UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TEMPO DE INUNDAÇÃO DA ILHA DE SIRITUBA (ABAETETUBA, PA)

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

CLÁUDIA VIANA ARAÚJO

Orientador: Msc. Mauricio da Silva da Costa (UFPA)
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)

BELÉM
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TEMPO DE INUNDAÇÃO DA ILHA DE SIRITUBA (ABAETETUBA, PA)

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

CLÁUDIA VIANA ARAÚJO

BELÉM
2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Araújo, Cláudia Viana, 1991-
Tempo de inundação da ilha de Sirituba (Abaetetuba, PA) / Cláudia Viana Araújo. – 2017.
xiii, 36 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Maurício da Silva da Costa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2017.

1. Planícies de maré – Sirituba (PA). 2. Marés. 3. Análise harmônica. 4. Temperatura – Variações sazonais - Sirituba (PA). I. Título.

CDD 22. ed.: 551.457098115

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TEMPO DE INUNDAÇÃO DA ILHA DE SIRITUBA (ABAETETUBA, PA).

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR:

CLÁUDIA VIANA ARAÚJO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em OCEANOGRAFIA

Data de Aprovação: 05 de abril de 2017

Conceito: Bom

Banca Examinadora:

_____
Mauricio da Silva da Costa - Orientador
Msc. em Geologia e Geoquímica - UFPA

_____
Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Coorientador
Universidade Federal do Pará - UFPA

_____
Thaís Angélica da Costa Borba - Membro
Msc. em Geofísica Marinha

_____
Inaê Nascimento – Membro
Msc. em Biologia Ambiental

Aos meus pais e avós, que sempre me apoiaram na realização dos meus sonhos e por todos ensinamentos diários de gratidão, respeito e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, e por me aparar sempre. Deus é bom o tempo todo e o tempo todo Deus é bom!

À minha família, meus pais Célia e Cláudio, meus avós Anastácia e Viana, e minha irmã Cassia, principalmente por acreditarem em mim, pela paciência, incentivo e apoio incondicional não apenas durante a realização desta conquista, mas em todos os momentos, meu amor por vocês é imensurável. Em especial a minha mãe, por ser o meu maior exemplo de mulher, por cada esforço e dedicação na minha educação e por ser simplesmente essa pessoa incrível que sempre tenta compreender qualquer situação para que juntas possamos buscar uma solução! Te amo mais que tudo mãezinha!

A minha madrinha Socorro por ser uma segunda mãe pra mim e por se disponibilizar a ajudar nos momentos que eu mais precisei.

Ao meu orientador Mauricio, por toda paciência, dedicação, conhecimentos e profissionalismo, eu não tenho dúvidas do grande profissional que tu es e que sorte a minha de ter tido a oportunidade de cruzar teu caminho. Sou grata por todo conhecimento que você me proporcionou. E claro agradeço por termos criado uma amizade que será levada por toda vida!

Ao meu estimado professor Marcelo Rollnic, por me inserir em seu grupo de trabalho e me proporcionar a oportunidade de trabalhar com grandes profissionais. Grata por sua confiança, é uma honra trabalhar com você. Agradeço a todos companheiros do laboratório LOF, em especial Rayssa e Adriel, pois estávamos juntos em meio a toda correria.

À tia Leila *(in memorian),* que me fez colocar em pratica o real sentido do amor ao próximo, a todas as lições de vida que aprendi ao acompanhar sua batalha, e hoje sou uma pessoa bem melhor por conta de todas essas lições. Hoje cuidamos da maior lembrança que a senhora nos deixou, o Arthur, a nossa criança, que me proporciona um amor diferente de todos os outros que eu já senti e que eu não consigo mais viver sem, faço o possível pra me tornar cada dia melhor por ele e pra ele e em primeiro lugar ele tem que está bem para que assim eu também possa estar.

À minha amiga Naira, por sua amizade, incentivo, força, companheirismo e paciência, por tudo que representas em minha vida! Á você minha gratidão por todos os momentos juntas, seria ironia dizer que eu escolhi tua amizade dentre tantas, mas não tenho dúvidas que não foi eu, fomos escolhidas por Deus pra estarmos uma do lado da outra em cada situação. Sei o quanto nossa amizade é valiosa e verdadeira devido cada experiência que fomos capazes de superar, e hoje em dia você já faz parte da minha família! Que as alegrias sejam constantes em

nossas vidas e que os momentos difíceis nos fortaleça cada vez mais como amigas. Que Deus abençoe nossa cumplicidade sempre! Obrigada por tudo, e sempre estarei do seu lado para o que você precisar! Te amo!

A minha grande amiga de curso Mayara, por todos os momentos juntas e mesmo quando estávamos ferradas nos proporcionávamos sorrisos, e como grandes amigas, começamos juntas e vamos terminar juntas! Ao meu também amigo de curso Davi, por sempre me descontrair e me dar força!

As minhas grandes amigas Rita, Manu, Rayssa e Helem, por serem as melhores sempre. E quando eu preciso estão ao meu lado, me aconselhando, apoiando e incentivando.

À todos familiares e amigos que fizeram parte dessa minha trajetória.

“É o tempo da travessia: e, se não ousarmos fazê-la, teremos ficado para sempre, à margem de nós mesmos.”

Fernando Teixeira de Andrade.

RESUMO

Este trabalho contribui para o estudo do nível da água e co-oscilação da maré sobre a planície de inundação, considerando a influência da maré como principal forçante na região. A maré é a variação do nível do mar causado por forçantes astronômicas, sua propagação em um estuário é resultado principalmente de seu movimento oscilatório na desembocadura e do escoamento fluvial. Na região das ilhas de Abaetetuba, poucas localidades se caracterizam por terra firme, estando a maior parte sujeita a inundações devido ao período de cheia dos rios e a co-oscilação diária da maré, apresentando a predominância de floresta tipo várzea de estuário. O rio Pará é o principal rio que abrange o município de Abaetetuba predominando seu padrão físico e dinâmico. O estudo foi desenvolvido na ilha de Sirituba (Abaetetuba, PA), em épocas de maré de sizígia, considerado um ambiente de mesomaré com predominância de maré semidiurna, e paralelamente foi monitorada a maré na cidade de Belém para correlacionar com a região de Abaetetuba, durante o mesmo período. Para tal análise foi adquirido um ano de dados no qual a metodologia de coleta, consistiu na instalação de dois sensores de pressão um localizado no rio e o outro na planície, após serem obtidos, os dados foram tratados em plataforma Matlab. Neste contexto foi identificado o padrão de propagação de mare, e seus principais tributários, além dos seus principais harmônicos, diferenças de fases, e sazonalidade que é um fator determinante na área de estudo, abondando sempre um período seco e chuvoso. Apesar de ser um ambiente exposto aos efeitos da maré, a área sujeita ao alagamento muda drasticamente devido a flutuação sazonal do nível do rio. A região apresenta amplitudes de até 3,6 metros na sizígia, a assimetria é marcante e classifica o estuário como assimétrico.

Palavras-chave: Planície de inundação, Maré, Principais Harmônicos, Sazonalidade, Sirituba.

ABSTRACT

This work contributes to studies of water level and tide co-oscillation effects over the floodplain, considering tide effects as main forcing factor on the region. Tides consists of sea level variations caused by astronomical forcing. Their propagation on an estuary results mainly from its own oscillatory movement and river flow on the estuary mouth. On the Abaetetuba islands region, few localities are characterized as terra firme forests, since the majority of the area is prone to floods from seasonal river overflows and daily tide co-oscillations. This set of factors leads to predominance of várzea forests on the estuary. The main river encompassing the Abaetetuba municipality is Pará River, thus prevailing its physical and dynamic patterns. The present study takes place on Sirituba Island. (Abaetetuba, Pará State, Brazil), during spring tides, on a Mesotidal environment with semidiurnal tides. We monitored tides on Belém city at the same time, aiming to compare both regions during the same period. For our analysis, we gathered data during a year, by means of installing two pressure sensors, one on the river and one on the floodplain. Data treatment was made on Matlab software. On this context, we determined patterns of tide propagation and the river's principal tributaries, as well as its main harmonics, phase changes and seasonality. This last is a major factor on the study area, consisting always of a rainy and a dry period. Although exposed directly to tide effects, the area subject to flooding change drastically due to seasonal fluctuation of river water levels. The region has tide ranges up to 3.6 meters on spring tides and marked asymmetry, which classifies the estuary as asymmetric.

Keywords: Floodplain, Tide, Main Harmonics, Seasonality, Sirituba.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Forças geradoras da maré (Franco, 1997). 18
Figura 2: Influência do sol nas marés. Quando o sistema está alinhado, tem-se as marés de sizígia, do contrário, tem-se as marés de quadratura. Modificado de Park (2008). 19
Figura 3: Oscilação periódica da maré em relação ao nível médio (Modificado de Miranda 2002). 20
Figura 4: Curvas de maré para os três tipos comuns de maré (Modificado de Garrison, 2010). 21
Figura 5:Representação do somatório de componentes harmônicas. (Modificado de Alfredini 2009). 22
Figura 6: [a] Altura de maré ao longo da costa brasileira (Modificado de Freitas 2011). [b] Posicionamento dos pontos anfidrômicos do Atlântico Sul (Modificado de PUGH, 1987). ... 23
Figura 7: Representação esquemática de um estuário e dos seus setores (adaptado de Fairbridge, 1980). 25
Figura 8: Representação do ambiente estuarino e isolinhas de salinidade de acordo com suas zonas (Modificado de Miranda 2002). 25
Figura 9: Classificação dos estuários (Modificado de Dyer 1997). 26
Figura 10: Delimitação da área do município de Abaetetuba (Pará), em colorido a região das ilhas (em destaque a localidade de Sirituba), em vermelho a Sede (centro comercial) do município. 28
Figura 11: Variação anual da vazão, apresentando curvas de máximo, média e mínimo. 29
Figura 12: Climatologia da precipitação mensal e anual para um período chuvoso (Abril) e seco para (Setembro). Fonte: INMET. 30
Figura 13: Localização dos sensores de pressão instalados no Rio e na Planície de Inundação de Sirituba (Abaetetuba, Pará). 31
Figura 14: Sensor utilizado para coleta de dados, instalado na planície de inundação de Sirituba (Abaetetuba, Pará). 32
Figura 15: Relação da variação da maré no período chuvoso (Abril), comparando as localidades de Abaetetuba e Belém. 34
Figura 16: Relação da variação da maré no período seco (Setembro), comparando as localidades de Abaetetuba e Belém. 35
Figura 17: Amplitude e frequência das principais constituintes harmônicas de maré da estação de Abaeté. 37

Figura 18: Amplitude e frequência das principais constituintes harmônicas de maré da estação de Belém. 37
Figura 19: Comparação de previsão e observado de maré na estação Abaetetuba. 39
Figura 20: Previsão e observado de maré para Abaetetuba em um período chuvoso (Abril) e seco (Setembro). 40
Figura 21: Comparação de previsão e observado de maré na estação Belém. 40
Figura 22: Previsão e observado de maré para Belém em um período chuvoso (Abril) e seco (Setembro). 40
Figura 23: Variação da maré no rio e na planície para o mês de agosto. 41
Figura 24: Variação da maré no rio e na planície para o mês de março. 42
Figura 25: Variação da maré no rio e na planície para o mês de fevereiro. 42
Figura 26: Similaridade entre a variação da maré no rio (linha vermelha) e variação da maré na planície (linha preta) 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de maré, de acordo com Davies (1964). 19
Tabela 2: Exemplos de algumas das principais componentes harmônicas, períodos, velocidades e origens (Modificado de Pugh 1987). 23
Tabela 3: Pontos de coleta, meses de registros na planície e no rio, coordenadas e datas da coleta. 32
Tabela 4: Média dos tempos de enchente e vazante para as localidades coletadas. 36
Tabela 5: Amplitudes e fases das principais componentes harmônicas da ilha de Sirituba (Abaetetuba, PA). 38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **14**
2 JUSTIFICATIVA **16**
3 OBJETIVOS **17**
3.1 OBJETIVO GERAL 17
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 17
4 REFERENCIAL TEÓRICO 18
4.1 MARÉ 18
4.2 ESTUÁRIO 24
5 ÁREA DE ESTUDO 28
5.1 ÁREA DE ESTUDO 28
5.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS 29
6 MATERIAIS E METODOS 31
6.1 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS 31
6.2 METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE DADOS. 33
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 34
7.1 ALTURA DA MARÉ. 34
7.2 ASSIMETRIA DE MARÉ 35
7.3 ANÁLISE HARMÔNICA 36
7.4 PREVISÃO DE MARÉ 39
7.5 VARIAÇÃO DA MARÉ NA PLANÍCIE 41
8 CONCLUSÃO **44**
REFERÊNCIAS **45**

1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira Amazônica, é considerada um ambiente de instabilidade, devido ser uma região de transição entre o continente e o mar, os principais processos físicos presentes no meio são causados pela ação de maré, ondas e correntes. É uma área de forte influência entre o Oceano Atlântico e a drenagem continental, definida pela presença de feições como, planícies de maré, estuários, praias e manguezais que se expandem ao longo do Amapá, Pará e Maranhão (Souza Filho *et al* 2005).

