



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

JOSÉ DA COSTA FELIX NETO

**IMPACTOS DE VARIAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS DE CURTO PRAZO NO
PADRÃO HIDRODINÂMICO EM RIO DE ESTUÁRIO AMAZÔNICO, AMAPÁ-
BRASIL**

**MACAPÁ
2016**

JOSÉ DA COSTA FELIX NETO

**IMPACTOS DE VARIAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS DE CURTO PRAZO NO
PADRÃO HIDRODINÂMICO EM RIO DE ESTUÁRIO AMAZÔNICO, AMAPÁ-
BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Ciências Ambientais, da
Universidade Federal do Amapá, para obtenção
do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Hidrologia e
Climatologia.

Orientador: Dr. Alan Cavalcanti da Cunha.

**MACAPÁ
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá

| | |
|----------------------------|--|
| <p>551.47661 F316i</p> | <p>Felix Neto, José da Costa.</p> <p>Impactos de variações hidroclimáticas de curto prazo no padrão hidrodinâmico em rio de estuário amazônico, Amapá-Brasil / José da Costa Felix Neto; orientador, Alan Cavalcanti da Cunha; -- Macapá, 2016.</p> <p>48 p.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais.</p> <p>1. El niño (corrente oceânica). 2. Hidrometeorologia. 3. Análise de séries temporais. I. Cunha, Alan Cavalcanti da, orientador. II. Fundação Universidade Federal do Amapá. III Título.</p> |
|----------------------------|--|

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOSÉ DA COSTA FELIX NETO

VARIAÇÕES HIDRODINÂMICAS E CORRELAÇÕES COM EVENTO CLIMÁTICO DE CURTO PRAZO NO ESTUÁRIO AMAZÔNICO, AMAPÁ-BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Ambientais.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alan Cavalcanti da Cunha
Universidade Federal do Amapá – UNIFAP
Presidente/Orientador

Prof. Dr. Savio Luis Carmona dos Santos
Universidade Federal do Amapá - UNIFAP
Membro Titular

Dra. Valdenira Ferreira dos Santos
Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá – IEPA
Membro Titular

Avaliado em: 22 de Julho de 2016

MACAPÁ

2016

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio e compreensão durante todos esses anos de estudo e dedicação à universidade.

Aos meus amigos, pelo apoio e motivação mediante as tarefas e desafios que vivenciei.

Aos meus professores, que são os melhores dentre os cursos desta universidade, pelo apontamento da diretriz dos caminhos do conhecimento, principalmente em conversas fora de sala de aula.

Aos meus colegas da turma de 2012, pelo acompanhamento durante toda essa jornada.

A todos do Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental (LQMA), em especial ao prof^o Alan Cunha, pelo incentivo, direcionamento e paciência durante todo meu período como bolsista de iniciação científica.

Aos integrantes do grupo de pesquisa de Sedimentação e Geoquímica de Ambientes Aquáticos do Instituto de Pesquisa Científicas do Estado do Amapá, em especial ao Dr. Luís Takiyama e o técnico Sérgio Kleber, que despertaram meu interesse pela hidrologia.

Aos integrantes do grupo de pesquisa TecRede, em especial a Luane Souza, integrante do LQSMA, que me acompanhou em todas as campanhas; ao piloto Adjalma dos Santos Souza, que me acompanhou durante algumas campanhas por longas 12h30; ao técnico de logística Gilvan Portela, pelo imenso apoio nas atividades de campo.

Ao Professor Marcos Tavares Dias, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo apoio logístico e inclusão no projeto “Tecnologias para a produção de tambaquis em tanques-rede”.

Ao CNPq, por ter concedido a bolsa de iniciação científica, processos 143504/2014-2 e 129610/2015-1, que me acompanharam por dois anos e auxiliaram durante a elaboração deste trabalho.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

O objetivo da pesquisa é avaliar o comportamento espaço-sazonal da hidrodinâmica do Rio Matapi-AP em 2015, durante a ocorrência do fenômeno El Niño, considerado o mais intenso do século. A relevância desta investigação é ecológica, ambiental e social, pois o escoamento influencia diversos processos de troca de matéria e energia com o ambiente terrestre-atmosférico, definindo o padrão de variação espacial-sazonal de constituintes da água (físicos, químicos e biológicos). Nesta investigação analisa-se, principalmente, o padrão da precipitação/vazão e a variação das marés semidiurnas na bacia do Rio Matapi forçadas pelo Oceano Atlântico/Amazonas. A metodologia consistiu em analisar a pluviometria da área da bacia e monitorar os parâmetros hidrodinâmicos em uma seção do rio com o uso do equipamento ADP (*Accoustic Doppler Profiler* – M9) e a variação do nível da coluna d'água com um sensor de pressão. As medidas foram realizadas durante ciclos completos de marés semidiurnas (abril, junho, setembro, outubro e dezembro). Para a análise do padrão pluviométrico climático foi aplicado Teste de Wilcoxon Pareado (série temporal 1961-2010 e a observada de 2015, $\alpha < 0,05$), que mostraram que o ano de 2015 foi atípico, com a presença de anomalias negativas persistentes. Foram geradas curvas de descargas líquidas/velocidade/profundidade das correntes, as quais foram posteriormente analisadas e comparadas para avaliar possíveis e significativas diferenças interanuais (teste de Friedman, $\alpha < 0,05$). As curvas geradas de 2015 foram comparadas com as de outros estudos realizados em local ≈ 14 km a jusante e próximo da seção de monitoramento no Rio Matapi. Como as condições dos demais estudos foram consideradas climatologicamente normais (2001, 2005 e 2006), confirmou-se a hipótese de que em 2015 houve redução negativa das vazões. Ambos os testes estatísticos mostraram também redução significativa da pluviometria em 2015 ($p < 0,05$), quando comparados aos demais estudos de outros períodos. Evidenciou-se uma anomalia negativa significativa em 2014/2015, provavelmente devido ao El Niño como fator determinante e mais provável de alteração deste padrão hidrodinâmico em 2015. Finalmente, foram elaboradas curvas de histerese (vazões/níveis), resultantes das diferenças intervalares da das vazões negativas (enchente) e positivas (vazante). Regressões lineares simples foram realizadas para correlacionar o padrão médio da oscilação das histereses em 2015 ($0,76 \leq r^2 \leq 0,82$). Conclui-se pela confirmação da hipótese da influência hidroclimática sobre os padrões hidrodinâmicos e ambientais do Rio Matapi, sendo esta de relevante interesse científico para a gestão ambiental e ecológica na bacia hidrográfica.

Palavras-Chave: El Niño; Análise Estatística Comparativa; Séries Temporais.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Representação da circulação geral atmosférica. Fonte: Martins et al (2008) | 14 |
| Figura 2: Mapas da América do Sul apresentando as anomalias de precipitação acumulada ao longo de 12 meses (de agosto a maio) em anos de ocorrência do El Niño. Fonte: NASA, 2016. Adaptado..... | 16 |
| Figura 3: Série histórica (1968-2008) da variação sazonal da descarga líquida no Rio Amazonas na cidade de Óbidos, Amazonas..... | 20 |
| Figura 4: Mapa da área de estudo. Representando as localidades, o ponto de coleta e as Bacias Hidrográficas (B.H.). Fonte: Autor..... | 21 |
| Figura 5: Representação do equipamento ADP. Fonte: Sontek/YSI (2011). Adaptado..... | 22 |
| Figura 6: Esquema de um transecto feito pelo ADP, com visão transversal da área efetivamente medida e áreas estimadas. Fonte: Sontek/YSI, 2011. Adaptado..... | 23 |
| Figura 7: A esquerda, aparelho ADP montado na lateral da embarcação durante a travessia. A direita, operação e acompanhamento da coleta. Fonte: Arquivo pessoal..... | 24 |
| Figura 8: Representação do Sensor de pressão HOBO U20 (esquerda). Sensor de pressão antes da instalação, na área de estudo (direita). Fonte: http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u20-001-01-ti e arquivo pessoal | 25 |
| Figura 9: a: Diferença entre a precipitação observada em 2015 e a série histórica de 30 anos (1981-2010). b: teste de Wilcoxon, demonstrando alta correlação, porém sugerindo anomalia negativa da precipitação acumulada na maior parte do ano ($p < 0,05$)..... | 26 |
| Figura 10: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2014 (esquerda) e 2015 (direita) para a Região 19. Fonte: INPE (2016) | 28 |
| Figura 11: Descarga líquida observada nos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro de 2015..... | 30 |
| Figura 12: Velocidade absoluta observada nos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro de 2015..... | 31 |
| Figura 13: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2000 (esquerda) e 2001 (direita) para a Região 19. Fonte: INPE (2016) | 32 |
| Figura 14: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2004 (esquerda) e 2005 (direita) para a Região 19. Fonte: INPE (2016) | 32 |
| Figura 15: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2005 (esquerda) e 2006 (direita) para a Região 19. Fonte: INPE (2016) | 33 |

Figura 16: Gráfico correlacionando a descarga líquida do Rio Matapi em 2015 com a de outros períodos em um ponto de $\approx 14,5$ km a jusante do trecho da área de estudo.....34

Figura 17: Correlação entre a variação do nível da coluna d'água do Rio Matapi com o Rio Amazonas, considerando-se conjuntamente ambos os sentidos dos fluxos (enchente e vazante)35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação dos parâmetros hidrodinâmicos Q ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), velocidade V ($\text{m}.\text{s}^{-1}$) e meteorológicos Precipitação Média Mensal Prec. (mm).....27

Tabela 2: Valores máximos (Máx.), mínimos (Mín.) e variação (Var.) do nível da coluna d'água, expressos em metros, no Rio Matapi (Mat.) e Rio Amazonas (Ama.)38

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 12 |
| 2.1. Recursos Hídricos | 12 |
| 2.2. Hidrometeorologia | 13 |
| 2.2. Hidrodinâmica no estuário amazônico | 16 |
| 3. METODOLOGIA | 19 |
| 3.1. Área de estudo e período | 19 |
| 3.2. Obtenção dos dados Pluviométricos | 21 |
| 3.3. Obtenção dos Dados de Descarga Líquida | 22 |
| 3.4. Obtenção da Variação da coluna d'água | 24 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 26 |
| 5. CONCLUSÃO | 41 |
| REFERÊNCIAS | 44 |

1. INTRODUÇÃO

O principal tema desta investigação é o estudo das variações hidrodinâmicas no Rio Matapi, afluente do estuário do Rio Amazonas, e sua relação com as variantes hidroclimáticas de curta duração no Estado do Amapá no ano de 2015.

Para a presente investigação, estuário será definido como “um curso d’água costeiro influenciado pelo oceano, dependentes de uma dinâmica e complexa gama de processos físicos, químicos e biológicos, bem como suas respectivas interações” (SANTOS, et al. 2001; REBOUÇAS, et al. 2006, CUNHA, et al. 2013). Os ciclos biogeoquímicos são uns dos serviços ambientais mais característicos destes ambientes, incluindo-se o hidrológico, porque este controla fortemente os demais ciclos naturais, tais como o do carbono, nitrogênio, enxofre e fósforo (WARD, et al. 2016; CONSTANZA, et al. 1998).

O estuário do Rio Amazonas pode ser considerado como um trecho de transição hidrológica entre os ecossistemas de água doce e o oceano (*Continuum* amazônico) (WARD, et al. 2013), no qual o Oceano Atlântico praticamente determina a dinâmica de variação do nível das águas durante o dia (marés semi-diurnas, com marés de quadratura e sizígia). Por outro lado, sazonalmente, estas águas são mais significativamente influenciadas pela dinâmica do Rio Amazonas (CUNHA, et al. 2012).

A importância da hidrodinâmica nesses ecossistemas amazônicos é sua capacidade de promover intensas interações biogeoquímicas com a floresta inundável e a alta produtividade primária (SANTOS, et al. 2001; REBOUÇAS, et al. 2006; CUNHA, et al. 2014), favorecendo processos de degradação e trocas de substâncias químicas (nutrientes, macro-moléculas, etc), com produção de CO₂, CH₄ e vapor d’água para atmosfera, sendo estes últimos considerados “gases” de efeito estufa (GEE) (WARD, et al. 2015), em quantidades suficientes para produzir impactos regionais/globais no balanço do carbono.

Por outro lado, devido a esta alta produtividade primária, disponibilidade hídrica e localização, também é onde ocorrem os principais assentamentos populacionais em todo o mundo (SANTOS, et al. 2001; REBOUÇAS, et al. 2006). Vários são os motivos: fácil acesso à fonte de recursos, como estoque de água doce e recursos alimentícios animais e vegetais, favorecimento da pesca e aquicultura, condições de abrigar portos de navegação marítima e continental para o escoamento da produção de bens, grande capacidade de autodepuração para despejo de efluentes, etc. (SANTOS, et al. 2001; REBOUÇAS, et al. 2006; PEREIRA, et al. 2014).

Da interação entre os estuários e o homem, surgem também os conflitos socioambientais. A manutenção dos índices de crescimento populacional, principalmente nas zonas urbanas amazônicas, ocorrendo de forma desordenada por falta de políticas públicas do setor de infraestrutura, saúde e saneamento básico (CUNHA, et al. 2003; CUNHA, et al. 2004), torna os estudos hidrodinâmicos relevantes, pois são fundamentais nas análises de transporte de poluentes nestes ambientes (diluição, difusão e advecção) (TAVARES, et al. 2014).

Perturbações antropogênicas são fatores que, conjuntamente com as condições naturais, podem intensificar problemas de degradação da qualidade da água, como problemas de contaminação hídrica da população e redução da capacidade de autodepuração dos corpos d'água, com intensos reflexos sobre o saneamento e saúde pública (CUNHA, et al. 2011). Isso ocorre principalmente através do acúmulo de resíduos e contaminação de águas superficiais, além das subterrâneas, por esgotos e águas residuais industriais e agropecuárias, ameaçando a qualidade desses ambientes, sendo que os estuários possuem alta sensibilidade à degradação (GONZÁLEZ, et al. 2010; CUNHA, et al. 2008).

Para garantir o uso dos recursos hídricos sem comprometer a qualidade ambiental é necessário conhecer algumas das características físicas do ambiente estudado como, por exemplo, o comportamento hidrológico e/ou hidrodinâmico do escoamento natural. Estes parâmetros são relevantes em diagnósticos/prognósticos ambientais, especialmente para evitar ou minimizar que os impactos ambientais de toda a sorte se tornem incompatíveis com o potencial desenvolvimento econômico local destes ambientes, naturalmente ricos em biodiversidade e recursos naturais. Mas a incompatibilidade entre o desenvolvimento local (urbano e rural) e a manutenção da qualidade mínima das águas nesses ecossistemas, tendem a comprometer irreversivelmente os preceitos da sustentabilidade ambiental, conforme definido pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

A hidrodinâmica de qualquer sistema hídrico rege seu fluxo de carga e energia, favorecendo/limitando as condições necessárias para manutenção hidrogeológica e qualidade ambiental, tanto para os organismos aquáticos quanto para o uso antrópico. A hidrodinâmica, por sua vez, é parâmetro essencial para qualquer modalidade de gerenciamento de recursos hídricos e limnologia das águas continentais, pois é capaz de intensificar fragilidades pré-existentes nos ecossistemas (CUNHA, et al. 2012; ROVERSI, et al. 2016).

Dentre os fatores que alteram a dinâmica hídrica de um rio estuarino, a pluviosidade é o elemento essencial a ser caracterizado como fonte do estoque hídrico local através do

abastecimento dos lençóis freáticos, alterando principalmente o volume do ambiente com implicações na concentração de cargas orgânicas/inorgânicas interagindo com o ambiente terrestre.

Na Amazônia, as precipitações atingem um total de ≈ 2.400 mm anualmente, com variações sazonais bem definidas composta por dois períodos distintos; chuvoso, entre dezembro a junho, apresentando os maiores valores de precipitação ($\approx 70\%$); e o seco ou de estiagem, que ocorre de julho a novembro, com precipitação menor ($\approx 30\%$) (INMET, 2016).

Contudo, eventos extremos, especialmente no Estado do Amapá, têm sido cada vez mais frequentes, podendo alterar drasticamente o equilíbrio da dinâmica hidrológica (SENA, et al. 2012; CUNHA, et al. 2014). Estas variações hidrometeorológicas promovem ocasionalmente reduções/elevações das vazões e níveis d'água dos rios e lagos (*outliers*), forçando a adaptação de diversas espécies da biodiversidade e a própria sociedade e economias locais, bastante dependentes desses processos.

