

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ESTAÇÕES VIRTUAIS UTILIZANDO O PROGRAMA VALS

Ana Carolina Zoppas Costi Steenhagen¹, Stéphane Calmant², Gérard Cochonneau³ & Achilles Eduardo Guerra de Castro Monteiro¹

Resumo – A partir dos anos setenta, as medidas altimétricas de níveis de água continentais vem representando um importante papel em aplicações como: nivelamento de estações fluviométricas, estimativa de descarga líquida, estimativa de variações espaciais e temporais de armazenamento de água em rios e zonas de inundação, perfis longitudinais de água e implicações geodinâmicas. Nesse contexto, o emprego da altimetria espacial para monitoramento de níveis em águas continentais apresenta a possibilidade de adquirir dados em locais com baixa densidade de estações ou de difícil acesso, como a bacia amazônica, por exemplo. Este artigo apresenta a metodologia utilizada para a transformação dos dados adquiridos por satélite em dados de níveis de água referentes à seção transversal em um rio. A metodologia apresentada utiliza dados do satélite ENVISAT para a determinação de uma estação virtual localizada na Bacia do Rio Madeira, estado do Amazonas. Sempre que satélite passa sobre um plano de água, tem-se uma potencial estação virtual. Neste trabalho, a determinação da estação virtual é realizada por meio da utilização do programa VALS (*Virtual ALtimetry Station*).

Palavras-Chave – Altimetria espacial, hidrologia e bacia Amazônica.

METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF VIRTUAL STATIONS USING THE PROGRAM VALS

Abstract – From the seventies, the altimetric measurements of continental water levels has had an important role in applications such as: leveling of in situ stations, discharge estimation, estimative of spatial and temporal variations of water storage in rivers and floodplains, longitudinal water profiles and geodynamic implications. In this context, the use of space altimetry to monitoring levels in continental waters presents the possibility to acquire data in places with low density of conventional gauging (in situ stations) or difficult access, as in the Amazon basin. This article presents the methodology used for processing the data acquired by satellite and transforming this data in water levels of a river cross section. The methodology presented uses data from the ENVISAT mission for determining a virtual station located on the Madeira River Basin, in the state of Amazonas. Where satellite passes over a body of water, there is a potential virtual station. In this study, the determination of the virtual station is performed by using the program VALS (*Virtual Station ALtimetry*).

Keywords – Space altimetry; hydrology and Amazon basin.

1 - INTRODUÇÃO

O monitoramento quantitativo de algumas fontes de água continentais (variabilidade temporal dos níveis e descargas líquidas dos rios) é realizado por redes hidrometeorológicas. Essas redes são organizadas em bases que podem ser de âmbito nacional ou regional, sendo que a abrangência da rede será definida, principalmente, pelo objetivo do monitoramento.

¹ CPRM, Av. Pasteur, 404, Urca, 22290-240 – Rio de Janeiro. E-mails: ana.steenhagen@cprm.gov.br, achiles.monteiro@cprm.gov.br;

² IRD, 14, Av. Edouard Belin 31400 - Toulouse, - França. E-mail: stephane.calmant@ird.fr;

³ IRD, CP 7091 Lago Sul 71635-971 - Brasília, DF – Brasil. E-mail: gerard.cochonneau@ird.fr.

Atualmente, regiões de importância estratégica pela relevante disponibilidade hídrica como a bacia Amazônica, ainda tem densidade de rede de monitoramento hidrológico inferior ao mínimo necessário para uma caracterização satisfatória da bacia em termos hidrológicos. A densidade na Amazônia é de 20.000 km² por estação fluviométrica, enquanto o mínimo estabelecido pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia), (WMO, 1994) para redes fluviométricas é de 1.875 km² por estação.

A utilização de dados e imagens de satélite de observação da Terra, sobretudo em regiões de difícil acesso como os rios da bacia Amazônica, permite uma visualização da superfície terrestre em escala continental de forma homogênea e contínua, com detalhamento espacial e temporal que as redes superficiais de observação não permitem. Uma vez que os rios, lagos e zonas de inundação constituem a principal fonte de água doce, há a necessidade de contar com um sistema global e permanente de monitoramento. Tal sistema deve disponibilizar, de forma rápida e fácil, os dados de níveis de água continentais e, na medida do possível, os dados de volume de água e descarga dos rios. A Figura 1 apresenta a possibilidade de adensamento do monitoramento na bacia Amazônica considerando como pontos de aquisição de dados todas as interseções entre a drenagem e os traços de satélites sobre a bacia.

