

**CARACTERIZAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO JUTAÍ  
COM APLICAÇÃO DE ALTIMETRIA ESPACIAL**  
**CHARACTERIZATION OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE JUTAÍ  
RIVER BASIN WITH THE APPLICATION OF SPATIAL ALTIMETRY**

Simone Barbosa de Oliveira. (1)

Fernando Mucusete. (2)

Tierre de Almeida dos Santos. (2)

Dr.C. Joecila Santos da Silva. (4)

Dr.C. Carlossandro Carvalho de Albuquerque. (5)

Dr. C. Iêda Hortêncio Batista. (6)

1. CESP/Universidad del Estado de Amazonas. Brasil. sbdo.mgr23@uea.edu.br
2. CESP/Universidad del Estado de Amazonas. Brasil. fm.mgr23@uea.edu.br
3. CESP/Universidad del Estado de Amazonas. Brasil. tdads.mgr22@uea.edu.br
4. CESP/Universidad del Estado de Amazonas. Brasil. jsdsilva@uea.edu.br
5. CESP/Universidad del Estado de Amazonas. Brasil. cscarvalho@uea.edu.br
6. CESP/Universidad del Estado de Amazonas. Brasil. ibatista@uea.edu.br

## RESUMO

A altimetria apresenta a capacidade de ingressar em regiões de difícil acesso e monitorar as variações de altura das águas continentais. Uma vantagem clara é o fornecimento de dados onde as medidas tradicionais estão ausentes. Neste estudo foi realizado uma avaliação do conjunto de dados dos satélites Jason-2, Jason-3 e Jason CS-Sentinel 6, apresentada para os 15 anos analisados no Rio Jutaí. Com um conjunto de 5 estações virtuais, observou-se a variabilidade da altura de água, refletindo a clareza das variações em vez de limitações das medidas. O regime hidrológico caracteriza-se por ser um período de inundação multimodal, ascensão rápida e lenta recessão. O período de seca ocorreu durante os meses de outubro a fevereiro, e o de cheia ocorrendo durante Maio a julho. Os resultados adquiridos da altimetria demonstraram êxito no monitorando de cheias transitórias deste rio em escala continental.

**Palavras-chave:** Cotagramas, Altimetria espacial, Monitoramento Hidrológico.

## ABSTRACT

Altimetry presents the ability to enter regions of difficult access and monitor variations in height of continental waters. A clear advantage is providing data where traditional measures are

lacking. In this, an evaluation of the data set of the Jason-2, Jason-3 and Jason CS-Sentinel 6 satellites was carried out, presented for the 15 years analyzed in the Jutaí River. With a set of 5 virtual stations, variability in water height could be observed, reflecting clarity of variations rather than measurement limitations. The hydrological regime is characterized by being a period of multimodal flooding, rapid rise and slow recession. The dry period occurred during the months of October to February, and the flood occurred during May to July. The results acquired from altimetry demonstrated success in monitoring transient floods in this river on a continental scale.

**Keywords:** Cotagrams, Radar Altimetry, Hydrological Monitoring

Recibido: 10/01/2024

Aprobado:22/02/2024

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural necessário à manutenção da vida e que ao longo dos anos tem contribuído com a evolução e o desenvolvimento socioeconômico. No entanto, essa contribuição transformou a água em um recurso de valor econômico e seu uso excessivo põe em risco sua manutenção e qualidade, deixando a segurança hídrica em estado preocupante de alerta.

O Brasil é bastante privilegiado ao possuir aproximadamente 12% das reservas de água doce do mundo (Bezerra e Munhoz, 2000). No entanto, este fato não evita problemas em relação à qualidade e à quantidade, visto que a maior parte, 80% destes recursos encontra-se na região norte, onde está situada a bacia Amazônica, com aproximadamente 7% da população. Este fato induz a um cenário que gera a necessidade imediata de uma gestão racional deste recurso, tanto para a manutenção da qualidade de vida de todos que dependem deste recurso, como para a produtividade econômica direta ou indireta. Se por um lado a água é um bem-dotado de valor econômico, obedecendo às leis de mercado, por outro lado seu caráter induz que haja uma normatização do seu uso, com legislação específica e atuação do poder público (Magrini e Santos, 2001).

