

Programa de Gestão de Riscos e Desastres



PROJETO DINÂMICA FLUVIAL ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE SGB E IRD

Relatório de Atividades

Dezembro, 2024

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Alexandre Silveira de Oliveira

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Vitor Eduardo de Almeida Saback

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Inácio Cavalcante Melo Neto

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Francisco Valdir Silveira

Diretora de Infraestrutura Geocientífica

Sabrina Soares de Araújo Gois

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Andrea de Oliveira Germano

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Emanuel Duarte Silva

EQUIPE EXECUTORA

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Daniel Medeiros Moreira

Jefferson Santana Melo

Leandro Guedes dos Santos

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Departamento de Hidrologia
Divisão de Hidrologia Aplicada

Programa de Gestão de Riscos e Desastres

AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

PROJETO DINÂMICA FLUVIAL

ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL

ENTRE SGB E IRD

Relatório de Atividades

AUTORES

Daniel Medeiros Moreira

Andre Luis Martinelli Real dos Santos

Jefferson Santana Melo

Rio de Janeiro
Dezembro, 2024



REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

NORMALIZAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Divisão de Documentação Técnica – DIDOTE

Jéssica dos Santos Gonçalves

CAPA: PARTICIPANTES DO SOUTH AMERICA WATER FROM SPACE IV, UFPA, BELÉM-PA.

FOTO: MARIVALDO PASCOAL.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M838p Moreira, Daniel Medeiros.
Projeto dinâmica fluvial, acordo de cooperação internacional
entre SGB e IRD / Daniel Medeiros Moreira, Andre Luis Martinelli
Real dos Santos, Jefferson Santana Melo. – Rio de Janeiro : SGB,
2024.
1 recurso eletrônico : PDF

Programa de gestão de riscos e desastres. Ação
levantamentos, estudos, previsão e alerta de eventos
Hidrológicos críticos.
ISBN 978-65-5664-543-8

1. Hidrologia. 2. bacias hidrográficas. I. Santos, Andre Luis
Martinelli Real dos. II. Melo, Jefferson Santana. III. Título.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB-7/5662

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – SGB

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - SGB

www.sgb.gov.br

seus@sgb.gov.br

RESUMO

O presente relatório descreve as ações realizadas em 2024 no âmbito do projeto Dinâmica Fluvial, que operacionaliza o Acordo de Cooperação Internacional entre o Serviço Geológico do Brasil (SGB) e o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento da França (IRD - *Institut de Recherche pour le Développement*).

No campo do uso de satélites em hidrologia, as pesquisas, estudos, levantamentos e informações compartilhadas entre o SGB e o IRD têm subsidiado o desenvolvimento de capacitações e a aplicação de novas tecnologias para o monitoramento hidrológico. Exemplos incluem o uso de altimetria espacial, estimativas de precipitação e medições de concentração de sedimentos por satélites, entre outras inovações. O SGB também tem se destacado cientificamente ao colaborar no desenvolvimento de novas tecnologias, com ênfase na sua participação na missão espacial SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*), uma iniciativa liderada pela NASA e pelo CNES (Agência Espacial Francesa), em parceria com o IRD no projeto científico SAMBA (*SWOT for AMazon BASin*).

Em 2024, destaca-se a atuação do SGB e seus parceiros, como IRD, CNES e ABRHidro, na organização do quarto evento da série *South America Water from Space* (<https://hydrologyfromspace.org/>), realizado entre 29 de outubro e 2 de novembro, em Belém-PA. Esse evento reforçou o papel do SGB no fomento à pesquisa em sensoriamento remoto aplicado à hidrologia, além de ser uma oportunidade para a apresentação dos resultados de suas pesquisas institucionais. Outros avanços relevantes incluem o aprimoramento do aplicativo de séries hidrológicas por satélite, desenvolvido em parceria com o IRD, que permite o monitoramento de níveis de água em rios e agora está disponível para smartphones (<https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>). Além disso, o SGB realizou atividades voltadas à geração de informações hidrológicas, validação de dados satelitais para aplicações em hidrologia, suporte aos sistemas de alerta hidrológico e contribuições no desenvolvimento de novas tecnologias de monitoramento. Todas essas iniciativas visam consolidar a difusão do conhecimento científico no país e em nível internacional.

ABSTRACT

The present report describes the actions carried out in 2024 within the scope of the Dinâmica Fluvial project, which operationalizes the International Cooperation Agreement between the Geological Survey of Brazil (SGB) and the French Institute of Research for Development (IRD - Institut de Recherche pour le Développement).

In the field of satellite use in hydrology, the research, studies, surveys, and information shared between SGB and IRD have supported the development of capacity-building initiatives and the application of new technologies for hydrological monitoring. Examples include the use of satellite altimetry, precipitation estimation, and sediment concentration measurements, among other innovations. SGB has also achieved scientific prominence through its collaboration in the development of new technologies, particularly its participation in the SWOT (Surface Water and Ocean Topography) space mission, an initiative led by NASA and CNES (French Space Agency), in partnership with IRD on the scientific project SAMBA (SWOT for AMazon BASin).

In 2024, SGB and its partners, including IRD, CNES, and ABRHidro, played a key role in organizing the fourth event of the South America Water from Space series (<https://hydrologyfromspace.org/>), held from October 29 to November 2 in Belém, PA. This event reinforced SGB's role in fostering remote sensing research applied to hydrology while also providing an opportunity to present the results of its institutional research. Other significant advancements include the improvement of the satellite hydrological series application, developed in partnership with IRD, which allows the monitoring of river water levels and is now available for smartphones (<https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>). Additionally, SGB carried out activities focused on generating hydrological information, validating satellite data for hydrology applications, supporting hydrological alert systems, contributing to the development of new monitoring technologies, and disseminating scientific knowledge across the country and at international level.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de atuação da pesquisa em hidrologia por satélites	13
Figura 2 - Exemplo de embarcação utilizada nas campanhas de coleta de dados	15
Figura 3 - Pesquisador em Geociências André Santos realizando pesagem dos filtros em balança de precisão, ação fruto da parceria com o LAMIN Manaus.....	17
Figura 4 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União	18
Figura 5 – Detalhes da missão SWOT	19
Figura 6– Coleta de dados GNSS para nivelar a linha de água do lago Ithotry e coleta de dados de batimetria através do bote utilizado na campanha	22
Figura 7 – Curvas de nível de batimetria do lago Ithotry obtidas através de batimetria, nivelamento GNSS e imagens de satélite do Sentinel-2	23
Figura 8 – Coleta de dados da linha de água do Lago Issyk-Kul com receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO	24
Figura 9 – Instalação de receptores GNSS na borda do lago Issyk-kul para nivelamento da linha de água do lago.....	25
Figura 10 – Pesquisadores que participaram da campanha	26
Figura 11 – CALNAGEO , equipamento utilizado para coletar dados de superfície da linha de água	27
Figura 12 - Panorâmica sobre a Comunidade São Pedro	28
Figura 13 – Ortofoto e Modelo Digital do Terreno de São Pedro	29
Figura 14 – Participantes da campanha realizada entre Manaus e Óbidos nos dias 5 a 17 de junho de 2024, integrantes da ANA, SGB, UFAM e IRD	30
Figura 15 – Amostrador de sedimentos pontual, aDcp imerso e antena GPS na amostragem de sedimentos	32
Figura 16 – LISST adaptado para operação em grandes rios	32
Figura 17 – Auditório da conferência South America Water from Space IV.....	34
Figura 18 – Atividade de campo da conferência South América Water from Space	36
Figura 19– Programação do curso FLUVIUS Anavilhanas 2024.....	39
Figura 20 – Dados de previsão de chuva	41
Figura 21: Tela da APP-WEP	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Áreas de levantamentos realizados pelo drone	28
Tabela 2 – Resultado das medições de descarga líquida obtidas na campanha.....	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Objetivos	11
1.2 Justificativa.....	12
1.3. Área de Atuação	13
1.4 Equipe do Projeto.....	13
2. ATIVIDADES REALIZADAS EM 2024.....	15
2.1 Pesquisa em hidrologia a partir da Missão Espacial SWOT (NASA/CNES)	19
2.2 Trabalhos De Campo Realizados	21
2.2.1 Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Ihotry no Madagascar	22
2.2.2 Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Issyk-Kul (Quirguistão).	23
2.2.3. Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Curuai / Santarém – PA.....	25
2.2.4 Campanha de CAL/VAL do SWOT no Alto Rio Negro.....	27
2.2.5 Campanha do projeto Hybam.....	29
2.3 ATIVIDADES DE CAPACITAÇÃO, PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS E PESQUISAS REALIZADAS EM 2024.....	33
2.3.1 Conferência Internacional sobre Hidrologia Espacial.....	33
2.3.2 Projeto De Capacitação Fluvius	37
2.3.3 Trabalhos científicos produzidos.	39
2.4 SUPORTE DE PREVISÃO PLUVIOMÉTRICA POR SATÉLITE AOS SISTEMAS DE ALERTAS.....	40
2.5 SITE DE VISUALIZAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO POR SATÉLITE	41
3. CONCLUSÃO E PERSPECTIVA PARA 2025	44
4. AGRADECIMENTOS.....	47
5. REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um novo cenário pode ser explorado na área de hidrometria, no qual, por meio de dados obtidos por sensores em plataformas orbitais, em complementaridade e associação aos dados coletados in situ, é possível mitigar a carência de dados hidrológicos básicos, como precipitação e níveis de água em rios e lagos. Além disso, essa tecnologia permite validar, consistir e até preencher séries de dados coletados em campo.

O uso crescente de ferramentas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico representa um caminho promissor para aprimorar o entendimento da hidrologia, da dinâmica de transporte nos rios de bacias hidrográficas e do ciclo hidrológico em escala global. A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na hidrologia proporciona uma série de contribuições, destacando-se pela geração de dados com cobertura quase global, essa característica possibilita a obtenção de informações hidrológicas em regiões de difícil acesso, como áreas remotas, florestadas, ínvias ou fora do território nacional, além de locais distantes dos grandes centros urbanos. A integração de dados satelitais em hidrologia também apresenta a vantagem de baixo custo, uma vez que grande parte desses dados é disponibilizada gratuitamente por agências espaciais internacionais.

