

## DETECÇÃO DA VARIABILIDADE DO NÍVEL DO RIO BRANCO (RR) E DO RIO JAMARI (RO) POR SATÉLITES ALTIMÉTRICOS

Detection Of Water Level Variability Of Branco River And Jamari River From Satellite Altimetry

Detección De La Variabilidad Del Nivel De Agua De Los Ríos Branco Y Jamari A Partir De Altimetría Por Satélite

Rogério Ribeiro Marinho  
UFAM

[rogeriorm22@gmail.com](mailto:rogeriorm22@gmail.com)

Vanessa Cunha Silva  
UFAM

[wanessavc01@yahoo.com.br](mailto:wanessavc01@yahoo.com.br)

Naziano Pantoja Filizola  
UFAM

[naziano.filizola@gmail.com](mailto:naziano.filizola@gmail.com)

### Resumo

O uso da altimetria radar é uma forma de monitorar o nível de grandes rios e lagos da bacia Amazônica através de satélites que tem sido utilizada os últimos dez anos com grande eficiência. Embora estações fluviométricas convencionais possuam grande série histórica de dados, diversas áreas da planície amazônica ainda permanecem sem informações sobre nível do rio. Testes em áreas com estações terrenas têm sido realizados, porém ainda há muitas áreas da Amazônia para serem investigadas. Este artigo avalia o uso de dados altimétricos das missões ENVISAT e JASON-2 em dois rios da bacia Amazônica, o Rio Branco (tributário do rio Negro) e o Rio Jamari (tributário do rio Madeira), em cujas bacias há pouca informação altimétrica validada. O processamento dos dados altimétricos foi realizado através do programa Virtual ALtimetry Station (VALS). Dados fluviométricos de campo da rede hidrométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) foram usados para identificar o ciclo hidrológico e avaliar os níveis de água derivados dos radares altimétricos nos rios analisados. Como resultado, encontrou-se elevada concordância entre as medições de campo e aquelas derivados dos radares altimétricos. As análises sugerem que dados do nível de água derivados da altimetria radar em rios represados possuem maior precisão em relação aos dados derivados de rios não represados.

**Palavras-chave:** Altimetria, Nível do rio, Rio Branco, Rio Jamari.

### Abstract

Use of satellite altimeter data is an efficient way for monitoring water levels in large rivers and lakes. Although traditional gauges have large historic series, various floodplain areas in the Amazon Basin remain unseen for water level data. This paper evaluates the use of altimetry data from missions ENVISAT and JASON-2 in two rivers of Brazilian Amazon basin, the Rio Branco (Negro basin) and Rio Jamari (Madeira basin). The processing of altimetry data was made using Virtual Altimetry Station toolbox (VALS). Hydrometric *in situ* data was used to identify the hydrologic cycle and validate the water level derived of altimetry data in the analyzed rivers. As results, we found high concordance between the variability of the

hydrologic cycle detected by radar altimetry and in situ data. We suggest that the water level derived from altimetry data from reservoirs are more accurate than altimetry data from rivers undammed.

**Keywords:** Altimetry, Water level, Branco River, Jamari River.

## Resumen

La utilización de datos de la altimetría por satélite es una forma eficaz para el monitoreo de los niveles de agua en grandes ríos y lagos. Aunque las estaciones hidrométricas tradicionales tienen gran serie histórica, varias áreas inundables en la Cuenca Amazónica se queda invisible para los datos de niveles de agua. Este estudio evalúa el uso de datos altimétricos de las misiones Envisat y Jason-2 en dos ríos de la Cuenca Amazónica de Brasil, el Río Branco (cuenca de Negro) y Río Jamari (cuenca del Madeira). El tratamiento de los datos de altimetría se hizo utilizando el software Virtual Altimetry Station toolbox (VALS). Los resultados mostraron una alta correspondencia entre la variabilidad del ciclo hidrológico detectado por altimetría radar y por datos in situ. El análisis sugieren que los datos de niveles de agua derivados de altimetría de radar en los ríos represados tienen una mayor precisión en comparación con los datos derivados de los ríos no represados.

**Palabras clave:** Altimetria, Nivel de agua, Río Branco, Río Jamari

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por melhores práticas na gestão dos recursos hídricos na bacia Amazônica requer a coleta, análise e geração de informações precisas e atualizadas sobre estes recursos, nesta região de importância estratégica. A hidrologia tradicional baseia-se principalmente em observações e medições em campo, condição que necessita de uma rede de observação de diferentes variáveis, como precipitação, vazão, nível de rio entre outras (PINTO et al, 1976). A instalação e operação de redes de monitoramento hidrológico exige recursos humanos capacitados e grandes investimentos, o que limita em alguns casos a existência de uma rede de estações com boa distribuição espacial e com grande registro temporal. Na parte brasileira da bacia Amazônia existem aproximadamente 1300 estações de coleta de dados hidrometeorológicos, tais como: precipitação, nível do rio, qualidade da água e transporte de sedimentos (ANA, 2014).

A oscilação do nível dos rios é umas das variáveis hidrológicas de maior observação sistemática na bacia Amazônica, e é um dos principais componentes de análise do ciclo hidrológico, pois possibilita identificar períodos de enchente, cheia, vazante e seca, bem como avaliar a intensidade de eventos extremos. Apesar dos esforços dos últimos anos para a implantação de novas estações hidrológicas, a quantidade de estações ainda é considerada baixa para a região, em razão da dimensão continental da bacia e da alta densidade da rede de drenagem. Até o ano de 2007, a rede hidrometeorológica nacional na bacia Amazônica conta com aproximadamente de 435 estações fluviométricas (ANA, 2014), quantidade menor que a recomendação da Organização Meteorológica Mundial, que sugere uma estação fluviométrica a cada 10.000 km<sup>2</sup>.

A altimetria radar é uma tecnologia desenvolvida inicialmente para estudos dos oceanos, mas nos últimos anos obteve grandes avanços em pesquisas sobre águas continentais, como rios, lagos e planícies de inundação, principalmente na bacia Amazônica (BIRKETT et al., 2002). Assim, em resposta ao problema da baixa densidade de estações fluviométricas na Amazônia e em outras regiões, alternativas de medição do nível de rios surgiram, como o uso de radares altímetros embarcados em satélites de observação da Terra que possibilita estimar o nível de corpos d'água com grande precisão (CALMANT e SEYLER, 2006).

