



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-16673-RPQ/849

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DA  
ÁGUA DE LAGOS DA VÁRZEA DO AMAZONAS,  
SUBMETIDA A DIFERENTES TIPOS DE OCUPAÇÃO  
HUMANA COM BASE EM DADOS AMBIENTAIS DE  
ALTA FREQUÊNCIA OBTIDA A PARTIR DE SISTEMA  
DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO**

Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo  
José Luis Stech  
Helder Lima de Queiroz  
Arley Ferreira de Souza  
Enner Herenio de Alcântara

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/02.23.12.20>>

INPE  
São José dos Campos  
2010

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**

### **Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

### **Membros:**

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

## **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

## **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

## **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-16673-RPQ/849

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DA  
ÁGUA DE LAGOS DA VÁRZEA DO AMAZONAS,  
SUBMETIDA A DIFERENTES TIPOS DE OCUPAÇÃO  
HUMANA COM BASE EM DADOS AMBIENTAIS DE  
ALTA FREQUÊNCIA OBTIDA A PARTIR DE SISTEMA  
DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO**

Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo  
José Luis Stech  
Helder Lima de Queiroz  
Arley Ferreira de Souza  
Enner Herenio de Alcântara

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/02.23.12.20>>

INPE  
São José dos Campos  
2010



## **EQUIPE DO PROJETO**

**Adriana Gomes Affonso, doutoranda PG Sensoriamento Remoto  
INPE/MCT**

**Arcilan T. Assireu, Pesquisador Projeto INPE-MCT**

**Arley F. de Souza, Pesquisador INPE/MCT**

**Bernard Barbarisi, mestranda PG Sensoriamento Remoto INPE/MCT**

**Carlos Eduardo Guerra- UFPA/Santarém**

**Chieno Suemitsu - UFPA/Santarém**

**Claudio Clemente Faria Barbosa- INPE/MCT.**

**Eduardo M. Arraut, Bolsista Pos-doc GEOMA- INPE/MCT**

**Enner H. Arcântara- doutorando PG Sensoriamento Remoto INPE/MCT**

**Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo – INPE/MCT**

**Gustavo Mollerli – Bolsita DTI – INPE/MCT**

**Felipe de Lucia Lobo, Mestre PG Sensoriamento Remoto INPE/MCT**

**Helder Lima de Queiroz – IDSM/MCT**

**José Luiz Stech, INPE/MCT**

**José Reinaldo Pacheco Paleja- UFPA/Santarém**

## **AGRADECIMENTOS**

Esse relatório não estaria sendo redigido a tempo se não fosse por um sem número de pessoas (técnicos e estagiários do CNPq que processaram documentos de importação, que tiveram paciência de me ouvir inúmeras vezes reclamando pelo atraso disso ou daquilo, a tripulação do CONGAR, à 16ª. Brigada de Infantaria de Selva, aos técnicos da NEURON Eletrônica, aos técnicos da Reserva Mamirauá, aos moradores da comunidade de Curuai e Mamirauá pelo zelo pelas estações de coleta, aos alunos e pesquisadores envolvidos no projeto) das quais preciso destacar alguns por irem além do solicitado.

Quero agradecer especialmente ao Sr. Ricardo Carneiro, Chefe do Serviço de Importação – SEIMP, que atuou com extremo profissionalismo, e que mesmo hospitalizado, garantiu que o prazo fosse cumprido; ao T Cel Av S Cordeiro, do Setor de Operações do COMGAR, que de modo incansável e bem humorado, compreendeu as dificuldades pelas quais estávamos passando e não colocou objeção a sucessivos adiamentos e incertezas na cessão da aeronave e tripulação para o transporte dos equipamentos para Tefé; ao Coronel Edson Rubens Vieira, Comandante da 16ª. Base de Apoio Logístico de Selva, que deu todo o apoio logístico necessário para a transferência dos equipamentos do aeroporto de Tefé para o porto da 16ª. Brigada de Infantaria de Selva, ao servidor Josival Ferreria Modesto (César), funcionário do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, que foi incansável na solução dos problemas logísticos do projeto, ao Dr. Helder Queiroz e a Dra. Miriam Marmotel que nos abriram a porta da Reserva, à servidora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Terezinha Gomes dos Santos, responsável pela coordenação do apoio recebido pelo CONGAR, ao Dr. Claudemir Marcos da Silva, diretor da Neuron Eletrônica, que arriscou entregar o Sistema sem que houvesse sido completado o pagamento, para não atrasar o projeto. Eu humildemente reconheço que se não fosse pela grandeza e espírito público dessas pessoas e de toda a equipe, esse projeto não teria sido realizado, num

ambiente institucional marcado por greves e crise financeira. Por tudo, agradeço a Deus, que me abençoou com a colaboração ímpar dessas pessoas.

## **RESUMO**

Relatório Técnico Final do Projeto “Estudo comparativo das propriedades da água de lagos da várzea do Amazonas (Solimões- Amazonas), submetidos a diferentes tipos de ocupação humana com base em dados ambientais de alta frequência obtidos a partir de sistemas de monitoramento automático”. Este projeto foi financiado pelo CNPq, Edital Universal - Projeto 477885/2007-1 e teve como objetivo fundear um sistema automático de monitoramento de variáveis ambientais (SIMA) no Lago Mamirauá, localizado na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, e atualizar a eletrônica do sistema fundeado no Lago Grande de Curuai. Os dados produzidos pelos dois sistemas ao longo de pelo menos três anos hidrológicos geraram séries temporais que permitirão discernir a importância das modificações antrópicas na limnologia dos sistemas aquáticos amazônicos. O relatório apresenta um breve resumo da proposta aprovada, os objetivos, as atividades realizadas, os resultados alcançados, e as atividades futuras engendradas pelos resultados alcançados.



**COMPARATIVE STUDY OF WATER PROPERTIES IN FLOODPLAIN LAKES  
OF THE AMAZON (SOLIMÕES-AMAZON) RIVER SUBMITTED TO  
DIFFERENT TYPES OF HUMAN OCCUPATION USING HIGH FREQUENCY  
ENVIRONMENTAL DATA FROM AUTOMATIC MONITORING SYSTEMS**

**ABSTRACT**

Final report of the project “Comparative study of water properties in floodplain lakes of the Amazon (Solimões-Amazon) River submitted to different types of human occupation using high frequency environmental data from automatic monitoring systems” sponsored by CNPq, Universal Announcement - Project 477885/2007-1. The main objective was to anchor an automatic environmental monitoring system (SIMA) at Mamirauá Sustainable Development Reserve (IDSM) and carry out the upgrade of a SIMA anchored Curuai Lake. The data collected simultaneously for both systems for at least three hydrological years will help to distinguish the human impact on the limnology of Amazon varzea aquatic systems. The report provides a brief summary of the proposal objectives, achievements, assessment of goals not achieved and future activities engendered by the project.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 – Variação da concentração média diária de clorofila ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) em função da variação do nível de água (cm). .....	15
Figura 2.1 – Projeto do Flutuante para suporte da carga útil do SIMA-Mamirauá.....	20
Figura 2.2 – Estrutura do Flutuante montada nas instalações do INPE .....	21
Figura 2.3 – Componentes da carga útil do SIMA.....	23
Figura 2.4 Cronograma de campo para o fundeio do SIMA-Mamirauá. ....	25
Figura 2.5 – Preparação da Plataforma SIMA no porto do Batalhão de Operações Especiais da Selva, em Tefé, para ser transportada para a Reserva de Mamirauá. ....	28
Figura 2.6– Transferência da Plataforma SIMA para ser arrastada por barco até a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá .....	29
Figura 2.7 – Integração do SIMA próximo ao flutuante-base da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.....	30
Figura 2.8 – Ancoragem do SIMA no canal de acesso ao Lago Mamirauá.....	31
Figura 2.9 – Posição da plataforma flutuante na região mais profunda do Lago Curuai, conforme batimetria realizada por Arraut (2008). ....	31
Figura 2.10 – SIMA Curuai após o rompimento da âncora em setembro de 2008.....	32
Figura 3.1 – Média diária da temperatura, na profundidade de 5 m, ao longo do período compreendido entre 06/06/2009 e 17/07/2009 – Canal (cano) de acesso ao lago Mamirauá. ....	35
Figura 3.2 – Local de fundeio do sistema entre 06 de junho e 17 de julho de 2009.....	36
Figura 3.3 – Comportamento da hidrógrafa do canal (cano) de acesso ao lago de Mamirauá (Fonte: INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ. Banco de dados fluviométrico da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. Acessado em 29/12/2009 <a href="http://www.mamiraua.org/fluviometrico/">http://www.mamiraua.org/fluviometrico/</a> ).....	37
Figura 3.4 – Variação da temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ) em função da frequência de aquisição e da variação do nível de água. ....	38
Figura 3.5 – Taxa de variação do nível da água ao longo do período de observação. ....	39
Figura 3.6 – Localização do Lago Mamirauá. a) composição multitemporal de imagens ALOS-SCANSAR mostrando variações de tipos de cobertura florestal em função do hidroperíodo (Fonte: Affonso et al. 2009); b) Localização da RDSM (Fonte: <a href="http://www.mamiraua.org.br/">http://www.mamiraua.org.br/</a> ); c) Lago de Mamirauá ao longo das variações de nível da hidrógrafa (Fonte: Arraut, 2008). ....	41
Figura 3.8 – Variação da temperatura média diária da água entre julho e dezembro de 2009 em função do nível da água (média decadal) entre julho e dezembro – Lago Mamirauá. ....	43

Figura 3.9 – Variação da temperatura média diária da água entre julho e dezembro em função do nível da água (média decadal). – Lago Curuai.....	44
Figura 3.10 – Variação da temperatura média diária da água entre julho e dezembro em função do nível diário da água (média decadal). – Lago Curuai e Lago Mamirauá. ....	46
Figura 3.11 – Variação da condutividade, pH, turbidez e concentração de clorofila em função do nível médio diário da água do Lago Mamirauá.....	48
Figura 3.12 – Concentração de clorofila modelada no intervalo em que os dados não foram coletados por falha da sonda YSI em função da média decadal do nível da água do Lago de Mamirauá. ....	51
Figura 3.13 – Concentração de clorofila em função da média decadal do nível da água do Lago de Curuai.....	52
Figura 3.14 – Concentração de clorofila em função da média decadal do nível da água nos lagos de Mamirauá e Curuai. ....	53

## LISTA DE TABELAS

**Pág.**

Tabela 2.1 – Características da Plataforma Flutuante desenvolvida para o SIMA fundado em Mamirauá .....	
Tabela 2.2 – Características e peso dos componentes da plataforma flutuante e do SIMA	
Tabela 4.1 – Objetivos estratégicos do projeto e grau de realização.....	

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1 RESUMO DA PROPOSTA INICIAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2 ATIVIDADES REALIZADAS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Construção do Sistema de Integrado de Monitoramento Ambiental - SIMA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Planejamento da Missão de Fundeio do SIMA-Mamirauá .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Operação de Fundeio do SIMA-Mamirauá.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Operação de recuperação da plataforma de Curuai .....</b>	<b>32</b>
<b>3 RESULTADOS PRELIMINARES .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Análise de consistência.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Variabilidade temporal dos dados limnológicos .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.1 Características da Área de Estudo – O Lago de Mamirauá .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.2 Características da Área de Estudo – O Lago de Curuai.....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.3 Análise da estrutura térmica .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2.4 Análise comparativa das variáveis limnológicas dos Lagos Mamirauá e Curuai .....</b>	<b>47</b>
<b>4 Balanço da realização dos objetivos estratégicos ao término do projeto. ....</b>	<b>54</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>

## **1 RESUMO DA PROPOSTA INICIAL**

O projeto “Estudo comparativo das propriedades da água de lagos da várzea do Amazonas (Solimões- Amazonas), submetidos a diferentes tipos de ocupação humana com base em dados ambientais de alta frequência, obtidos a partir de sistemas de monitoramento automático” foi desenvolvido para dar continuidade e integrar uma série de pesquisas que se iniciaram em 1996 com o objetivo de avaliar o uso de imagens de sensores SAR para o mapeamento de macrófitas aquáticas em lagos e reservatórios hidrelétricos da região amazônica, tendo em vista seu papel como fonte de CH<sub>4</sub> para a atmosfera (Novo e Tundisi, 1994; Ballester et al. 1997; Lima, 1998; Lima et al., 1999; Novo et al, 1998), para produtividade primária dos ecossistemas aquáticos (Costa et al, 1997; Costa et al, 1998, Costa, 2000; Graciani, 2002) e no risco de incidência de malária (Vasconcelos, 2003).

Esses estudos focalizaram-se no reservatório da UHE Tucuruí e no Lago Grande de Monte Alegre, localizados no Estado do Pará, e fizeram parte dos projetos SAREX-ADRO, financiados pela Canadian International Development Agency (CIDA) como parte de uma estratégia ampla de formação de recursos humanos para a análise e processamento de dados de radar de abertura sintética, como preparação para o lançamento do primeiro satélite da série RADARSAT.

Essas pesquisas revelaram que não obstante muita informação relevante sobre a variabilidade espacial das plantas aquáticas pudesse ser derivada de imagens SAR, sua distribuição espacial estava ligada a propriedades dos sistemas aquáticos não passíveis de monitoramento via dados SAR, pois dependiam das trocas de água entre os rios e sua planície.

O monitoramento das propriedades da água a partir de dados de satélite, entretanto, só pode ser realizado com sensores que operam na região óptica

do espectro, cuja aquisição na região amazônica é limitada pela alta frequência de cobertura de nuvens (Novo, 2008)

De modo a contornar essa limitação foi desenvolvido o projeto “Estudo da dinâmica de circulação da água entre sistemas lóticos, lênticos, e a planície de inundação amazônica”, com financiamento da FAPESP (2002/00785-3), cujo objetivo era testar a viabilidade de se usar séries históricas de imagens do sensor TM e ETM/Landsat para representar estados do sistema aquático definidos em função hidrógrafa do rio Amazonas, independentemente de sua data de aquisição.

Essa abordagem se baseava na hipótese de que a principal função de força a modular as propriedades da água dos lagos de planície era a frequência e duração da água introduzida pelo pulso de inundação do Rio Amazonas (Junk, 1997). Os resultados preliminares foram animadores, e um novo projeto financiado pela FAPESP deu suporte ao desenvolvimento de três dissertações de mestrado (Silva, 2004; França, 2005; Rudorff, 2006) e uma de doutorado (Barbosa, 2005) cujos textos podem ser consultados em (<http://www.inpe.br/biblioteca/>).

A comparação da variabilidade temporal da cobertura por macrófitas aquáticas em sistemas aquáticos como o reservatório UHE Tucuruí e os lagos da planície de inundação também indicaram que a manipulação direta da vazão e a criação do lago rompiam com a sazonalidade modificando a sucessão de espécies encontrada nos lagos de várzea, particularmente no Lago Grande de Monte Alegre (Costa, 2000).

O conhecimento do funcionamento do sistema natural e a identificação de sinais de impactos antropogênicos, entretanto, dependem da disponibilidade de dados e de ferramentas analíticas que permitam distinguir na variabilidade total do sistema, as resultantes da variabilidade dos sistemas hídricos (CTHIDRO,

2000) e aquelas derivadas da apropriação econômica do espaço geográfico. Em resposta ao Edital do CTHIDRO em 2000 foi então proposto o projeto “Monitoramento automático de variáveis limnológicas em sistemas aquáticos amazônicos sujeitos a diferentes graus de interferência antrópica”, (Projeto CTHIDRO – 55.0301/02-0), cujo principal objetivo foi adaptar e implantar um Sistema Integrado de Monitoramento Automático (SIMA), usado para estudos oceanográficos (Stech et al. , 2003) que permitisse, a aquisição, transmissão, e disponibilização em tempo quase real de dados meteorológicos e de qualidade de água em dois tipos de ambientes: um ambiente prístino representado pelo Lago Grande de Curuai, e um ambiente sujeito à intensa intervenção humana direta e indireta nos fatores controladores das propriedades da água, o Reservatório de Tucuruí.

