

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2020

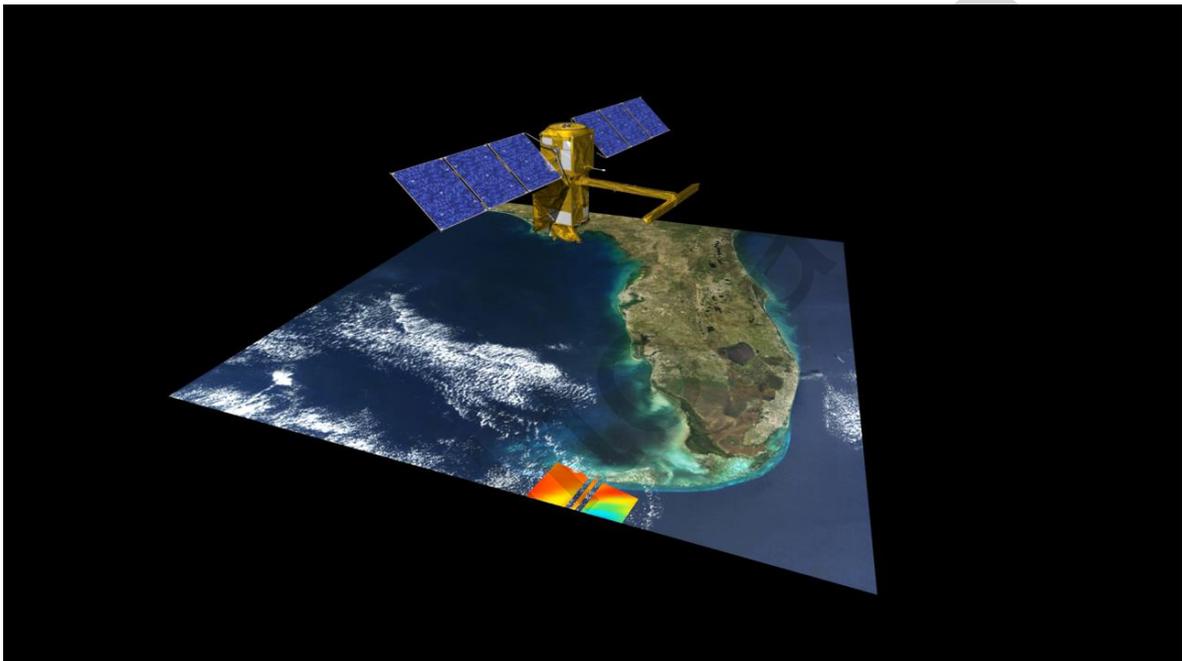


Figura: Satélite SWOT(NASA/CNES)

**PROJETO DINÂMICA FLUVIAL
ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE CPRM E IRD
PESQUISA EM HIDROLOGIA POR SATÉLITES**

DEZEMBRO / 2020

RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2020

PROJETO DINÂMICA FLUVIAL

ACORDO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL ENTRE CPRM E IRD PESQUISA EM HIDROLOGIA POR SATÉLITES

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretoria de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

Assessoria de Assuntos Internacionais

Maria Glícia da Nóbrega Coutinho

Departamento de Hidrologia

Frederico Cláudio Peixinho

Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

Coordenação Executiva

Daniel Medeiros Moreira

Equipe Técnica

André Luis Martinelli Real dos Santos

Daniel Medeiros Moreira

Jefferson Santana Melo

Victor Hugo da Mota Paca

Sumário

1	INTRODUÇÃO	4
2	MONITORAMENTO HIDROLÓGICO CONVENCIONAL	4
3	COOPERAÇÃO COM O IRD NO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO POR SATÉLITES	7
4	EQUIPE DE ATUAÇÃO NO PROJETO	10
5	DESENSOLVIMENTO DO PROJETO	11
5.1	Pesquisas na estimativa de descarga sólida a partir de dados de satélites	13
5.2	Pesquisas em Geodésia Espacial Aplicada Ao Monitoramento Hidrológico (Altimetria Espacial E Gnss).....	15
5.2.1	<i>SWOT</i>	18
5.2.2	<i>South American Water from Space</i>	19
6	ÓRGÃOS PARCEIROS	20
7	PRODUTOS	20
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	25
9	AGRADECIMENTOS	27

1. INTRODUÇÃO

O projeto Dinâmica Fluvial vem sendo desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) desde 2008, sob a coordenação da Divisão de Hidrologia Aplicada (DIHAPI) e do Departamento de Hidrologia (DEHID), tendo por objetivo operacionalizar as ações do acordo de cooperação internacional celebrado entre a CPRM e o instituto francês IRD - *Institut de Recherche Pour Le Développement*. Atualmente o acordo encontra-se na sua segunda renovação, estendida até novembro de 2024, com o tema e título “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”.

Dentre as principais atividades desenvolvidas no âmbito deste projeto, estão os estudos hidrológicos pautados no uso de técnicas de sensoriamento remoto, o que decorre do aprimoramento de tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico como um de seus objetivos prioritários, visando, em especial, apresentar um novo cenário para a área de hidrometria, onde dados satelitais podem suprir a carência de informações e melhorar a correspondente qualidade, custos associados e tempo de obtenção de dados básicos para subsidiar estudos hidrológicos.

A orientação e a justificativa do projeto são norteadas pela missão institucional do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), as quais incluem as atividades de geração de informações hidrológicas básicas para subsidiar os estudos e projetos que demandam o conhecimento acerca da disponibilidade hídrica e do potencial hidráulico das bacias brasileiras, a exemplo do monitoramento hidrológico básico realizado pela CPRM em todo o território brasileiro, através da operação da Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN. Em consonância com sua missão, as técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico já são atualmente utilizadas em diversos estudos e aplicações em diferentes regiões do globo terrestre, o que permite que essas técnicas em um futuro próximo sejam utilizadas de forma operacional a complementar o monitoramento hidrológico convencional. Do ponto vista científico, o uso do sensoriamento remoto representa o maior avanço tecnológico em hidrometria dos últimos anos sendo, portanto, fundamental que Serviço Geológico do Brasil esteja preparado para absorver as suas técnicas, métodos e processos.

2. MONITORAMENTO HIDROLÓGICO CONVENCIONAL

Conforme mencionado anteriormente o Serviço Geológico do Brasil é o principal operador da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), atividade que no momento atual envolve cerca de 2700 locais de monitoramento, atingindo quase 4

mil estações hidrológicas de monitoramento fluviométrico e/ou pluviométrico. A seguir, na Figura 1, observa-se a distribuição dos pontos de monitoramento no território brasileiro:

