

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DESCRIÇÃO PONTUAL DE MARÉ, PERFIL DE CORRENTES E SUAS
INTER-RELAÇÕES EM UM PONTO DO ESTUÁRIO DO RIO MEARIM,
SÃO LUIS, MARANHÃO.**

DIEGO MELLO BITENCOURT

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Volume I

Porto Alegre – 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**DESCRIÇÃO PONTUAL DE MARÉ, PERFIL DE CORRENTES E SUAS
INTER-RELAÇÕES EM UM PONTO DO ESTUÁRIO DO RIO MEARIM,
SÃO LUIS, MARANHÃO.**

DIEGO MELLO BITENCOURT

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa – Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. João Thadeu de Menezes – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí

Prof. Dr. José Gustavo Nartoff de Abreu – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do Título
de Mestre em Geociências.

Porto Alegre - 2015

Bitencourt, Diego Mello

Descrição pontual de marés, perfil de correntes e suas inter-relações em um ponto do estuário do Rio Mearim, São Luis, Maranhão. . / Diego Mello Bitencourt. – Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2015.

[55 f.] il.

Dissertação (Mestrado). – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2015.

Orientador (es): Jair Weschenfelder

1. Corrente de maré 2. Hidrodinâmica estuarina 3. Rio Mearim 4. Macromarés I. Título.

CDU 551.468.1

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências – UFRGS

Miriam Alves

CRB 10/1947

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmão, meus eternos incentivadores,

À Bárbara, minha eterna mulher.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por toda a sua obra e criação, sua força reparadora e insuperável, e fonte de luz para o caminho a ser seguido.

Às ondas e ao surfe pela relação íntima de autoconhecimento e fonte inesgotável de foco e superação.

À Bárbara Oliveira, minha mulher amada, pela simplicidade de sua companhia, por todo o bem que me faz no dia-a-dia, pela força gigantesca dada no último ano.

Aos meus pais, Luiz e Dorilda, que principalmente, me dão forças e incentivam em todos os planos feitos, que mesmo distantes, mantêm a energia e me apoiam em toda a caminhada.

Ao meu irmão Gustavo, por todo o exemplo de força e garra dada desde que me conheço por gente.

À todos os colegas de trabalho que nessa frenética vida, me divertem e incentivam a sempre dar o melhor de mim. Destes, especial agradecimento ao Rodrigo Barletta pelas revisões deste trabalho e todo o conhecimento passado nestes anos de relação, e à Leandro Franklin por todo o apoio dado durante a execução deste mestrado.

Ao meu orientador Jair Weschenfelder por todo o apoio e paciência, me instruindo nos momentos críticos desta dissertação, e acima de tudo, acreditando que este estudo poderia ainda ser concluído.

Aos colegas de aula do PPGEIO que conheci durante as aulas, foi uma rápida mas será uma eterna lembrança.

À Vale do Rio Doce, em nome de Daniele, pela cessão dos dados e incentivo à ciência.

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. ESTADO DA ARTE	7
2.1 MARÉS.....	7
2.2 FORÇAS GERADORAS.....	7
2.3 CONSTITUINTES HARMÔNICAS.....	12
2.4 MARÉS EM ÁGUAS RASAS	13
2.5 ESTUÁRIOS E SUA CONFIGURAÇÃO HIDRODINÂMICA.....	14
2.6 ESTUDO CORRENTES E MARÉS NO MARANHÃO.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS DE ESTUDO.....	20
4. ARTIGO.....	21
4.1 ABSTRACT	22
4.2 RESUMO.....	23
4.3 DESCRIBERS	23
4.4 INTRODUCTION.....	23
4.5 MATERIALS AND METHODS	24
4.5.1 Early Studies	25
4.5.2 Environment Characterization.....	25
4.6 METHODOLOGY	29
4.6.1 Data Collection	29
4.6.2 Data qualification and processing	30
4.6.3 Standardization of information	30
4.6.4 Energy spectra	31
4.7 RESULTS AND DISCUSSIONS	32
4.7.1 Data quality parameters.....	32
4.7.2 Tide data	33
4.7.3 Current time series	34
4.7.4 Spectral Analysis	36
4.7.5 Analysis of current in function of tides.....	39
4.8 CONCLUSION.....	47
4.9 BIBLIOGRAPHY	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
ANEXO I.....	54

RESUMO

Este estudo visa à descrição pontual do comportamento hidrodinâmico do estuário do Rio Mearim, analisando os padrões de corrente de maré, do registro de marés e das possíveis relações entre eles. Durante novembro e dezembro de 2012 um ADCP foi fundeado no canal do estuário, onde coletou dados por 31 dias. Os dados foram qualificados e processados para futura análise e inter-relações. Foi observado que a coluna de água estuarina no ponto de medição move-se como uma coluna de água homogênea com fluxo bidirecional no eixo NE-SW. As medições ocorreram no período de baixo índice de pluviosidade. O espectro de energia de velocidade de correntes indicou contribuições parciais dos harmônicos M_2 , M_4 , M_6 e M_8 no padrão de correntes encontrados. Defasagens no tempo entre os picos de máxima velocidade de corrente durante enchente e vazante mostraram a dominância do processo de maré vazante sobre a enchente no estuário. A análise integrada apresentada permitiu uma melhor compreensão no entendimento do comportamento das correntes forçadas pela maré, as chamadas correntes de maré, no estuário do Rio Mearim.