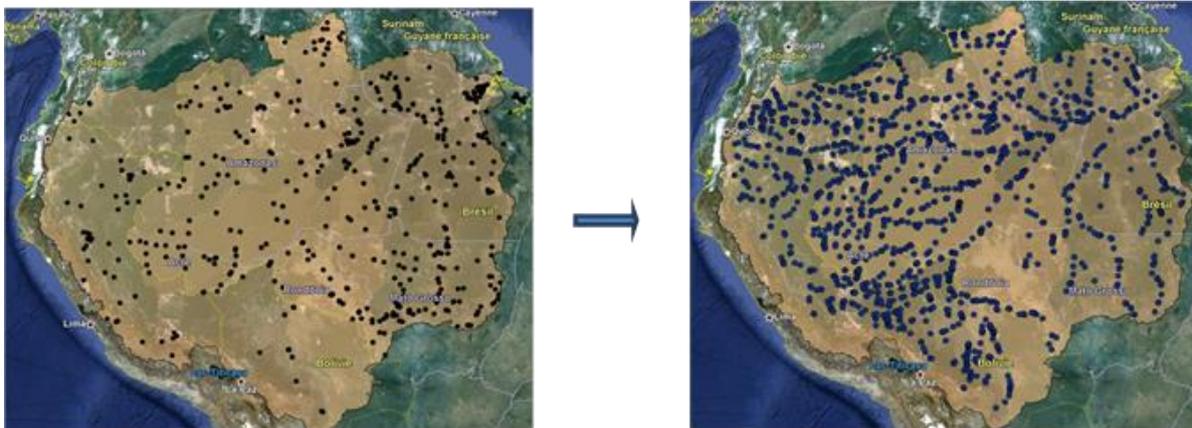


Figura 1 – Rede de monitoramento na Amazônia considerando a integração entre dados altimétricos e convencionais de níveis de água (Calmant, 2012).

Sempre que um traço do satélite cruza um plano de água, tem-se uma potencial estação virtual. Uma estação virtual é definida pelos pontos de medições altimétricas utilizados para o cálculo dos níveis. A estação virtual representa uma janela retangular na qual é possível obter uma série temporal dos níveis de água.

O objetivo desse estudo é apresentar uma metodologia para obtenção da série temporal de níveis de água altimétricos. A série temporal é gerada através do programa VALS (Virtual ALtimetry Station), que identifica as medidas altimétricas dentro de uma área de interesse e apresenta seus respectivos valores de níveis de água em cada tempo.

2 - CONTEXTO

A presente pesquisa é parte integrante do projeto “Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões - Amazonas” que tem como objetivo realizar levantamentos hidrológicos, hidrogeológicos e geológicos na calha do rio Solimões (no curso entre os municípios de Atalaia do Norte e Santo Antônio do Içá, região oeste do Amazonas), na região do município de Manacapuru (na confluência com o rio Negro) e no rio Madeira (próximo à sua confluência com o rio Amazonas). O estudo está

inserido em uma das linhas de pesquisa que fazem parte do acordo existente entre a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD).

3 – METODOLOGIA

Sempre que um traço do satélite cruza um plano de água, tem-se uma potencial estação virtual. Uma estação virtual é definida pelos pontos de medições altimétricas utilizados para o cálculo dos níveis. A estação virtual representa uma janela retangular. Em cada uma dessas janelas, é possível obter uma série temporal dos níveis de água.

As séries temporais são geradas por meio da seleção da informação referente aos dados altimétricos adquiridos pelo satélite dentro da janela de interesse. Isso significa dizer que, dentro do conjunto de dados adquiridos por um traço do satélite em seus diversos ciclos, é possível escolher, a partir da localização da área de interesse, apenas os dados referentes aos níveis de água dessa área.

Nesse estudo, a seleção dos dados é realizada através do programa VALS (*Virtual Altimetry Station*), que identifica os pontos dentro da área de interesse e apresenta seus respectivos valores de níveis em cada tempo. O VALS é um programa disponibilizado através do endereço eletrônico do IRD (*Institut de Recherche pour le Développement*). O programa utiliza o aplicativo *Java Web Start* para possibilitar a sua distribuição.