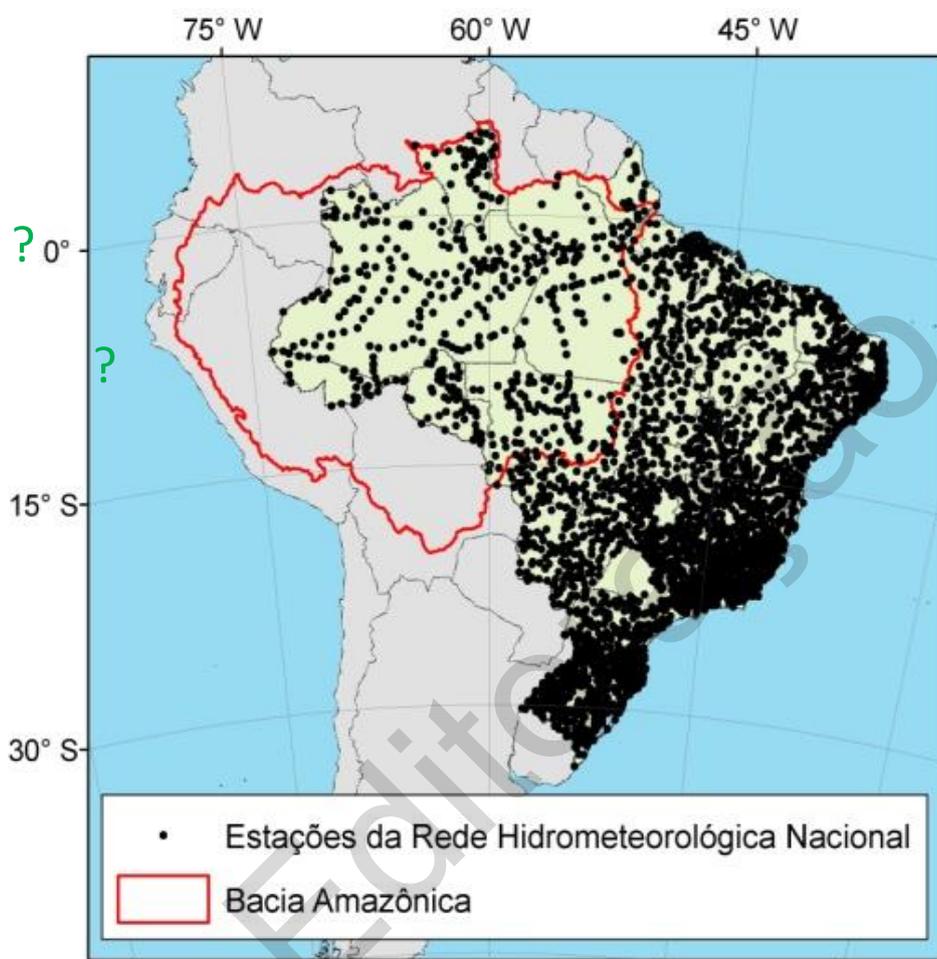


Figura 1 – Pontos de monitoramento da RHN.

Apesar do grande esforço na execução dessa atividade, o que envolve grande parte do quadro de funcionários do Departamento de Hidrologia (DEHID), a RHN possui diversos desafios, dentre os quais resumidamente:

- A falta de homogeneidade na distribuição espacial de estações ao longo do território: em regiões a exemplo da Amazônia (Figura 1) existe baixa densidade de estações hidrológicas, apresentando carência de dados para diversos estudos hidrológicos;

- O alto custo operacional: dezenas de milhões de reais são gastos na operação da RHN. Em algumas regiões como a exemplo da Amazônia, algumas estações precisam ser visitadas por avião ou embarcação fluvial, o que aumenta o custo e, ao mesmo tempo, justifica a baixa densidade de dados;

- A dificuldade de atualização dos dados: a exemplo da Amazonia, devido ao alto custo operacional, as visitas de manutenção da RNH também são espaçadas no tempo. Na grande maioria das estações as mesmas ocorrem apenas 3 vezes ao ano, o que pode dificultar o controle da qualidade da informação e até mesmo a disponibilidade do dado atualizado em locais onde não há o recurso da telemetria;

- A manutenção dos equipamentos *in situ*: por ser uma rede de estações localizadas em campo, esses mesmos equipamentos estão sujeitos às intempéries da região de instalação, sendo passíveis de serem danificados por enfrentar condições climatológicas além do que foram projetados para medir e até mesmo situações de vandalismo; e

- A ausência de dados em regiões de fora do território brasileiro em bacias transfronteiriças, bacias como a Amazônica (Figura 1) e do Paraguai: bacias transfronteiriças também necessitam de informações hidrológicas de outros países, uma vez que a água oriunda de regiões além da fronteira também pode drenar para o nosso território. Devido ao fato de cada país ter o seu próprio protocolo de operação e disponibilização dos dados, nem sempre essa informação importante está disponível de forma imediata para monitorar eventos hidrológicos extremos que precisam ser avaliados com máxima antecedência.

Ao redor do globo, em termos gerais, as redes hidrometeorológicas locais sofrem dos mesmos problemas citados, limitação de recursos e dificuldade de acesso para manutenção das estações, fatos que trazem diversos desafios para um monitoramento hidrológico de forma homogênea, o que torna difícil encontrar estações com registros históricos longos, contínuos e de qualidade para atender as diversas demandas que envolvem os estudos e ações pautadas no monitoramento hidrológico. Outro fator negativo é que muitos dos dados existentes não têm atualização em tempo real, o que prejudica e limita o uso da informação para previsão e monitoramento de eventos extremos.

Segundo o GRDC (Global Runoff Data Center), que é um centro internacional que atua há mais de 30 anos com a missão de integrar as diversas bases de dados de hidrologia existentes de forma a subsidiar os estudos climáticos em escalas globais, as informações hidrológicas disponíveis a redor do globo estão em declínio, o que gera um cenário preocupante, conforme o que se apresenta no gráfico da Figura 2 .

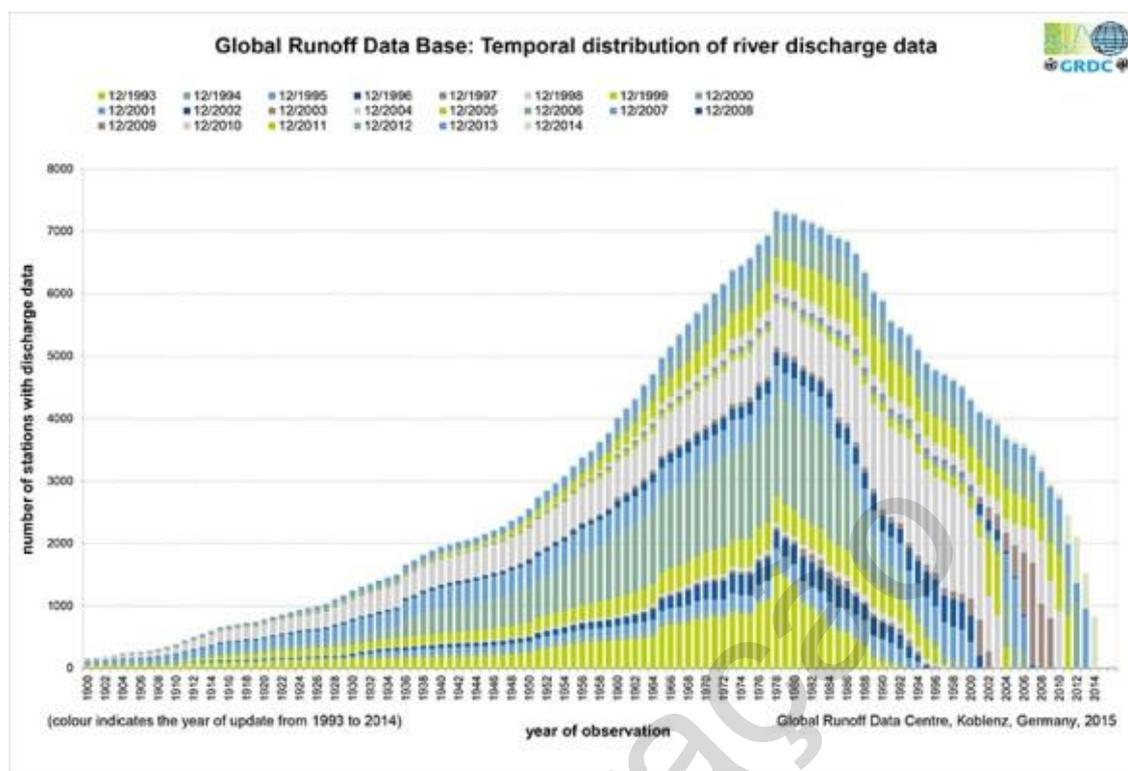


Figura 2 – Estações hidrológicas que tem dados de vazão disponíveis.

Entre as várias causas que podem estar associadas ao declínio dessas informações disponíveis, podemos destacar que a falta de recursos para manter as redes, mudança na política de divulgação da informação, muitos dados deixaram de ser de livre acesso e mesmo perda de interesse no monitoramento, sendo algumas destas redes criadas apenas para atender finalidades específicas, a exemplo para a construção de empreendimentos, outras criadas logo após o surgimento de eventos hidrológicos extremos etc. No entanto com o passar do tempo com a não ocorrência de novos fenômenos extremos de forma errônea as estações foram descontinuadas.

3. COOPERAÇÃO COM O IRD NO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO POR SATÉLITES

Na atualidade um novo cenário a partir de informações satelitais pode ser empregado na área de hidrometria, onde se pode, a partir de dados geodésicos, com o aporte de medições *in situ*, ou mediante dados de sensores localizados em plataformas orbitais, por complementaridade e associação, suprir a carência de dados hidrológicos básicos, principalmente de nível de água dos rios, lagos e áreas úmidas.