A gestão brasileira dos recursos hídricos é prevista pela Lei Federal N. 9.433/97 (Lei das Águas), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNGREH). Conforme Pereira e Alves (2005) a referida Lei incorpora modernos instrumentos e princípios de gerenciamento de recursos hídricos e apresenta conceitos inovadores no que concerne à organização do setor de planejamento e gestão dos recursos hídricos, definindo a bacia hidrográfica como seu veículo de gestão.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), busca garantir a segurança hídrica e o desenvolvimento sustentável no Brasil, tendo como responsabilidade a implementação da PNRH, através de uma gestão compartilhada e integrada no âmbito do SINGREH, tendo no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), uma ferramenta computacional integrada e robusta.

O SNIRH aborda um sistema de registro, coleta, edição, armazenamento e recuperação de dados hidrológicos, bem como, fatores intervenientes para sua gestão (ANA, 2023). Divisão hidrográfica, quantidade e qualidade das águas, usos de água, disponibilidade hídrica, eventos hidrológicos críticos, planos de recursos hídricos, regulação e fiscalização dos recursos hídricos e programas voltados a conservação e gestão dos recursos hídricos são as informações disponíveis no SNIRH (ANA, 2023). O banco de dados do SNIRH é alimentado principalmente por estações pluviométricas e fluviométricas operadas pela ANA e por instituições parceiras.

Estudar a bacia Amazônica é um grande desafio, sua imensidão territorial, diversidade cultural e natural, pois as dificuldades de acesso e locomoção na floresta, inúmeras áreas alagadas e rios enormes, são algumas das principais dificuldades encontradas. A prioridade, em termos de conhecimento dos rios amazônicos, reside na caracterização de seus escoamentos hidráulicos (ou hidrodinâmicos), ou seja, a forma como o excedente de água se propaga dos rios para as áreas adjacentes.

Por conta disso, faz-se necessário a utilização de tecnologias que possibilitem um monitoramento eficaz e contínuo, propiciando observações e análises melhores do sistema hídrico como: dados pluviométricos, níveis da água em rios e lagos, medidas de vazões, qualidade da água, enchentes e vazantes. Porém toda tentativa de caracterização dos recursos hídricos na Amazônia sofre de carência de dados, uma vez que um sistema de monitoramento, que seja perene, homogêneo e que produza dados rapidamente acessíveis, necessita da coleta de várias informações, entre elas dados pluviométricos, observações dos níveis d'água dos lagos e rios e, de medidas de vazões, cujo custo de instalação é altíssimo (Alsdorf *et al.*, 2001).

Desta forma, torna-se uma opção utilizar os dados de satélites de observação da Terra. Essa tecnologia possibilita uma visualização em escala continental das superfícies, com maiores detalhes espaciais e temporais (Silva, 2010). A altimetria espacial é uma destas tecnologias e vem sendo empregada com bastante eficácia na bacia Amazônica. Esta tecnologia foi utilizada, inicialmente, para determinar a medida instantânea do nível dos oceanos, através da emissão de um pulso eletromagnético, em micro-ondas, no nadir do satélite. A partir do intervalo de tempo que separa a emissão da onda da recepção de um eco, pode-se estimar a altura da lâmina de água. Posteriormente, os satélites destinados a estudar os oceanos passaram a ser aproveitados, também, para investigar o nível de águas continentais, como alagados, rios, lagos e outros corpos hídricos (Silva *et al.*, 2010).

Assim, este trabalho tem como objetivo a aplicação da técnica de altimetria espacial, usando dados oriundos de satélite altimétrico Jason-2, Jason-3 e Jason-CS/Sentinel-6, no período de 2008 a 2023 para avaliação da variabilidade espaço-temporal do regime hidrológico do rio Jutai, que integra a bacia Amazônica, para auxiliar na gestão das águas Amazônicas.

## **2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **2.1 - Área de Estudo**

O rio Jutai é um rio de águas pretas da bacia Amazônica, que possui 1.050 km de comprimento, recebe tributários de água branca, tornando-se pardo próximo à estas confluências (Brasil, 2011). É um rio de ampla dimensão que apresenta muitos desafios em seu monitoramento, pois

está localizado em uma floresta equatorial que apresenta várias áreas alagadas e inúmeros lagos e rios (Figura 1).