O VALS é composto por rotinas desenvolvidas e incorporadas ao programa GRASS GIS 6.2.1 que permitem a seleção tridimensional dos dados em um espaço superfície-profundidade. Essa metodologia é descrita detalhadamente em Roux *et al.* (2010) e Seyler *et al.* (2008).

A definição da área de estudo é realizada utilizando o programa *Google Earth*. O primeiro passo a ser tomado é a projeção das trajetórias do satélite sobre a superfície da Terra que será estudada, ou seja, sobre a área de estudo. Para cada missão de observação altimétrica, o mapeamento das trajetórias é realizado por meio do acesso aos sítios específicos de cada missão. Os arquivos são disponibilizados em formato reconhecido pelo *Google Earth*. No caso do ENVISAT, a trajetória é disponibilizada no sítio <http://www.aviso.oceanobs.com/fr/donnees/boite-a-outils/localiser-une-demi-orbite/index.html>.

Com as trajetórias do satélite sobre a região de estudo é possível delimitar uma área geográfica em torno da interseção de interesse (traço + superfície) e definir uma direção principal de escoamento do fluxo de água na área de interseção. A delimitação da área é feita a partir do desenho de um polígono ao redor da interseção. O desenho do polígono deve considerar alguns princípios. A largura do polígono deve ser de alguns quilômetros para levar em conta o deslocamento da interseção entre um ciclo e outro (o satélite nunca passa exatamente na mesma trajetória em ciclos diferentes). Isso para não omitir nenhum ciclo já concluído ou não. Além disso, o polígono não deve ser limitado às margens do rio para poder selecionar medições altimétricas em período de cheias. A direção do rio deve ser informada para que os traços sejam projetados na direção perpendicular ao escoamento. Isso é feito pelo desenho de uma linha sobre o rio na direção de montante a jusante.

Uma vez preparada a área a ser estudada é preciso definir os dados para processamento pelo VALS. A fase de preparação consiste em adquirir os arquivos de dados junto às entidades adequadas, sendo que a forma de disponibilização pode ser diferente de uma missão para outra. Os arquivos serão importados numa base de dados local do VALS que possui várias funções de importação, cada qual adaptada ao tipo de arquivo a ser importado.

Depois de escolher uma área de estudo e ter importado, numa base local, os dados altimétricos que se encontram na área de estudo (traços que interceptam o polígono), torna-se possível analisar os dados altimétricos para definir uma estação virtual e extrair uma série cronológica de cotas.

Depois de geradas as estações virtuais, os pontos medidos pelo satélite e seus respectivos níveis são visualizados no VALS. Essa visualização ocorre em três janelas, conforme mostrado na Figura 2, as quais possibilitam analisar de forma simultânea informações sobre a estação virtual (1), o perfil dos níveis altimétricos em metros (posição no eixo horizontal x nível no eixo vertical) de cada ponto medido pelo satélite (2), e a localização, em planta (longitude no eixo horizontal x latitude no eixo vertical), desses pontos ao longo do traço (3).