Com base nesse propósito, a pesquisa em tecnologias de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento hidrológico tornou-se um importante caminho

para a observação e melhor entendimento da hidrologia nas bacias hidrográficas, uma vez que a técnica de sensoriamento remoto é capaz de, forma complementar, de proporcionar as seguintes contribuições para o monitoramento hidrológico:

- Gerar dados com cobertura praticamente global, permitindo a aquisição de informações hidrológicas em regiões de difícil acesso, a exemplo das regiões fora de fronteira do Brasil, floresta, regiões de conflito etc.

- Pela cobertura quase global dos satélites, os dados podem ser gerados em grades homogêneas, com mesmas resoluções espaciais, o que também permite densificar as redes hidrometeorológicas convencionais existentes.

- Os métodos de aquisição de dados por satélites são bem diferentes dos dados adquiridos por estações hidrometeorológicas em campo, apesar de não estarem alheios a falhas de aquisição, por essa diferença de métodos de aquisição e pelo fato do satélite estar no espaço livre das intempéries do terreno, os dados de satélite podem apresentar uma alternativa de informação quanto às estações de campo, quando estas apresentarem falhas no fornecimento de informações hidrológicas.

- Os métodos de aquisição de dados por satélites apesar de poderem sofrer alguma perda de precisão conforme o ambiente de observação dos dados, os mesmos apresentam certa homogeneidade e uma vez comprovada a eficácia no ambiente de interesse de monitoramento, eles podem ser utilizados para consistência de dados hidrológicos das estações de campo, sobretudo para correções de erros grosseiros.

- As novas informações de dados hidrológicos com base em sensoriamento remoto estão adotando o conceito de disponibilização da informação em tempo real, ou seja em um tempo muito próximo a passagem do satélite pela região, o que tem permitido a informação satelital subsidiar o monitoramento hidrológico, a previsão, o controle e as estratégias de ação em eventos hidrológicos extremos.

A possibilidade de integração entre dados convencionais e dados oriundos de novas tecnologias, como o sensoriamento remoto, para o Brasil, representa a possibilidade de melhorar o conhecimento hidrológico a baixo custo, devido ao fato de que a maioria desses dados são fornecidos gratuitamente por agências espaciais internacionais.

No entanto, é necessário discutir os usos e incertezas desses mesmos dados, pois o uso indiscriminado de novas tecnologias pode aumentar o grau de incertezas na estimativa de variáveis hidrológicas, caso esses dados sejam utilizados de forma incorreta. O usuário deve estar ciente e bem capacitado para observar os possíveis erros e as limitações desses dados, principalmente no que diz respeito aos erros provenientes da precisão e de escalas espaciais e temporais adotadas para a aquisição, para que estes não se propaguem para as análises a serem realizadas, e a falta de conhecimento dessas incertezas certamente refletir-se-á na capacidade de se transformar os dados em informações confiáveis para serem aplicados como ações de resposta para a sociedade.

Nessa visão, conforme já citado, o objetivo principal da cooperação entre o IRD e a CPRM consolida-se a partir do estudo e do desenvolvimento de novas técnicas de aquisição de dados hidrológicos por meio de satélites orbitais, compreendendo as suas limitações e explorando o seu potencial no monitoramento, de modo a encontrar soluções à carência de dados hidrológicos, sob a perspectiva qualitativa e quantitativa, e auxiliar na redução dos custos operacionais e do tempo de aquisição de dados hidrológicos básicos, além as contribuições para o desenvolvimento tecnológico e científico global.

De forma específica o acordo de cooperação internacional entre a CPRM e o IRD pretende:

- Pesquisar novas técnicas de posicionamento global que garantirão o controle geodésico e monitoramento das informações hidrológicas a serem coletadas;
- Pesquisar técnicas de sensoriamento remoto que visem à obtenção de informações de níveis de água por satélite na bacia Amazônica;
- Pesquisar técnicas de sensoriamento remoto que visem à obtenção de estimativas de descarga sólida nos rios Amazônicos;
- Pesquisar métodos e equipamentos de campo que permitam a melhor estimativa da qualidade e quantidade de sedimentos nos rios Amazônicos;
- Capacitar equipes e profissionais capazes de desenvolver novas tecnologias para a aquisição de dados.

Na sua área de estudo, conforme o novo nome do acordo de cooperação “ACORDO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROJETO INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA FLUVIAL DE GRANDES BACIAS COM APORTE DE SENSORIAMENTO REMOTO”, abrangem 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 3.



Figura 3 – Área de atuação da pesquisa em hidrologia por satélites.

4. EQUIPE DE ATUAÇÃO NO PROJETO

As atividades realizadas através da cooperação entre a CPRM e o IRD, durante a vigência dos próximos cinco (5) anos do acordo, previstos pelo período de 2019 a 2024, tem o envolvimento permanente na pesquisa de dois pesquisadores da CPRM de forma constante. São eles:

- O pesquisador em geociências Andre Luis Martinelli Real dos Santos, da GEHITE-MA (Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial, da Superintendência de Manaus), que no momento está em dedicação exclusiva em doutoramento em atividade de pesquisa em realização conjunta CPRM-UFAM-IRD.

- O analista em geociências Daniel Medeiros Moreira, da DIHAPI (Divisão de Hidrologia Aplicada), que além da atividade de pesquisa realizada também é coordenador científico e administrativo do projeto pela CPRM. Por parte do IRD a pesquisa é liderada pelo pesquisador Fabrice Papa.

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 2020 em medições de campo fundamentais para o projeto pela SUREG-BE através da atuação do engenheiro Vítor Paca e do técnico Leandro Guedes, e apoio gerencial do GEHITE Homero Reis e supervisor Mauro Rodrigues. Pela SUREG-MA temos a atuação e apoio gerencial do supervisor Bernardo Oliveira, apoio gerencial da GEHITE Jussara

Maciel e suporte operacional de diversos técnicos de hidrologia lotados na SUREG-MA e do Laboratório de Análises Minerais – LAMIN. Pela SUREG-RE temos a atuação e apoio gerencial do supervisor Fábio Araújo e suporte operacional de diversos técnicos de hidrologia lotados na SUREG-MA.

Dois técnicos também estão em fase de transição buscando uma atuação mais permanente e melhor integração com o projeto, a integração de ambos tem como objetivo dos mesmos desenvolverem linhas de pesquisa próprias que sejam complementares e atendam as necessidades do projeto e da CPRM. São eles:

- Jefferson Melo, que em 2020 colaborou nas atividades administrativas e está atualmente se capacitando em linguagens de programação para tratamento de imagens de satélite.

- Victor Paca, que em 2020 conforme já mencionado realizou atividades de campo para o projeto, para as linhas de pesquisa já existentes e está ainda buscando o desenvolvimento de uma linha de pesquisa para atuar projeto.

Outro destaque a ser mencionado é a pesquisa realizada pelo engenheiro Arthur Abreu da DIHIBA (Divisão de Hidrologia Básica), que realiza mestrado na UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), apesar de não ter atuação formal pelo projeto e estar dedicado a outras atividades daquela Divisão, sua pesquisa de mestrado co-orientada pelo analista Daniel Moreira tem colaborado com o uso de dados de satélites no monitoramento hidrológico da bacia do rio Paraguai.

5. DESENSOLVIMENTO DO PROJETO

Os colaboradores da CPRM, Andre Martinelli e Daniel Moreira, atuam no projeto de forma permanente, em pesquisas distintas, estando o primeiro técnico dedicado as pesquisas de uso de dados de sensoriamento remoto em medições sedimentométricas, que envolvem também medições de vazão e sedimentos no campo, e o segundo técnico dedicado aos esforços de elaboração e inovação da pesquisa de uso de dados de geodésia espacial no monitoramento hidrológico, envolvendo aplicações de altimetria espacial e sistema de posicionamento global por satélites.

A concepção metodológica do projeto Dinâmica Fluvial baseia-se na integração de atividades de campo e escritório. Para validação das técnicas de sensoriamento remoto são necessárias a realização de campanhas de campo. Essas campanhas de campo normalmente se executam associadas ao monitoramento hidrológico convencional que envolve medições de vazão, coleta de registros dos observadores hidrológicos, pagamento dos observadores, manutenção das estações hidrometeorológicas etc. Essas campanhas são realizadas através de uma embarcação de madeira tipicamente amazônica, como pode ser observado na Figura 4.



