

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **UMA NOVA ESTAÇÃO DO OBSERVATÓRIO HYBAM NA REGIÃO ESTUARINA: UM ANO DE MEDIÇÃO EM TATUOCA (BELÉM)**

*Silvana do Socorro Carvalho Veloso<sup>1</sup>; Laurent Polidori<sup>2</sup>; Naziano Filizola<sup>3</sup>; Keila Cristina Pereira Aniceto<sup>4</sup>; Ednaldo Bras Severo<sup>5</sup>; Christelle Lagane<sup>6</sup>; Jonathan Prunier<sup>7</sup>; Saint Clair Campos Cardoso<sup>8</sup>; Matheus Dias de Aviz<sup>9</sup>; Jean-Louis Roujean<sup>10</sup>; Fabien Durand<sup>11</sup>; Leandro Guedes Santos<sup>12</sup>; Vincent Fauvelle<sup>13</sup>; Marcelo Merten Cruz<sup>14</sup>; Jean-Michel Martinez<sup>15</sup>*

**Abstract:** During the celebration of the 20th anniversary of the HYBAM (Hydro-geochemistry of the Amazon Basin) observatory in March 2024, it was decided to insert a new observation station in the estuarine region, complementing the measurements that have long been carried out in continental Amazonia. The new station, designed to monitor the functioning of the estuary under the influence of tides and salinity variations, is located between Belém and the island of Marajó, near the island of Tatuoca. This island, which hosts one of the two Brazilian stations for Earth's magnetic field measurement, is administered by the ON (Observatório Nacional), which provides logistical support for operating the HYBAM station. After a pressure sensor installation to monitor water height and a topographical survey of the island, preliminary work was carried out to calibrate the radiometric measurements of optical and thermal space sensors. Starting in April 2024, monthly data collections were carried out on Tatuoca using the HYBAM observatory protocols. Preliminary results are presented, including temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, salinity, turbidity, transparency (Secchi disc) and ions concentration. After one year, this estuarine extension of HYBAM meets expectations and future perspectives are being discussed, such as an evolution of the protocols, the extension to other measurements including environmental DNA and PFAS, and the contribution of estuarine measurements to the hydro-geochemical modelling of the Amazon basin.

**Resumo:** Durante a comemoração dos 20 anos do observatório HYBAM (Hidrogeoquímica da bacia amazônica), em março de 2024, ficou decidido inserir uma nova estação de observação na região do estuário, complementando as medições realizadas há muitos anos na Amazônia continental. A nova estação, projetada para monitorar o funcionamento do estuário sob a influência das marés e das variações de salinidade, está localizada entre Belém e a ilha de Marajó, nos arredores da ilha de Tatuoca. Essa ilha, que abriga uma das duas estações brasileiras de medição do campo magnético da Terra, é administrada pelo ON (Observatório Nacional) que oferece apoio logístico para o

1) Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, [silvana.veloso@ufra.edu.br](mailto:silvana.veloso@ufra.edu.br)

2) Universidade Federal do Pará, Belém, [laurent.polidori@ufpa.br](mailto:laurent.polidori@ufpa.br)

3) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, [nazianofilizola@ufam.edu.br](mailto:nazianofilizola@ufam.edu.br)

4) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, [keilaniceto@ufam.edu.br](mailto:keilaniceto@ufam.edu.br)

5) Universidade Federal do Amazonas, Manaus, [edsevero.geo@gmail.com](mailto:edsevero.geo@gmail.com)

6) Institut de Recherche pour le Développement, GET, Toulouse, França, [christelle.lagane@ird.fr](mailto:christelle.lagane@ird.fr)

7) Institut de Recherche pour le Développement, GET, Toulouse, França, [jonathan.prunier@ird.fr](mailto:jonathan.prunier@ird.fr)

8) Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, [saintclaircardoso.12@gmail.com](mailto:saintclaircardoso.12@gmail.com)

9) Universidade Federal do Pará, Belém, atualmente em Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, [mdaviz@apoioedhu.sp.gov.br](mailto:mdaviz@apoioedhu.sp.gov.br)

10) Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère, Toulouse, France, [jean-louis.roujean@univ-tlse3.fr](mailto:jean-louis.roujean@univ-tlse3.fr)

11) Institut de Recherche pour le Développement, LEGOS, Toulouse, França, [fabien.durand@ird.fr](mailto:fabien.durand@ird.fr)

12) Serviço Geológico do Brasil, Belém, [leandro.santos@cprm.gov.br](mailto:leandro.santos@cprm.gov.br)

13) Institut de Recherche pour le Développement, LEGOS, Toulouse, França, [vincent.fauvelle@ird.fr](mailto:vincent.fauvelle@ird.fr)

14) Universidade Federal do Pará, Belém, [marcelomcruz4@gmail.com](mailto:marcelomcruz4@gmail.com)

15) Institut de Recherche pour le Développement, GET, Toulouse, França, [jean-michel.martinez@ird.fr](mailto:jean-michel.martinez@ird.fr)

funcionamento da estação. Após a instalação de um sensor de pressão para monitoramento da altura da água e um levantamento topográfico da ilha, trabalhos preliminares foram realizados para calibrar as medições radiométricas dos sensores espaciais ópticos e térmicos. A partir de abril de 2024, foram realizadas coletas de dados mensais na estação de Tatuoca usando os protocolos do observatório HYBAM. Os resultados preliminares são apresentados, incluindo temperatura da água, pH, condutividade elétrica, total de sólidos dissolvidos, salinidade, turbidez, transparência (disco de Secchi) e concentração de íons. Depois de um ano, essa extensão estuarina do HYBAM atende às expectativas e perspectivas futuras estão sendo discutidas, como uma evolução dos protocolos, a ampliação a outras medições incluindo DNA ambiental e PFAS, e a contribuição das medições estuarinas à modelagem hidro-geoquímico da bacia amazônica.