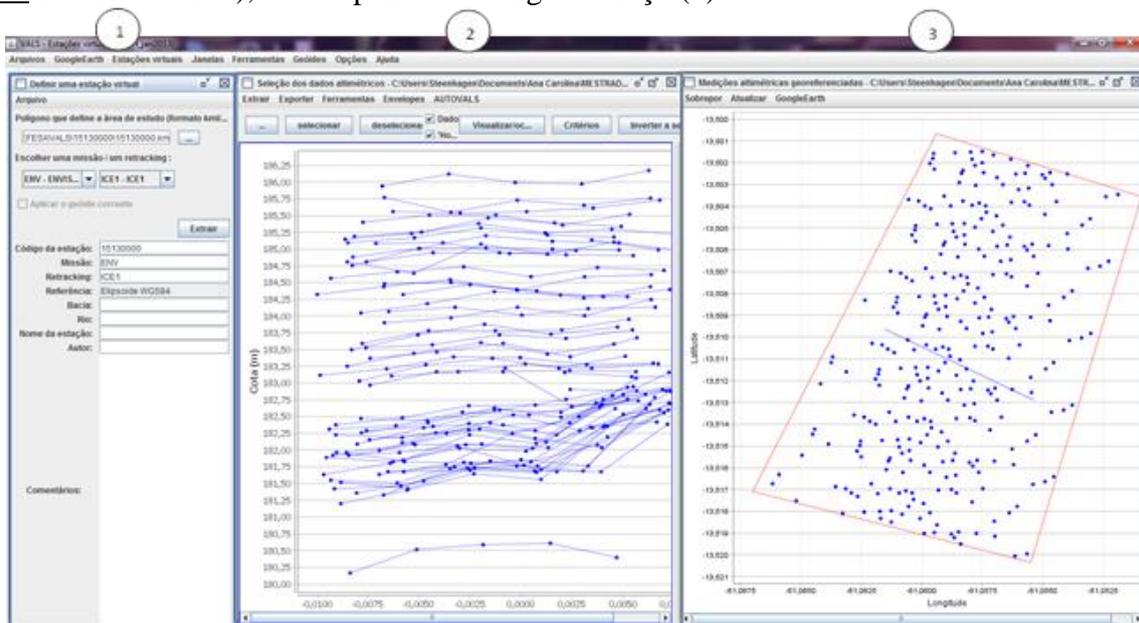


Figura 2 - Três janelas visualizadas após a extração da estação virtual EV-15130000 no VALS (programa VALS versão 0.6.2).

4 – CRIAÇÃO DA ESTAÇÃO VIRTUAL EV-15130000

A série de níveis altimétricos da estação virtual EV-15130000 adquirida pelo satélite ENVISAT, referente ao traço 478 do satélite, foi extraída por meio do programa VALS. O polígono desenhado sobre a imagem da estação virtual, polígono em vermelho na Figura 3, tem por função limitar as margens para análise dos dados.



Figura 3 – Delimitação da área para geração da estação virtual EV-15130000 (desenhado pelo autor sobre imagem do *Google Earth*, data da imagem 31/5/2007).

A Figura apresenta as janelas de seleção de dados disponibilizadas no VALS. O perfil de dados altimétricos apresentados na Figura foi delimitado pelo polígono desenhado sobre a Figura e é orientado de acordo com o sentido do fluxo do rio na seção. A direção da corrente, montante para jusante, é informada ao programa, de forma que o perfil altimétrico será sempre orientado na mesma direção. Assim é possível identificar cada margem representada no perfil. O objetivo da determinação do sentido do fluxo é garantir o correto posicionamento das margens para a análise dos níveis medidos pelo altímetro.

Assim, os níveis altimétricos medidos estão apresentados na Figura 4 (a), que corresponde à janela 2 da Figura 22. Na Figura (b) também estão representados os dados em planta, correspondentes à janela 3 da Figura 22, onde se visualiza os pontos medidos sobre a área delimitada pelo polígono e o traço que define o sentido do fluxo (Figura 3). Também é possível, nessa janela, sobrepor as margens do rio desenhadas sobre a imagem do *Google Earth*. Essa ferramenta é importante no momento da escolha dos dados, pois fornece uma referência adicional de posicionamento dos pontos medidos.

Nessa etapa são selecionados, manualmente, via análise visual, os pontos medidos efetivamente sobre a água, pontos vermelhos no perfil.