Figura 4. Exemplo de embarcação utilizada nas campanhas de coleta de dados.

Nas campanhas de campo do projeto, o barco regional é utilizado como base para os trabalhos dos levantamentos hidrológicos, com medições e coletas de dados de:

- Vazões líquidas;
- Vazões sólidas;
- Coleta dos registros de cotas fluviométricas;
- Manutenção das estações e análise preliminar dos dados coletados;
- Medições de qualidade de água;
- Coleta de amostras para estimativa de concentração de sedimentos;
- Medição de radiometria *in situ*;
- Coleta de dados das estações GPS instaladas; e
- Coleta de dados de profundidade e declividade da linha de água através de receptores GPS e ecobatímetro instalados no barco.

No escritório, as seguintes tarefas primárias serão realizadas:

- Análise e processamento dos dados coletados;
- Aquisição e processamento de imagens de satélite referente aos estudos citados;
- Armazenamento dos mesmos no banco de dados do projeto;
- Comparação de dados de campo e dados de satélite para validação de produtos de sensoriamento remoto;
- Aplicação de dados de sensoriamento remoto em pesquisa na caracterização hidrológica da bacia Amazônica.

5.1 Pesquisas na estimativa de descarga sólida a partir de dados de satélites.

Na área de sedimentometria os dados de vazões sólidas e radiometria são comparados com dados de sensoriamento remoto das imagens MODIS dos sensores Aqua e Terra. Utiliza-se a infraestrutura do laboratório LAMIN em Manaus como suporte de estudos de sedimentos empreendidos pela SUREG-MA.



Figura 5- Pesquisador em Geociências Andre Santos realizando pesagem dos filtros em balança de precisão, ação fruto da parceria com o LAMIN Manaus.

Na embarcação, são levados todos os equipamentos necessários para realizar medições hidrológicas e manutenção das estações. A embarcação possui as condições necessárias para estadia dos técnicos e tripulantes. O trabalho de campo, normalmente, tem a duração mínima de três (3) semanas para a execução total das atividades previstas, segundo o cronograma usual das campanhas de operação.

Dentre os equipamentos embarcados, destaca-se um instrumento de medições sedimentométricas desenvolvido na parceria CPRM-IRD. Trata-se de um amostrador de água do tipo garrafa Van dor horizontal totalmente adaptado às condições amazônicas e a grandes rios. Dentre outras adaptações correlacionadas à hidráulica e hidrodinâmica particulares da região, houve a preocupação de adaptar uma garrafa transparente a fim de se observar o material grosseiro (areia) residual da coleta.

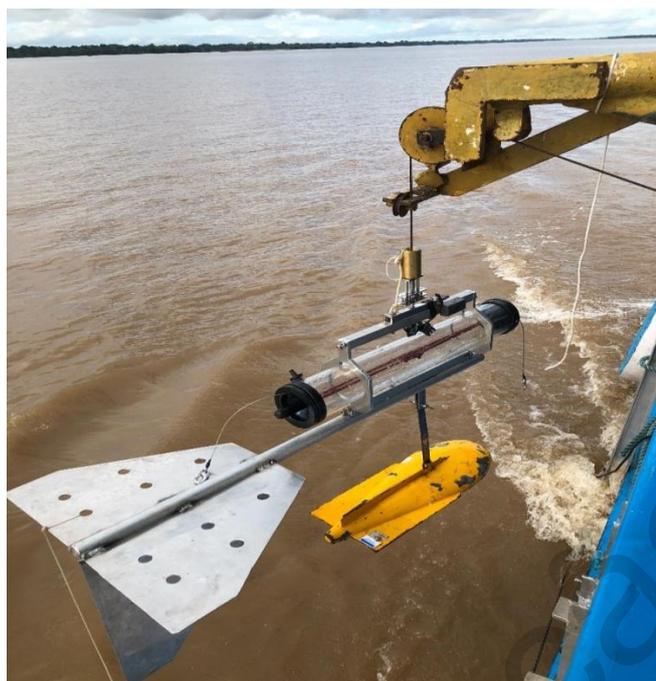


Figura 6- Amostrador de sedimentos adaptado para Amazônia Martinelli-Santini, desenvolvido na parceria CPRM-IRD.

Esta pesquisa só foi possível em função da presença constante no campo e na aquisição de dados radiométricos *in situ* (Figura) viabilizados pelo projeto Dinâmica Fluvial com os apoios já mencionados do IRD e da Agencia Nacional de Águas - ANA. Neste sentido os aspectos observacionais deste trabalho trouxeram robustez, clareza e confiança aos resultados.

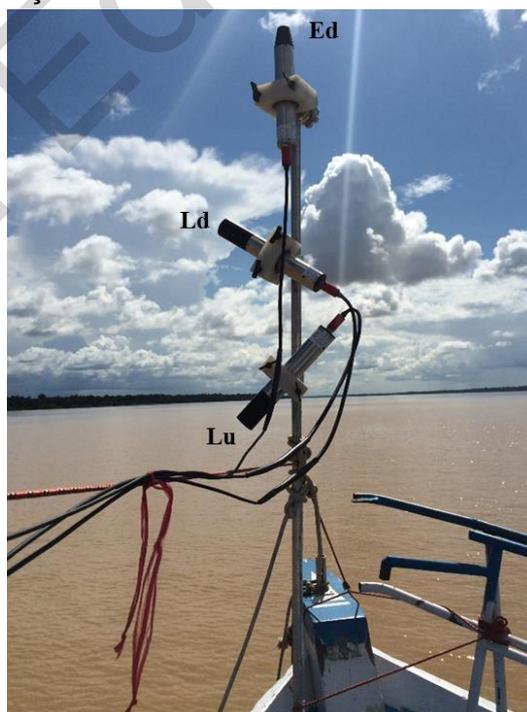


Figura 7- Conjunto de espectros-radiômetros adquiridos pelo projeto Dinâmica Fluvial e utilizados na obtenção de

Uma vez os dados de reflectância por satélite calibrados com os dados de reflectância *in situ*, e havendo a correlação destes com os dados de concentração de sedimentos coletados, foi possível a criação da série histórica de dados de concentração para 15 anos de dados (Figura 1).

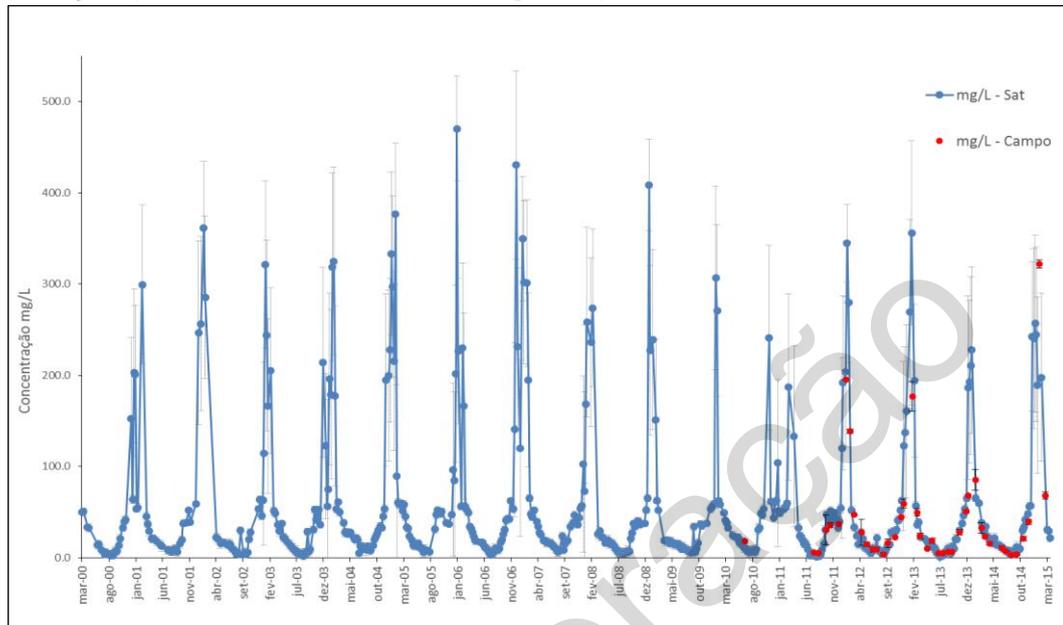


Figura 1. Série temporal de concentração por satélite no Rio Purus (Beruri – AM) no período completo de disponibilidade de Imagens MODIS (2000 - 2015). As barras de erro mostram o desvio padrão dos dados de concentração (campo e satélite), os pontos vermelhos a plotagem dos dados de concentração coletados e tratados no LAMIN – CPRM Manaus.

