

# Localização de áreas de monitoramento telemétrico em ambientes aquáticos da Amazônia

Ivan Bergier Tavares de LIMA,<sup>1</sup> Cláudio Clemente BARBOSA<sup>1</sup>, Evlyn Márcia Leão de Moraes NOVO<sup>1</sup>, João Carlos CARVALHO<sup>1</sup>, José Luiz STECH<sup>1</sup>

## RESUMO

O presente trabalho demonstra a aplicabilidade de imagens de sensoriamento remoto e de métodos de processamento de imagens digitais para definição de locais adequados à instalação de sistemas telemétricos de monitoramento de variáveis ambientais em sistemas aquáticos, localizados em regiões de difícil acesso. A técnica consiste essencialmente da aplicação de operações Booleanas entre mapas da pluma do Rio Amazonas e de zonas inundadas do Lago de Curuai em diferentes etapas do ciclo hidrológico. A localização exata para o sistema de monitoramento telemétrico será vital para o desenvolvimento de modelos de troca de gases traço entre a planície de inundação Amazônica e a atmosfera.

## PALAVRAS-CHAVE

Ecohidrologia, processamento de imagens, séries temporais.

## *Location of telemetric monitoring sites in Amazon floodplain lakes*

## ABSTRACT

The present work illustrates the application of remote sensing and image processing methods to define appropriate sites for installing buoy moored telemetric systems at the surface of Amazon floodplain lakes for long-term limnologic-micrometeorologic monitoring. The technique consists essentially of Boolean operations over Amazon plume maps and historic inundation of the Curuai Lake at distinct stages of the hydrologic cycle. The precise location for the long-term monitoring is vital to the development of models concerning air-water trace gas exchange in the Amazon floodplains.

## KEY WORDS

*Ecohydrology, image processing, time series.*

---

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Coordenadoria de Observação da Terra, Programa de Estudos de Processos da Hidrosfera  
Av. dos Astronautas 1758, São José dos Campos, SP, Brasil, CEP 12227-010, Telefone: 12 3945-6433, Fax: 12 3945-6488  
e-mail: ivan@ltd.inpe.br, claudio@dpi.inpe.br, evlyn@ltd.inpe.br, jcarlos@ltd.inpe.br, stech@ltd.inpe.br

## INTRODUÇÃO

A ocorrência, a dimensão e o funcionamento ecológico das lagoas marginais na planície de inundação amazônica são sazonalmente modulados pela variação do nível da água. Essa planície alcança em algumas seções transversais larguras de até 100 km, formando um complexo mosaico de ilhas, diques marginais, lagos, canais e paranás, cujas formas, cobertura vegetal e propriedades variam permanentemente em função do nível do Rio Amazonas e seus afluentes (Junk *et al.* 1989). As mudanças sazonais introduzidas pela variação da área inundada são responsáveis por transições bem definidas da atividade biológica. Nas lagoas marginais ocorrem processos de ciclagem de nutrientes e de matéria orgânica, de troca de gases de efeito estufa com a atmosfera, e de reprodução e manutenção da biodiversidade da fauna e flora aquática.

Devido à ampla variabilidade hidrológica, limnológica e biológica no domínio espaço-temporal, a aquisição de dados durante campanhas de campo eventuais se mostra insuficiente para aumentar a compreensão científica acerca da variabilidade dos ecossistemas aquáticos. Além disso, o monitoramento dessas variáveis em campo é bastante ineficiente tanto em relação ao custo unitário da aquisição do dado quanto em relação à frequência adequada para monitorar as várias escalas de variação dos fenômenos ecológicos. Geralmente são realizadas campanhas de campo com duração limitada, as quais permitem a obtenção de um número restrito de amostras de alguns corpos d'água. A análise da rede de coleta ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)) é suficiente para mostrar a precariedade dos dados disponíveis para monitorar as alterações de qualidade das águas brasileiras face à multiplicidade dos impactos antrópicos. Tendo em vista a complexidade inerente a esses sistemas, o estudo e a modelagem da dinâmica ecológica demanda uma quantidade expressiva de informação, a qual só pode ser obtida através do uso de novas tecnologias, tais como os sistemas de monitoramento automático e telemétrico.

Com o objetivo de ampliar o conhecimento ecohidrológico do Lago Curuai, o Programa de Estudos de Processos da Hidrosfera do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais está desenvolvendo um projeto no âmbito do Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-HIDRO) do Ministério da Ciência e Tecnologia, com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, para a construção e implantação de um Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental (SIMA) em um local ecologicamente estratégico (Novo *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2003). O SIMA foi desenhado para a aquisição de dados e a monitoração em tempo real de sistemas hidrológicos (Stevenson *et al.*, 1993). O SIMA é constituído de um toróide flutuador ancorado, 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, para um usuário situado até 2500 km distante. A associação destes componentes fornece uma poderosa

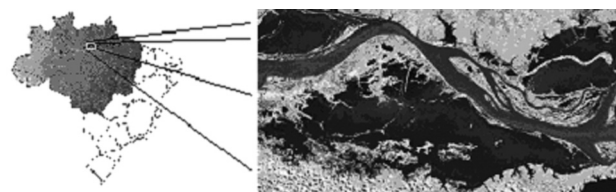
ferramenta que pode ser empregada no gerenciamento e controle ambiental de recursos hídricos.