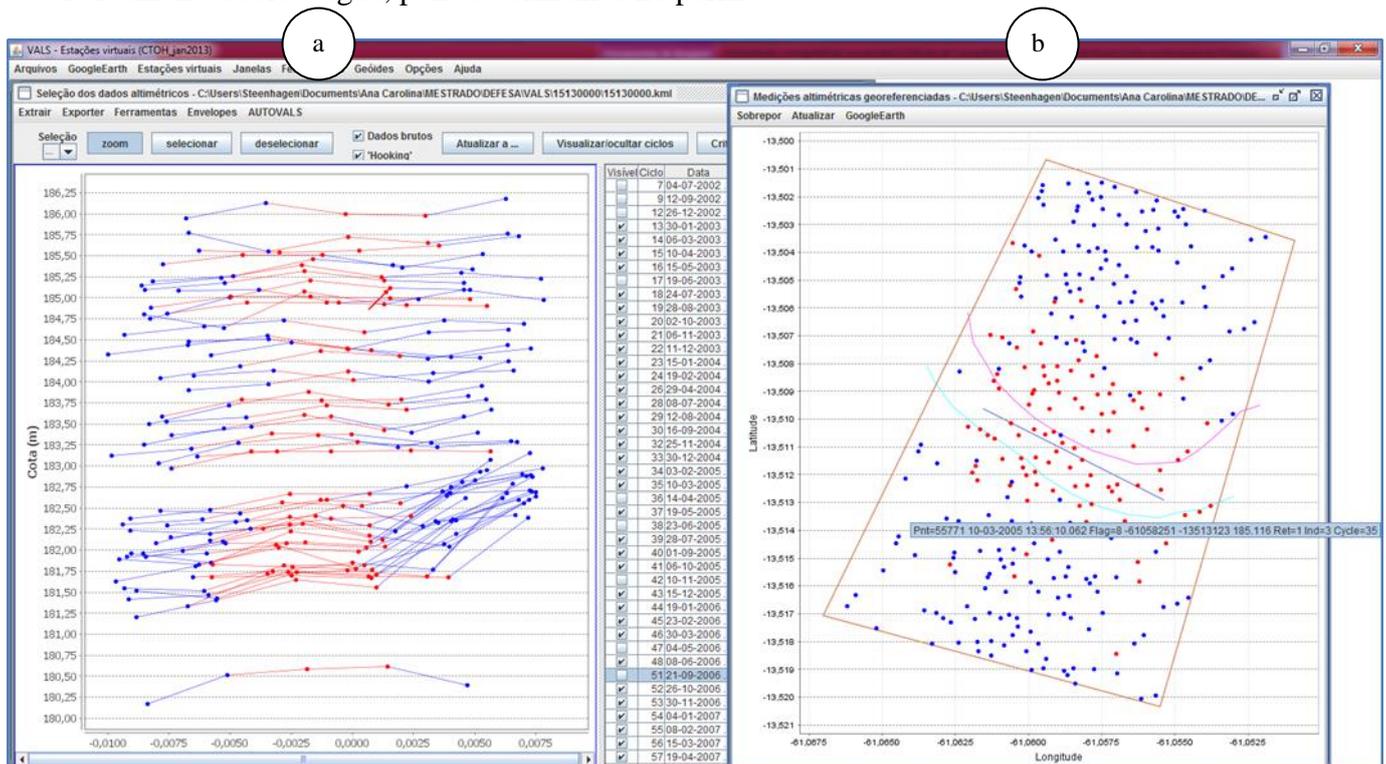


Figura 4 - Perfil transversal das alturas fornecidas pelo traço 478 do Envisat no cruzamento com o rio Guaporé – estação virtual EV-15130000 (programa VALS versão 0.6.2).

Após finalizada a seleção dos dados o próximo passo é gerar a série temporal altimétrica. O programa realiza os cálculos das médias, medianas e correção de *hooking* (quando necessário) e apresenta a série de dados em nova janela. O efeito *hooking* (ou ancoragem persistente do altímetro) é uma limitação do altímetro (erro) que ocorre na passagem do satélite de um meio pouco reflexivo (planície) para um meio bastante reflexivo (água) (Nuth *et al.*, 2002 e Frappart *et al.*, 2006). Nesse momento, a janela da série temporal está vinculada ao perfil transversal de dados onde a seleção foi realizada. Assim, ainda é possível identificar correções a serem feitas na seleção das medidas. A Figura apresenta essas janelas (perfil de dados selecionados e série altimétrica gerada). Na figura é

possível observar que, ao apontar um ponto da série o programa apresenta o ciclo correspondente por meio de setas apontando para cada um dos pontos do ciclo.