**Palavras-Chave** – HYBAM, estuário, Tatuoca

## INTRODUÇÃO

O funcionamento hidrológico da bacia amazônica vem sendo monitorado há mais de 20 anos no âmbito do sistema de observação HYBAM, baseado em medições por satélite e estações de observação localizadas em toda a bacia.

HYBAM representa a única estrutura fornecendo um monitoramento hidrológico, sedimentar e geoquímico em estações permanentes localizadas em toda a bacia por mais de 20 anos. Em cada país onde a rede HYBAM opera na Amazônia, no Brasil, na Bolívia, no Peru, no Equador e na Guiana Francesa, as operações são realizadas por operadores nacionais e centros de pesquisas e os dados são compartilhados num banco de dado aberto ([hybam.obs-mip.fr](http://hybam.obs-mip.fr)). A rede HYBAM é financiada pelo IRD (Institut de Recherche pour le Développement), o CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) e a Universidade de Toulouse, além das contribuições financeiras e em recursos humanos de cada país e parceiro acadêmico regional. Promovendo protocolos similares entre países, os dados gerados pelo HYBAM permitiram evidenciar a aceleração de eventos extremos (Callède et al. 2004) e a extensão dos períodos de estiagem no sul da Amazônia (Villar et al. 2009), fornecer a primeira estimativa dos balances sedimentares dos principais rios amazônicos (Martinez et al. 2009, Vauchel et al. 2017), detectar eventos de contaminação devidos à extração petrolífera (Moquet et al. 2009) e estudar a geoquímica das águas e sedimentos por técnicas isotópicas (Santos et al. 2014), dados que foram utilizados para mapear a migração de peixes na bacia (Duponchelle et al. 2016). Porém, faltavam observações mais perto da costa para caracterizar melhor os fluxos de matéria saindo da bacia para o oceano, em particular para entender o papel do Rio Amazonas na biogeoquímica das águas do Atlântico tropical (Jouanno et al. 2021). Uma estação em Belém permite complementar a rede HYBAM, possibilitando entender a transferência de elementos geoquímicos, de contaminantes e de sedimentos para o oceano no estuário do rio Amazonas.

Neste contexto, ficou decidido inserir uma nova estação de observação na região do estuário, complementando as medições realizadas há muitos anos na Amazônia continental. A nova estação, projetada para monitorar o funcionamento do estuário sob a influência das marés e das variações de salinidade, está localizada entre Belém e a ilha de Marajó, nos arredores da ilha de Tatuoca.

Após uma breve apresentação da ilha de Tatuoca e do local de medição, apresentamos o trabalho realizado nos últimos anos, que confirmou o potencial do local para uma estação de observação permanente. Essas atividades incluem o início do monitoramento do nível da água, o levantamento topográfico da ilha de Tatuoca e sua aplicação à simulação de submersão marinha, e o estudo da resposta dos sensores espaciais em função da turbidez (Landsat, Sentinel-2) e da temperatura (calibração do satélite Trishna). A integração da nova estação no sistema de observação

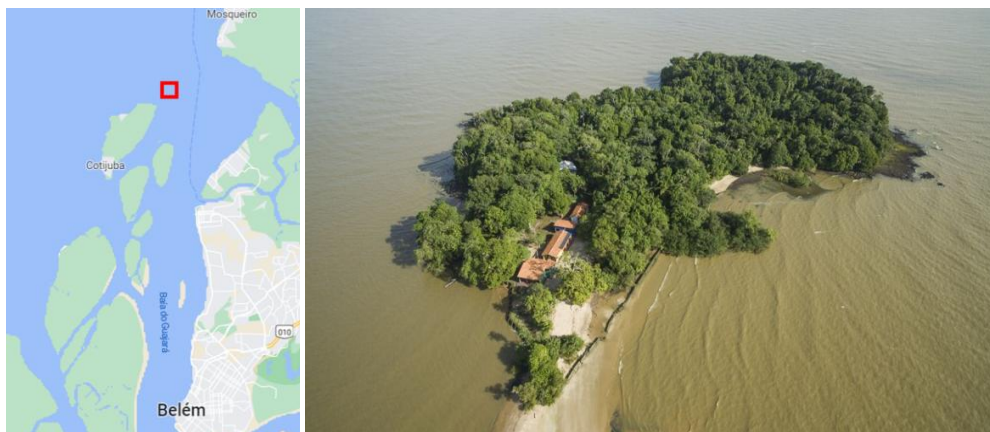
HYBAM é então abordada, com um destaque de como o HYBAM funciona, uma apresentação dos protocolos de coleta e análise de dados e os resultados preliminares obtidos na estação de Tatuoca. Por fim, como essa estação está apenas começando, várias perspectivas são consideradas: aprimoramento dos protocolos, abertura para medições de outras variáveis ambientais e, é claro, o trabalho de pesquisa que poderia ser baseado nas observações dessa nova estação.