No entanto, o uso eficaz de dados de sensoriamento remoto na hidrologia requer uma análise cuidadosa de suas aplicações e das incertezas associadas. Caso esses dados não sejam validados ou sejam utilizados de forma imprecisa, as estimativas de variáveis hidrológicas podem apresentar elevados graus de incerteza, comprometendo a confiabilidade dos resultados.

É essencial que os usuários estejam cientes dessas limitações e capacitados para identificar possíveis discrepâncias, principalmente em relação à precisão e às escalas espaciais e temporais adotadas. Além disso, para evitar a propagação de incertezas, é crucial que os pesquisadores possuam um conhecimento aprofundado sobre a área de estudo, permitindo uma melhor interpretação das magnitudes das variáveis hidrológicas estimadas.

Assim, para que as análises realizadas se traduzam em ações ou produtos que atendam às demandas da sociedade, o conhecimento e o controle das incertezas são fundamentais para transformar os dados provenientes de sensores orbitais em informações confiáveis e aplicáveis.

Diante desse novo cenário tecnológico, o Serviço Geológico do Brasil (SGB), sob a coordenação da Divisão de Hidrologia Aplicada (DIHAPI) e do Departamento de Hidrologia (DEHID), iniciou em 2008 uma cooperação internacional com o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento da França (IRD - Institut de Recherche pour le Développement). Essa parceria possibilitou a realização do projeto institucional “Dinâmica Fluvial”, consolidando a aplicação de tecnologias orbitais no monitoramento hidrológico e no avanço científico do SGB.

1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo do projeto Dinâmica Fluvial é estudar e desenvolver novas técnicas para a aquisição de dados hidrológicos básicos utilizando satélites orbitais. O projeto busca compreender as limitações e explorar o potencial dessas tecnologias no monitoramento hidrológico, propondo soluções sob perspectivas qualitativas e quantitativas. Além disso, almeja contribuir para a redução dos custos operacionais associados à coleta de dados hidrológicos, diminuir o tempo necessário para sua obtenção e impulsionar o desenvolvimento tecno-científico em nível global.

De forma mais específica, o projeto Dinâmica Fluvial tem como metas:

- Capacitação técnica e científica: Fortalecer o treinamento do corpo de pesquisadores do Serviço Geológico do Brasil (SGB) em novas tecnologias de aquisição de dados e modelagem hidrológica, por meio do acordo de cooperação internacional com o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento da França (IRD). Isso inclui a realização de intercâmbios, capacitações especializadas e projetos de pesquisa acadêmica.

- Desenvolvimento de técnicas de posicionamento global: Criar métodos inovadores que garantam o controle geodésico e o monitoramento de informações hidrológicas básicas com maior precisão e eficiência.
- Aprimoramento do sensoriamento remoto: Refinar e aplicar tecnologias de sensoriamento remoto para obter informações sobre níveis de água por satélite, especialmente na bacia Amazônica.

1.2 JUSTIFICATIVA

A orientação e a justificativa deste projeto estão alinhadas à missão institucional do Serviço Geológico do Brasil (SGB), que inclui a geração de informações hidrológicas básicas para subsidiar estudos e projetos relacionados aos Sistemas de Alerta Hidrológico, à disponibilidade hídrica e ao potencial hidráulico das bacias hidrográficas brasileiras. Um exemplo dessa atuação é o monitoramento hidrológico básico realizado pelo SGB, por meio da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), cobrindo todo o território brasileiro.

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico já estão amplamente difundidas em diversas regiões do mundo. Elas se consolidaram como ferramentas indispensáveis, capazes de complementar e potencializar o monitoramento hidrológico convencional, especialmente em áreas remotas ou de difícil acesso.

Do ponto de vista científico, o sensoriamento remoto constitui um dos avanços mais significativos na área de hidrometria nas últimas décadas. Dada sua importância estratégica, é essencial que o Serviço Geológico do Brasil mantenha uma posição de destaque e liderança nesse campo, promovendo ações voltadas ao desenvolvimento de técnicas, métodos e processos que assegurem o aprimoramento contínuo do monitoramento hidrológico e de suas aplicações práticas.

1.3. ÁREA DE ATUAÇÃO

Em sinergia com o nome do acordo de cooperação “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”, a área de estudo do projeto Dinâmica Fluvial abrange três grandes bacias hidrográficas que fazem parte do território brasileiro, sendo as duas primeiras compartilhadas com mais países, a citar a bacia do rio Amazonas, bacia do rio Paraguai e bacia do rio São Francisco, observadas na Figura 1.



Figura 1 – Área de atuação da pesquisa em hidrologia por satélites.

1.4 EQUIPE DO PROJETO

As atividades realizadas através da cooperação entre o SGB e o IRD, tendo em vista a sua vigência pelo período de cinco (5) anos do acordo (de 2019 a 2024), têm o envolvimento permanente de três pesquisadores do SGB. São eles:

- O pesquisador em geociências Andre Luis Martinelli Real dos Santos, chefe da GEHITE-MA (Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial, da Superintendência de Manaus);

- O analista em geociências Daniel Medeiros Moreira, da DIHAPI (Divisão de Hidrologia Aplicada) que, além da atividade de pesquisa realizada, também é o coordenador científico do projeto pelo SGB; e

- O analista Jefferson Melo, que é o coordenador administrativo do projeto e está atualmente se capacitando em aplicações de sensoriamento remoto para hidrologia.

Por parte do IRD as atividades são desenvolvidas por diversos pesquisadores, destacando-se o pesquisador Fabrice Papa, que é coordenador científico do acordo pelo IRD, Jean-Michel Martinez, Fabien Durand e Stéphane Calmant.

Além disso, atualmente o projeto também conta com um forte suporte operacional de várias superintendências regionais que são responsáveis pelas áreas de atuação do projeto. Aqui podemos mencionar o apoio, em 2024, e as medições de campo fundamentais para o projeto que foram concedidas pela SUREG-BE através da atuação do técnico Leandro Guedes e apoio gerencial de Homero Reis, Superintendente, Sheila Gatinho e Johelder Souza na coordenação da GEHTE, e o supervisor Mauro Rodrigues.

Pela SUREG-MA temos a atuação e apoio gerencial do GEHTE Andre Santos, e o suporte operacional do supervisor Daniel Garcia e de diversos técnicos de hidrologia lotados nesta Superintendência e no Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN.

2. ATIVIDADES REALIZADAS EM 2024

A concepção metodológica do Projeto Dinâmica Fluvial baseia-se na integração de atividades de campo, análise em escritório, produção de publicações científicas e a realização de encontros técnicos e acadêmicos.

A validação das técnicas de sensoriamento remoto exige a realização de campanhas de campo, frequentemente associadas ao monitoramento hidrológico convencional. Essas campanhas incluem:

- Medições de vazão;
- Coleta de registros dos observadores hidrológicos;
- Pagamento dos observadores;
- Manutenção das estações hidrometeorológicas.

As atividades de campo são conduzidas, em geral, a bordo de embarcações tradicionais de madeira, típicas da região amazônica, como exemplificado na Figura 2.



Figura 2 - Exemplo de embarcação utilizada nas campanhas de coleta de dados.

Durante as campanhas, o barco regional serve como base para os trabalhos de levantamento hidrológico, que incluem:

- Medições de vazões líquidas e sólidas;
- Coleta de registros de cotas fluviométricas;
- Manutenção de estações e análise preliminar dos dados coletados;
- Avaliações de qualidade da água;
- Coleta de amostras para estimativas de concentração de sedimentos;
- Medição de radiometria in situ;
- Coleta de dados de estações GPS instaladas;
- Medição de profundidade e declividade da linha d'água com receptores GPS e ecobatímetros instalados em embarcações;
- Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para caracterização hidrológica da bacia Amazônica.

As atividades realizadas no escritório são fundamentais para consolidar os dados e produzir informações consistentes. Essas incluem:

- Processamento e análise dos dados coletados em campo;
- Aquisição e tratamento de imagens de satélite relacionadas aos estudos;
- Armazenamento das informações no banco de dados do projeto;
- Comparação e validação de dados de campo com produtos derivados de sensoriamento remoto.

O trabalho em escritório se divide em duas áreas prioritárias:

Sedimentometria:

Um gerenciamento eficaz de uma bacia hidrográfica exige dados sedimentológicos confiáveis e bem acurados, atingir esse objetivo na bacia Amazônica, com dimensões incomparáveis, eleva o custo financeiro de operação, exige peculiar estrutura e alta dependência de mão de obra especializada com uso de equipamentos hidrométricos modernos e utilização de uma metodologia adaptada às condições hidráulicas específicas encontradas nos grandes rios desta região. Avanços metodológicos e tecnológicos na hidrossedimentometria, com adição de dados obtidos por sensoriamento remoto possibilitam a redução destes custos operacionais além de

possibilitar o monitoramento em regiões inóspitas ou de difícil acesso através de séries temporais de imagens de satélite em diversas etapas do ano hidrológico. Isto permite a estimativas de fluxo de sedimentos, análises de processos erosivos ou deposicionais na migração de canais, formação de ilhas, barras arenosas e terraços fluviais e estudos de previsões de tendências hidrossedimentológicas

Nesse contexto pelo projeto Dinâmica Fluvial são conduzidos estudos sobre o uso de dados de sensoriamento remoto em medições sedimentométricas, envolvendo medições de vazão e sedimentos. Os dados de vazões sólidas e radiometria são comparados com produtos de sensoriamento remoto, incluindo imagens MODIS (sensores Aqua e Terra), LANDSAT, e Sentinel-2 e Sentinel-3. O suporte técnico é fornecido pelo laboratório LAMIN, em Manaus, gerido pela SUREG-MA. Um exemplo de pesquisa na área pode ser visto na ação conduzida pelo pesquisador André Santos (Figura 3).