Neste sentido, tem sido observado que o estuário amazônico tem sofrido consequências negativas e significativas de eventos climáticos atípicos, como o El Niño, especialmente influenciando seu padrão hidrológico, com repercussão sobre a qualidade das águas em rios estuarinos no Estado do Amapá (SANTOS, et al. 2014).

Com base nestes pressupostos, a principal **hipótese** da presente investigação é demonstrar experimentalmente, e a partir da análise estatística inferencial, que o padrão hidrodinâmico e pluviométrico na bacia do Rio Matapi foi significativamente alterado principalmente devido ao efeito de curto prazo do El Niño de 2015-2016.

Para abordar adequadamente este tema apresentamos os seguintes objetivos de investigação: **a)** avaliar a pluviosidade observada em 2015 e 2014 e correlacionar com a média histórica, para verificar a ocorrência de variações, principalmente negativas; **b)** estudar o padrão de descarga líquida (vazão, nível e velocidade, tempo e sentido da corrente) em uma seção chave de monitoramento, bem como suas variações semidiurnas e sazonais no ano de 2015, e fazer comparações interanuais com diferentes autores para o mesmo período sazonal; **c)** observar a variação do nível da coluna d'água e correlacioná-la com a variação observada no Rio Amazonas para o mesmo período;

Estes objetivos estão inseridos em um contexto científico mais amplo, sendo parte das metas do Projeto “Tecnologias para produção do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em sistemas de tanque-rede” registrado sob o nº 23125.002419/2014-07, coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, cuja meta foi coordenada pelo

Laboratório de Química, Saneamento e Modelagem Ambiental (LQSMSA) da Universidade Federal do Amapá (UNIFAP).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Recursos Hídricos

A água é um elemento essencial para a vida. Durante seu ciclo, que é abrangente e complexo, participa ativamente dos processos metabólicos dos organismos e das trocas de matéria e energia do ambiente. Porém, distribui-se de forma heterogênea no planeta, com alguns locais bastante úmidos e outros secos (BRAGA, et al. 2005; REBOUÇAS, et al. 2006).

As fontes que possuem as características mais adequadas ao uso humano são as águas doces costeiras, superficiais ou subterrâneas, recebendo a designação de Recursos Hídricos. São utilizadas em diversas atividades antrópicas, como para o consumo, lazer, dessedentação animal, insumo para produção industrial e agropecuária, despejo de dejetos, navegação, etc. Para a maioria das atividades humanas que consomem água, é necessário que esta possua fácil acesso em quantidade e/ou qualidade satisfatórias, de modo a diminuir o máximo possível o custo financeiro desse recurso, sendo esse fator essencial ao modo de vida atual, podendo até se configurar como uma limitação ao desenvolvimento de uma sociedade.

No Brasil não há falta de água que justifique problemas ambientais, e sim a má gestão dos recursos hídricos (REBOUÇAS, et al. 2006). A gestão das águas costeiras é feita através das bacias hidrográficas, que são, segundo Tucci, et al. (2014), áreas onde a drenagem pluvial converge naturalmente para um único canal de saída, desaguardo no oceano. Tem como principais objetivos a manutenção da qualidade do ambiente como forma de preservar a fauna e flora e garantir os usos múltiplos para a sociedade, evitando o uso inadequado e prevenindo eventos hídricos extremos (BRASIL, 1997). Uma bacia hidrográfica pode ser dividida em sub-bacias, que são tributárias de algum rio da própria bacia.

A população da Amazônia tem suas vidas influenciadas pelos rios (REBOUÇAS, et al. 2006), onde os moradores da área rural dependem deste, principalmente, para a navegação e provisão de alimentos, como peixes, crustáceos, quelônios, e recursos vegetais. Os principais usos dos cursos d'água pelos moradores das áreas urbanas são a captação para o consumo e despejo de esgoto, sendo este, na maioria das vezes, feito de forma inadequada (CUNHA, et al. 2008).

A demanda hídrica na Amazônia é pequena, tanto pela imensa oferta, quanto pela população menor em relação às outras regiões brasileiras. Porém, essa população é altamente concentrada nas áreas urbanas e de forma desordenada, agravando os problemas ambientais,

como o despejo direto de resíduos em ambientes aquáticos, a retirada de mata ciliar, a ocupação de áreas alagadas, etc (CUNHA, et al. 2003; OLIVEIRA E CUNHA, 2014).

Para garantir o uso dos recursos hídricos sem comprometer a qualidade ambiental é necessário conhecer as características do ambiente para evitar ou minimizar os impactos ambientais, visando garantir o desenvolvimento econômico sobre os preceitos da sustentabilidade ambiental, conforme definido pela Resolução CONAMA 357/2005. Os principais aspectos naturais que influenciam a qualidade da bacia é a hidrometeorologia. Por sua vez, a hidrodinâmica estuarina depende da hidrologia, e ambas são responsáveis pelo padrão e comportamento de diluição, transporte e mistura de constituintes na água.

2.2. Hidrometeorologia

A principal fonte de energia para o planeta Terra é o Sol, com a intensidade dessa energia oscilando espacial e sazonalmente (VESILIND E MORGAN, 2011). A variação espacial ocorre devido ao movimento de rotação da Terra, fazendo com que haja em média 12 h de exposição à radiação solar e 12 h sem essa exposição. A translação e inclinação do eixo da Terra faz com que haja a diferença sazonal, pois são responsáveis pela aproximação e afastamento do sol, e pelas estações climáticas, respectivamente (FERNANDES, et al. 2012).

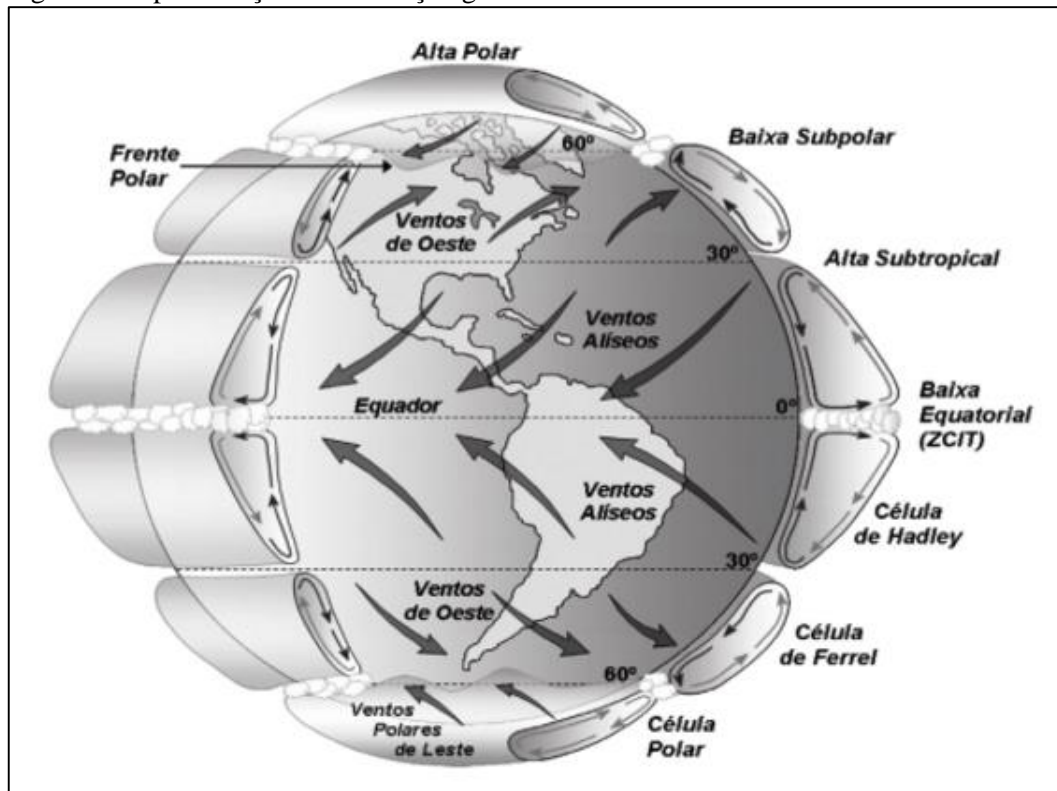
A inclinação do eixo da Terra faz com que a posição relativa da intensidade direta do Sol na Terra varie 30° para o Hemisfério Norte (Trópico de Câncer) e 30° para o Hemisfério Sul (Trópico de Capricórnio) em um período de aproximadamente 365 dias. Essa oscilação afeta incidência de energia, a duração do dia e a estação climática nos trópicos, com auge durante os solstícios. O equador, porém, não é afetado de forma contundente no que tange a variação da incidência de energia, mantendo a duração dos seus dias e condições climáticas relativamente estáveis, mesmo durante o equinócio, quando há a maior incidência solar próximo à linha do equador (FERNANDES, et al. 2012).

A variação de energia provocada por essa dinâmica astronômica é a componente principal da circulação atmosférica e oceânica, componentes que regulam o clima e a distribuição hidrometeorológica no planeta (TORRES E MACHADO, 2008; FERNANDES, et al. 2012).

Como a zona tropical recebe grande quantidade de radiação, solar o clima é mais quente e úmido devido a evaporação. Essa umidade também é aquecida, tornando-se menos densa e ascendendo, formando uma área de baixa pressão chamada Zona de Convergência

Intertropical (ZCIT), local de encontro dos ventos alísios proveniente dos hemisférios, que deslocam-se de leste para oeste devido ao Efeito Coriolis (Figura 1). Essas características são as componentes responsáveis pelas altas temperaturas da zona equatorial em relação às demais latitudes, favorecendo a precipitação da umidade trazida pelos ventos alísios (TORRES E MACHADO, 2008; FERNANDES, et al. 2012).

Figura 1: Representação da circulação geral atmosférica.



Fonte: Martins et al (2008).

Em relação a hidrometeorologia amazônica, ocorrem variações sazonais bem acentuadas, com dois períodos bem distintos; chuvoso, de dezembro a junho, apresentando os maiores valores de precipitação; e seco ou de estiagem, que ocorre de julho a novembro. A advecção de nuvens da evaporação do Oceano Atlântico (YOON E ZENG, 2009) e a evapotranspiração da floresta são os principais reguladores do estoque hídrico da floresta amazônica (ROCHA, et al. 2014) necessários para o seu pleno funcionamento, sendo frequentes eventos extremos (chuvosos e secos) que perturbam esta dinâmica de produção de vapores d'água.

Os principais fenômenos climáticos conhecidos que alteram a climatologia a curto prazo na região Amazônica são o El Niño e a La Niña (REBOUÇAS, et al. 2006; FERNANDES, et al. 2012). O El Niño ocorre com frequência de dois a sete anos e possui duração de seis a 24 meses. Caracteriza-se pelo enfraquecimento dos ventos alísios no Pacífico Leste, que

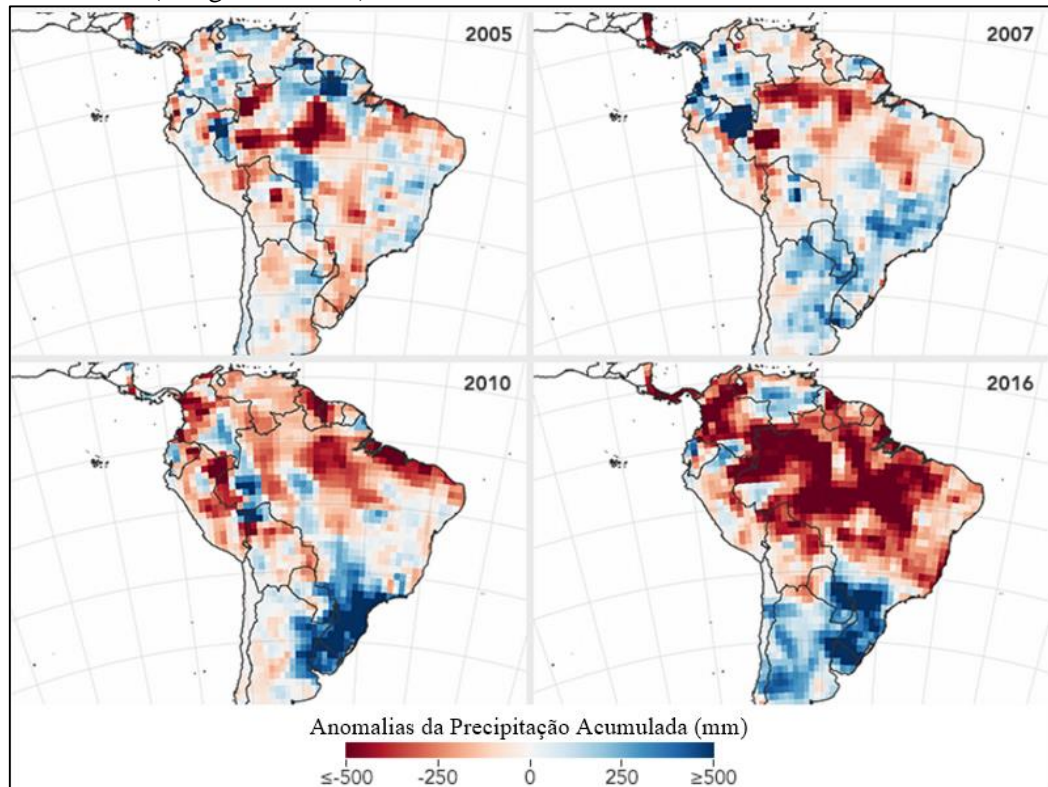
deveriam deslocar as águas quentes equatoriais em direção ao Pacífico Oeste. Como isso não ocorre, a água mais quente acumula-se na costa da América do Sul, aumentando a formação de nuvens e interferindo na circulação atmosférica (TORRES E MACHADO, 2008; FERNANDES, et al. 2012; INPE, 2016)

De acordo com Souza et al. (2009), na Amazônia Oriental, no contexto da dinâmica climática tropical, é bem conhecido que a variabilidade interanual e sazonal da estação chuvosa da Amazônia é modulada diretamente pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala, associados ao ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico e as fases do gradiente meridional inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar (aTSM) sobre o Oceano Atlântico intertropical. Deste modo, o impacto do El Niño na variabilidade pluviométrica amazônica é bem conhecido, demonstrando que as condições de aTSM mais quentes do que o normal deflagram mudanças significativas na circulação troposférica zonal da célula de Walker que, por sua vez, inibe a atividade convectiva da ZCIT, promovendo déficit significativo de precipitação na região.

O ano de 2015, período da presente investigação, ficou marcado pela ocorrência do El Niño, caracterizado como o de maior intensidade do século (FAO, 2016; NASA, 2016), fenômeno capaz de ocasionar eventos de seca ou chuvas intensas que causam alterações significativas no meio ambiente (MEGGERS, 1994; WILLIANS, et al. 2005; SERRÃO, et al. 2015; FAO, 2016; NASA, 2016; SILVA E NODA, 2016).

O El Niño 2015-2016 tem sido responsável por grandes perdas agrícolas em vários países da África, Oceania, Ásia e América Latina, deixando milhões de pessoas com a segurança alimentar ameaçada (FAO, 2016). Na Amazônia, este evento tem diminuído bastante a sua pluviometria, afetando de forma negativa o estoque hídrico e a umidade da floresta, tornando um cenário propício a grandes incêndios, como observado na Figura 2 (NASA, 2016) que mostra a precipitação acumulada em anos de ocorrência do El Niño.

Figura 2: Mapas da América do Sul apresentando as anomalias de precipitação acumulada ao longo de 12 meses (de agosto a maio) em anos de ocorrência do El Niño.



Fonte: NASA, 2016. Adaptado.

Portanto, eventos anômalos como o El Niño podem causar alterações no regime pluviométrico normal de uma bacia hidrográfica trazendo consequências sérias para o meio físico, biótico e/ou social, pois tem o efeito de alterar hidrodinamicamente o padrão de um curso d'água.