A região Amazônica apresenta inúmeros rios, canais de maré e cursos de água, que são interligados entre si. As variações do nível dos rios Pará e Tocantins e de seus afluentes são significativas durante o ano, estão relacionadas ao regime de chuvas da região, e são variações periódicas que obedecem a um ciclo anual de fenômenos de enchentes e vazantes (Correa 2005).

O rio Pará é formado pelas águas dos rios Amazonas, através do estreito de Breves, e rio Tocantins percorrendo uma distância estimada de 300 Km até a desembocadura da baía do Marajó. A zona do rio Pará apresenta uma descarga fluvial da ordem de 10^4 m^3/s^{-1} com variabilidade sazonal de dezenas de milhares de m^3 s^{-1}, de acordo com o período chuvoso (Janeiro – Junho) e seco (Julho – Dezembro) (Prestes 2014). O estreito de breves apresenta uma vazão média de 1.038 m^3 /s, no sentido do rio Amazonas ao rio Pará (Silva 2009). O rio Tocantins possui uma descarga anual média de 12.000 m^3/s e apresenta uma carga sedimentar de aproximadamente 18.000.000 ton/ano (Latrubesse & Stevaux 2002).

A baía do Marajó se enquadra na zona de mistura, com valores de salinidades moderados a baixos no período seco, enquanto os rios Tocantins e Pará se enquadram na zona de maré, salinidade igual a zero.

Os rios Pará, Tocantins e todo complexo da baía do Marajó, são ambientes de elevada energia hidrodinâmica tendo as correntes de maré e as correntes fluviais sob a influência de ondas, como principais responsáveis pelos processo de mistura e modelagem da área (Correa 2005). O rio Pará é o principal rio que abrange o município de Abaetetuba predominando seu padrão físico e dinâmico.

O rio Pará pode ser classificado em “estuários dominados por maré”, onde as correntes de maré desempenham um papel fundamental no transporte de sedimento como descrito por Boyd *et al*. (2006), e também em “rio com maré” segundo Wells (1995), que possuem diversas características morfológicas e sedimentologias de estuário, onde as ondas de maré se propagam

por distâncias consideráveis, continente adentro e segundo as definições de Pritchard (1955), Kjerfve (1987), e Dyer (1997), se encaixa como zona de maré do rio.

As alterações na estrutura da onda de maré conforme ela se propaga em direção ao estuário acima, faz com que a maré tenha influência dominante na dinâmica estuarina (Parker 1991). Essas alterações são geradas devido ao atrito nas margens e no fundo dos estuários gerando componentes de águas rasas, nos quais se diferenciam no decorrer da propagação da maré, ocasionando uma distorção progressiva da onda e variações na altura.

Visto a importância ecológica, social e econômica e a vulnerabilidade do ambiente, compreender como a maré atua neste ambiente e a abrangência do seu efeito é fundamental no âmbito da dinâmica costeira.

2 JUSTIFICATIVA

A região Amazônica apresenta inúmeros rios, canais de maré e cursos de água, que são interligados entre si. As variações do nível dos rios Pará e Tocantins e de seus afluentes são significativas durante o ano, estão relacionadas ao regime de chuvas da região, e são variações periódicas que obedecem a um ciclo anual de fenômenos de enchentes e vazantes (Correa 2005).

Os rios Pará, Tocantins e todo complexo da baía do Marajó, são ambientes de elevada energia hidrodinâmica tendo as correntes de maré e as correntes fluviais sob a influência de ondas, como principais responsáveis pelos processo de mistura e modelagem da área (Correa 2005). O rio Pará é o principal rio que abrange o município de Abaetetuba predominando seu padrão físico e dinâmico.

A influência da maré no estuário determina o processo de mistura e circulação no ambiente, influenciando na dispersão dos poluentes e transporte de sal, sendo este último fator desprezível na área. A evolução nesses estudos a partir de equipamentos científicos, ajuda em uma maior precisão de resultados, no uso de modelos hidrodinâmicos calibrados a partir de coletas de dados realizadas na área estudada.

O ambiente de várzea no estuário serve como suporte socioeconômico para um contingente humano considerável (Hiraoka 1992, Goulding 1995). A maioria das populações dos municípios do arquipélago do Marajó, rio Pará e nos baixos cursos dos rios Amazonas, Acará, Moju e Tocantins vive literalmente sobre as várzeas. Alguns desses municípios comportam em torno de 100 mil pessoas como Abaetetuba, Cametá e Breves (Almeida *et.* 2004).

A importância desse estudo enfatiza aspectos referentes ao controle dos impactos ambientais na região de Abaetetuba, nos quais englobam situações de cheia de rios, erosão fluvial e uma maior ampliação no conhecimento de navegação nessa área em que os rios recebem um papel importante para muitas comunidades, que o utilizam como meio de transporte e comunicação.

As previsões harmônicas são geradas, para facilitar a logística de embarcações a partir das tábuas de marés, ampliando assim o conhecimento para a realização de navegações seguras.

Compreender como estes ambientes funcionam, significa interpretar a dinâmica da maré e estuários, uma vez que todos esses ambientes interligam-se para formar outro maior.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a influência da maré na ilha de Sirituba (Abaetetuba, PA).

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Comparar a variação da coluna d’água, analisando os níveis e alturas atingidos pela maré sobre a planície de inundação, e o tempo de inundação dessa área.

2. Avaliar a assimetria de maré e a progressão da onda, identificando o tempo de enchente/vazante e a variação de sua amplitude.

3. Identificar as amplitudes e fases das principais componentes de maré em Abaeté e Belém, através de análises harmônicas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 MARÉ

As marés são mudanças periódicas verticais à curto prazo da elevação do nível do mar na altura da superfície do oceano, impulsionadas pela força gravitacional da Lua e do Sol com o movimento da terra (Garrison 2010). A interação gravitacional e a inércia da força de atração entre a lua e a terra resulta nas marés lunares (figura 1), logo as marés solares resultam da interação gravitacional e inércia do sol e da terra. A influência da lua nas marés é duas vezes maior que a interação do sol.

A teoria da dinâmica das marés foi desenvolvida pelos cientistas e matemáticos, Bernoulli, Euler e Laplace. Eles tentaram compreender ondas através da relação entre bases oceânicas, força de Coriolis, inércia e forças friccionais podendo ter influência no comportamento dos fluidos sujeitos a forças rítmicas resultantes das relações orbitais entre terra, lua e sol (Park 1999).

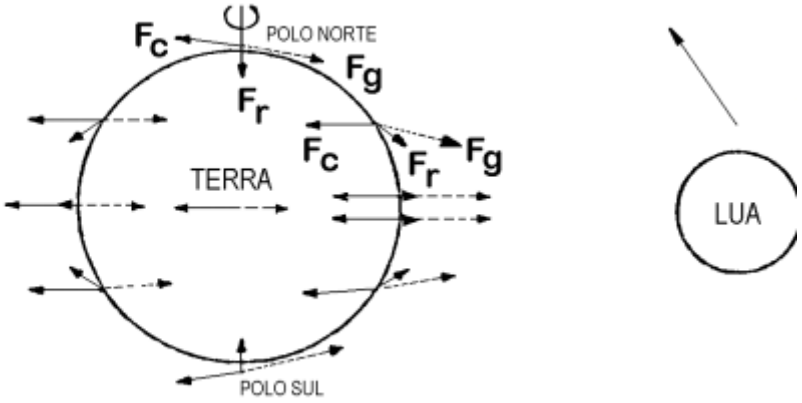

Figura 1:forças geradoras da maré (Franco 1997).

A partir da interação Terra-Lua-Sol, se observa as marés de sizígia e de quadratura. O movimento das forças gravitacionais causa mudanças na altura da maré, quando o sistema astronômico está devidamente alinhado ocorre a soma dessa força de atração, dando origem à maré de sizígia, que se caracteriza com altas preamares e baixas baixa-mares especificamente no período de lua nova e lua cheia, sendo as amplitudes de Lua cheia maiores, ocorrendo em intervalo de 14 dias. Já quando o sistema Terra- Lua-Sol não está alinhado a força de atração entre o Sol e Lua subtrai dando origem a maré de quadratura, caracterizada por preamares não tão altas e baixa-mares não tão baixas ocorrem no período do quarto crescente e no quarto minguante (figura 2).

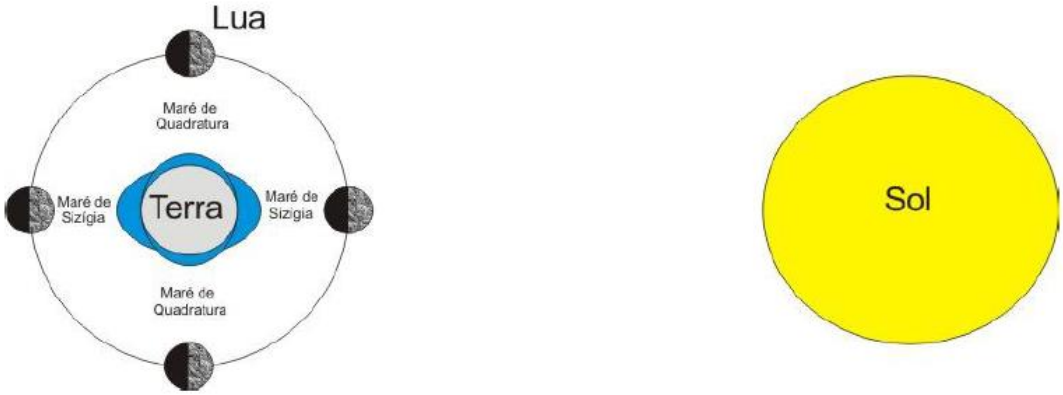

Figura 2:influência do sol nas marés. Quando o sistema está alinhado, tem-se as marés de sizígia, do contrário, tem-se as marés de quadratura. Modificado de Park (1999).

As ondas oceânicas mais longas são aquelas associadas com marés e são caracterizadas por uma origem rítmica e sua queda pelos níveis oceânicos em um período de meio à um ou até um dia (Park 1999). Desse modo as marés são conhecidas como as maiores ondas oceânicas e quando movimentadas devem obedecer as leis físicas impostas pelas forças astronômicas.

Quanto aos regimes de maré, a classificação engloba os seguintes tipos abordados na tabela 1:

Tabela 1: Classificação de maré, de acordo com Davies (1964).

Tipo	**H Máx**
Micromaré	Hmáx < 2 m
Mesomaré	2 < Hmáx < 4 m
Macromare	4 < Hmáx < 6 m
Hipermaré	Hmáx > 6 m

A amplitude da maré associada em função da velocidade da corrente é um modelador da linha de costa. No Brasil, as micromarés ocorrem nas costas Sul e Sudeste, as mesomarés atuam na costa Leste e em parte do Nordeste, e as macromarés ocorrem em parte do Nordeste e em toda costa Norte (Souza Filho 2005). As correntes de marés possuem capacidade para modificar a morfologia da linha de costa e da plataforma continental interna (Tessler & Goya 2005).

A altura de maré é a distância vertical entre uma preamar e uma baixa-mar consecutivas (figura 3). O que diferencia da amplitude de maré que é o desnível existente entre o nível médio e a crista ou cavado, igual a metade da altura de maré (Miranda *et al* 2002). A indicação das amplitudes e fases das componentes de maré, sejam as de origem puramente astronômico ou

decorrentes de águas rasas, assim como do nível médio em função das diferentes forçantes, são fundamentais na determinação da hidrodinâmica do estuário (Gallo 2004).

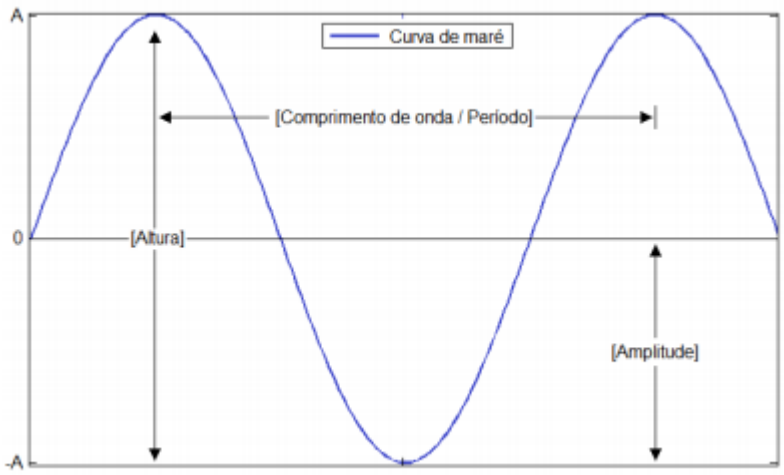

Figura 3: Oscilação periódica da maré em relação ao nível médio (Modificado de Miranda 2002).

Os períodos de preamar e baixa-mar ocorrem duas vezes por dia, e ambos período e amplitude variam de uma forma sistemática. O período é o tempo de passagem de uma crista ou cavado de ondas sucessivas por um ponto fixo, já o comprimento de onda se caracteriza pela distância entre duas cristas ou cavados sucessivos, que se propaga em um ciclo de maré e pode sofrer alterações dependendo do regime atuante no ambiente, (Franco 1997). O acesso à crista da onda é denominado preamar nível mais alto de maré, já a passagem da cava é chamada de baixa-mar nível mais baixo de maré. As correntes de maré enchente e vazante, ocasionadas pelo movimento de subida e descida do mar geram os movimentos das massas d'água, essas correntes são importantes no transporte sedimentar costeiro onde a variação da maré é considerável (Tessler & Goya 2005).