Figura 3 - Pesquisador em Geociências André Santos realizando pesagem dos filtros em balança de precisão, ação fruto da parceria com o LAMIN Manaus.

Geodésia Espacial:

Esforços voltados ao uso de altimetria espacial e sistemas de posicionamento global por satélites no monitoramento hidrológico. Na pesquisa em altimetria espacial, os dados de cotas fluviométricas são comparados com os dados provenientes de satélites, com o objetivo de verificar a qualidade dessas informações. Dessa forma, os dados das estações GPS são analisados para realizar o controle geodésico das estações, bem como para elaborar perfis de linha de água, conforme ilustrado na Figura 4. Esses mesmos dados são usados para interpretar e corrigir os dados de altimetria, que são disponibilizados por diversos sensores altimétricos, como os radares Nadir dos satélites Jason-2 e 3, Sentinel-3a e 3b, CS, e os sensores altimétricos Nadir Lidar, como o ICESat-2. Atualmente, também são utilizados os dados do sensor interferométrico do satélite SWOT. Com o intuito de promover validação dos satélites altimétricos, busca-se estabelecer um referencial global para os níveis de água registrados por estações fluviométricas. Isso visa permitir a compatibilização de diversas fontes de informação hidrológica, garantindo que os valores fluviométricos obtidos por diferentes estações e técnicas, como a altimetria espacial, possam ser utilizados de forma conjunta e precisa em estudos hidrológicos.



Figura 4 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União.

2.1 PESQUISA EM HIDROLOGIA A PARTIR DA MISSÃO ESPACIAL SWOT (NASA/CNES)

Graças à continuidade da parceria na pesquisa de altimetria espacial com o IRD, o SGB teve a oportunidade de estreitar relações com agências espaciais internacionais. Esse contato proporcionou ao SGB a chance de contribuir diretamente para pesquisas associadas a missões espaciais em desenvolvimento, destacando-se a participação no time científico responsável pelo desenvolvimento do satélite SWOT (NASA/CNES).

O SWOT é uma missão espacial inovadora que introduziu um satélite equipado com Radar de Abertura Sintética (SAR) operando em modo interferométrico. Essa tecnologia oferece, pela primeira vez na história da hidrologia, observações de águas superficiais com alta resolução espacial e temporal. Trata-se também da primeira missão espacial projetada especificamente para o monitoramento de águas superficiais (Figura 5).

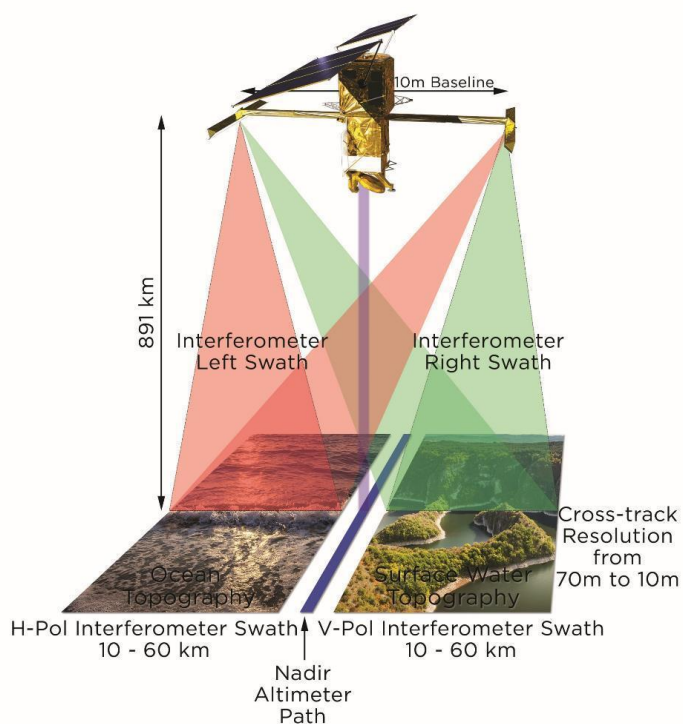


Figura 5 – Detalhes da missão SWOT. Fonte: NASA.

Atualmente, o analista Daniel Moreira, integrante do time científico da missão SWOT, realiza atividades de pós-doutoramento desde janeiro de 2022 na França, no

laboratório GET (Géosciences Environnement Toulouse), em um projeto financiado pela Agência Espacial Francesa (CNES).

No âmbito deste pós-doutoramento, Daniel Moreira atua em uma rede internacional de pesquisa em altimetria por satélites, na qual o SGB está inserido. Seu trabalho é focado em coordenar avanços e estabelecer protocolos internacionais para o processamento, validação e calibração de dados de satélites, com destaque para a preparação e avaliação da missão SWOT.

Em 2024, o SGB, em parceria com o IRD, lidera o projeto científico intitulado “SWOT for the Amazon Basin” (SAMBA). Este projeto é uma evolução do precursor “SWOT for South America”, que integrou a Equipe Científica SWOT (SWOT-ST) no período de 2020-2023. O objetivo é dar continuidade aos esforços e conquistas anteriores, agora com observações do SWOT aplicadas à escala da bacia amazônica.

Os objetivos científicos do SAMBA são dois principais:

- Aprimorar os benefícios dos produtos do SWOT para a hidrologia;
- Responder a perguntas científicas inovadoras com base nas observações do SWOT.

Os novos dados gerados pelo SWOT oferecem uma oportunidade inédita para estudar a hidrologia e o ciclo da água da bacia do rio Amazonas. O projeto SAMBA propõe explorar essas medições em conjunto com dados de outros satélites, medições in situ e modelagem numérica para avançar na compreensão da dinâmica hidrológica e do ciclo da água na região.

O trabalho será conduzido em diferentes escalas espaço-temporais, desde a escala da bacia até escalas regionais/localizadas, com foco em áreas específicas como as planícies de inundação de Mamirauá, o rio Negro, e as regiões de Curuai-Óbidos-Tapajós, além de extensões para a Guiana Francesa. Entre as questões científicas a serem abordadas estão:

- Qual é o volume sazonal de água que enche e esvazia as planícies de inundação amazônicas, sua variabilidade interanual e seu comportamento durante eventos extremos de seca ou inundação?

- Quais processos controlam a variabilidade da água e eventos extremos nos principais rios, afluentes e planícies de inundação?
- Qual é o "verdadeiro" escoamento do rio Amazonas, e qual a precisão dos dados do SWOT em toda a bacia?
- Quanto a dinâmica das planícies de inundação e dos lagos impacta o escoamento e a hidrodinâmica do rio?
- O relevo das planícies de inundação da Amazônia pode ser mapeado com o SWOT?
- Como o SWOT pode ajudar a identificar e quantificar a água sob vegetação densa, que não é detectada por sensores ópticos?
- De que forma a assimilação dos dados do SWOT pode melhorar as simulações do modelo hidrológico-hidrodinâmico MGB em diferentes escalas?
- Os resultados obtidos podem ser extrapolados para outras regiões da América do Sul, como o Pantanal, os rios Paraguai, Meta e Orinoco?

A equipe do projeto SAMBA reúne pesquisadores de instituições renomadas como SGB, IRD, CNES, IPH-UFRGS, ANA, CNRS, LEGOS, GET, PNNL, INRAE, Hydromatters, Universidade de Estocolmo, Universidade de Concepción, Universidade de Brasília e Instituto Mamirauá. O projeto é liderado por Fabrice Papa (IRD) e Daniel Moreira (SGB).

2.2 TRABALHOS DE CAMPO REALIZADOS

Em 2024, foram realizadas diversas campanhas de campo voltadas à calibração e validação do satélite SWOT (Surface Water and Ocean Topography). Essas iniciativas representam um marco significativo nos esforços do SGB para aprimorar a precisão e a confiabilidade das informações hidrológicas globais fornecidas pela nova missão de monitoramento hidrológico, baseada em dados de sensoriamento remoto.

As campanhas não apenas contribuem para o desenvolvimento e refinamento dos algoritmos de monitoramento hidrológico da missão SWOT, mas também ampliam

nosso conhecimento sobre as variações sazonais da hidrologia em sistemas fluviais de relevância hidrológica, social e econômica.

Essas atividades integram o programa oficial de calibração e validação (CAL/VAL) da missão espacial SWOT e o pós-doutorado do analista Daniel Moreira. Nesse contexto, o SGB e o IRD colaboram com agências espaciais, como o CNES e a NASA, fortalecendo a participação do SGB na cooperação global para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias avançadas de monitoramento hidrológico.

2.2.1 Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Ihotry no Madagascar

Entre os dias 6 e 21 de abril de 2024, foi realizada uma campanha de campo internacional coordenada pelo IRD e pelo CNES (Agência Espacial Francesa), com a participação do SGB, representado pelo analista Daniel Moreira. A campanha ocorreu em Madagascar, na África, e incluiu a coleta de dados altimétricos de linha d'água e batimetria do lago Ihotry para a calibração e validação do satélite SWOT (Figura 6).



Figura 6– Coleta de dados GNSS para nivelar a linha de água do lago Ihotry e coleta de dados de batimetria através do bote utilizado na campanha.

Os dados GNSS e de batimetria coletados durante a campanha foram analisados e processados pelo analista Daniel Moreira durante seu estágio de pós-doutorado em Toulouse. A análise resultou na criação de um perfil batimétrico por meio de curvas de nível, geradas a partir do processamento de imagens do satélite Sentinel, conforme apresentado na Figura 7.