Nasce no sul do território indígena do Vale do Javari e segue na direção SO-NE paralelo aos rios, Jundiatuba à oeste e Juruá à leste, com exceção do trecho entre o rio Biá e o rio Pati, quando ocorre com direção S-N, seu curso sinuoso vai sofrendo retificação mais nítida após a confluência do rio Pati, à medida que se aproxima da foz. Nessa planície o lago Jurará, área de uso da Comunidade São Raimundo do Piranha, é o único lago de meandro do calibre do rio Jutai. Todos os outros lagos também são do tipo de meandro, mas, provavelmente, tiveram origem nos paranás que cortam a planície. As ilhas formadas pelos paranás apresentam canais fluviais desordenados e lagos de meandro ou de várzea. Os paranás são meândricos, caracterizando-se por mais de duas ligações com o rio (BRASIL, 2011).

Seus principais afluentes são os rios Mutum com 320 km, Boia e Bia com 470 km e Zinho, o Riozinho com 430 km. Seu curso médio contorna o território indígena rio Bia à oeste e a reserva ecológica Jutai-Solimões na parte baixa.

Figura 1 – Localização das Estações Virtuais no Rio Jutai. Mosaico de imagens Google Earth em segundo plano.



Fonte: Oliveira, 2023.

As estações selecionadas para o estudo estão ao longo do Rio Jutai e forneceram os dados altimétricos utilizados neste trabalho.

## 2.2 - Dados

Neste trabalho utilizaram-se os dados dos satélites Jason-2, Jason-3 e Jason CS-Sentinel 6, empregando-se o algoritmo *standard* de tratamento de FO *Ice-1*. Os dados altimétricos fazem parte da Rede de Monitoramento Altimétrico do Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA) disponíveis na base de dados Hydroweb, da plataforma THEIA-CNES (<http://hydroweb.theia-land.fr/?lang=en&>), conforme Tabela 1.

Tabela 01 – Estações virtuais utilizadas no rio Jutai.

Nome da Estação Virtual	Latitude (°)	Longitude (°)	Cota Média Mínima (M)	Cota Média Máxima (M)	Amplitude Média (M)	Distância da Foz (Km)
JUTAÍ_124_4	-5.7444	-69.3827	1,99	9,92	7,93	3291
JUTAÍ_124_3	-5.7027	-69.3679	2,99	9,91	6,92	3278
JUTAÍ_124_7	-3.5511	-67.4751	4,53	9,47	4,94	2547
JUTAÍ_124_6	-3.4901	-67.4966	4,52	9,47	4,95	2531
JUTAÍ_124_5	-3.4266	-67.5189	4,52	9,47	4,995	2513

Fonte: Oliveira, 2023.

Os dados informados nesta tabela mostram as cotas máximas e mínimas que o Rio Jutai apresentou durante o período analisado.

## 2.3 - Métodos

### Elaboração das Estações Virtuais

A elaboração da estação virtual (EV) é fundamentada na convergência de um traço do satélite altimétrico com os corpos hídricos na superfície terrestre para assim se obter uma série temporal da altura do plano de água (Silva, 2010; Calmant e Seyler, 2006). Para a criação das EVs foi utilizada a metodologia descrita por Silva *et al.* (2010), onde os dados altimétricos foram selecionados por meio do programa *Multi-mission Altimetry Processing Software* (MAPS, 2018) plotados através de um mosaico de imagem em segundo plano do programa *Google Earth* (Google Earth Pro, 2022). Através do modelo de ondulação geoidal EGM2008, desenvolvido por Pavlis *et al.* (2008), as alturas elipsoidais de nível de água, foram convertidas em alturas geoidais.

### Caracterização do regime hidrológico Cotagramas

A princípio, para a caracterização do regime hidrológico, foi obtida a representação gráfica das informações hidrológicas através de séries temporais com a altura da lâmina da água, a fim de verificar o comportamento das cotas altimétricas ao decorrer dos anos de registro do satélite, examinando a presença de regularidade e estacionariedade, assim como, a possível ocorrência de anomalias.

Para a montagem dos cotogramas, foram elaborados gráficos para cada série temporal por meio do cálculo das médias mensais anuais das cotas altimétricas a partir da ordenação, no Excel, dos dados de cotas altimétricas de forma que cada coluna representasse um ano e cada linha dessa coluna, um mês. Sendo assim, uma matriz de 12 linhas e  $N_a$  (número de anos) colunas foram formadas. De cada linha foi retirado seu valor médio, representando, assim, a cota altimétrica média daquele mês considerando todos os anos registrados, conforme equação 1.

$$\frac{\sum C}{n - 1}$$

Onde:

: cota altimétrica média mensal [m];  
 C: cota altimétrica do mês [m]; e :  
 número de registros do mês.