5.2 Pesquisas em Geodésia Espacial Aplicada Ao Monitoramento Hidrológico (Altimetria Espacial E Gns)

Na pesquisa em altimetria espacial, os dados de cotas fluviométricas são comparados com os dados de satélites a fim de estabelecer a qualidade dos mesmos. Assim, os dados das estações GPS são analisados de forma a realizar um controle geodésico da estação, perfis de batimetria e linha de água. Esses mesmos dados são utilizados para interpretações/correções nos dados de altimetria, disponibilizados através de diversos sensores altimétricos como, por exemplo, Jason-2 e 3, Sentinel 3a e 3b, Cryosat etc.

Na metodologia proposta na pesquisa de avaliação da altimetria por satélites, contempla-se também a realização de nivelamento em uma mesma referência altimétrica das réguas linimétricas de dezenas de estações fluviométricas da bacia Amazônica. Isso contribui para a definição da proposta metodológica inicial de nivelamento altimétrico para a rede hidrometeorológica nacional, administrada pela

ANA (Agência Nacional de Águas), onde, em princípio, as estações fluviométricas de todo o Brasil encontram-se sob uma referência altimétrica arbitrária.



Figura 9 - Ocupação de um lance de régua por receptor GPS para nivelamento da estação fluviométrica de Porto União.

Na figura 10 é demonstrada a comparação dos dados de satélites altímetros com os dados de réguas limimétricas, observando que os dois tipos de dados possuem referências altimétricas diferentes, o que impossibilita a avaliação de erros sistemáticos nas séries altimétricas. Como dito anteriormente, uma das propostas deste estudo consiste na unificação da referência altimétrica destas duas fontes de dados de modo a avaliá-los apropriadamente.

Jason-2 Satellite Altimetry data

close to Port of Manaus Gauge Station (from CPRM/ANA)

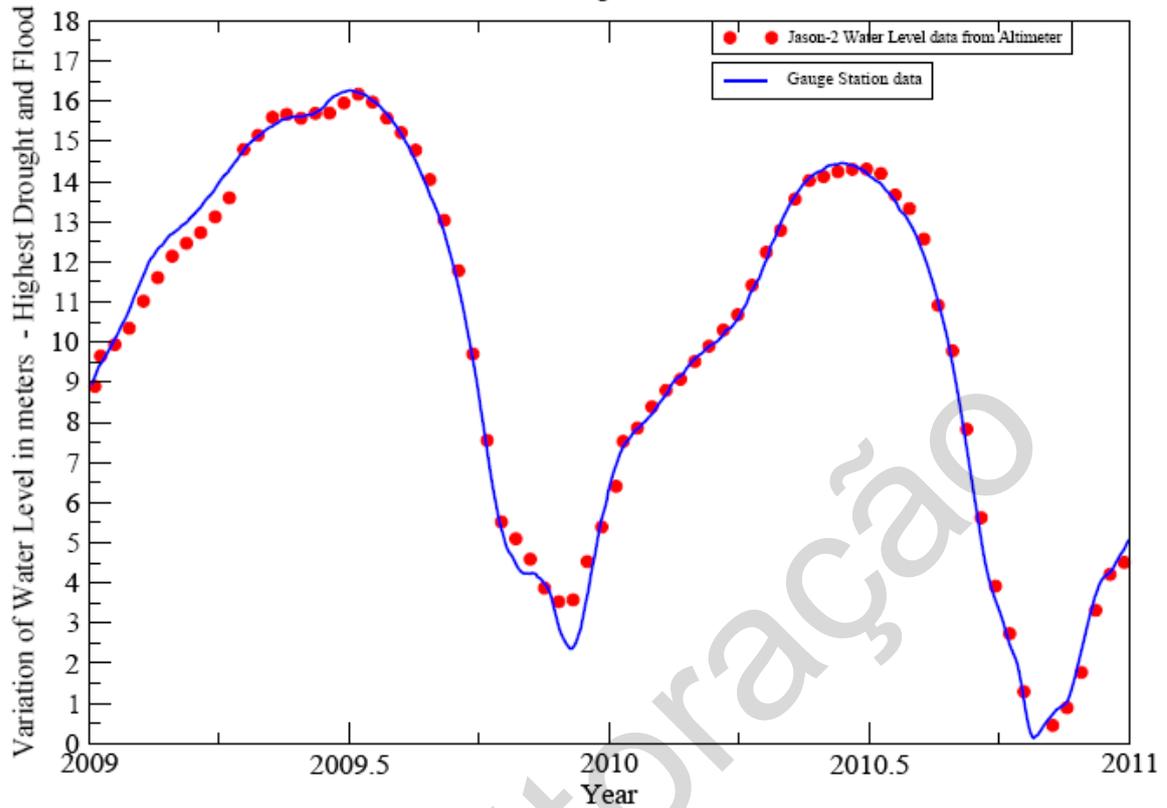


Figura 10. Dados do satélite altímetro Jason-2 na estação de Manaus (MOREIRA et al , 2011)

Outra perspectiva está na utilização da altimetria espacial para construção de perfis longitudinais dos rios analisados, a exemplo da figura 11.

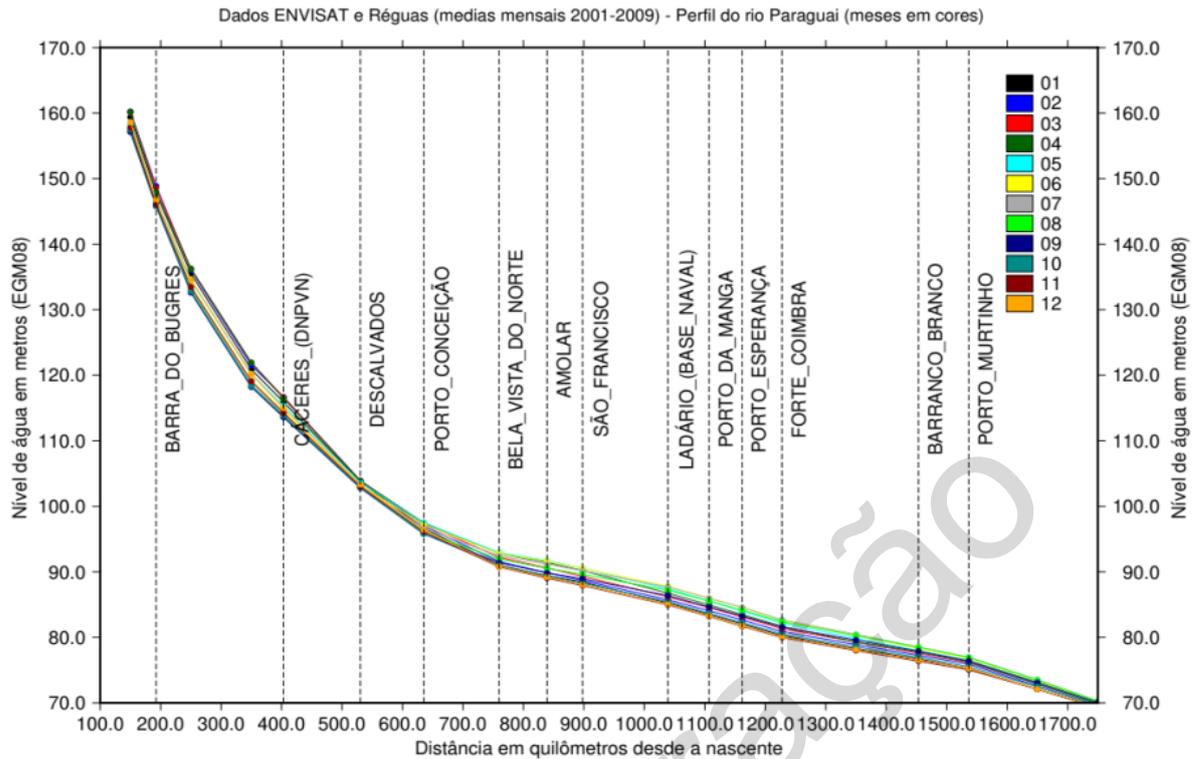


Figura 11 – Perfil longitudinal do rio Paraguai construído com suporte de dados de sensoriamento remoto.