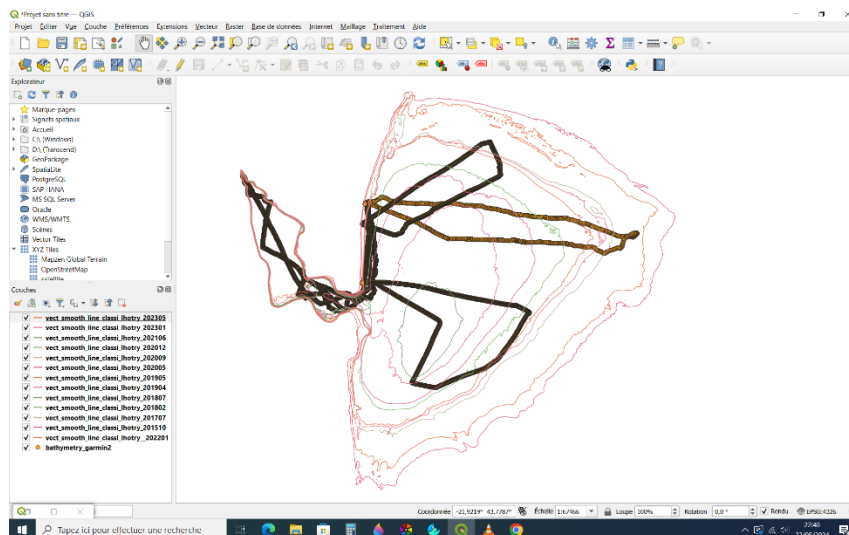


Figura 7 – Curvas de nível de batimetria do lago Ihotry obtidas através de batimetria, nivelamento GNSS e imagens de satélite do Sentinel-2.

2.2.2 Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Issyk-Kul (Quirguistão).

Entre os dias 28 de abril e 13 de maio, uma nova campanha de campo internacional para validação e calibração do satélite SWOT foi realizada no Quirguistão (Figura 8). A campanha ocorreu no Lago Issyk-Kul, sob a liderança da Agência Espacial Francesa (CNES), com a colaboração do SGB, por meio da participação do analista Daniel Moreira. Assim como na campanha anterior, o objetivo principal foi validar e calibrar os dados da missão espacial SWOT. Durante a campanha, foram coletados perfis altimétricos da superfície da água, que servirão como base para comparações e ajustes nos dados obtidos pelo satélite SWOT. Os dados coletados foram processados pelo analista Daniel Moreira durante seu estágio de pós-doutorado em Toulouse, na França, e serão

utilizados como uma fonte de informação crucial para a calibração da missão SWOT.



Figura 8 – Coleta de dados da linha de água do Lago Issyk-Kul com receptores GNSS embarcados na plataforma CALNAGEO.

Além dos dados obtidos pela plataforma CALNAGEO, também foram coletados dados GNSS da linha de água por meio de receptores instalados na borda do lago, conforme ilustrado na Figura 9.



Figura 9 – Instalação de receptores GNSS na borda do lago Issyk-kul para nivelamento da linha de água do lago.

2.2.3. Campanha de CAL/VAL SWOT no lago Curuai / Santarém – PA

Em 2024, foi realizada uma campanha de campo planejada de forma estratégica, alinhada ao orçamento disponível do projeto e às atividades da conferência South America Water from Space. A campanha aproveitou a presença de pesquisadores que participaram do evento, estendendo sua estadia para contribuir com essa atividade. O objetivo principal foi gerar dados para aprimorar a precisão e confirmar a confiabilidade das informações hidrológicas globais obtidas pela missão SWOT, que fornece dados de altimetria da superfície líquida para o monitoramento hidrológico.

Além de gerar dados essenciais para a missão SWOT, a campanha fortaleceu colaborações acadêmicas e institucionais, ampliando as interações com representantes do IRD, CNES, Hydro-Matters (França), Instituto Mamirauá e Universidade de Brasília, conforme Figura 10. Durante as atividades, foram apresentadas as metodologias do SGB para coleta de dados hidrológicos e discutidos os desafios do trabalho de campo, promovendo uma troca de experiências valiosa e enriquecendo a compreensão sobre as especificidades da região amazônica.



Figura 10 – Pesquisadores que participaram da campanha.

Essa iniciativa reafirmou o compromisso com o aprimoramento dos métodos de monitoramento hidrológico e o avanço do conhecimento científico, contribuindo para soluções mais robustas e integradas em áreas remotas, especialmente frente à intensificação de eventos extremos. Adicionalmente, a campanha consolidou novos acordos de pesquisa e reforçou compromissos existentes, promovendo o desenvolvimento de informações mais precisas sobre a frequência e intensidade de eventos hidrológicos extremos.

A atividade de campo ocorreu entre 3 e 9 de novembro, abrangendo o percurso navegável entre Santarém, Óbidos e o Rio Tapajós. Assim como nas campanhas anteriores, foram coletados perfis de linha d'água com receptores GNSS instalados na plataforma CALNAGEO e em uma embarcação fluvial.

Para otimizar as medições, a equipe foi dividida em dois grupos: um operando a CALNAGEO (Figura 11) e outro conduzindo o GPS no barco. Essa estratégia ampliou significativamente a área de medição da superfície de água, garantindo maior abrangência e detalhamento. Um destaque desta campanha foi o mapeamento da parte baixa do Rio Arapiuns, uma região até então pouco monitorada, que adicionou dados valiosos à compreensão hidrológica local.

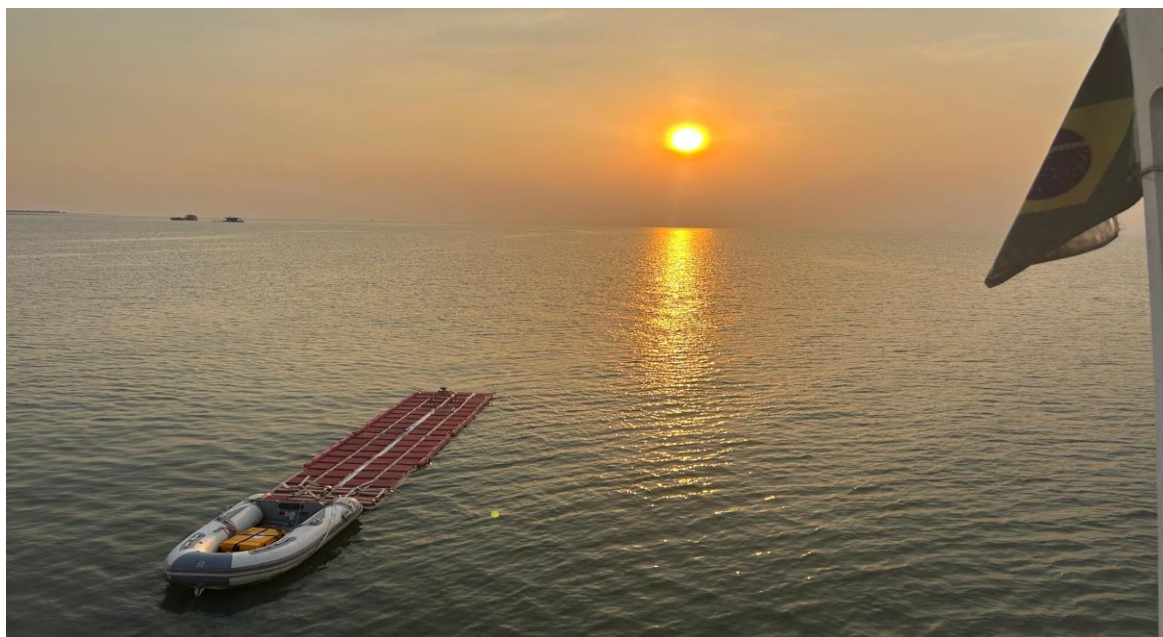


Figura 11 – CALNAGEO , equipamento utilizado para coletar dados de superfície da linha de água.

Além disso, foram realizados levantamentos batimétricos com ecobatímetros instalados na embarcação, em duplicidade, para assegurar a coleta de dados confiáveis e identificar possíveis inconsistências. Vazões também foram medidas utilizando ondas acústicas com o efeito Doppler, sendo a seção transversal escolhida a seção padrão de medição em Óbidos.

2.2.4 Campanha de CAL/VAL do SWOT no Alto Rio Negro

Com o objetivo de identificar áreas sujeitas a inundações fluviais e avaliar possíveis erros na extração de dados de superfície inundada da missão SWOT, foram gerados modelos numéricos de terreno e ortofotomosaicos em pontos selecionados durante o Roteiro 7 da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional, sendo este roteiro realizado de 4 a 27 de outubro de 2024. Para garantir informações hidrológicas de alta precisão para a calibração dos sensores do satélite, especialmente o radar de

interferometria (KaRIn), foram realizadas coletas de campo com elevado padrão de qualidade. Nesse contexto, utilizou-se tecnologia Lidar aerotransportada, com o sensor DJI Zenmuse L1 e o receptor GNSS DJI D-RTK2, ambos acoplados a um drone Matrice 300 RTK. Essa configuração permitiu a obtenção de dados tridimensionais detalhados do terreno.

Local	Área Levantada	Altitude Média do Voo
Antônio Lemos	0,462795 Km ²	74,2 m
Carrazedo	0,568928 Km ²	80,1 m
Cueiras	0,292935 Km	61,9 m
Porto de Moz	0,808404 Km ²	63,3 m
Prainha	0,308061 Km ²	61,7 m
São Pedro	0,315746 Km ²	79,7 m
São Sebastião da Boa Vista	0,695756 Km ²	78,7 m
Tatuoca	0,155275 Km ²	82,2 m

Tabela 1 – Áreas de levantamentos realizados pelo drone.

O levantamento resultou em uma nuvem de pontos 3D (X, Y, Z), com a qual foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) de alta precisão. Os dados foram processados no software DJI Terra, classificados e refinados no ArcGIS Pro, culminando na produção de produtos finais de alta qualidade, conforme as Figuras 12 e 13.