As marés podem ser classificadas em três tipos: semidiurna, diurna e mista (figura 4). O tipo de maré predominante na área do presente estudo é o de maré semidiurna, caracterizada por apresentar duas preamares e duas baixa-mares por dia. A maré diurna apresenta apenas uma preamar e uma baixa-mar no dia, enquanto maré mista apresenta variação vertical entre os dois ciclos diários. Na região norte do brasil, a predominância é de maré semidiurna (período de 12,42 horas), o espaço entre a enchente e a vazante têm um comportamento assimétrico (Miranda *et al* 2002).

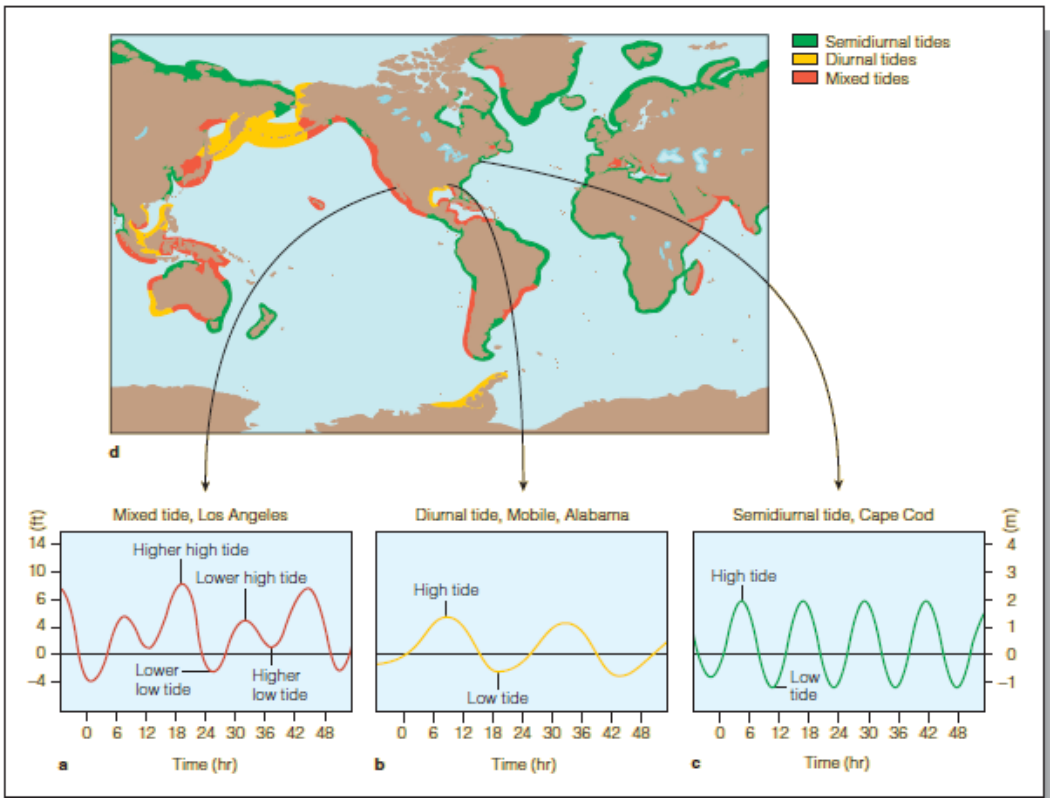

Figura 4: curvas de maré para os três tipos comuns de maré (Modificado de Garrison 2010).

A penetração da maré no estuário é o resultado da interação do escoamento fluvial e do movimento oscilatório gerado pela maré na sua embocadura, onde essas ondas longas são geralmente amortecidas e progressivamente distorcidas pelas forças do atrito no fundo e a vazão fluvial (Godin 1999). As principais forças responsáveis pela oscilação vertical da superfície dos estuários são determinadas por processos distintos nas escalas temporais compreendidas entre segundos e um ano, as principais forçantes são as ondas de gravidade superficiais, a tensão de cisalhamento do vento, a co-oscilação das marés, variações temporais nas descargas dos rios e na pressão atmosférica, assim como a co-oscilação com o levantamento pelo vento que ocorre na plataforma continental adjacente ao estuário (Miranda *et al* 2002).

As variações da altura de maré podem ser representadas pela soma de um número finito de termos harmônicos aos quais se chamam constituintes harmônicas da maré, são caracterizadas pelo seu período, fase e amplitudes, registradas em um determinado local possuem energia em várias bandas de frequência na qual se pode distinguir claramente os sete tipos de ondas constituintes da maré: longo período, diurna, semidiurna, terço-diurna, quarto-diurna, sexto-diurna e oitavo-diurna (Martins 2007).

A teoria mais aceita para determinar a modelação do comportamento da maré é o método harmônico. A principal componente harmônica lunar é a M2, com período igual a 12,42 horas.

A principal componente harmônica solar é a S2, com período de 12 horas (Sorensen 1997). No estuário, M2 é o componente harmônico mais importante, os ciclos de sizígia e quadratura são produzidos pela combinação de efeitos das componentes harmônicas principais M2 e S2. (Franco 1997).

A maré pode ser definida como somatório de componentes harmônicas, que consistem em funções sinusoidais (figura 5), com frequências diretamente relacionadas com a força responsável pela sua geração (Santos 2013). Algumas componentes harmônicas são consideradas principais por apresentar frequências e amplitudes mais significativas (tabela 2).

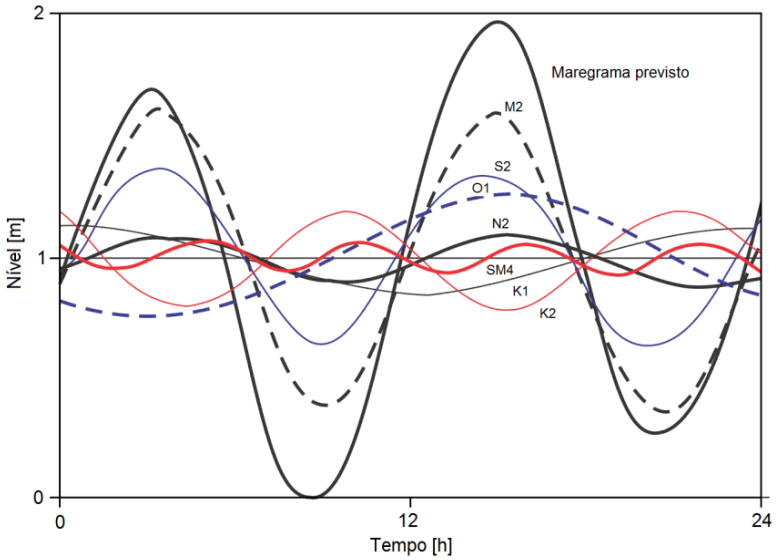

Figura 5:Representação do somatório de componentes harmônicas. (Modificado de Alfredini & Arasaki 2009).

Tabela 2: Exemplos de algumas das principais componentes harmônicas, períodos, velocidades e origens (Modificado de Pugh 1987).

Espécicie	Período (horas)	Velocidade (°/h)	Origem
Diurna			
Q1	26,87	13,39	Elíptica lunar maior
O1	25,82	13,94	Principal lunar
P1	24,07	14,95	Principal Solar
K1	23,93	15,04	Principal lunar / solar
Semidiurnas			
N2	12,66	28,43	Elíptca lunar menor
M2	12,42	28,98	Principal lunar
L2	12,19	29,52	Elíptca lunar menor
S2	12,00	30,00	Principal solar
K2	11,97	30,08	Declinação da lua/sol
Águas Rasas			
MO3	8,39	42,92	M2 + O1
MK3	8,18	44,02	M2 + K1
MN4	6,27	57,42	M2 + N2
M4	6,21	57,96	M2 + M2
MS4	6,10	58,98	M2 + S2

Ao atravessa a plataforma continental e os estuários, a maré é distorcida pela mudança da topografia e pelo atrito de fundo. No litoral brasileiro a predominância de maré é semidiurna, e suas alturas de maré variam ao longo da costa (figura 6). Isso ocorre devido a distância da localidade com o ponto anfidrômico, local oceânico onde não há variação da maré (Garrison 2010).

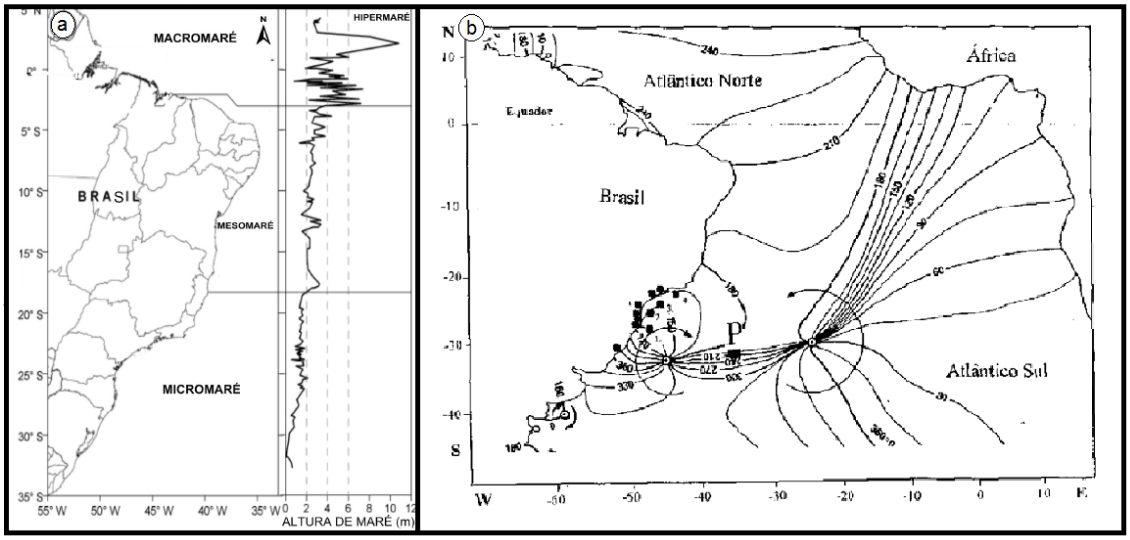

Figura 6: [a] Altura de maré ao longo da costa brasileira (Modificado de Freitas 2011). [b] Posicionamento dos pontos anfidrômicos do Atlântico Sul (Modificado de PUGH, 1987).

4.2 ESTUÁRIO

A origem da palavra estuário está referente ao adjetivo latino *aestuarium*, que significa maré ou onda abrupta de grande altura, de modo que este ambiente se torna sujeito a constantes mudanças a partir das forçantes naturais, caracterizando o estuário como um ambiente altamente dinâmico (Miranda et al 2002).

Na área da oceanografia física, a definição clássica de Pritchard (1955) e Cameron e Pritchard (1963) é bastante utilizada, de modo a definir um estuário como um corpo d'agua costeiro semifechado com uma livre ligação com o oceano aberto, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental. Entretanto, esta definição estipula que o limite do estuário abrange a região de influência da água do mar ou a zona de mistura.

Existem uma variedade de definições para estuário, nas quais se diferenciam de acordo com o ponto de vista que será abordado. Em geral os estuários podem ser classificados de acordo com os aspectos geomorfológicos, estratificação de salinidade, processos físicos atuantes (ondas e maré), modo de formação da bacia, padrão de circulação ou mecanismos físicos deposicionais dominantes (Monteiro 2009).

Com algumas exceções, os estuários formaram-se em regiões relativamente estreitas de transição entre o mar e as massas de terra continentais. São ambientes muito recentes em tempo geológico (menos que cinco mil anos), formados por modificações seculares do nível da água do mar de natureza eustática (variações do volume da água dos oceanos por congelamento e degelo) ou isostática (variações do nível da crosta terrestre – movimentos da crosta em relação ao geóide, variações da geometria das bacias oceânicas, compactação ou erosão de sedimentos não consolidados), bem como por processos de origem tectônica (Miranda et al 2002).

A abordagem física para estuários é complexa no que se refere a aspectos ligados a circulação, processos de mistura e estratificação salina, que são características físicas importantes, dependem de vários fatores como a geometria, descarga fluvial, maré, salinidade, circulação oceânica adjacente e o regime de ventos (Pritchard 1967).

Por outro lado, Dionne (1963) sugeriu outra definição, em que o estuário é dividido em três setores: estuário inferior ou marinho, no qual possui ligação livre com o oceano aberto; estuário médio, sujeito a intensa mistura da água do mar com a água fluvial; e estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce sujeito a influência diária de maré (figura 7). Assim representa uma reentrância do mar que atinge o vale de um rio até o limite de influência da onda de maré, ampliando o conceito clássico de Pritchard (1955), pois passa a interpretar o estuário

como um sistema que abrange da região onde ocorre mistura da água do mar até a parte do rio sujeita à oscilação da maré.