As estações convencionais da rede hidrometeorológica nacional na bacia amazônica possuem níveis de referência locais e arbitrários, o que impossibilita uma comparação imediata dos dados, além de existir uma escassez de recursos humanos especializados para manutenção e análise. Neste sentido, o uso da altimetria radar para medição do nível dos rios pode superar problemas como a falta de informações hidrológicas, manutenção, atualização, correção de falhas e erros nas séries de dados registrados em estações fluviométricas convencionais.

Apesar da disponibilidade de uma longa série histórica de medições em estações convencionais ao longo dos principais rios da Amazônia, é necessário avaliar a utilização de técnicas alternativas. Neste sentido, este artigo tem como objetivo analisar o uso de altimetria radar para estimar o nível em dois rios da bacia amazônica com características hidrológicas distintas, o Rio Branco ainda com um regime hidrológico natural, e o Rio Jamari com seu nível controlado pela usina hidrelétrica de Samuel. Esta análise pretende contribuir na avaliação da acurácia de estimativas do nível do rio derivado de satélites altimétricos e na caracterização do regime de cheia, vazante e seca do Rio Branco e do Rio Jamari. Este estudo se reveste de importância uma vez que o caso do Rio Jamari pode servir de parâmetro para melhor se avaliar técnicas para monitorar possíveis consequências hidrológicas que possam ocorrer na construção dos Aproveitamentos Hidrelétricos (AHE) previstos para a bacia do Rio Branco.

## **ÁREAS DO ESTUDO**

A primeira área de estudo deste trabalho corresponde ao curso do Rio Branco, no estado de Roraima, com um regime hidrológico ainda sem influência de barragens, monitorado pela rede hidrometeorológica nacional nas estações de Caracará, Boa Vista e Santa Maria do Boiaçu. A segunda área de estudo corresponde ao baixo curso do Rio Jamari, no estado de Rondônia, com sua vazão controlada pelo reservatório da Usina Hidrelétrica de Samuel (UHE de Samuel). Estes dois rios localizam-se em regiões distintas na bacia Amazônica e apresentam regimes de chuvas diferentes, assim como a forma de uso dos recursos hídricos (Figura 01). O Rio Branco apresenta um regime hidrológico do tipo tropical boreal, com um pico de cheia bem marcado no início do segundo semestre do ano civil. Já o rio Jamari pode ser considerado como de regime hidrológico do tipo tropical austral, com um pico de cheia ocorrendo no primeiro semestre do ano (FILIZOLA et al., 2002).

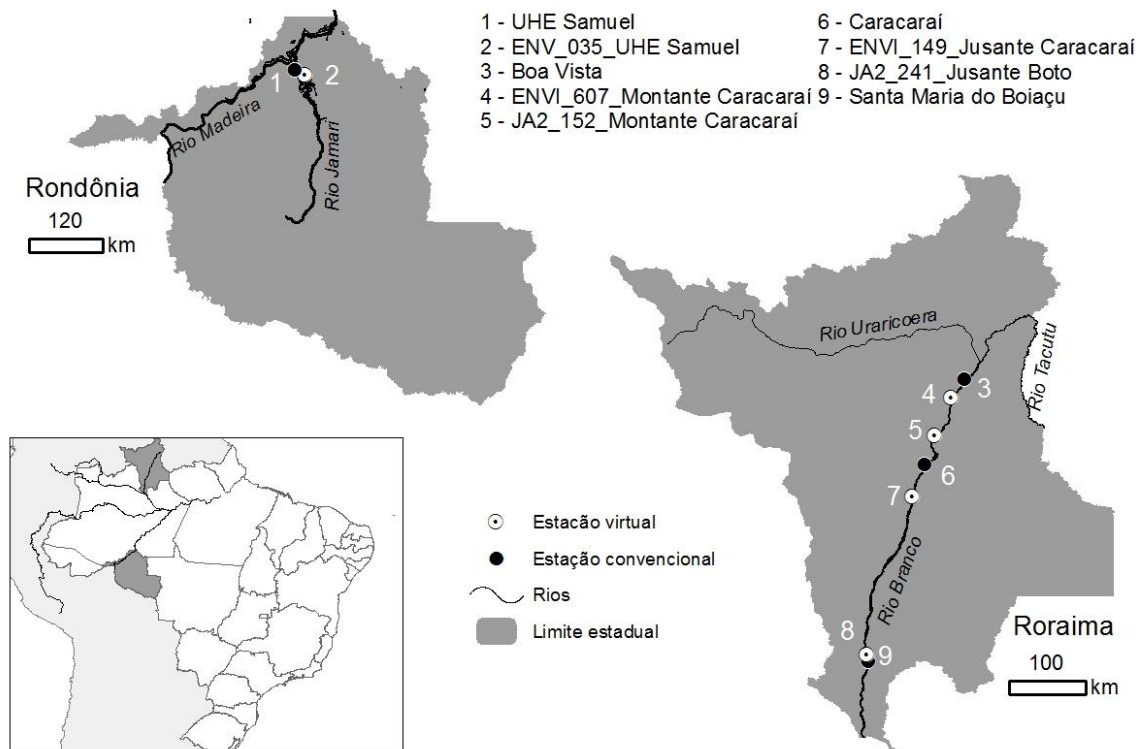


Figura 01: Localização das áreas de estudo.

O Rio Branco orienta-se de norte a sul no estado de Roraima e deságua na margem esquerda do Rio Negro, após a cidade de Barcelos. De acordo com EPE (2010) a bacia do Rio Branco tem uma área de aproximadamente 192.000 km<sup>2</sup>, sendo 96% no Brasil (Roraima e Amazonas) e 4% na Guiana. No Rio Branco, a estação fluviométrica de Boa Vista, situada na margem direita do rio, dista cerca de 30 km a jusante da confluência dos rios Uraricoera e Tacutu. A estação de Caracaraí, situada na margem direita, localiza-se a jusante da cidade de Boa Vista a uma distância de 140 km. A estação de Santa Maria do Boiaçu localiza-se na margem esquerda do baixo curso do Rio Branco.