Embora os recursos liberados pelo CNPq não tenham sido suficientes, a complementação foi obtida via FAPESP num projeto sob coordenação do Dr. José Luiz Stech (FAPESP Processo: 02/09911-1). Esses objetivos foram alcançados uma vez que os sistemas foram implantados, e as dificuldades operacionais e tecnológicas foram objeto de revisão por ocasião da implantação do Projeto FURNAS coordenado no âmbito do INPE pelo Dr. José Luiz Stech, um dos responsáveis pela adaptação do sistema para análise de sistemas aquáticos continentais <<http://www.dsr.inpe.br/projetofurnas/>> que permitiu a instalação de sistemas semelhantes ao longo de cinco anos em vários reservatórios (1º ano: UHE Serra da Mesa e UHE APM Manso; 2º ano: UHE Itumbiara, UHE Corumbá e UHE Serra da Mesa; 3º ano UHE L.C.B. de Carvalho, UHE Mascarenhas de Moraes, UHE Furnas e UHE Serra da Mesa; 4º ano: UHE Funil, UHE APM Manso e UHE Serra da Mesa; 5º ano: UHE Serra da Mesa).

Os dados de Tucuruí e Curuai começaram a ser adquiridos em 2004, quando os sistemas foram lançados (Novo et al. 2005; Stech et al. 2006; Alcântara, 2006; Stech et al. 2007; Alcântara et al, 2007). Os dados do SIMA de Curuai



foram objeto de uma dissertação de mestrado orientada pelos Dr. Cláudio Barbosa e José Luiz Stech visando à integração de tecnologias espaciais no estudo de ambientes aquáticos. Nesse estudo Alcântara (2006) estabelece relações entre Turbidez medida pelo SIMA e medidas obtidas a partir da análise de séries temporais de imagens do sensor MODIS. A dissertação pode ser consultada em (<http://www.inpe.br/biblioteca/>).

Análises preliminares dos dados do SIMA colocado no Lago Grande de Curuai, próximo a Santarém, indicam que o pulso de inundação é responsável em grande parte pela variação natural das concentrações de clorofila (e, portanto, pela abundância de fitoplâncton) no sistema (Figura 1).

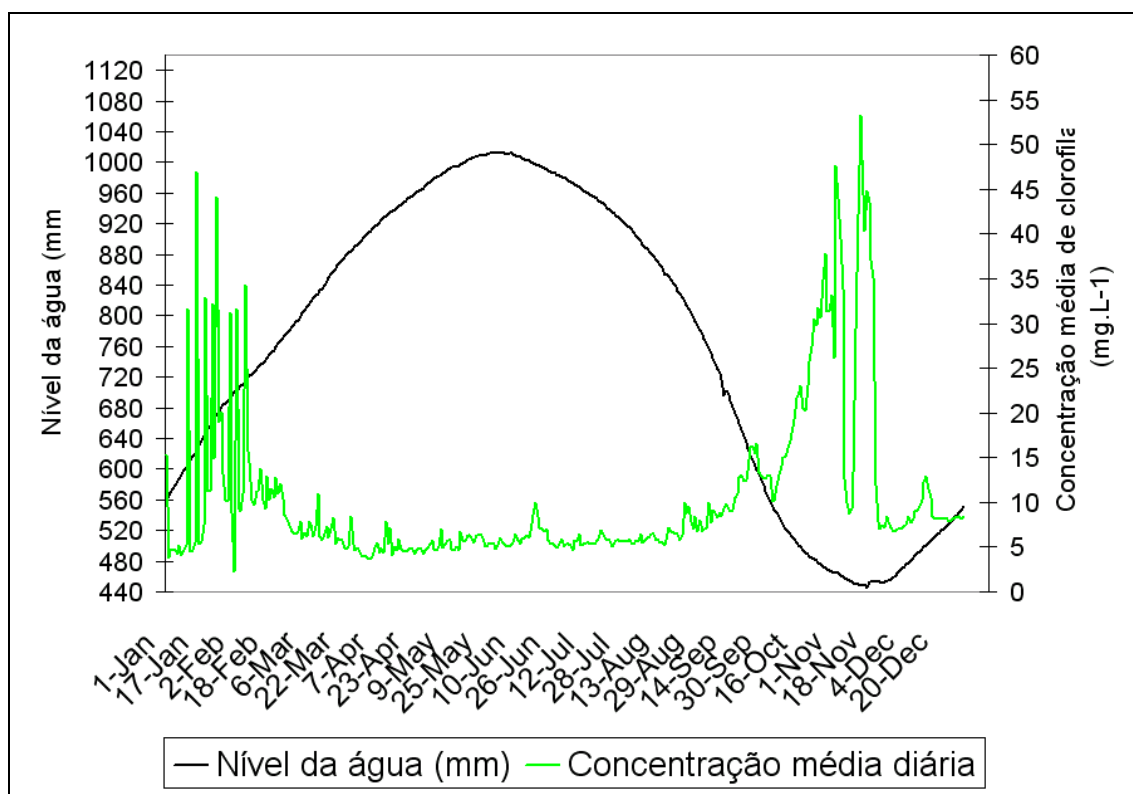


Figura 1.1 – Variação da concentração média diária de clorofila ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) em função da variação do nível de água (cm).

Mas a análise de dados instantâneos de concentração de clorofila em algumas datas indica a ocorrência de concentrações muito elevadas, na faixa de valores característicos de sistemas eutrofizados já anteriormente identificados por Barbosa (2005) para várias outras regiões do Lago Curuaí, e estimados a partir de modelagem empírica de imagens MODIS para toda a região compreendida entre Parintins e Almeirim (Novo et al., 2006).

Essas observações (existência de condições para concentrações de clorofila muito superiores a  $200 \mu\text{g.L}^{-1}$ ; fortes indícios de desflorestamento na várzea, associado à atividade agropecuária) sugeriam a necessidade de se cotejar a variabilidade das propriedades limnológicas do Lago Grande de Curuai, com aquelas de um Lago cuja integridade em termos de impactos humanos fosse, senão nula, pelo menos mais bem conhecida e documentada do que aquela a que tem estado submetido o Lago de Curuai ao longo dos anos.

Nesse contexto é que foi concebido o projeto ora relatado. O objetivo principal do projeto é comparar o funcionamento do Lago Grande de Curuai, localizado na várzea do Rio Amazonas entre as cidades de Óbidos e Santarém, com o de um lago de várzea localizado em uma região em que a pressão humana seja suficientemente pequena para não alterar o funcionamento natural do sistema aquático. A questão proposta era se o pulso de clorofila num lago de várzea preservada (não sujeita à remoção da floresta para exploração comercial da madeira, não sujeita à pesca comercial e não utilizada para atividade pecuária em certos momentos do ano) responderia de modo distinto daquele observado em Curuai (Figura 1.1).

Como parte das atividades do grupo de pesquisa em modelagem de Áreas Alagáveis da Rede GEOMA, a equipe do IDSM e do INPE já estava colaborando no desenvolvimento do projeto “Migração do peixe-boi amazônico: uma abordagem por sensoriamento remoto, radiotelemetria e

geoprocessamento” desenvolvido nas reservas do Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM) e Amaná (RDSA). Os resultados preliminares da tese de Arraut (2008) indicavam ser essa uma área de ação antrópica relativamente pequena e controlada, o que levou à escolha da RDSM como representativa de condições ambientais menos sujeitas à ação direta do homem devido à baixa densidade populacional, distância de grandes centros e práticas de manejo comunitário.

Para responder à questão formulada, portanto, era necessário instalar um Sistema de Monitoramento Automático (SIMA) em um dos lagos do complexo de lagos da Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá.

A escolha do Lago de Mamirauá se deu em primeiro lugar porque se trata de um lago sujeito a pesquisas e manejo por pesquisadores do IDSM (Instituto da Reserva Sustentável de Mamirauá) há mais de duas décadas, o que facilita as atividades de aferição e calibração dos dados do SIMA. Além disso, vários trabalhos cooperativos já haviam sido realizados envolvendo a equipe de pesquisadores do INPE e do IDSM (Lobo et al, 2007; Melack et al, 2007, Arraut et al., 2007) como parte das atividades do Projeto GEOMA.

Dentre os problemas antevistos na instalação de um SIMA em Mamirauá foram identificados sua distância à base de construção do sistema (São José dos Campos) e o acesso à área (uma reserva). Além desses problemas logísticos, havia também questões tecnológicas envolvidas, uma vez que no desenvolvimento do projeto Curuaí – Tucuruí fora identificada a necessidade de sistema de redundância no armazenamento dos dados, uma vez que problemas de posicionamento dos satélites de transmissão de dados, e mesmo problemas operacionais nas antenas e no pré-processamento dos dados poderiam levar à perda definitiva da informação. Considerou-se, portanto, não apenas a necessidade de colocar mais um sistema em operação, mas também

aperfeiçoar o sistema existente e introduzir inovações no sistema já instalado, de modo que os dados de ambos (Curuai e Mamirauá) fossem comparáveis.

Foram assim definidos como objetivos estratégicos do projeto:

1. Introduzir inovações na base do SIMA, substituindo o toróide de fibra de vidro, por uma estrutura mais leve e mais barata. Essa inovação seria introduzida apenas no SIMA a ser colocado em Mamirauá, pois o de Curuai já se encontrava operacional, sendo desnecessária para o seu funcionamento essa substituição. Essa alteração facilitaria em muito o transporte do sistema entre São José dos Campos e Mamirauá e também todas as atividades de calibração e manutenção dos sensores que tendem a ser arriscadas com a base do tipo bóia.
2. Transferir as atividades de calibração e validação dos dados para os pesquisadores da Universidade Federal do Pará, Campus de Santarém bem como desenvolver pesquisa integrada e correlacionada ao Projeto SIMA dentro das áreas de pesquisas de atuação daqueles pesquisadores, dentre as quais, usar a estrutura física da bóia para acoplar um conjunto de instrumentos para medir emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, e na interface água-atmosfera.
3. Integrar o SIMA a ser instalado em Mamirauá
4. Atualizar o SIMA de Curuai e recondiçaná-lo para garantir sua funcionalidade e desempenho em período simultâneo ao do funcionamento do SIMA-Mamirauá.
5. Instalar o SIMA-Mamirauá no Lago, realizar os testes de desempenho e capacitar equipe local para as atividades de calibração periódica dos sensores.
6. Dar suporte a pesquisas em desenvolvimento entre o IDSM e o INPE no tocante ao uso de dados ambientais para a criação de indicadores de biodiversidade, análise do espaço de vida de espécies ameaçadas de extinção, etc.

7. Fazer a consistência dos dados transmitidos (correções de valores espúrios, dados nulos, dados não existentes, etc) e disponibilizar os dados na Internet.
8. Analisar os dados com base em ferramentas de análise de séries temporais. Ao adotar um formato e/ou um critério de apresentação, citações etc., deve-se conservá-lo em todo o trabalho. A padronização é de fundamental importância para a divulgação da pesquisa teórica/prática no âmbito da comunidade científica, contribuindo assim para o aprimoramento do conhecimento científico e tecnológico.

## **2 ATIVIDADES REALIZADAS**

As atividades descritas a seguir foram realizadas entre Janeiro de 2008 quando da liberação dos recursos após o registro do termo de aceitação e Dezembro de 2009, data em que se deu início à elaboração do presente relatório.

### **2.1 Construção do Sistema de Integrado de Monitoramento Ambiental - SIMA**

O Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental - SIMA - é um conjunto de hardware e software desenhado para a coleta de dados e a monitoração em tempo real de sistemas hidrológicos (Stech et al, 2006). Para a coleta dos dados, o SIMA faz uso de um sistema autônomo fundeado, constituído de um toróide, onde são instalados sensores, eletrônica de armazenamento, bateria e antena de transmissão. Os dados coletados em intervalo de tempo pré-programado são transmitidos via satélite, em tempo quase real, para um usuário que pode estar situado até 2500 km distante do ponto de coleta. Como dito anteriormente, o SIMA de Curuai foi instalado em 2004 na configuração básica. O peso do toróide para o transporte e a dificuldade que oferece (segurança) no desenvolvimento de atividades de manutenção e calibração dos sensores passou a demandar estudos para que a carga útil pudesse ser instalada em plataforma mais amigável.

Para adequar a verba aprovada pelo CNPq uma nova plataforma foi construída, ver Figura 2.1. O custo dessa nova plataforma foi menor porque tanto o projeto da mesma como a construção foi realizada e manufatura do INPE. Portanto, a maior parte das atividades foi realizada por técnicos e engenheiros do INPE, sem custo ao projeto. Foi necessário contratar temporariamente somente alguns funcionários para desenvolverem tarefas específicas como usinagem e tornearia de algumas peças. Optou-se por construir a plataforma em alumínio porque o INPE não dispõe de pessoal especializado em trabalhar com fibra de vidro.

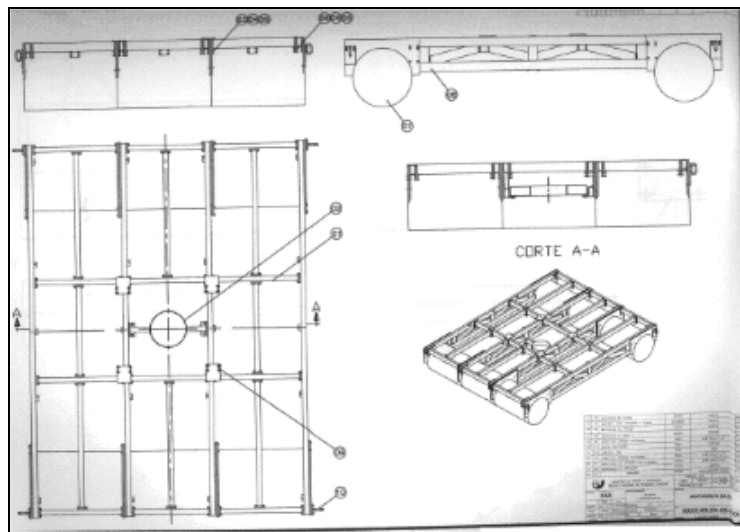


Figura 2.1 – Projeto do Flutuante para suporte da carga útil do SIMA-Mamirauá.

A Figura 2.2 mostra a montagem da estrutura da plataforma flutuante na Divisão de Mecânica do INPE. Tabela 2.1 mostra as características da nova plataforma flutuante construída para abrigar o Sistema a ser lançado em Mamirauá.



Figura 2.2 – Estrutura do Flutuante montada nas instalações do INPE

Após a montagem da plataforma nas instalações do INPE ela foi testada para avaliar aspectos de ancoragem e flutuabilidade em um lago do Centro Tecnológico de Aeronáutica.

Tabela 2.1 – Características da Plataforma Flutuante desenvolvida para o SIMA fundeado em Mamirauá.