O gráfico foi elaborado colocando no eixo das abscissas os meses equivalentes ao período de um ano inteiro. No eixo das ordenadas foram distribuídas as cotas altimétricas médias mensais considerando todos os anos.

### Amplitude da Lâmina de água

Os valores de amplitude média da superfície da lâmina de água foram calculados conforme a Equação 2. Estes resultados foram obtidos com base nos dados dos cotogramas, sendo utilizados na avaliação da variabilidade do regime hidrológico em questão.

$$\bar{a} = \hat{a} - \hat{i} \quad (2)$$

Onde:

$\bar{a}$  : amplitude média [m];  $\hat{a}$  : cota máxima do cotograma [m];  
 $\hat{i}$  : cota mínima do cotograma [m].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A dinâmica anual de descarga dos rios tem sido apontada como o fator chave que caracteriza a sazonalidade da planície e do estuário amazônicos compostos por rios de águas brancas, pretas e claras. Filizola *et al.* (2002) consideram que a forte amplitude de variação do nível de água ao longo de um ciclo hidrológico na bacia Amazônica, gera inundações regulares de vastas zonas, denominadas localmente de várzeas que compreendem cerca de 300.000 km, localizadas nas margens dos principais grandes rios da bacia, que aumentam proporcionalmente à medida que também aumenta a área da bacia.

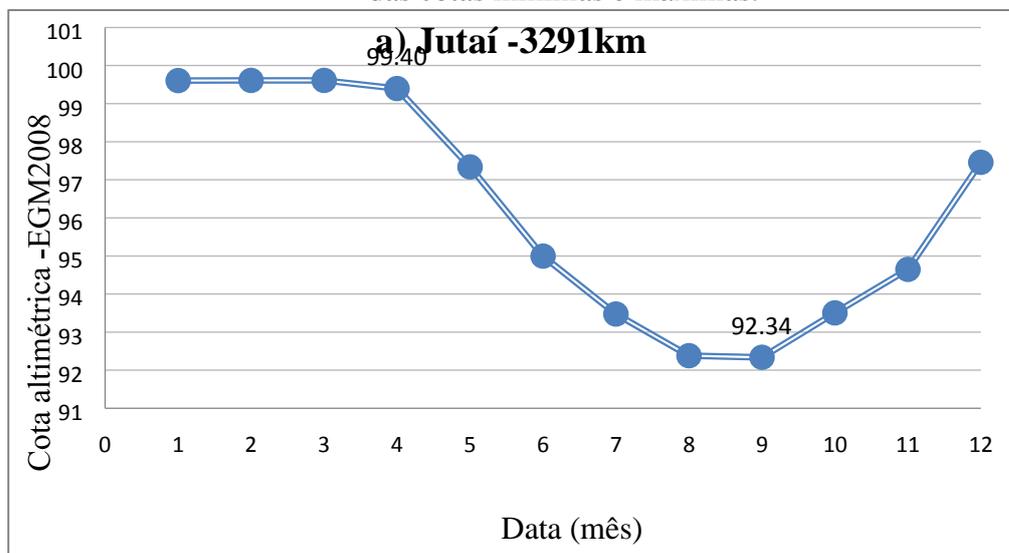
A enchente constitui-se de um processo natural, cíclico e sazonal. Contudo, em determinadas situações, tais eventos podem ocorrer de maneira extrema, provocando diversos prejuízos à população, devido a condições naturais ou interferências antrópicas. Na bacia Amazônica estes

