



# ESTUDO SISTEMÁTICO DOS PROCESSOS HIDRODINÂMICOS SAZONAIS DE UM SISTEMA FLÚVIO-LACUSTRE NA REGIÃO DA PLANÍCIE COSTEIRA DO AMAPÁ, BRASIL

**Maria de Fátima Alves de Matos**

*Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, 59.078-970, Natal/RN, Brasil - e-mail: fatimaalves@geologia.ufrn.br*

**Venerando Eustáquio Amaro**

*Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Campus Universitário - Lagoa Nova, 59.078-970, Natal/RN, Brasil - e-mail: amaro@geologia.ufrn.br*

**Luis Roberto Takiyama**

*Núcleo de Pesquisas Aquáticas, Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá. Rod. Juscelino Kubitschek, km 10, s/n, Fazendinha, Macapá/AP, Brasil - e-mail: luis.takiyama@iepa.ap.gov.br*

**Odete Fátima Machado da Silveira**

*Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Campus Universitário do Guamá, Guamá, 66.000-000, Belém/PA, Brasil - e-mail: silveira@ufpa.br*

## Resumo

As atividades abordaram um estudo sistemático sobre os processos hidrodinâmicos costeiros atuantes em três lagos: Lago dos Ventos, Lago Mutuco e Lago Comprido de Baixo, e a extensão do Igarapé Tabaco, localizados na planície costeira do Estado do Amapá, região costeira da Amazônia Brasileira. Os lagos estão distantes cerca de 50km da linha de costa, são influenciados pelo regime sazonal amazônico, sob efeitos de macro marés semidiurnas, as quais alcançam os lagos durante as marés de sizígia. Estudos recentes têm mostrado que estes lagos apresentam mudanças significativas em seu comportamento morfodinâmico e hidrodinâmico. Fatores como alterações no escoamento superficial, redução do volume de área e sedimentação, já são evidenciados e podem comprometer o funcionamento do sistema lacustre como um todo. A metodologia empregada para este estudo compreendeu o levantamento das informações hidrodinâmicas, com aquisição de dados de vazão, correntes e marés nos meses de maio e outubro de 2008. Os resultados somam um conjunto de pesquisas que vêm sendo realizadas, com vista a aprofundar o conhecimento da região Amazônica e subsidiar a elaboração do Plano de Manejo da Reserva Biológica do Lago Piratuba.

**Palavras-chave:** Processos hidrodinâmicos; flúvio-lacustre; Amapá, Brasil.

## Abstract

The activities present a systematic study on the hydrodynamic process acting in three coastal lakes: Ventos lake, Mutuco lake and Comprido Baixo lake, and the extent of Tabaco igarapé, located on the coastal plain of Amapá state, coastal region Brazilian Amazon. The lakes are about 50km of the coastline, are influenced by the Amazon seasonal regime, under the effects of semidiurnal macro tidal, which reach lakes during spring tides. Recent studies

have shown that these lakes have significant changes in its behavior. Factors such as changes in runoff, reducing the amount of area and sedimentation, are already evident and can compromise the functioning of the lakes system as a whole. The methodology for this study comprised a survey of information hydrodynamic, with acquisition of flow data, current and tides in May an October 2008. These results add a body of research that has been made, to expand the knowledge of the Amazon region and subsidize the elaboration of the Management Plan of the Piratuba Lake Biological Reserve.

**Keywords:** Hydrodynamics process; fluvial-lacustrine system; Amapá, Brazil.

## Introdução

A área de estudo encontra-se situada no extremo leste do litoral amapaense, na costa Norte do Brasil. Corresponde a uma região complexamente dinâmica, onde as forças e os agentes físicos que controlam a região são distintos. As forças atmosférica, oceânica e Amazônica são as principais atuantes na região da costa do Amapá (SILVEIRA & SANTOS, 2006). Este último é considerado o maior em descarga líquida com  $209.000\text{m}^3/\text{s}$  e  $6.10^8$  ton.dia<sup>-1</sup> de aporte de sedimentos ao oceano (MOLINER *et al.*, 1995). Descarga essa que varia sazonalmente, com máximo em torno de  $220.000\text{m}^3/\text{s}$  em maio, e mínimo em torno de  $100.000\text{m}^3/\text{s}$  em novembro (GEYER *et al.*, 1996), a maior parte do volume de água doce (cerca de 65% da descarga total) é transportada pelo canal do Norte (SILVA *et al.*, 2009), diretamente influenciando a zona costeira amapaense.

Na região de estudo, o sistema é aberto e permite o alcance das marés semidiurnas, principalmente das

marés de sizígia que durante as cheias podem estabelecer a troca de fluxos de águas e de sedimentos entre os ambientes.

No sentido de estudar as características hidrodinâmicas, foi selecionada uma área que envolve um sistema flúvio-lacustre: ‘Cinturão Lacustre Meridional’ e o trecho do ‘Igarapé Tabaco’, em função das alterações ocorrentes nesta área, como, por exemplo, o acelerado processo de escoamento superficial e de sedimentação dos lagos (Figura 1).

## Dados gerais

A área está limitada por três lagos que compõem o ‘Cinturão Lacustre Meridional’ da planície costeira (Figura 1). A área está distante cerca de 50km da linha de costa, entre as coordenadas: UTM – Zona 22N: 154950N/563600E – 143960N/579500E, abrangendo uma área de drenagem de  $36.270\text{km}^2$  (MATOS, 2009).

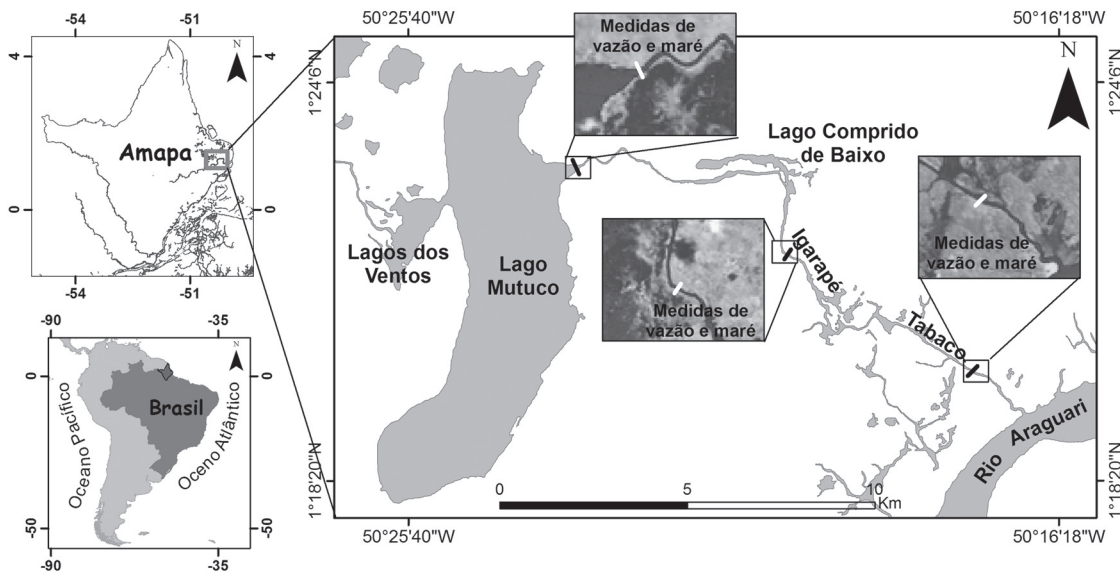


Figura 1 - Localização da área de estudo e locais do levantamento dos dados hidrodinâmicos.