## LOCALIZAÇÃO

A estação de observação está localizada no ponto de coordenadas  $1^{\circ} 12' 15''$  S,  $49^{\circ} 29' 47''$  W, próximo à ilha de Tatuoca no estuário formado pela confluência do rio Pará (formado pelo rio Tocantins e 5% do Amazonas), e da Baía do Guajará (formada pelos rios Guamá e Acará), a 10 km a jusante da cidade de Belém. A área é caracterizada por duas estações climáticas distintas: chuvosa (dezembro a maio) e menos chuvosa (junho a novembro); e por marés meso e macro semidiurnas, alcançando até 3,7 m de altura apesar de estar a 50 km da costa. Os processos hidrodinâmicos responsáveis pelo transporte de sedimentos, nutrientes e contaminantes biogeoquímicos, são condicionados pela maré e pelo ciclo sazonal de chuvas e vazões num ambiente tipicamente estuarino.

Tatuoca tem uma área de cerca de 5 ha. É a última ilha no extremo norte de um arquipélago localizado entre Belém e a ilha de Marajó, posicionada entre um canal de 15 metros de profundidade no lado direito e áreas rasas com média de 4 m de profundidade no lado esquerdo, perto da ilha de Cotijuba (figura 1).

Figura 1 – localização da ilha de Tatuoca perto da cidade de Belém, e vista aérea da ilha



A ilha de Tatuoca abriga uma das duas estações brasileiras de medição do campo magnético da Terra, sob a administração do Observatório Nacional em parceria com a UFPA (Universidade Federal do Pará, Belém) e a GFZ (GeoForschungsZentrum, Alemanha). Desde 1957, essa atividade científica mobiliza equipes técnicas que se revezam na ilha para garantir uma presença permanente. O funcionamento e a infraestrutura local oferecem condições favoráveis para a realização de outras atividades de pesquisa: possibilidade de hospedagem, eletricidade solar, conexão à internet, proximidade da cidade de Belém (30 minutos de voadeira), além do fato do local ser vigiado e inacessível ao público. Estas condições e o apoio do ON nos incentivaram a propor a instalação de experimentações na área de ciências da água, principalmente medições instrumentais locais e calibração de missões espaciais de observação de Terra. O sucesso das primeiras atividades justificou a criação de um ponto de observação neste local no âmbito do observatório HYBAM, com o objetivo de entender melhor a dinâmica geoquímica e sedimentológica da região estuarina.

## TRABALHOS PRELIMINARES

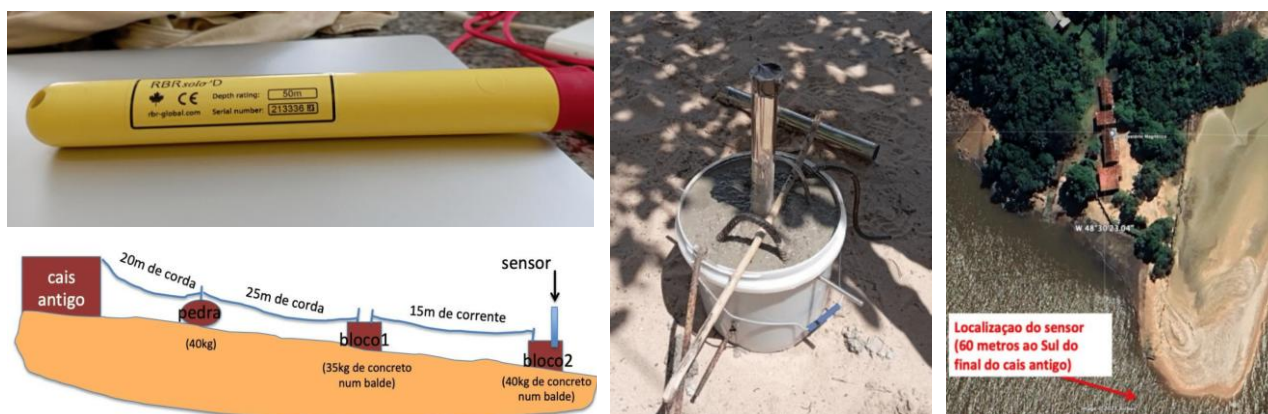
Antes da escolha de Tatuoca como estação do observatório HYBAM, foram realizados alguns trabalhos preliminares que confirmaram o potencial do local para uma atividade científica contínua.

### Monitoramento da altura da água

Um dispositivo de monitoramento autônomo do nível da água foi instalado na ilha de Tatuoca. Um sensor de pressão RBR SOLO3D foi colocado dentro de um tubo inox e submerso com um bloco de concreto a 60 m de um enrocamento (figura 2), numa profundidade que garante a submersão em todas condições (inclusive maré baixa de syzygia durante períodos de seca). As medições são gravadas a cada 5 minutos desde 15/08/2023, e começaram a ser utilizadas, individualmente ou acopladas a um modelo hidrodinâmico, para responder a questionamentos científicos relacionados com as variações no nível da água:

- ✓ as características da maré no estuário, ou seja as amplitudes e fases de cada constituinte principal de maré (em particular : M2, S2, MS4, MSf, M4, S4, Mm);
- ✓ a mudança sazonal e interanual dessas características, assim como a dinâmica dessas mudanças e o papel das mudanças sazonais da descarga do Pará-Tocantins e do nível do Oceano Atlântico;
- ✓ as características dos eventos extremos no estuário em termos de sazonalidade, magnitude e forçantes principais (vento, pressão, intrusão de água remota do oceano atlântico).