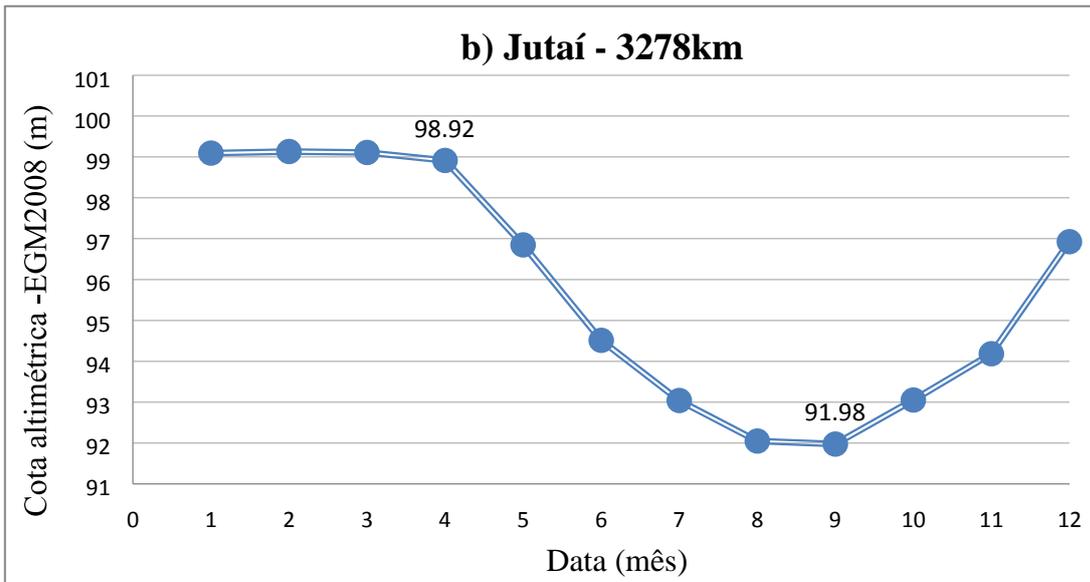
eventos têm se tornado mais recorrentes e com maior intensidade. Como estas as áreas ribeirinhas são comumente ocupadas pelos povos da Amazônia, por se utilizar do rio para locomoção, recreação, uso agrícola e escoamento da produção são importantes estudos que determinem essa variabilidade e sazonalidades das águas.