A formação dos lagos está associada à própria evolução morfológica da planície costeira (GUERRA, 1954), trata-se de lagos residuais de meandros abandonados do Rio Araguari, originados de seu deslocamento progressivo para o sul (BOA-VENTURA & NARITA, 1974), estabelecendo-se na planície costeira do Amapá ainda na fase pré-holocênica, quando da desorganização da rede de drenagem (SILVEIRA, 1998). São caracterizados por sedimentação pelítica (SILVEIRA, 1998; SILVEIRA & SANTOS, 2006), com predominância de silte e argila e elevada taxa de matéria orgânica em decomposição (SANTOS, 2008), baixa profundidade e morfologia de fundo plano.

Os solos são do tipo hidromórficos e bordejados por vegetação do tipo macrófitas aquáticas na margem interna, e vegetação constituída por espécies como aningas (*Montrichardia arborencens*), *Eichhornia crassipes* (Mart.). Solms e outras associações do tipo palmeiras na margem externa (COSTA NETO *et al.*, 2006).

A média mensal anual para o ano de 2008 da precipitação foi acima de 300mm e da temperatura de 26°C. Janeiro a julho caracteriza-se pelo período chuvoso e agosto a dezembro, período mais seco (ANA, 2008; INMET, 2008).

Os lagos são perenes, cujos rios Tartarugal e Tartarugalzinho são seus principais provedores fluviais, porém, são significativamente rasos e planos.

## Materiais e métodos

Os resultados apresentados foram adquiridos a partir de coleta de dados de descarga líquida e marés em duas campanhas de campo realizadas em 2008 que compreenderam o mês de maio (período chuvoso) e o mês de outubro (período seco), no âmbito do Projeto AMASIS (*“Integração de dados geológicos, geofísicos e geoquímicos na reconstituição paleogeográfica da costa Amazônica, desde o Neógeno até o Recente”*) que integra a REDE 05-PETROMAR, financiada pelo CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq.

Para a coleta dos dados de descarga líquida foram utilizados dois ADCP *“Acoustic Doppler Current Profiler”* modelo Rio Grande da RD Instruments de mesma frequência - 600kHz (RDI, 2003), baseado na metodologia proposta por Kosuth & Filizola (1998); Silva & Kosuth (2001), Takiyama *et al.* (2005) e Matos (2009), para medições em cursos d’água influenciados por maré, onde são necessários estabelecer: **a)** definição da seção de medição; **b)** medição contínua durante um ciclo de maré (12:30 horas), **c)** análise e integração dos valores medidos, para obter a vazão média e **d)** análise dos valores de vazão máximos e mínimos, como também a relação cota/vazão.

As medições foram feitas na seção transversal na entrada do Lago Mutuco e em dois locais do Igarapé Tabaco. O equipamento foi instalado na lateral da embarcação, imerso os transdutores a 20cm da lâmina d’água à distância da su-

perfície. Simultaneamente às coletas dos dados de vazão foi realizada a medição da variação da maré com leitura da régua a cada 5 minutos (Figura 1).

## Resultados e discussões

As características hidrodinâmicas variam significativamente entre um período e outro, como mostram os resultados a seguir, nos dados de vazão nos períodos chuvoso e seco, sob a influência da dinâmica hidrológica regional e local.

O conjunto de dados para cada período foi submetido ao tratamento estatístico para avaliação do desempenho e da significância das medições. As médias foram obtidas pelo cálculo das médias aritméticas das medições para cada elemento: vazão Q. (m<sup>3</sup>/s), velocidade V. (m/s) e Maré (m). No quadro 1, são apresentadas as estatísticas para cada período e elemento medido.

**Quadro 1 - Estatísticas de 527 amostras no período chuvoso e 791 para o período seco.**

| Elemento               | Período chuvoso – maio de 2008 |       |       | Período seco – outubro de 2008 |       |       |
|------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
|                        | M                              | S     | MS    | M                              | S     | MS    |
| Q. (m <sup>3</sup> /s) | 224                            | 73    | 0.33  | 10.79                          | 80.60 | 0.22  |
| V. (m/s)               | 0.722                          | 0.156 | 0.22  | 0.273                          | 0.105 | 0.38  |
| Maré (m)               | 1.96                           | 0.15  | 0.006 | 0.76                           | 0.39  | 0.001 |

M = Média; S = Desvio Padrão; MS = Média do Desvio Padrão

### Análise da descarga líquida (vazão)

Entende-se por vazão ou descarga líquida de um rio o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo, em geral um segundo (SANTOS *et al.*, 2001). Com base nesta conceituação, o método definido foi o acústico. O método acústico nas últimas décadas vem sendo empregado com maior frequência na Região Amazônica, e no Amapá desde 2001, conforme observações de Silva & Kosuth (2001).

A sazonalidade é fator determinante para o regime hidrodinâmico da região da planície costeira do Amapá, assim também como para toda planície de inundação Amazônica de modo geral. Nos primeiros seis meses do ano (de janeiro a junho), as condições hidrológicas (fluviais e pluviais) atingem altos índices em todo o sistema amazônico, proporcionando variações significativas nas características das áreas dos ambientes que sofrem influência dos pulsos de inundação dos principais tributários (RESENDE, 2008). Conforme o quadro 2, se verifica o aumento da área total (m<sup>2</sup>) da seção de drenagem, maior largura (m) da seção e maior profundidade (m) do canal e, conseqüentemente, estes acréscimos irão influenciar nas médias das vazões nos períodos chuvoso e seco.