Figura 12 - Panorâmica sobre a Comunidade São Pedro

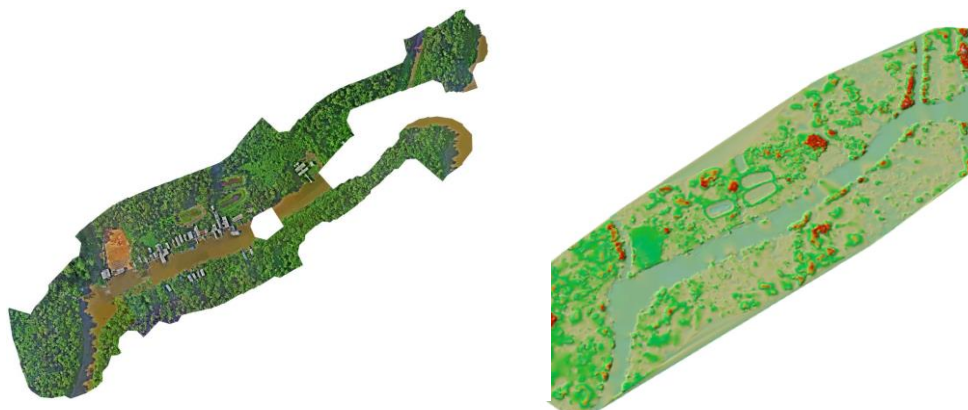


Figura 13 – Ortofoto e Modelo Digital do Terreno de São Pedro.

Além de fornecer informações sobre os problemas de inundação que afetam comunidades ribeirinhas, esses dados poderão, no futuro, subsidiar ações de planejamento territorial, apoiando a gestão ambiental e social. O levantamento também é essencial para a caracterização de riscos hidrológicos, permitindo a implementação de estratégias assertivas de mitigação de impactos e fortalecimento da resiliência das comunidades locais.

2.2.5 Campanha do projeto Hybam

No contexto Amazônico, a variabilidade climática adicionada das atividades antropogênicas também causa importantes alterações no sistema fluvial amazônico, impactando setores essenciais da economia, como a navegação em secas extremas. Com a crescente exploração de terras para agricultura, pecuária, mineração e extração de madeira na região, os dados de hidrossedimentologia se tornam fundamentais para o entendimento e mensuração dessas alterações no tempo. Outra fonte que colabora para o desequilíbrio das condições naturais dos rios amazônicos está relacionada aos projetos e execução de barragens para a produção de energia, cada vez mais crescentes na região.

Nesse contexto o HYBAM é um serviço de apoio à pesquisa que realiza medições hidrológicas, sedimentares e geoquímicas a longo prazo para compreender a origem e evolução da água e dos materiais transportados (sedimentos, matéria orgânica,

nutrientes etc.). As atividades do HYBAM estão associadas à temática de hidrossedimentologia do Dinâmica Fluvial e permite a interação com outros parceiros institucionais como a UFAM, UnB, UFF e órgãos internacionais provenientes de outros países da bacia Amazônica que detém as 17 estações de monitoramento hidrológico de sedimentares e geoquímica de longo prazo. Os dados produzidos pela rede são disponibilizados gratuitamente no website <https://hybam.obs-mip.fr> com o objetivo de fomentar o desenvolvimento de pesquisas sobre os recursos hídricos na Amazônia e sobre temas variados como, biodiversidade, oceanografia, climatologia, qualidade da água ou geomorfologia.

Entre 5 de junho e 17 de junho ocorreu a campanha no âmbito do projeto HYBAM, um observatório de Hidro-geoquímica da Bacia Amazônica operacional desde 2003 e especializada no monitoramento de rios e recursos hídricos na Amazônia. A ação teve o apoio da ANA através da disponibilização de recursos para o fretamento e combustível da embarcação e participação de dois analistas, da UFAM que disponibilizou equipamentos e pesquisadores, e do SGB através do projeto Dinâmica Fluvial e que teve a participação do pesquisador Andre Santos e do técnico Guilherme Cabral, (Figura 14).



Figura 14 – Participantes da campanha realizada entre Manaus e Óbidos nos dias 5 a 17 de junho de 2024, integrantes da ANA, SGB, UFAM e IRD.

A inovação importante nessa campanha foi o uso do LISST, um granulômetro a laser, adquirido pelo IRD, e que nunca foi utilizado em grandes rios da planície Amazônica e que agora está sob a tutela da GEHTE do SGB em Manaus. O campo teve início partindo de Manaus e contou com medições de vazão, radiometria in situ, coleta de amostras para análises de sedimentos e a tentativa do novo equipamento para amostragem de sedimentos, o LISST. As análises das amostras de sedimentos foram enviadas para o LAMIN Manaus e os resultados estão sendo processados para a realização das estimativas de fluxo de sedimentos, juntamente com a avaliação dos resultados gerados pelo LISST. A tabela 2 apresenta os resultados de vazão líquida.

Transversal	Início Mg	Hora do Início	Q Total	Largura	Área Total	Q/Área	Velocidade do Fluxo	Dir Fluxo°	Hora do Final	Duração	Velocidade
			m³/s	m	m²	m/s	m/s	°		s	Ref.
fql_17050001_2024.06.13000	Esquerdo	07:25:46	216784.9	2397.5	131319.4	1.651	1.753	127.53	07:58:10	1943.68	Ref: VTG
fql_17050001_2024.06.13001	Direito	08:04:49	216588.5	2400.26	132100.8	1.64	1.858	126.77	08:45:09	2419.15	Ref: VTG
Média			216686.7	2398.88	131710.1	1.646	1.805			Total	
Std.Dev.			138.888	1.96	552.55	0.008	0.074			4362.83	
Std./ Avg (%)			0.06	0.08	0.42	0.47	4.11			01:12:43	
fql_16030000_2024.06.10000	Esquerdo	12:23:14	195081.7	3458.72	126284.1	1.545	1.694	99.06	13:01:51	2317.44	Ref: VTG
fql_16030000_2024.06.10001	Direito	13:02:12	194093.5	3454.34	125933.1	1.541	1.638	100.5	13:56:35	3263.11	Ref: VTG
Média			194587.6	3456.53	126108.6	1.543	1.666			Total	
Std.Dev.			698.786	3.1	248.23	0.003	0.04			5580.55	
Std./ Avg (%)			0.36	0.09	0.2	0.18	2.38			01:33:01	
fql_15901000_2024.06.09002	Esquerdo	10:20:32	21883.41	947.88	23641.38	0.926	0.934	30.27	10:32:57	744.87	Ref: VTG
fql_15901000_2024.06.09003	Direito	10:33:05	21724.65	941.37	23607.74	0.92	0.959	31.2	10:45:16	731.26	Ref: VTG
Média			21804.03	944.62	23624.56	0.923	0.947			Total	
Std.Dev.			112.261	4.6	23.79	0.004	0.018			1476.13	
Std./ Avg (%)			0.51	0.49	0.1	0.46	1.87			24:36:00	
fql_15040000_2024.06.08005	Esquerdo	09:07:08	22288.34	836.58	17784.01	1.253	1.252	114.39	09:16:29	561.46	Ref: VTG
fql_15040000_2024.06.08006	Direito	09:16:36	22190.66	831.79	17738.09	1.251	1.264	114.29	09:27:24	647.89	Ref: VTG
Média			22239.5	834.18	17761.05	1.252	1.258			Total	
Std.Dev.			69.072	3.39	32.47	0.002	0.008			1209.35	
Std./ Avg (%)			0.31	0.41	0.18	0.13	0.63			20:09	
fql_15030000_2024.06.08000	Esquerdo	15:07:57	148051.5	2741.56	97900.42	1.512	1.576	104.47	15:38:38	1841.27	Ref: VTG
fql_15030000_2024.06.08001	Direito	15:40:00	148074.1	2754.7	97617.07	1.517	1.599	103.47	16:10:40	1840.02	Ref: VTG
Média			148062.8	2748.13	97758.74	1.515	1.587			Total	
Std.Dev.			15.976	9.29	200.36	0.004	0.016			3681.29	
Std./ Avg (%)			0.01	0.34	0.2	0.23	1.02			01:01:21	
fql_14100000_2024.06.06000	Esquerdo	10:23:28	122200.3	3118.82	87314.34	1.4	1.415	90.41	10:57:50	2061.62	Ref: VTG
fql_14100000_2024.06.06001	Direito	10:58:10	123541.2	3120.67	86370.06	1.43	1.492	91.44	11:27:04	1734	Ref: VTG
Média			122870.7	3119.75	86842.2	1.415	1.454			Total	
Std.Dev.			948.169	1.31	667.71	0.022	0.054			3795.62	
Std./ Avg (%)			0.77	0.04	0.77	1.54	3.73			01:03:16	

Tabela 2 – Resultado das medições de descarga líquida obtidas na campanha.

Além da descarga líquida obtida por equipamentos de efeito Doppler do tipo aDcp modelo RDI Monitor 300 Khz, foi realizado nas estações de Careiro, Manacapuru, Foz do Madeira, Itacoatiara e Óbidos a coleta de amostras de sedimentos (Figura 15), radiometria, granulometria e amostragem com o LISST (Figura 16). Na embarcação foi

realizada a filtração e separação dos filtros e amostras para granulometria no granulômetro a Laser do LAMIN.



Figura 15 – Amostrador de sedimentos pontual, aDcp imerso e antena GPS na amostragem de sedimentos.



Figura 16 – LISST adaptado para operação em grandes rios.

2.3 ATIVIDADES DE CAPACITAÇÃO, PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS E PESQUISAS REALIZADAS EM 2024

O SGB, por meio do projeto Dinâmica Fluvial, tem promovido, organizado e participado de diversas atividades de capacitação, conferências nacionais e internacionais, além de pesquisas relacionadas ao sensoriamento remoto aplicado à hidrologia. Essas iniciativas têm permitido ao SGB divulgar suas pesquisas, fomentar o intercâmbio de conhecimento com outras instituições atuantes na mesma temática e contribuir para o desenvolvimento científico, além de incentivar a pesquisa e a aplicação de novas tecnologias no monitoramento hidrológico. Nos subitens a seguir, destacam-se as principais atividades que contaram com a participação do SGB.