2.3. Hidrodinâmica de um estuário

A área de estudo em questão compreende um trecho do baixo curso da Bacia Amazônica, caracterizando-se como uma área de estuário. Na presente investigação serão definidos como “curso d'água costeiro influenciado pelo oceano, possuindo alta complexidade e responsáveis por intensos fenômenos biológicos, físicos e químicos, devido, principalmente, a dinâmica das águas, a interação com a floresta inundável e a alta produtividade primária” (SANTOS, et al. 2001; REBOUÇAS, et al. 2006, CUNHA, et al. 2013).

O comportamento hidrodinâmico da foz do Rio Matapi tem sido relativamente bem estudado (SOUZA, 2006, TAKIYAMA, et al. 2007; CUNHA, et al. 2012). É regido, principalmente, pela oscilação do nível do mar e pela pluviometria da bacia hidrográfica,

conforme descrito para outros ambientes estuarinos do globo (GALLO E VINZON, 2005; NICOLITE, et al. 2009; GONZÁLEZ, et al. 2010).

As flutuações no nível d'água desses ambientes têm forte influência no funcionamento ecológico, hidrológico, físico, químico e biológico dos estuários, pois rege a composição espacial e temporal de cargas orgânicas, inorgânicas e de sedimentos, atuando também nos processos autodepurativos e serviços ecológicos, como a dispersão de sementes e a distribuição espacial de algas na produção primária (CUNHA, et al. 2014; MONTEIRO, et al. 2015).

A oscilação do nível do mar (marés) ocorre devido a atração gravitacional da lua durante a sua movimentação em torno da Terra (NICOLITE, et al. 2009). Essa atração não exerce influência significativa nas águas costeiras, mas altera a amplitude do nível dos mares, fazendo com que suas águas adentrem ao ambiente costeiro. A translação lunar ocorre em intervalos de $\approx 12,5$ h, caracterizando o ciclo de maré semidiurna. A maior influência ocorre durante as fases da lua Cheia e Nova, em intervalos de aproximadamente 15 dias. Isso se dá quando a lua perfaz um ângulo reto com o sol em relação à Terra, pois o sol também atua com sua força gravitacional no oceano, porém esse efeito é mais significativo apenas durante o equinócio.

A intrusão no Rio Matapi provém das águas do Rio Amazonas, que difere em sua composição físico-química. O avanço da maré é atenuado pelo escoamento da bacia, pela rugosidade do fundo, pelas diferenças de largura e profundidade, pelos meandros, pelas áreas alagáveis, etc. (GALLO E VINZON, 2005; NUNES FILHO, 2016).

No processo de ocupação da zona costeira ocorrem também alterações do sistema de drenagem dos rios e, portanto, suas características hidrológicas/hidrodinâmicas. Como a hidrodinâmica é influenciada pelo regime de marés diárias e variações sazonais vinculadas ao regime pluviométrico, o escoamento superficial modifica o volume d'água num determinado intervalo de tempo/espaço, e conseqüentemente a vazão, velocidade e variação da altura da coluna d'água. Na região do estuário amazônico pode ocorrer um aumento na amplitude da coluna d'água próximas a 4 m durante o período chuvoso (Janeiro a Junho) e em maré de sizígia (lua cheia ou nova) (CUNHA, et al. 2013).

O monitoramento hidrodinâmico nesses ecossistemas, principalmente quando em condições hidroclimáticas atípicas, pode fornecer luz sobre o que ocorreria ao equilíbrio hidrológico se os fenômenos de El Niño se tornarem mais frequentes e persistentes (SOUZA, et al. 2014) num contexto de mudanças climáticas globais.

Além dos parâmetros hidrodinâmicos/hidrológicos serem essenciais para a adequada gestão ambiental de ecossistemas aquáticos, também podem ser úteis na análise e interpretação de processos ambientais a partir de dados de monitoramento. Um exemplo convincente é o processo legal de fiscalização e a outorga dos recursos hídricos (SILVA, et al. 2015), bem como os seus usos múltiplos, normalmente enfrentado em diagnósticos/prognósticos de problemas de engenharia e saneamento ambiental, tendo em vista a manutenção da qualidade da água, a proteção da fauna e da flora bem como as garantias do desenvolvimento mais sustentável das águas (REBOUÇAS, et al. 2006).

A hidrodinâmica, definitivamente, é um parâmetro chave em qualquer análise de recursos hídricos ou saneamento ambiental, pois influencia espaço-sazonalmente tanto a quantidade quanto a qualidade da água. Por estas razões, tanto em ambientes alterados quanto poluídos (naturalmente ou pelo homem) os custos de seus múltiplos usos tendem a ser mais elevados, tornando-as até inviáveis em atividades essenciais altamente dependentes desses ambientes, como o uso doméstico, a navegação e a piscicultura em tanques-rede (Tavares-Dias, 2012). Conhecer as características hidrodinâmicas do ambiente é o primeiro passo para compreender os processos de transporte e assimilação de nutrientes, que são complexos e variantes no espaço e no tempo. Identificar estas variações físicas do ambiente é um passo importante para a correta gestão e monitoramento das águas pelos órgãos ambientais.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo e período

De acordo com Torres e El-Robrini (2006), a bacia do Rio Matapi (Anexo 1) está localizada sobre a Planície Costeira do Sul do Amapá, formado no período Quaternário com composição de sedimentos: arenosos, siltsos e argilitos. Possui 2.518 km² de área de drenagem, abrangendo os municípios de Santana, Macapá, Mazagão e Porto Grande.

O Rio Matapi nasce na região central do Estado e tem sentido noroeste-sudeste, desaguardo no Cana Norte do Rio Amazonas, dividindo os municípios de Santana e Mazagão. Possui como principais afluentes o Rio Flexal, Rio Pirativa, Igarapé Maruanum e Igarapé do Lago. Sua área de drenagem é periodicamente inundável em suas margens, que servem como amortecimento das marés e fontes de nutrientes (CUNHA, et al. 2003; TAKIYAMA, et al. 2007).

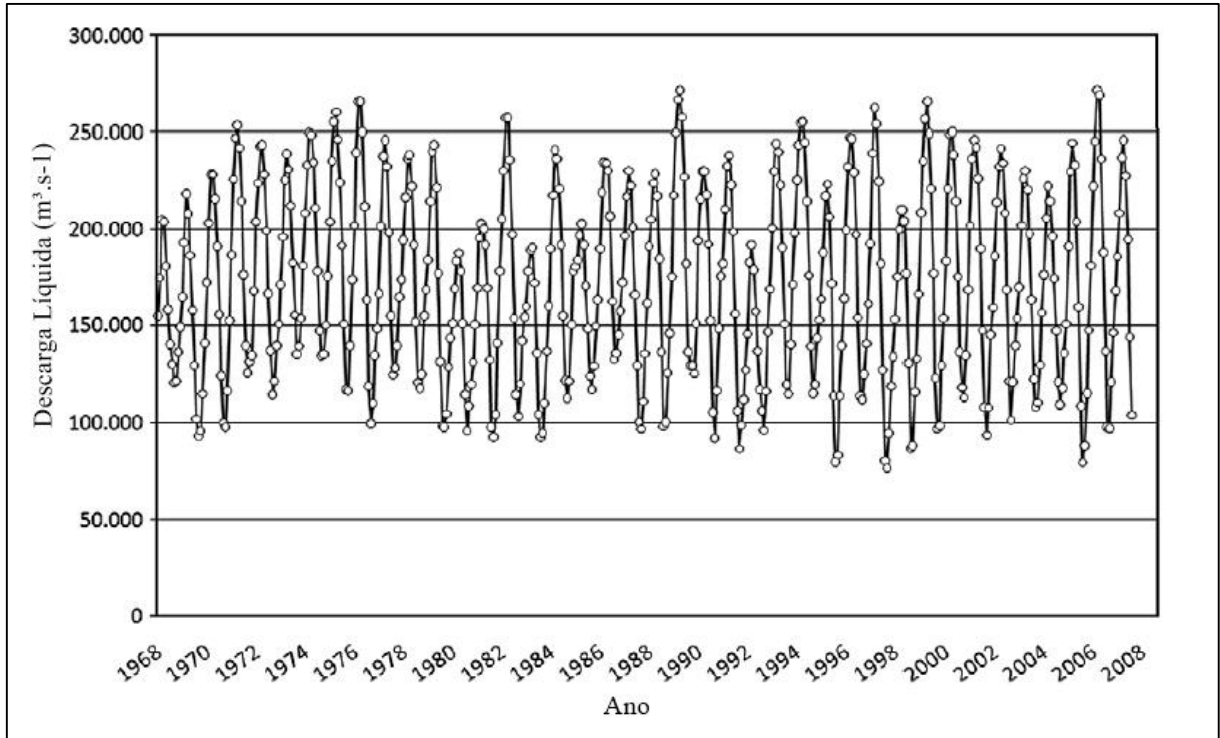
Apesar da Zona Costeira do Amapá possuir baixa densidade populacional e alta taxa de preservação (TORRES E EL-ROBRINI, 2006), a bacia do Rio Matapi integra as principais atividades de potencial impacto aos recursos hídricos dentre as bacias do Estado, principalmente em seu alto curso, que são: pecuária extensiva de bovinos e bubalinos, agricultura familiar, pesca e caça de subsistência, exploração de areia e seixo, plantações de eucaliptos e pinus (silvicultura).

No baixo curso do Rio Matapi, na margem direita, possui alguns balneários utilizados pela população local, e na margem esquerda, está localizado o Distrito Industrial de Santana, com empresas de pequeno e médio porte, sendo a maior parte transportadoras e indústrias de gêneros alimentícios, que promovem intensa movimentação de embarcações de carga (balsas) (CUNHA, et al. 2004; TAKIYAMA, et al. 2007).

O clima da bacia é do tipo tropical, quente e super úmido, com temperaturas que variam de 25 °C a 27 °C, e pluviosidade média mensal variando de 50 mm a mais de 250 mm, com incidência superior a 2.400 mm anualmente. Possui duas estações bem definidas, com os meses de dezembro a junho (período chuvoso) caracterizados pelos maiores valores de precipitação e menores de temperatura e insolação, e os meses de julho a novembro (período de estiagem, seco ou menos chuvoso) caracterizados pelos menores valores de precipitação e maiores de temperatura e insolação (INMET, 2016), refletindo-se na variação sazonal da descarga líquida, como mostra a Figura 3 que abrange a série histórica da descarga líquida no

Rio Amazonas na cidade de Óbidos, Amazonas, no limite do rio onde não ocorre influência das marés oceânicas.

Figura 3: Série histórica (1968-2008) da variação sazonal da descarga líquida no Rio Amazonas na cidade de Óbidos, Amazonas.

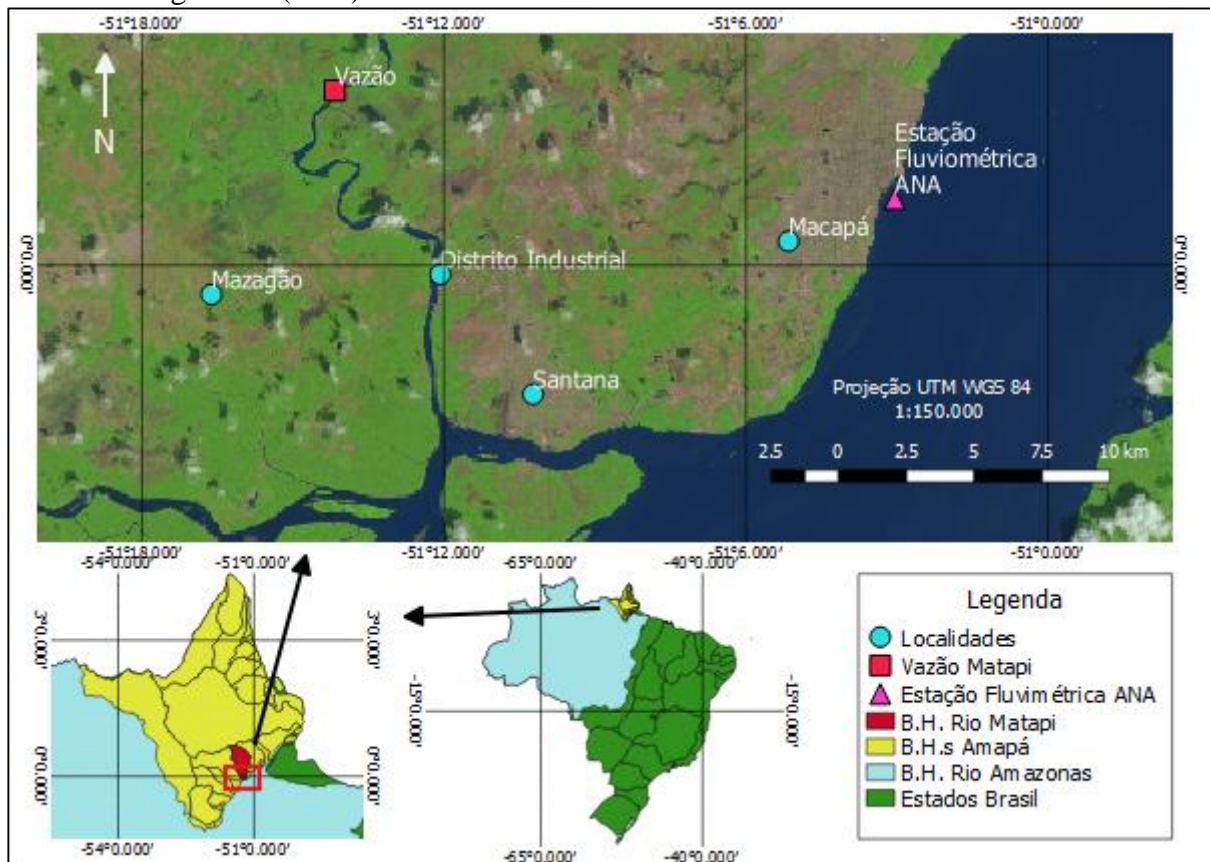


Fonte: Martinez, et al. 2009 (Adaptado).

A variação da maré é caracterizada como mesomarés semidiurnas, regidas pela força gravitacional exercida pela lua, com maior influência durante a Lua Cheia e Lua Nova (maré de sizígia) e do sol, que é mais perceptível durante o equinócio, nome dado ao fenômeno em que o sol encontra-se em sua maior proximidade da linha do equador na sua passagem de hemisfério, que ocorrem na segunda quinzena do mês de março e de setembro (CUNHA, et al. 2004; TAKIYAMA, et al. 2007).

A seção de monitoramento do presente estudo está localizada ≈ 19 km da foz ($0^{\circ}03'27.56''N$, $51^{\circ}14'11.23''O$), próximo a propriedade de um piscicultor, acessível apenas por via fluvial (Figura 4, ponto “Vazão”). As campanhas experimentais ocorreram nos dias 24/04/2015 e 26/06/2015, que compreendem o período chuvoso, e nos dias 04/09/2015, 22/10/2015 e 04/12/2015, que compreendem o período de estiagem.

Figura 4: Mapa da área de estudo. Representando as localidades, o ponto de coleta e as Bacias Hidrográficas (B.H.).



Fonte: ANA, 2016.