Plataforma, totalmente desmontável, construída em alumínio.
A flutuação da plataforma é garantida por seis cilindros de flutuação, com as dimensões de 1 metro de comprimento 0,6 metro de diâmetro.
O assoalho da plataforma é constituído 09 placas de alumínio de área de 1x1 m.
A estrutura de sustentação é composta por uma estrutura maior, constituída de barras de alumínio com 4 m de comprimento, e uma estrutura menor com barras de alumínio de 1 m de comprimento
A ancoragem do flutuante é constituída por 4 peças de aço, pesando cada uma ~75 kg.
A torre sobre o flutuante é de alumínio, desmontável em 3 partes

A componente eletrônica do SIMA inclui o hardware e o firmware necessários para a coleta dos dados nos horários pré-programados, processamento simples dos dados como cálculo de médias escalares e vetoriais, formatação da mensagem a ser transmitida para os satélites e transmissão efetiva dos dados. A parte eletrônica inclui também os painéis solares e uma bateria recarregável para operação do sistema em períodos sem insolação bem como o transmissor e antena para envio dos dados para os satélites. Os dados são coletados em intervalos de 10 minutos e transmitidos via enlace de satélites nas horas cheias tornando-se disponíveis para o usuário a cada três ou quatro horas, em média, dependendo da localização geográfica da bóia. O número de dados transmitidos via enlace de satélite está relacionado com o uso de satélites de órbita baixa, não geo-estacionários, o que faz com que durante alguns períodos do dia haja janelas sem nenhum satélite na visada da antena de transmissão da bóia. Entretanto o sistema foi concebido com redundância de transmissão para que os dados coletados durante essas janelas tenham um mínimo de perdas. Os dados transmitidos incluem a telemetria de alguns parâmetros da eletrônica da bóia para avaliação do seu funcionamento e detecção de eventuais problemas. Os dados coletados são armazenados no sistema e em períodos pré-determinados são feitos “downloads” dos mesmos através de um “notebook”. Dessa forma não há perda de dados. Isso é muito importante nesta área da ciência, pois os pesquisadores podem contar com



séries ininterruptas de dados, o que possibilita o entendimento dos processos físicos, químicos e biológicos que atuam no corpo de água por períodos curtos de tempo. A Figura 2.3 mostra detalhe do módulo de carga útil, cabos e torre de suporte de sensores meteorológicos, painel solar e antena.

No espaço central da torre é fixado o compartimento de carga útil, à prova d'água, onde são instalados a bateria, a bússola e a eletrônica do sistema, de onde saem os cabos de conexão com os vários sensores.



Figura 2.3 – Componentes da carga útil do SIMA

De modo a baratear o projeto, a importação dos equipamentos e sensores necessários à construção do SIMA foi iniciada via Importa-fácil CNPq. Para isso, as cotações tiveram que ser organizadas em termos das especificações de tamanho/peso/custo passíveis de serem operadas pelo Correio. O processo

de importação via Importa-Fácil, entretanto, se mostrou bastante moroso, não apenas pelas dificuldades inerentes ao processo de liberação das importações, mas também em decorrência da greve da Receita Federal entre março e abril de 2008 e depois da greve do próprio Correio em julho de 2008. Diante das dificuldades, optou-se por cancelar os processos via Importa-fácil e iniciar o processo de importação via CNPq. A importação via CNPq também foi morosa devido a vários fatores: greve da receita federal, greve do Banco do Brasil, e a partir de setembro de 2008, desvalorização cambial. Nessa ocasião todos os processos em curso tiveram que ser re-iniciados porque os recursos transferidos para o CNPq se tornaram insuficientes.

Assim, embora os componentes do SIMA que não dependiam de importação já estivessem prontos em meados de Julho de 2008, apenas em Maio de 2009, o sistema pode ser efetivamente lançado em Mamirauá.

## **2.2 Planejamento da Missão de Fundeio do SIMA-Mamirauá**

A Figura 2.4 resume a planilha de planejamento de equipe para o fundeio do SIMA-Mamirauá. Esse cronograma teve que ser alterado três vezes em decorrência de atrasos na importação dos sensores e dos recursos de compartilhada do INPE. Na Figura a disposição da equipe, equipamentos e datas para missão executada em junho de 2009. Veja que a data programada era entre 3 e 10 de junho de 2009, mas devido à necessidade de adequar à disponibilidade de aeronave do COMGAR passando por São José dos Campos e com destino a Tefé. Devido às ações da Aeronáutica relacionadas ao socorro às vítimas da enchente do Solimões/Amazonas, a saída de dois componentes da equipe teve que ser antecipada.

Cronograma da campo Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá 3 a 10 de Junho 2009	
	COOPERAÇÃO IDSM-INPE- Rede GEOMA - FAPESP
<b>Local:</b>	Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Tefé, AM
<b>Período:</b>	03 a 10 de Junho 2009
<b>Integrantes:</b>	<b>Equipe</b> 1) Dra. Evelyn Novo - INPE 2) Dr. José Stech - INPE 3) Dr. Arcilan Assireu - INPE 4) Sr. José Antônio Ribeiro - INPE _Viajam com o CONGAR -ficar de prontidão para viajar a qualquer momento a partir do dia 26 de maio 5) Sr. Geraldo Orlando Mendes - INPE_Viajam com o COMGAR - Ficar de Prontidão para sair a partir do dia 26 de maio 6) Sr. Claudimir Silva - NEURON 7) Sr. Alexandre Donizete da Silva - NEURON 8) Sr. Edival Rodrigues Vieira- NEURON
<b>Objetivos:</b>	<b>Equipe</b> Instalação de sistema de coleta automática de dados limnológicos/ meteorológicos com transmissão via enlace de satélite no Lago Mamirauá.
<b>Equipamentos:</b>	<b>Equipe</b> <b>(A) Plataforma flutuante de coleta de dados</b> A plataforma é constituída pelas seguintes peças: 1) Plataforma de alumínio, constituída de seis cilindros de flutuação de 1 metro de comprimento por um diâmetro de 0,6 metro. 2) Assolho feito de placas de alumínio de área de 1x1 m. 3) Estrutura de sustentação maior possui barras de alumínio de 4 m de comprimento. 4) Estrutura de sustentação menor com barras de alumínio de 1 m de comprimento. 5) Ancoragem é feita com 4 peças de aço, pesando cada uma ~75 kg. 6) Torre meteorológica de alumínio desmontável em 3 partes com peso aproximado de 80 kg. 7) Payload para armazenagem da eletrônica embarcada feito em fibra de vidro, Cilindro de 0,25 m de raio por 1,5 m de altura. Peso aproximado 50 kg.
<b>Alojamento:</b>	<b>Em Tefé:</b> Hotel Anilce; <b>Na Reserva Mamirauá:</b> Barco Malandro
<b>Deslocamento Tefé-Mamirauá e nos</b>	<b>Equipe</b> 1) Voadeira de 40 hp 2) Barco Malandro
	<b>Cronograma</b>
25 de maio a 03 de junho	Embarque de todos os equipamentos no avião da aeronáutica, através do Convênio de Cooperação Técnico-Científico celebrado entre o MCT/INPE e o COMAER/COMGAR.
03 de Junho	Embarque Stech & Evelyn - Manaus ( Azul 4172): saída 9:30/chegada as 12:30 em Manaus
04 de Junho	Embarque da equipe para Tefé. Chegada em Tefé às 7:00 hs.Trip 5541 Compra de combustível, rancho e reunião no Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá para a entrega dos documentos necessarios para a entrada na Reserva
05 de Junho	Retirada dos equipamentos do Aeroporto e transporte no Barco Malandro.
06 de Junho	Embarque da Dra. Evelyn Novo e Dr. Stech para a Reserva Mamirauá com voadeiras de 40 hp para a reunião com as comunidades a ser realizada no dia seguinte.
06 de Junho	Chagada em Tefé ARCILAN ASSIREU,CLAUDEMIR SILVA,EDVAL VIEIRA,ALEXANDRE DONIZETE DA SILVA
06 de junho	Reunião com as comunidades Boca do Mamirauá, Sítio São José e Vila Alencar, para explicar a importância desse estudo e ainda identificar uma pessoa da comunidade para ser capacitada para fazer a calibração dos sensores. Para isso, um pesquisador da equipe treinará uma pessoa da comunidade que tenha interesse e condições de executar esse trabalho pelo menos 01 vez por mês.
7 de Junho	Chegada da equipe de integração na Reserva Mamirauá com os equipamentos no Barco Malandro para a montagem e colocação do sistema no ponto de coleta no Lago Mamirauá.
8 de Junho	Montagem da plataforma, deslocamento da boia ate o ponto de coleta, e colocação dos sensores sobre a plataforma, no Lago Mamirauá. - retorno da Tefé
9 de Junho	Retorno a Tefé/embarque para Manaus
10 de Junho	Embarque para São José dos Campos

Figura 2.4 Cronograma de campo para o fundeio do SIMA-Mamirauá.

Para que o sistema pudesse ser transportado pela aeronáutica foi necessário organizar o material de forma a garantir sua integridade e manejo com equipamentos tais como empilhadeira ou guindaste. A Tabela 2.2 mostra o número e peso de caixas utilizadas para o transporte do material, uma exigência do COMGAR para cálculo de autonomia de voo e outros aspectos de segurança a bordo.

Tabela 2.2 – Características e peso dos componentes da plataforma flutuante e do SIMA.

1) cilindros acondicionados em duas caixas: três cilindros em cada caixa, dois volumes de 1mx2mx0,6 m, peso aproximado 100 kg de cada um.
2) estruturas de sustentação acondicionadas em uma caixa, um volume de 4,10mx0,5mx0,8m, peso aproximado de 120 kg
3) placas do assoalho acondicionadas em uma caixa, um volume de 1mx1mx0,5m, peso aproximado de 80 kg
4) estruturas menores de sustentação acondicionadas em uma caixa um volume aproximado de 1x0,5x0,8, peso aproximado de 80 kg.
5) Torre meteorológica acondicionada em três caixas volume de 1,5mx1,5mx0,8 m, cada caixa. Peso total aproximado 100 kg
6) Ancoragem constituída de 4 peças acondicionada em 4 caixas Volume dado por cilindro com raio de 0,3 m e altura de 0,3 m peso total 320kg
7) Payload para armazenagem da eletrônica embarcada feito em fibra de vidro. Cilindro de 0,25 m de raio por 1,5 m de altura. Peso aproximado 50 kg.
8) Caixa de madeira para materiais diversos 1,5X0,90x0,80. Peso aproximado 80 kg.

### 2.3 Operação de Fundeio do SIMA-Mamirauá

Entre 28 de maio de 2009 e 06 de junho de 2009 o SIMA de Mamirauá estava integrado, testado, e pronto para ser despachado para Mamirauá. Essa operação tornou-se possível graças à colaboração do CONGAR (Comando Geral do Ar) que se dispôs a transportar a carga aproximadamente 1 tonelada

constituída de plataforma desmontável, sensores, conectores, e todos o sistema de transmissão (Tabela 2.2). Essa carga foi transportada do aeroporto de São José dos Campos até o Aeroporto de Tefé. Em Tefé, graças à ação do Instituto de Desenvolvimento Sustentável-Mamirauá, o Batalhão de Operações Especiais da Selva deu suporte logístico para o transporte da carga até às instalações portuárias do Exército Brasileiro. De modo a preparar a montagem do sistema e auxiliar na tomada de decisões sobre a melhor estratégia de montagem do sistema, a carga foi acompanhada por dois dos técnicos que participaram da construção do sistema.

Tendo em vista o peso da carga e a complexidade da operação de transporte, a equipe do INPE com o ajuda da equipe do Exército considerou que a forma mais segura de transporte do sistema entre Tefé e Mamirauá, seria arrastando a plataforma lentamente em direção montante do rio Solimões e com a carga útil no interior da embarcação, devido à dificuldade de içar todo o conjunto para dentro do barco e posteriormente, baixar todo o sistema em Mamirauá. A Figura 2.5 ilustra as fases de transferência da plataforma SIMA (flutuante e torre) montada no porto do Exército em Tefé para ser transportado pelo barco Uacari do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá- IDSM, para a reserva Mamirauá.

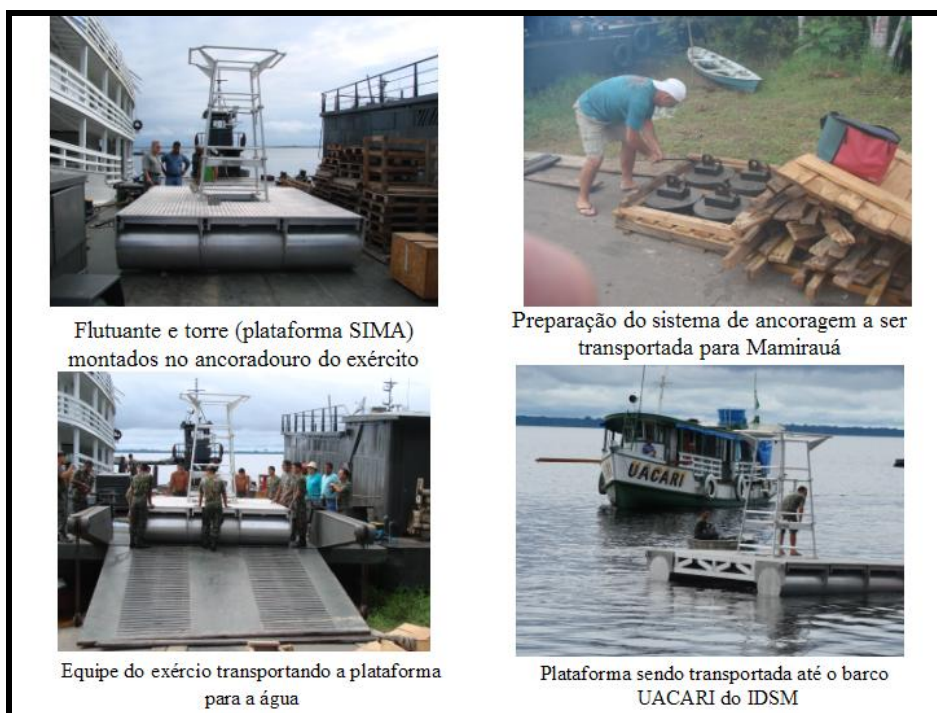


Figura 2.5 – Preparação da Plataforma SIMA no porto do Batalhão de Operações Especiais da Selva, em Tefé, para ser transportada para a Reserva de Mamirauá.

A operação de transferência da plataforma SIMA para o barco UACARI (Figura 2.6) foi uma operação complexa a qual só pode ser realizada com a colaboração do Exército Brasileiro, uma vez que na cidade de Tefé não havia disponibilidade de contratação de serviços dessa natureza. Nessa perspectiva, a equipe do projeto ganhou experiência em buscar a colaboração de várias entidades para cobrir a escassez de recursos financeiros disponíveis para a realização do projeto.



Figura 2.6– Transferência da Plataforma SIMA para ser arrastada por barco até a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá

Na manhã do dia 06 de junho, o SIMA começou a ser integrado sobre a plataforma, já próximo ao local de lançamento. O local de lançamento originalmente previsto era o Lago Mamirauá, mas os técnicos do IDSM aconselharam à equipe do INPE que instalassem o Sistema no canal, próximo ao flutuante Base, por questões de segurança, pois a reserva tinha sido recentemente objeto de vandalismo por parte de habitantes da vila de Alvarães, os quais haviam destruído câmaras de monitoramento de felinos em represália às restrições de uso indiscriminado da reserva. Como havia razões científicas para que o lançamento fosse feito no Lago Mamirauá, e não no canal, a equipe hesitou, mas decidiu-se por, temporariamente, fundear no canal, até que conseguisse negociar com o IDSM a mudança do flutuante da base para uma posição mais próxima ao Lago Mamirauá. A Figura 2.7 ilustra a integração do sistema já nas proximidades do local onde for lançado.