2.3.1 Conferência Internacional sobre Hidrologia Espacial

Cientistas se reuniram em Belém para a 4ª edição do South America Water from Space com tema "Satélites para proteger os recursos hídricos". O ciclo da água tem passado por intensas modificações sob a influência das mudanças climáticas, acentuadas pela crescente pressão antropogênica. Essas alterações resultaram na intensificação de fenômenos extremos — secas e inundações — em várias partes do mundo, representando uma ameaça real aos recursos hídricos globais, ao meio ambiente e às nossas sociedades.

A América do Sul, em particular, tem sido palco dessas mudanças há décadas, como observado no maior sistema fluvial do mundo, o Amazonas. Entre 29 de outubro e 2 de novembro de 2024, Belém, no Brasil, sediou a 4ª edição da conferência internacional South America Water from Space. O evento apresentou os avanços científicos mais recentes em hidrologia espacial e destacou a importância do monitoramento de recursos hídricos e ambientais a partir do espaço.

Organizada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), IRD, CNES, ABRHidro e parceiros, a 4ª edição da conferência foi realizada na Universidade Federal do Pará (UFPA) e reuniu mais de 250 participantes de 15 nacionalidades, incluindo cientistas da América Latina, América do Norte, África e Europa. Ao todo foram mais de 80

instituições presentes. O evento promoveu discussões sobre os últimos avanços no estudo do ciclo da água, com foco na América do Sul e na África, além de abordar desafios futuros (Figura 17).



Figura 17 – Auditório da conferência South America Water from Space IV.

América do Sul: uma região vulnerável

Conhecida como o continente fluvial por seus vastos sistemas hídricos e áreas úmidas, como o Amazonas, o Paraná e o Pantanal, a América do Sul enfrenta intensamente os impactos das mudanças climáticas. A região está no centro dos desafios relacionados à intensificação do ciclo hidrológico e às ameaças às reservas de água, biodiversidade e populações.

Na Amazônia, eventos como inundações e secas extremas já se tornaram frequentes. Em 2023 e 2024, por exemplo, a região sofreu duas secas excepcionais consecutivas. Enquanto isso, os níveis de água nas estações secas têm diminuído, e os níveis nas estações de chuva têm aumentado, configurando mudanças hidrológicas significativas que impactam ecossistemas e populações.

Hidrologia Espacial

Diante desses desafios, a observação de variáveis-chave do ciclo da água, como precipitação, altura e vazões dos rios, evapotranspiração e estoques de água doce, tornou-se essencial. Para isso, foi desenvolvida a Hidrologia Espacial, ciência dedicada a estudar a água doce continental por meio de satélites. A missão SWOT (Surface Water Ocean Topography), uma colaboração entre NASA e CNES lançada em 12 de dezembro de 2022, é um marco nessa área. Ela fornece a primeira cartografia global detalhada das águas de superfície, revolucionando o entendimento do ciclo da água e suas transformações. Além de seu valor científico, a Hidrologia Espacial oferece aplicações práticas, como o monitoramento de eventos extremos, a gestão de recursos hídricos e a preservação do meio ambiente.

Destaques do evento:

- Uma sessão dedicada à hidrologia do continente africano possibilitou o compartilhamento de conhecimentos e o fortalecimento da cooperação científica entre América do Sul e África.
- O evento enfatizou a ciência aberta, com dados de satélite livres e gratuitos, promovendo a colaboração internacional.
- Cursos e oficinas práticos sobre altimetria espacial, uso de dados da missão SWOT e outras técnicas foram realizados no dia 1º de novembro, capacitando estudantes e pesquisadores.

A conferência foi enriquecida por quatro minicursos que promoveram reflexões, aprendizado e troca de conhecimentos na área de hidrologia. O primeiro minicurso, "Radar Altimetry for Monitoring the Water Cycle and Extreme Events", foi ministrado por Adrien Paris, Taina Conchy e Benjamin Kitambo, abordando a extração de níveis de rios a partir de sensores de radar disponíveis. O segundo, "SWOT: A New Tool for Hydrology Monitoring", apresentado por Santiago Pena Luque, Daniel Moreira, Alice Fassoni, Fabrice Papa e Delphine Leroux, explorou as potencialidades dos dados da missão SWOT e o acesso a essas informações. O terceiro curso, "Water Resources Applications from Models and Remote Sensing", foi conduzido por Rodrigo Paiva,

enquanto o quarto, "Rainfall Estimation by Remote Sensing", ministrado por Rômulo Oliveira, Sly Wongchuig e Paulo Kuhn, focou na elaboração de rotinas em Python para a extração de dados de pluviosidade a partir de satélites. Esses minicursos ofereceram ferramentas práticas e conhecimentos aplicáveis, fortalecendo o monitoramento hidrológico e contribuindo para previsões mais precisas, alinhadas com a busca por processos mais eficientes na hidrologia. Encerrando a conferência South America Water From Space, foi realizada uma atividade de campo para demonstrar técnicas de coleta de dados hidrológicos convencionais e medição de vazão em campo. A atividade foi organizada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) e pela Itaipu Binacional, complementando a experiência prática dos participantes (Figura 18).



Figura 18 – Atividade de campo da conferência South América Water from Space.

O South America Water from Space IV consolidou-se como um importante fórum para promover a ciência e a cooperação internacional na hidrologia espacial. Ele não apenas destacou os avanços científicos, mas também fomentou o diálogo entre continentes, reforçando a importância da pesquisa colaborativa para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e proteger os recursos hídricos globais. Ao todo foram mais de 42 apresentações orais técnicas e 46 pôsteres de várias instituições brasileiras e internacionais como SGB, ITV, Itaipu, INPE, Cemaden, ANA, FUCEME, IPH, Mamiraua,

IRD, CNES, LEGOS, Hydro Matters, WMO, UEA entre outras. Além disso, o evento contou participação de várias universidades, entre elas a UFPE, UFAM, UFRGS, UNB, University Stockholm, University Kinshasa, University of Lubumbashi, RD Congo, University of Concepción (Chile), University of North Carolina - Chapel Hill e National Autonomous University of Mexico. A participação do SGB foi marcada pela presença de seus colaboradores, que trouxeram perspectivas valiosas para o evento. Entre os representantes, destacaram-se:

- Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial, Alice Castilho, que deu as boas-vindas aos pesquisadores em nome do SGB;
- Andrea Germano (Chefe do Departamento de Hidrologia), que apresentou os trabalhos desenvolvidos por este Departamento.
<https://drive.google.com/drive/folders/1qcWycOLBQ5xD9q1-AYkkourcvlqY8z93>
- Daniel Moreira, que apresentou o tema da altimetria espacial e os ganhos de informações hidrológicas com o novo satélite SWOT no cenário de mapeamento da seca na bacia amazônica.
<https://drive.google.com/drive/folders/1iFe9CHHpeyC8XpsSeMOTUX6lyJmdxjyy>
- Victor Hugo da Motta Paca que apresentou o trabalho CHIRPS and SSEBop to support the precipitation isohyets atlas and water balance in Brazil.
- David Franco Lopes, Alan Felipe Progênio do Amaral Sousa, Andressa Azambuja, Paulo André Vasco Barbosa, Rodrigo Pinheiro Ernandes, Bruna Roberta Pereira Lira, Leandro Guedes, Reginaldo Braz dos Santos e Mauro Sergio Rodrigues participaram como instrutores da atividade de campo.

Mais detalhes sobre o evento, apresentações, fotos podem ser encontrados no sítio web <https://hydrologyfromspace.org/>.

2.3.2 Projeto De Capacitação Fluvius

O projeto FLUVIUS - Anavilhanas é uma iniciativa de formação técnica financiada pelo IRD e operada pela UFAM e pelo laboratório Geociências Ambientais Toulouse

(GET). A formação faz parte do programa PSF do IRD e foi concebido para atender a uma demanda de transferência de conhecimento adquirido pela equipe internacional que desenvolve o Serviço de Observação HYBAM na Amazônia há 20 anos sobre o estudo do ciclo da água na Amazônia e, em particular, a hidrologia e a geoquímica da maior bacia hidrográfica do mundo.

Em 2024 houve a segunda edição e teve a participação do SGB nas atividades de formação de funcionários de órgãos ambientais governamentais e regionais, ONGs, serviços ambientais ou movimentos ambientalistas, com formação superior ou pós-graduação em áreas afins, e que tinham afinidade com o monitoramento de recursos hídricos na Amazônia.

Foi uma capacitação ocorrida entre os dias 01 de outubro a 21 de outubro, parte na modalidade *online* e uma etapa presencial com a abertura no auditório do SGB Manaus e parte prática e teórica no município de Novo Airão, a aproximadamente 120km da capital do Amazonas, a Figura 19 apresenta a programação completa do curso.

O objetivo foi apresentar novas tecnologias para o monitoramento de unidades de conservação (UC) na Amazônia, para apoiar e melhorar a eficácia das ações de monitoramento dos atores ambientais (órgãos, ONGs, comunidades locais, academia). Em um contexto de degradação acelerada do meio ambiente amazônico (desmatamento, mudanças climáticas, garimpo, etc.).

Os alunos receberam treinamento teórico e prático centrado no estudo de casos de degradação ambiental, adquirindo capacidade de coletar dados usando tecnologias modernas, processá-los, analisá-los e assim produzir os relatos da situação ambiental do que viram no arquipélago de Anavilhanas, um recorte da região amazônica.

Após debates e análises do que viram em campo, os alunos puderam entender a atuação técnico-científica que os parceiros do programa exercem, principalmente no âmbito da parceria SGB-IRD, com informações básicas para sensibilizar as populações e instituições locais e nacionais sobre a importância do monitoramento e posterior geração de conhecimento.