**Quadro 2 - Comportamento físico de áreas em relação ao período sazonal (maio e outubro).**

| Local                | Período chuvoso – maio de 2008 |                      |                           | Período seco – outubro de 2008 |                      |                           |
|----------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------|
|                      | Área total (m <sup>2</sup> )   | Largura da seção (m) | Profundidade do canal (m) | Área total (m <sup>2</sup> )   | Largura da seção (m) | Profundidade do canal (m) |
| Lago Mutuco          | 418                            | 80                   | 5,5                       | 150                            | 62                   | 2,3                       |
| Igarapé Tabaco - PT1 | 391                            | 49                   | 10,1                      | 283                            | 40                   | 9,1                       |
| Igarapé Tabaco - PT2 | 336                            | 42                   | 10,6                      | 297                            | 40                   | 10,1                      |

**Média das vazões**

A figura 2a-c, mostra as médias das vazões para as seções transversais do Lago Mutuco e do Igarapé Tabaco. Como se observa, as médias são maiores no período chuvoso, enquanto que no período mais seco as médias reduzem consideravelmente. No período chuvoso, as médias da vazão do Lago Mutuco variam pouco, sendo que a máxima foi de 289m<sup>3</sup>/s e a mínima de 268m<sup>3</sup>/s; para o período seco, a vazão máxima foi de 41m<sup>3</sup>/s e a mínima de 3m<sup>3</sup>/s no início da maré vazante (Figura 2a). Para a seção (1) do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago Comprido de Baixo, as médias do período chuvoso foram 297m<sup>3</sup>/s a máxima e 207m<sup>3</sup>/s a mínima da vazão; durante o período mais seco, a máxima vazão registrada foi de 79m<sup>3</sup>/s, próxima da média observada por Takiyama *et al.* (2005) na mesma seção e período, com 65m<sup>3</sup>/s; e 3m<sup>3</sup>/s a mínima vazão (Figura 2b). Na seção (2)

da Foz do Igarapé Tabaco (Figura 2c), a vazão máxima do período chuvoso foi de 379m<sup>3</sup>/s e a mínima de 139m<sup>3</sup>/s. No período mais seco, os valores apresentados foram de 105m<sup>3</sup>/s da máxima vazão, média similar registrada por Takiyama *et al.* (2005), com média de 105m<sup>3</sup>/s e mínima de 3m<sup>3</sup>/s. As médias contrastam significativamente para cada período. Contudo, são similares às médias de 2005 conforme Takiyama *et al.* (2005) para o período seco.

Durante os meses das maiores cheias amazônicas, período também dos mais altos índices pluviométricos, os lagos e a região da planície costeira permanecem completamente inundados e, devido ao transbordamento das margens dos lagos e canais, ocorre uma maior troca de águas e materiais em suspensão entre esses sistemas. O mesmo ocorre com o Igarapé Tabaco neste período, favorecido pela contribuição dos afluentes e demais tributários ao longo de sua extensão, num maior volume de vazão deste ao Rio Araguari.

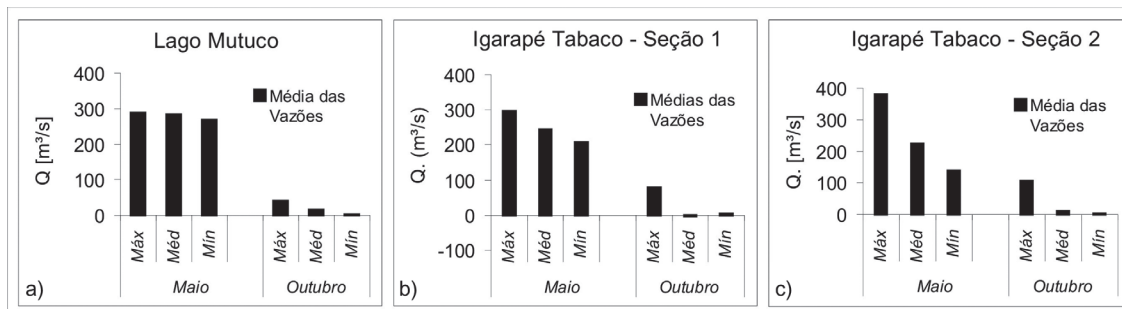


Figura 2 - Médias das vazões em relação ao período sazonal. a) Lago Mutuco; b) Igarapé Tabaco, seção 1, próximo a entrada do Lago Comprido de Baixo; c) Igarapé Tabaco, seção 2, próximo da foz.

**Médias da velocidade do fluxo**

A velocidade do fluxo é proporcional ao aumento da vazão, contudo, dependerá da ocorrência do efeito da maré na área. Deste modo, no geral, as médias sazonais mostram variação das velocidades para os dois períodos de medições (Figura 3). No Lago Mutuco, no período chuvoso, a máxima velocidade registrada foi de 1,173m/s, a média apresentada foi de 0,692m/s e a mínima velocidade foi de 0,006m/s. No período seco, a máxima foi de 0,724m/s, a média de 0,167m/s

e a mínima velocidade do fluxo foi de 0,004m/s (Figura 3a). Na seção 1 do Igarapé Tabaco, próximo da entrada do Lago Comprido de Baixo, a máxima velocidade do fluxo no período chuvoso foi de 1,685m/s, a média de 0,626m/s e a mínima velocidade de 0,005m/s. Durante o período seco, houve redução significativa, sendo a máxima velocidade registrada 0,672m/s, a média 0,206m/s e a mínima velocidade 0,009m/s (Figura 3b). Na seção 2 do Igarapé Tabaco, próximo da foz, durante o período mais cheio, a velocidade máxima do fluxo foi de

1,684m/s, a média de 0,722m/s e a mínima de 0,013m/s. No período mais seco, com significância redução, a velocidade máxima foi de 1,155m/s, a média de 0,273m/s e a mínima de 0,009m/s (Figura 3c). Para todas as seções, as médias mínimas registradas foram observadas sempre nas estofas, entretanto, não chegaram a apresentar fluxo nulo.

Como a área encontra-se na região de influência de macro marés, o volume e as velocidades do fluxo são minimizados, principalmente no período mais seco, quando os níveis hidrológicos encontram-se mais baixos, resultando na redução de número de verticais, mostrados anteriormente no quadro 2.

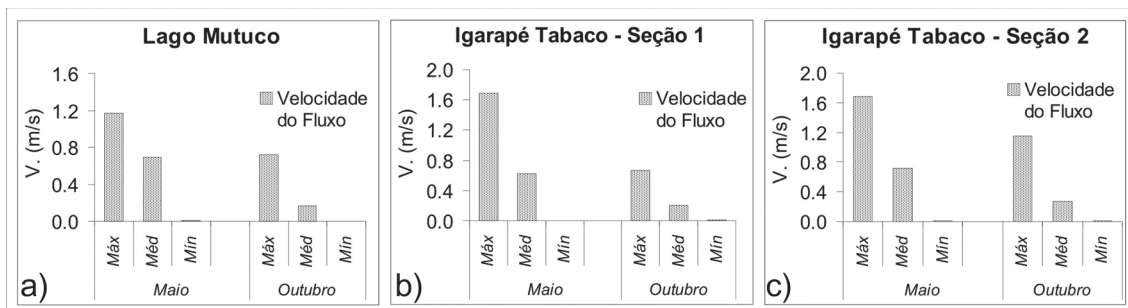


Figura 3 - Médias das velocidades do fluxo em relação ao período sazonal: a) Lago Mutuco; b) Igarapé Tabaco, seção 1, próximo a entrada do Lago Comprido de Baixo; c) Igarapé Tabaco, seção 2, próximo da foz.