3.2. Obtenção dos dados Pluviométricos

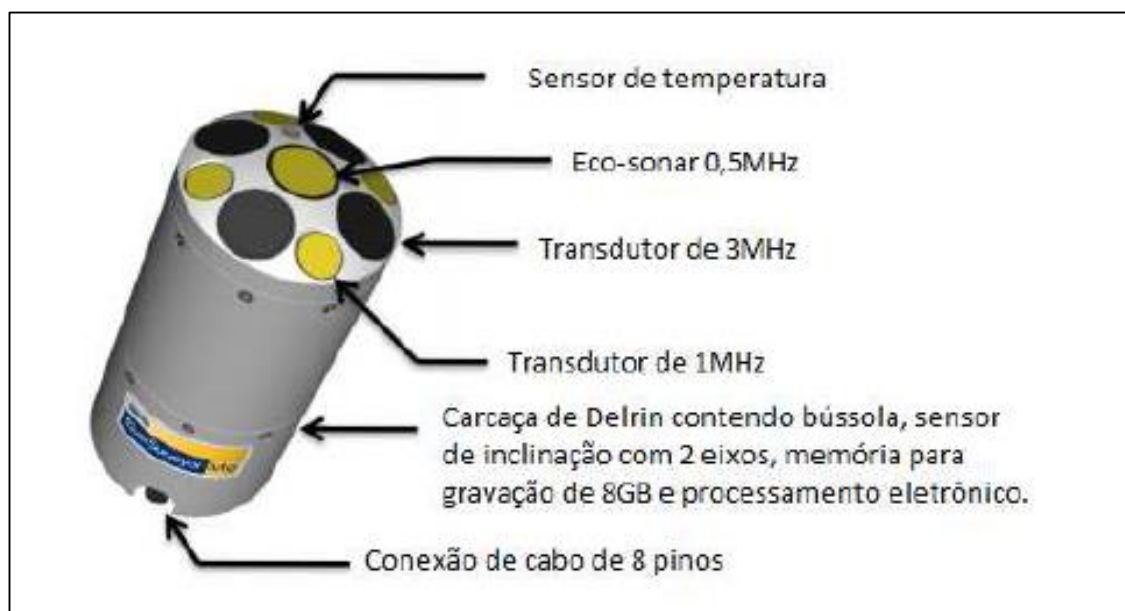
O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) fornece gratuitamente, pelo endereço eletrônico (<http://www.cptec.inpe.br/>), dados referentes a pluviosidade. Estes foram obtidos os valores da precipitação média mensal histórica (1981-2010) e observada no ano de 2015, Região 19, que abrange a bacia do Rio Matapi. A Região 19 agrega uma série de dados de várias estações pluviométricas em uma área de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ (latitude e longitude), abrangendo uma área de $\approx 75.625 \text{ km}^2$, interpolados através do método de *Kriging*. Esses dados foram submetidos ao teste não paramétrico de Wilcoxon para dados pareados. Também foi elaborada a correlação de Spearman entre as médias e análise das diferenças, a fim de verificar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as precipitações mensais acumuladas, que caracterizem 2015 como um ano climatologicamente atípico.

Também foram obtidos os gráficos referentes à ocorrência de anomalias negativas e/ou positivas diárias durante um ano. Esses dados referem-se ao ano observado e anterior (2015 e 2014, respectivamente), afim de verificar a ocorrência de acúmulos ou falta de chuvas na bacia do Rio Matapi. Esses dados também foram obtidos nos anos observados e anteriores de outros autores que obtiveram dados de descarga líquida do Rio Matapi em outros períodos, que serão comparados com os do presente estudo para verificar variações interanuais.

3.3. Obtenção dos Dados de Descarga Líquida (*in loco*)

Foram realizados em média 142 perfis de medição/campanha sazonal na seção de monitoramento do Rio Matapi (indicado no ponto “Vazão” na Figura 3). Em cada uma delas foi utilizado um Perfilador Acústico Doppler (*Acoustic Doppler Profiler - ADP*) (Figura 5), marca SonTek, modelo RiverSurveyor M9, acoplado na lateral de uma embarcação de alumínio (voadeira). A profundidade dos transdutores foi definida como 0,3 m e a declinação magnética, para correções internas da bússola, como $-19,2^\circ$. O ADP é equipado com um sistema de nove feixes, com dois conjuntos de quatro transdutores de perfilagem com frequências diferentes (1 MHz e 3 MHz) para medição da velocidade, e um feixe vertical de frequência 0,5 MHz, para a profundidade (SONTEK/YSI, 2011).

Figura 5: Representação do equipamento ADP.

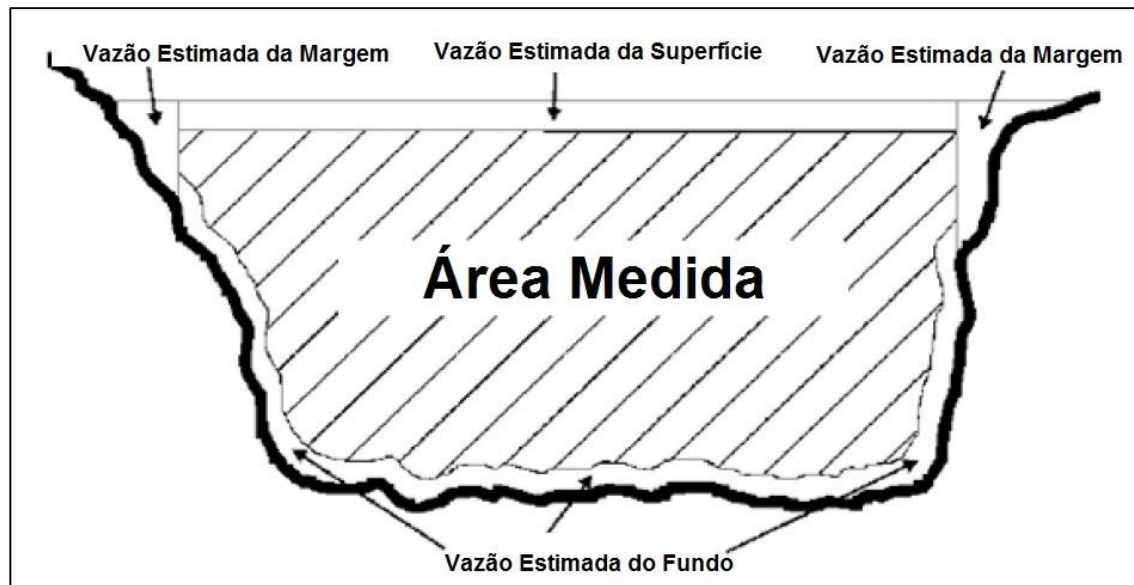


Fonte: Sontek/YSI (2011). Adaptado.

O ADP executa as leituras dos dados hidrodinâmicos quando o barco desloca-se em velocidade próxima a velocidade da água, transversalmente ao rio, gerando a cada segundo um pulso sonoro que é refletido nas partículas sólidas presentes na água. Logo é mensurado a distância e a velocidade dessas partículas, que, em média, refletem a velocidade da água.

Conforme Figura 6, nas margens, superfície acima dos transdutores e fundo, as respectivas vazões são estimadas pelo equipamento utilizando-se um perfil logaritmo padrão para interpolação, sendo que a distância do equipamento para a margem e dos transdutores para a superfície são definidas pelo operador (SONTEK/YSI, 2011).

Figura 6: Esquema de um transecto feito pelo ADP, com visão transversal da área efetivamente medida e áreas estimadas.



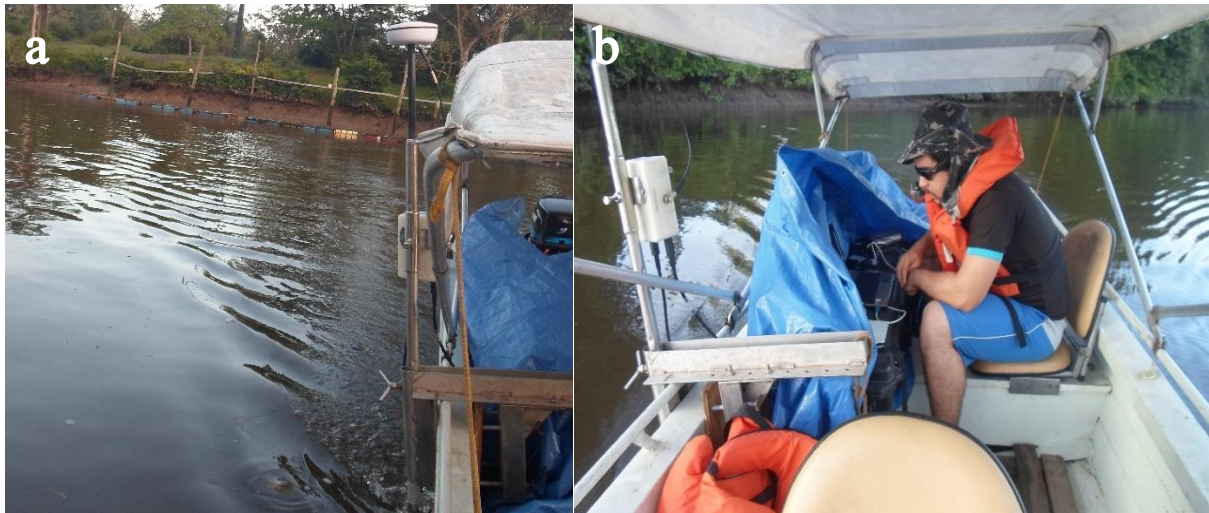
Fonte: Sontek/YSI, 2011. Adaptado.

Os comandos do equipamento foram realizados através do *software* RiverSurveyor Live, instalado em um microcomputador, que foi acoplado ao equipamento (Figura 6). Os perfis de velocidade e a vazão foram conduzidos durante $\approx 12:40$ h, ou num ciclo de maré semidiurna. Porém, algumas campanhas apresentaram problemas técnicos, reduzindo a quantificação completa do ciclo de maré, sem prejuízo da presente análise.

Os dados de vazão foram comparados com os de outros autores em diferentes períodos, em um ponto a ≈ 14 km a jusante da área de estudo, próximo ao Distrito Industrial de Santana (ponto “Distrito Industrial” na Figura 3). Estes estudos ocorreram nos períodos de setembro de 2001, agosto de 2005 e outubro de 2006 (TAKYIAMA, et al. 2007; CUNHA et al., 2002). Os resultados dessas campanhas foram submetidos, juntamente aos resultados do presente estudo para o mesmo período sazonal, ao teste não paramétrico de Friedman (pareados), a fim

de verificar diferenças significativas ($p < 0,05$) de precipitação que caracterizem variações interanuais da descarga líquida no Rio Matapi.

Figura 7: Aparelho ADP em funcionamento durante as campanhas. a: aparelho ADP montado na lateral da embarcação durante a travessia; b: operação e acompanhamento da coleta.



Fonte: Autor.

3.4. Obtenção da Variação da coluna d'água (*in loco*)

A variação do nível da coluna d'água foi realizado em simultaneidade à hidrodinâmica (ADP), a partir de um sensor de pressão, marca Onset, modelo HOB0 U20, instalado próximo da seção de medida de descarga líquida (Figura 7), mas sem um nível de referência específico.

Para a manipulação do equipamento foi utilizado um computador com o *software* “HOBOWare”, do qual foi feito o comando para iniciar a coleta automática da pressão absoluta com número fixo de medições, com o intervalo entre essas medições definindo o tempo total de coleta de dados, então foi definido um intervalo de 1 minuto que abrange informações de todo um ciclo de maré semidiurna ($\approx 12:30$ h).

Conforme a foto do lado direito da Figura 7, o equipamento foi instalado em um suporte fixo na margem do Rio Matapi, próximo ao ponto de medição de descarga líquida, com cuidado para não deixar o sensor acima do nível da coluna d'água durante a baixa mar. Os dados coletados pelo sensor de pressão foram correlacionados com os dados da variação do

nível da coluna d'água do mesmo período em uma estação próxima, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) através do endereço eletrônico (<http://gestorpcd.ana.gov.br/>) - estação de Macapá, código 19500000 -, localizada no Rio Amazonas (ponto “Est. Fluviométrica ANA” na Figura 3), a ≈ 41 km de distância da seção e área de estudo do Rio Matapi ($0^{\circ}1'19.97''N$, $51^{\circ}3'0.51''O$).

Figura 8: Representação do Sensor de pressão HOBO U20 (esquerda). Sensor de pressão antes da instalação, na área de estudo (direita).



Fonte: <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u20-001-01-ti> e arquivo pessoal.

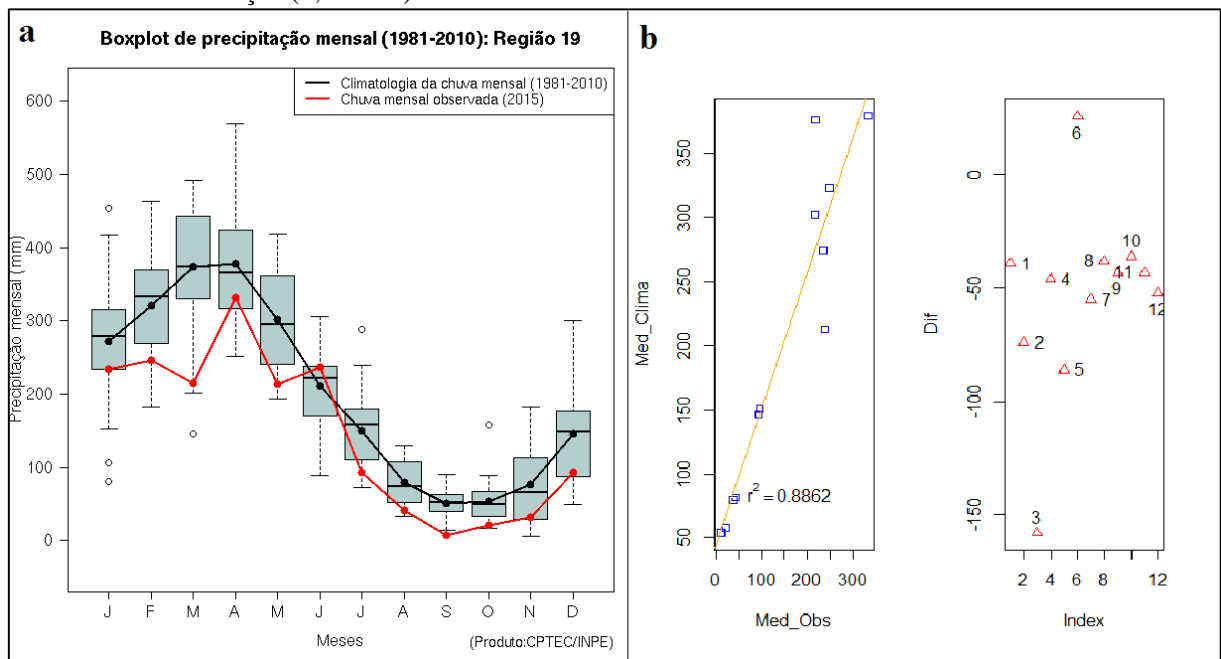
Este procedimento foi necessário para correlacionar o “datum” de referência do Rio Amazonas com o do sensor de pressão do Rio Matapi no mesmo horário. Os dados foram disponibilizados em tabelas, a partir das quais foram realizadas análises estatísticas para a geração de gráficos e análises comparativas ($p < 0,05$). Devido a um problema técnico do equipamento, não houve medição no mês de abril. Deste modo, foi elaborada uma análise estatística de correlação linear para estimar as variações reais locais com base nas variações do sensor de pressão da ANA, de modo que os resultados gerados originaram curvas relacionando a variação do nível da coluna d'água do Rio Matapi com o Rio Amazonas (histereses ou elipses). O formato final gerou elipsoides em função de que a curva maré de ascendente (enchente – sinal negativo) é diferente da curva de maré descendente (vazante – sinal positivo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As campanhas hidrodinâmicas foram realizadas no período chuvoso (abril e junho) e no de estiagem (setembro, outubro e dezembro) amazônicos, no ano de 2015. Com o objetivo de verificar se houve ou não alterações significativas no índice pluviométrico em decorrência do fenômeno El Niño, foram avaliadas as séries de dados de INPE (2016) referentes às médias históricas e total observado.

De acordo com a Figura 9, a climatologia da região é indicada pelo **a)** gráfico “boxplot” da média histórica e seus respectivos intervalos interquartílicos. A linha vermelha indica a precipitação média mensal durante o ano de 2015. A figura **b)** mostra o grau de correlação, e ao lado direito são mostrados os desvios médios mensais entre as medidas observadas na série histórica e as de 2015.

Figura 9: correlação entre a pluviosidade mensal histórica e o ano de 2015. a: Diferença entre a precipitação observada em 2015 e a série histórica de 30 anos (1981-2010). b: correlação de Spearman, demonstrando alta correlação entre os meses de 2015 e a série histórica (b, esquerda), porém sugerindo anomalia negativa da precipitação acumulada na maior parte do ano, de acordo com a análise das diferenças (b, direita).



Fonte: INPE (2016).

Como observado na Figura 9, houve uma forte correlação entre ambas as séries ($r^2 = 0,88$), isto é, uma forte co-variância entre ambas, sugerindo um padrão comportamental bem definido da precipitação, apesar do ano climático de 2015 ser atípico. Contudo, a linha vermelha, abaixo das medianas dos boxes, quando comparada mês a mês com a precipitação

de 2015, sugerem diferenças entre o padrão de precipitação ($p < 0,05$) da série e 2015 (Cox Box pareado), confirmado pelo gráfico da análise das diferenças (b, direita), que mostra que a variação sazonal pluviométrica ocorreu próxima a -50, representado déficit de precipitação na maior parte do ano.