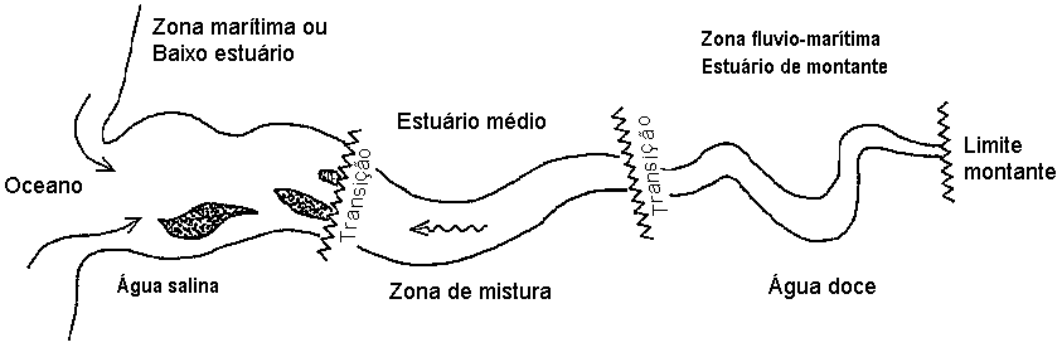

Figura 7: Representação esquemática de um estuário e dos seus setores (adaptado de Fairbridge, 1980).

Outra definição apresentada por Kjerfve (1987) abrange vários processos regionais (gênese geológica, clima, sedimentação e forçantes dinâmicas), na qual descreve o estuário como um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente, subdividindo este ambiente em três zonas distintas (Figura 8):

Zona de Maré do Rio (ZR) – parte fluvial sujeita a influência de maré, com salinidade praticamente igual a zero.

Zona de Mistura (ZM) – região onde ocorre a mistura de água doce da drenagem continental com a água do mar.

Zona Costeira (ZC) – região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina que delimita a Camada Limite Costeira (CLC).

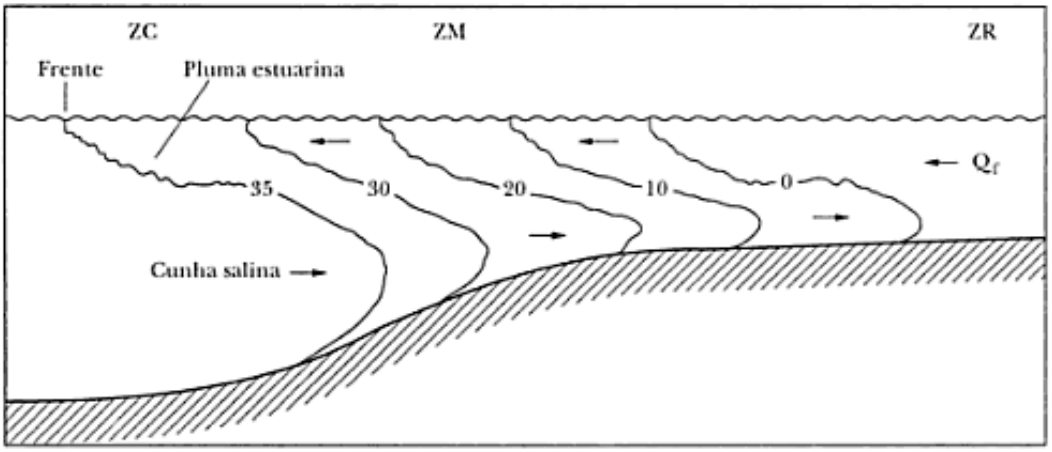

Figura 8: Representação do ambiente estuarino e isolinhas de salinidade de acordo com suas zonas (Modificado de Miranda 2002).

O estuário do Amazonas é um ambiente altamente energético, onde a descarga fluvial e a maré são as principais forçantes hidrodinâmicas. A assimetria da maré, sempre positiva dentro do estuário, não implica em correntes de enchente maiores que as correntes de vazante devido à contribuição da vazão fluvial. Assim, a dominância de vazante contribui para a exportação dos sedimentos finos para a plataforma continental (Vinzon et al. 2007).

A Zona Costeira Amazônica Brasileira (ZCAB) é basicamente estuarina e suas características e dimensões resultam em uma complexa rede de drenagem associada a uma ampla área sujeita a inundações diárias (devido à maré) e sazonais (devido aos períodos de cheia dos rios) (Nascimento 2013).

No ambiente estuarino a ação da maré é praticamente desprezivel, as oscilações harmônicas passam a apresentar um curto período, ocasionadas pela topografia local, a onda gerada pelas forças astronômicas em regiões oceânicas avança a plataforma continental e se propaga estuário acima e abaixo na forma de ondas longas de gravidade, sendo denominada co-oscilação da maré (Miranda 2002).

A interação entre a onda de maré e a morfologia do estuário, causa variações significativas na altura da maré e na intensidade das correntes, a convergência das margens e o atrito faz com que a onda seja distorcida ao longo do estuário (Dyer 1997).

A partir da interligação e importância relativa entre a amplitude da maré, influência da morfologia e o atrito, se classifica os estuários em três tipos específicos (Figura 9): Hipersíncrono, síncrono e hiposíncrono (Nichols & Biggs 1985).

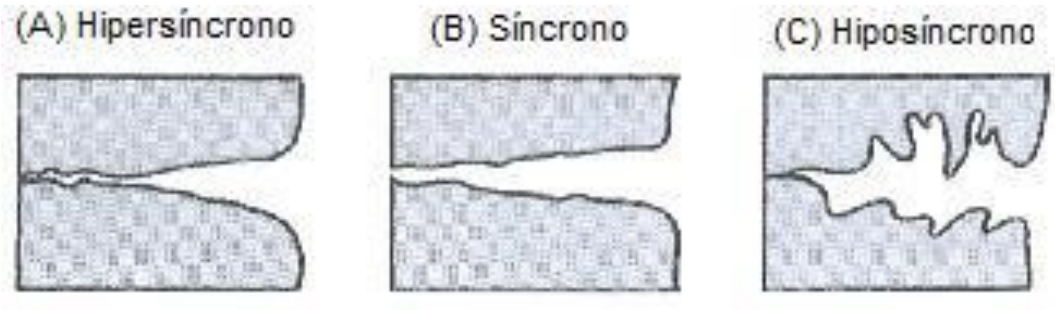

Figura 9: Classificação dos estuários (Modificado de Dyer 1997).

Os estuários hipersíncronos, caracterizam-se por uma forma afunilada, a convergência excede o atrito, como consequência, a altura da maré e as correntes aumentam em direção a cabeceira. Na Zona de Maré do Rio a convergência diminui, o efeito do atrito torna-se maior e a altura da maré diminui.

Nos estuários síncronos, os efeitos do atrito e da convergência estão em balanço, e a altura da maré permanece constante até a Zona de Maré do Rio. Enquanto que nos estuários hiposíncrono, o efeito do atrito excede o da convergência e, em consequência, a altura da maré diminui ao logo do estuário.

5 ÁREA DE ESTUDO

5.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo fica na ilha de Sirituba, localizada no município de Abaetetuba, mesoregião do Nordeste Paraense, próximo à confluência dos rios Pará e Tocantins (figura 10). De acordo com dados fornecidos pelo IBGE (2014), possui uma área de 1.610,606 km² e população estimada de 148.873 habitantes. O principal meio de acesso ao município é o rodoviário, utilizando a alça viária e a rodovia PA – 150. O acesso pode ser também fluvial, através da baia do Guajará, rio Pará e da baía do Capim.

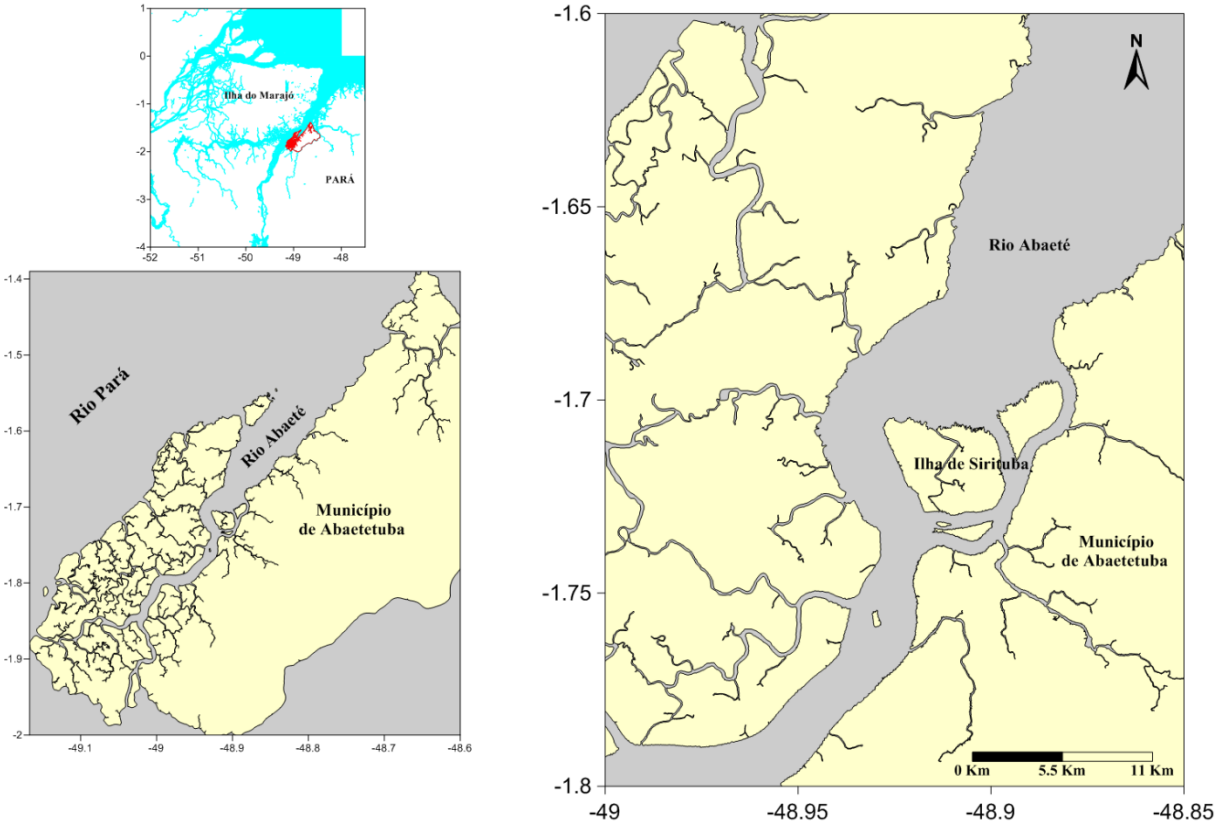

Figura 10: Delimitação da área do município de Abaetetuba (Pará).
Fonte: Do autor

5.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS

A região é caracterizada por um clima tropical úmido e assim como grande parte da região Amazônica, apresenta altas temperaturas e precipitações abundantes.

A maré na zona costeira amazônica é predominantemente semidiurna, com a ocorrência de duas preamares e duas baixa-mares ao longo de um dia lunar (24,8 h), caracterizando que o estuário está sob um regime de mesomaré. O padrão da onda de maré somando-se às grandes vazões dos rios faz com que o ambiente apresente uma forte dinâmica (Gallo 2004).

A hidrodinâmica (vazão, velocidade do fluxo, direção das correntes) e as condições climáticas são importantes para avaliação do ambiente de modo geral, principalmente na região amazônica que é influenciada pelas forçantes climáticas (figura 11): ventos alísios e altas taxas de precipitações (Costa 2014).

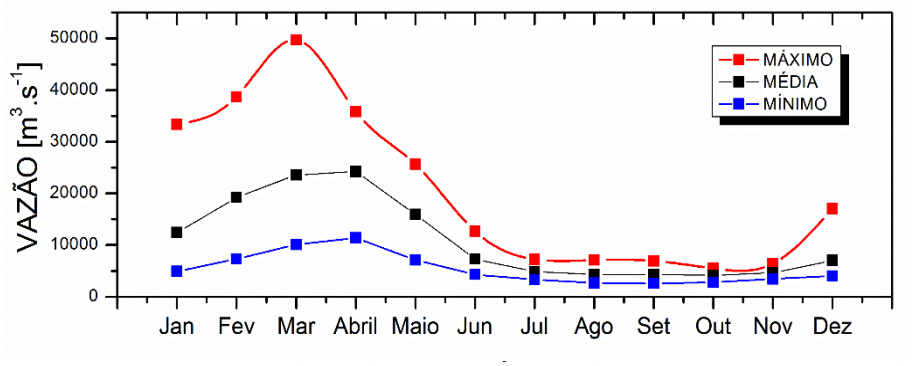

Figura 11: variação anual da vazão, apresentando curvas de máximo, média e mínimo.
Fonte: Do autor

A precipitação é uma variável climatológica bastante significativa na região. Apresenta dois períodos sazonais distintos: o período chuvoso que se estende de janeiro a maio com maiores índices de fevereiro à abril e o período menos chuvoso de junho a dezembro com menores índices entre setembro e novembro (figura 12), podendo ocorrer uma antecipação ou retardo das chuvas no período de transição entre o período chuvoso e o menos chuvoso (Lima *et al* 2005).