O Rio Jamari, por sua vez, tem seu percurso no sentido oposto ao do rio Branco, de sul para norte, desaguando à margem direita do Rio Madeira. No Rio Jamari, o AHE foi implantado em 1988 no trecho das cachoeiras de Samuel, a 52 quilômetros da cidade de Porto Velho. A UHE tem capacidade instalada de 216 MW (FEARNSIDE, 2005, p.1), e a área alagada pelo reservatório formado pela barragem é de 540 km<sup>2</sup> no nível máximo. A estação fluviométrica da UHE de Samuel localiza-se no lago do reservatório, registrando dados de uma área de drenagem correspondente a 14.700 km<sup>2</sup>.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Dados

Foram utilizados dados de nível do rio oriundos de estações fluviométricas convencionais pertencentes à rede hidrometeorológica nacional, disponíveis no site do Serviço de Observação HYBAM. Dados de nível do rio na região da UHE de Samuel foram disponibilizados pela empresa Eletronorte para o Projeto de Planejamento Integrado de Reservatórios em Hidrelétricas da Bacia Amazônica - PIRAHIBA. A Tabela 1

contém detalhes da localização e o período de dados analisados em cada estação convencional. A localização de cada estação é apresentada na Figura 01.

Tabela 1: Estações hidrológicas convencionais e informações sobre período de dados de cota (H)

Bacia	Estação	Código	Latitude	Longitude	Área Drenada (km <sup>2</sup> )	Período Dados H
Rio Branco	Boa Vista	14620000	2,8261	-60,6580	97.200	1962 – 2011
	Caracaráí	14710000	1,8213	-61,1236	126.000	1967 – 2013
	Santa Maria do Boiaçu	14790000	-0,5052	-61,7863	184.000	2002 – 2010
Rio Jamari	UHE Samuel – Rio Jamari	15459080	-8,75	-63,4666	14.700	1989 – 2013

Dados altimétricos das missões ENVISAT e JASON-2 sobre o Rio Branco foram obtidos de estações altimétricas virtuais disponíveis no site do Serviço de Observação HYBAM. Segundo Silva *et al.* (2010) uma estação virtual consiste da interseção do traço da órbita do satélite altímetro com um corpo d'água. Para o estudo do Rio Jamari foram utilizados dados altimétricos da missão ENVISAT obtidos na base de dados do Center for Topographic Studies of the Ocean and Hydrosphere (CTOH) e disponíveis no formato NetCdf. Detalhes dos satélites utilizados neste trabalho são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos Satélites altímetros.

Satélite/Sensor	Data Lançamento	Final da missão	Repetitividade	Altitude	Agências
ENVISAT/RA2	01/03/2002	08/06/2012	30 - 35 dias	~800 km	ESA
Jason-2/Poseidon-3	20/06/2008	Ativo	~10 dias	1.336 Km	CNES/NASA EUMETSAT/NOAA

## Processamentos

No Rio Jamari foi criada uma estação virtual com o uso do software Virtual ALtimetry Station-Vals (VALS, 2011). Desenvolvido em linguagem Java, o software permite executar uma sequência de processamentos de dados altimétricos e obter séries temporais da altura do nível do rio das áreas em estudo.

A metodologia de criação da estação fluviométrica virtual corresponde basicamente na seleção dos dados altimétricos sobre um plano de água, refinamento dos dados selecionados e o cálculo do nível do rio com referência a um elipsóide de referência. Para criar uma estação virtual o principal fator é o “traço do satélite altimétrico”, ou seja, a projeção de meia órbita do satélite sobre a superfície da Terra. Quando um traço do satélite cruza uma superfície d'água é possível estimar a altura do corpo d'água a cada passagem do satélite, e assim produzir uma série histórica com aquisições de dados conforme o tempo de revisita do satélite.

Um radar altímetro a bordo do satélite estima o nível de um corpo d'água através do cálculo da diferença entre a distância de uma superfície de referência (elipsóide) e a distância entre o sensor e a superfície d'água.

Assim, a cada interseção de um traço do satélite altimétrico com um plano d'água, é possível criar uma estação fluviométrica virtual, e com isso obter uma série histórica do nível do rio, através de medições realizadas em cada passagem do satélite (SILVA et al. 2010, p. 2163).

Os dados fluviométricos de estações convencionais e virtuais foram organizados e processados em planilha eletrônica a fim de gerar uma série histórica de cotas médias diárias, bem como obter estatísticas descritivas e produzir gráficos dos cotagramas.

### **Avaliação da qualidade nas medições altimétricas**

A comparação dos dados de altimetria radar com os dados de estações convencionais foi realizada sob um mesmo nível de referência. Para realizar essa normalização, foi calculada a mediana da diferença observada entre as medições de campo e do radar altímetro. O valor obtido foi somado aos níveis diários das séries convencionais analisadas. Assim, os dados medidos em campo estão referenciados às estações altimétricas.

A estimativa da incerteza do conjunto de dados altimétricos foi obtida pela comparação das cotas média diária observadas em campo com os valores estimados pelos radares altímetros. A avaliação da acurácia da estimativa de nível do rio em cada estação virtual foi realizada através do cálculo do erro médio quadrático (RMS):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (h_{1i} - h_{2i})^2}{N}}$$

onde

$h_{1i}$  são as estimativas de nível do rio nos dados altimétricos,  $h_{2i}$  são as observações do nível do rio nas estações fluviométricas,  $N$  é o número de medidas consideradas.

### **Caracterização da variabilidade hidrológica nos rios Branco e Jamari**

A caracterização hidrológica foi realizada considerando a variabilidade do nível dos rios em estudo utilizando os dados das estações convencionais. Esta caracterização foi necessária para verificar, de forma comparativa, o comportamento dos dados extraídos de satélites altimétricos durante o processamento.