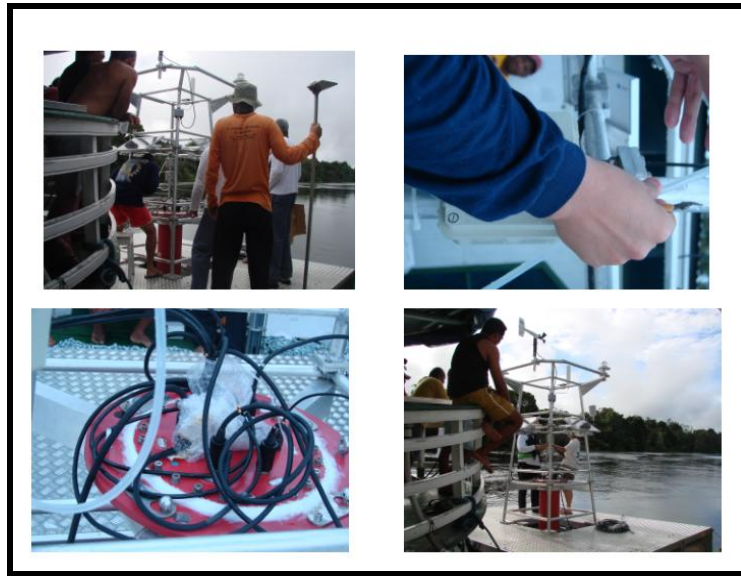


Figura 2.7 – Integração do SIMA próximo ao flutuante-base da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá

Após a integração do sistema sobre a plataforma, esta foi levada até o local de ancoragem, e com o auxílio de duas voadeiras, as âncoras foram lançadas. A operação de ancoragem pode ser vista na seqüência de fotografias da Figura 2.8.





Figura 2.8 – Ancoragem do SIMA no canal de acesso ao Lago Mamirauá

A plataforma foi mantida no canal entre os dias 6 de junho de 2009 e 17 de julho de 2009, quando foi transportada para o Lago de Mamirauá. Foi enviada a equipe de integração para garantir o sistema durante a mudança de local. A Figura 2.9 mostra a plataforma no Lago Mamirauá.



Figura 2.9 – Posição da plataforma flutuante na região mais profunda do Lago Curuai, conforme batimetria realizada por Arraut (2008).

## 2.4 Operação de recuperação da plataforma de Curuai

Conforme anteriormente mencionado, o SIMA foi colocado em Curuai em 2004 com financiamento FAPESP/CTHIDRO e carecia de vários melhoramentos para tornar-se compatível com o sistema desenvolvido para Mamirauá. Antes que os equipamentos ficassem prontos para sua utilização, entretanto, o sistema foi submetido a fortes tempestades que culminaram no rompimento do seu cabo de ancoragem em setembro de 2008. O Sistema foi transportado para a margem do Lago Curuai, graças à ajuda da comunidade que mora na região. A Figura 2.10 mostra as condições do SIMA-Curuai após o rompimento da âncora.



Figura 2.10 – SIMA Curuai após o rompimento da âncora em setembro de 2008.

Como o sistema de ancoragem do SIMA de Curuai foi adaptado do sistema de bóias oceanográficas, foram utilizados cabos de aço e correntes. Em decorrência das características físico-químicas das águas do Curuai, observou-se que a ancoragem com correntes de aço não seria a mais adequada. Foram então substituídas por outro sistema, sendo também utilizadas âncoras de concreto, com peso maior do que o da âncora original. O SIMA –Curuai foi colocado na posição novamente (Figura 2.11) e não está operando no

momento. Os sensores necessários para fazer o condicionamento do sistema foram adquiridos, a eletrônica foi também contratada, mas por falta de recursos para o pagamento do processo de integração e teste, ele não foi realizado até esta data.



Figura 2.11– SIMA Curuaí recolocado na posição original.

### **3 RESULTADOS PRELIMINARES**

#### **3.1 Análise de consistência**

Imediatamente após a instalação do SIMA em Mamirauá os dados começaram a ser transmitidos para Cachoeira Paulista, processados e armazenados no banco de dados SIMA. De modo a verificar o desempenho dos sensores, foram então adotados os seguintes procedimentos:

1. As séries foram analisadas computando-se a média diária da variável ao longo de 24 horas (exceto os dados de radiação incidente, para os quais foi computada a média diurna) a partir dos dados transmitidos telemetricamente e dos dados armazenados mensalmente, aqui denominados “offline”. O objetivo desse procedimento foi avaliar o efeito

da frequência de amostragem no tempo (144 amostras ao longo do dia – offline versus 10 amostras ao longo do dia –telemetria).

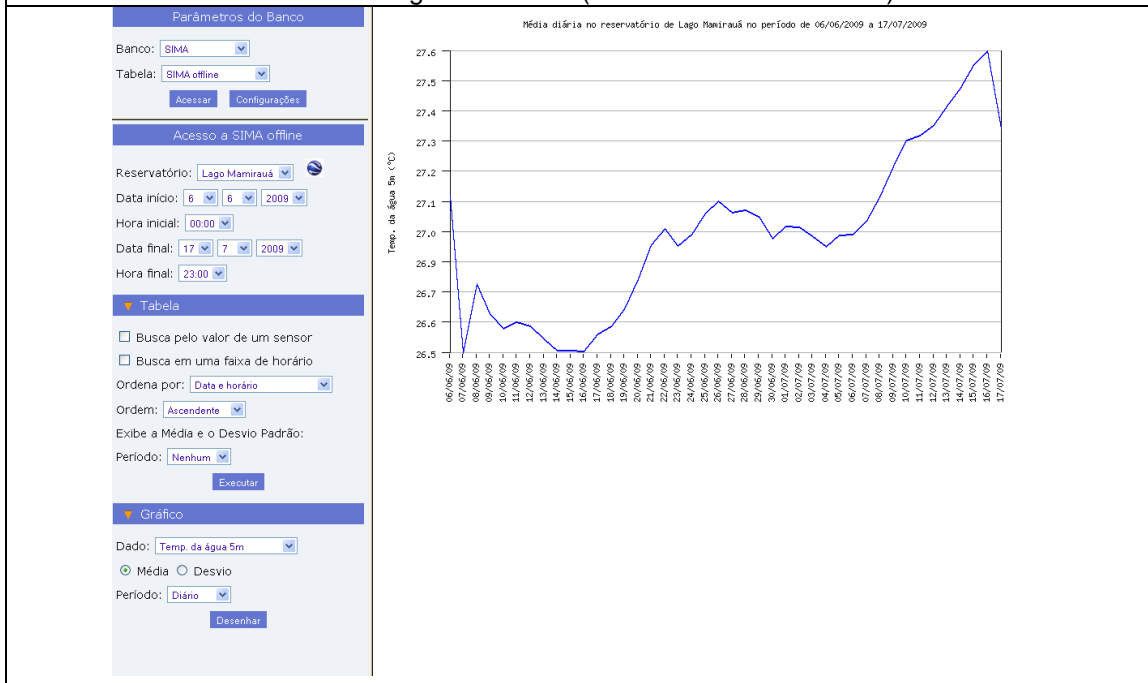
2. Os dados de condutividade, pH, clorofila, turbidez e nutrientes foram cotejados com medidas in situ baseadas em determinações de laboratório e em medidas tomadas com sonda YSI de campo na época da instalação do SIMA.

Apenas a título de exemplificação do trabalho de análise de consistência dos dados, apresenta-se a seguir a análise da série de temperatura a 5m, para o período em que os dados foram coletados no canal de acesso ao lago. Essas análises são repetidas periodicamente para verificar a consistência dos dados.

A análise da Figura 3.1 mostra que a distribuição de temperatura média diária capturada pelos dados de telemetria é bastante distinta da dos dados offline. A amplitude total de variação da média diária de temperatura medida a partir de dados offline é de 1,1° C, enquanto que para a série derivada dos dados transmitidos telemetricamente, com baixa frequência da amostragem, essa amplitude atinge 2,2° C.

Ao se examinar esses dados deve se levar em conta alguns fatores que podem estar interferindo instantaneamente na temperatura da água: o posicionamento do SIMA no canal (cano) de acesso ao lago, local sujeito a forte correnteza, em que a profundidade real da medida pode variar em função da turbulência; bancos de plantas aquáticas que se desprendem das margens, eram temporariamente freados pela plataforma, alterando localmente o campo de luz submerso e a temperatura da água (Figura 3.2); o período de aquisição dos dados em relação ao comportamento da hidrógrafa do canal (Figura 3.3); comportamento da radiação solar incidente (nebulosidade e pluviosidade variável) (Figura 3.4).

Temperatura da água - 5 metros  
Média diária (o C)  
Offline – Região do Canal (06/06/2009 – 17/07/2009)



Temperatura da água - 5 metros  
Média diária (o C)  
Telemetria – Região do Canal (06/06/2009 – 17/07/2009)

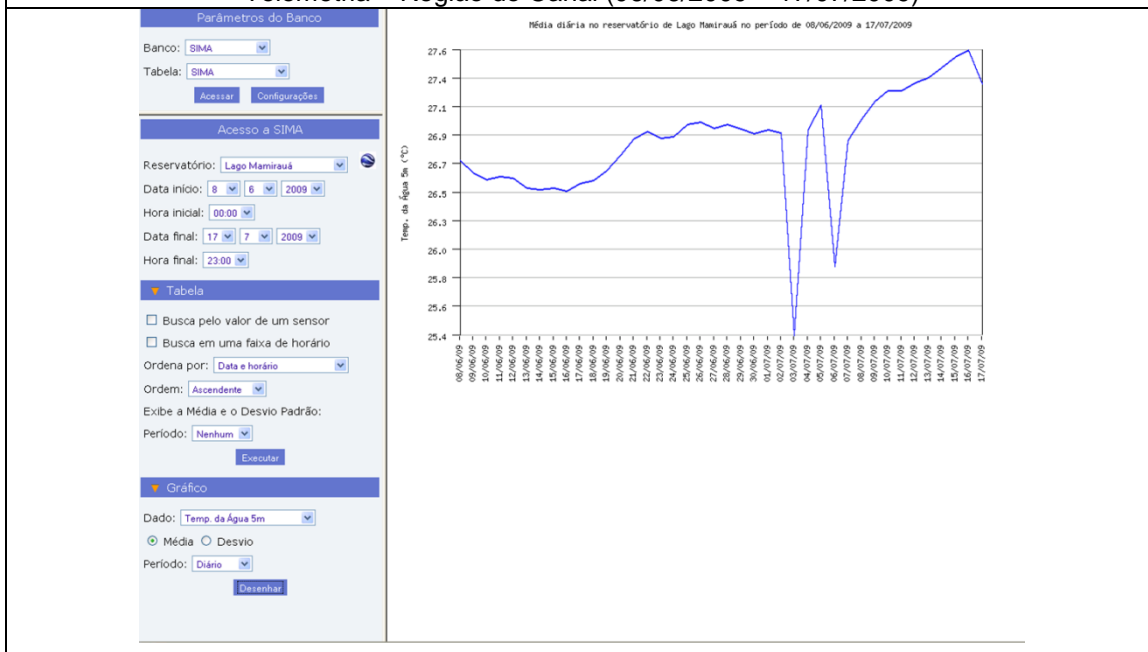


Figura 3.1 – Média diária da temperatura, na profundidade de 5 m, ao longo do período compreendido entre 06/06/2009 e 17/07/2009 – Canal (cano) de acesso ao lago Mmirauá.



Figura 3.2 – Local de fundeio do sistema entre 06 de junho e 17 de julho de 2009.

Observar que a plataforma não está nivelada devido ao arraste causado pela elevada velocidade da água durante a cheia e pelo peso das plantas aquáticas que ficaram enroscadas nos cabos de ancoragem.

Na Figura 3.3 pode-se observar o nível da água ao longo do ano de 2008 e 2009, de janeiro a 17 de julho, data em que o SIMA foi removido para o lago. O início da amostragem do SIMA se deu quando o nível da água houvera atingido o seu máximo, e então após um breve período de estabilidade, começara a regredir. Há que se chamar a atenção para o fato de que o nível da água, em 2009 foi mais de 2 metros superior ao de 2008.

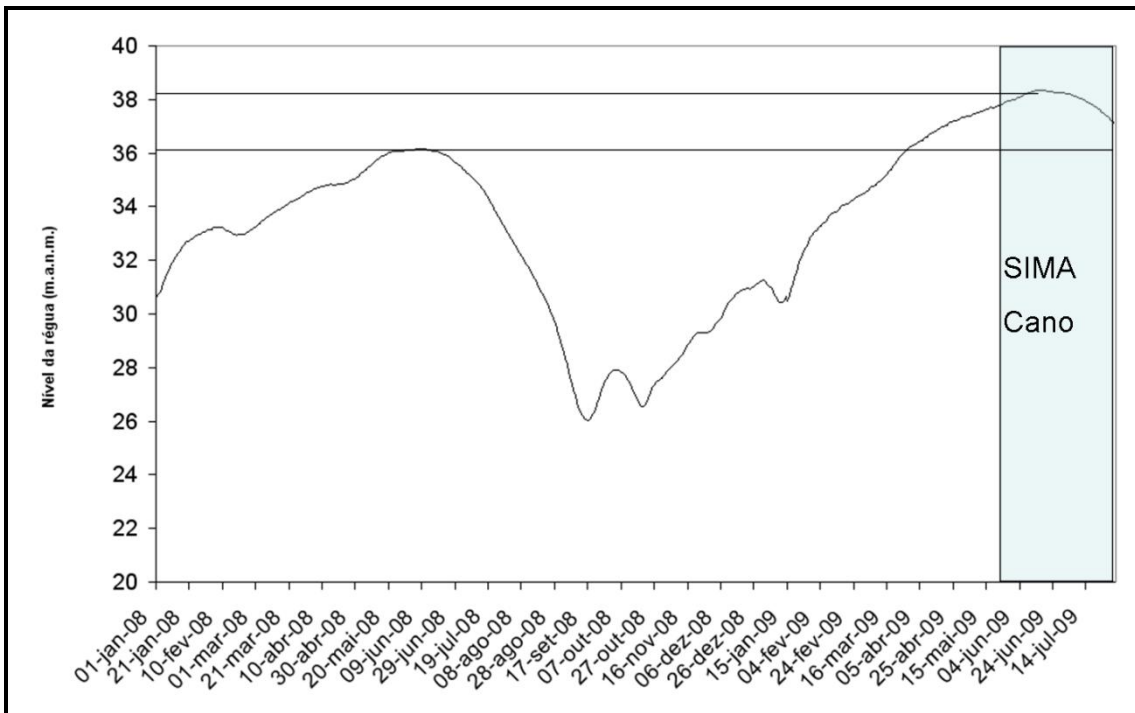


Figura 3.3 – Comportamento da hidrógrafa do canal (cano) de acesso ao lago de Mamirauá.

Fonte: INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ (2009)

De modo a analisar mais cuidadosamente o efeito da variação do nível da água sobre as medidas de temperatura da água a 5 metros, foram construídos os gráficos da Figura 3.4.