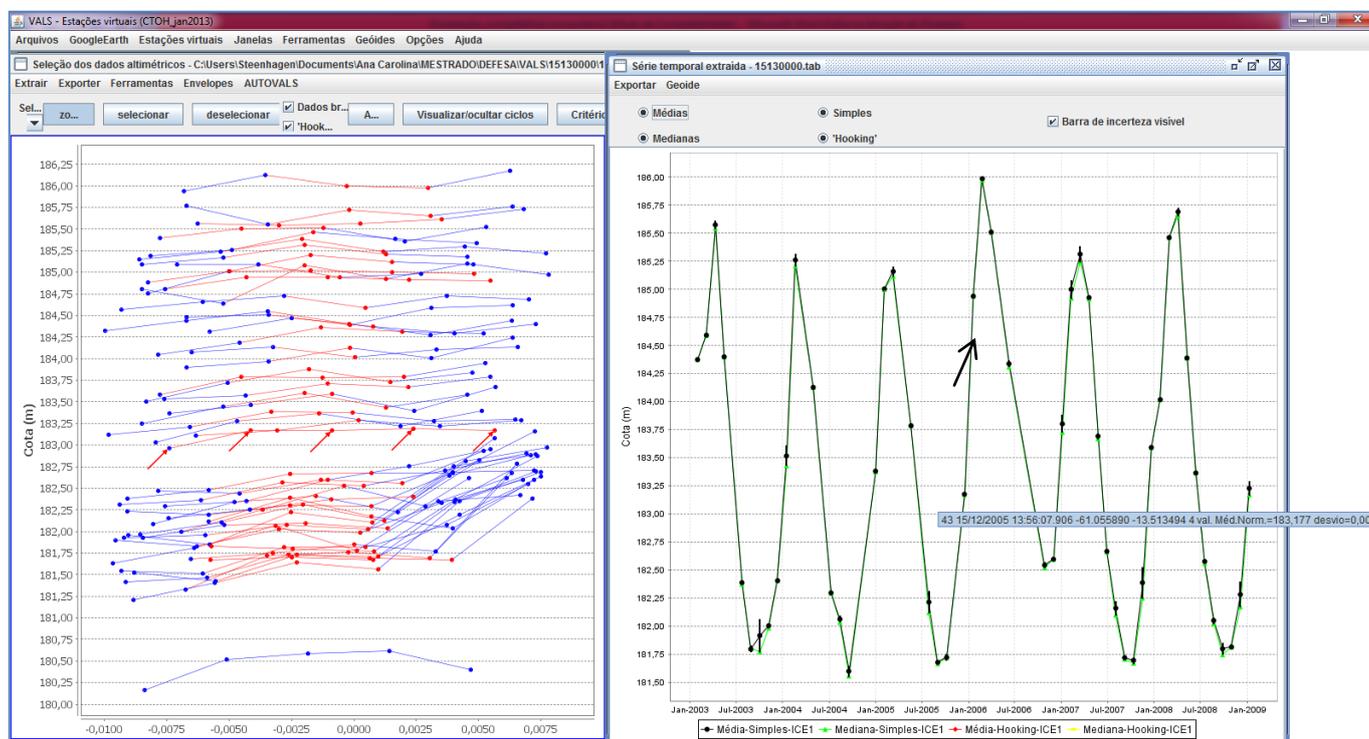


Figura 5 – Perfil de dados selecionados e série temporal altimétrica gerada – janelas do VALS referente à EV-15130000 (programa VALS versão 0.6.2).

Assim, após realizadas todas as análises apresentadas, a série temporal altimétrica definitiva de níveis de água está gerada. Cada ponto da série representa o valor adquirido a partir do cálculo das medianas das medidas em cada um dos ciclos referentes à EV-15130000.

5 - RESULTADOS

No contexto desse trabalho, a qualidade na escolha dos pontos medidos sobre a água, ou seja, os pontos válidos para a determinação da série temporal de níveis altimétricos, pode ser considerada de fundamental importância. Essa escolha de pontos foi realizada com o auxílio do programa VALS. Mais especificamente, o programa oferece diferentes ferramentas que facilitam as análises das medidas altimétricas considerando, simultaneamente, diversos parâmetros, como a localização das medidas em planta e perfil, erros associados às medidas, visualização da série temporal e visualização das medidas sobre a imagem da área. Esta última com a utilização do *Google Earth*.

Assim, para o objetivo dessa pesquisa, as ferramentas disponibilizadas pelo programa VALS para a escolha das medidas válidas do satélite ENVISAT devem ser utilizadas conforme descrito a seguir.