Foram elaborados cotagramas com a descrição dos valores médios, máximos e mínimos observados nas respectivas séries históricas analisadas. Para determinar e padronizar as fases do ciclo hidrológico de enchente, cheia, vazante e seca, foi adotada a metodologia proposta por Bittencourt e Amadio (2007) que utiliza principalmente estatísticas descritivas da séries históricas de cotas dos rios. Nesta abordagem, o período de cheia é definido pelo cálculo da média dos níveis máximos de toda a série de dados menos o desvio padrão, já a seca é definida pelo cálculo da média dos níveis mínimos da série somada ao seu desvio padrão. Os períodos de enchente e vazante são definidos pelo intervalo entre a seca e a cheia de acordo com o regime hidrológico anual.

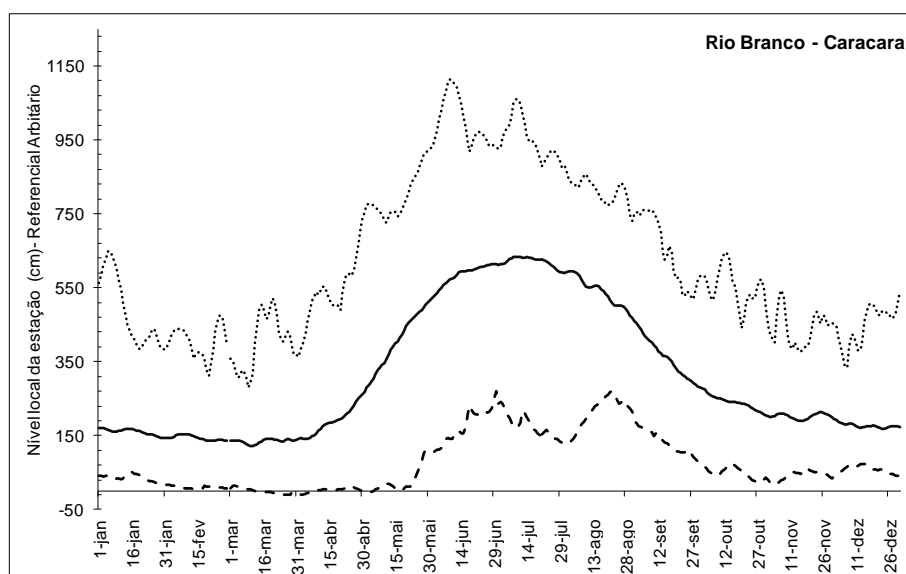
## VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DOS RIOS BRANCO E JAMARI: ANÁLISE DAS ESTAÇÕES FLUVIOMETRICAS CONVENCIONAIS

A caracterização do regime hidrológico do Rio Branco foi realizada com base na série histórica de observações fluviométricas em Caracaraí. Neste trecho, o período de enchente inicia em abril na cota local de 1,13 m e se estende até maio na cota de 6,51 m. A cheia ocorre entre os meses de junho e julho com cota acima de 6,51 m, variabilidade característica de rios com regime tropical boreal segundo Filizola *et al.* (2002). O período de vazante se inicia no mês agosto até outubro com cota de 6,51 m até a cota de 1,13 m. A amplitude máxima de variação dos níveis de cheia e vazante registrada na estação de Caracaraí é de 11,23 m. Os registros dos valores mínimos de cota ocorrem entre novembro e março nas cotas inferiores a 1,13 m, período de seca do rio. O registros de máxima, mínima e média na estação de Caracaraí, observados entre o período de 1967 a 2013, são apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Maiores registros de cheia e seca na estação de Caracaraí – RR, comparados à média interanual. Valores em metros e tomados em função de referencial arbitrário (local).

Máxima		Mínima		Média	
2011	11,13	1998	-0,10	Interanual	3,14

No cotograma do rio Branco, apresentado na Figura 02, destacam-se os valores máximos, médios e mínimos diários. Essas curvas são indicativas de valores representativos para toda a série histórica de mais de 45 anos. A envoltória mostra a variabilidade grande para o Rio Branco dentro daqueles limites. Percebe-se também que a curva de máximas apresenta um comportamento de alta amplitude no ciclo anual, já a curva de mínimas apresenta baixa variação de amplitude.



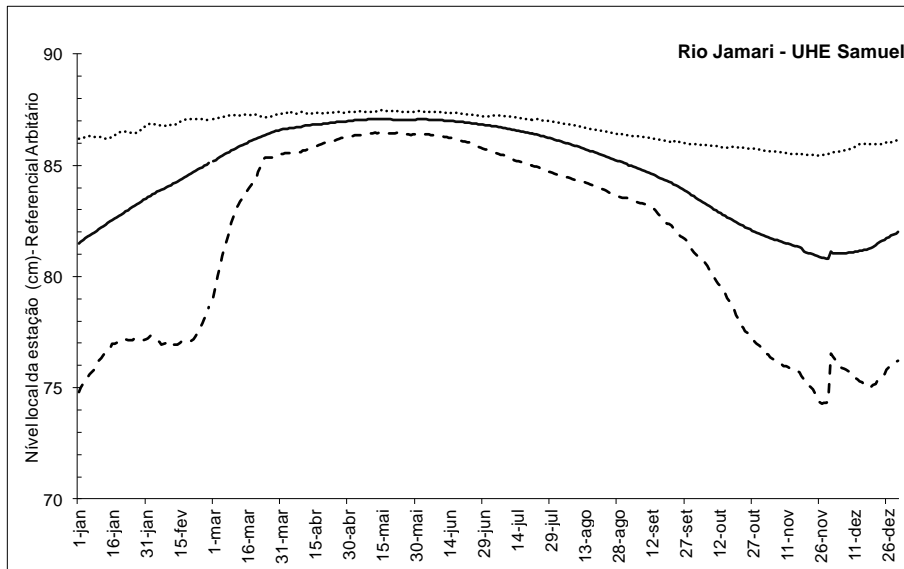


Figura 02: Cotogramas das estações fluviométricas do Rio Branco em Caracaraí (RR) e do Rio Jamari na UHE de Samuel (RO). Valores médios (linha contínua), máximos (linha pontilhada) e mínimos (linha traçada) históricos diários.