Figura 2 – o sensor de pressão e o dispositivo de amarração (esquerda); o bloco contendo o sensor (centro) e sua localização na ilha (direita)

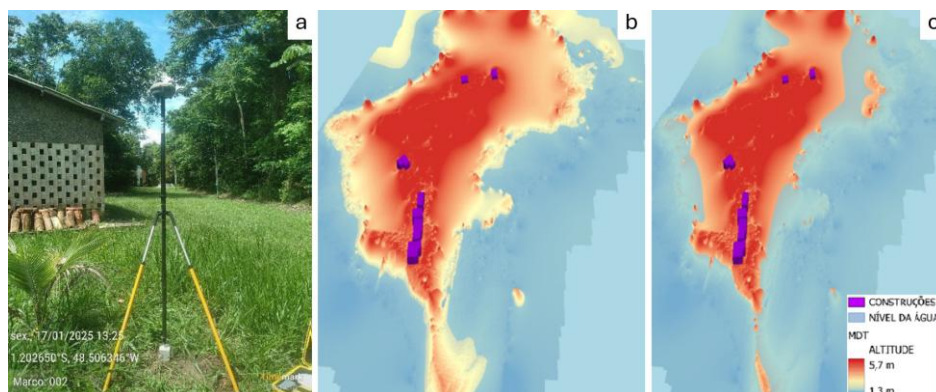


### Levantamento topográfico da ilha

Um levantamento topográfico da ilha de Tatuoca foi realizado. Dois pontos de referência foram materializados com marcos geodésicos de concreto, e localizados após 4 horas de observação por GNSS (figura 3a). Outros 10 pontos foram selecionados na ilha e nas praias para serem os alvos de controle de um mosaico de imagens obtidas por drone. O voo foi feito em condições de maré baixa para abranger a maior extensão de terra. Devido à presença de floresta na ilha, o levantamento fotogramétrico teve que ser complementado pelo levantamento de pontos adicionais com uma estação total, abaixo da copa das árvores onde a coleta do drone não alcançava. Com isso, obteve-se a informação que a ilha se encontra cerca de 3 a 5 metros acima do nível médio do mar. Simulações feitas em computador permitiram visualizar o impacto da elevação do nível dos oceanos em termos de redução da área da ilha (figura 3b-c).



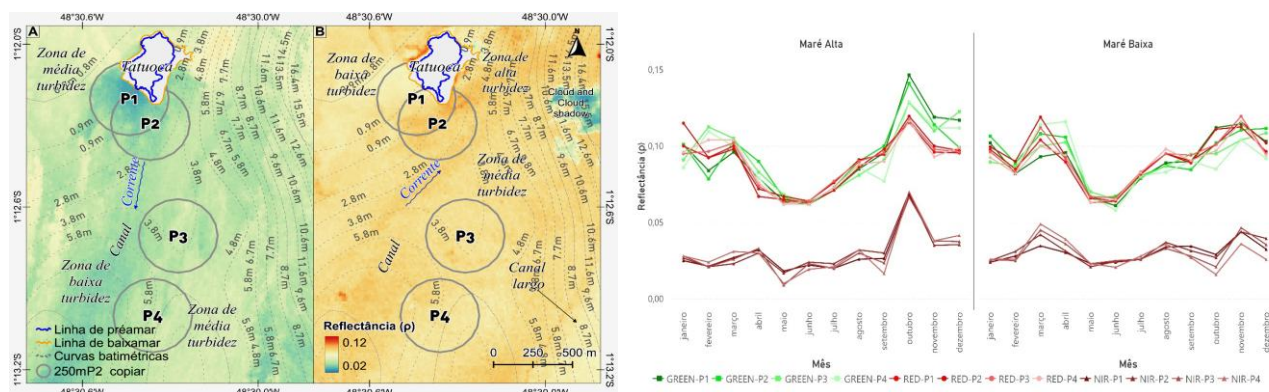
Figura 3 – localização por GNSS de um marco geodésico (a) e simulação da elevação do nível médio dos oceanos com um aumento de 3 m (b) e 4 m (c)



### Calibração da radiometria óptica (cor da água)

A cor da água por ser utilizada para caracterizar a natureza e a concentração de matéria em suspensão, usando medições radiométricas feitas por satélites. A correlação entre as medições de refletância e a concentração não é universal e pode diferir entre diferentes sensores e diferentes ambientes aquáticos. No caso do estudo de viabilidade sobre a instalação de uma estação de observação HYBAM no estuário, um trabalho de calibração foi realizado nas águas do estuário usando imagens Landsat-8, Landsat-9 e Sentinel-2 (figura 4). O estudo se concentrou especialmente nas variações espaciais e temporais da cor da água, que permitem caracterizar a dinâmica do transporte de sedimentos, bem como o nível de precisão necessário na concordância espacial e temporal entre a medição do satélite e a coleta de amostras de água (Aviz et al. 2024).

Figura 4 – imagens de refletância obtidas com dados do Sentinel-2 em julho (A) e dezembro (B) de 2023 (esquerda); perfil temporal da refletância (bandas verde, vermelha, infravermelha) em condição de maré alta e baixa (direita).