Em relação a esta mesma comparação entre as médias da série histórica e a média pluviométrica mensal de 2015 (Figura 9b) observa-se que tanto o mês de março quanto o mês de junho a precipitação foi significativamente diferente entre os meses correspondentes, da série climática. Assim, o mês de março (número 3 da Figura 9b, direita) apresentou-se com um padrão menos chuvoso e com a maior diferença em relação à média da série, quase que extrapolando os limites inferiores do quartil daquele mês.

Portanto, com base apenas neste critério, na área de influência na Bacia do Rio Matapi (Região 19), aceita-se a hipótese de comportamento hidroclimatológico atípico das chuvas, sendo considerado como ano muito seco em relação à média histórica (Figura 9b).

A Tabela 1 mostra os índices pluviométricos médios mensais e as variações dos principais parâmetros hidrodinâmicos durante o período de investigação, considerando que todas as medidas foram realizadas em período lunar de quadratura.

Tabela 1: Variação dos parâmetros hidrodinâmicos Q ($m^3.s^{-1}$), velocidade V ($m.s^{-1}$) e meteorológicos Precipitação Média Mensal Prec (mm).

| | Abr | Jun | Set | Out | Dez |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Nº Perfis percorridos | 167 | 202 | 123 | 117 | 105 |
| Tempo de vazante (h) | 08:04 | 08:30 | 07:40 | 07:24 | 07:22 |
| Tempo de enchente (h) | 04:26 | 04:00 | 04:50 | 05:06 | 05:08 |
| Prec. Méd. Men. (mm) | 340 | 230 | 8 | 12 | 90 |
| Q_{total} ($m^3.s^{-1}$) | 1.121,1 | 976 | 1.285,1 | 961,4 | 906,5 |
| $Q_{máx}$ (vazante) ($m^3.s^{-1}$) | 686,5 | 436,5 | 477 | 348,6 | 338,3 |
| $Q_{máx}$ (enchente) ($m^3.s^{-1}$) * | -434,6 | -539,5 | -808,1 | -612,8 | -568,2 |
| $V_{máx}$ (vazante) ($m.s^{-1}$) | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 |
| $V_{máx}$ (enchente) ($m.s^{-1}$) * | -0,4 | -0,6 | -0,9 | -0,8 | -0,8 |
| Maré | Quadratura | Quadratura | Quadratura | Quadratura | Quadratura |

(*) **Valores negativos dos parâmetros hidrodinâmicos: indicam maré enchente (sentido foz para montante).**

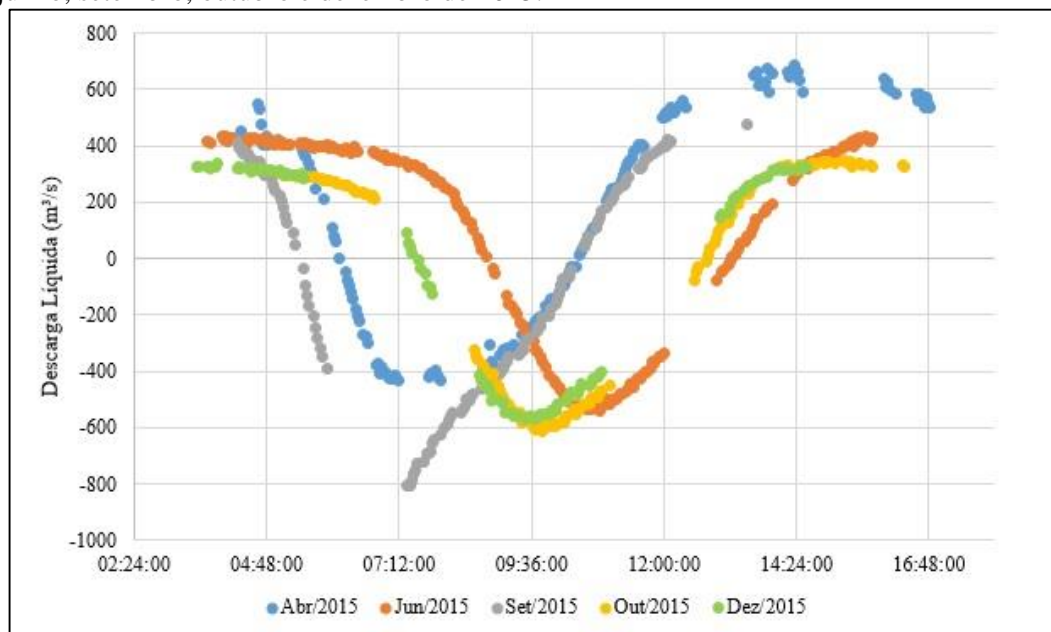
Uma análise da Tabela 1 sugere que a duração média da maré vazante foi de 07:48 h, e da maré enchente foi 04:42 h, evidenciando que a vazante é o fluxo majoritário na seção de medida, mesmo sob condições críticas de baixa pluviosidade na bacia hidrográfica (Set, Out e Dez). O intervalo temporal da maré vazante é maior nos primeiros meses observados (Abr e Jun), devido à forte influência do Rio Amazonas, mas tendendo a diminuir ao longo do ano, devido ao decréscimo hídrico durante o período de estiagem, ou seja, menor escoamento

superficial e dependência do abastecimento pelo lençol freático (interação bacia hidrográfica e estuário) (CUNHA, et al. 2011).

Para o intervalo temporal médio da maré o período chuvoso (Set, Out e Dez) foi de 07:28 h para a maré vazante e 05:01 h para a maré enchente, diferindo modestamente de Takiyama, et al. (2007), que encontraram para os meses de Ago/2005, Set/2001 e Out/2006 o valor médio de 07:51 h para a maré vazante e 04:38 h para a maré enchente.

Ainda na Tabela 1, como esperado para o mês de abril, observou-se a maior incidência pluviométrica entre os meses de medida (340 mm), com implicações no fluxo da maré vazante, que foi maior que a maré enchente apenas neste período. Ao longo do ano esta tendência se inverteu, expressa também pela diminuição da descarga líquida total (Q_{total}), exceto para o mês de setembro devido ao equinócio, conforme a Figura 10.

Figura 10: Descargas líquidas durante ciclos de marés semidiurnas observadas nos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro de 2015.



Fonte: autor.

A Figura 10 mostra o comportamento das diferentes descargas líquidas experimentais da presente investigação realizadas ao longo de ciclos de marés semidiurnas, tanto em meses do período chuvoso quanto do período seco de 2015. Algumas lacunas de medidas das curvas ocorreram devido a problemas técnicos (perda de dados), porém, não houve comprometimento da análise. Os valores negativos indicam maré enchente e os positivos valores de vazante, com os valores nulos durante a inversão da maré.

O mês de abril apresentou a descarga líquida variando no intervalo $[-434,6 < Q < 686,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$, isso se deve ao alto índice pluviométrico sobre a bacia nesse período, com

precipitação média de até 340 mm, evidenciando a influência das chuvas na hidrodinâmica. Pode-se supor que esse período também foi o que recebeu a maior taxa de carga orgânica e inorgânica proveniente do escoamento superficial da bacia, gerando possíveis alterações em sua composição físico-química (SOUZA, 2016).

O mês de junho apresenta a descarga líquida variando no intervalo $[-539,5 < Q < 436,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$, representando o período de transição chuvoso-seco, com precipitação média de 230 mm, bem maior do que a dos meses seguintes. Observe-se, contudo, que este é o mês que o Rio Amazonas apresenta as suas máximas vazões (WARD, et al. 2016).

O mês de setembro denota a magnitude da influência do equinócio, apresentando um intervalo de $[-805 < Q < 477 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$, e o maior valor de descarga líquida total ($1.285,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), superando o mês de abril, apesar de apresentar apenas 8 mm de precipitação média.

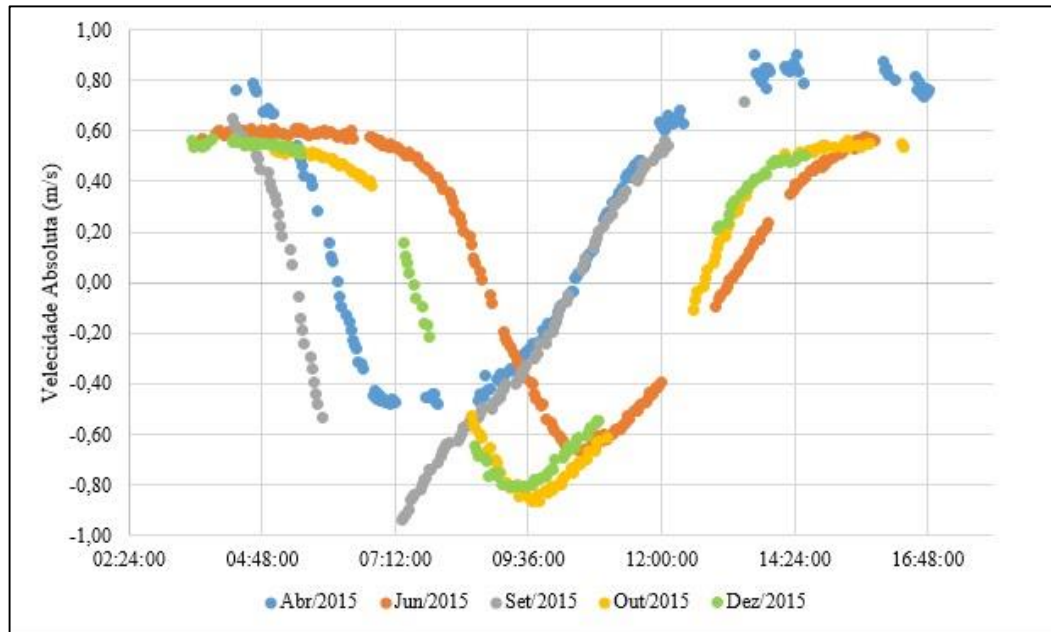
No mês de outubro foi estimado descarga líquida variando no intervalo $[-612,8 < Q < 348,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ e precipitação média de 12 mm, representando um dos meses com menor precipitação, com total pouco maior do que setembro, porém sem a influência da oscilação marítima provocada pelo equinócio.

O mês de dezembro representa os menores valores de descarga líquida (fim do período seco), variando no intervalo $[-568,2 < Q < 338,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$. É possível deduzir que esse período representou os menores valores do nível da coluna d'água, ou seja, foi o período onde o rio estava mais "seco". Porém, não é possível afirmar se houve implicações ambientais e socioeconômicas, principalmente em relação a alteração da qualidade da água e empecilhos à navegação.

A Figura 11 mostra que os valores da velocidade absoluta média são diretamente proporcionais aos de descarga líquida. Logo, abril foi o único mês em que a velocidade absoluta da maré vazante foi maior que a da maré enchente $[-0,4 \leq V \leq 0,9 \text{ m/s}]$. Nos demais meses do ano registrou-se a maior intensidade da velocidade durante a maré enchente, indicando que, no período de estiagem, há um maior avanço das águas do Rio Amazonas sobre o Rio Matapi, influenciando inclusive suas características físicas, químicas e biológicas (SOUZA, 2016).

Por esta perspectiva, é relevante frisar que a intensidade da velocidade da água e descarga líquida estão associadas a vários processos ecológicos que garantem a qualidade do ambiente e a manutenção biológica, pois são afetados quando ocorrem mudanças significativas em sua intensidade, tais como influência sobre o índice trófico espaço-sazonal e variação espacial das taxas de hidrossedimentação do canal (ABREU E CUNHA, 2015).

Figura 11: Velocidade absoluta observada nos meses de abril, junho, setembro, outubro e dezembro de 2015.



Fonte: autor.

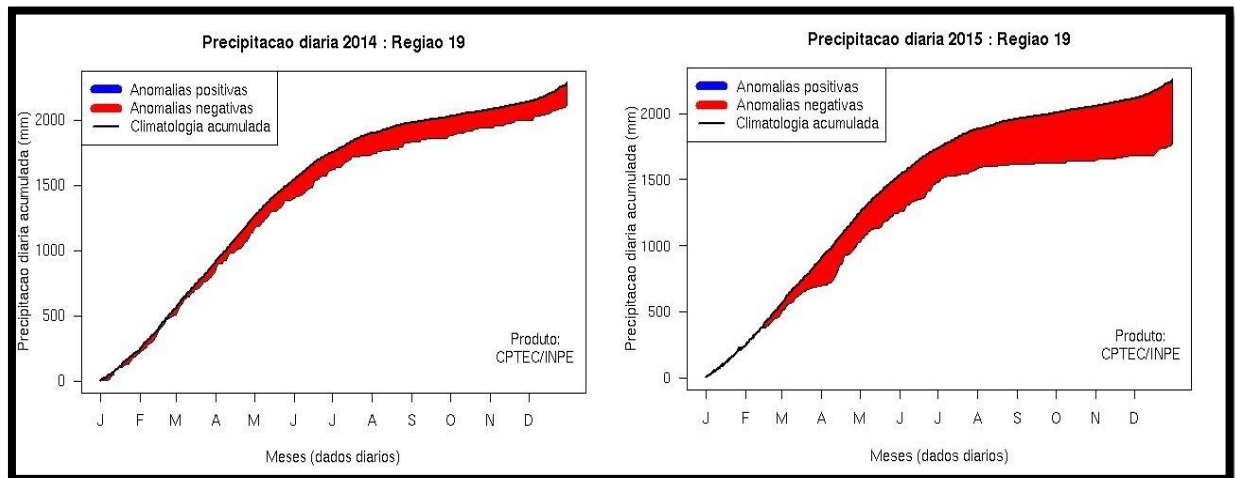
Como há o efeito de amortecimento espacial da maré, há diferença entre os valores da descarga líquida entre dois pontos distintos. Porém, Nunes Filho (2016) analisou o comportamento espacial da maré no baixo curso do Rio Amazonas, não encontrando diferenças significativas na amplitude mesmo a uma distância de ≈ 67 km.

Por outro lado, Souza (2016) registrou as variações espaciais e sazonais da qualidade da água em três pontos distintos (inclusive o da presente investigação), em uma distância de ≈ 20 km no baixo curso do Rio Matapi, com o trecho do presente estudo próximo como ponto central. A referida autora observou não haver diferenças significativas espaciais entre estes três pontos. Portanto, esses autores também sugerem não haver diferença significativa entre a descarga líquida entre dois pontos relativamente próximos, como por exemplo, a seção de monitoramento do presente estudo e a de Takiyama et al (2007), distante $\approx 14,5$ km a jusante no Rio Matapi.

Deste modo, é possível comparar os dados presentes com os valores de descarga líquida de Takiyama, et al. (2007), os quais realizaram três campanhas em um trecho próximo ao Distrito Industrial de Santana, nos meses de setembro de 2001, agosto de 2005 e outubro de 2006. Em setembro e agosto houve relativa influência da lua (maré de sizígia que antecedeu a quadratura), que aumenta a vazão em relação a maré de quadratura. Contudo, é desconhecido o real efeito na hidrodinâmica, não sendo possível observar precisamente a diferença entre esses dois períodos, pois todas as coletas do presente estudo foram durante marés de quadratura.

Utilizando-se o critério de déficit hídrico, a Figura 9 sugere mais claramente a redução de chuvas (precipitação diária acumulada ao longo do ano), caracterizada como anomalias negativas em vermelho, elevando-se de janeiro para dezembro (2014 e 2015). O aumento da distância da linha preta representa a diferença média histórica acumulada. Esses dados são referentes ao ano de 2015, em que ocorreram as campanhas, e ao ano de 2014, período anterior.

Figura 12: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2014 (esquerda) e 2015 (direita) para a Região 19.



Fonte: INPE (2016).