No Rio Jamari o período de enchente se inicia no final de janeiro com a cota média 83,01 metros e vai até março, na cota de 86,94 metros. A cheia ocorre entre os meses de abril e junho na cota superior a 86,94 m. A vazante ocorre entre os meses de julho e setembro, variando entre as cotas de 86,94 m a 83,01 m. O período de seca ocorre entre os meses de outubro e janeiro com cota inferior a 83,01 m. No cotograma do Rio Jamari (Figura 2), destaca-se nos registros de valores mínimos uma variabilidade brusca nos meses de dezembro, fato que pode ser relacionado a um pico secundário de cheia ou operações de manutenção da UHE. No período de cheia os níveis apresentam pouca variação, diferentemente dos outros períodos hidrológicos onde as variações são mais evidentes.

O regime hidrológico identificado sobre o Rio Jamari, na estação de UHE Samuel, mostra de forma clara o controle de seu nível pela barragem, o que implica em variações mínimas dos níveis diários principalmente nos períodos de cheia na bacia. A amplitude máxima entre os períodos de cheia e seca observado na série histórica de cotas foi de 13,21 metros. Os níveis máximos, mínimos e médios registrados no reservatório da UHE de Samuel, ao longo da série histórica analisada (1989 a 2013), são apresentados na Tabela 4 a seguir.



Tabela 4: Maior registro de cheia e vazante na estação de UHE Samuel. Valores em metros e em referência local.

Máxima		Mínima		Média	
1996	87,48	1999	74,27	Interanual	84,61

## VARIABILIDADE DO NÍVEL DOS RIOS BRANCO E JAMARI OBSERVADA POR SATÉLITES ALTIMÉTRICOS

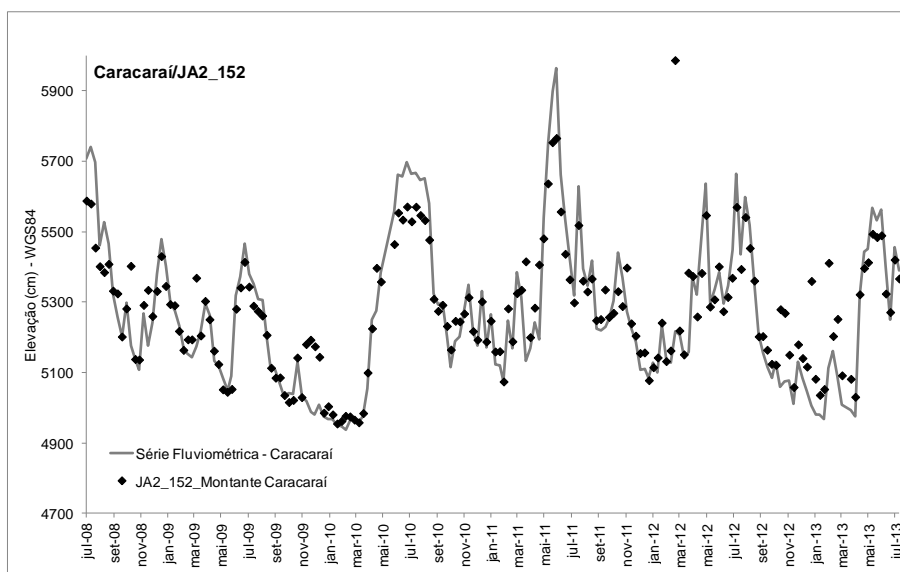
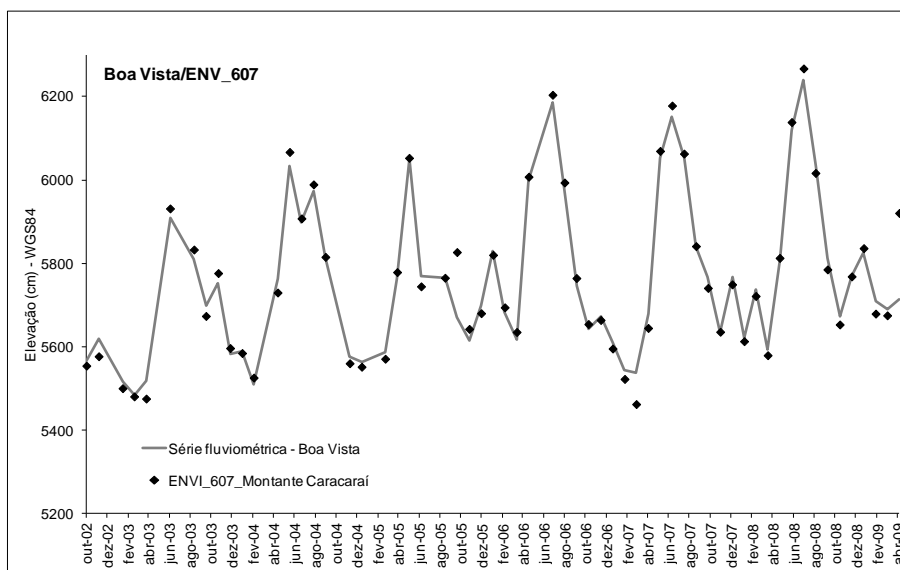
Os resultados dos estudos permitiram identificar quatro estações virtuais sobre o rio Branco, sendo duas delas derivadas de dados da missão ENVISAT (traços 149 e 607) e duas da missão JASON-2 (traços 152 e 241). A disposição e localização das estações virtuais depende principalmente do traçado da órbita dos satélites, muitas vezes não coincidindo com a localização das estações convencionais. Desta forma, as estações virtuais analisadas no Rio Branco estão localizadas nas proximidades das estações fluviométricas convencionais de Boa Vista, Caracaraí e Santa Maria do Boiaçu, respectivamente alto, médio e baixo curso deste rio. Para o Rio Jamari foi criada uma estação virtual com dados oriundos da missão ENVISAT (traço 035), localizado próximo da margem direita do reservatório da UHE de Samuel. A localização das estações virtuais estão apresentadas na Figura 01. A Tabela 5 apresenta latitude, longitude e período de dados analisados em cada estação virtual.