5.2.1 SWOT

O SWOT (*Surface Water and Ocean Topography*) é uma missão espacial que visa desenvolver um satélite com Radar de Abertura Sintética (SAR) em modo de interferometria para fornecer, pela primeira vez na história da hidrologia, observações de águas superficiais em alta resolução espacial e temporal, sendo também a primeira missão espacial desenvolvida especificamente para observação de águas superficiais. Atualmente existem missões espaciais com sensores altimétricos e outras com sensores imageadores. Complementarmente, o SWOT irá prover simultaneamente campos espaço-temporais de níveis d'água, largura, declividade e vazão em rios e lagos. Essa missão resultará na ampliação do conhecimento sobre sistemas hídricos e na melhora de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos que são usados como ferramentas técnicas na solução de problemas relacionados a disponibilidade hídrica.

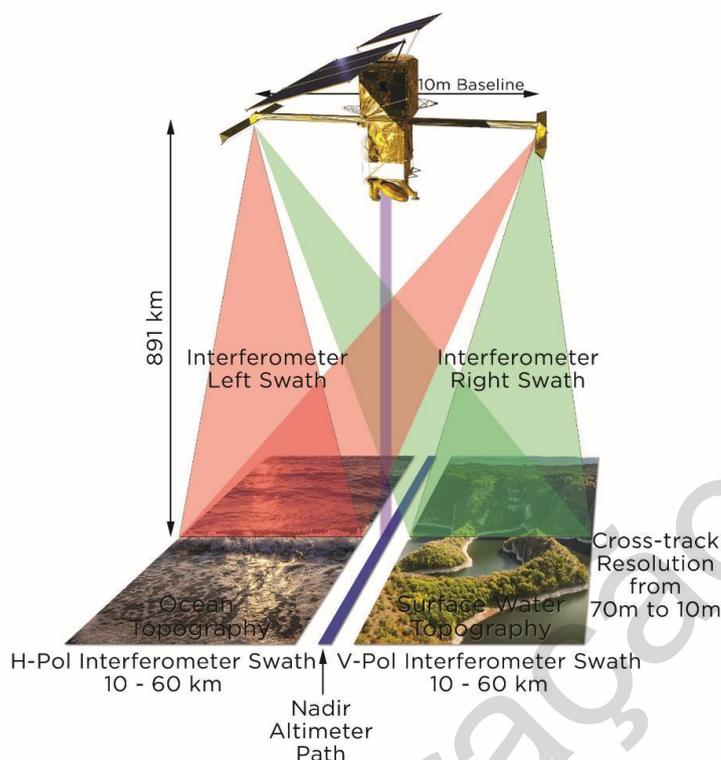


Figura 12 – Detalhes da missão SWOT. Fonte NASA

Através da parceria com IRD, na pesquisa de altimetria espacial, a CPRM teve oportunidade de contato com agências espaciais internacionais. Esse contato possibilitou à CPRM a oportunidade de contribuir diretamente com a pesquisa produzida para missões espaciais em desenvolvimento, em especial, com a participação da CPRM no time científico de desenvolvimento do satélite SWOT (NASA/CNES). Atualmente a CPRM lidera em conjunto com o IRD o projeto do time científico denominado “SWOT for South America”, no qual estão envolvidas diversas instituições de pesquisa em hidrologia da América do Sul.

- 5.2.2 *South American Water from Space*

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Institut de Recherche pour Le Développement (IRD) da França promovem, em parceria com a agência espacial francesa - Centre National d'Études Spatiales (CNES) e parceiros, a série de conferências South America Water from Space. Em destaque em novembro de 2019, realizou-se em Manaus a segunda versão do evento, sendo a primeira edição realizada no Chile em 2018. Nesse evento tivemos a presença de 90 pesquisadores de vários países do globo, sendo apresentados mais de 60 trabalhos de pesquisa em hidrologia espacial. Em 2020 iniciou-se as tratativas para a realização da terceira edição desta série, que está prevista para acontecer em outubro de 2021, na cidade de Foz do Iguaçu.



Figura 13 – Apresentação do Embaixador da França no Brasil, Michel Miraillet, durante o evento organizado pela CPRM, South AmericaWaterfrom Space II , <https://hydrologyfromspace.org/>.

6. ÓRGÃOS PARCEIROS

O projeto recebe apoio e apoia diversas instituições ligadas ao monitoramento, pesquisa e gestão de recursos hídricos, tais como ANA - Agência Nacional de Águas; SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia, INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais; LEGOS - Laboratório de Estudos em Geofísica e Oceanografia Espacial (Toulouse/ França); GET - Laboratório de Geociências e Ambiente (Toulouse / França); GRGS - Grupo de Pesquisa em Geodésia Espacial (Toulouse / França); CNES - Centro Nacional de Estudos Espaciais da França; IRD; ORE-Hybame com universidades, dentre as quais destacamos a UFAM - Universidade Federal do Amazonas, UEA - Universidade do Estado do Amazonas , UNB - Universidade de Brasília, IPH/ UFRGS – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UPS – *Université Toulouse III Paul Sabatier*(Toulouse/ França) UFPE – Universidade Federal de Pernambuco e UFRJ - Universidade do Rio de Janeiro.

7. PRODUTOS

Considerando a cooperação técnica com o IRD, os produtos gerados como resultado do projeto Dinâmica Fluvial podem ser assim listados:

- Cotas fluviométricas a partir das estações convencionais e de sensoriamento remoto na área de estudo;

- Medição de vazão líquida e sólida nos pontos de amostragem do projeto;
- Correlação dos dados de vazão sólida e sensoriamento remoto nos locais de estudo;
- Nivelamento das estações fluviométricas da rede de estudo a uma referência global;
- Análise dos dados das estações GPS em conjunto com outras técnicas de geodésia espacial a fim de manter o controle geodésico e possíveis movimentos de massa ou da crosta terrestre nos locais das estações;
- Variações da profundidade e da declividade da linha de água dos rios no trecho do estudo;
- Capacitação dos técnicos envolvidos no projeto para produção, análise e pesquisa sobre dados de sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento hidrológico;
- Publicação dos estudos realizados em revistas e congressos especializados em nível nacional e internacional.

Especificamente em 2020, podemos destacar as seguintes ações:

- Devido ao contexto global de situação pandemia pelo COVID-19, realizou-se apenas uma campanha de campo no mês de fevereiro de 2020. Através de embarcação, esta campanha percorreu o baixo curso do rio Amazonas, entre o trecho entre Óbidos e Macapá. As medições tiveram como foco parte do projeto do time científico “*SWOT for South América*”, no seu sub-projeto “*Hydrodynamics of the Amazon estuary*”, que busca a calibração e validação de dados de satélite no seu uso para o monitoramento de possíveis impactos de mudanças climáticas que possam ocorrer na parte estuarina do rio Amazonas, onde alterações nas elevações do oceano e das vazões do rio Amazonas impactam diretamente as cheias que ocorrem na região de estudo. A campanha teve uma boa repercussão na mídia local tendo cerca de 8 aparições, em TV, rádio e meio de notícias eletrônicas. A exemplo da Figura 14 e do site G1, <https://g1.globo.com/ap/amapa/natureza/amazonia/noticia/2020/01/30/dados-de-satelites-da-franca-avaliam-riscos-de-inundacoes-as-margens-do-rio-amazonas.ghtml>



Figura 14 – Entrevistas realizadas durante a campanha de medições no baixo Amazonas.