Um aspecto crucial para o teste das hipóteses relevantes para ampliar o conhecimento ecohidrológico é a localização adequada do SIMA, de modo a que ele possa captar a variação do “sinal” produzido pela incursão da água (pluma) do Rio Amazonas no lago. Para tanto é imprescindível determinar com antecedência a melhor posição geográfica para a sua inserção. Isto pode ser idealmente realizado através de técnicas de processamento de imagens de satélite e de sistemas de informação geográfica (Lima *et al.*, 1998). Para o monitoramento do lago Curuai na planície amazônica necessita-se basicamente localizar as regiões do lago permanentemente inundadas e que recebem águas da calha principal ou pluma amazônica que atravesse longitudinalmente o interior do lago.

## MATERIAL E MÉTODOS

### REGIÃO DE ESTUDO: LAGO DE CURUAI

A área piloto para desenvolvimento do projeto, denominada de Lago Grande de Curuai, está localizada no médio Amazonas, ao Sul da cidade de Óbidos, estado do Pará. (Figura 1).



**Figura 1** – Localização da área de estudo: Lago de Curuai (55°W, 02°S).  
Study area location: Curuai Lake (55°W, 02°S).

Esta área de 2000 km<sup>2</sup> é formada por sedimentos arenosos quaternários e pode ser caracterizada como uma planície fluvial inundável sujeita ao regime natural de águas do rio Amazonas. Os vários lagos que compõem a área são interligados por canais de comunicação.

## METODOLOGIA

A localização da região a ser monitorada é baseada no método descrito em Lima *et al.* (1998), que consiste em operações de intersecção (cruzamento Booleano) entre imagens binárias ou “bitmaps” obtidos pela classificação de regiões em imagens de satélite que representam a evolução hídrica do lago da cheia à vazante, nas datas 8/7/2002 (cheia), 24/07/2002 (início da vazante), 23/09/2001 (vazante), 28/10/1999 (final da vazante) e 12/12/2001 (início da enchente). Os bitmaps, delimitando a área de água aberta, foram obtidos com o auxílio do aplicativo SPRING usando a técnica de segmentação das bandas 3, 4 e 5 do sensor ETM+ a bordo do satélite Landsat-7, através do

algoritmo de crescimento de regiões, seguido por uma classificação não supervisionada, baseado no classificador ISOSEG (Barbosa *et al.*, 2003). A imagem de bitmap da pluma foi obtida apenas com a banda 3, que é influenciada pelo espalhamento da radiação eletromagnética em torno de 700nm, de modo a realçar os sedimentos em suspensão da água oriundos da calha principal do rio Amazonas.

Para a obtenção do bitmap da pluma, utilizou-se uma segmentação baseada no algoritmo de detecção de bacias, seguida por uma classificação pelo método da distância de Bhattacharya (Lopes *et al.*, 2005). A distância de Bhattacharya é usada neste classificador por regiões para medir a separabilidade estatística entre pares de classes espectrais. A imagem de bitmap da pluma foi posteriormente editada para suprimir elementos de resolução ou pixels eventualmente fora do lago. As operações Booleanas foram realizadas em C++ que permite a manipulação direta nos bits dos pixels de uma imagem de saída. Uma imagem binária é constituída exclusivamente de 0 e 1. Assinalando 1 para a presença de água nos pixels das imagens, a mudança pixel a pixel ao longo do tempo pode ser representada em uma outra imagem de  $2^n$  combinações, onde  $n$  representa o número de imagens históricas. Na presente análise temos seis bitmaps (cinco datas distintas mais um bitmap de pluma), totalizando  $n = 6$  e uma imagem espaço-temporal de seis bits. Pixels na imagem de saída cujo número digital seja 111111 ou 63 na forma decimal são adequados para a instalação da plataforma de coleta de dados, pois nestas regiões o dessecamento do lago é improvável. O isolamento destes pixels é realizado através de uma reclassificação ou mapeamento de classes na imagem de saída.

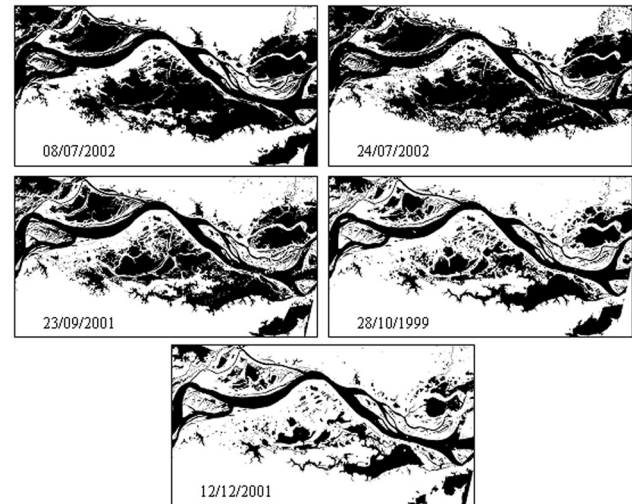
#### LISTA DE ABREVIATURAS

CT-HIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos  
SIMA – Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental  
SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas  
ETM+ – Enhanced Thematic Mapper Plus  
ISOSEG – Algoritmo Não-supervisionado de Agrupamento de Dados

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os bitmaps obtidos nas regiões de água aberta no Lago de Curuai.