Tabela 5- Estações hidrológicas virtuais e informações sobre período de dados de cota (H)

Bacia	Estação Virtual	Latitude	Longitude	Período Dados H
Rio Branco	ENVI_607_Montante Caracaraí	2,6015	-60,7989	2002- 2009
	ENVI_149_Jusante Caracaraí	1,4452	-61,2634	2002 – 2010
	JA2_152_Montante Caracaraí	2,1565	-60,9997	2008 – 2013
	JA2_241_Jusante Boto	-0,4202	-61,7993	2008 – 2010
Rio Jamari	ENV_035_UHE Samuel	-8,8229	-63,3073	2002 -2010

A estação virtual JA2\_152\_Montante Caracaraí é a que possui maior número de observações, com 183 aquisições do satélite JASON-2, sendo em média três estimativas mensais do nível do Rio Branco nesta região. A estação ENVI\_607\_Montante Caracaraí possui o menor número de observações, foram 61 aquisições do nível do rio coletados no período de oito anos pelo satélite ENVISAT. Essa diferença ocorre devido a periodicidade dos satélites ENVISAT e JASON-2, de aproximadamente 30 e 10 dias respectivamente. Neste sentido, a resolução temporal ainda é um fator negativo para aquisição de dados de altimetria radar sobre os rios da região. A missão JASON-2 possui maior resolução temporal, porém em termos de série de dados a missão ENVISAT ainda possui um período maior de anos com dados, apesar de sua menor resolução temporal.

Após a definição das estações virtuais foram elaborados cotogramas dos dados derivados dos radares altímetros, apresentados na Figura 3. Neste cotograma é possível observar que grande parte das medições altimétricas nas estações virtuais representam bem o comportamento hidrológico observado nas estações convencionais, sendo possível identificar os diferentes períodos hidrológicos (enchente, cheia, vazante e seca), tanto para o Rio Branco como para o Rio Jamari.



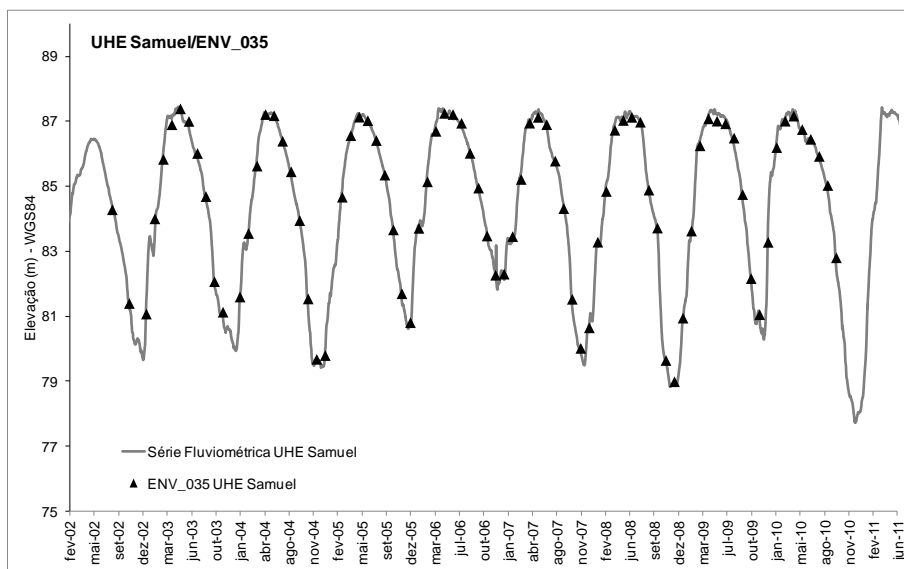
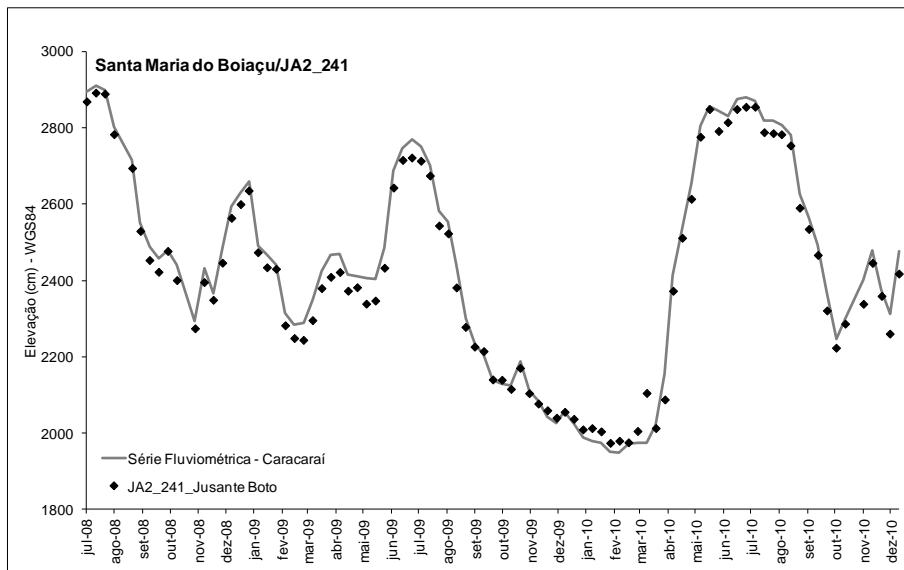
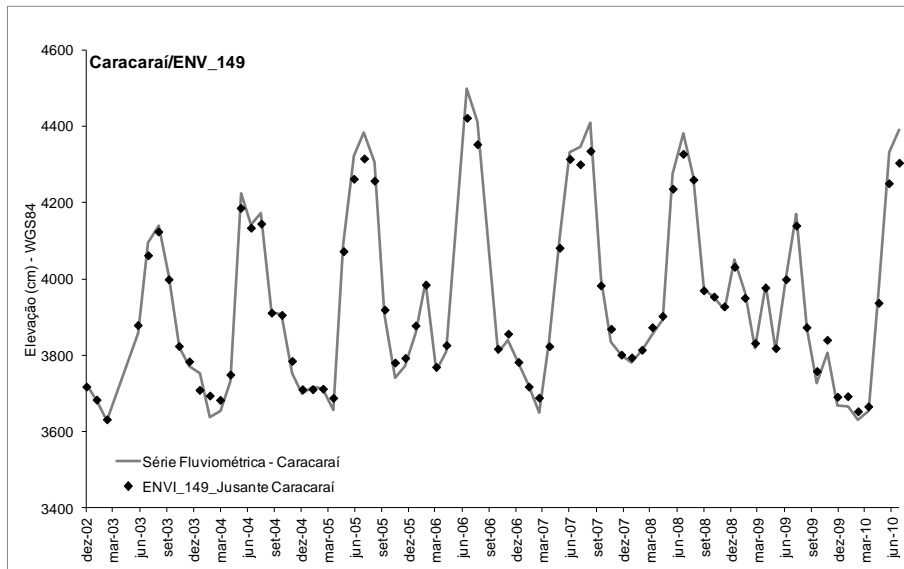


Figura 3: Série de dados altimétricos (pontos) sobrepostos aos cotogramas (linhas) observado nas estações convencionais utilizadas como referência.