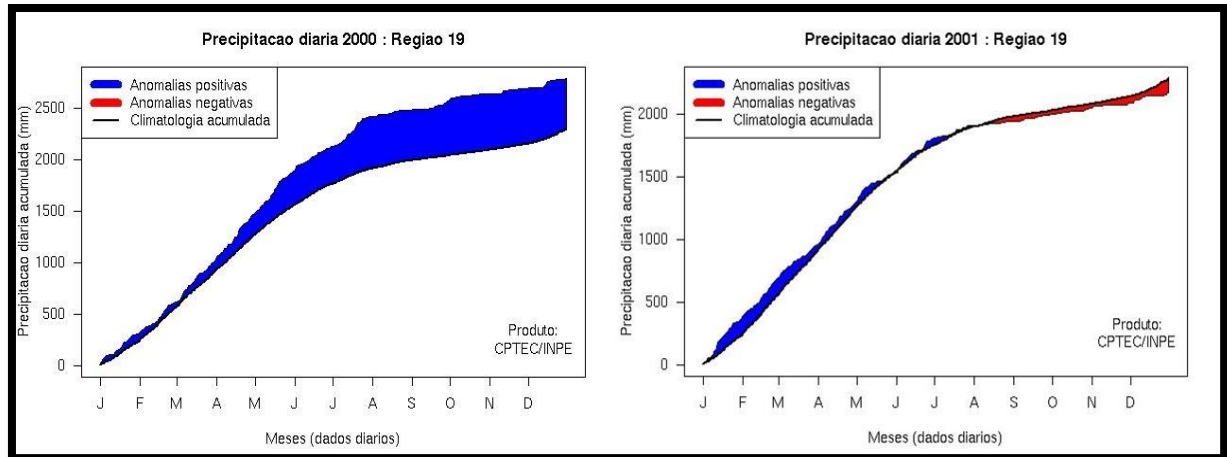
Na Figura 12, o gráfico de 2014 (esquerda) indica anomalia negativa de ≈ 190 mm mensais que começa em abril e se estende para o resto do ano. Em 2015 (direita), também ocorre anomalia negativa, mas visivelmente maior, iniciando em ≈ 190 mm nos meses de abril a julho, elevando-se progressivamente até dezembro, onde atinge um máximo de ≈ 500 mm mensais. Esses valores evidenciam que já havia um déficit no balanço hídrico em 2015 referente às anomalias negativas de 2014, sem nenhum acúmulo que compensasse essa perda, e com um aumento substancialmente maior no ano de 2015 a partir de junho/julho. Logo, por este critério, é possível afirmar que a pluviosidade de 2015 sofreu diminuição significativa, ano de ocorrência do El Niño intenso (NASA, 2016).

Complementarmente, também foram obtidos de INPE (2016) informações, em forma de gráficos, sobre o acúmulo de precipitação nos anos em que ocorreram as medições de Takiyama, et al. (2007) e anos anteriores a estes, para identificar anomalias negativas ou positivas (La Niña). Contrariamente ao El Niño, o fenômeno da La Niña está associado a períodos anormalmente mais chuvosos na Amazônia.

Como mostra a Figura 13 no ano de 2000 ocorreram anomalias positivas, em relação a climatologia histórica, de ≈ 375 mm mensais a partir de junho. Porém, o ano de 2001 pode ser

considerado como normal, isto é, com anomalias não significativas. Será considerado que o acúmulo de 2000 não influenciou a hidrodinâmica em setembro de 2001, período de coleta, devido a pequena extensão da bacia.

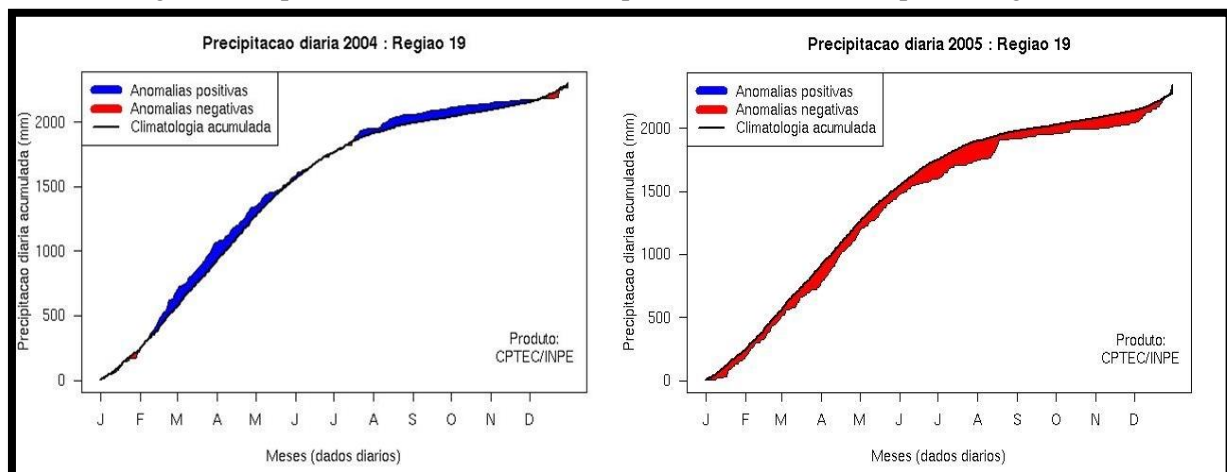
Figura 13: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2000 (esquerda) e 2001 (direita) para a Região 19.



Fonte: INPE (2016).

Segundo a Figura 14, no ano de 2004, não houve anomalias significativas em relação a climatologia histórica, mas apenas variações positivas pouco significativas que duraram a maior parte do ano. No ano de 2005, período da coleta (agosto), houveram anomalias negativas constantes durante todo o ano, mas de baixa intensidade e sem significância estatística.

Figura 14: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2004 (esquerda) e 2005 (direita) para a Região 19.

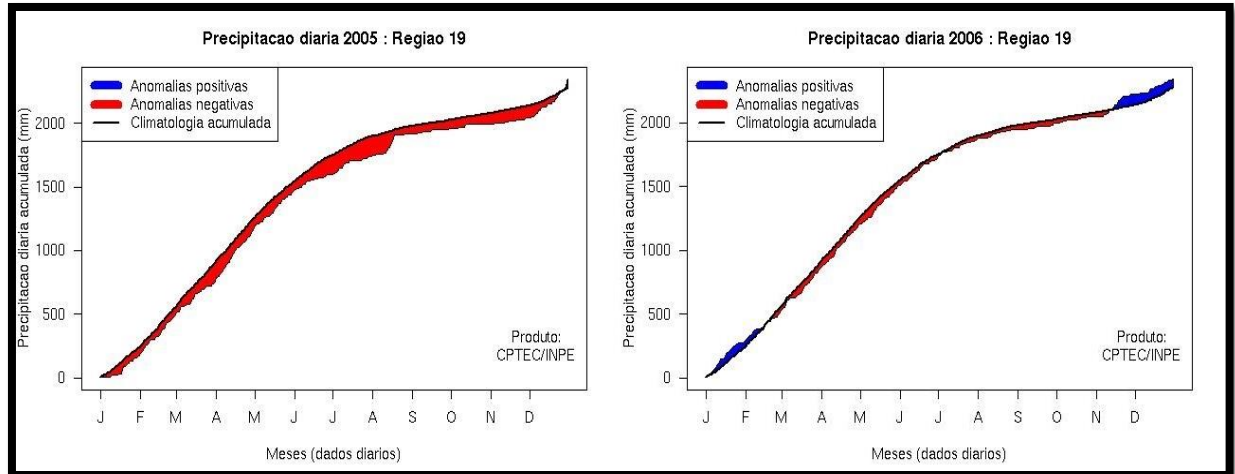


Fonte: INPE (2016).

Segundo a Figura 15, no ano de 2005, como visto anteriormente, houve anomalias negativas constantes durante todo o ano, mas de baixa intensidade. Porém, no ano de 2006,

período em que ocorreu a campanha (outubro), não houve anomalia significativa em relação a climatologia histórica. Na verdade, observa-se um padrão completamente normal.

Figura 15: Gráficos representando a precipitação diária acumulada histórica e ocorrência de anomalias negativas ou positivas no ano de 2005 (esquerda) e 2006 (direita) para a Região 19.



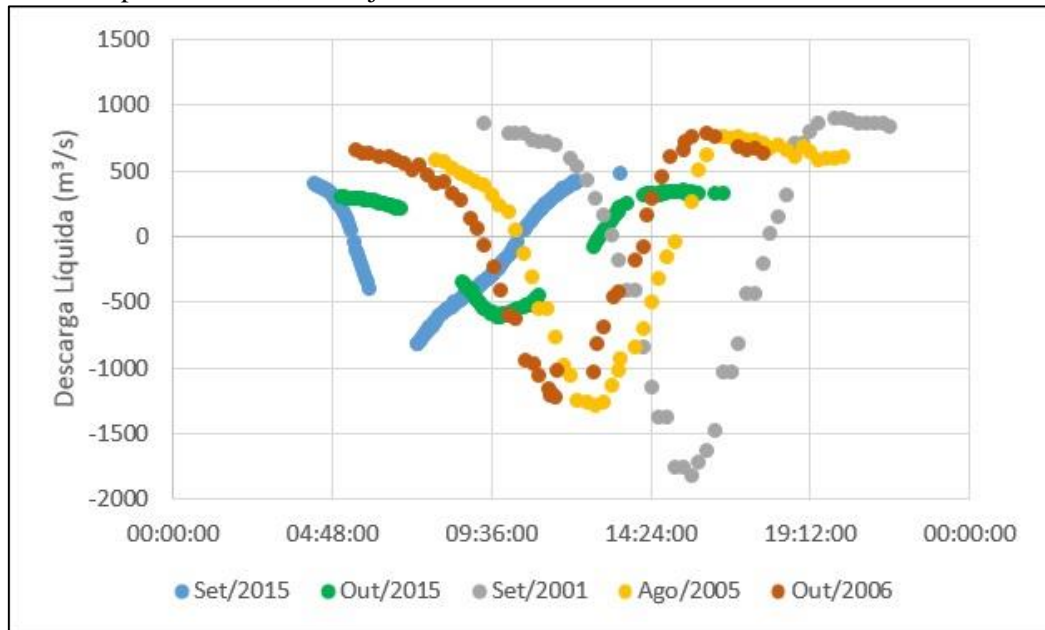
Fonte: INPE (2016).

Os resultados de Takiyama, et al. (2007) referem-se aos meses do período seco. São eles $[-1310 < Q < 769 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ para o mês de agosto de 2005, $[-1820 < Q < 875 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ para o mês de setembro de 2001 e $[-1210 < Q < 763 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ para o mês de outubro de 2006. Esses valores diferem significativamente da variação encontrada nos meses de setembro e outubro da presente investigação (2015) ($p < 0,05$), no qual a maré vazante atingiu valores em torno de $[-805 < Q < 477 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$ e $[-612,8 < Q < 348,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$, respectivamente (Figura 16).

Assim, conforme mostra a Figura 16, mesmo para o mês de setembro, sob influência do equinócio, os valores das vazões foram significativamente menores, com a maré enchente correspondendo a quase a 50% dos valores observados por Takiyama et al (2007).

Com base na análise comparativa da Figura 16, entre as diferentes medianas, observou-se significativa variação entre as vazões das 4 comparações (interanuais) ($p = 0.02556$). Quando comparadas apenas as médias dos anos de 2001, 2005 e 2006, o resultado foi não significativo ($p = 0.2466$). Isto é, não há diferenças significativas das vazões entre aqueles outros anos. Mas quando se introduz os valores de 2015 na análise comparativa o resultado é oposto e significativo. Então, com base neste critério, o fator que provocou esta diferença, por comparação entre as quatro medidas interanuais, foi justamente as medidas de 2015.

Figura 16: Gráfico correlacionando a descarga líquida do Rio Matapi em 2015 com a de outros períodos em um ponto de $\approx 14,5$ km a jusante do trecho da área de estudo.



Fonte: Takiyama, et al. (2007) e autor.

Como não há indícios de diferenças significativas entre os demais anos (2001, 2005 e 2007), conclui-se que as observações do ano de 2015 indicam de fato que a diminuição da pluviosidade ocorreu, provavelmente devido ao fenômeno El Niño, que também ocorreu em 2005, porém sem interferência significativa na pluviosidade, como mostra a Figura 14 e 15. Portanto, provavelmente também influenciou a variação e amplitude da descarga líquida do Rio Matapi. Além disso, reduziu sua vazão em torno de 50% em relação aos valores médios observado em períodos considerados como normais climatologicamente (2001, 2005 e 2007).

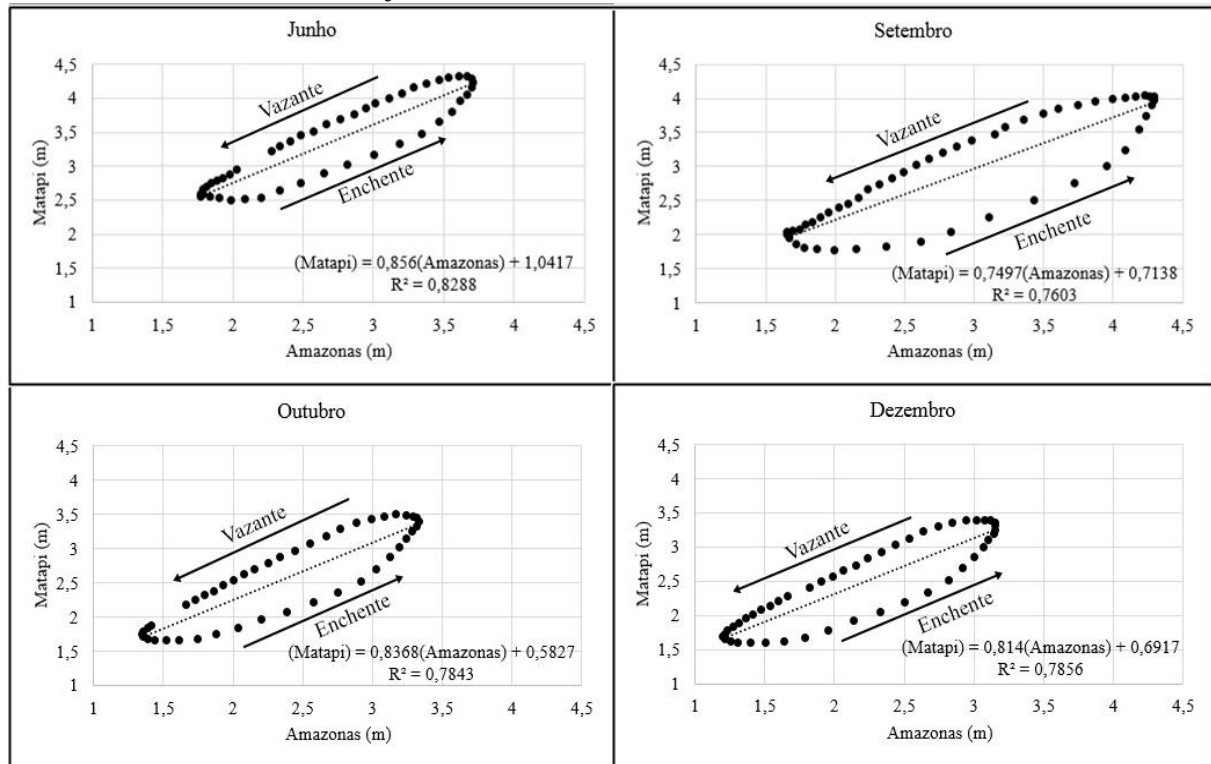
Complementarmente às medidas de vazão no Rio Matapi, foi analisado o padrão de variação dos níveis de marés correlacionados com um sistema de monitoramento oficial próximo (Amazonas – ANA (2016)) e a do presente estudo (Matapi).

O objetivo foi compensar a ausência de um ponto fixo de referência durante as medições da variação da coluna d'água com o sensor de pressão no Rio Matapi. O resultado desta correlação foi a Figura 17.

Na Figura 16, conforme pode ser observado, estas comparações entre níveis resultaram na formação de gráficos do tipo elipse (histerese). As elipses representam o efeito real da dinâmica do escoamento em relação a um referencial conhecido (ANA, 2016). Contudo, foi feita uma simplificação (grosseira) por meio de regressão linear simples, para avaliar diretamente as flutuações médias (independentes do sentido dos fluxos) entre ambas as seções de medidas.

Portanto, as regressões desconsideraram propositalmente os efeitos de ascendência e descendência da maré. Os valores dessas regressões lineares simples variaram entre o intervalo $[0,87 < r < 0,91]$ (≈ 41 km distantes entre si), o que sugere relativamente alta correlação (covariância) entre ambas.

Figura 17: Correlação entre a variação do nível da coluna d'água do Rio Matapi com o Rio Amazonas, considerando-se conjuntamente ambos os sentidos dos fluxos (enchente e vazante).