2ª Edição
FLUVIUS ANAVILHANAS
Curso de práticas de amostragem ambiental no meio fluvial tropical

SOBRE O CURSO
O Curso Fluvius - Anavilhanas foi idealizado com o objetivo de promover a formação de recursos humanos no uso de tecnologias de monitoramento de longo prazo da qualidade da água para alertar sobre o impacto das atividades humanas na Amazônia, por meio das seguintes capacitações:

- Compreensão do funcionamento do monitoramento hidrométrico;
- Medição de vazão com o uso de tecnologia Doppler;
- Obtenção de dados radiométricos;
- Obtenção de dados físico-químicos;
- Cálculo de fluxos elementares de eventuais contaminantes;
- Produção de mapas ambientais temáticos com o uso de dados de satélite;
- Protocolo e análises de mercúrio.

Programação

- **Módulo 1 - 01/10 a 13/10/2024**
 - Local: Online via canal do youtube do Rios Online
 - Objetivo: Promover palestras com especialistas no tema
- **Módulo 2 - 14/10 a 21/10/2024**
 - Local: Novo Airão
 - Objetivo: Promover aulas teóricas e atividades práticas de coleta, processamento e análise de dados para a geração de produtos

INSCREVA-SE AQUI

Figura 19– Programação do curso FLUVIUS Anavilhanas 2024.

2.3.3 Trabalhos científicos produzidos

Artigos publicados:

JARAMILLO, F. *et al.* The potential of hydrogeodesy to address water-related and sustainability challenges. **Water Resources Research**, Malden, MA, v. 60, n. 11, e2023WR037020, 2024. DOI 10.1029/2023WR037020.

Artigos submetidos (Pre-Prints):

MOREIRA, D. M. *et al.* Widespread and exceptional reduction in river water levels across the Amazon Basin during the 2023 extreme drought revealed by satellite

altimetry and SWOT. **ESS Open Archive**, August 19, 2024. DOI 10.22541/essoar.172408211.17914763/v1.

WANG, Y.; MORTON, Y. J.; MINEAR, J. T.; PUTNAM, A.; CONRAD, A.; AXELRAD, P.; NEREM, R.; WARNOCK, A.; RUF, C.; MOREIRA, D. M.; TALPE, M. Measuring river slope using spaceborne GNSS reflectometry: methodology and performance assessment. **Social Science Research Network (SSRN)**, c2024. DOI 10.2139/ssrn.4943045.

COULET, P.; DURAND, F.; FASSONI-ANDRADE, A. C.; KHAN, J.; TESTUT, L.; TOUBLANC, F.; SANTOS, L. G.; MOREIRA, D. M. Assessment of the hydrodynamical signature of the record-breaking 2021 flood along the Amazon Estuary. **Social Science Research Network (SSRN)**, c2024. DOI 10.2139/ssrn.4991079.

Encontros científicos:

MOREIRA, Daniel Medeiros *et al.* SWOT CAL/VAL results over the Amazon: SWOT for South America (2020-2023) and SAMBA (Swot for AMazon BASin 2024-2027) science team project. *In*: SWOT Science Team Meeting, June 18th 2024, Chapel Hill, NC. Washington, DC: NASA, 2024. Disponível em: https://swotst.aviso.altimetry.fr/fileadmin/user_upload/SWOTST2024/20240620/hydro/Thu_AM_SLeW_splinter-News-cienceresultsCALVALovertheAmazon.pdf. Acesso em: 18 dez. 2024.

MOREIRA, Daniel Medeiros. Widespread of extreme low river water level during the 2023 and 2024 Amazon droughts revealed by altimetry and SWOT. *In*: SOUTH AMERICA WATER FROM SPACE, 4., oct. 29-2 nov. 2024, Belém, PA. Belém: IRD; CNES; SGB; IPH-UFRGS, 2024.

2.4 SUPORTE DE PREVISÃO PLUVIOMÉTRICA POR SATÉLITE AOS SISTEMAS DE ALERTAS

Diariamente, a equipe do projeto Dinâmica Fluvial produz cerca de 1.000 mapas com informações detalhadas sobre a precipitação em mais de 130 áreas de drenagem, atendendo aos 17 sistemas de alerta operados pelo SGB.

Esses mapas incluem:

- Estimativas de chuva por satélite em escalas horárias, abrangendo as últimas 24 horas.
- Dados de precipitação diária da última semana.
- Anomalias mensais de precipitação, comparando a chuva atual com a média histórica.

- Mapas de previsão diária de chuva para os próximos 15 dias.
- Mapas de precipitação horária com alta precisão, cobrindo as próximas 24 horas.

Essas informações oferecem uma visão abrangente das condições climáticas atuais e futuras, sendo essenciais para a análise de eventos extremos, como secas ou cheias previstas pelos modelos. A Figura 20 ilustra um exemplo prático desses dados em ação.

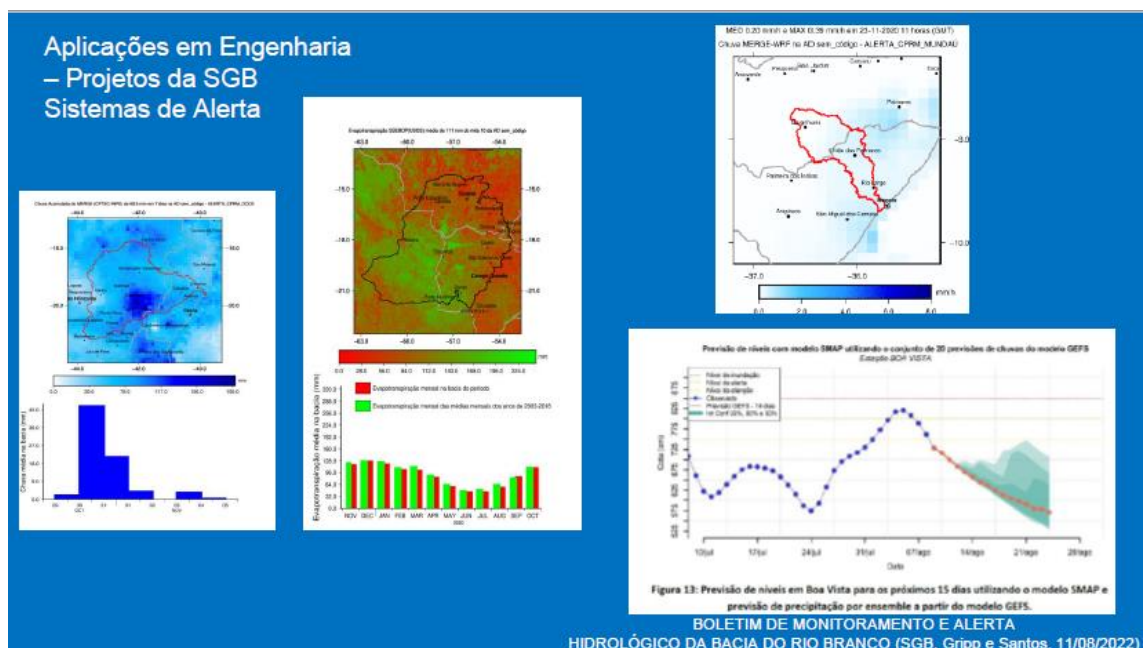


Figura 20 – Dados de previsão de chuva.

2.5 SITE DE VISUALIZAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO FLUVIOMÉTRICO POR SATÉLITE

Para compreender os sistemas hídricos, suas interconexões e os impactos das mudanças climáticas nas bacias hidrográficas, assim como realizar a caracterização quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos, o monitoramento hidrológico é uma ferramenta essencial. Nesse contexto, a altimetria espacial surge como uma solução complementar ao monitoramento hidrológico convencional. Utilizando dados de diversos satélites disponíveis, essa tecnologia tem ampliado a capacidade de monitoramento, acelerado o acesso às informações hidrológicas e fornecido dados com

uma cobertura espacial mais representativa do regime hidrológico, especialmente em regiões de difícil acesso ou com custos elevados devido à geografia ou às dimensões.

O monitoramento das águas continentais por altimetria espacial teve início na década de 1990, com os pioneiros satélites TOPEX-Poseidon, seguidos pelos satélites da série Jason (1, 2 e 3), que possuem resolução temporal de 10 dias. Entre outras missões, destaca-se o ENVISAT, com resolução temporal de 35 dias. Atualmente, estão em operação as missões Sentinel-3 (satélites A e B), Sentinel-6 e os dados do satélite SWOT, equipado com o sistema interferométrico inovador KARIN, vem revolucionando a obtenção de informações hidrológicas por satélite.

Uma análise integrada, utilizando dados de satélites altimétricos em conjunto, é viável desde que haja um rigoroso controle de qualidade das observações. Isso possibilita a integração espacial e temporal dos dados de altimetria, complementando informações hidrológicas convencionais e densificando os dados disponíveis sobre uma bacia hidrográfica.

Para facilitar o acesso a essas informações, o SGB, IRD e seus parceiros desenvolveram um SIG-WEB (Figura 21), que disponibiliza um conjunto de dados hidrológicos por satélite por meio de uma interface amigável, acessível via link na página do SGB. Os dados são tratados e disponibilizados em parceria com SGB, IRD/CNES, HydroMatters e IPH, utilizando a plataforma Hydroweb-Next do CNES como fonte principal. O projeto contempla o processamento de dados hidrológicos de satélite, a geração de novos produtos baseados em sensoriamento remoto e a disponibilização das informações ao público.

Essa iniciativa integra o grupo South America Water From Space, formado por pesquisadores que desenvolvem projetos na área de sensoriamento remoto aplicado à hidrologia. As informações sobre os níveis dos rios estão disponíveis no site <https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>, apresentando gráficos sobre cheias (cotas máximas), vazantes (cotas mínimas) e a cota atual observada pelos sensores, além da média das cotas máximas e mínimas históricas. Assim, é possível identificar áreas de atenção para períodos de seca ou cheia. Além disso, a série histórica pode ser filtrada

por satélite, permitindo análises detalhadas e específicas. Em especial no ano de 2024 tivemos a evolução do site web para visualização em smartphones, sendo assim facilitada a visualização para usuários da mesma forma o compartilhamento de informações.