Os dados de altimetria radar apresentaram boa distribuição temporal, com registros do nível dos rios nos diferentes períodos hidrológicos. Visualmente observou-se que as discrepâncias entre as medições de campo e de satélite ocorreram mais nos períodos de cheia e seca no Rio Branco. No Rio Jamari as discrepâncias concentraram-se mais nos períodos de seca.

### **Avaliação do nível dos rios estimados pela altimetria radar**

Na avaliação dos dados foram utilizadas as estações convencionais localizadas o mais próximo possível das estações virtuais definidas, pois conforme observado em trabalhos anteriores as características geomorfológicas do canal e a distância entre as estações (virtual e convencional) pode ter grande influência sobre os resultados obtidos (HERNANDEZ et al. 2009; SILVA et al. 2013). Neste trabalho a distância entre as estações virtuais e estações convencionais variou de 10 a 52 km, e a largura do rio no traço do radar altímetro variou entre 1,25 a 18 km (Tabela 6).

Tabela 6 – Largura da seção e distância entre as estações comparadas

<b>Estação Convencional (a)</b>	<b>Estação virtual (b)</b>	<b>Seção do rio na estação virtual</b>	<b>Distância entre estações (a) - (b)</b>
Boa Vista	ENVI_607_Montante Caracaraí	1,5 km	26 km
Caracaraí	JA2_152_Montante Caracaraí	1,25 km	52 km
Caracaraí	ENVI_149_Jusante Caracaraí	1,6 km	31 km
Santa Maria do Boiaçu	JA2_241_Jusante Boto	1,36 km	10 km
UHE Samuel	ENV_035_UHE Samuel	7 km	23 km

Foi possível analisar 408 estimativas altimétricas em quatro pontos no Rio Branco. A maior quantidade de medições foi obtida pelo satélite JASON-2 na estação virtual JA2\_152\_Montante Caracaraí, com 183 estimativas altimétricas. Os resultados obtidos na avaliação da precisão dos dados altimétricos mostraram RMS inferiores a 40 cm em três das quatro estações analisadas (Tabela 7). Esses valores são próximos daqueles obtidos em trabalhos anteriores para diferentes rios da bacia Amazônica (CONCHY et al, 2011; COSTI, 2012; HERNANDEZ et al, 2009; SILVA et al, 2013).

Tabela 7 – Resultados da validação das cotas entre as estações convencionais e virtuais.

<b>Estação Convencional</b>	<b>Estação virtual</b>	<b>RMS (cm)</b>
Boa Vista	ENVI_607_Montante Caracaráí	29,1
Caracaráí	JA2_152_Montante Caracaráí	103,8
Caracaráí	ENVI_149_Jusante Caracaráí	31,3
Santa Maria do Boiaçu	JA2_241_Jusante Boto	36,1
UHE Samuel	ENV_035_UHE Samuel	12,0

No Rio Branco, o menor RMS foi identificado na estação virtual ENVI\_607\_Montante Caracaráí, em comparação com as observações da estação convencional de Boa Vista. Por outro lado, a maior discrepância foi observada na estação virtual JA2\_152\_Montante Caracaráí em comparação com as observações da estação convencional mais próxima (Caracaráí). A elevada discrepância observada nesta estação virtual pode ser relacionada à contribuição de descarga líquida do Rio Mucajaí, afluente da margem direita do Rio Branco, localizado entre as cidades de Boa Vista e Caracaráí.

No Rio Jamari foram analisados 82 medições altimétricas extraídas do satélite ENVISAT durante um período de oito anos. O resultado do RMSE obtido na avaliação da precisão dos dados altimétricos na estação virtual ENV\_035\_UHE Samuel foi de 12 cm, tendo como referências as medições da operadora do reservatório. Melhores medições foram obtidas nos dados altimétricos com aquisição nos períodos de cheia e de vazante do Rio Jamari. Por outro lado, as maiores discrepâncias ocorreram no período de seca e de enchente.

Não foi possível identificar no Rio Branco um padrão nas precisões obtidas em função do período hidrológico. Por exemplo, no alto curso deste rio foi observado que a estação virtual ENVI\_607\_Montante Caracaráí possui maior erro no período de vazante e melhores estimativas na seca, usando como referência os dados da estação convencional Boa Vista. Já no baixo curso do Rio Branco, a estação JA2 241 Jusante Boto tem melhores estimativas altimétricas nos dados registrados durante o período de vazante do rio e baixa precisão no período de enchente.

Tabela 8 – Distribuição do RMS por período hidrológico.

Período hidrológico	Vazante		Seca		Enchente		Cheia	
	Dados	RMS	Dados	RMS	Dados	RMS	Dados	RMS
Boa Vista_ENV607MoCaracaráí	15	43,42	27	22,46	10	23,18	8	23,47
Caracaráí_JA2152MoCaracaráí	47	79,35	74	125,69	30	92,44	32	88,30
Caracaráí_ENV149JuCaracaráí	17	29,53	33	21,77	12	24,14	14	51,33
Santa M. do Boiaçu_JA2241JuBoto	27	29,15	35	37,58	12	45,03	14	35,60
UHE Samuel_ENV035Samuel	22	0,12	26	0,20	12	0,19	22	0,12

Em alguns casos a discrepância entre os valores medidos em campo e dados da altimetria radar pode estar associada às características físicas ou topográficas a região analisada (HERNANDEZ et al., 2009). Em outras situações, a precisão obtida pode estar relacionada a erros no processamento dos dados altimétricos. Neste trabalho as variáveis que podem ter maior influência na precisão de medições altimétricas são: (i) a distância entre a estação virtual e a convencional, (ii) a geometria do canal, (iii) o tipo de regime hidrológico e (iv) variação diária de nível em cada rio. No caso do Rio Branco, o regime hidrológico embora apresente períodos bem definidos de enchente, cheia, vazante e seca, apresenta também, em algumas regiões, uma grande variação diária de nível, superior ao que foi observado no reservatório da UHE de Samuel, no Rio Jamari.