A análise da Figura 2 revela a ocorrência de uma diminuição da superfície, forma e conectividade do lago entre julho e dezembro, transformando o lago em inúmeros lagos de menores proporções. A discriminação da pluma do Rio Amazonas foi obtida por segmentação da banda 3 da cena adquirida em 08/07/2002 (Figura 3).



**Figura 2** - Mudança sazonal da área do Lago de Curuai entre julho e dezembro. Seasonal change of the Curuai Lake area between July and December.



**Figura 3** - Separação pluma do Rio Amazonas (área mais escura - preta) através da técnica de segmentação e classificação Bhattacharya. Amazon plume separation (black area) through image segmentation technique and Bhattacharya classification.

A escolha da banda 3 levou em conta o efeito que as partículas inorgânicas em suspensão tem sobre o espalhamento da luz quando em alta concentração. Como a profundidade de penetração na água da radiação da luz vermelha é pequena, a escolha dessa banda garante que não se esteja identificando áreas sujeitas a reflectância de fundo (Kirk, 1994).

O resultado da operação Booleana entre o bitmap da pluma e os bitmaps de água nos diferentes períodos hidrológicos é apresentado na Figura 4.

A distribuição das regiões adequadas é bastante fragmentada, não obstante segue a tendência da pluma. Embora relativamente simples, o método é robusto e permite definir com precisão regiões em que sistemas flutuantes e ancorados de aquisição de dados ambientais possam operar por longos períodos sem necessidade de transposição ou remoção, devido à flutuação do nível de água e da proporcionalmente área inundada. Além disso, efeitos sazonais do Rio Amazonas poderão ser avaliados, pois a análise restringe a posição da plataforma na rota da pluma.



**Figure 4** - Mapa de regiões adequadas (áreas mais escuras - pretas) para a instalação da plataforma de coleta de dados ambientais. Map of suitable regions (black areas) for installing the buoy moored telemetric system.

## CONCLUSÃO

O emprego de imagens históricas é ideal para o estudo da variabilidade hidrológica de sistemas inundáveis. Além disso, o processamento de imagens de satélite permite definir com precisão regiões propícias para aquisição de dados ambientais através de plataformas telemétricas de coleta de dados. Outro aspecto relevante a ser considerado é a facilidade em manter o sistema sob vigilância. Para tanto, é sugerido o envolvimento da população local no intuito de minimizar interferências (vandalismos) na integridade física e operacional da plataforma.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

Barbosa, C.C.; Novo, E.M.L.M.; Lima I.B.T.; Mantovani, J.E.; Carvalho J.C.; Pereira Filho, W. 2003. *Estudo da dinâmica de circulação da água entre sistemas lóticos, lênticos e a planície de inundação Amazônica*. Relatório Técnico de Projeto – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). 39p.

Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences*, 106: 110-127.

Kirk, J.T.O. 1994. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, New York, USA. 509p.

Lima, I.B.T.; Novo, E.M.L.M.; Stech, J.L.; Lorenzetti, J.A.; Carvalho, J.C.; Assireu, A.T.; Ramos, F.M.; Rosa, R.R.; Barbosa, C.C. 2003. Contribuição do sensoriamento remoto e monitoramento telemétrico na planície de inundação amazônica. *In: Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia*, Manaus, Amazonas. CDROM.

Lima, I.B.T.; Novo, E.M.L.M.; Bins, L. 1998. Multitemporal TM image analyses to assess the spatial and temporal dispersion of floating macrophytes in Brazilian hydroelectric reservoirs. *In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Santos, São Paulo. CDROM.

Lopes, E.; Namikawa, L.M.; Bruno, R.L.S. 2005. SPRING: Tutorial de Geoprocessamento. Divisão de Processamento de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI, INPE). <<http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/index.html>> (Acessado em 03/04/2006).

Novo, E.M.L.M.; Stech, J. L.; Rosa, R.R.; Lorenzetti, J.A.; Ramos, F.M. 2002. *Sistema de monitoramento automático de variáveis limnológicas em sistemas aquáticos Amazônicos sujeitos a diferentes graus de interferência antrópica*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Notas Técnico-Científicas, INPE-89-PUD/58. 17p.

Stevenson, M.R.; Lorenzetti, J.A.; Stech, J.L.; Arlino, P.R.A. 1993. SIMA - An integrated environmental monitoring system. *In: Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, Paraná, vol. 4. p. 300-310.

Recebido em 29/10/2003

Aceito em 05/05/2006