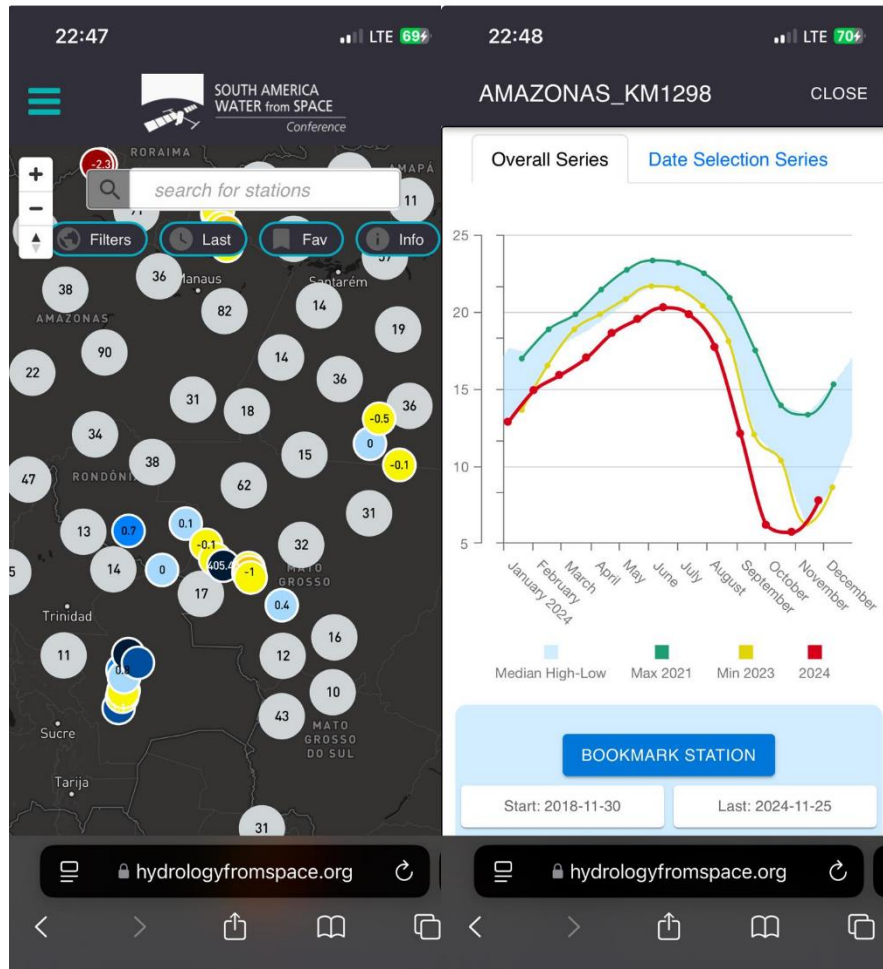


Figura 21: Tela da APP-WEP <https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>

3. CONCLUSÃO E PERSPECTIVA PARA 2025

A aplicação de dados de sensores orbitais em hidrologia está sendo incorporada pelo SGB em sua missão institucional de realizar o monitoramento hidrológico em nível nacional. Nesse contexto, a capacitação e a absorção de novas tecnologias são fundamentais para superar os desafios relacionados à falta de recursos humanos e financeiros, bem como à complexidade de monitorar a hidrologia de um país com dimensões continentais, que inclui regiões de difícil acesso e bacias hidrográficas transfronteiriças.

No campo da inovação tecnológica, destaca-se o lançamento do satélite SWOT, em 15 de dezembro de 2022. O SGB participa do time científico por meio do projeto SAMBA (Swot for AMazon BASin), cujo objetivo é explorar as diversas potencialidades da missão SWOT em hidrologia para a bacia Amazônica. Essas campanhas não apenas fortaleceram a validação do satélite SWOT, mas também consolidaram a participação do SGB em colaborações globais voltadas à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias avançadas de monitoramento hidrológico. Com isso, o SGB tem adquirido novas competências que ampliam sua capacidade de compreender e preservar os recursos hídricos essenciais para o nosso planeta. Nos últimos anos, o SGB tem atuado como um difusor de conhecimento geocientífico no uso de satélites aplicados à hidrologia, promovendo pesquisas e gerando informações relevantes. Para atingir esses objetivos, o SGB tem desenvolvido três principais frentes de atuação:

- Disseminação do conhecimento científico: O SGB tem trabalhado em parceria com agências internacionais, como CNES, IRD e NASA. Em 2015, organizou o primeiro encontro na América do Sul para divulgar e discutir a missão SWOT, realizado em seu escritório no Rio de Janeiro. Esse evento fomentou o surgimento de conferências temáticas sobre hidrologia espacial, denominadas South America Water From Space, que já tiveram três edições no Brasil, com o SGB como um dos organizadores.
- Levantamento de informações de campo: Para subsidiar a validação e calibração dos dados do SWOT, o SGB mantém sítios estratégicos ao longo do território

nacional. Esses locais são utilizados pela comunidade internacional para validar os dados do satélite, com destaque para os trabalhos de campo realizados em Santarém, Alto Rio Negro e São Francisco, entre outros.

- Pesquisa e capacitação: O SGB tem investido na capacitação de seus pesquisadores, preparando-os para absorver e disseminar novos conhecimentos. Diversos profissionais envolvidos no projeto concluíram mestrado, doutorado e estão realizando pós-doutoramento, como o analista Daniel Moreira, atualmente em Toulouse, França.

Planejamentos para 2025

Para o próximo ano, o SGB pretende dar continuidade às iniciativas já em curso na temática de sensoriamento remoto aplicado à hidrologia. Entre os planos, destaca-se o aprimoramento da aplicação web de monitoramento hidrológico por altimetria espacial (<https://hydrologyfromspace.org/hfs-app/>), realizada em conjunto com IRD e outros parceiros. O foco será expandir as séries de nível de água para novas missões espaciais e integrar os dados da missão SWOT à plataforma.

Em 2025 também será realizada a COP30 na cidade de Belém do Pará, com expectativa que nesse evento seja realizado uma atividade conjunta entre SGB, IRD e CNES, envolvendo pesquisas de sensoriamento remoto para hidrologia em espacial dando destaque a utilização da missão SWOT.

O acordo com o IRD também está em processo de renovação, sendo uma atividade prioritária para o primeiro trimestre de 2025, nesse contexto está sendo proposto um acordo tripartite unindo esforços do SGB, ANA e IRD na pesquisa de hidrologia espacial no território brasileiro.

Outra iniciativa planejada envolve a aplicação de tecnologias de monitoramento sedimentométrico em campo, com apoio de dados de satélites, visando o aprimoramento de protocolos para medições na região Amazônica. Está prevista a utilização da tecnologia LISST, com adaptações identificadas para viabilizar sua aplicação no cálculo de descarga sólida em grandes rios.

Além disso, o desenvolvimento de um aplicativo de hidrossedimentologia, em parceria com o IRD no âmbito do projeto HYBAM, está em curso. Esse aplicativo será essencial para o gerenciamento e armazenamento de dados, demandando a inserção de um bolsista de pós-graduação dedicado à tarefa. Também é prioritário consolidar um banco de dados compartilhado entre as instituições parceiras, contendo informações coletadas ao longo de mais de 10 anos de colaboração.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ASSUNI e aos membros da Diretoria Executiva, especialmente à DHT e sua equipe, que forneceram todo o suporte necessário para o desenvolvimento da pesquisa científica realizada em cooperação entre SGB e IRD. Expressamos nossa gratidão à Agência Espacial Francesa (CNES) e ao IRD pelo apoio técnico e financeiro, reconhecendo a capacidade do Serviço Geológico do Brasil em conduzir essa pesquisa de relevância no tema de Hidrologia por Satélites.

Queremos estender nossos agradecimentos às chefias e colaboradores da DIHAPI, DEHID, GEHITE-MA, GEHITE-RE e GEHITE-BE, especialmente àqueles que desempenham atividades no projeto Dinâmica Fluvial. Reconhecemos e agradecemos às universidades parceiras, em especial a UFRJ, UFAM, UEA, UFPE e UFRGS(IPH), por apoiarem e capacitarem os técnicos do SGB em busca de uma formação acadêmica mais sólida.

Adicionalmente, gostaríamos de destacar nosso agradecimento ao projeto Ore-Hybam (Observatório de Pesquisa em Ambiente - Controles geodinâmicos, hidrológicos e biogeoquímicos da erosão/alteração e da transferência de materiais na bacia amazônica) por proporcionar dados coletados durante as campanhas de campo. A colaboração com a Rede Hidrometeorológica Nacional brasileira (RHN), operada pelo SGB e sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, também foi essencial, incluindo a logística e o compartilhamento de embarcações quando havia congruência nas áreas de atuação das campanhas realizadas pelo SGB, o que contribuiu significativamente para o desenvolvimento desses estudos. Agradecemos às equipes responsáveis e às unidades regionais envolvidas.

5. REFERÊNCIAS

CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface waters from satellite altimetry. **Comptes Rendus Geoscience**, Paris, v. 338, n. 14-15, p. 1113-1122, nov./dec. 2006. DOI 10.1016/j.crte.2006.05.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071306001210>. Acesso em: 20 dez. 2024.

MOREIRA, D. M. **Geodésia aplicada ao monitoramento hidrológico da bacia Amazônica**. 2016. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17049>. Acesso em: 28 dez. 2022.

ROSMORDUC, V.; BENVENISTE, J.; BRONNER, E.; DINARDO, S.; LAURET, O.; MAHEU, C.; MILAGRO, M.; PICOT, N. **Radar altimetry tutorial**: february 2011. [S. l.]: ESA; CNES, 2011. Disponível em: <http://www.altimetry.info/>. Acesso em: 28 dez. 2022.

SANTOS, A. L. M. R. **Análise temporal e espacial dos dados de sedimentos em estações hidrométricas na Amazônia**: casos de Manacapuru e Itacoatiara. 2022. 329 f. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22918>. Acesso em: 28 dez. 2022.