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que a altimetria radar encontra-se consolidada para o monitoramento de recursos hídricos na Amazônia, como lagos de reservatórios e rios. Foi possível comparar e avaliar a qualidade de dados altimétricos sobre dois rios da bacia Amazônica, cujos cursos estão em hemisférios diferentes e com comportamento hidrológicos distintos.

Os resultados mostraram que existe uma grande concordância entre as medições altimétricas e as medidas de campo. Dados altimétricos obtidos sobre o Rio Jamari apresentaram melhor precisão em relação aos dados altimétricos do Rio Branco, ou seja, o desempenho das medições dos satélites altímetros foi melhor em rios com o regime controlado e com pouca amplitude na variação diária de nível. Esta pesquisa indica a necessidade de estudos mais detalhados para análise da qualidade das medições altimétricas em função do período hidrológico do rio Branco.

Entre as vantagens observadas no uso da altimetria radar, destacamos que esta tecnologia pode suprir a falta de informações existentes em diversas áreas na bacia Amazônica. O que possibilita completar séries históricas convencionais em períodos onde tenha ocorrido falhas na coleta de dados, além de permitir avaliar o trabalho realizado pelos de campo.

Em outras situações, as estações virtuais podem superar a ausência de recursos humanos e financeiros para obter dados sobre nível dos rios de forma convencional. Por outro lado, a principal desvantagem da altimetria radar é a resolução temporal de algumas missões, onde estas podem ter um período de revisita de até 35 dias para obter uma medição sobre o mesmo ponto. Ademais, as missões de sensoriamento remoto possuem um tempo de vida útil e necessitam de novos satélites para realizar aquisição de dados com configurações semelhantes, a exemplo do satélite SARAL/ALTIKA, que possui uma órbita que permite a continuidade na aquisição de dados altimétricos do satélite ENVISAT.

Conforme destacado anteriormente, o uso desta técnica é uma alternativa para complementar a rede de monitoramento existente na Amazônia, e com isso, possibilitar maior suporte à tomada de decisões e à implantação de políticas públicas que visem o uso adequado dos recursos hídricos, bem como a diminuição dos impactos oriundos de eventos extremos de cheia e seca na região.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a FINEP, Financiadora de Estudos e Pesquisas, pelo apoio financeiro do Projeto IHESA (Iniciativa de Hidrologia Espacial Amazônica), a Agência Nacional de Águas (ANA), ao Projeto PIRAHIBA e ao ORE-HYBAM pela disponibilização dos dados hidrológicos. Ao CTOH por disponibilizar os dados altimétricos do satélite ENVISAT. A Dra. Giana Márcia dos Santos Pinheiro (ANA) pelo apoio na manipulação do programa VALS. A Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo apoio ao projeto de iniciação científica – PIB-E/0024/2014.

## **REFERÊNCIAS**

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Evolução da rede hidrometeorológica na região hidrográfica amazônica. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/RHAmazonica.pdf>> Acesso em: 31 de março de 2014.

BIRKETT, C. M.; MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; COSTA, M. H.; JASINSKI, M. J. Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. D20, p. 8059 - 8080, 2002

BITTENCOURT, M. M.; ARMANDIO, S. A. Proposta para Identificação rápida dos períodos hidrológicos em áreas de várzea do rio Solimões – Amazonas nas proximidades de Manaus. *ACTA Amazônica*. v. 37, n. 2, p. 303 - 308, 2007.

CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface waters from satellite altimetry. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 338, p. 1113 - 1122, 2006.

CONCHY, T. S. X.; SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F. Caracterização da variabilidade espacial e sazonal do regime hidrológico da bacia do rio Japurá com aplicação de altimetria espacial. In: XIX

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Maceió, *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió: SBRH, 2011. p.1 - 20.

COSTI, A. C. Z. *Avaliação de dados altimétricos de níveis de água adquiridos por satélite ENVISAT na bacia amazônica*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 141p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. Bacia Hidrográfica do Rio Branco/RR – Estudos de Inventário Hidroelétrico. Relatório Final, Volume 8/9 – Apêndice de Estudos Socioambientais, Tomo 1/4. 2010.

FEARNSIDE, PHILIP M. Brazil's Samuel Dam: Lessons for Hydroelectric Development Policy and the Environment in Amazonia. *Environmental Management*. v. 35, n. 1, p. 1 - 19, 2005.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FREITAS, M. A. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. In: RIVAS, A. e FREITAS, C. E. C. (Orgs.) *Amazônia uma perspectiva interdisciplinar*. Manaus: EDUA, 2002, Capítulo 2, p.33 - 53.

HERNÁNDEZ, J. G. L.; MEJIA, J. R.; VARGAS, V. Series temporales de niveles de agua em estaciones virtuales de la cuenca amazónica a partir de la altimetria radar por satélite. *Revista ingeniera e investigacion*. v. 29, n. 1, p. 109 - 114, 2009.

PINTO, N. L. de S. *Hidrologia básica*. São Paulo: E. Blucher, 1976. 278 p.

SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; ROTUNNO FILHO, O. C.; COCHONNEAU, G.; MANSUR, W. J. Water levels in the Amazon basin derived from the ERS 2 and ENVISAT radar altimetry missions. *Remote Sensing of Environment*. v. 114, p. 2160 - 218, 2010.

SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F. Variabilidade espacial do nível d'água na Bacia Amazônica durante eventos extremos. In: BORMA, L. de S.; NOBRE, C. (Orgs.) *Secas na Amazônia: Causas e consequências*. São Paulo: Oficina de textos, 2013. Capítulo 14, p. 209 - 242.

VALS. Virtual Altimetry Station. Versão 1.4, maio de 2011. Disponível em: <<http://www.ore-hybam.org/index.php/por/Software/VALS>> Acesso em: 31 de março de 2014.