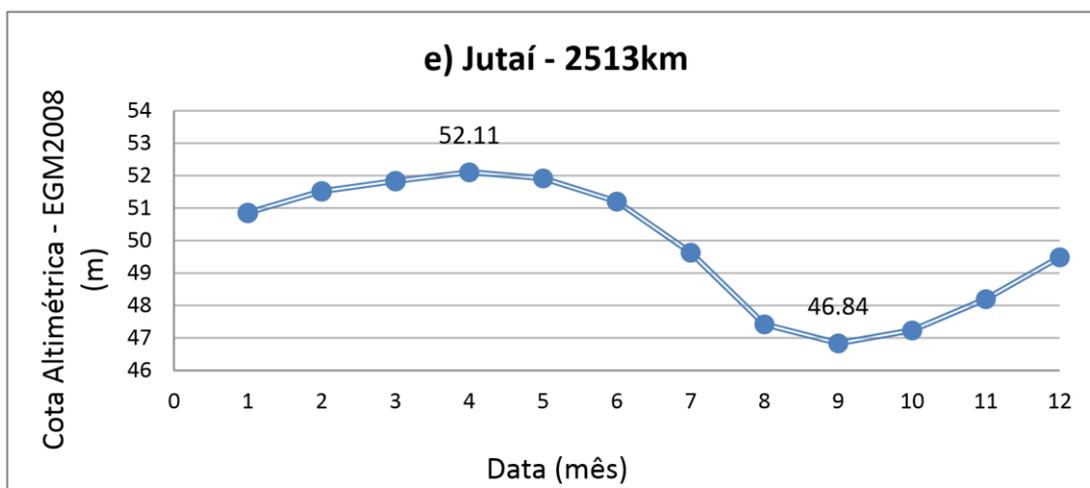
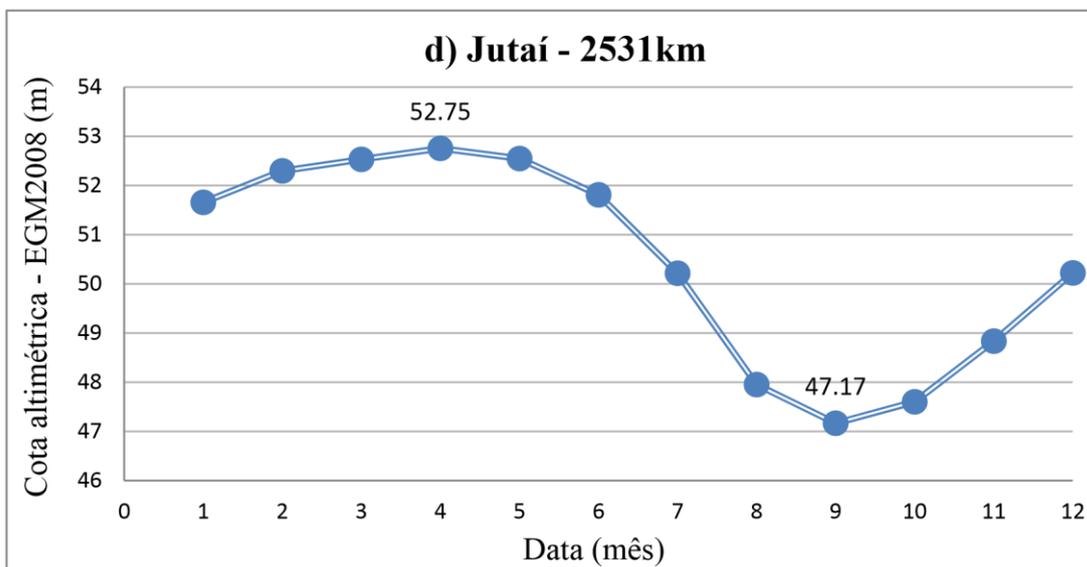
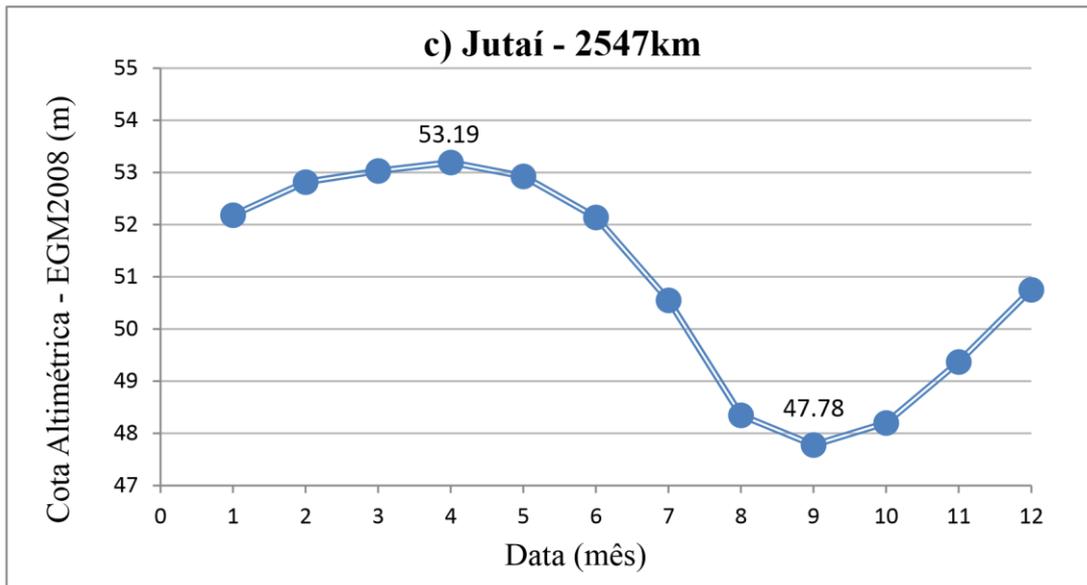
Para a caracterização do regime hidrológico e identificação de períodos sazonais foram elaboradas 5 estações virtuais sob varredura dos satélites Jason-2, Jason-3 e Jason CS-Sentinel 6 e seus respectivos cotogramas, ao longo da extensão do rio Jutai, conforme a Tabela 01. Utilizou-se métodos de estatística descritiva para a caracterização dos períodos hidrológicos, o qual possibilitou agrupamento e comparação dos dados altimétricos em um período de 15 anos de 2008 a 2023, sobre a dinâmica do rio.

A partir da análise dos cotogramas foi possível observar que o rio Jutai apresenta dois períodos hidrológicos bem definidos ao longo do ano, um período de estiagem que se inicia em maio podendo se estender até setembro, com as cotas mínimas encontradas mais frequentes nos meses de setembro e um período de cheia, que abrange de outubro a abril, onde as cotas máximas são encontradas mais frequentemente nos meses de abril. No cotograma a ascensão aumenta progressivamente com um único pico de cheia máximo ocorrendo ao longo do primeiro semestre, enquanto a recessão é mais acelerada.

Figura 02 – Cotogramas do rio Jutai referente ao período de 2008 – 2023 com identificação das cotas mínimas e máximas.







Fonte: Oliveira, 2023.