1) Visualização simultânea das medidas em planta e no perfil transversal:

- a. Análise conjunta dos dados localizados dentro do polígono que limita a área de estudo e dos dados no perfil transversal;
- b. Análise conjunta dos dados referenciados pela sobreposição das margens do rio dentro do polígono e dos dados no perfil transversal;

- c. Atualização das seleções realizadas (medidas validadas) em ambas as janelas (planta + perfil);
- d. Visualização das informações dos pontos nas janelas (data de medição, número do ciclo do satélite, valor medido pelo altímetro);
- e. Apresentação da tabela dos ciclos individualmente:
 - i. Permite a seleção dos pontos separadamente, por ciclo;
 - ii. Permite visualizar a incerteza resultante dos pontos escolhidos em cada ciclo por cada método (médias e medianas).
- f. Visualização dos pontos selecionados sobre a imagem do *Google Earth*;
- g. Identificação e aplicação da correção de *hooking*, caso necessário.

2) Visualização simultânea das medidas no perfil transversal e da série temporal altimétrica:

- a. Análise conjunta dos pontos da série e do ciclo que deu origem a cada um dos pontos;
- b. Visualização das informações dos pontos formadores da série (data da medida, número do ciclo, valor altimétrico medido);
- c. Visualização das séries separadamente:
 - i. Série formada pela média dos pontos selecionados;
 - ii. Série formada pela mediana dos pontos selecionados.
- d. Visualização das barras de incerteza em cada ponto da série temporal altimétrica.

6 - CONCLUSÕES

O altímetro adquire um conjunto de medidas ao longo do traço do satélite. Desse conjunto, extrai-se um subconjunto de medidas referente à estação virtual. Entre os dados pertencentes à estação virtual, é preciso selecionar as medidas que representam níveis de água, uma vez que o satélite sobrevoa diferentes tipos de cobertura ao sobrevoar a seção de um rio. Essa seleção de dados é realizada com a utilização do programa VALS.

Após as análises e escolha das medidas adquiridas sobre a água realizadas no estudo, concluiu-se que o VALS disponibiliza ferramentas importantes de apoio à decisão relativa às medidas representativas de níveis de água. Por meio dessas ferramentas foi possível considerar simultaneamente diferentes parâmetros como: localização dos pontos medidos em planta e perfil, erros associados às medidas, visualização da série temporal e visualização das medidas sobre a imagem da área. A partir da utilização dessas ferramentas foi possível gerar uma série temporal de níveis de água na seção da estação virtual estudada.

Assim, esse trabalho contribuiu para afirmar que os dados altimétricos podem promover o aumento dos pontos monitorados em 10 vezes em relação o número atual de pontos. Além disso, o uso de estações virtuais contribui para a identificação e determinação de locais onde há maior necessidade de investimento no monitoramento convencional.

Dessa forma, conclui-se que os dados medidos pelo satélite são úteis tanto em locais onde existem dados, pois complementam, verificam e fornecem confiabilidade aos dados disponíveis; como em locais onde não se dispõe de dados, uma vez que representam a única fonte de informação hidrológica local.

REFERÊNCIAS

- CALMANT, S. (2012). “Satellite Altimetry for Rivers”. *Encontro do Projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas*. Rio de Janeiro, Brasil. 36p.
- FRAPPART, F., CALMANT, S., CAUHOPÉ, M., SEYLER, F., CAZENAVE, A. (2006). “Preliminary results of ENVISAT RA-2 derived water levels validation over the Amazon basin”. *Remote Sensing of Environment*, 100, 252–264.
- NUTH, V., PULLIAM, J., WILSON, C. (2002). “Migration of radar altimeter waveform data”. *Geophysical Research Letters*, 29 (10), 10129-10133.
- ROUX, E., SANTOS DA SILVA, J., VIEIRA GETIRANA, A. C., BONNET, M.-P., CALMANT, S., MARTINEZ, J.-M. AND SEYLER, F. (2010). “Producing time series of river water height by means of satellite radar altimetry – comparative study”. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (1), 104-120.
- SEYLER, F., CALMANT, S., SANTOS DA SILVA, J., FILIZOLA, N., ROUX, E., COCHONNEAU, G., VAUCHEL, P., BONNET, M. P. (2008) “Monitoring water level in large trans-boundary ungauged basin with altimetry: the example of ENVISAT over Amazon Basin”. *Journal of Applied Remote Sensing – SPIE*. 7150, p. 715017.
- WMO. “Guide to hydrological practices – data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications.” 5.^a ed. 1994. *World Meteorological Organization*, n.º 168, p. 259-288.