Assim como as médias da velocidade do fluxo são parâmetros importantes do conjunto de componentes das descargas líquidas fluviais, as médias das principais direções das correntes também se acentuam no entendimento geral. Tanto no lago quanto na extensão do Igarapé Tabaco, a curva da maré é fator determinante para o regime hídrico sazonal. Essa influência determinará, sobretudo, o fluxo e o refluxo do volume das vazões dentro do sistema. No Lago Mutuco, para o período chuvoso, tem-se a predominância do fluxo de nordeste (Figura 4a). Nas seções 1 e 2 do Igarapé Tabaco, há predominância do fluxo de sudeste (Figura 4b e 4c). Portanto, as correntes do período chuvoso, quando os níveis d'água

estão muito altos dentro da planície, são caracterizadas pela predominância de um fluxo tanto para o lago quanto para as seções do igarapé.

Ao contrário do que ocorre no período chuvoso, quando há predominância de apenas um fluxo, para o período seco ocorre o refluxo das velocidades e da vazão na área, como pode ser observado na Figura 5a, 5b e 5c. Quando os níveis hidrológicos da região estão baixos, o efeito da influência da maré tem papel importante quanto à hidrodinâmica da área. As mudanças de direções do fluxo ocorrem próximas do momento de mudança da preamar para a maré vazante.

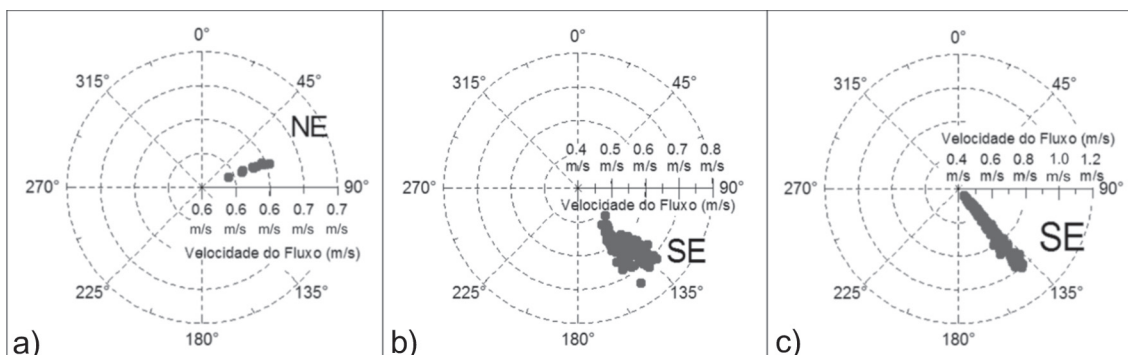


Figura 4 - Intensidade e principal direção da corrente em relação ao período chuvoso: a) intensidade da corrente do Lago Mutuco com direção de NE; b) intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, seção 1, com direção de SE; c) intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, seção 2, com direção de SE.

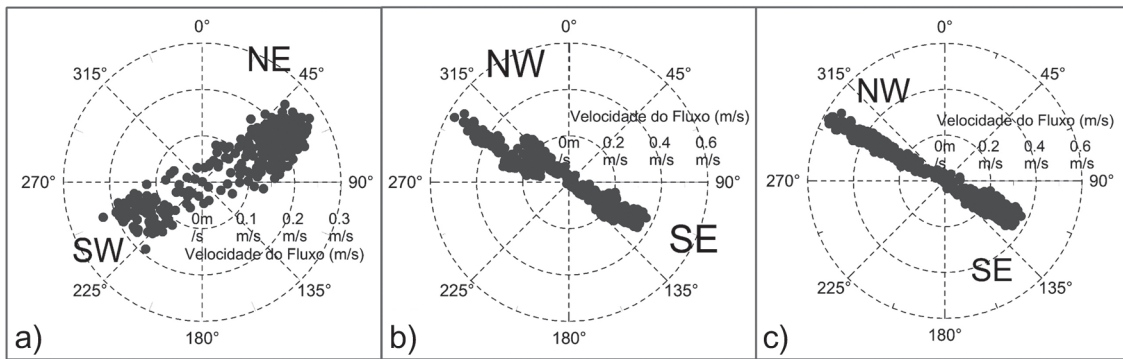


Figura 5 - Intensidade e principal direção da corrente em relação ao período seco: a) intensidade da corrente do Lago Mutuco com direção de NE - SW; b) Intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, seção 1, com direção de SE - NW; c) Intensidade da corrente do Igarapé Tabaco, seção 2, com direção de SE - NW.

**Intensidade do fluxo em relação à morfologia do canal**

No conjunto total das medidas efetuadas, foram selecionados os perfis acústicos de intensidade do sinal para cada seção de medição. Os perfis evidenciam a distribuição espacial da intensidade da velocidade (m/s), assim como os vetores de velocidades das correntes em relação à morfologia do canal de medição. No geral, a intensidade do fluxo concentrou-se na seção central dos canais (Figura 6, 7 e 8). As zonas muito próximas das margens apresentam menor energia, devido o atrito da água nas margens causar um efeito de retardamento da velocidade, devido a obstáculos ou irregularidades dos contornos rugosos das mesmas, como explica Carvalho (2008).

Com relação à forma de fundo, observada pelos perfis acústicos, de intensidade do sinal, na seção transversal do Lago Mutuco dos dois períodos sazonais, mostrou que, durante o pe-

ríodo chuvoso, as maiores velocidades do fluxo se concentram na zona central e superficial da seção transversal, nas margens as velocidades são mais suaves, menor movimentação do fluxo transportado, valor de 0,724m/s (Figura 6a). No período seco, a distribuição da velocidade do fluxo em relação à forma de fundo é mais heterogênea na zona central (Figura 6b).

A seção 1 transversal do Igarapé Tabaco, próximo à entrada do Lago Comprido de Baixo, a forma de fundo é mais irregular, com o canal principal na zona central (Figura 7a). No período chuvoso, as velocidades do fluxo se concentram na zona central da superfície e fundo e mais próximo da margem direita, com 1,785m/s. A largura da seção nesse período foi de 49m, com profundidade máxima de 5,5m. No período seco, as maiores velocidades foram registradas na zona do canal principal, com 0,672m/s, e a largura máxima foi reduzida a 40m, e profundidade máxima de 9,1m (Figura 7b).