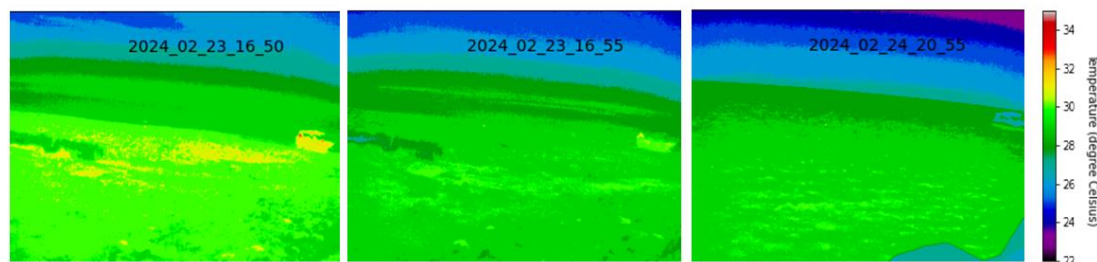
### Calibração da radiometria termal

Como parte dos preparativos para a missão espacial franco-indiana TRISHNA de sensoriamento remoto térmico, que será lançada no início de 2027, estudos são realizados para consolidar nosso conhecimento sobre as mudanças de temperatura nos diferentes ambientes terrestres, e para preparar a validação dos produtos da missão TRISHNA (Roujean et al. 2021). Um dos temas que levou à definição das características instrumentais e orbitais da missão TRISHNA diz respeito a águas continentais, estuários e oceano costeiro, principalmente em regiões tropicais onde grandes rios coexistem com áreas com déficit hídrico significativo.

Em fevereiro de 2024, uma câmera térmica com amplo campo de visão foi instalado por 24 horas no píer da ilha de Tatuoca para gravar imagens da superfície da água. Com resolução

submétrica, o objetivo era medir as flutuações na temperatura do estuário de acordo com as correntes, marés e após uma tempestade. Os resultados mostraram que a SST (temperatura da superfície do mar) não era homogênea devido às correntes até 100 metros, com a presença de gradientes térmicos tênues. A chuva fez com que a SST caísse de até 4°C em alguns lugares, e demorou várias horas para voltar à temperatura inicial (figura 5).

Figura 5 – temperaturas obtidos a partir de uma câmara termal instalada no cais de Tatuoca, antes (esquerda) e depois (centro) de uma chuva forte, e volta à uma situação estável depois de 4 horas (direita).



Esse trabalho é complementar a outras missões espaciais, como SWOT e Sentinel-2, que se concentram na altimetria e na turbidez, respectivamente, envolvendo observações in situ projetadas para calibrar no mesmo local as medições de satélite, que juntas contribuirão para uma melhor compreensão do funcionamento da bacia amazônica em sua parte estuarina.

## PRIMEIRA ESTAÇÃO ESTUARINA DO OBSERVATÓRIO HYBAM

O funcionamento hidrológico da bacia amazônica vem sendo monitorado há mais de 20 anos no âmbito do sistema de observação HYBAM, baseado em medições por satélite e estações de observação localizadas em vários rios da bacia, para fundamentar informações de base sobre mudanças climáticas e impactos das atividades antropogênicas relacionados a qualidade da água. Até 2024, o observatório HYBAM contava com 7 estações de observação no Brasil: Manacapuru, Serrinha, Caracará, Porto Velho, Borba, Itaituba e Óbidos. As estações de Lábrea e Tabatinga que funcionavam anteriormente, tinham sido desativadas. Durante a comemoração dos 20 anos do observatório HYBAM, organizada em Brasília em março de 2024, foi decidido inserir uma nova estação de observação na região do estuário, complementando as medições realizadas há muito tempo na Amazônia continental. O novo ponto de coleta, localizado próximo à ilha de Tatuoca, no estuário da bacia amazônica, é assim o ponto mais a jusante da rede de observações do HYBAM.

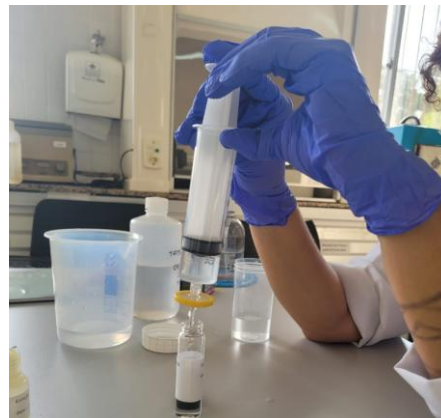
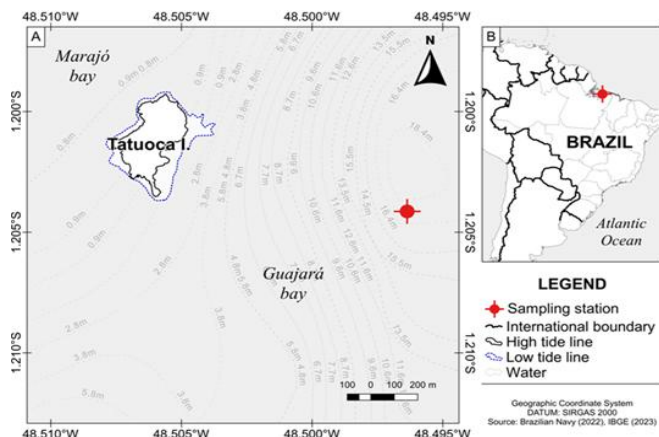
A localização exata do ponto foi definida em uma campanha de reconhecimento da área, no dia 10 de abril de 2024, por representantes da UFAM (Universidade Federal do Amazonas, Manaus), do GET (Géosciences Environnement Toulouse) e da UFRA (Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém). Iniciou-se então a primeira coleta de dados. A localização do ponto de amostragem da estação de Tatuoca é apresentada na figura 6.

