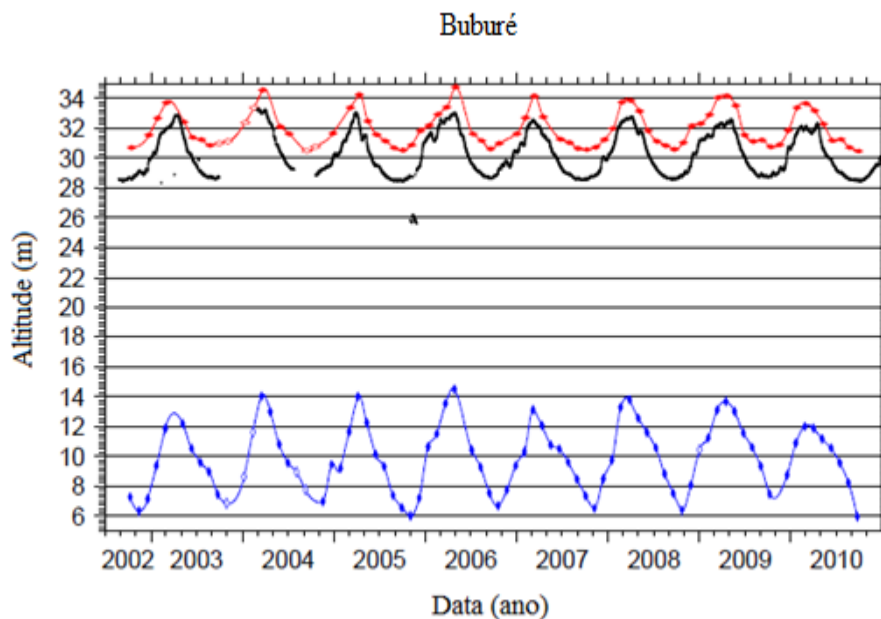


Figura 3 - Nivelamento da estação limimétrica de Buburé com declividade nula. As linhas azul, vermelha e preta correspondem à estação montante, a estação jusante e a estação in situ, respectivamente.

Na estação de Fortaleza, cujo gráfico de nivelamento das estações in situ é apresentado na Figura 4, os traços 063 e 521 cruzam o rio 63 km à montante e 29 km à jusante. A declividade média é 6,9 cm/km e o nivelamento zero da régua é 58,1 m. O gráfico de nivelamento da estação de Fortaleza é apresentado na figura 4.

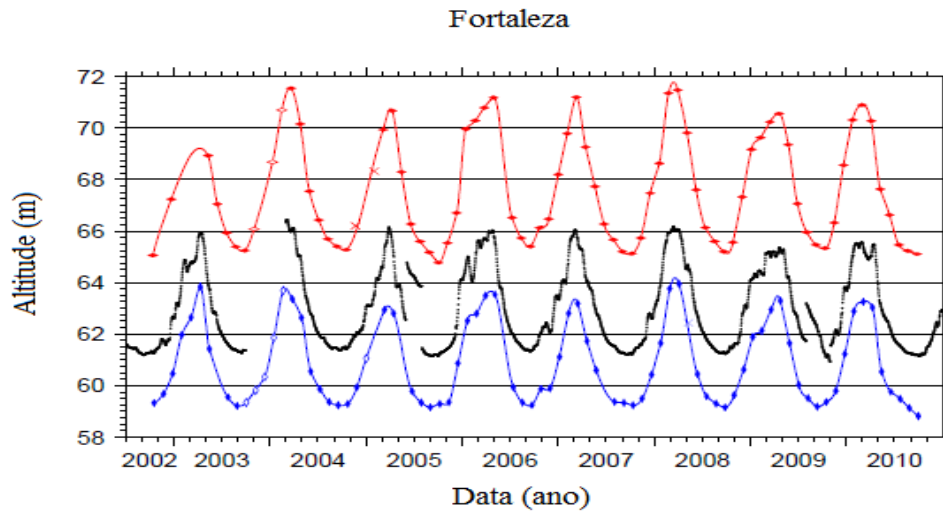


Figura 4 - Nivelamento da estação linimétrica de Fortaleza com declividade nula. As linhas azul, vermelha e preta correspondem à estação montante, a estação jusante e a estação in situ, respectivamente.

O quinto exemplo corresponde à estação de Itaituba, onde os traços 306 e 893 formam pontos de cruzamento sobre o rio 30 km à montante e 20 km à jusante. O resultado da declividade média foi 1,3 cm/km e o nivelamento 4,033 m. O gráfico de nivelamento da estação de Itaituba é apresentado na Figura 5.

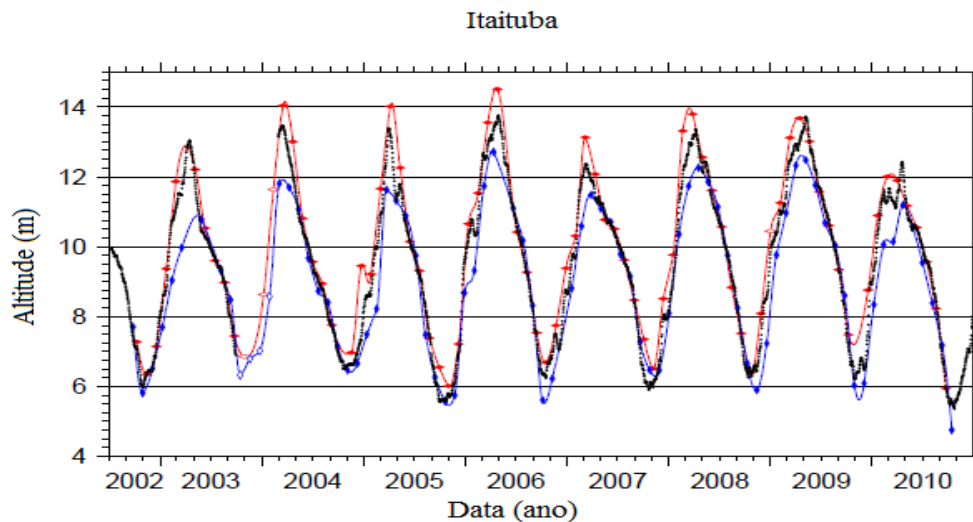


Figura 5 - Nivelamento da estação linimétrica de Itaituba com declividade nula. As linhas azul, vermelha e preta correspondem à estação montante, a estação jusante e a estação in situ, respectivamente.