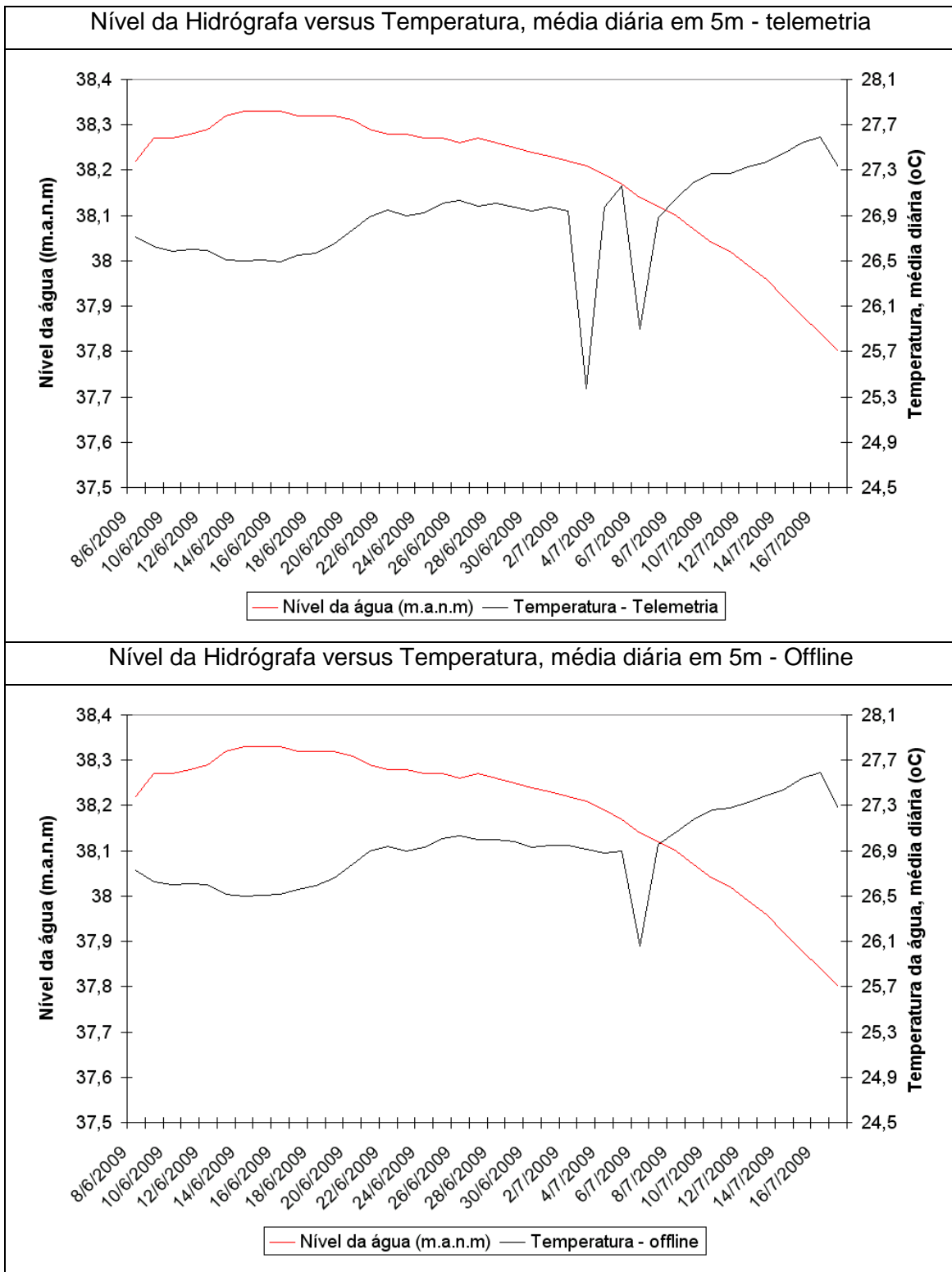


Figura 3.4 – Variação da temperatura média diária (°C) em função da freqüência de aquisição e da variação do nível de água.



A análise da Figura 3.4 sugere que em situações em que a redução do nível da água aumenta, reduzindo a profundidade da água rapidamente, ocorrem variações de temperatura na coluna de água que não são capturadas adequadamente por um sistema de mais baixa frequência de aquisição.

Para explorar mais profundamente esse aspecto, determinou-se a taxa de variação do nível da água no período (Figura 3.5). Pode se observar pela análise da Figura 3.5 que de fato, a partir do dia 04 de julho o nível da água que vinha se reduzindo lentamente, passou a diminuir a taxas mais altas, o que pode provocar turbulência e a ascensão da água mais fria para a superfície do canal.

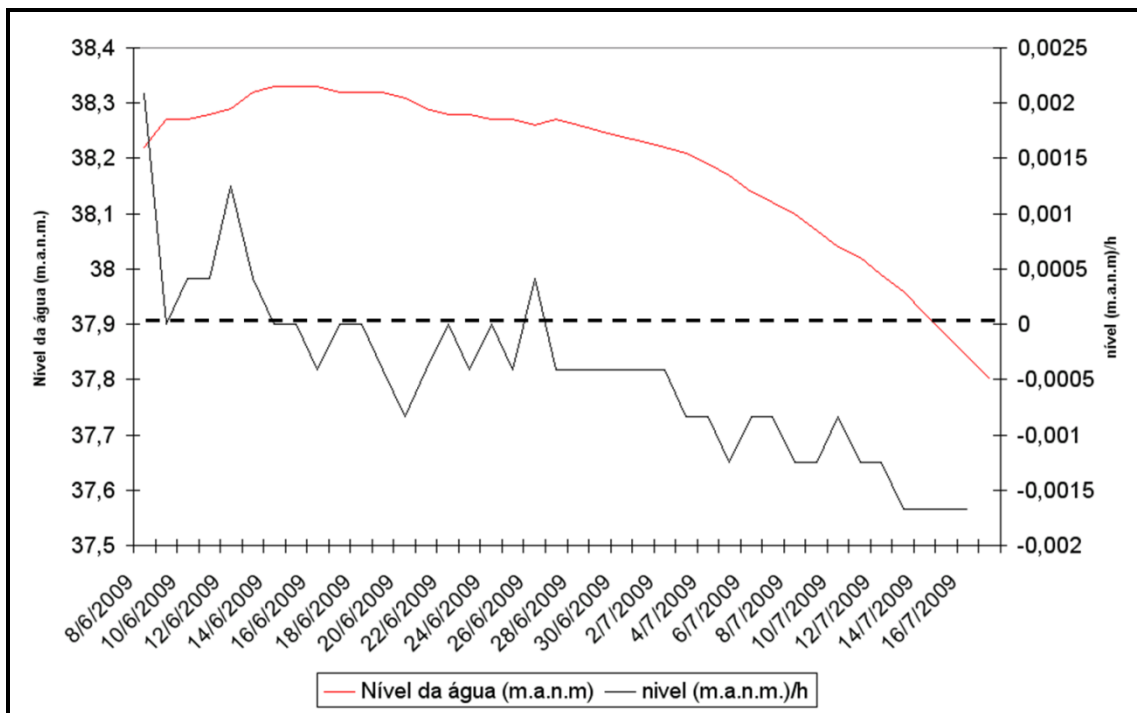


Figura 3.5 – Taxa de variação do nível da água ao longo do período de observação.

Como parte da atividade de operação e validação dos dados, essas análises são encaminhadas para a equipe responsável pelo processamento dos dados telemétricos em geofísicos para verificar se as causas são relativas à transmissão dos dados. Descartadas essas causas, então o procedimento

padrão é verificar o desempenho dos sensores durante as calibrações em campo e proceder à sua substituição.

### **3.2 Variabilidade temporal dos dados limnológicos**

#### **3.2.1 Características da Área de Estudo – O Lago de Mamirauá**

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá recobre uma área de 1.124.000 na várzea formada pela confluência do Rio Solimões e Japurá. Essa várzea, toda ocupada por Floresta Inundável, possui um grande número de lagos, canais, baias, caracterizadas pelas dimensões pequenas quando comparadas ao tamanho dos lagos do Baixo Amazonas. De fato, durante o período de cheia esses corpos d'água constituem-se em um único corpo de água extenso, cuja separação aparente se dá pela presença da Floresta Inundável (Figura 3.6). Pela análise da Figura 3.6.a pode-se verificar que a RDSM é predominantemente recoberta por floresta inundável. As variações de nível da água provocam o desaparecimento de alguns lagos durante o período de baixa, mas o Lago Mamirauá permanece com sua superfície praticamente inalterada.

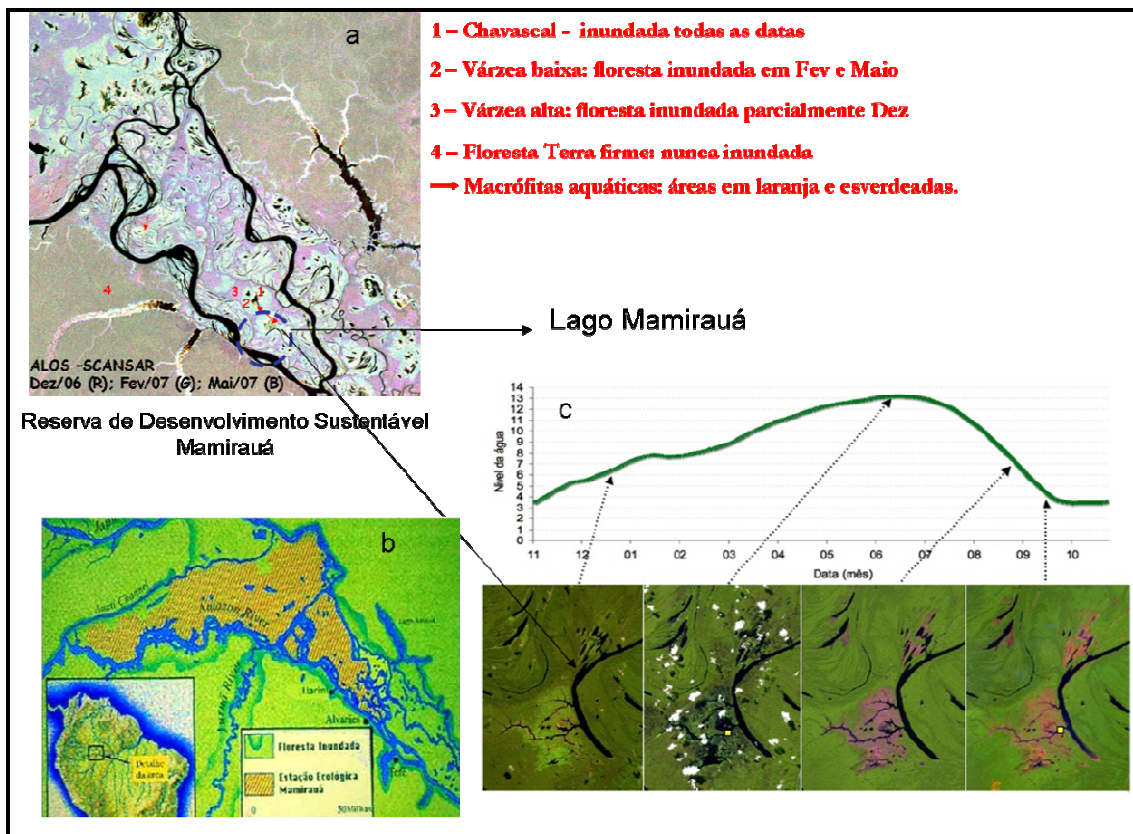


Figura 3.6 – Localização do Lago Mamirauá. a) composição multitemporal de imagens ALOS-SCANSAR mostrando variações de tipos de cobertura florestal em função do hidropérido Fonte: Affonso et al. (2009); b) Localização da RDSM Fonte: <http://www.mamiraua.org.br/>; c) Lago de Mamirauá ao longo das variações de nível da hidrógrafa .Fonte: Arraut, (2008).

### 3.2.2 Características da Área de Estudo – O Lago de Curuai

O Lago Grande de Curuai (LGC) está localizado ao Sul da cidade de Óbidos no Estado do Pará (Figura 3.7), a 900 km da foz (1,5° S, 55.43° W). Alcança uma área aproximada de 3500 Km<sup>2</sup> durante o período de cheia e sofre oscilação em seu nível médio de até 7 metros. No período de água baixa, esse grande lago se transforma em cerca de 20 lagos interligados por canais que se mantêm perenes por todo o ano hidrológico.

Estudos realizados por Renó e Novo (2008) comparando a área de cobertura florestal nas margens do Lago Curuai na década de 1970 com a cobertura

florestal atual mostram que essa região foi submetida a intenso desflorestamento nos últimos 30 anos. Atualmente a cobertura vegetal dominante é de gramíneas e herbáceas, havendo apenas remanescentes de floresta secundária.

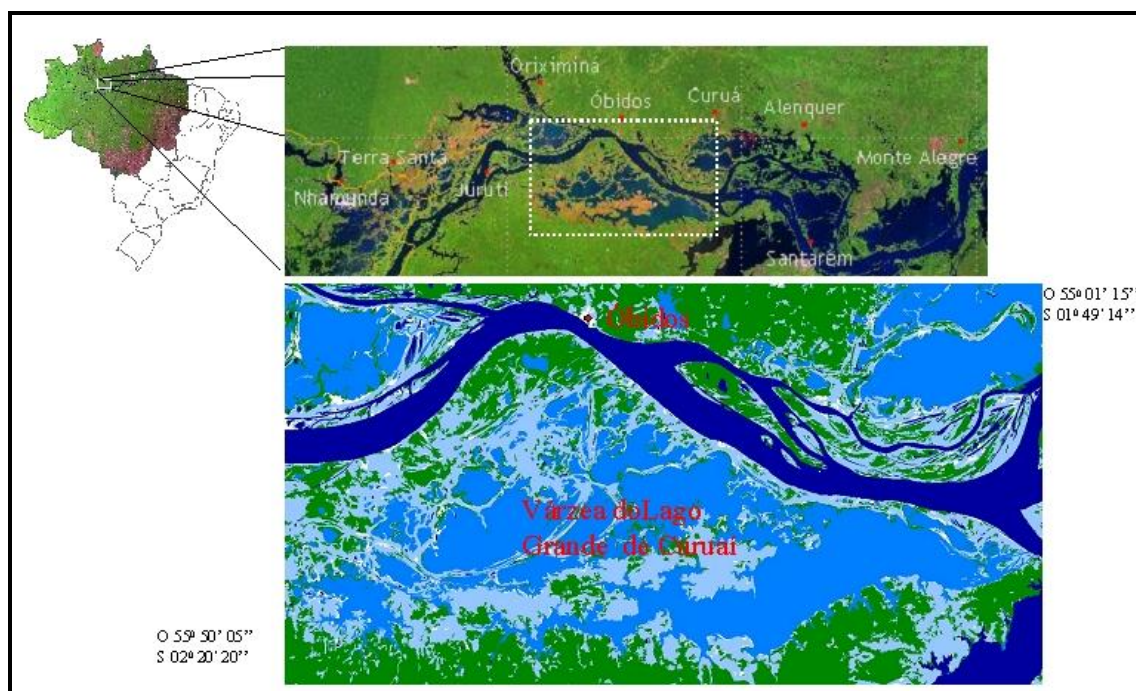


Figura 3.7 – Área de Estudo: Planície do Lago Grande de Curuai. (Fonte: Barbosa, 2005).

### 3.2.3 Análise da estrutura térmica

Como não se encontravam ainda disponíveis os dados de nível da água relativos a todo o ano de 2009 para o Lago de Mamirauá, optou-se por utilizar a média decadal dos níveis de água (1998-2008) disponíveis em <http://www.mamiraua.org.br/>.

A Figura 3.8 mostra a variação da temperatura na coluna de água (5m, 12m, 20m e 40m) do Lago de Mamirauá entre 17 de julho de 2009 e 31 de dezembro de 2009.