Palavras-chave: corrente de maré, hidrodinâmica estuarina, Rio Mearim

ABSTRACT

This study aims to describe the punctual hydrodynamic behavior of Mearim River estuary, analyzing the pattern of the tidal current, the tidal data and possible relationship between them. During 2012 November and December an ADCP was deployed in the estuary channel, where it collected data for 31 days. The data were qualified and processed for further analysis and inter-comparisons. It was observed the estuarine water column in the point of deployment moved as a homogeneous water column with bidirectional flux in axis NE-SW. The deployment was made in a period of low pluviosity index. The energy spectrum of current velocity indicated partial contribution of harmonics M_2 , M_4 , M_6 e M_8 in the current pattern found. Delays between the maximum velocity during flood and ebb conditions, showed the dominance of the eddy process over the flood in the estuary. An analysis integrated presented on this paper allowed a better understanding of the behavior of the current forced by tides, called the tidal current in the Mearim River estuary.

Keywords: tidal current, estuary hydrodynamics, Mearim River

1. INTRODUÇÃO

Os estuários de uma forma geral sempre representaram para o homem um ambiente estratégico para o desenvolvimento de atividades, favorecendo a expansão populacional para os seus entornos.

Citando alguns dos motivos para este estímulo, pode-se destacar que o estuário é um ambiente adequado para instalação de portos, fortalecendo a econômica; são férteis e podem produzir grandes quantidades de matéria orgânica; estão dispostos como uma via de acesso importante para o interior do continente (e do continente para o Oceano); e suas águas são renovadas periodicamente pelas marés (MIRANDA et al, 2002).

Como importância ambiental, os estuários constituem um papel de hábitat natural de aves, mamíferos e peixes, de desova e criação de comunidades biológicas. Socialmente, várias comunidades vivem associadas ao estuário, seja para subsistência, transporte ou geração de renda.

O Estado do Maranhão abriga a maior baía da costa Norte e Nordeste do Brasil, a Baía de São Marcos, onde se encontra um estuário ímpar por sua extensão geográfica, dinâmica de marés e sua colocação no cenário portuário nacional, contendo em suas águas um complexo portuário importante para a economia brasileira.

A Baía de São Marcos conta também com uma vocação ambiental e social por estar circundada por Áreas de Proteção Ambientais – APAs (exemplo, Reentrâncias Maranhenses), abrigar uma densa área coberta por manguezal, servindo este de berçário para várias espécies de animais, e estar ligada diretamente ao sustento de algumas comunidades ribeirinhas.

A vocação estratégica para o escoamento de minérios e commodities para o mercado internacional e recepção de sub-produtos extraídos de petróleo, coloca a área portuária do Maranhão como o segundo maior complexo do Brasil em termos de movimentação de carga, localizando-se próximo de grandes mercados consumidores, como Estados Unidos, Europa e Ásia utilizando o Canal do Panamá (AMARAL, 2006) (Figura 1).

O complexo portuário é principalmente representado pelas instalações situadas nas margens da cidade de São Luis, sendo: Porto de Itaqui, Terminal Portuário da Ponta da Madeira (TMPM) e Alumar. Somados a estes, ainda se encontram instalações vinculadas à atividade pesqueira, transporte de veículo e passageiros, e a Marinha Brasileira. Por este grau de importância, diariamente o canal de navegação do estuário é trafegado por navios de pequeno e grande porte, como a classe Valemax, carregando toneladas em carga, além do transporte de passageiros entre comunidades e cidades.



Figura 1: Navio cargueiro de grande porte navegando pela Baía de São Marcos.

Em estuários e áreas portuárias há um complexo problema enfrentado por embarcações devido ao desvio de sua trajetória real frente à sua trajetória ideal, resultado da baixa resposta de navios grandes à ação do leme ou a movimentos de máquinas (PIANC, 1997). Fortes correntes de maré em determinados momentos da manobra da embarcação amplificam este problema, dificultando o controle do navio pelo práctico, comprometendo a operação de rebocadores e impedindo a atracação de embarcações (PIANC, 1997).

Especificamente, as correntes de maré incidindo de través na embarcação afetam sua capacidade de manter o curso, e incidindo longitudinalmente à embarcação, afetam a capacidade de manobrar e parar (PIANC, 1997).

Ao longo da Baía de São Marcos, em certos estágios da maré as correntes geradas podem ser fortes o suficiente para que certos tipos de navios naveguem com insegurança, fazendo com que chegadas e partidas sejam restritas a certos períodos

de tempo no ciclo de marés. Dentro deste contexto, o estudo proposto visa aprofundar o conhecimento de como as correntes, maior agente de influência no ambiente, se comportam frente a uma grandeza determinística, permitindo preliminarmente entender o seu comportamento ao longo da curva de maré.