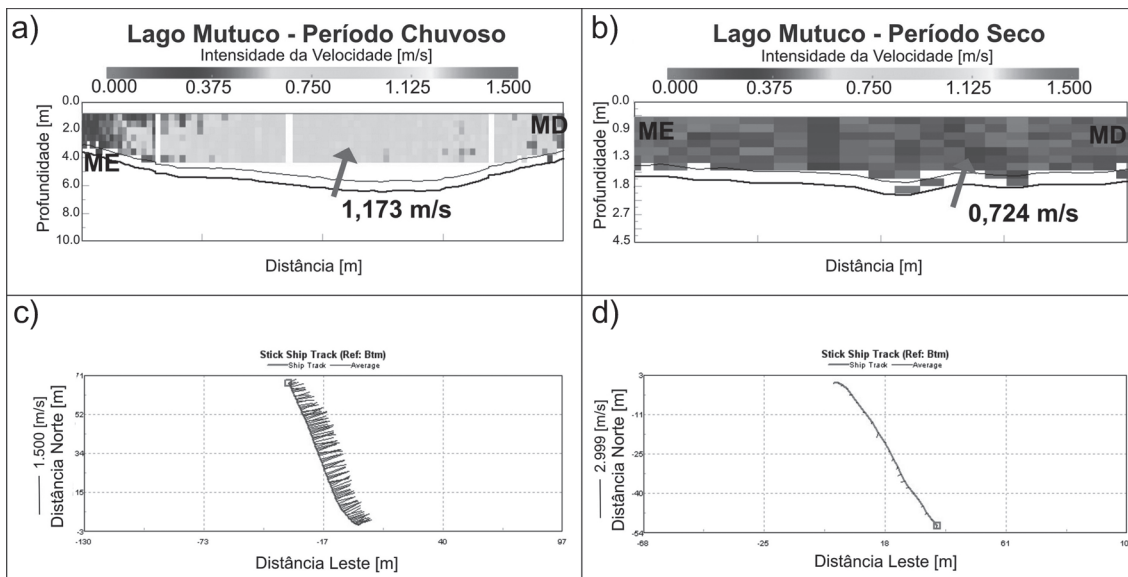


Figura 6 - Perfil acústico de intensidade do fluxo da seção transversal do Lago Mutuco em relação à forma de fundo: a) e b) corresponde à intensidade da velocidade no período chuvoso e seco, respectivamente. c) e d) deslocamento da embarcação e direções médias da corrente, respectivamente para período chuvoso e seco.

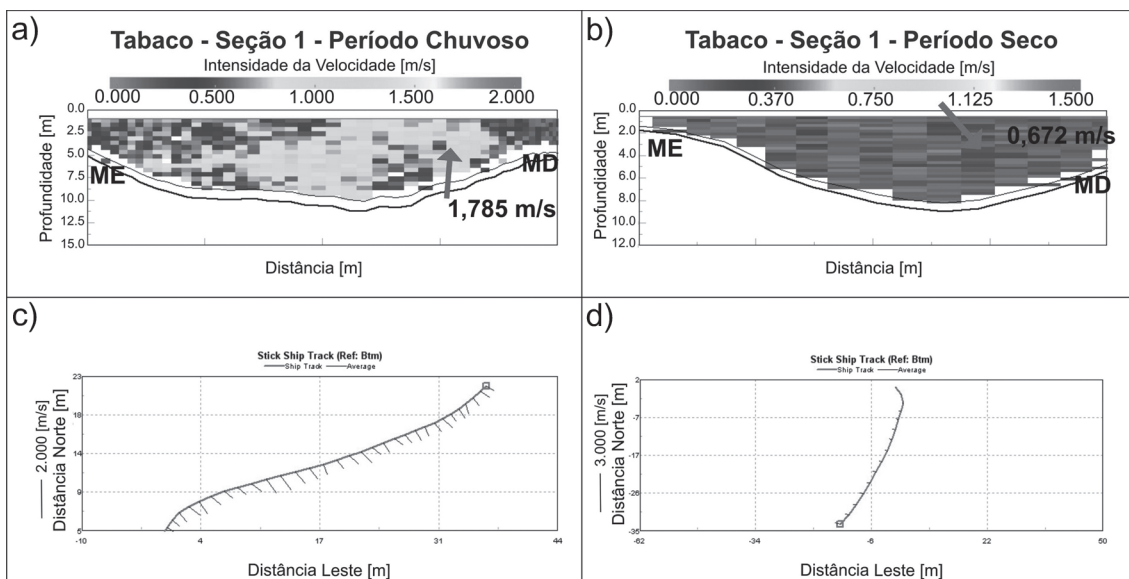


Figura 7 - Perfil acústico de intensidade do fluxo da seção 1 transversal do Igarapé Tabaco em relação à forma de fundo. a) a d) corresponde à intensidade da velocidade no período chuvoso e seco; c) e d) corresponde ao deslocamento da embarcação e direções médias da corrente, respectivamente para período chuvoso e seco.

Na seção 2 transversal do Igarapé Tabaco, na foz, a seção se apresenta com forma de fundo mais irregular que a seção anterior. No período chuvoso, as velocidades do fluxo mostraram-se bem distribuídas por toda seção do perfil e as maiores velocidades foram registradas na zonal central

do perfil com 1,684m/s, sob uma largura máxima de 42m e profundidade de 10,6m (Figura 8a). No período seco, a intensidade do perfil é mais heterogênea que o período anterior, por estar na foz, as velocidades foram acima de 1,155m/s, com largura máxima da seção de 40m e profundidade de 10m (Figura 8b).

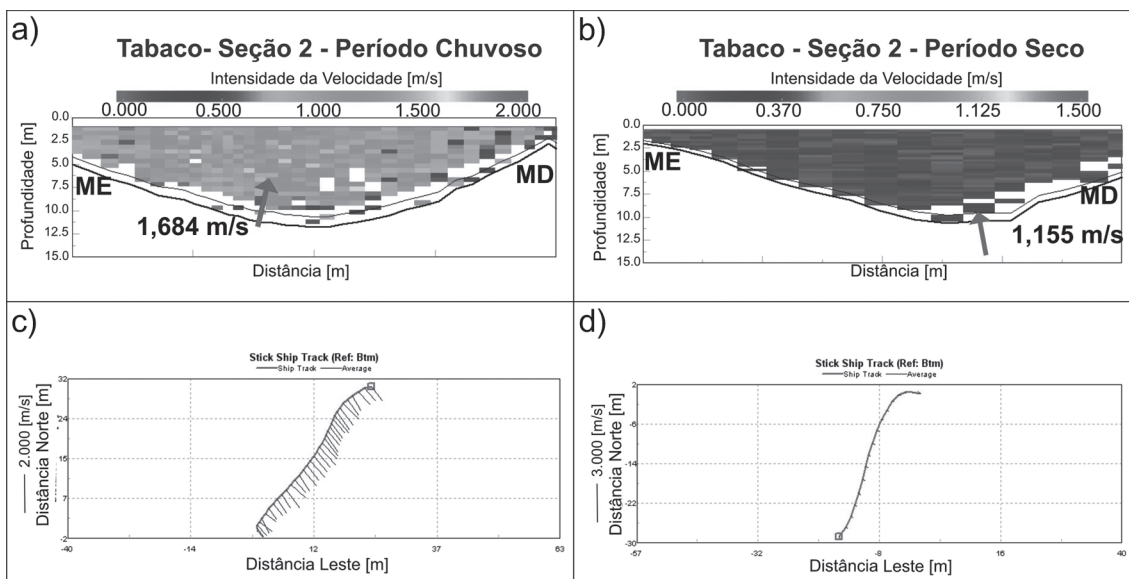


Figura 8 - Perfil acústico de intensidade do fluxo da seção 2 transversal do Igarapé Tabaco em relação à forma de fundo. a) e b) corresponde à intensidade da velocidade no período chuvoso e seco; c) e d) deslocamento da embarcação e direções médias da corrente, respectivamente para período chuvoso e seco.