Fonte: ANA (2016) e autor.

Na Figura 17, em junho, observa-se que o coeficiente angular da linha de regressão média ($Y_{(\text{Matapi})} \sim X_{(\text{Amazonas})}$) foi de aproximadamente 0,85 ($r^2 = 0,82$), resultando no melhor ajuste dentre todos os demais meses (Set, Out e Dez). Deste modo, a elipse é mais estreita, com maior proximidade entre as curvas de ascendência e descendência das correntes ou dos fluxos, o que significa que o comportamento da maré ascendente e descendente neste período são mais similares que nos demais períodos estudados.

Em setembro observa-se que o coeficiente angular da linha de regressão média ($Y_{(\text{Matapi})} \sim X_{(\text{Amazonas})}$) foi menor ao longo de todo o ano, de aproximadamente 0,74 ($r^2 = 0,76$), resultando no “pior” ajuste dentre todos os demais meses (Jun, Out e Dez). Deste modo, a elipse é a mais larga, com maior distância entre as curvas de ascendência e descendência das correntes ou dos fluxos, o que significa que o comportamento da maré ascendente e descendente neste período são menos similares que nos demais períodos estudados.

Em outubro observa-se que o coeficiente angular da linha de regressão média ($Y_{(\text{Matapi})} \sim X_{(\text{Amazonas})}$) foi de aproximadamente 0,83 ($r^2 = 0,78$), resultando em um valor um pouco menor do que o de setembro. Deste modo, a elipse tornou-se um pouco mais estreita do que a de setembro, com menor distância do que aquela entre as curvas de ascendência e descendência das correntes ou dos fluxos. Isto significa que o comportamento da maré ascendente e descendente neste período são distintas como as de setembro, porém com menor amplitude.

Finalmente, em dezembro observa-se que o coeficiente angular da linha de regressão média ($Y_{(\text{Matapi})} \sim X_{(\text{Amazonas})}$) foi o maior dentre os estudados, com aproximadamente 0,81 ($r^2 = 0,78$), resultando em ajuste mediano, quando comparado aos demais meses (Jun, Set e Out). Deste modo, a elipse apresenta-se como a de maior inclinação vertical entre todas as curvas, com dispersão semelhante à de outubro, com distâncias semelhantes entre as curvas de ascendência e descendência das correntes ou dos fluxos. Isto significa que o comportamento da maré ascendente e descendente neste período são bastante distintas das de junho, setembro e outubro. Isto é, neste período, a variação de nível no Amazonas é a que mais diretamente repercute na variação de nível no Matapi (maior influência por variação temporal do nível).

Na Tabela 2, conforme observado, as diferenças dos parâmetros estatísticos descritivos da variação do sensor de pressão (Matapi e Amazonas) são pequenas. O maior valor foi para o mês de setembro (0,38 m), sendo decrescentes ao longo do ano, mas em relação direta com a pluviometria e a descarga líquida. Em setembro ocorre mudança na tendência, evidenciando a influência do equinócio, porém com valor menor que em abril, o mês mais chuvoso da série experimental da presente investigação.

Tabela 2: Valores máximos (Máx.), mínimos (Mín.) e amplitude (Amp.) do nível da coluna d'água, expressos (m), no Rio Matapi (Mat.) e Rio Amazonas (Ama.). Os valores do Matapi (*) não apresentam ponto de referência, portanto os máximos e mínimos mensais não podem ser comparados entre si, apenas a amplitude.

| | Abr | | Jun | | Set | | Out | | Dez | |
|-----------------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
| | Mat. | Ama. | Mat. | Ama. | Mat. | Ama. | Mat. | Ama. | Mat. | Ama. |
| Máx. (m) | - | 4,60 | 4,30* | 3,71 | 4,02* | 4,30 | 3,48* | 3,34 | 3,39* | 3,16 |
| Mín. (m) | - | 1,70 | 2,28* | 1,78 | 1,76* | 1,66 | 1,64* | 1,35 | 1,58* | 1,20 |
| Amp. (m) | - | 2,90 | 1,92 | 1,93 | 2,26 | 2,64 | 1,84 | 1,99 | 1,81 | 1,96 |

Souza et al (2009), utilizando modelos climáticos e dados experimentais na Amazônia Oriental, notaram sinais do fenômeno El Niño (em diversos anos de estudos a partir dos anos

80) sendo mais significativos no oeste e centro do Pará e litoral do Amapá, enquanto que estas anomalias seriam mais intensas na porção leste/nordeste do Pará e toda faixa leste do Amapá.

Oliveira et al., (2010), analisaram processos evaporativos na bacia hidrográfica do Rio Araguari (AP), contígua à bacia do Rio Matapi, utilizando a variação espaço-sazonal da evapotranspiração real (ETR), representando o processo simultâneo de perda de água para a atmosfera por evapotranspiração vegetal e evaporação de superfície de água livre. Concluíram que, ao longo do ano, há uma tendência na qual os menores valores da ETR encontram-se na região norte do Amapá (1200 a 1250 mm), aumentando na direção sul, onde são observados os maiores valores na região sudeste (1400 a 1450 mm).

A análise de Oliveira et al., (2010) mostra que, se a média da precipitação anual no estado do Amapá se mantiver em ≈ 2.230 mm, então normalmente mais de 1/3 da precipitação ($\approx 36\%$) seria evapotranspirada anualmente. Mas, segundo Souza et al., (2009), se o período climático for atípico, com El Niño forte, semelhantemente ao que ocorreu em 2015, a tendência é que ETR aumente na mesma proporção, consequentemente reduzindo-se até 40% ou mais, além de reduzir potencialmente as recargas subterrâneas, umidade do solo e, principalmente, as vazões dos canais naturais, independentemente dos refluxos das marés, que tendem a amenizar este processo na região estuarina (CUNHA, et al. 2014; CUNHA, et al. 2011).

Além disso, as marés no Rio Amazonas também sofrem esta influência negativa, pois em toda a bacia o fenômeno El Niño tem reduzido significativamente as vazões (WILLIAMS, et al. 2005; WARD, et al. 2015; WARD, et al. 2016), o que afeta o nível da coluna d'água no Amapá (Matapi).

Portanto, hidrologicamente, o impacto imediato da baixa precipitação nas bacias pode ser observado nas descargas líquidas dos rios, reduzindo seus fluxos em relação aos anos considerados climatologicamente normais, resultando em menor recarga hidráulica como contribuição hídrica para o lençol freático (GUEDES, et al. 2013) e elevadas taxas de evapotranspiração nos períodos mais secos, principalmente em bacias mais vulneráveis ou desmatadas (OLIVEIRA, et al. 2010; ROCHA, et al. 2014).

Por outro lado, a magnitude da redução de vazão depende de outros fatores associados, não apenas a ocorrência do El Niño, como baixo estoque hídrico em período anterior (GUEDES, et al. 2013; SOUZA, et al. 2014), desmatamento, que altera o ciclo hidrológico através da diminuição da evapotranspiração e do aumento do escoamento superficial, pois o solo exposto reduz a quantidade de água que percola para o subsolo (SENA, et al. 2012).

Segundo Gallo e Vinzon (2005), a duração das marés também varia espacialmente, e sua compreensão é necessária para importantes aplicações ambientais, tais como determinação do tempo de inundação em uma determinada área, aquicultura (forças das correntes em tanques-rede e dispersão de matéria orgânica) (TAVARES-DIAS, 2012; SOUZA, 2016), navegação e atracamento de embarcações, estudos de dispersão de cargas e engenharia ecológica e ambiental (CUNHA, et al. 2012; PEREIRA, et al. 2014).

As variações sazonais da descarga líquida implicam diretamente no volume de um corpo hídrico, favorecendo vários serviços ambientais durante os períodos mais chuvosos. Por exemplo, a capacidade de autodepuração da corrente (reaeração atmosférica), pois favorece maior diluição e turbulência ocasionada ao escoamento, cujo papel é promover também a difusão turbulenta/molecular nos processos biogeoquímicos das bacias.

Analisando-se do ponto de vista sanitário, por exemplo, mantendo-se inalterada uma fonte poluente (matéria orgânica, efluente, etc.), há a tendência de aumentar a concentração desses, principalmente no período seco, devido ao menor volume d'água disponível e dependendo da composição desses resíduos, podendo trazer consequências à sociedade e à biota local, promovendo desequilíbrio de comunidades biológicas. Por exemplo, empreendimentos econômicos ou sistemas de captação de água de interesse público, necessitam de água com qualidade satisfatória (WARD, et al. 2013; OLIVEIRA E CUNHA, 2014; MONTEIRO, et al. 2015; WARD, et al. 2015; WARD, et al. 2016) dependendo do foco objetivo para seu correto uso, sob o risco de inviabilizar ou encarecer o processo sob a disponibilidade de água com composição inadequada.

A hidrodinâmica de inversão das marés pode agravar ainda mais a dispersão de poluentes na água. Como descrevem Cunha, et al. (2011), ao simularem o comportamento dispersivos de várias fontes de poluição no baixo curso do Rio Matapi ($\approx 14,5$ km de distância da seção de monitoramento desta investigação). Perceberam que, conforme a dinâmica de inversão da maré se desenvolve, poderá ocorrer também o “aprisionamento” hidráulico das plumas próximas às suas respectivas fontes geradoras, o que poderia ser crítico em períodos mais secos. Por exemplo, situações semelhantes em momentos sazonais críticos poderiam ser prejudiciais aos sistemas de produção em tanques-redes nestes ambientes de várzeas.

Alguns processos erosivos e de sedimentação, dependentes da velocidade das correntes em um estuário, são responsáveis pela constante modificação de sua geomorfologia (PEREIRA, et al. 2010; GONZÁLEZ, et al. 2010). Seu entendimento é importante, principalmente, para a navegação e caracterização dos ecossistemas.

No que tange as variáveis atuantes na capacidade de autodepuração dos corpos d'água naturais, diversos fatores estão envolvidos nesse processo, sendo a velocidade e a descarga líquida as principais componentes geradoras da turbulência e de processos de mistura. Mas, inversamente proporcional, a profundidade do escoamento influencia direta e negativamente os processos advectivos e dispersão de constituintes da água, pois tendem a aumentar a estratificação térmica e de oxigênio dissolvido, dificultando a degradação em maiores profundidades (CUNHA, et al. 2011; ABREU E CUNHA, 2015; ROVERSI, et al. 2016).

Logo, mudanças no padrão de escoamento geram mudanças na capacidade autodepurativa, redução de volume d'água disponível, bem como aumento do tempo de residência médio do escoamento, concentrando poluentes, se comparado a condições climáticas normais (ABREU E CUNHA, 2015), caracterizados como serviços ambientais fundamentais dos ecossistemas aquáticos.

A explicação sobre a variação da coluna d'água é devido a influência de forças astronômicas (NICOLITE, et al. 2009, ROVERSI, et al. 2016) e pluviosidade. Nesta região de mesomares, no período chuvoso amazônico, os rios sobem até 4,0 m, alcançando um máximo no período de enchente, nos dias de lua cheia e nova (sizígia) (CUNHA, et al. 2013).

Devido ao efeito de “represamento” hidráulico pelo Rio Amazonas, durante a maré enchente, o nível da coluna d'água do Rio Matapi tende a subir mais ainda, promovendo maior área de alagamento dentro das margens e da floresta de várzea. Estes processos são típicos desta região, favorecendo a troca de nutrientes, matéria orgânica e energia entre esses ecossistemas (WARD, et al. 2013; WARD, et al. 2015 e WARD, et al. 2016). Essa variação é essencial para a manutenção da qualidade ambiental, social e econômica do estuário amazônico (GALLO E VINZON, 2005; REBOUÇAS, et al. 2006).

Mas a baixa pluviosidade reduz o nível máximo que a coluna d'água atinge normalmente, impedindo essa troca ou conexão entre os ambientes aquático e terrestre alagável (pulso de inundação) (CUNHA, et al. 2013). Em um evento adverso de seca, pode resultar sérios impactos ambientais à biota de ambos os ambientes, o que também pode causar perturbações ecológicas consideráveis. No longo prazo, mantida a frequência desses eventos climáticos adversos, este poderia ter um efeito irreversível para os ecossistemas locais da Amazônia.

Contudo, não é possível afirmar se houve mudanças significativas do nível da coluna d'água em relação a anos anteriores, pois não há dados relativos a estes na estação fluviométrica correlacionada da ANA (2016). Logo, essa análise deverá ser efetuada

futuramente, comparando-se os valores atuais com anos climatologicamente normais posteriores a 2015.

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) descrito por Souza et al., (2014), a Amazônia apresentará as seguintes condições hidroclimáticas futuras: reduções percentuais de 10% na distribuição de chuva e aumento de temperatura de 1° a 1,5 °C até 2040, mantendo a tendência de diminuição de 25% a 30% nas chuvas e aumento de temperatura entre 3° e 3,5 °C no período 2041-2070, e redução nas chuvas de 40% a 45% e aumento de 5° a 6° C na temperatura no final do século (2071-2100). Mas é importante frisar que os anos de 2014 e 2015 foram anos atípicos em relação a diminuição das chuvas, portanto não é seguro concluir sobre qualquer hipótese apenas baseado nesse ano.

Os referidos autores do PBMC (2014) sugerem ainda que, com base em estudos observacionais e de modelagem numérica, caso o desmatamento na Amazônia alcance 40% na região, estima-se mudança drástica no padrão do ciclo hidrológico com redução de 40% na chuva durante os meses de julho a novembro, prolongando a duração da estação seca, além do aquecimento superficial em até 4 °C. Assim, as mudanças regionais decorrentes do efeito do desmatamento somam-se àquelas provenientes das mudanças globais, constituindo condições propícias à savanização da Amazônia, um problema que tende a ser mais crítico na porção oriental da região, onde estão localizados o estado do Amapá.

5. CONCLUSÃO

Os resultados das análises comparativas hidrodinâmicas e meteorológicas confirmam a hipótese do potencial efeito negativo do fenômeno El Niño sobre os índices de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Matapi. Esta hipótese é fundamentada na redução diretamente proporcional das chuvas na região, cuja consequência foi a significativa redução da vazão do Rio Matapi em 2015, quando comparada com outras medidas realizadas por diferentes autores e em períodos mensais semelhantes.

Em relação às descargas líquidas do Rio Matapi, o padrão dos fluxos de marés (período de enchente, período de vazante, etc.) no local foram evidentemente dependentes das do Rio Amazonas, mas fundamentalmente amenizados pelos efeitos da precipitação na própria bacia, conforme o período do ano. Neste caso, significativamente distintos ($p < 0,05$) quando comparados com outros estudos realizados no mesmo rio e nos mesmos períodos sazonais (2015 versus 2001, 2005 e 2007). Nestas comparações, porém, houve apenas variação espacial relacionadas com sensíveis diferenças entre as fases das marés de sizígia em alguns meses.

O padrão e sentido do escoamento (vazão - enchente e vazante), foram significativamente menores em relação aos experimentos similares em anos considerados climatologicamente normais na bacia do Rio Matapi. Deste modo, a hipótese da variabilidade climática de curto prazo foi **confirmada**, a qual sugere um significativo forte impacto sobre o padrão hidrodinâmico/hidrológico do trecho de rio estudado da bacia.

As alterações do padrão hidrodinâmico dos rios podem ter consequências, como a redução da amplitude do nível de maré em períodos mais secos e vice-versa. Dentre as mais evidentes: causar redução severa do fluxo hídrico superficial em certos períodos do ano e até mesmo durante todo o ano, como foi o caso de 2015. Mas as forçantes hidroclimáticas adversas também tendem a comprometer direta e indiretamente as características ecológicas, tais como o equilíbrio estabelecido da cadeia alimentar, bem como outras interações ecológicas – biogeoquímica, autodepuração, capacidade de diluição de poluentes e transporte de constituintes da água para a terra e vice-versa.

Ainda, reduções bruscas da vazão, do ponto de vista da gestão ambiental, são importantes porque podem agravar problemas socioeconômicos pré-existentes relacionados a pesca, aquicultura, turismo, saneamento, navegação, etc, principalmente no alto curso da bacia devido à redução mais significativa da amplitude ou variação do nível da água e,

consequente, mais restrições à navegação e potencial aumento da concentração de poluentes em ambientes insalubres próximos de adensamentos de povoados na Amazônia, e alterações da qualidade da água (saneamento).