- No tocante ao desenvolvimento da pesquisa de hidrologia por satélites, foram publicados em parcerias do projeto 7 (sete) artigos em revistas indexadas. São estes:

PACA, VICTOR HUGO DA MOTTA ; ESPINOZA-DÁVALOS, GONZALO ; MOREIRA, DANIEL ; COMAIR, GEORGES . Variability of Trends in Precipitation across the Amazon River Basin Determined from the CHIRPS Precipitation Product and from Station Records. *Water*, v. 12, p. 1244, 2020.

SIKORA DE SOUZA, VINICIUS ALEXANDRE ; MOREIRA, DANIEL MEDEIROS ; Rotunno Filho, Otto Corrêa ; RUDKE, ANDERSON PAULO . Extreme rainfall events in Amazonia: The Madeira river basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 18, p. 100316, 2020.

SOUZA, Vinicius Alexandre Sikora de et al. Spatio-temporal analysis of remotely sensed rainfall datasets retrieved for the transboundary basin of the Madeira river in Amazonia. *Atmosfera*, [S.l.], sep. 2020. ISSN 2395-8812. doi:<https://doi.org/10.20937/52783>.

FLEISCHMANN, A. S. ; PAIVA, R. C. D. ; COLLISCHONN, W. ; SIQUEIRA, V. A. ; PARIS, A. ; MOREIRA, D. M. ; Papa, F. ; BITAR, A. A. ; PARRENS, M. ; AIRES, F. ; GARAMBOIS, P. A. . Trade-offs between 1D and 2D regional river hydrodynamic models. *WATER RESOURCES RESEARCH*, v. 1, p. 1, 2020.

PUJOL, L. ; GARAMBOIS, P-A. ; FINAUD-GUYOT, P. ; MONNIER, J. ; LARNIER, K. ; MOSÉ, R. ; BIANCAMARIA, S. ; YESOU, H. ; MOREIRA, D. ; PARIS, A. ; CALMANT, S. . Estimation of Multiple Inflows and Effective Channel by Assimilation

of Multi-satellite Hydraulic Signatures: The Ungauged Anabranching Negro River. JOURNAL OF HYDROLOGY, v. 1, p. 125331, 2020.

PITCHER, LINCOLN H. SMITH, LAURENCE C. COOLEY, SARAH W. ZAINO, ANNIE CARLSON, ROBERT PETTIT, JOSEPH GLEASON, COLIN J. MINEAR, J. TOBY FAYNE, JESSICA V. WILLIS, MICHAEL J. HANSEN, JASMINE S. EASTERDAY, KELLY J. HARLAN, MERRITT E. LANGHORST, THEODORE TOPP, SIMON N. DOLAN, WAYANA KYZIVAT, ETHAN D. PIETRONIRO, AL MARSH, PHILIP YANG, DAQING CARTER, TOM ONCLIN, CUYLER HOSSEINI, NASIM WILCOX, EVAN MOREIRA, DANIEL, et al. ; Advancing Field-Based GNSS Surveying for Validation of Remotely Sensed Water Surface Elevation Products. FRONTIERS IN EARTH SCIENCE, v. 8, p. 1, 2020.

SOUZA, V. A. S. ; ROTUNNO FILHO, O. C. ; MOREIRA, D.M. . AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL APLICADOS À ESTIMATIVA DE CHUVA EM REGIÃO AMAZÔNICA: BACIA DO RIO MADEIRA. REVISTA DE GEOGRAFIA (RECIFE), v. 37, p. 34-52, 2020.

O analista e engenheiro cartógrafo Daniel Moreira, palestrou em mesa redonda no Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste da ABRH, no tema de Avanços em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento e Possibilidades de Aplicações na Gestão de Recursos Hídricos. O analista também participou como debatedor na sessão online da ABRH “Água em pauta” quando debateu questões da palestra apresentada pelo Dr. Augusto Getirana (NASA), que apresentou trabalho na avaliação do impacto da recuperação da gravidade e da assimilação de dados do experimento climático (GRACE-DA) na inicialização da previsão hidrológica sazonal nos Estados Unidos, com foco no armazenamento de água subterrânea.

Através de parcerias outros trabalhos em hidrologia por satélites foram apresentados na EGU (*European Geosciences Union*) e na EO4Water (Earth Observation for Water Cycle Science Conference 2020).

Também em novembro de 2020, em parceria entre a CPRM, IRD e a OceanNext, realizou-se um mini-curso de altimetria espacial para técnicos de Itaipu, ocasião na qual os engenheiros desta instituição tiveram o seu primeiro contato com as formas de processamento de dados de altimetria espacial, através dos softwares Altis (http://ctoh.legos.obs-mip.fr/applications/land_surfaces/software/altis) . Este mini-curso também é parte da preparação para a organização da Conferência South America Water from Space III (<https://hydrologyfromspace.org/>), que de forma preliminar está programada para outubro de 2021, em Foz do Iguaçu/PR.

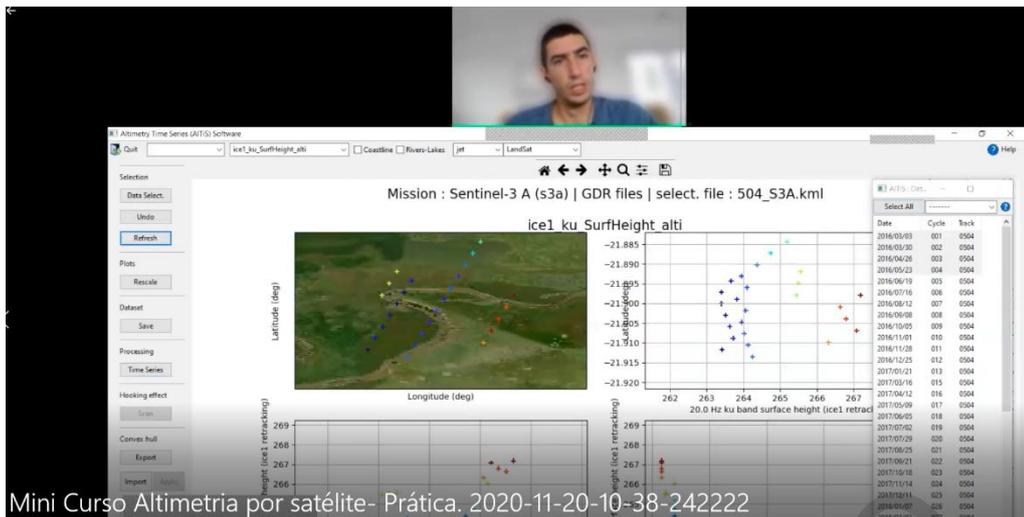


Figura 15 – Foto do mincurso de altimetria espacial no software Altis, ministrado por Adrien Paris (OceanNext) .

Como resultado desta importante bagagem acadêmica, treinamentos e dos resultados satisfatórios publicados em artigos científicos, também foi proposta uma aplicação piloto mais operacional do uso de dados de satélite como informação complementar de suporte ao projeto institucional de alertas hidrológicos da CPRM.

Diariamente são produzidos cerca de 1000 (mil) mapas com informações de chuva em mais de 100 áreas de drenagem de interesse para os 16 sistemas de alertas operados pela CPRM. Essas informações contêm desde a chuva estimada por satélites ocorridas em escalas horárias nas últimas 24 horas, bem como a chuva diária ocorrida na última semana e anomalias mensais de chuva. Também como forma de auxílio mapas de previsões de chuva em escala diária para os próximos 15 dias e em melhor precisão mapas de chuvas horárias das próximas 24 horas.