**Influência da maré e mudanças no comportamento hidrodinâmico**

Em relação à curva de variação da maré e a vazão dos três locais medidos, apenas no Lago Mutuco não foi possível obter dados de maré no período chuvoso, sendo analisada a relação somente para as seções do Igarapé Tabaco. Os valores do nível relativo das marés, conforme mostram as figuras 9 e 10, variaram cerca de 0,75cm a mais para o período chuvoso, contrastando com o nível relativo da maré, com base em Takiyama *et al.* (2005) para a mesma seção e período do Igarapé Tabaco, que registrou nível de 1,40m.

A relação da vazão com a maré ofereceu boa avaliação do comportamento hidrodinâmico quanto à competência e à capacidade de transporte de sedimentos em suspensão durante os eventos de maré (enchente e vazante). As observações das figuras 9a e 9b mostram a relação entre a vazão e a variação da maré no período chuvoso para as duas seções do Igarapé Tabaco. O fluxo é predominante de nordeste e sempre superior durante a enchente.

Os resultados indicam padrões assimétricos, tanto nas marés observadas em maio (período de cheias) quanto em outu-

bro (período seco) para o Igarapé Tabaco, onde foi identificado que a duração da corrente de vazante é superior à de enchente. Em contrapartida, as características hidrodinâmicas apontaram que, durante o período chuvoso, a maior competência da vazão é estuário abaixo, ou seja, vazões positivas com maior escoamento da vazão, a média da vazão que entra nos lagos é muito abaixo do volume que sai. Enquanto na maré enchente a média da vazão foi de 196m<sup>3</sup>/s, durante a maré vazante a média de vazão foi de 300m<sup>3</sup>/s (Figura 9). Diversamente para o período seco, o volume que entra é significativamente superior ao que sai. Os valores das vazões na enchente foram com médias de 110m<sup>3</sup>/s e a média do volume que sai durante a fase da maré vazante foi de 49m<sup>3</sup>/s (Figura 10). Portanto, no período seco há a redução da intensidade das vazões, há inversão de fluxo, como se observa na figuras 10a e 10b, caracterizando as vazões negativas (maré enchente) e vazões positivas (maré vazante), os valores das vazões são maiores durante o período da maré enchente.

Mesmo durante o fluxo nulo, nas fases das estofas, os valores das vazões foram precedidos por médias de 306m<sup>3</sup>/s na estofa de baixa-mar e 154m<sup>3</sup>/s na estofa da preamar (período chuvoso); 44m<sup>3</sup>/s na estofa de baixa-mar e 113m<sup>3</sup>/s na estofa de preamar (período seco).

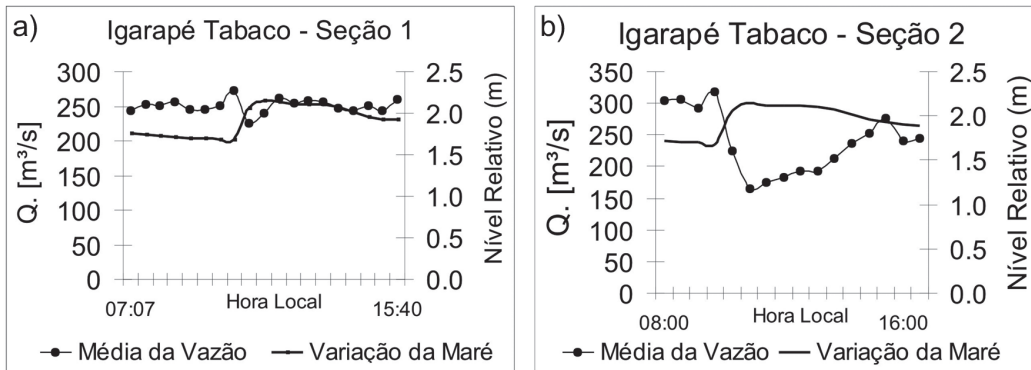


Figura 9 - Média da vazão em relação à variação da maré no período chuvoso em função da hora do dia (21/05/2008): a) seção 1 do Igarapé Tabaco; b) seção 2 do Igarapé Tabaco.

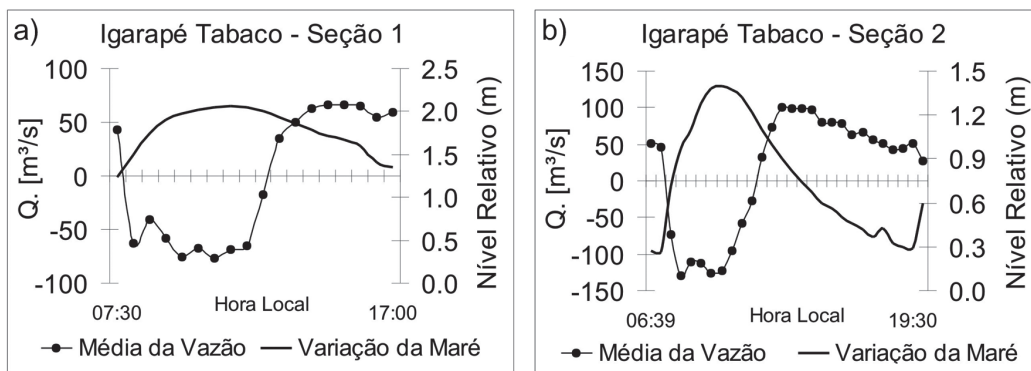


Figura 10 - Média da vazão em relação à variação da maré no período seco em função da hora do dia (25/10/2008): a) seção 1 do Igarapé Tabaco; b) seção 2 do Igarapé Tabaco.



Assim, pode-se considerar que, durante o período chuvoso, tem-se o domínio de corrente regido pelo aumento dos níveis hidrológicos, nos quais o sistema flúvio-lacustre torna-se o sistema exportador, devido às influências das precipitações, do regime amazônico e da maior competência das vazões líquida estuário abaixo, como descrito anteriormente. Ao contrário, durante o período seco, o sistema flúvio-lacustre tende a se tornar um importador devido à maior capacidade de fluxo e vazão líquida que entra no sistema influenciado, sobretudo, pelas correntes de maré.

Entretanto, as médias das vazões líquidas registradas para o ano de 2008 vêm corroborar com outros fatores associados ao grau de vazão líquida do sistema flúvio-lacustre. Como indicado anteriormente, as médias das vazões líquidas (positivas e negativas) são significativamente superiores no período da estação cheia em relação ao período seco. Tais médias estão associadas às mudanças de comportamento de uso dos lagos. Além das influências do regime sazonal e da precipitação, Cavalcante (2006) comenta que a vazão líquida pode ser muito agravada pela forma de uso da região, funcionando como agente intensificador dos processos de maior escoamento superficial dos lagos. A velocidade do fluxo da maioria dos rios e canais, que são controlados por níveis de base, aumenta para a jusante, assim como sua carga (SUGUIO & BIGARELLA, 1990), se caso a velocidade tender

a diminuir em direção à jusante, ocorrerá à deposição, isso implica, na transferência de energia do canal-planície, explicado pela transferência da água para dentro da planície fluvial (CARVALHO, 2008). Consequentemente, qualquer mudança na interação desses eventos poderá alterar as condições de transporte, erosão e deposição (CARVALHO, 2008), fatores estes evidenciados nos lagos (Figura 11).