O deslocamento ao ponto de coleta é realizado na voadeira da equipe do Observatório Nacional. As amostragens são feitas mensalmente, em torno do dia 10 de cada mês, sempre no período da manhã, por volta das 9h, por questões de logística e de segurança. A logística de coletas mensais é inserida na programação de troca da equipe do ON que trabalha na ilha.

In loco são realizadas medições de parâmetros ambientais: pH, condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidade (PSU), turbidez (NTU), total de sólidos dissolvidos (mg/L) e transparência da água (Secchi) com o auxílio de uma sonda multiparamétrica HANNA, modelo HI9829. Também são anotadas as condições meteorológicas e a altura de maré extraída de modelo.

Figura 6 – localização do ponto de amostragem da estação de Tatuoca (esquerda)

Figura 7 – filtração da amostra (direita)



A amostragem é realizada em garrafa de polietileno de capacidade de 500 mL, previamente limpa e preparada conforme protocolo HYBAM. A amostra de água coletada é levada para o laboratório de ciências ambientais (LCA) da UFRA para filtração utilizando seringa de 50 mL de filtro de 0,22 µm.

A amostra filtrada é acondicionada em frascos separados para análise (figura 7). As alíquotas são enviadas para os laboratórios de geociências da UFAM (Manaus) e do GET (Toulouse) para análise de íons maiores ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) e menores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), carbono orgânico dissolvido, sílica (Si) e traços (Li, B, Mg, Al, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni).

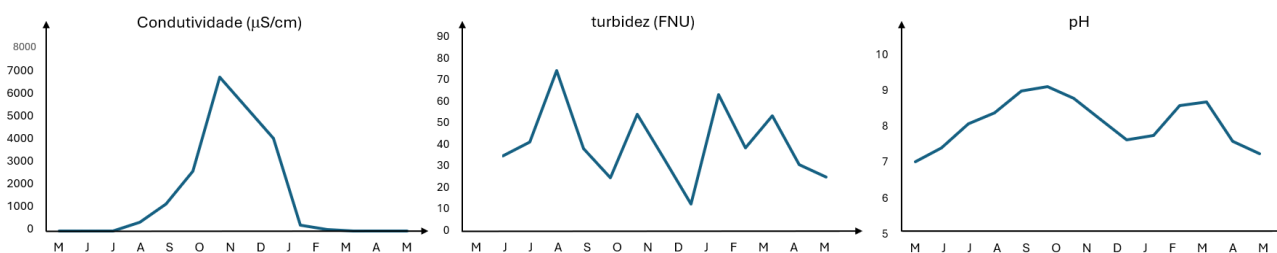
## Primeiros resultados

A série preliminar de parâmetros ambientais medidos in loco durante a coleta é apresentada na tabela 1 e as variações mensais de condutividade, turbidez, pH estão apresentadas na figura 8.

Tabela 1 – data de coleta e parâmetros ambientais analisados

	Ano/ Data	2024								2025				
		10/04	12/05	09/06	11/07	13/08	12/09	11/10	10/12	12/01	08/02	12/03	09/04	08/05
Parâmetros	Condutividade elétrica	45	41	52	418	1229	2630	6706	4049	306	102	49	43	45
	TDS	-	22	27	207	614	1310	3354	2022	153	51	25	21	23
	Salinidade (PSU)	-	0,02	0,02	0,2	0,6	1,34	3,64	2,13	0,14	0,5	0,02	0,02	0,02
	Turbidez (FNU)	-	37	43,6	78,2	40,4	26,4	57	13,6	66,3	40,9	56,1	32,7	26,8
	Temperatura	28,2	28,3	30,4	29,5	30,1	28,2	29	28,8	29,2	29,3	28,7	29,4	29,8
	Secchi Transparência	-	43	38	35	33	54	25	79	29	41	41	45	45
	pH	6,9	7,3	7,9	8,2	8,8	8,9	8,6	7,5	7,6	8,4	8,5	7,4	7,1
	Maré(m)	1,2	0,9	1,7	1,0	1,1	1,2	1,3	2,3	2,8	2,5	3,1	3	0,9

Figura 8 – primeira série de medições in loco de condutividade, turbidez, pH



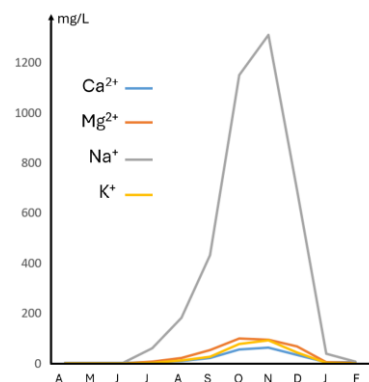


A seguir são apresentados os resultados preliminares (primeira série mensal de medição dos íons), além dos parâmetros ambientais medidos in loco (tabela 2). A análise dos íons menores está completa. Esses resultados são ilustrados na figura 9. Pode ser observado que as concentrações mais elevadas são no período de setembro a dezembro, que corresponde à menor precipitação do ano, em coerência com as variações de condutividade, relacionadas com a salinidade, mostradas na figura 8.