A Figura 6 apresenta o gráfico de nivelamento das estações in situ para Jatobá. Na estação de Jatobá, os traços do satélite que a enquadram são 979 e 435. As distâncias à montante e à jusante correspondem a 7 km e 95 km, respectivamente. Os resultados obtidos para nivelamento e declividade foram 41,113 m e 15,2 cm/km, respectivamente.

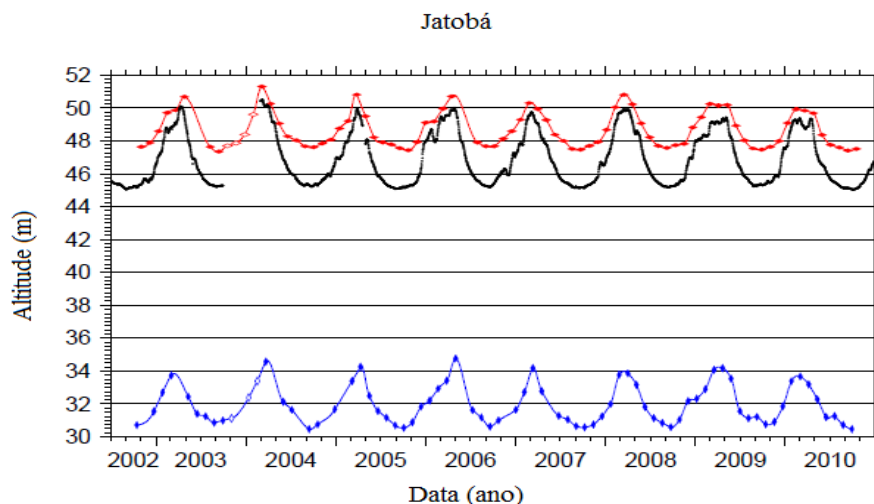


Figura 6 - Nivelamento da estação linimétrica de Jatobá com declividade nula. As linhas azul, vermelha e preta correspondem à estação montante, a estação jusante e a estação in situ, respectivamente.

As declividades correspondentes a cada estação in situ, as localizações das estações virtuais, assim como os resultados obtidos através dos nivelamentos com declividade nula estão descritos na Tabela 1.

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

Estação in situ	Estação virtual Montante Jusante lon. e lat.	Distância (km)	Nível zero da régua (m)	Declividade (cm/km)
Acará dos Tapajós	-56,134 e -4,390 -55,734 e -4,127	22,29 32,11	3,849 +/- 0,104	0,3
Bela Vista	-56,326 e -4,641 -56,154 e -4,385	22,86 24,37	14,577 +/- 0,115	44,5
Bubure	-56,326 e -4,641 -56,154 e -4,385	02,72 41,10	24,236 +/- 0,063	47,9
Fortaleza	-58,006 e -6,407 -57,521 e -5,863	63,02 29,18	58,100 +/- 0,045	6,9
Itaituba	-56,123 e -4,394 -55,752 e -4,141	30,27 20,88	4,033 +/- 0,032	1,3
Jatobá	-56,910 e -5,197 -56,349 e -4,650	7,31 95,20	41,113 +/- 0,051	15,2

4. CONCLUSÃO

Nivelar estações in situ entre duas séries altimétricas é uma aplicação da altimetria espacial que é apresentada neste estudo. Foram seis réguas linimétricas utilizando-se doze estações virtuais provenientes de dados altimétricos da missão ENVISAT. Esse nivelamento também permite a determinação da declividade ao longo do segmento entre os dois traços do satélite. Na região Amazônica, onde os dados in situ apresentam-se escassos, limitados por dificuldades logísticas e alguns com inconsistências nos registros, tais circunspecções constituem um ganho substancial, auxiliando na eficiência dos estudos e projetos na área de recursos hídricos que necessitam da utilização de dados hidrológicos.

5. AGRADECIMENTOS

Este estudo se insere nos projetos de pesquisa CASAM e HIDRAS (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) e a Fundação de Amparo à pesquisa no Amazonas (FAPEAM) pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas ao autor e co-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.

6. REFERÊNCIAS

a) Livro

SILVA, J.S. (2010) Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica – Aplicações Hidrológicas. Saarbrücken (GE): Édition Universitaires Européennes, 350 p. ISBN: 978-613-1-52979-5

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Rede Hidrometeorológica da Amazônia –ANA . Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infoidrologicas/RHAmazonica.pdf>. > Acesso em : 03 de novembro 2012.

RONCHAIL, J., GUYOT, J. L., VILLAR, J. C. E., FRAIZY, 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

b) Artigo em anais de congresso ou simpósio

SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F. (2013) Eventos extremos na bacia Amazônica observados pelo satélite altimétrico ENVISAT. In: BORMA, L.S.; NOBRE, C. A. (Org.). Secas na Amazônia: Causas e Consequências. São Paulo (SP): Oficina de Textos. ISBN: 978-85-7975-078-6

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