Na figura 11 são observadas as consequências da vazão superficial (entre os períodos chuvosos e secos) dos lagos da porção sul da planície costeira do Amapá. Na figura 11a, a vazão aumenta com o aumento da velocidade nas seções do Igarapé Tabaco durante o período chuvoso. O ápice da velocidade do fluxo e da vazão se dá, principalmente, no período das marés enchentes. No período seco (Figura 11b), quando há fluxo e refluxo da corrente, as vazões e a velocidade do fluxo também permanecem proporcionais, com os ápices dos valores máximos durante as marés enchentes.

Atualmente, os lagos encontram-se sob forte pressão do processo de eutrofização. Esse fato foi agravado após a abertura da porção sul do Lago Comprido de Baixo entre os anos de 1998 e 1999 (Figura 11). Tal efeito tem causado maior vazão líquida dos lagos ao longo dos meses que precedem o período de verão extremo (C), fase em que os lagos ficam completamente secos, expondo extensas feições morfológicas e, assim, comprometendo a navegabilidade dos mesmos.

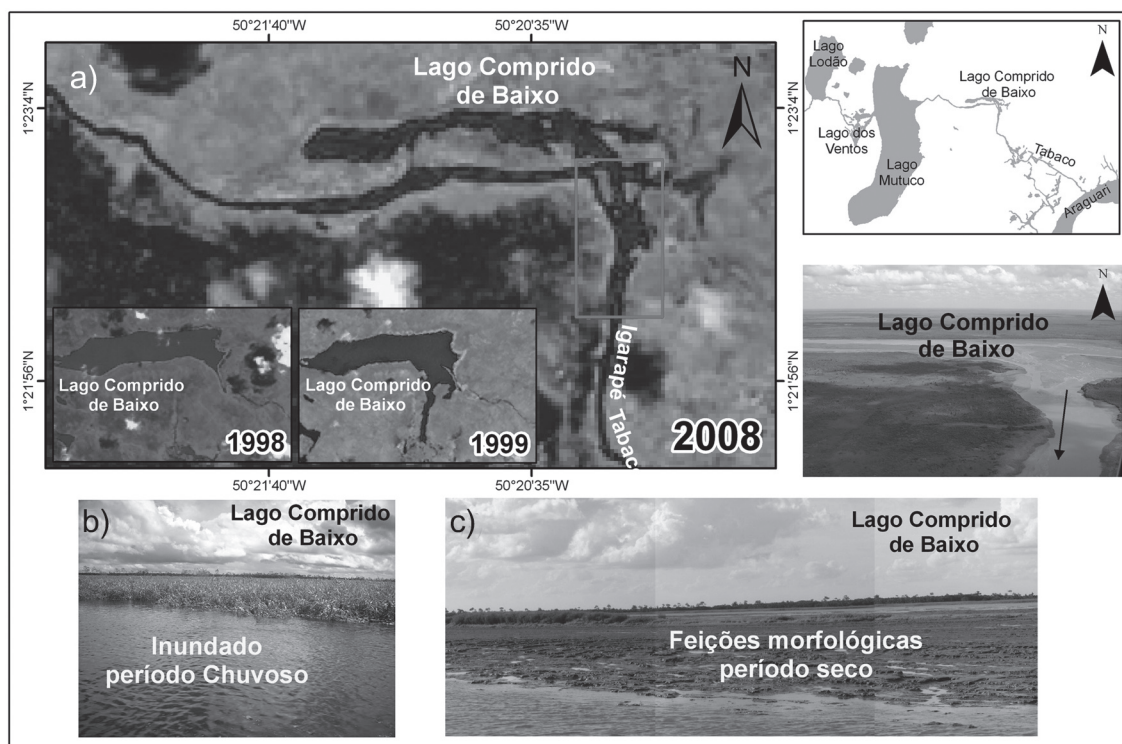


Figura 11 - Alterações no comportamento hidrodinâmicos dos lagos e o comprometimento da funcionalidade do sistema ocorrido pela abertura do Lago Comprido de Baixo, são observados pelas imagens de satélite de 1998, 1999 e 2008 em A). B) indica o Lago Comprido de Baixo durante o período chuvoso; C) evidenciam o lago no período seco. Fotos: Odete Silveira e Maxley Dias, 2008.

O que se observa no decorrer do ano é uma grande concentração de material orgânico nos lagos e canais que favorece a proliferação e o crescimento excessivo de macrófitas dentro do lago, devido à fixação dos nutrientes nos sedimentos ali aprisionados.

Com o avanço acelerado da sedimentação, o Lago Comprido de Baixo, que aparenta ser o mais afetado, tende a tornar-se um canal de escoamento de todo o sistema lacustre meridional, como é evidenciado atualmente na sua extremidade sul. Para Von Sperling (2000), lagos com essas características em regiões tropicais são mais presentes e a dinâmica dos processos é bastante acelerada. Esses lagos tendem ao desaparecimento, caso não haja controle na fonte e/ou a dragagem do material sedimentado (VON SPERLING, 1995).

Tais consequências evidenciam ainda a fragilidade do sistema flúvio-lacustre. Matos (2009) mostrou através de uma análise morfodinâmica multitemporal dos últimos 30 anos, baseada em imagens de sensoriamento remoto multitemporais, que as alterações no sistema de lagos da porção sul da planície costeira do Amapá poderão causar seu desaparecimento devido à acelerada vazão dos lagos e ao processo de sedimentação.

## Conclusões

O entendimento dos parâmetros hidrodinâmicos atuantes no sistema flúvio-lacustre sob efeito da influência de marés semidiurnas requer maior monitoramento e medições em séries temporais contínuas, a fim de permitir melhoria na avaliação consistente sobre o comportamento hidrodinâmico da região em que está inserido. As médias das vazões líquidas apresentadas são fortemente regidas por condicionantes hidrológicas da região.

Os dados apresentados mostraram que a sazonalidade é fator determinante para o regime hidrodinâmico da região de estudo. As influências dos índices das precipitações interferem decisivamente nos valores das vazões e na intensidade de fluxos nos períodos seco e chuvoso. Os dados indicaram que as vazões líquidas do período chuvoso são três vezes superiores aos valores apresentados no período seco. Do total das medições efetuadas, as médias máximas foram de 297m<sup>3</sup>/s e 379m<sup>3</sup>/s, e 79m<sup>3</sup>/s e 105m<sup>3</sup>/s, respectivamente no período chuvoso e no período seco.

As intensidades do fluxo, que no geral concentram-se nas seções centrais dos canais de medições, mostraram velocidades acima de 1,600m/s nas seções do Igarapé Tabaco, demonstrando a energia associada às vazões no período chuvoso, decaindo significativamente no período seco, conforme foi apresentado nos itens anteriores.