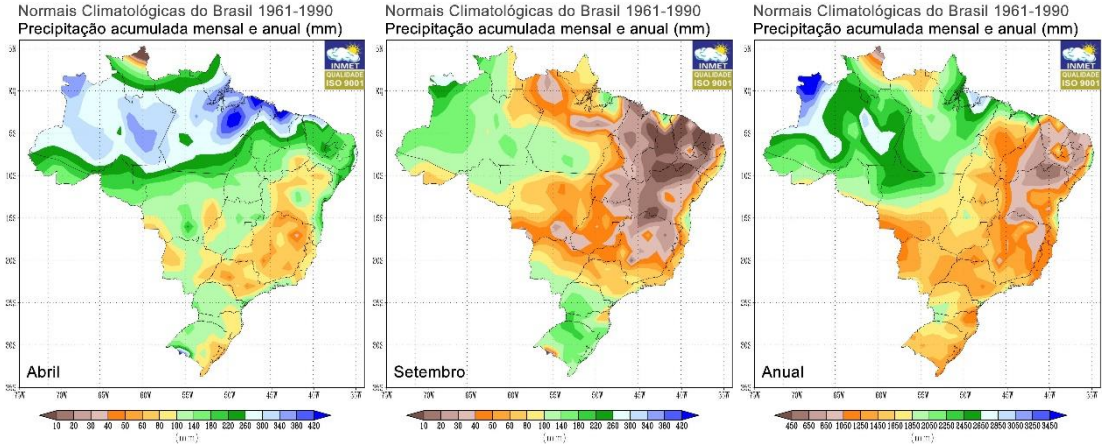

Figura 12: Climatologia da precipitação mensal e anual para um período chuvoso (Abril) e seco (Setembro). Fonte: INMET.

A temperatura média do ar é de 27ºC apresentando pouca variação mensal e anual, com valores limites médios mensais entre 25°C e 29°C entretanto são notadas variações diárias consideráveis da queda de temperatura durante a noite. A umidade relativa do ar é alta durante o ano todo, mantendo-se sempre acima dos 80% (Lima 2005), com maior evidencia sempre nas primeiras horas do dia, seguindo um decréscimo devido ao aumento de temperatura.

Os ventos desempenham papel importante no sistema marinho, e possuem grande influência na geração de ondas e correntes. Devido sua localização a região de Abaetetuba recebe a influência de ventos alísios vindos de Nordeste atingindo velocidades de 0,5 a 2,5 m/s (Inmet 2012). A ação dos ventos influencia os processos costeiros presentes no ambiente e amplia os processos de carreamento, transporte de sedimentos, e velocidade das correntes de marés para as regiões mais distais do rio (Costa 2014).

De acordo com a DHN (1967), a corrente de enchente possui direção aproximada de SSW, nas proximidades da baía do Marajó. A velocidade das correntes de maré, no estuário da baía de Marajó e em suas cercanias, pode exceder a 2,5 m/s, suas amplitudes variam dependendo do ponto considerado.

A medição de descarga dos ambientes estuarinos por meio de seções transversais ao canal ainda é a melhor forma de estimar o transporte de volume e propriedades como o sal, sedimento e nutrientes (Prestes *et al* 2014). A bacia dos rios Araguaia-Tocantins abrange uma área de drenagem de 757.000 km², possui uma descarga anual média de 12.000 m³/s e apresenta uma carga sedimentar de aproximadamente 18.000.000 ton/ano (Latrubesse & Stevaux 2002).

6 MATERIAIS E METODOS

6.1 METODOLOGIA DE COLETA DE DADOS

A maré na ilha de Sirituba foi monitorada entre Janeiro e Dezembro de 2014. Demarcando dois pontos, um localizado no canal e outro na planície de inundação com auxílio de dois sensores de pressão (Solinst Levelogger modelo 3001), instalado para obter a variação da maré e do nível da água sobre a planície de inundação, afim de identificar as cotas topográficas entre esses dois pontos de coleta apontando a partir de que nível da água do canal essa cota ficava sujeita a inundação (figura 13). O nível de referência que foram instalados o sensores no rio correspondem à: 1,3 m para o mês de Fevereiro, 1,2 m para o mês de Março, 1,1 m para o mês de Abril e 0,9 m para Agosto. E durante o mesmo período foi monitorada a maré na cidade de Belém para correlacionar com a região de Abaetetuba.

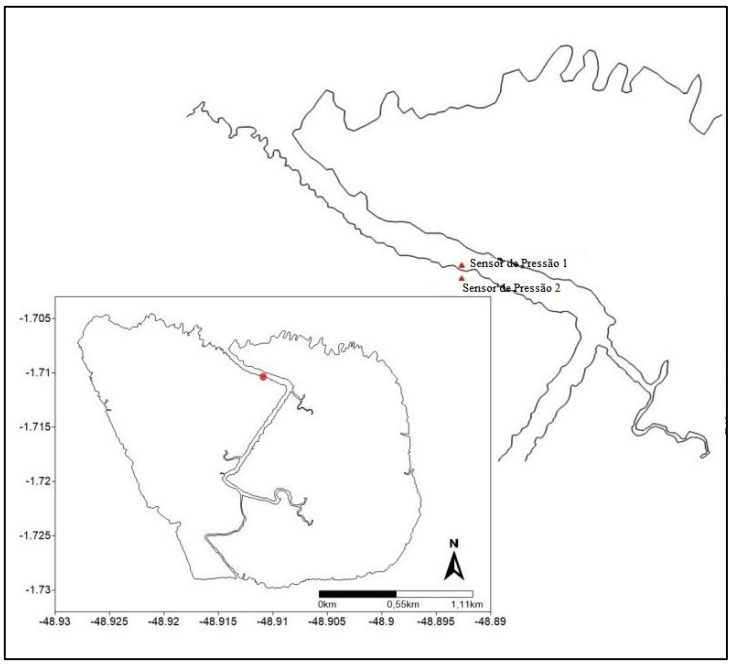

Figura 13: Localização dos sensores de pressão instalados no Rio e na Planície de Inundação de Sirituba (Abaetetuba, Pará).
Fonte: Do autor

Ao longo desse período em Abaetetuba, a análise do nível da água sobre a planície de inundação foi realizada com o auxílio de um sensor de pressão (sensor de pressão 2), instalado rente ao chão na planície durante a baixa-mar, sempre no mesmo ponto (coordenadas S 1,71053°/W 48,91096°), de modo a evidenciar a variação da coluna d'água sobre a planície e o tempo de inundação dessa área (figura 14). Os equipamentos foram programados para realizar um registro a cada 10 minutos.

Figura 14: sensor utilizado para coleta de dados, instalado na planície de inundação de Sirituba (Abaetetuba, Pará).
Fonte: Do autor

Foram instalados dois sensores em dois pontos diferentes, no qual um se localizava próximo a margem (sensor de pressão1) e o outro cerca de 50 m ilha adentro (sensor de pressão 2) com a finalidade de obter os registros de maré (altura, nível, taxa de inundação), que influenciam a região de estudo, conforme a tabela 3. O nível da agua sobre a planície de inundação foi monitorada no período de um ano, referente ao ano de 2014, fazendo o registro de maré em parte do período chuvoso e seco.

Tabela 3: Pontos de coleta, meses de registros na planície e no rio, coordenadas e datas da coleta.

Local	Meses	Datas	Latitude	Longitude
Planície - Sirituba	Fevereiro	27/02/14 - 06/03/14	1,71053°	48,91096°
	Março	26/03/14 - 04/04/14	1,71053°	48,91096°
	Agosto	12/08/14 - 14/08/14	1,71053°	48,91096°
Rio - Sirituba	Janeiro - Dezembro	01/01/14 -31/12/14	1,71024°	48,91094°
Belém	Janeiro - Dezembro	01/01/14 -31/12/14	1,39444°	48,49305°

Fonte: Do autor

6.2 METODOLOGIA DE TRATAMENTO DE DADOS.

Em laboratório, os dados de maré obtidos foram tratados em plataforma Matlab, na qual foi criada uma rotina para serem analisados e comparados entre si. De forma a identificar a variação da coluna d'água sobre a planície e o tempo de inundação dessa área.

A descrição da curva de maré foi feita analisando sua altura e assimetria. A altura de maré e o tempo de enchente e vazante foram calculados através da diferença entre crista e cavado.

A análise harmônica das séries medidas foi gerada utilizando uma extensão do Matlab chamada T_TIDE (Pawlowicz *et al* 2002), obtendo as amplitudes e fases das principais componentes de maré. Também foram realizadas previsões para comparar com as séries medidas de modo a validar a análise harmônica.

O regime de maré relativo as componentes diurnas e semidiurnas foi definido através do número de forma, pela razão entre as componentes citadas acima, com a fórmula Nf= [K1 + O1]/[M2 + S2] (Defant 1960).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 ALTURA DA MARÉ.

A maré na ilha de Sirituba pode ser classificada como de mesomaré, atingindo máximo de 3,6 m. A variação do nível da maré apresentou influência sazonal devido a variação do nível dos rios, com maiores níveis de janeiro a maio e menores de junho a dezembro. Em Belém, a maré atingiu o máximo de 4,3 o que denomina seu regime como de macromaré. Em Vila do Conde o máximo atingido foi de 3,7 classificando seu regime como de mesomaré.

A maior altura de maré foi no mês de Abril, 3.6 m, apresentando o maior nível de preamar. Em Agosto foi registrado uma altura de 3,4 m devido ao equinócio (fenômeno astronômico que intensifica o efeito das marés). Março e Setembro apresentaram alturas iguais de maré de 3,3 m e a menor maré registrada foi no mês de Fevereiro, atingindo 3,1 m.

A ocorrência de fenômenos astronômicos como o equinócio, influencia no aumento da amplitude da maré de maneira significativa, mesmo que ocorra em período considerado seco, como observado no mês de Agosto.

A sazonalidade é um aspecto significativo para a região de estudo, considerando o mês de Abril chuvoso e Setembro seco (figura 15 e 16). No período chuvoso as condições hidrológicas atingem altas taxas, nas quais influenciam no aumento do nível médio do rio, possibilitando uma maior expansão e tempo de alagamentos nas áreas de inundação. Já no período seco, as condições hidrológicas diminuem, quanto a elevação do nível médio do rio, como observado nos dados obtidos para período seco e chuvoso. Segundo Almeida *et al* (2004), geralmente as marés de época mais chuvosa atingem as cotas mais altas.

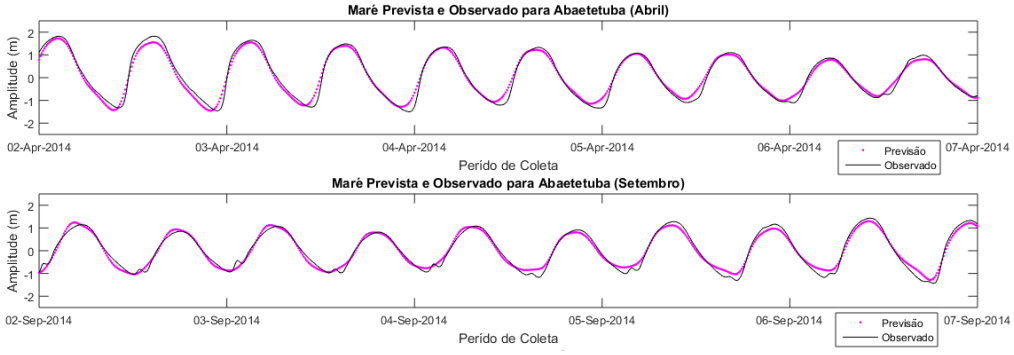

Figura 15: Previsão e observado da variação da maré no período chuvoso (Abril) e seco (Setembro), na localidade de Abaetetuba.
Fonte: Do autor

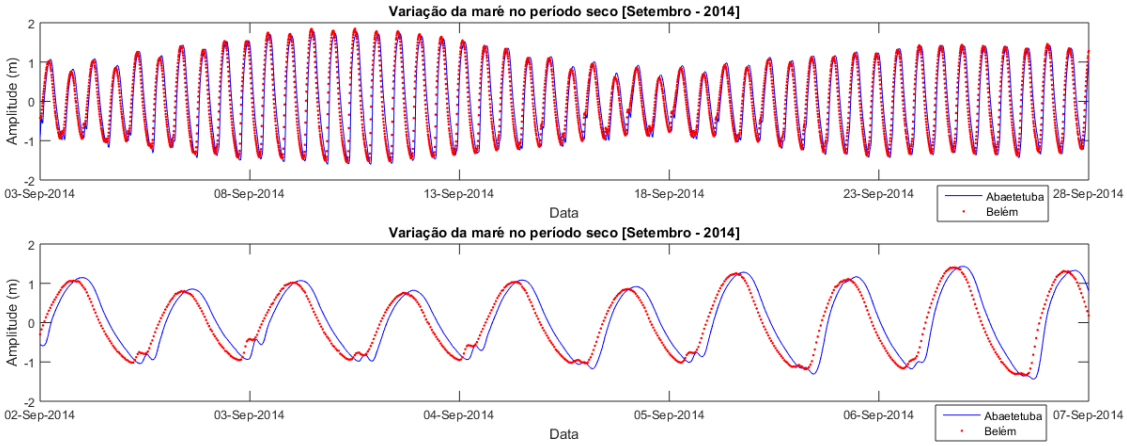

Figura 16: Relação da variação da maré no período seco (Setembro), comparando as localidades de Abaetetuba e Belém.
Fonte: Do autor

O maior nível de maré sobre a planície de inundação foi registrada no mês de Agosto atingindo 38 cm, devido não ter ocorrido uma medição na planície no mês de Abril, no qual foi registrado a maior maré.