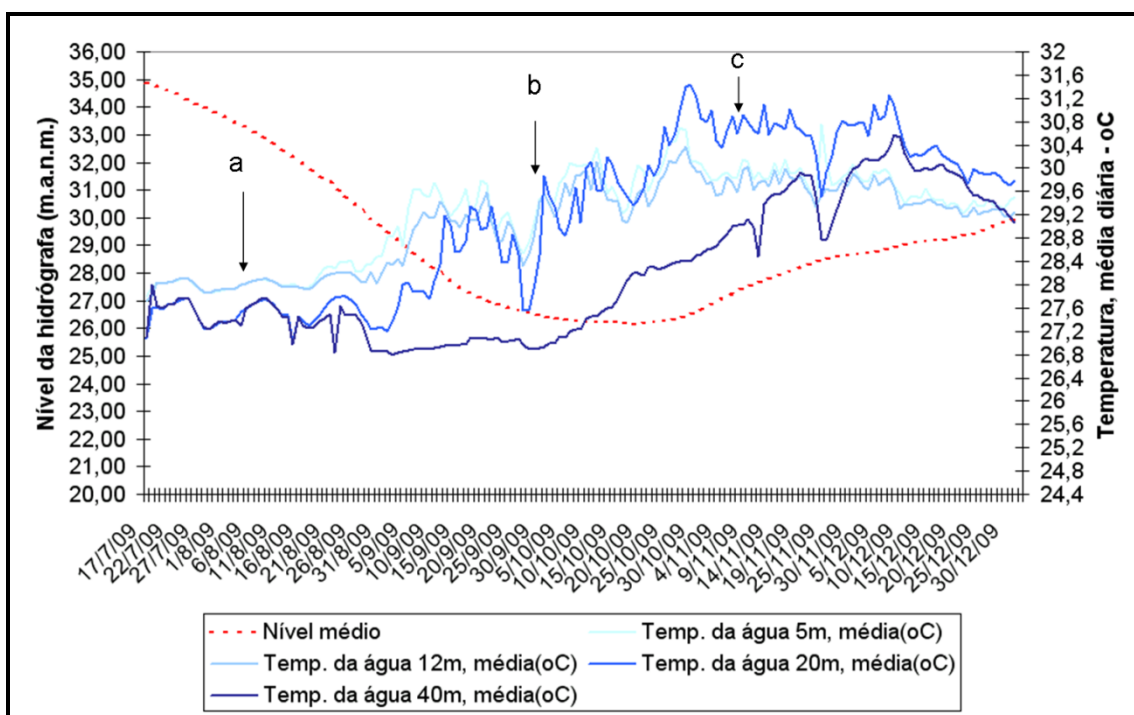


Figura 3.8 – Variação da temperatura média diária da água entre julho e dezembro de 2009 em função do nível da água (média decadal) entre julho e dezembro – Lago Mamirauá.

A análise da Figura 3.8 mostra que a estrutura térmica do lago responde à variação do nível da água. Em (a), quando o nível da água está diminuindo, a coluna de água apresenta uma distribuição de temperatura mais homogênea, sem diferença de temperatura entre a superfície (5m) e o fundo (40 m). O gradiente térmico entre 5m e 40m nesse período (17 de julho a 19 de agosto) é de  $0,05^{\circ}\text{C}$ . Na medida em que o nível da água atinge valores médios de 30m, a estrutura térmica da coluna de água torna-se mais estratificada, com gradientes que podem atingir (b) valores de até  $5^{\circ}\text{C}$ . Com o início da enchente, em novembro, as diferenças de temperatura se tornam cada vez menores (c).

Embora, não estivessem disponíveis dados SIMA do Lago Curuai para o ano de 2009, conforme já explicado no item 2.2, de modo a estabelecer comparação entre os lagos estudados, foram utilizados dados referentes aos

anos com disponibilidade de dados. Para representar o nível da água do Lago Curuai, foi calculada também a média decadal (Barbosa, 2005).

Como pode ser observado na Figura 3.9, no lago Curuai, por ser um lago mais raso (sujeito a menor amplitude de oscilação do nível da água), há diferenças na resposta da estrutura térmica da coluna d'água à variação do nível de água.

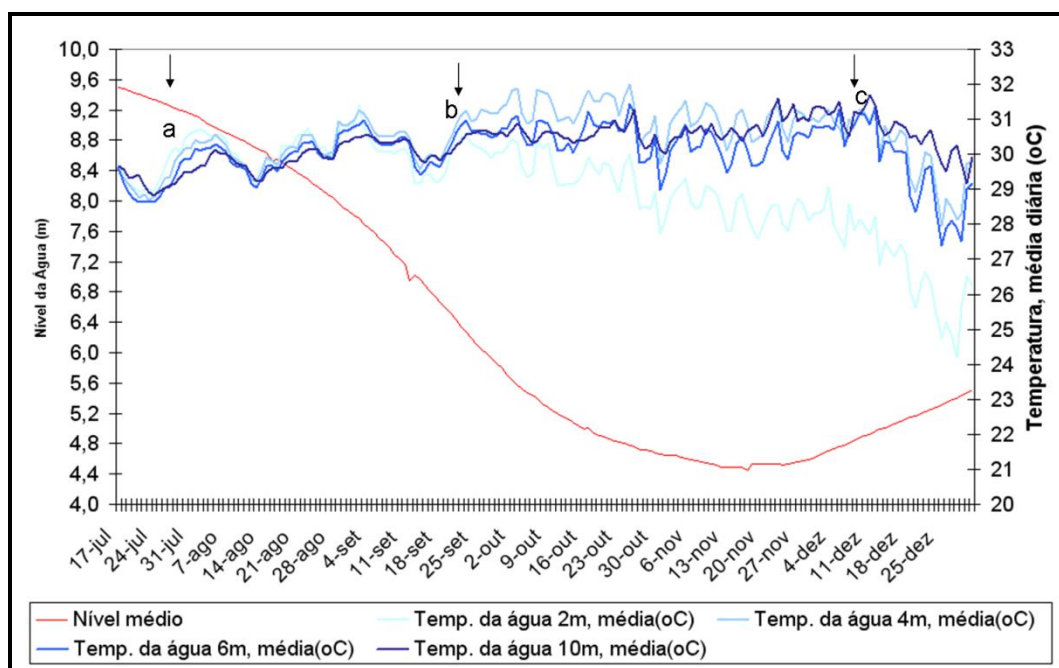


Figura 3.9 – Variação da temperatura média diária da água entre julho e dezembro em função do nível da água (média decadal). – Lago Curuai

A primeira diferença notável em (a) é que no período de nível mais alto da água a distribuição de temperatura em profundidade não é tão homogênea como aquela observada em Mamirauá, ocorrendo inversões térmicas. Tais inversões têm sua amplitude aumentada na medida em que o nível da água diminui. De fato, quando se observa a temperatura na profundidade de 10 m, a partir de julho, ela oscila apenas 2° C (28,83° C a 31,69° C), enquanto a temperatura na profundidade de 6 metros apresenta uma amplitude de 4° C (27° C a 31° C). No Lago de Mamirauá, a amplitude térmica ao longo do período na profundidade de 40 metros é de 3,77° C, enquanto na profundidade de 5 m, essa amplitude

chega a 6,23° C. Em Curuai, as amplitudes observadas a 2m ao longo do período estudado são de 7,19° C. Os dados de Curuai, entretanto, precisam ser tomados com alguma reserva, principalmente no tocante às medidas obtidas a maiores profundidades, quando o nível da água se torna muito baixo, pois a profundidade do lago diminui, fazendo com que os sensores colocados a 10 metros e 6 metros sofram o efeito de arraste na lama do fundo do lago, o que pode alterar não apenas a precisão das medidas de temperatura, como também invalidar a profundidade de referência. Este defeito seria corrigido pelo upgrade do sistema, o qual foi postergado pelas razões discutidas no item 2.2.

Ainda que os dados de Curuai tenham que ser usados com reserva, pelo menos dois aspectos da estrutura térmica podem ser comparados: a temperatura de Mamirauá a 5 m, e a temperatura de Curuai a 2 metros por não estarem, teoricamente afetada pela incerteza da posição na coluna d'água dos sensores mais profundos de Curuai durante o período de nível mais baixo da água (Figura 3.10).

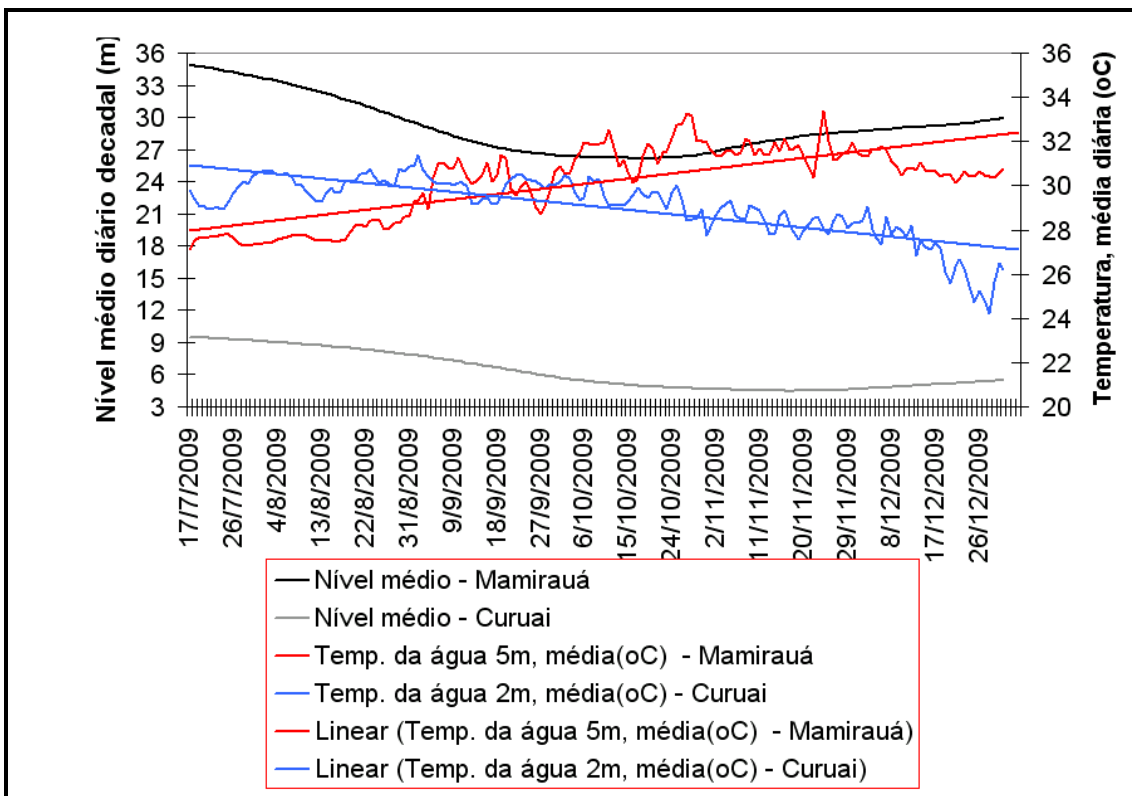


Figura 3.10 – Variação da temperatura média diária da água entre julho e dezembro em função do nível diário da água (média decadal). – Lago Curuai e Lago Mamirauá.

Abstraído-se o fato de que os dados de Curuai não se referem ao mesmo ano em que foram medidos os de Mamirauá, mas a uma média das medidas disponíveis em vários anos, e admitindo-se também a diferença de profundidade em que foram obtidas as medidas (5 metros em Mamirauá e 2m em Curuai), o padrão temporal dessa variável em resposta à variação do nível da água é totalmente diverso. Em Mamirauá, a temperatura da camada mais superficial da coluna de água tende a aumentar com a diminuição do nível da água, enquanto que em Curuai, o processo é inverso, ou seja, a temperatura da camada mais superficial da água tende a diminuir.

Algumas hipóteses podem ser propostas para explicar essa diferença de comportamento da temperatura: 1) o lago de Curuai sendo mais raso torna-se



mais sujeito à ação do vento, e seu efeito de mistura com a água mais fria de fundo sendo transportada para superfície; 2) o lago de Curuai ocupando a margem sul do Rio Amazonas, passa a receber volume crescente de água mais fria dos igarapés provenientes de Terra Firme, numa região ainda densamente recoberta por floresta. Se o efeito do vento for o principal fator de controle sobre a temperatura, o desflorestamento intenso a que foram submetidas as margens do Lago Curuai, representa sem dúvida, um fator complicador. Essas questões, entretanto, não podem ser respondidas no atual estágio da investigação, antes que o completo mapeamento da cobertura vegetal da várzea do baixo Amazonas esteja completo, e antes que se possa obter dados simultâneos em Curuai e Mamirauá, atividade a que havia se proposto o projeto, frustrada pela falta de recursos durante o ano de 2009 para completar a infra-estrutura necessária.

#### **3.2.4 Análise comparativa das variáveis limnológicas dos Lagos Mamirauá e Curuai**

A Figura 3.11 resume a variabilidade temporal de algumas variáveis limnológicas relevantes para a compreensão do efeito do pulso de inundação do Amazonas sobre as propriedades dos lagos (Barbosa, 2005).

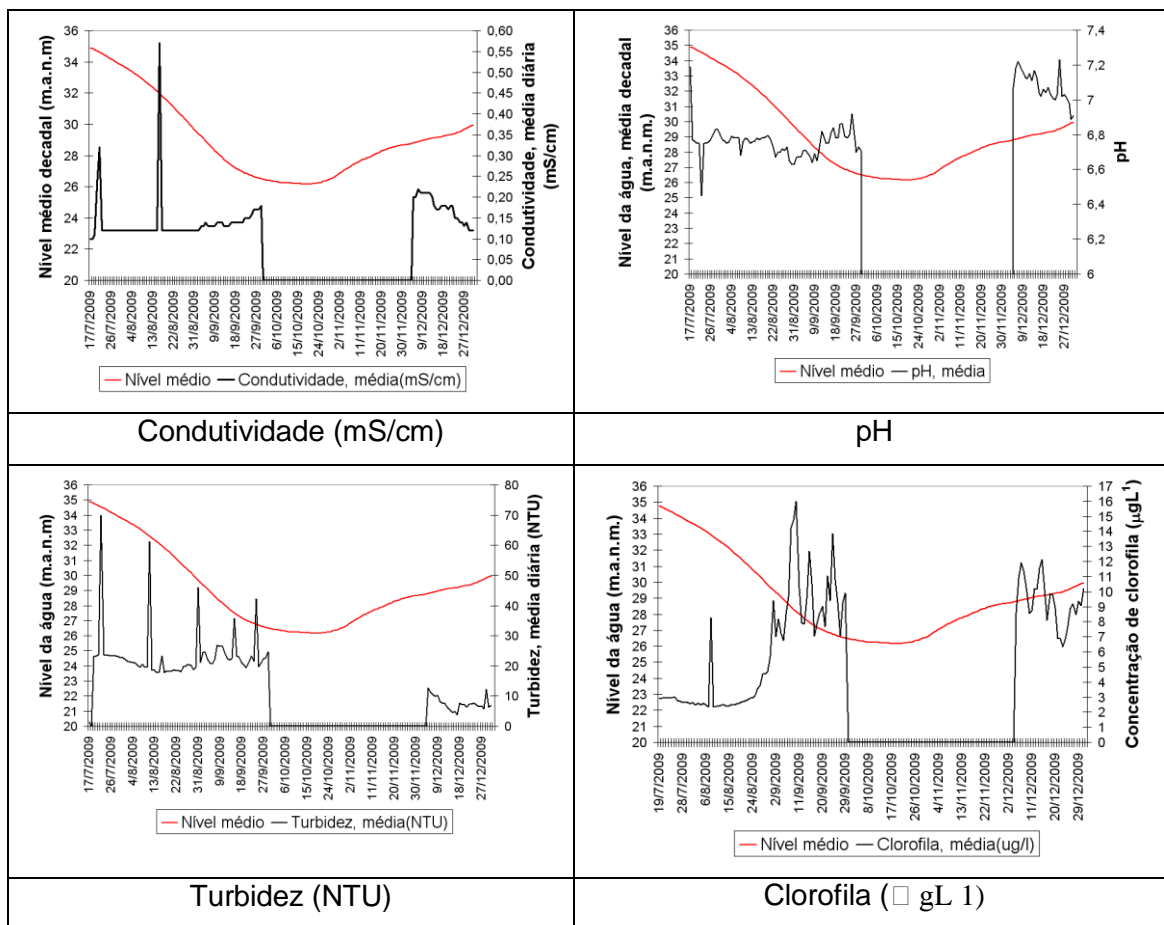


Figura 3.11 – Variação da condutividade, pH, turbidez e concentração de clorofila em função do nível médio diário da água do Lago Mimirauá.