Chuva Acumulada de 24 horas do MERGE (CPTEC-INPE) de 25-11-2020 12h até 26-11-2020 12h (GMT)

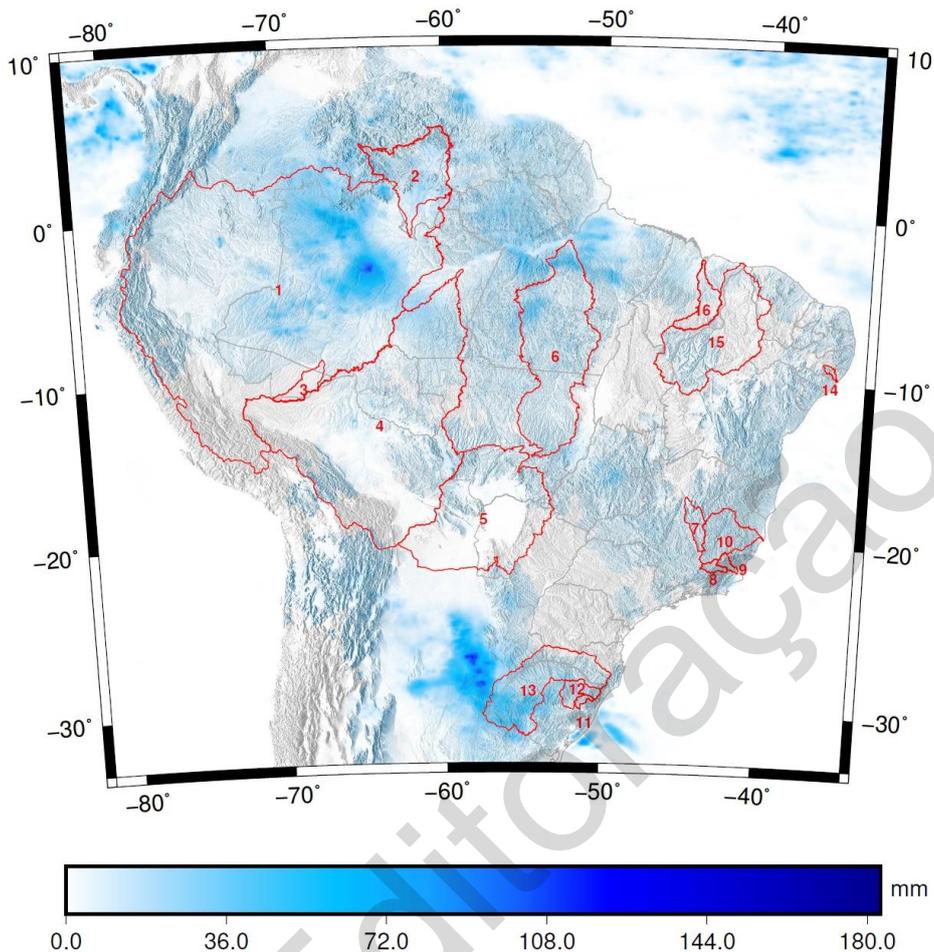


Figura 16- Chuva diária baseada em fontes de dados de sensoriamento remotos , utilizada como informação complementar para os 16 sistemas de alertas operados pela CPRM.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A cooperação entre CPRM e IRD, realizada no decorrer dos últimos anos, mostrou-se extremamente benéfica para ambas às instituições, trazendo especialmente para a CPRM as seguintes contribuições:

- Os técnicos envolvidos puderam se capacitar em tecnologias que serão fundamentais no futuro do monitoramento hidrológico. A CPRM recebeu duas (2) bolsas do programa BEST (IRD), o que possibilitou o estágio científico dos engenheiros Daniel Medeiros Moreira (2011) e Andre Santos (2014). A

partir dessas bolsas foram realizados estágios de aperfeiçoamento em Toulouse na França. Os estágios foram realizados em laboratórios associados ao CNES (Agência Espacial Francesa) e com suporte e orientação de pesquisadores do IRD;

- Foram defendidas Cinco (5) dissertações de mestrado por técnicos da CPRM no tema de pesquisa de cooperação com o IRD, sendo esses técnicos Daniel Medeiros Moreira, Ana Carolina Costi, Andre Santos, Bernardo Oliveira e Fábio Araujo;
- Um (1) Doutorado defendido na pesquisa em cooperação com IRD pelo técnico Daniel Moreira, a qual obteve duplo doutoramento na COPPE-UFRJ e na UPS-Toulouse;
- Um doutorado em andamento pelo técnico Andre Santos, na sua pesquisa em medição por sedimentos por satélite;
- Técnicos da CPRM depois de formados começaram a exercer atividade de orientação acadêmica, orientando teses e dissertações de pesquisadores da CPRM e pesquisadores externos na temática de hidrologia por satélites;
- Quase 100 trabalhos científicos foram publicados/apresentados em revistas/conferências/simpósios durante a cooperação entre CPRM-IRD, elevando o nível científico da CPRM na pesquisa global de hidrologia por satélites;
- A CPRM faz parte atualmente do time de pesquisa no desenvolvimento de missões espaciais ligadas a hidrologia, o que caracteriza um enorme avanço do nível de usuário, das mais modernas tecnologias, para uma atuação de colaboração em nível de desenvolvimento tecnológico restrito a um seleto grupo de pesquisadores.

Entende-se que os benefícios gerados ao IRD estão relacionados às ações da CPRM através da excelência na execução de atividades de campo, coletas e produções de informações únicas nas bacias hidrográficas em território brasileiro, que associado aos esforços de aprendizado, em especial no desenvolvimento posterior das pesquisas, possibilitaram enriquecimento do conhecimento científico tanto na tecnologia de hidrologia por satélites quanto no conhecimento hidrológico

da bacia Amazônica. Esses resultados elevaram o reconhecimento científico de ambas as instituições na pesquisa realizada em parceria.

Essa parceria também colaborou com o desenvolvimento de outros trabalhos de pesquisa que foram defendidos através de dissertações e teses em universidades do Brasil (IPH-UFRGS, UFPE COPPE-UFRJ, UEA, UFAM) e da França, principalmente a *Université Paul Sabatier - UPS de Toulouse*. Foram registradas a colaboração direta com 6 teses de doutorado e mais de 10 dissertações de mestrado de pesquisadores externos a CPRM defendidas nas universidades parceiras citadas.

Como recomendações finais ao projeto desenvolvido, tendo em vista o sucesso da cooperação, são altamente recomendadas à renovação do acordo de cooperação internacional entre CPRM e IRD, a manutenção e se possível a ampliação de todo suporte financeiro e técnico provido pela CPRM durante os anos da cooperação existente e o aumento do quadro de técnicos envolvidos na pesquisa. Além disso, novos técnicos poderiam expandir a pesquisa já produzida e ampliar temas de estudo para novas áreas onde há carência de pesquisa na CPRM.

9. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a ASSUNI e aos membros da Diretoria Executiva, em especial à DHT e sua equipe que deram todo suporte necessário para desenvolvimento da pesquisa científica realizada em cooperação entre CPRM e IRD. Agradecemos também à Agência Espacial Francesa (CNES), e ao IRD pelo apoio técnico e financeiro e por reconhecer a capacidade do Serviço Geológico do Brasil em desenvolver esta pesquisa de relevância no tema de Hidrologia por Satélites. As chefias colaboradores da DIHAPI, DEHID, GEHITE-MA, GEHITE-RE, GEHITE-BE, em especial aqueles que desenvolvem atividades no projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas. As Universidades parceiras em especial a UFRJ, UFAM, UEA, UFPE e UFRGS(IPH), que apoiaram e capacitaram os técnicos da CPRM em busca de uma melhor formação acadêmica.

Adicionalmente, cabe destacar agradecimento, também, ao projeto Ore-Hybam (Observatório de Pesquisa em Ambiente - Controles geodinâmico, hidrológico e biogeoquímico da erosão/alteração e da transferência de materiais na bacia amazônica) que proporcionou dados coletados no contexto de realização de

campanhas de campo e dos dados gerados pela rede hidrometeorológica nacional brasileira (RHN). No que concerne ao projeto da RHN operada pela CPRM e de responsabilidade da Agência Nacional de Águas - ANA, também houve colaboração no que diz respeito à logística e compartilhamento de embarcação quando ocorreu congruência nas áreas de atuação das campanhas realizadas pela CPRM, o que colaborou muito para o desenvolvimento destes estudos.

Ao final agradecemos ao engenheiro hidrólogo Achilles Monteiro (in memoriam) que foi o grande idealizador do projeto Dinamica Fluvial e da pesquisa em cooperação com o IRD. Ele foi fundamental durante a fase de construção, desenvolvimento e maturação do projeto que envolveu esta ampla cooperação internacional e conhecimento especializado da língua francesa, o que permitiu e deu suporte a participação da CPRM nesse grande desafio. Hoje, essa iniciativa nascida da liderança generosa exercida por Achilles Monteiro permite que a CPRM alcance o seu merecido reconhecimento internacional no tema da Hidrologia Espacial.