Por ser um tema pouco estudado, mas muito relevante para estudar os ambientes de várzeas, tem se elevado o número de pesquisadores na Amazônia que estudam estes ambientes, considerando a hidrodinâmica como elemento chave nos ciclos biogeoquímicos e hidrológico na região estuarina do “Continuum Amazônico” (CUNHA, et al. 2012; WARD, et al. 2013; WARD, et al. 2015; WARD, et al. 2016; SOUZA, et al. 2016), no qual se insere o Rio Matapi. Estes referidos autores preocupam-se com os impactos das mudanças do clima sobre o equilíbrio ecológicos dos ecossistemas aquáticos da Amazônia Oriental, e atualmente são considerados como da maior relevância, pois problemas hidrológicos de grande e pequenas escalas tendem a se intensificar no curto, médio e longo prazos, e com maior frequência.

As implicações ecológicas e ambientais das alterações hidroclimáticas, como afirmam Souza, et al. (2014), tornam-se praticamente imprevisíveis nestes ambientes tão pouco conhecidos da Amazônia. Infere-se, contudo, com base apenas nas informações obtidas na presente pesquisa, que a maioria dos parâmetros hidrodinâmicos, associados aos serviços ambientais, tendem também a ser reduzidos em escala local, prejudicando sua resiliência, tais como a perda da capacidade de diluição, redução da reaeração, aumento da erosão da área de drenagem da bacia, intensificação de processos hidrossedimentométricos, aumento das taxas de evapotranspiração, perturbações significativas sobre a biota animal e vegetal e até o aumento das emissões de GEEs (CUNHA, et al. 2011).

Do mesmo modo, os impactos das interações do ciclo hidrológico com outros processos biogeoquímicas entre floresta-água-atmosfera tendem a ser perturbadas ou ecologicamente mais desequilibrados, suas respostas tornam-se mais imprevisíveis, como por exemplo a perda do equilíbrio adaptativo das cadeias alimentares de espécies aquáticas e florestais da várzea, cuja consequência direta poderia também afetar o modo de vida de populações humanas ribeirinhas que interagem e necessitam dos serviços ambientais desses ecossistemas.

Conclui-se que os estudos dos impactos de variações hidroclimáticas de curto prazo no padrão hidrodinâmico do Rio Matapi, típico de estuário do Rio Amazonas, é uma contribuição relevante para os estudos dos ecossistemas aquáticos regional. A principal contribuição desta investigação é demonstrar como estes ambientes são extremamente vulneráveis às mudanças climáticas e ao uso e ocupação antrópica. E, por estes motivos, têm

importância ambiental regional prioritária. É mais uma contribuição científica sobre os impactos das mudanças do clima sobre os ecossistemas aquáticos da várzea.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C.; **Qualidade da água em ecossistemas aquáticos tropicais sob impactos ambientais no baixo Rio Jari-AP: revisão descritiva.** Biota Amazônia, v. 5, n. 2, Macapá, 2015. p. 119-131. DOI: <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v5n2p119-131>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://gestorpcd.ana.gov.br/Mapa.aspx>>. Acesso em: 13 março 2016.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável.** 2ª ed. São Paulo, Pearsom Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357** - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

BRASIL. **LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Jan. / 1997.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. **The value of ecosystem services: putting the issues in perspective.** Ecological Economics, v. 25, p. 67-72, 1998.

CUNHA, A. C.; NAZARÉ, A. S.; PANTOJA, S.; CUNHA, H. F. A. **Monitoramento de águas superficiais em rios estuarinos do Estado do Amapá sob poluição microbiológica.** Bol. Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 1, jan.-abr. 2003. p. 141-148.

CUNHA, A. C. CUNHA, H. F. A. JÚNIOR, A. C. P. B. DANIEL, L. A. & SCHULZ, H. E. **Qualidade Microbiológica da Água em Rios de Áreas Urbanas e Periurbanas no Baixo Amazonas: O Caso do Amapá.** Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, 322-328.

CUNHA, A. C.; PINHEIRO, L. A. R.; CUNHA, H. F. A.; SCHULZ, H. E.; BRASIL JR., A. C. P.; SOUZA, E. B.; **Simulação da hidrodinâmica e dispersão de poluentes com monitoramento virtual no Rio Matapi-AP.** Revista de Estudos Ambientais, v. 13, n. 2, jul./dez. 2011. p. 18-32.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C ; BRASIL JUNIOR, A. C. ; PINHEIRO, L. A. R. ; CUNHA, H. F. A. ; KRUSCHE, A. V. . **Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin.** In: Harry Edmar Schulz; André Luiz Andrade Simões; Raquel Jahara Lobosco. (Org.). Hydrodynamics: Natural Water Bodies . Book3. 1ed.Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka,.: InTech - Croacia, 2012, v. 3, p. 67-88 (DOI: 10.5772/27796)

CUNHA, A. C.; SANTOS, E. W. G.; SANTOS, E.; GUEDES, M. C. ; OLIVEIRA, G. P.; BLANCO, C. J. C. ; ROSMAN, P. C. C.. **Importância da hidrodinâmica na dispersão de sementes em sistemas florestais do Baixo Estuário Amazônico**. In: Rogério de Paula Lana, Geicimara Guimarães e Gumercindo Souza Lima. (Org.). Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável (5: 2013) e Congresso Internacional de Agropecuária Sustentável (2: 2013). 1ed.Viçosa: Editora UFV, 2013, v. 1, p. 53-113.

CUNHA, A. C.; VILHENA, J. E. S. ; SANTOS, E. ; SARAIVA J. B. ; KUHN, P. A.F. ; BRITO, D. C ; SOUZA, E. B. ; ROCHA, E. P. ; CUNHA, H. F. A. ; BRITO, A. U. ; BRASIL JUNIOR, A. C. P.; PACA, V. H. ; SANTOS, P. V. C. J. . **Evento extremo de chuva-vazão na bacia hidrográfica do rio Araguari, Amapá, Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 29, p. 95-110, 2014.

FERNANDES, A. L. T.; FONSECA, V. M.; CAMPOS, Y. O. **Climatologia**. Ed. Universidade Federal de Uberada, Uberaba, 2012. 136p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **2015-2016 El Niño: Early action and response for agriculture, food security and nutrition**. v. 7, Rome, may. 2016.

GALLO, M. N.; VINZON, S. B.; **Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary**. Ocean Dynamics. v. 55, 2005. p. 441-448. DOI 10.1007/s10236-005-0003-8.

GARCEZ, L. N. & ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª Edição. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 2002.

GONZÁLEZ, C. J.; ÁLVAREZ, Ó.; REYES, J.; ACEVEDO, A. **Modelado bidimensional de la hidrodinámica y transporte de sediment en el caño de marea San Pedro (Bahía de Cádiz): Implicaciones morfodinámicas**. Ciencias Marinas. v. 34, n. 4, 2010. p. 393-412.

GUEDES, A. E. D. S.; CÂNDIDO, L. A.; SANTO, A. R. S. E.; **Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia**. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v. 8, n. 2, 2013. p. 88-99. doi: 10.4136/ambi-agua.1137.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em: 02 junho 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Disponível em: < <http://www.inpe.br/>>. Acesso em: 01 junho 2016.

MARTINEZ, J. M.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; SONDAG, F. **Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data**. Elsevier B. V., Catena, v.79, 2009. p. 257-264. DOI: 10.1016/j.catena.2009.05.011

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. **O aproveitamento da energia eólica**. Revista Brasileira de Ensino da Física, vol. 30, n. 1, São Paulo, 2008.

MEGGERS, B. J. **Archeological evidence for the impact of mega-*niño* events on Amazonia during the past two millennia**. *Climatic Change*, v. 28, 1994. p. 321-338.

MONTEIRO, S. M.; EL-ROBRINE, M.; ALVES, I. C. C. **Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico**. *Mercator*, v. 14, n. 1, p. 151-162, Fortaleza, jan. / abr. 2015.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. Earth Observatory. Disponível em : <<http://earthobservatory.nasa.gov>>. Acesso em 01 de julho de 2016.

NICOLITE, M.; TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, C. E. V. **Oscilação do nível de água e a co-oscilação da mare astronômica no baixo estuário do Rio Paraíba do Sul, RJ**. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 2, 2009. P. 225-239.

NUNES FILHO, J. R. **Modelagem da inundação de florestas de várzea do Estuário Amazônico**, 2016, 125f. Dissertação (Mestrado em Uso sustentável da biodiversidade). Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical – PPGBio, Macapá, 2016.

OLIVEIRA, L.L., CUNHA, A.C., JESUS, E.S., BARRETO, N.J.C. **Características Hidroclimáticas da Bacia do Rio Araguari**. In: Cunha, A.C., Souza, E.B., Cunha, H.F.A. (Eds.), *Tempo, Clima e Recursos Hídricos - Resultados Do Projeto REMETAP No Estado Do Amapá*. IEPA, 2010. p. 216.

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. **Correlação entre a qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá**. *Revista Ambiente & Água*, vol. 9, n. 2, Taubaté – Apr. / Jun. 2014. doi: 10.4136/ambi-agua.1287.

PEREIRA, M. D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B.; SCHETTINI, C. A. F. **Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por mare: Estuário de Caravelas (BA)**. *Revista Brasileira de Geofísica*. v. 28, n. 3, 2010. p. 427-444.

PEREIRA, N. N. ; BOTTER, R. C. ; FOLENA, R. D. ; PEREIRA, J. P. F. N. ; CUNHA, A. C. **Ballast water: A threat to the Amazon Basin**. *Marine Pollution Bulletin.*, v. 84, p. 330-338, 2014.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3. Ed. Revisada e Ampliada. Editora Escritura. São Paulo, 2006.

ROCHA, V. M.; CORREIRA, F. W. S.; FONSECA, P. A. M. **Reciclagem e precipitação na Amazônia: um estudo de revisão**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 1, 2014. p. 59-70.

ROVERSI, F.; ROSMAN, P. C. C.; HARARI, J. **Análise da renovação das águas do Sistema Estuarino de Santos usando modelagem computacional**. *Revista Ambiente e Água*, vol. 11, n. 3, Taubaté – jul./set. 2016. p. 566-585. doi:10.4136/ambi-agua.1770.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, 2001. 372 p.

SANTOS, E. S. **Modelagem Hidrodinâmica e Qualidade da Água na Foz do Rio Araguari, Amapá – Amazônia Oriental – Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical: 2012. p. 113.

SANTOS, E. S. ; CUNHA, A. C. ; CUNHA, E. D. S. . **Análise Espaço-sazonal da Qualidade da Água na Zona Flúvio-Marinha do Rio Araguari-Amazônia Oriental-Brasil**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, p. 215-226, 2014.

SENA, J. A.; DEUS, L. A. B.; FREITAS, M. A. V.; COSTA, L. **Extreme eventos of droughts and floods in Amazonia: 2005 and 2009**. Water Resour Manage, v. 26, 2012. p. 1665-1676. DOI 10.1007/s11269-012-9978-3.

SERRÃO, E. A. O.; SANTOS, C. A.; WANZELER, R. T. S.; GONÇALVES, L. J. M.; LIMA, A. M. M. **Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: análise da bacia hidrográfica do Rio Solimões**. Rev. Geogr. Acadêmica, v. 9, n. 2, 2015. p. 5-20.

SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. **Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do Rio Paraopeba**. Revista Ambiente e Água. Vol. 10, n. 3, Taubaté, Jul. / Sep. 2015. DOI: 10.4136/ambi-agua.1587

SILVA, S. H.; NODA, S. N.; **A dinâmica entre as águas e terras na Amazônia e seus efeitos sobre as várzeas**. Revista Ambiente e Água, v. 11, n. 2, Taubaté – Apr. / Jun. 2016. doi:10.4136/ambi-agua.1805.

SONTEK/YSI. RiverSurveyorS5/M9. **System Manual**, 2011.

SOUZA, E. B. ; LOPES, M. N.G. ; ROCHA, E. J. P. da ; SOUZA, J. R. S. de ; CUNHA, A. C. ; SILVA, R. R. da ; FERREIRA, D. B.S. ; SANTOS, D. M. ; CARMO, A. M.C. do ; SOUSA, J. R. A. de ; GUIMARÃES, P. L. ; MOTA, M. A. S. da ; MAKINO, M. ; SENNA, R. C. ; SOUSA, A. M. L. ; MOTA, G. V. ; KUHN, P. A. F. ; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. **Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3**. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 24, p. 111-124, 2009.

SOUZA, E. S. ; MANZI, A. O. ; CUNHA, A. C. ; SAMPAIO, G. ; CANDIDO, L. A. ; Rocha, E. P. ; ALVES, J. M. B. ; CARDOSO, M. F. ; SOUSA, A. M. L. ; COUTINHO, M. M. . **Capítulo 9 Mudanças Ambientais de Curto E Longo Prazo: Projeções, Reversibilidade e Atribuição**. In: [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. (Org.). Base científicas das mudanças climáticas Volume 1 - Primeiro relatório de avaliação nacional. 1ed. Rio de Janeiro, RJ: Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, 2014, v. 1, p. 322-336

SOUZA, L. J. A. **Variação espaço-sazonal da qualidade da água: subsídio à criação de peixes em tanques-rede no Baixo Matapi-AP**, 2016, 66f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Tropical). Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Tropical – PPGBio, Macapá, 2016.

TAVARES, M. (coord). **Tecnologias para a produção do tambaqui em sistemas de tanque-rede – TecRede**. Projeto de Pesquisa, nº 23125.002419/2014-07. 2014

TAKIYAMA, L. R.; CUNHA, A. C.; SILVA, M. S.; MARTINS, M. H. A.; RODRIGUES, L. J. C.; AVELAR, S. B.; DIAS, R. **Subsídios à gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Matapi**. Relatório Técnico Final. Processo CNPq No. 504083/2003-1. IEPA/ GERCO-AP, Macapá, Jul. 2007.

TORRES, A. M.; EL-ROBRINI, M. **Amapá**. In: MUEHE, D. (Org.). Erosão e prograduação do litoral brasileiro. Brasília, MMA, 2006. p. 11-40.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. Ed. Geographica, 2008. 234p.

TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2 ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ UFRGS, Porto Alegre, ABRH, 2014.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Tradução da 2ª edição norte-americana. Revisão técnica: FIGUEIRA NETTO, C. A. M.; REIS, L. B. São Paulo, 2011.

WARD, N. D. ; KEIL, R. G. ; MEDEIROS, P. M. ; BRITO, D. C. ; CUNHA, A. C. ; DITTMAR, T. ; YAGER, P. L. ; KRUSCHE, A. V. ; RICHEY, J. E. . **Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River**. Nature Geoscience (Print), v. 6, p. 530-533, 2013.

WARD, N. D. ; KRUSCHE, A. V. ; SAWAKUCHI, H. O. ; BRITO, D. C. ; CUNHA, A. C. ; MOURA, J. M. S. ; DA SILVA, R. ; YAGER, P. L. ; KEIL, R. G. ; RICHEY, J. E. . **The compositional evolution of dissolved and particulate organic matter along the lower Amazon River-Óbidos to the ocean**. Marine Chemistry (Print), v. 177, p. 244-256, 2015.

WARD, N. D. ; BIANCHI, T. S. ; SAWAKUCHI, H. O. ; GAGNE-MAYNARD, W. ; CUNHA, A. C. ; BRITO, D. C. ; NEU, V. ; VALERIO, A. M. ; SILVA, R. ; KRUSCHE, A. V. ; RICHEY, J. E. ; KEIL, RICHARD G. . **The reactivity of plant-derived organic matter and the potential importance of priming effects along the lower Amazon River**. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, v. 121, p. xx-xx, 2016 (DOI: 10.1002/2016JG003342)

WILLIAMS, E.; DALL' ANTONIA, A.; DALL' ANTONIA, V.; ALMEIDA, J. M.; SUAREZ, F.; LIEBMANN, B.; MAHADO, A. C. M. **The drought of the century in the Amazon Basin: an analysis of the regional variation of rainfall in South America in 1926**. Acta Amazonica, v. 35, n. 2, 2005. p. 231-238.

YOON, J. H.; ZENG, N. **An Atlantic influence on Amazon rainfall**. Clim Dyn. v. 34, (2009). p. 249-264. DOI 10.1007/s00382-009-0551-6.