Tabela 2 – primeira série de medições de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$

Figura 9 – variação mensal dos íons menores

	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{HCO}_3^-$
10/04/2024	3,57	1,46	2,22	1,42	20,27
12/05/2024	2,78	1,20	2,05	1,23	13,59
09/06/2024	2,98	1,31	3,30	1,25	13,67
10/07/2024	5,23	8,22	61,05	3,84	13,52
13/08/2024	10,39	23,33	183,16	11,68	21,51
12/09/2024	21,13	54,19	432,17	28,20	29,30
11/10/2024	55,96	100,19	1150,86	78,61	33,28
13/11/2024	63,58	94,68	1311,49	93,49	40,94
10/12/2024	34,28	67,55	691,27	45,10	31,94
12/01/2025	4,54	6,13	39,32	2,96	26,48
08/02/2025	5,19	2,60	7,53	1,34	35,01



## PERSPECTIVAS

### Evolução dos protocolos

A partir de julho de 2025, o potencial de análise disponível em Belém deverá ser ampliado, principalmente devido ao apoio do Paralso (Laboratório de Geologia Isotópica) da UFPA e ao fortalecimento da infraestrutura instrumental do LCA (UFRA). Os protocolos evoluirão em todo o observatório HYBAM e particularmente em Tatuoca. A partir de julho, a filtragem será realizada usando uma unidade de filtragem de polissulfona em um filtro PVDF de 0,22  $\mu\text{m}$ .

### Ampliação a outras variáveis

As variáveis medidas evoluíram ao longo dos 20 anos de história do observatório HYBAM, inicialmente limitadas a medições de hidrologia quantitativa e posteriormente estendidas a aspectos sedimentológicos e geoquímicos. As medições realizadas durante esse primeiro ano na estação de observação de Tatuoca são as mesmas que as realizadas em todas as outras estações. Em um futuro próximo, essas medições serão complementadas por medições de mercúrio dissolvido e particular.

Localmente, o início das atividades de coleta em Tatuoca incentivou outros grupos de pesquisa a propor medições de outras variáveis ambientais. Isso tem duas vantagens. Por um lado, a possibilidade de otimizar o custo e a complexidade das expedições até o ponto de coleta, aproveitando uma coleta já programada como parte do programa HYBAM. Em segundo lugar, a disponibilidade de medições hidrológicas feitas ao mesmo tempo e no mesmo local, fornecendo informações sobre as condições ambientais em que as diferentes medições são realizadas.

A amostragem de água para análise de DNA ambiental iniciou em março de 2025 pelo Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca (UFPA). Mensalmente, são coletados 5 litros de água estuarina em triplicata no mesmo ponto de monitoramento onde ocorrem as medições físico-químicas do programa HYBAM, permitindo a posterior correlação dos dados. As amostras são filtradas em campo utilizando uma bomba peristáltica portátil (Vampire Sampler), acoplada a cápsulas filtrantes Waterra com membrana de polietersulfona (0,45  $\mu\text{m}$ ), eficazes na retenção de DNA ambiental de organismos aquáticos. Os filtros são então armazenados em tampão Longmire (Tris-



HCl 1 M, pH 8.0; EDTA 0,5 M, pH 8.0; NaCl 5 M; SDS 20%; água ultrapura), garantindo a preservação do material genético até as etapas laboratoriais de extração, amplificação por PCR e sequenciamento de nova geração (NGS), com o objetivo de caracterizar a biodiversidade aquática associada à ilha de Tatuoca.

Outro projeto está sendo discutido no que diz respeito ao monitoramento de PFAS (substâncias polifluoroalquil e perfluoroalquil). As PFAS englobam mais de 12 000 substâncias e estão gerando preocupação crescente devido à sua persistência, toxicidade, mobilidade e potencial de bioacumulação. Em 2019, um estudo indicou concentrações acumuladas de 4 PFAS de até 25 ng/L a cerca de 1200 km da costa brasileira (Schmidt *et al.* 2019), no Atlântico Tropical aberto. Trajetórias retroativas mostraram que as massas de água amostradas se originaram na costa do Pará e foram transportadas pela Corrente do Norte do Brasil. Portanto, suspeitamos fortemente que os rios Amazonas e Pará sejam importantes contribuintes de PFAS para a contaminação do Atlântico Tropical. Na ausência de trabalhos mais recentes que confirmem ou não essa hipótese, propomos realizar uma primeira rodada de análises mensais na ilha de Tatuoca por 1 ano. 53 PFAS serão analisados na fase de água dissolvida, seguindo as diretrizes do método EPA-1633. Além disso, um método mais amplo (Total Oxidizable Precursor Assay) permitirá reunir informações sobre PFAS não direcionados.