A análise da Figura 3.11 chama a atenção para uma lacuna de dados entre os dias 30 de Setembro de 2009 e 5 de Dezembro de 2009 em decorrência do mau funcionamento da sonda YSI. Embora tenha sido observada a falha na aquisição de dados no período em questão, não houve recursos financeiros para o envio de equipe ao campo para solucionar o problema. Essa recuperação apenas foi possível em Dezembro de 2009, ocasião em que componentes da equipe, em missão de campo no âmbito do projeto FAPESP 08/07537-1, realizou a operação de manutenção da sonda, com a troca de bateria. Embora tenha sido feito um treinamento de um técnico do Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mimirauá, para fazer as atividades de calibração

da sonda, sua experiência ainda é pequena para diagnosticar o tipo de falha na transmissão e gravação de dados. Apenas quando a equipe do INPE, com mais experiência na manutenção e calibração do sistema pode estar presente, foi verificado que o problema era a bateria da sonda cuja carga era insuficiente para acionar o dispositivo de gravação do sistema. Atualmente o SIMA tem um dispositivo de controle da bateria da PTT para garantir que não haja problemas de transmissão. Os problemas com o a sonda YSI sugerem que um novo aperfeiçoamento na eletrônica do sistema deveria incluir também o monitoramento à distância da bateria da sonda. Se houvesse informação sobre a bateria, uma nova bateria poderia ter sido enviada para Tefé por SEDEX com as instruções para sua substituição.

Apesar da interrupção na transmissão e gravação dos dados por um período de dois meses críticos (vazante e baixa), os dados coletados permitem extrair informações úteis sobre o funcionamento do sistema. Em relação à condutividade e pH, pode-se observar que a tendência dos dados é de aumento dessas variáveis na medida em que a água desce a 28 m. A falha no sistema de coleta não permite determinar a dimensão total desse aumento de condutividade, mas na retomada do funcionamento do sistema, em início de dezembro, quando o nível da água começa a subir, mostra que os valores de condutividade começam a diminuir a partir de um patamar mais elevado do que aquele que ocorrera em setembro. A condutividade passa de 180  $\mu$  S/cm (0.18 mS/cm) em Setembro, para 220  $\mu$  S/cm (0,22 mS/cm) em Dezembro. Em relação ao pH observa-se a mesma tendência (6,78 em 28 de setembro e 7, 22 em 5 de dezembro, quando a sonda YSI voltou a funcionar).

Em relação aos valores de Turbidez, a tendência temporal é de redução gradativa do seu valor, que apresenta picos de 69 NTU em julho (com valores modais oscilando entre 18 e 23 NTU entre julho e setembro) e picos de 12 NTU em Dezembro (com valores modais oscilando entre 3 e 8 NTU durante esse mês). Esses dados sugerem que na medida em que o nível da água diminui o

Lago Mimirauá, de origem meândrica em com graus variáveis de conexão com o rio Solimões, torna-se mais isolado da fonte de partículas inorgânicas, e tem sua transparência aumentada, com reduzida turbidez, portanto. Por se tratar de um lago profundo, cercado por florestas inundáveis, é pouco sujeito a efeitos de ressuspensão de partículas do fundo, por ação do vento.

A análise da variação da concentração de clorofila-a em função da variação do nível da água mostra que há um aumento da concentração com a diminuição do nível da água com valores máximos oscilando em torno de  $18 \mu\text{g.L}^{-1}$  até o fim de setembro quando a sonda YSI deixa de registrar os dados. Em dezembro, os valores de clorofila oscilam em patamar mais baixo  $18 \mu\text{g.L}^{-1}$ . As medidas tomadas pela Sonda YSI se referem à profundidade de 2 metros.

Tendo em vista o interesse em comparar a variação da concentração da clorofila na água como um indicador biológico do equilíbrio do sistema aquático, testaram-se alguns modelos para ajustar a série e preencher os dados faltantes. Foram testado vários modelos polinomiais e o que mais se adequou à serie baseou-se no ajuste de um algoritmo de médias móveis, cuja equação poder ser observada em (1):

$$\text{Chl} = -1\text{E-}05 t^3 (1-n) + 0,0016 t^2 (1-n) + 0,0575 t (1-n) + 1,5021 \quad (1)$$

Onde

Chl = concentração de clorofila a no tempo t (1-n)

t (1-n) = número do dia na série temporal para a qual se quer estimar a concentração de clorofila.

O  $r^2$  do modelo foi estimado em 0,67, ou seja, cerca de 67 % da variação explicada da concentração de clorofila. Com base nesse modelo, foram

estimados os valores para os dois meses para os quais não se dispunham de dados, conforme pode ser observado na Figura 3.12.

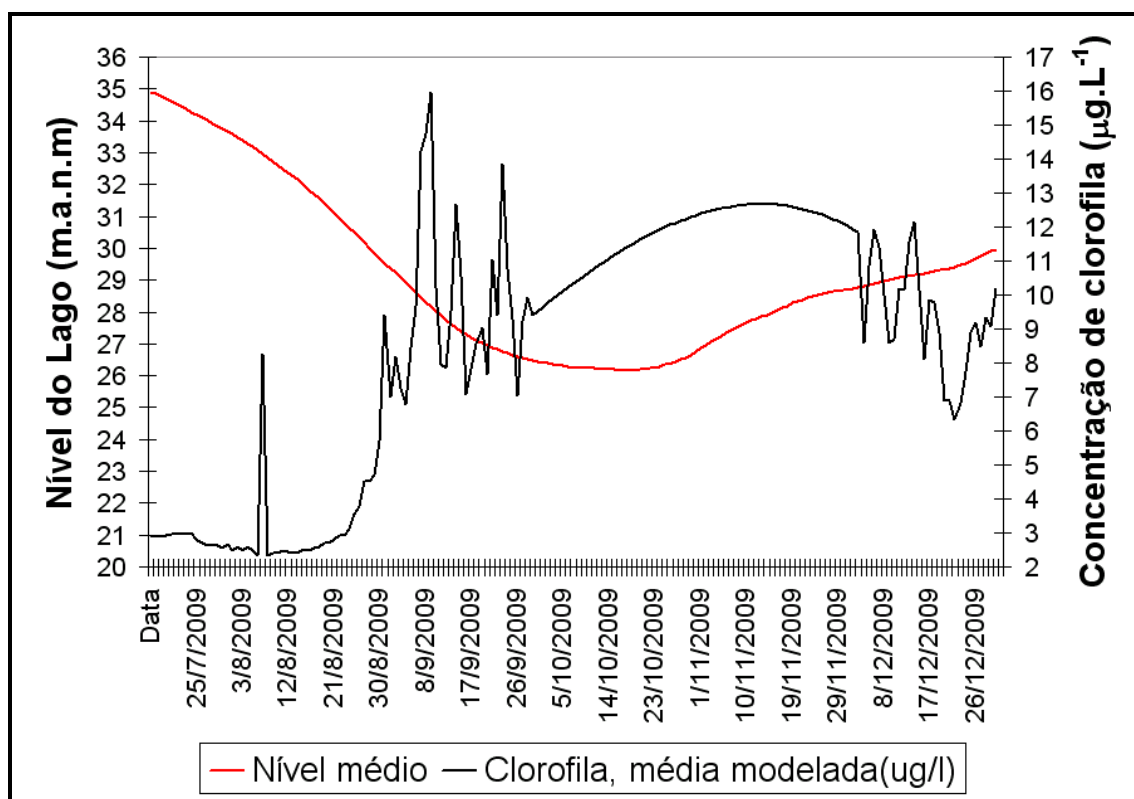


Figura 3.12 – Concentração de clorofila modelada no intervalo em que os dados não foram coletados por falha da sonda YSI em função da média decadal do nível da água do Lago de Mamirauá.

Não obstante a incapacidade do modelo de capturar a variação instantânea nas concentrações de clorofila observadas pelo sensor YSI quando em funcionamento os dados permitem verificar: 1) que as concentrações são mínimas no período em que o nível da água está alto, entre julho e as duas primeiras semanas de agosto; 2) a partir dessa data, quando o nível da água tende ao valor mínimo, as concentrações de clorofila tendem a aumentar atingindo valores máximos provavelmente nos meses de outubro e novembro. Os máximos de concentração de clorofila são da ordem de  $16 \mu\text{g.L}^{-1}$

A Figura 3.13 mostra distribuição da concentração de clorofila ao longo do período de observação em função da variação do nível da água.

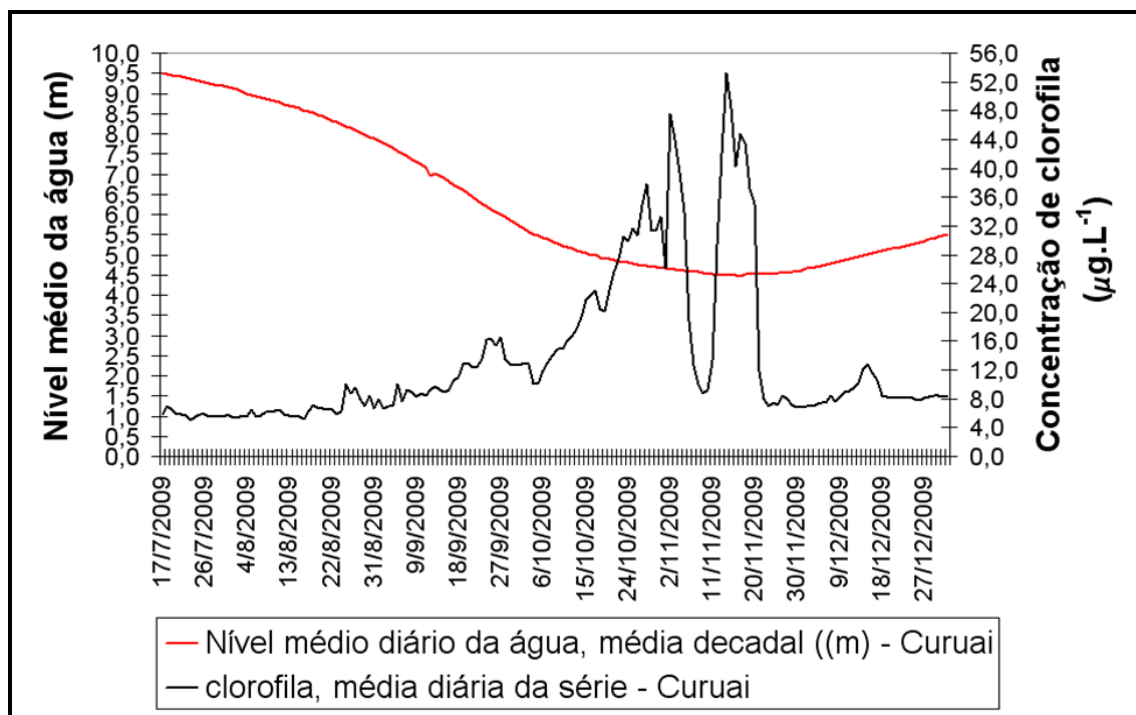


Figura 3.13 – Concentração de clorofila em função da média decadal do nível da água do Lago de Curuai.

Apesar das diferenças intrínsecas dos dados usados nessa comparação (parcialmente modelados em Mamirauá, e médias de três anos de aquisição de dados em Curuai), pode-se observar tanto semelhanças quanto diferenças entre os sistemas aquáticos. A principal semelhança é que em ambos os lagos, os períodos de menores concentrações coincidem com o máximo nível da água, o qual coincide com a entrada de águas dos rios Solimões em Mamirauá, de do Amazonas em Curuai. Na medida em que o nível da água diminui, a concentração de clorofila aumenta. O padrão de aumento, observado em Curuai, e que deve ser o mesmo observável em Mamirauá não fosse pela modelagem dos dados que faltavam na série, é o de picos sucessivos de altas concentrações, de curta duração. A principal diferença entre os dois lagos é a amplitude de variação dos dados de clorofila, 2 a 16  $\mu\text{g.L}^{-1}$  no Lago de Mamirauá, e 5 e 55  $\mu\text{g.L}^{-1}$  em Curuai.

A Figura 3.14 sintetiza o comportamento da variável clorofila em função da hidrógrafa. Pode-se observar um atraso no mínimo nível da água entre Mamirauá e Curuai. O mínimo em Mamirauá é atingido em torno de outubro, enquanto em Curuai, as cotas mínimas são atingidas em novembro.

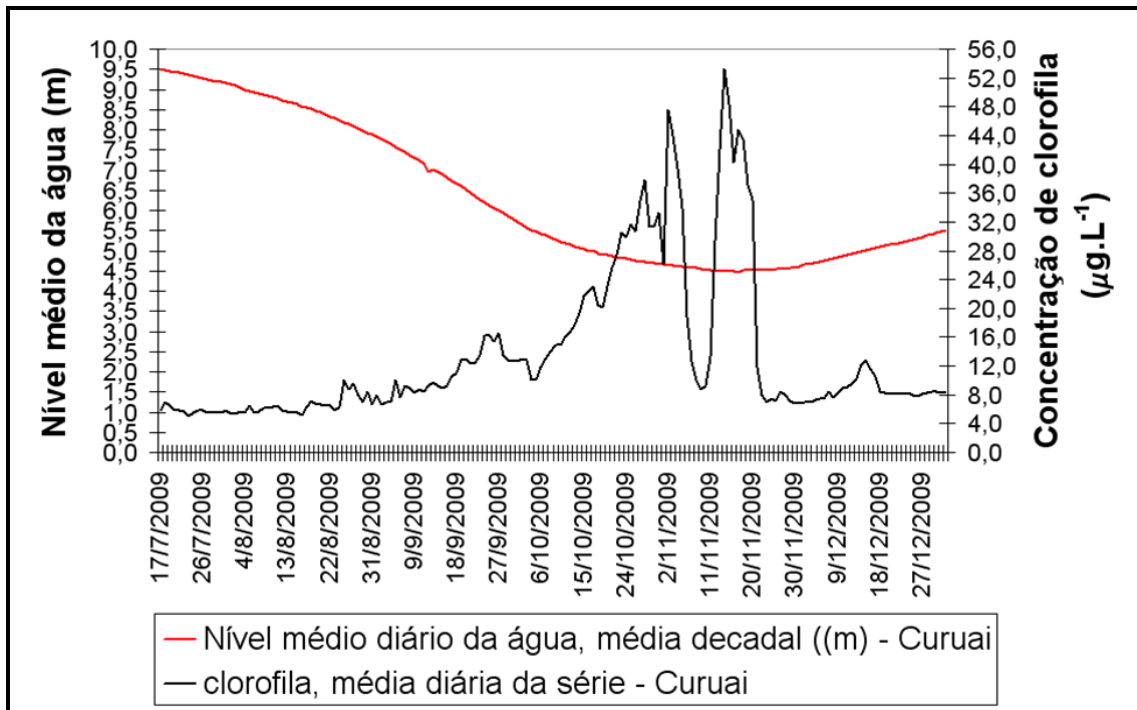


Figura 3.14 – Concentração de clorofila em função da média decadal do nível da água nos lagos de Mamirauá e Curuai.

Adotando-se apenas a variação anual da concentração de clorofila ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) como indicador do nível trófico dos lagos estudados, pode-se supor que o Lago Curuai é muito mais eutrofizado que o de Mamirauá. Afirmar que essa diferença é um indicador inequívoco do impacto antrópico sobre o Lago de Curuai seria temerário nesse ponto da investigação. Essa questão continuará a ser investigada com maior rigor quando o sistema de Curuai for atualizado e passar a receber dados simultaneamente aos de Mamirauá. A coordenação do projeto está se esforçando para que essa meta possa ser cumprida em 2010.