Os registros foram realizados durante as maiores marés de sizígia de acordo com a tábua de marés da DHN para Vila do Conde (Pará), ou seja, foram realizados durante as maiores alturas de maré.

7.2 ASSIMETRIA DE MARÉ

A assimetria da maré é marcante, pois a partir dos registros maregráficos o tempo de vazante é maior que o tempo de enchentes para Belém e Abaetetuba (tabela 4). A duração da maré vazante foi superior à de enchente, pois, se tratando de uma área de domínio fluvial sob impacto de marés, este intervalo de tempo é o padrão, especialmente durante maré de sizígia (Gregório & Mendes 2009).

De acordo com Miranda *et al* (2002), a diferença entre os períodos de maré enchente e vazante classifica o estuário como assimétrico, que segue o princípio da conservação de volume, no qual o evento de menor duração terá velocidade mais intensa e consequentemente maior transporte de sedimento. Confirmado pela corrente de enchente que é maior e pelo período de duração da enchente que é menor.

Tabela 4: Média dos tempos de enchente e vazante para as localidades coletadas.

Localidade	**Tempo (Horas)**	
Maré	Enchente	Vazante
Abaeté	5,9	6,4
Belém	6,1	6,3

Fonte: Do autor.

No presente estudo a assimetria é considerada positiva. Segundo Gallo (2009), a relação de fase (do nível d'água), abrangem as seguintes situações de dominância da maré: de 0° a 180°, assimetria positiva (tempo de subida menor ao de descida), e de 180° a 360°, assimetria negativa (tempo de descida menor ao de subida). O trabalho de Gallo e Vinzon (2005), comprova a assimetria positiva no estuário do rio Amazonas nos níveis d'água (tempos de subida menores aos de descida), embora uma forte assimetria negativa exista nas velocidades (velocidades maiores durante a vazante), devido à descarga fluvial. Assim, a enchente propaga-se mais rapidamente e, consequentemente, é mais curta que a vazante, levando a dominância de enchente (Dronkers 1986).

7.3 ANÁLISE HARMÔNICA

Na estação de Abaeté, foram identificadas 35 constituintes harmônicas, sendo as mais efetivas, as componentes semidiurnas M2 (principal lunar), S2 (principal solar), N2 (elíptica lunar) e a componente de água rasa M4 (quarto diurna) que também aparece de forma significativa com valores comparáveis a S2 e N2 (figuras 17).

Logo é possível notar que as constituintes mais influentes são as semidiurnas, assim como identificadas por Beardsley et al. (1995), Geyer & Beardsley (1995) e Gabioux et al. (2005) comprovando a dominância de marés semidiurnas na zona costeira amazônica.

Gallo (2004) considera que, o caso de uma onda semidiurna, com componente principal M2 e seu primeiro harmônico M4, a fase do harmônico de alta freqüência relativa à onda original controla a forma da curva e por tanto da assimetria de maré.

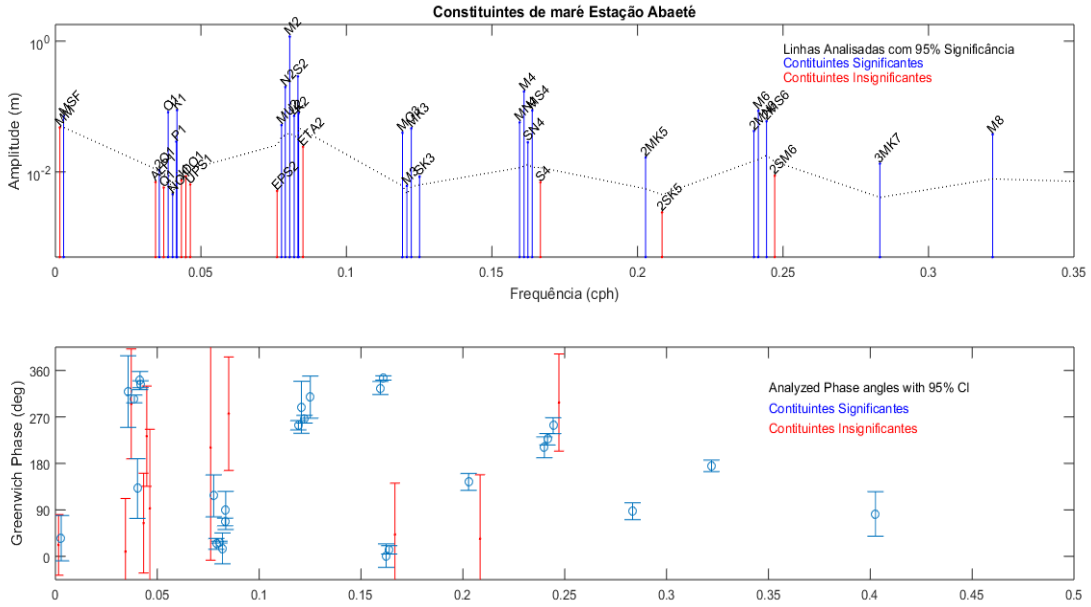

Figura 17: amplitude e frequência das principais constituintes harmônicas de maré da estação de Abaeté.
Fonte: Do autor.

Para estação Belém as componentes semidiurnas M2, N2 e S2 também foram predominantes, aparecendo de forma significativas (figura 18). No entanto a componente M4 não aparece com valores tão próximos de N2 e S2 como observado em Abaetetuba, pois M4 aumenta de jusante para montante. Isto coincide com resultados anteriores apresentados no trabalho de Gallo & Vinzon (2005), comprovando que a principal componente de água rasa é a M4, crescendo à montante.

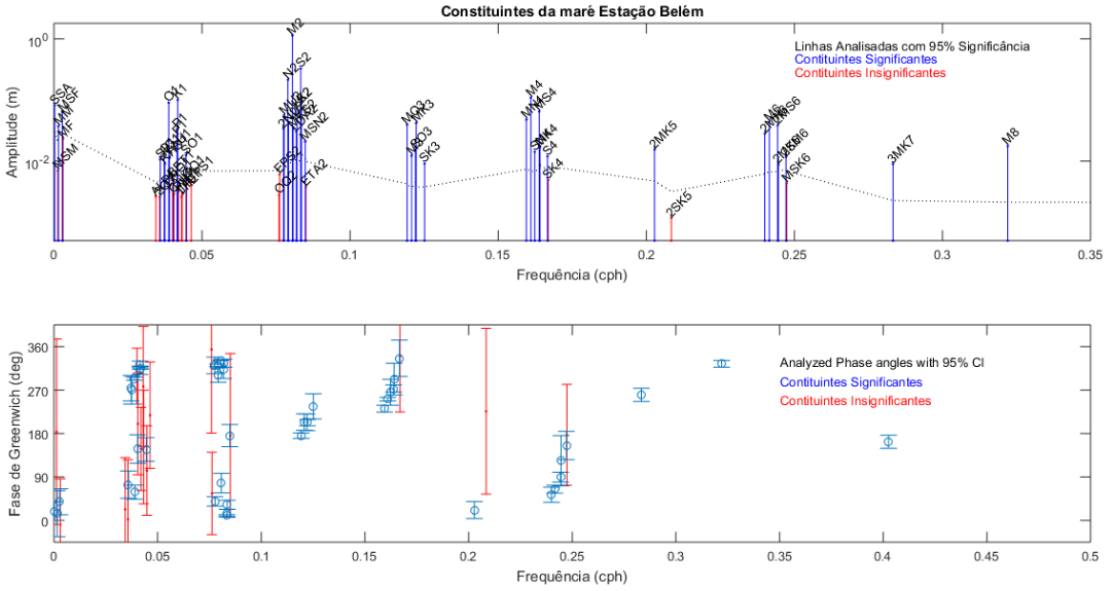

Figura 18: amplitude e frequência das principais constituintes harmônicas de maré da estação de Belém.
Fonte: Do autor.

Cada constituinte é descrita pela sua amplitude e fase na qual estão expressas na tabela 5. De acordo com Santos (2013), ao longo do estuário do rio Pará os valores de amplitude e fase das componentes harmônicas sofrem variações, devido a geração de novos harmônicos.

Geralmente as condições de contorno do estuário criam os harmônicos compostos conhecidos como componentes de águas rasas, e são geradas, segundo Gallo (2004), pela interação da onda de maré com o atrito de fundo e outros efeitos não-lineares, resultando em distorções das componentes fundamentais, a exemplo da componente M4, onde é mais intensa na baía do Guajará e no rio Tocantins.

Nicoleti (2007) afirma que, quando o principal constituinte lunar M2 é dominante no sistema, o componente quarto-diurno M4 é o harmônico de maior importância dentro do sistema estuarino.

Tabela 5: Amplitudes e fases das principais componentes harmônicas da ilha de Sirituba (Abaetetuba, PA).

Espécie		Abaetetuba		Belém	
	Período (hs)	Amplitude (cm)	Fase (graus)	Amplitude (cm)	Fase (graus)
Diurna					
Q1	26.87	0.011	284.6	0.013	273.8
O1	25.82	0.090	309.9	0.090	293.4
P1	24.07	0.024	328.9	0.033	322.8
K1	23.93	0.106	334.8	0.100	315.7
Semidiurna					
N2	12.66	0.214	8.17	0.214	321.2
M2	12.42	1.163	16.3	1.135	331.7
L2	12.19	0.083	10.3	0.073	325.6
S2	12.00	0.299	54.9	0.327	10.1
K2	11.97	0.081	54.9	0.089	32.5
Águas Rasas					
MO3	8.39	0.040	234.1	0.039	175.5
M3	8.28	0.010	268.1	0.012	203.7
MK3	8.18	0.042	260.3	0.042	202.5
MN4	6.27	0.055	304.6	0.048	231.4
M4	6.21	0.136	319.3	0.109	251.1
SN4	6.16	0.019	345.5	0.014	265.3
MS4	6.10	0.079	346.8	0.065	273.2

Fonte: Do autor.

O número de forma (Nf), indica a importância relativa entre as componentes diurnas e semidiurnas (Miranda *et al* 2002). A partir do cálculo $Nf = (K_1+O_1)/(M_2+S_2)$, realizado para a ilha de Sirituba, foi obtido valor de 0,13, caracterizando um regime tipicamente semidiurno, definido pela ocorrência de duas preamares e duas baixa-mares por dia. Segundo Nicoleti

(2007), isto se deve a uma diminuição das amplitudes diurnas no somatório, com isso as componentes semidiurnas se tornam mais evidenciadas no baixo estuário.

7.4 PREVISÃO DE MARÉ

Foram realizadas previsões de maré para o mesmo período de coleta para as estações Belém e Abaetetuba (figuras, 19, 20, 21, 22). Verificou-se uma similaridade entre o observado e a previsão de 98,8% para Abaetetuba e de 99,2% para Belém. Segundo Nicoleti (2007), as variâncias que apresentam picos estatisticamente significativos, estão dentro de um intervalo de confiança de 95%.

Para Belém e Abaetetuba a série de tempos originais observada está bem próxima do nível previsto, apresentando pequenas variações, com tempo de subida próximos ao tempo de descida, gerando um comportamento quase simétrico.

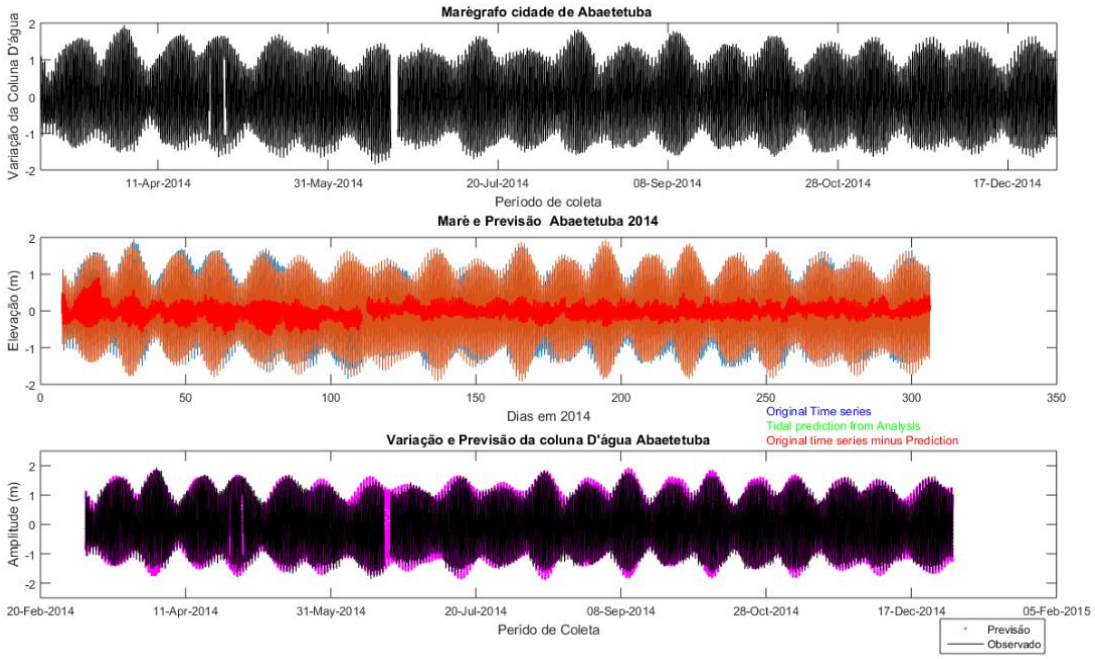

Figura 19: comparação de previsão e observado de maré na estação Abaetetuba.
Fonte: Do autor.