### **Benefícios científicos esperados**

A ampliação de rede HYBAM em direção do oceano Atlântico vai permitir entender e quantificar melhor o papel da bacia Amazônica nas mudanças observadas no Atlântico tropical, como por exemplo na floração de algas marinhas conhecida como o "grande cinturão de sargaço" que iniciou em 2011. A futura criação de uma estação em Macapá permitirá monitorar, de maneira mais completa, as massas de água saindo da bacia Amazônica e de verificar o impacto da expansão dos centros urbanos e industriais na zona costeira. A partir do uso de protocolos similares em toda a bacia amazônica pela rede HYBAM, será possível observar como se propagam ao oceano as dinâmicas observadas tanto ao nível hidrológico do que sedimentar ou de qualidade de água no interior da bacia.

### **REFERÊNCIAS**

- AVIZ, M.D.; MARTINEZ, J.M.; POLIDORI, L. (2024) “*Spatial and temporal variation of water reflectance in an Amazonian estuary: a case study around Tatuoca Island*” in ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., X-3-2024, pp. 29-37, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-3-2024-29-2024>
- QUININO, U.C.; CAMPOS, L.F.; GADELHA, C.L. (2000). “*Avaliação da qualidade das águas subterrâneas na bacia do rio Gramame no Estado da Paraíba*” in Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, Nov. 2000, 1, pp. 162-176
- CALLÈDE, J., et al. (2004) “*Evolution du débit de l’Amazone à Óbidos de 1903 à 1999/Evolution of the River Amazon’s discharge at Óbidos from 1903 to 1999*” Hydrological Sciences Journal 49.1 pp. 85-97.
- DUPONCHELLE, F.; POUILLY, M.; PÉCHEYRAN, C.; HAUSER, M.; RENNO, J.F.; PANFILI, J.; ... BARAS, E. (2016). “*Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. Journal of Applied Ecology*”, 53(5), pp. 1511-1520.
- JOUANNO, J.; MOQUET, J.S.; BERLINE, L.; RADENAC, M.H.; SANTINI, W.; CHANGEUX, T.; ... N’KAYA, G. D. M. (2021). “*Evolution of the riverine nutrient export to the Tropical Atlantic*

over the last 15 years: is there a link with *Sargassum* proliferation?” Environmental Research Letters, 16(3), 034042.

MARTINEZ, J. M.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; SONDAG, F. (2009). “Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data”. Catena, 79(3), pp. 257-264.

MOQUET, J.S.; MAURICE, L.; CRAVE, A.; VIERS, J.; AREVALO, N.; LAGANE, C.; ... GUYOT, J.L. (2014). “Cl and Na fluxes in an Andean foreland basin of the Peruvian Amazon: an anthropogenic impact evidence”. Aquatic Geochemistry, 20, pp. 613-637.

ROUJEAN, J.L. et al. (2021) “TRISHNA: An Indo-French Space Mission to Study the Thermography of the Earth at Fine Spatio-Temporal Resolution” In 2021 IEEE International India Geoscience and Remote Sensing Symposium (InGARSS), Ahmedabad, India, pp. 49-52, doi: 10.1109/InGARSS51564.2021.9791925.

SANTOS, R.V.; SONDAG, F.; COCHONNEAU, G.; LAGANE, C.; BRUNET, P.; HATTINGH, K.; ... CHAVES, J.G. (2015) “Source area and seasonal  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  variations in rivers of the Amazon basin. Hydrological processes”, 29(2), pp. 187-197.

SCHMIDT N.; FAUVELLE V.; ODY, A.; CASTRO-JIMÉNEZ, J.; JOUANNO, J.; CHANGEUX, T.; THIBAUT, T.; SEMPÉRÉ, R. (2019) “The Amazon River: A Major Source of Organic Plastic Additives to the Tropical North Atlantic?” Environ. Sci. Technol. 2019 Jul 2;53(13):7513-7521. doi: 10.1021/acs.est.9b01585. Epub 2019 Jun 18. PMID: 31244083.

VAUCHEL, P.; SANTINI, W.; GUYOT, J.L.; MOQUET, J.S.; MARTINEZ, J.M.; ESPINOZA, J.C.; ... RONCHAIL, J. (2017). “A reassessment of the suspended sediment load in the Madeira River basin from the Andes of Peru and Bolivia to the Amazon River in Brazil, based on 10 years of data from the HYBAM monitoring programme”. Journal of Hydrology, 553, pp. 35-48.

VILLAR, J.C.E.; GUYOT, J.L.; RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; ... VAUCHEL, P. (2009) “Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004)” Journal of Hydrology, 375(3-4), pp. 297-311.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Observatório Nacional, em particular Fábio Vieira, coordenador da geofísica, Alex Geovany da Silva Miranda e a equipe técnica local, pelo apoio logístico e o acesso à ilha de Tatuoca; o IRD, em particular o seu representante no Brasil, Abdelfettah Sifeddine, pelo apoio institucional; a UFPA, em particular Cristiano Mendel, vice-diretor do Instituto de Geociências, por ter favorecido o desenvolvimento da atividade de hidrologia em Tatuoca; a UFRA, em particular o ISARH pela infraestrutura de laboratório de química, o Curso de Engenharia Cartográfica e Agrimensura (coord. Carlos Caldeira) pela disponibilização de instrumentos de topografia, e os alunos e egressos Pedro Bulhões, Israel Santos, Demétrius Cardoso, Rodrigo Oliveira do Nascimento pelo apoio técnico em campo e laboratório; o SGB (Serviço Geológico do Brasil) pelo apoio logístico na instalação e manutenção de um dispositivo de monitoramento do nível da água; o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por apoiar o segundo autor com uma Bolsa de Produtividade em Pesquisa.