A partir da análise da Tabela 1 é possível observar que as amplitudes são variadas, com menor correspondendo a 4,94 m e o maior equivale a 7,93 m. Visto que, com o aumento da área de

drenagem, a contribuição combinada dos diversos tributários das margens direita e esquerda e o efeito regulador das zonas de inundação, a oscilação tende a apresentar um leve amortecimento e a amplitude entre os picos de descida e subida torna-se maior.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo objetivou a validação dos dados altimétricos do satélite Jason-2 Jason-3 e Jason CS-Sentinel 6, na bacia do rio Jutaí. Os dados altimétricos apresentados no trabalho mostram o regime hidrológico nas estações virtuais selecionadas apresentando um regime modal, com dois períodos hidrológicos bem definidos com suas sazonalidades bem definidas, recessões e ascensões assimétricas.

Os dados estimados pelos satélites mostraram-se eficientes para alcançar as medidas em regiões remotas e com ausência de dados *in situ*, como é o caso do rio Jutaí, amplificando os conhecimentos sobre o estudo dos níveis de água da bacia Amazônica, assim como suas variações espaciais e sazonais, podendo serem utilizados na gestão dos recursos hídricos seja para uso sustentável, conservação da quantidade e qualidade da água, e prevenção à eventos extremos.

A missão altimétrica SWOT (*Surface Water Ocean Topography*), lançada em dezembro de 2023 e em fase de calibração de seus dados, contribuirá para uma melhor compreensão dos oceanos e das suas águas superficiais terrestres, pois utilizará a altimetria interferométrica e um altímetro radar, fornecendo uma imagem bidimensional da faixa imageada, o que possibilitará aprimorar o monitoramento dos níveis de água, favorecendo a análise espacial no estudo da variabilidade hidrológica.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

O Presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – CAPES – Código de Financiamento 001, do Programa de Mestrado Profissional, em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°.2717/2015. Agradecimentos ao Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA) pela concessão de dados altimétricos distribuídos gratuitamente, na plataforma THEIA-CNES e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo apoio financeiro em forma de bolsa, disponibilizada para a primeira autora Simone Barbosa de Oliveira.

#### **6. REFERÊNCIAS**

ALSDORF, D. E; BIRKETT, C.; DUNNE, T.; MELACK, J.; HESS, L. Water level changes in a large Amazon lake measured with spaceborne radar interferometry and altimetry. *Geophysical Research Letters*, v. 28, n. 14, p. 2671-2674. doi: <https://doi.org/10.1029/2001GL012962>. 2001.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: informe anual/ Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA.

105p. 2023. Disponível em: <file:///C:/Users/joeci/Downloads/Conjuntura%202022.pdf>. Acesso: 11 de agosto de 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Plano de Manejo da Reserva Extrativista do Rio Jutai.; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Tefé - AM, Abril de 2011. 2011.

BEZERRA, C. L.; MUNHOZ, T. M. T. Gestão dos recursos naturais: subsídios à elaboração da agenda 21 Brasileira. Brasília: MMA/TC/BR/FUNATURA, 200p. 2000.

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

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; MOLINIER, M.; GUIMARÃES(4), V.; OLIVEIRA(4), E.; FREITAS, M. A. Caracterização Hidrológica da Bacia Amazônica. In: RIVAS, A.; FREITAS, C. E. C. *Amazônia uma perspectiva interdisciplinar*. Ed. EDUA, pp.33-53, Manaus, Brasil. 2002.

GOOGLE EARTH PRO. Google Earth Pro, versão 7.3.6.9345. Google Inc. 2022. MAPS. Multi-mission Altimetry Processing Software, Versão 2.2, 2018.

MAGRINI A., DOS SANTOS M. A. Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas – Rio de Janeiro – ed. TUIG. 2001.

PAVLIS, N. K.; HOLMES, S. A.; KENYON, S. C.; FACTOR, J. K. 2012. *An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008*, 2008.

PEREIRA, D.S.P.; ALVES, R.F.F. Gestão dos recursos hídricos no Brasil, evolução e panorama atual: desafios. Estratégias e experiências. Brasília: SAMTAC, 74p. 2005

SILVA, J. S. *Altimetria Espacial em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica: Aplicações Hidrológicas*. Sarrebruck: Éditions Universitaires Européennes. 360p. ISBN: 978-613-152979-5, 2010.

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*, 114(10), 2160-2181. doi: 10.1016/j.rse.2010.04.020. 2010.