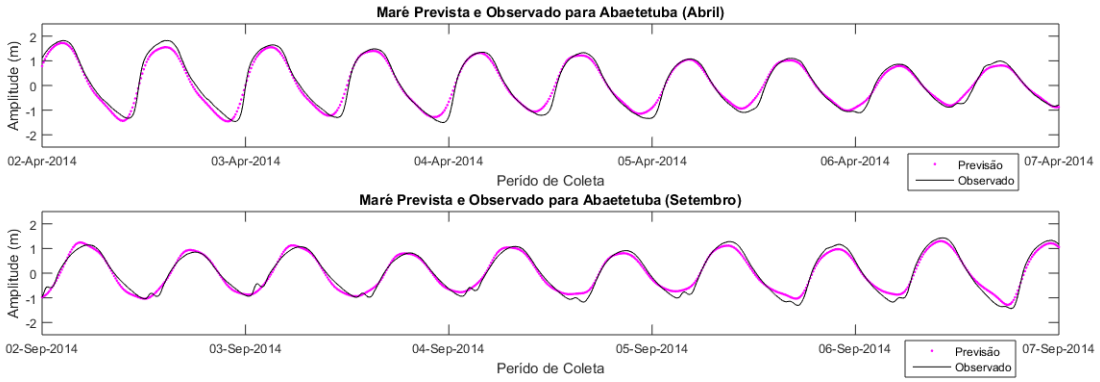

Figura 20: Previsão e observado de maré para Abaetetuba em um período chuvoso (Abril) e seco (Setembro).
Fonte: Do autor.

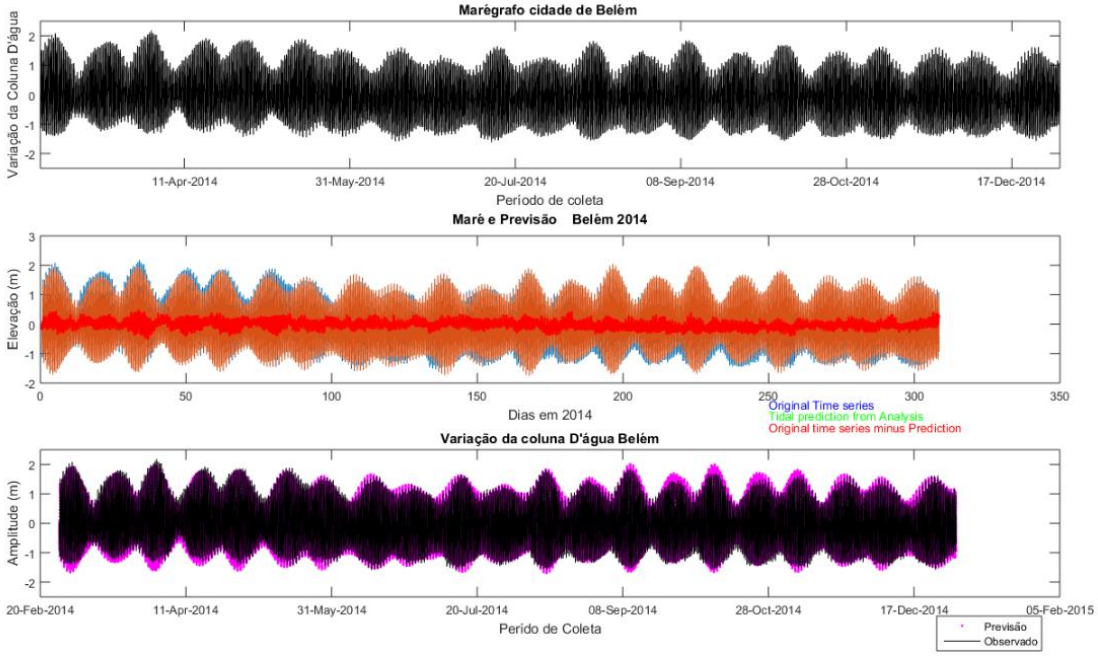

Figura 21: comparação de previsão e observado de maré na estação Belém.
Fonte: Do autor.

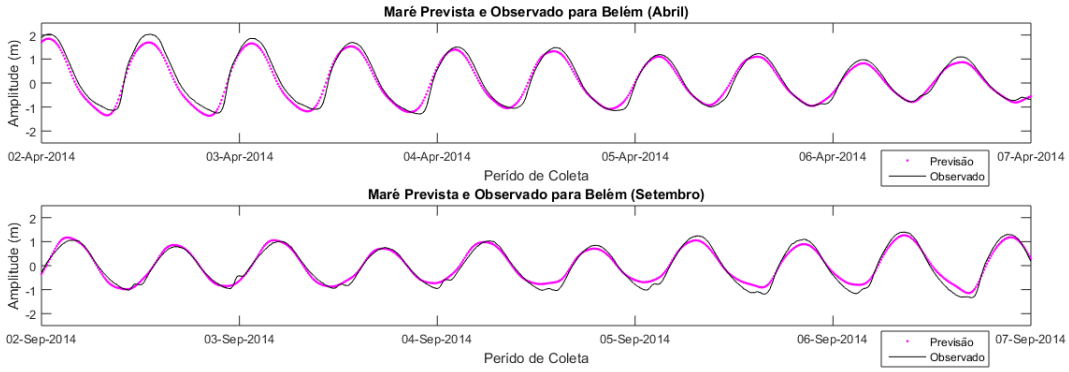

Figura 22: Previsão e observado de maré para Belém em um período chuvoso (Abril) e seco (Setembro).
Fonte: Do autor.

A previsão de maré, tem como intuito realizar previsões em regiões que não possuem tábua de maré, além de validar a análise harmônica (Santos 2013).

7.5 VARIAÇÃO DA MARÉ NA PLANÍCIE

O tempo de inundação por período de maré que atingiu a planície apresentou variações. Em Agosto apresentou o maior tempo de inundação, chegando a 3h durante a maior preamar (figura 23), sendo registrada a maior altura sobre a planície de inundação atingindo 38 cm. A maior taxa de inundação foi em Agosto devido a influência direta do equinócio, fenômeno no qual possui uma força de atração que aumenta significativamente a altura da maré registrada, independente do período ser considerado seco. Em Agosto a partir de 3,1 m atingido no sensor fixo do rio, a maré começa a inundar a planície.

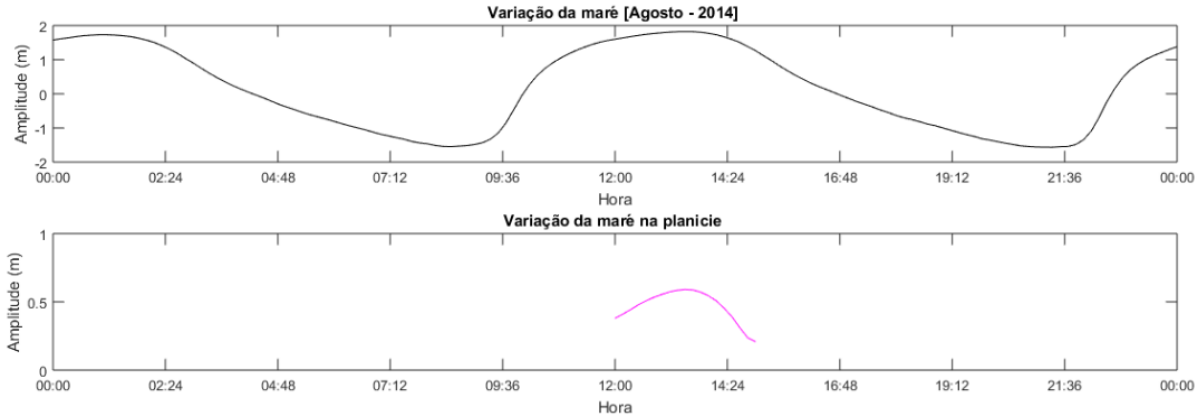

Figura 23: variação da maré no rio e na planície para o mês de agosto.
Fonte: Do autor.

O mês Março, apresentou um tempo de inundação de 2h40m, atingindo uma altura de 21 cm na planície. O mês de Março sofre influência do período chuvoso, o que pode interferir de maneira significativa na altura da maré e no seu tempo de inundação (figura 24). Durante o monitoramento dos dados, foi registrada a influência de maré de sizígia. Em Março a partir de 2,4 m a maré começa a inundar a planície. Provavelmente ocorreu uma possível mudança de altura do ponto onde foi instalado o sensor, por isso o nível da maré que atingiu a planície foi menor.

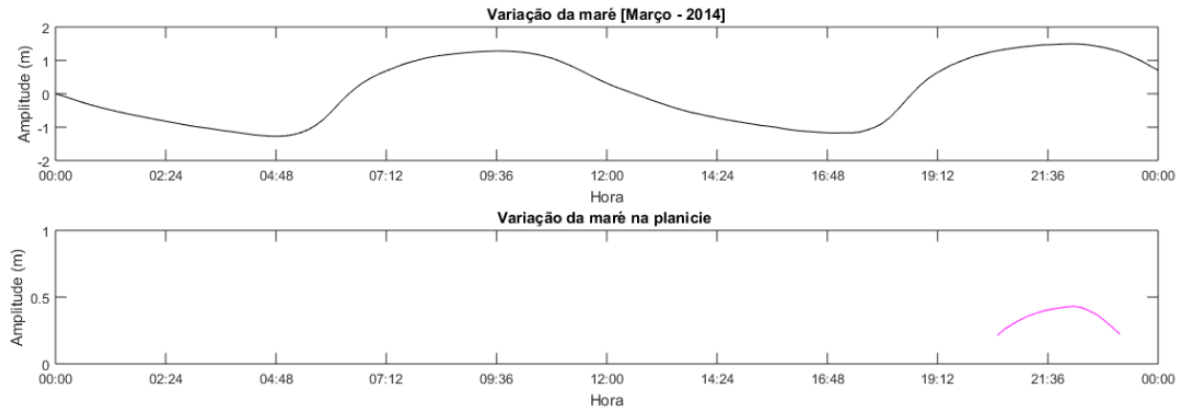

Figura 24: variação da maré no rio e na planície para o mês de março.
Fonte: Do autor.

O mês de Fevereiro, mesmo estando no intervalo considerado chuvoso, nos quais possibilitam maior altura da maré e taxas de inundações, apresentou o menor tempo de inundação registrado na planície 1h40m, alcançando uma altura de 11 cm sobre a planície. O mês de Fevereiro recebeu uma pequena influência da lua nova no período registrado, maré de sizígia (figura 25). Em Fevereiro a partir de 2,9 m a maré começa a inundar a planície.

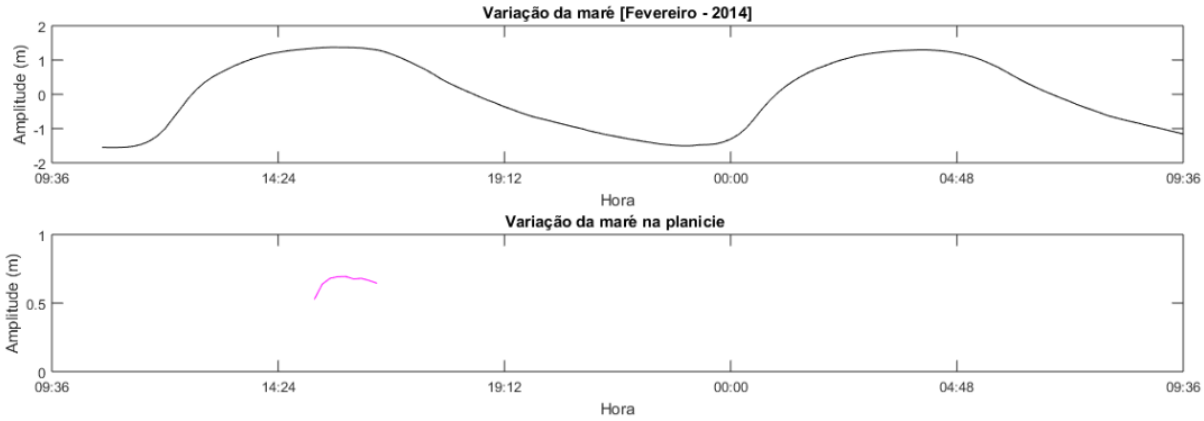

Figura 25: variação da maré no rio e na planície para o mês de fevereiro.
Fonte: Do autor.