#### 4 Balanço da realização dos objetivos estratégicos ao término do projeto.

A tabela 4.1 resume o nível de realização dos objetivos estratégicos do projeto até o presente momento, justifica as falhas e apresenta estratégias de correção e prazos.

Tabela 4.1 – Objetivos estratégicos do projeto e grau de realização

<b>Objetivo do projeto</b>	<b>Status</b>	<b>Ação</b>
Introduzir inovações na eletrônica do SIMA no sentido de permitir a gravação interna da série completa de dados para garantir que os dados fossem preservados no caso de avarias temporárias no sistema tais como as verificadas na operação dos sistemas anteriores. Assim sendo, propôs-se a substituição da placa no novo sistema a ser instalado em Mamirauá e no sistema já existente em Curuai.	A nova eletrônica foi desenvolvida, testada e já se encontra em operação em Mamirauá. Em decorrência de limitações financeiras do projeto no ano de 2009, não foi possível construir o sistema atualizado para Curuai	Os recursos foram solicitados e estão alocados no orçamento da OBT/INPE em 2010
Introduzir inovações na base do SIMA, substituindo o toróide de fibra de vidro, por uma estrutura mais leve e mais barata. Essa inovação seria introduzida apenas no SIMA a ser colocado em Mamirauá, pois o de Curuai já se encontrava operacional, sendo desnecessária para o seu funcionamento essa substituição. Essa alteração facilitaria em muito o transporte do sistema entre São José dos Campos e Mamirauá e também todas as atividades de calibração e manutenção dos sensores que tendem a ser arriscadas com a base do tipo bóia.	Foi projetada e concluída uma nova plataforma, desmontável que se mostrou bastante eficiente e se mostrou perfeitamente adequada para o transporte até Tefé e posteriormente até a reserva. Por ser facilmente montada e desmontada de forma modular, é útil em ambientes de difícil acesso.	A idéia é testar a viabilidade de se usar esse tipo de plataforma em outros sistemas, como uma alternativa mais prática à do toróide, adaptado das bóias oceânicas.

Continua



Tabela 4.1 – Conclusão

<p>Transferir as atividades de calibração e validação dos dados para os pesquisadores da Universidade Federal do Pará, Campus de Santarém bem como desenvolver pesquisa integrada e correlacionada ao Projeto SIMA dentro das áreas de pesquisas de atuação daqueles pesquisadores, dentre as quais, usar a estrutura física da bóia para acoplar um conjunto de instrumentos para medir emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, e na interface água-atmosfera.</p>	<p>Esse objetivo não foi até o momento alcançado em decorrência da insuficiência dos recursos para completar a atualização da bóia de Curuai.</p>	<p>Esse objetivo não foi realizado por dificuldades tanto da equipe de Santarém, cujo líder da atividade passou a exercer atividades burocráticas junto ao Office-LBA-Santarém, quanto da equipe do INPE, por ter priorizado a instalação do SIMA_Mamirauá. A expectativa é de que a colaboração continue, que a bóia seja transferida para a Universidade Federal do Oeste Paraense (UFOPA) e que o INPE e a nova universidade possam continuar a colaboração.</p>
<p>Integrar o SIMA a ser instalado em Mamirauá</p>	<p>O SIMA foi integrado</p>	
<p>Atualizar o SIMA de Curuai e recondiçaná-lo para garantir sua funcionalidade e desempenho em período simultâneo ao do funcionamento do SIMA-Mamirauá.</p>	<p>O SIMA não foi atualizado. Foi apenas preservada sua base física após o rompimento da âncora..</p>	<p>O SIMA Curuai será atualizado em 2010.</p>
<p>Instalar o SIMA-Mamirauá no Lago, realizar os testes de desempenho e capacitar equipe local para as atividades de calibração periódica dos sensores.</p>	<p>O SIMA foi instalado, a equipe local foi capacitada e tem realizado calibração e download desde Julho de 2009.</p>	
<p>Dar suporte a pesquisas em desenvolvimento entre o IDSM e o INPE no tocante ao uso de dados ambientais para a criação de indicadores de biodiversidade, análise do espaço de vida de espécies ameaçadas de extinção, etc.</p>	<p>Essas atividades estão sendo realizadas na forma de teses de doutorado, pesquisas de pós-graduação, em andamento</p>	<p>O relatório resume alguns resultados preliminares.</p>
<p>Fazer a consistência dos dados transmitidos (correções de valores espúrios, dados nulos, dados não existentes, etc) e disponibilizar os dados na Internet.</p>	<p>Essa consistência vem sendo feita para Mamirauá mas não para Curuai. Atualmente eles são disponíveis para consulta no banco de dados, mediante solicitação.</p>	<p>Uma vez atualizado o SIMA-Curuai os dados consistidos estarão disponíveis na internet.</p>
<p>Analisar os dados com base em ferramentas de análise de séries temporais</p>	<p>Essa análise está sendo feita.</p>	<p>Alguns exemplos são apresentados no relatório</p>

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A despeito das dificuldades para implementar o projeto seja por restrições financeiras, seja por dificuldades logísticas, os dados coletados até o momento e os avanços alcançado indicam que o projeto que ora se conclui tem um potencial de exploração científica dos dados muito grande. Vários grupos de pesquisa têm procurado a coordenação do projeto para ter acesso às informações coletadas pelos sistemas implantados.

No tocante ao avanço tecnológico, resultados iniciais da análise das séries de alta frequência em comparação com as séries telemétricas, indicam que a alteração de eletrônica proposta foi muito bem sucedida.

Outro avanço significativo do projeto foi o desenvolvimento de plataformas desmontáveis e mais confortáveis para as operações de manutenção do sistema.

No tocante à questão científica proposta, embora os dados tenham sido analisados de modo bastante superficial devido ao atraso na implantação do sistema e devido a falta de recursos para a atualização do SIMA Curuai, eles indicam que existem diferenças marcantes entre os dois sistemas sob o ponto de vista limnológico, e que tais diferenças podem ser responsáveis parcialmente pelas diferenças de concentração de clorofila entre os lagos estudados. Apesar das diferenças limnológicas, o aumento da concentração de clorofila em Curuai da ordem de 300 % sugere que a pecuária praticada na várzea deve ter um papel importante nessa variação.

Essas questões continuarão sendo analisadas por meio de dissertações e teses de doutorado que se aproveitarão da base de dados disponibilizadas no âmbito desse projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, A. G.; NOVO, E. M. L. M. A contribuição da tecnologia espacial para o monitoramento dos recursos hídricos da Amazônia Brasileira no século XXI. In: BERNAL, Hernando; H. SIERRA, Carlos; ANGULO, Mario (Ed.). **Amazonía y agua-** desarrollo sostenible en el siglo XXI. Bilbao: UNESCO Unesco Extea, 2009. v. 259, p. 272. ISBN 9788575981.

AFFONSO, A. G.; NOVO, E. M. L. M.; MELACK, J. M.; HESS, L. L. Identificação e quantificação do desflorestamento nas áreas alagáveis nos municípios à margem do Rio Solimões / Amazonas nos estados do Pará e Amazonas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3235-3242. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-14678-PRE/9652). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.24.18.53>>. Acesso em: 05 mar. 2010.

ALCÂNTARA, E.; STECH, J. L.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; SHIMABUKURO, Y. E. Integração de dados de alta frequência temporal e imagens MODIS/TERRA para o estudo da turbidez na Planície de Curuai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6549-6556. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-14680-PRE/9654). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.11.04.08>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

ARRAUT, E. M. **Migração do peixe-boi amazônico: uma abordagem por sensoriamento remoto, radiotelemetria e geoprocessamento.** 2008. (INPE-T/). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008 Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/11.23.13.09>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

ARRAUT, E. M.; MANTOVANI, J. E.; NOVO, E. M. L. M. Quanto alimento há para o Peixe-boi Amazônico? Técnicas de processamento digital de imagens para estimar a dimensão de bancos de macrófitas aquáticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6609-6614. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16255-PRE/10835). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.22.18>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

AYRES, J.M. **As matas de várzea do Mamirauá:** Médio Rio Solimões. 2.ed. Brasília, DF: CNPq; Tefé, AM: Sociedade Civil Mamirauá. 124p. 1995.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curai/Rio Amazonas**. 2005. 286 p. (INPE-14614-TDI/1193). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/02.22.15.03>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

BALLESTER, M. V. ; NOVO, E. M. L. M. ; COSTA, M. P. F. ; MANTOVANI, J. E. . Can RADARSAT improve methane emission estimates in Tropical Floodplains and reservoirs: Tucuruí reservoir and Lago Grande , Amazon?. In: GERS -97 - Geomatics in the Era of RADARSAT, 1997, Ottawa. Proceeding of the GERS 97, 1997

COLARES, I.G. **Hábitos alimentares do Peixe-boi da Amazônia (Trichechus inunguis, Mammalia, Sirenia)**. 1991. 110p. Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. 1991.

COSTA, M. P. F. ; NOVO, E. M. L. M. ; PIETSHC, R. W. ; AHERN, F. J. . Pre-processing of RADARSAT imagens of Tucuruí reservoir and Lago Grande Floodplain, Amazon. In: **GER´97 Geomatics in the ERA of RADARSAT**, 1998, Ottawa. Proceeding of GER´97, 1998.

COSTA, M. P. F. **Net Primary Productivity and Carbon Uptake of Aquatic Vegetation of the Amazon Floodplain: a Multi-SAR Satellite Approach**. Department of Geography. University of Victoria, BC, Canada, 2000.

CTHIDRO. **Diretrizes estratégicas para o fundo de recursos hídricos de desenvolvimento científico e tecnológico**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/fontes/fundos/cthidro.pdf>> 2000.

FRANÇA, A. M. S. **Aplicação de sensoriamento remoto no estudo da influência da dinâmica sazonal do Rio Amazonas sobre a morfologia dos sistemas lacustres**. 2005. 137 p. (INPE-14469-TDI/1150). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.01.19.26>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

GRASIANI, S. D. **Distribuição espacial e temporal de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais**. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Curso Internacional em SR e SIG) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2002.

HENDERSON, P.A. *O ambiente aquático da reserva Mamirauá*. In: QUEIROZ, H.L.; CRAMPTON, W.G.R. (Eds.). **Estratégias para o manejo de recursos**

**pesqueiros em Mamirauá.**– Brasília: Sociedade Civil Mamirauá: CNPq. p.1-9, 1999.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ. **Banco de dados fluviométrico da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá.** Disponível em: <http://www.mamiraua.org/fluviometrico/> ). Acesso em 29/12/2009.

JUNK, W. J. (Ed.) **The Central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system**, Springer, Berlin, 1997.

LIMA, I. B. T. **Utilização de imagens históricas TM para avaliação e monitoramento da emissão de CH<sub>4</sub> na UHE Tucuruí.** 1998. 114 p. (INPE-6821-TDI/642). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1998a. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.11.10>>. Acesso em: 09 mar. 2010.

LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M. Carbon flows in the Tucuruí reservoir. In: International workshop on hydro dams, lakes and greenhouse gas emissions, 1999, Rio de Janeiro. **Dams and climate change.** Rio de Janeiro : COPPE, UFRJ, 1998b. p. 78-84.

LIMA, IBT ; NOVO, EMLM ; BALLESTER, MVR ; OMETTO, JPHB . Role of the macrophyte community in the CH<sub>4</sub> production and emission in the tropical reservoir of Tucuruí, Pará State, Brazil. **Proceedings of the International Association of Theoretical and Applied Limnology**, Stuttgart, v. 27, p. 1437-1440, 2000.

LOBO, F. L. ; RUDORFF, C. ; Barbosa, C. ; Arraut, E. ; Novo, E. ; Piedade, M. T. . Water Optical Properties Changes due to Land-Water Interactions in Mamirauá Reserve, AM, Brazil. In: LBA-ECO SCIENCE TEAM MEETING, 111., 2007, Salvador. **Proceedings...** Salvador: LBA-ECO, 2007.

MARMONTEL, M.; ROSAS, F.C.W.; CALVIMONTES, J. **Seasonal movements and migratory routes of Amazonian Manatees *Trichechus inunguis* (Mammalia, Sirenia) in the Mamirauá and Amanã sustainable development reserves**, Western Brazilian Amazon. In prep, 2007.

NOVO, E. M. L. M.; TUNDISI, J. G. Contribution of Remote Sensing Techniques to the Assessment of Methane Emission from Large Tropical Reservoirs. **Rem Sens Rev**, Estados Unidos da América, v. 10, p. 143-153, 1994.

NOVO, E. M. L. M. ; COSTA, M. P. F. ; MANTOVANI, J. E. . Application of RADARST multi date data to monitor the seasonal spread of macrophyte beds

in the Tucuruí reservoir, Brazilian Amazon. In: **IGARSS 98, 1998**, Seattle. Proceedings of the IGARSS 98, 1998.

NOVO, E. M. L. M.; STECH, J. L.; BARBOSA, C. C. F. Space technology contribution for sustainable development in the Amazon Floodplain. In: TIEZZI, E.; BREBBIA, C. A.; JØRGENSEN, S. E.; GOMAR, D. Almorza (Ed.). **Ecosystems and sustainable development V**. Southampton: WIT Press, 2005. p. 563-570. Fifth International Conference on Ecosystems and Sustainable Development ECOSUD V. ISBN 1-84564-013-6. (INPE-13383-PRE/8598).

NOVO, E. M. L. M. ; BARBOSA, C. C. ; FREITAS, R. M. ; SHIMABUKURO, Y. E. ; MELACK, J. M. ; PEREIRA FILHO, W. . Seasonal changes in chlorophyll distributions in Amazon floodplain lakes derived from MODIS images. **Limnology**, v. 7, p. 153-161, 2006.

NOVO, E. M. L. M. . **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher,. 363 p., 2008.

QUEIROZ, H.L. *A pesca, as pescarias e os pescadores de Mamirauá*. In: QUEIROZ, H.L.; CRAMPTON, W.G.R. (Eds.). **Estratégias para o manejo de recursos pesqueiros em Mamirauá**. – Brasília: Sociedade Civil Mamirauá: CNPq. p.37-71. 1999.

QUEIROZ, H.L. **Natural history and conservation of pirarucu Arapaima gigas, at the Amazonian várzea**: red giants in muddy waters. Ph.D. Thesis. University of St. Andrews. 2000.

RENÓ, V. F. ; NOVO, E.M.L.M. . Utilização de imagens MSS/Landsat para o mapeamento da cobertura florestal da planície do lago grande de curuai, PA.. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL EN PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL, 13., 2008, Havana. **Anais...** Havana: SELPER, 2008.

RUDDORF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion e de espectrorradiômetro de campo visando a compreensão da variação temporal de seus componentes ópticamente ativos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.

SILVA, T. S. F. **Imagens EOS-MODIS e Landsat 5 TM no estudo da dinâmica de macrófitas na região de Curuai - AM**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

SILVA, T. S. F.; COSTA, M. P. F.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. L. M. Remote sensing of aquatic vegetation: theory and applications **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 140, n. 1-3, p. 131-145, 2008.

STECH, J.L; LIMA, IB.T; NOVO, E.M.L.M; SILVA, C.M.; ASSIREU, A.T; LORENZZETTI, J.A; CARVALHO, J.C.; BARBOSA, C.C; ROSA, R.R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 29, p. 1747-1750, 2006.

STECH, J. L.; ALCANTARA, E. H.; BARBOSA, C. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M. L. M. Turbidity in the Amazon Floodplain Assessed Through a Spatial Regression Model Applied to Fraction Images Derived From MODIS/Terra. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2007, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona: IEEE, 2007.

VASCONCELOS, C. H. **Aplicação de sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e técnicas de análise espacial para analisar a distribuição de malária na região do reservatório de Tucuruí - PA.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, 2004.