A influência das marés semidiurnas e o seu comportamento foram caracterizados por padrões assimétricos com

domínio de uma corrente. A maré potencializa e aumenta o escoamento da vazão dos lagos no período chuvoso. A forte influência da corrente de marés durante o período seco dinamiza o refluxo da vazão, proporcionando as vazões negativas, implicando na competência de transporte de material em suspensão carregado para dentro do sistema flúvio-lacustre.

Apesar de que nos lagos, sobretudo no Lago Comprido de Baixo, há grande aumento no escoamento superficial, as médias das vazões do ano de 2005 (TAKYAMA *et al.*, 2005) para o ano de 2008 durante o período seco são similares. Contudo, para uma análise mais coesa da área é necessário estabelecer as médias de anos distintos para o período chuvoso com medições contínuas. Isso também se aplica para o nível relativo das marés para os distintos períodos sazonais.

Outro fator característico aqui apresentado é que durante as cheias, além do aumento de nível, principalmente nas marés de sizígia, há maior troca e inserção de águas e de sedimentos provenientes do Rio Araguari e da costa em direção aos lagos, em função da conexão direta com o Igarapé Tabaco que deságua no Rio Araguari, e este posteriormente no Oceano Atlântico.

O efeito desse alcance poderá provocar mudanças no comportamento biológico dos lagos, como por exemplo, a inserção de espécies oriundas de outros ambientes aquáticos e/ou a adaptação de fauna e flora específicas, uma vez que o sistema é aberto. Fatores como estes são preocupantes quanto à funcionalidade dos lagos, o que poderá levar ao seu desaparecimento em função do grau de vazão líquida apresentados e dos processos de sedimentação e eutrofização já evidenciados pela atual configuração morfológica do Lago Comprido de Baixo.

As informações apresentadas neste trabalho são fundamentais para a tomada de decisão de gestão ambiental da área, para o estabelecimento de parâmetros abióticos para o monitoramento ambiental e como contribuição ao Plano de Manejo da Reserva Biológica do Lago Piratuba, no Estado do Amapá, uma vez que os lagos encontram-se sob sua jurisdição.

## Agradecimentos

Os autores agradecem inicialmente o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à REDE 05-PETROMAR (CTPETRO-FINEP/PETROBRAS/CNPq. Em especial, os autores agradecem às equipes do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia (GEOPRO/DG/UFRN) e ao Núcleo de Pesquisas Aquáticas do Amapá (NUPAQ/IEPA/Amapá).

## Referências bibliográficas

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Dados pluviométricos [Mensagem Pessoal]**. Mensagem recebida por <fatimaalves@geologia.ufrn.br> em 19 maio 2008.
- BOAVENTURA, F. M. C.; NARITA, C. (1974) **Geomorfologia da Folha NA/NB-22-Macapá**. In: \_\_\_\_\_. Uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. (Levantamento dos Recursos Naturais, 6).
- CARVALHO, T. M. (2008) **Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 1(1):73-85.
- CAVALCANTE, A. A.; MAIA, R. P.; MORAIS, J. O. **Dinâmica fluvial no baixo Jaguaribe/CE: uma avaliação a partir de estudos de descarga sólida**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6, Goiânia/GO, SINAGEO, *Anais*, 11p.
- COSTA NETO, S. V.; SENNA, C. S. F.; COUTINHO, R. S. (2006) **Vegetação das áreas Sucuriju e região dos Lagos, no Amapá**. In: Inventário biológico das áreas do Sucuriju e Região dos Lagos no Estado do Amapá. MMA, Macapá, p.41-79.
- GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S. J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W. E.; CASTRO, B. M.; SOARES, I. D. (1996) **Physical oceanography of the Amazon shelf**. *Continental Shelf Research*, 16(5/6): 575-616.
- GUERRA, A. C. (1954) **Estudos geográficos do Território Federal do Amapá**. Rio de Janeiro, IBGE - Conselho Nac. de Geografia. Biblioteca Geográfica Brasileira. 366p
- INMET. (2008) Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos**.
- KOSUTH, P.; FILIZOLA, N. P. (1998) **Efeitos da maré sobre a evolução dos níveis e vazões do rio Amazonas à jusante de Óbidos de 05 a 10/10/1998**. (Relatório técnico).
- MATOS, M. F. A. (2009) **Caracterização de processos morfodinâmicos e hidrodinâmicos do cinturão lacustre meridional da Reserva Biológica do Lago Piratuba, Amapá**. Natal: UFRN, 2009. 142p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.
- MOLINER, M.; GUYOT, J. L.; OLIVEIRA, E.; GUIMARÃES, V.; CHAVES, A. (1995) **Hydrologie du basin de l'Amazonie**. In: Grands Basins Fluviaux Périatlantiques. PEGI, Paris, p335-344.
- RDI. (2003) **WinRiver Quick Start Guide**. Estados Unidos, 30p. (Manual de equipamento).
- RESENDE, E. K. (2008) **Pulso de inundação: processo ecológico essencial à vida no Pantanal**. MS: EMBRAPA-CPAP, 15p. (Embrapa Pantanal, Boletim de Pesquisa, 94).
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. VON B.; BUBA, M.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. C. (2001) **Hidrometria aplicada**. LACTE, Curitiba, 372p.
- SANTOS, C. A. (2008) **Caracterização morfo-sedimentar do Igarapé do Tabaco, entre o Rio Araguari e o Lago Comprido de Baixo, Rebio do Lago Piratuba, AP**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém. 76p.
- SILVA, M. S.; KOSUTH, P. (2001) **Comportamento das vazões do Rio Matapi em 27.10.2000**. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudo do Quaternário, 8, Imbé/RS, ABEQUA, *Resumo*, p. 594-596.
- SILVA, A. C. ; SANTOS, M. L. S. ; ARAUJO, M. C. ; BOURLÈS, B. (2009) **Observações hidrológicas e resultados de modelagem no espalhamento sazonal e espacial da pluma de água Amazônica**. *Acta Amazônica*, v.39(2): 361 – 370.
- SILVEIRA, O. F. M. (1998) **A planície costeira do Amapá: dinâmica de ambiente costeiro influenciado por grandes fontes fluviais quaternárias**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, 215p.
- SILVEIRA, O. F. M.; SANTOS, V. F. (2006) **Aspectos geológico-geomorfológicos da região costeira entre o Rio Amapá Grande e a região dos Lagos do Amapá**. MMA/PROBIO, Macapá, 30p.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. (1990) **Ambientes fluviais**. 2 ed., UFSC, Paraná, 183p.
- TAKIYAMA, L. R.; PANTOJA, J. R. S.; MARTINS, M. H. A.; MATOS, M. F. A. (2005). **Medição de vazão do Igarapé Tabaco e Rio Araguari**. Macapá: CPAQ/IEPA, 10p. (Relatório de Campo).
- VON SPERLING, M. (1995) **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. SEGRAC, Minas Gerais, v.1, 13p.
- VON SPERLING, M. (2000) **Poluição de ambientes aquáticos: tendências futuras para os países latino-americanos**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre. *Resumos*, Porto Alegre: ABRH, CD ROM.