Segundo os registros, os maiores níveis de maré na planície de inundação foram em Agosto (influência da maré de equinócio), seguidos de Março e Fevereiro.

Nesse caso, o nível do rio foi determinante para a inundação da área em questão, assim como a altura da maré, o aumento e o baixo nível do rio ocorre de forma paralela aos valores atingidos na planície, pois quanto maior o nível do rio, maior o nível atingido na planície de inundação (figura 26). Segundo Junk (1989), as planícies de inundação são áreas que recebem periodicamente o aporte lateral das águas de rios, lagos, da precipitação direta ou de lençóis

subterrâneos, sendo de particular interesse na região amazônica aquelas associadas a rios e lagos.

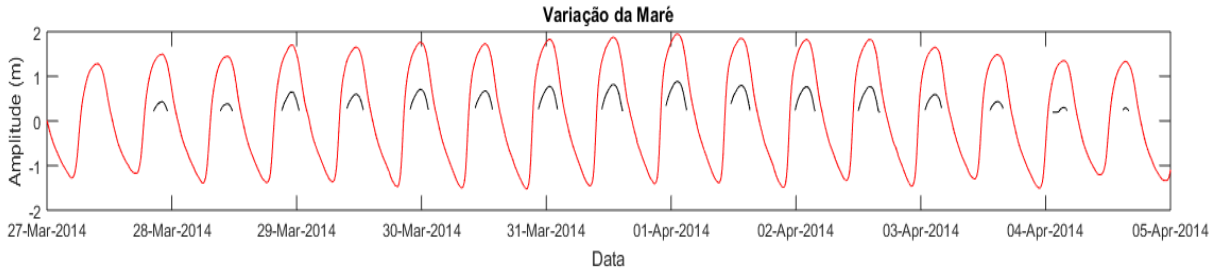

Figura 26: similaridade entre a variação da maré no rio (linha vermelha) e inundação na planície (linha preta).
Fonte: Do autor.

De acordo com Nicoleti (2007), a variabilidade é maior nos meses de alta descarga como dezembro a março, nesses períodos considerados chuvosos, a planície é coberta por uma rede de canais naturais.

A sazonalidade da região está diretamente ligada as variações dos níveis que ocorrem na planície de inundação. Melack *et al* (2009) destaca que, as grandes variações sazonais na profundidade e extensão de inundação e a hidrologia complexa são características das planícies de inundação da Amazônia e, à medida que os níveis das águas variam, a proporção dos ambientes aquáticos muda consideravelmente.

8 CONCLUSÃO

O estudo dos níveis da água sobre a planície de inundação da ilha de Sirituba, permitiu identificar o tempo de inundação e o alcance da coluna d'água sobre este ambiente de várzea. Apesar de ser um ambiente exposto aos efeitos da maré, a área sujeita ao alagamento muda drasticamente devido a flutuação sazonal do nível do rio. Como no mês de Abril não foi feita medições, Agosto foi o mês que atingiu a maior altura da maré, identificou 38 cm de coluna d'água sobre a planície de inundação e aproximadamente 3 horas de submersão, enquanto, no menor nível do rio identificado no mês de Fevereiro ainda que a altura da maré não tenha apontado tantas diferenças foi identificado o menor tempo de inundação na área e menor nível de coluna d'água sobre a planície de inundação. No geral níveis a partir de 2,9 m começam a inundar a planície, independente do período ser considerado seco ou chuvoso.

As componentes astronômicas mais influentes no sistema são as M2, S2 e N2, que diminuem progressivamente ao longo do estuário, devido a influência principalmente da componente de água rasa M4 e pela geração de novos harmônicos. As análises harmônicas se mostraram eficientes, uma vez que as previsões realizadas obtiveram 98,8% e 99,2% de eficácia para Abaeté e Belém

Visto a abrangência da área, é sugerido que o mesmo trabalho seja realizado em outras localidades de Abaetetuba conjuntamente com dados de relevos de alta precisão (MDT- modelo digital de terreno), de forma a obter dados mais robustos sobre os aspectos fisiograficos abordados no trabalho. Tal material permitiria inferir com maior confiabilidade as áreas de Abaetetuba sujeitas a inundação, permitindo a modelagem de diferentes cenários associados a variação do nível do mar.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 10 de agosto de 2016.

Alfredini, P., Arasaki, E. 2009. *Obras e gestão de portos e costas.* Editora Edgard Blucher Ltda, **2**: 804p.

Almeida, S. S., Amaral, D. D., Silva, A. S. L. 2004. Análise florística e estrutura de florestas de várzea no estuário Amazônico. *Acta Amazonica*, **34**(4):513-524.

Beardsley, R. C., Candela, J., Limeburner R., Geyer W. R., Lentz S. J., Belmiro M. C., Cacchione D., Carneiro N. 1995. The M2 tide on the Amazon Shelf, *Journal of Geophysical Research*, **100**(C2):2283-2319.

Boyd, R., Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A. 2006. Estuarine and incised-valley facies models. *Facies Models Revisited. SEPM (Society for Sedimentary Geology)* 84: 171-235.

Cameron, W.M., Pritchard, D.W. 1963. Estuaries**.** In: HILL, M.N. (Ed.). *The Sea*: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas. New York, John Wiley & Sons, p. 306-324.

Corrêa, I. C. S. 2005. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do Estuário da Baía de Marajó-PA. *Pesquisas em Geociências*, **32**(2): 109-118.

Costa M. S. 2014. *Aporte hídrico e do material particulado em suspensão para a baía do Marajó: influência dos rios Amazonas e Tocantins.* MS Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém. 83p.

Defant, A. 1960. *Physical Oceanography*. Oxford, London, New York, Paris, **2**:613p.

Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) 1967. Roteiro - Costa Norte - Brasil. Rio de Janeiro: DHN,1967. 1-9, cap. II, p.: 43-125.

Dionne, J. C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Zeithschr. F. Geomorph*, **7**(1): 36-44.

Dronkers, J, 1986. Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Netherlands Journal of Sea Research*, **20**(2-3):117-131.

Dyer, K. R. (ed. 2). 1997. *Estuaries: A physical introduction.* New York, Jhon Wiley and Sons, 195p.

Franco, A.S. 1997. *Marés - Fundamentos, Análises e Previsão.* São Paulo, Brasil, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica.

FREITAS, P. T. A. 2011. *Distorção e atenuação da maré em um tidal river Amazônico: Efeitos da Sazonalidade da Vazão Fluvial e Geomorfologia (Sistema Guamá-Capim).* MS Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental da Universidade Federal do Pará, Bragança, PAG

Fairbridge, R.W. 1980. The estuary its definition and geodynamic cycle. In: Olausson, E. & Cato, I. (eds.) *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Wiley, New York. 1-35pp.

Gabioux, M., Vinzon, S. B., Paiva, A. M. 2005 Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, **25**(1):113-125.

Gallo, M. N. 2004. *A Influência da Vazão Fluvial sobre a Propagação da Maré no Estuário do Rio Amazonas.* MS Dissertação, Instituto Alberto Luiz Coimbra (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 99 p.

Gallo, M. N., Vinzon, S. B., 2005. Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary, *Ocean Dynamics*, **55**(5-6):441-448.

Gallo, M. N., 2009. Escoamento em planícies de marés com influência fluvial – Canal Norte do rio Amazonas. PhD Tese, Instituto Alberto Luiz Coimbra, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 146 p.

Garrison, T. 2010. *Fundamentos de Oceanografia*. Cengage Learning São Paulo, 426 p.

Geyer, W.R.; e Beardsley, R.C. 1995. Introduction to special section on physical oceanography of the Amazon shelf. *Journal of Geophysical Research*, **100**(2):2181-2182 p.

Godin, G., 1999. "The Propagation of Tides up Rivers with Special Considerations onthe Upper Saint-Lawrence River", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **48**:307-324 p.

Gregório, A. M. S.; Mendes, A. C. 2009. Batimetria e sedimentologia da baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. *Amazônia: Ciência &Desenvolvimento*, **5**(9):53-72 p.

Instituto Nacional de Metereologia (INMET). 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.phd?r=bdmep>. Acesso em: 6 de março de 2017.

Junk, W. J. 1989. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. *Tropical forest: botanical dynamics, speciation and diversity*, New York: Academic Press, p. 47-64.

Kjerfve, B. 1987. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day J. W., Hall, C. A. S., Kemp, W.M., Yáñez-Aranciba, A. (eds). *Estuarine Ecology*. Jhon Wiley & Sons, New York, p. 47-78.

Latrubesse, E., Stevaux, J. C. (2002) Geomorphology and Environmental aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. *Zeitsshrift für geomorphologie NF*, **129**: 109-127p.

Lima, A. M., Oliveira, L. L., Fontinhas, R. L., Lima, R. J. S. 2005. Ilha do Marajó: Revisão Histórica, Climatológica, Bacias Hidrográficas e Propostas de Gestão. *Holos Environment*, **5**(1): 65p.

Martins, L., Reis, J. 2007. Nível médio, maré e análise harmônica. In: 5º Jornadas Portuguesas de Engenharia costeira e portuária, Lisboa, *Resumo*, 16p.

Melack, J. M., Novo, E.M.L., Forsberg, B.R., Piedade, M.T.F., Maurice, L. 2009. Processos ecossistêmicos em planícies alagáveis. *Amazônia and Global Change*, Manaus, Brasil, p 525-541.

Miranda, L. B., Castro, M. C., Kjerfve, B. 2012. *Princípio de oceanografia física de estuários***.** Editora da Universidade de São Paulo, 426 p.

Monteiro, S. M. 2009. *Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa.* MS Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 151 p.

Nascimento, I. B. A. 2013. *Aplicação De Modelo Hidrodinâmico 2dh Em Canais De Maré Da Costa Leste Da Ilha Do Marajó - Pará.* MS Dissertação, Instituto de Estudos Costeiros (Iecos), Universidade Federal do Pará, Bragança, 127 p.

Nichols, M. M., Biggs, R. B. 1985. Estuaries. *In:* Davis R. A. (ed.) *Coastal Sedimentary Environments.* Berlin, Spring-Verlag, p. 77-186.

Nicolite, M., 2007. Caracterização do nivel de água do baixo estuário do rio Paraiba do Sul, Rio de Janeiro. MS Dissertação, Instituto de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte de Fluminense, Rio de Janeiro, 78 p.

Park, D. (ed.2) 1999. *Waves, tides and shallow-water processes*. United Kingdom: The Open University. Butterworth-Heinemann, 227 p.

Parker, B. B. 1991. The relative importance of the various nonlinear mechanisms in a wide range of tidal interactions (Review). *In*: B.B. Parker (ed.). *Tidal hydrodynamics*. John Wiley & Sons, New York, p. 237-268.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., Lentz, S. 2002. Classical Tidal Harmonic Analysis including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers & Geosciences*. **28**(8): 929-937.

Pinheiro, R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará - Belém/PA.* MS Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 164 p.

Prestes, Y. O. 2013. *Transporte de volume na zona de maré do rio Pará, Brasil*. Trabalho de conclusão de curso. Instituto de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém. 77p.

Prestes, Y. O., Rosário, R. P., Rollnic, M., Souza M. 2014. Volume transport in the tidal limit of the Pará River, Brazil. *In:* Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS) conference, Porto de Galinhas. *Anais* p. 19-24.

Pritchard, D. W. 1955. Esturine circulation patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81(717):1-11 p.

Pritchard, D. W. 1967. What is an Estuary: Physical View Point**.** *In*: Estuaries. American Association for the Advance of Science, Washington D.C., 83:3-5.

Convenção sobre Zonas Úmidas de importância internacional(RAMSAR) 2014. Disponível em: <http://www.ramsar.org/> acesso em: novembro de 2014.

PUGH, D.T. 1987. *Tides, surges and mean sea level*. Swindon, UK, John Wiley & Sons, 486p.

Santos, A. S. 2013. *Propagação da maré na baía do Marajó e seus principais tributários*. Trabalho de conclusão de curso. Instituto de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém. 41p.

Silva, I. O. 2009. *Distribuição da Vazão Fluvial no Estuário do Rio Amazonas.* MS Dissertação, Programa de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 106 p.

Sorensen, R. M. (ed. 2). 1997. *Basic coastal engineering.* New York, Chapman & Hall, 297p.

Souza filho, P., W., M.; Cunha, E. R. S. P. DA; Sales M. E. da C.; Souza, L. F. M. DE O.; Costa, F. R. 2005. Bibliografia da zona costeira Amazônica. *In*: Museu Paraense Emilio Goeldi/Universidade Federal do Pará/Petrobras, Belém: 401 p.

Tessler, M. G.; Goya, S. C. 2005. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, **17**:11 – 23.

Vinzon, S.; Gallo, M.; Silva, M. S.; Fernandes, R. D.; Silva, I. O. 2007. Uma caracterização do estuário do rio Amazonas, de Obidos à Plataforma Continental. *In*: XI Congresso da ABEQUA, Belém. *Anais* p. 1-3.

Wells, J. T. 1995. Tide-dominated estuaries and tidal rivers. *In*: Perillo, G. M. E. (ed.), *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries (Developments in Sedimentology)*, New York, Elsevier, p. 179-205.