Busca-se o estabelecimento descritivo pontual e em curto período do comportamento das marés, perfil de correntes e suas inter-relações em uma estação amostral no estuário do Rio Mearim, cidade de São Luis, Estado do Maranhão, Norte do Brasil. A análise das inter-relações permite detectar particularidades do agente hidrodinâmico corrente de maré em função da curva de maré medida, observando em que momentos da curva são observados os maiores valores de velocidade de corrente e inversões em sua direção, e o tempo de ocorrência entre estes processos.

Faz parte desta análise o estudo em termos paramétricos da série temporal e, também, em termos de espectro de energia de correntes e marés, individualizando-se cada processo.

As análises foram executadas em quatro extratos da coluna d'água representativos de todo o seu conteúdo, transformados para profundidade adimensional, caracterizando não apenas a posição relativa da célula de medição, mas sim seu contexto físico e ambiental. Todas as análises foram realizadas com os valores de velocidade em forma de magnitude e direção, objetivando captar os máximos valores encontrados, tendo em vista que ao transformar para componente de velocidade u parte da energia fica contida na componente v .

Considerando a hidrodinâmica do canal, o estudo conjunto de correntes e nível permite detectar em quais momentos da curva de maré são encontrados os maiores valores de corrente, subsidiando o planejamento de logística de navegação de embarcações, incrementando segurança e eficiência às atividades marítimas.

Quando esta informação passa do plano pontual para uma área de abrangência (canal de navegação), a compreensão da ação conjunta imposta pelo nível d'água e correntes de maré favorece o planejamento de manobras de acesso e saída de portos situados ao longo dos canais de navegação, sendo que as manobras incluem o rumo de superfície escolhido, o bordo de atracação e as amarras utilizadas. A consequência da falta de planejamento logístico atento à ação de correntes sobre

embarcações são os períodos de inatividade (*downtime*), momentos que o canal não estará disponível para atividades portuárias (PIANC, 1997).

O estudo pontual de correntes auxilia na caracterização hidrodinâmica de um estuário e estimativas de cálculos de fluxo de transporte de sedimentos, sal, nutrientes e poluentes, resultando no estabelecimento dos seus regimes de importação e exportação, os quais são de suma importância para a gestão costeira do ambiente estuarino.

Uma observação pontual é amplamente utilizada como ponto de calibração de modelos numéricos, que podem rodar modelos hidrodinâmicos e morfológicos, e fornecer tendências para o balanço sedimentar de um canal de navegação e tempo de residência de componentes dissolvidos ou presentes no corpo de água estuarino. Com esta informação em mãos, empreendedores da área portuária, órgãos ambientais de análise de projetos, governantes e a comunidade científica podem melhor estimar tecnicamente e financeiramente os projetos de manutenção de canal dragado, planos de contingência ambiental e manejo costeiro.

Ainda, esse estudo permite o subsídio de futuras campanhas oceanográficas, auxiliando no planejamento de levantamentos (*surveys*) quem visem manter uma estação e estrutura de coleta de dados integra, com coleta de dados completa por todo o ciclo de maré, e a segurança de todos os envolvidos (meio ambiente, recurso humano e capital).

Este estudo visa detalhar os processos que ocorrem em curta escala no estuário do Rio Mearim, sendo este um ambiente costeiro de macromarés de grande importância econômica, ambiental e social para o Estado do Maranhão e Brasil.

Do ponto de vista da gestão do ambiente, a importância em conhecer os padrões de circulação de um estuário auxilia na determinação da dispersão de poluentes, métodos de dragagem, fluxo de nutrientes e tempo de residência da água.

Tendo em vista a importância da pesquisa da hidrodinâmica de um estuário, este estudo voltará suas observações para a descrição do comportamento de marés e perfil de correntes em um ponto do estuário e suas inter-relações.

Esta Dissertação de Mestrado é elaborada de acordo com a Norma 103 do PPGGEO/UFRGS, que estabelece que o corpo principal da dissertação seja constituído por um mínimo de um artigo científico relacionado diretamente ao tema

central da Dissertação e um texto integrador do trabalho realizado. O artigo científico foi submetido à revista Brazilian Journal of Oceanography.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 MARÉS

A maré é compreendida como a oscilação vertical da superfície dos oceanos provocada por pela ação de atração gravitacional do Sol e da Lua sobre diferentes pontos da Terra, e pela ação da força centrífuga gerada pela força de rotação no sistema Terra, Lua e Sol.

Segundo Park (1989), as marés são percebidas pela oscilação rítmica de subida e queda do nível de água do mar, provocadas pela movimentação horizontal de águas (corrente de maré) na onda de maré. A maré é um fenômeno de dimensões oceânicas causadas pelos movimentos de onda de longo período, que possuem comportamento e forma notórias quando atingem as regiões costeiras.

A oscilação vertical é a fonte geradora da oscilação horizontal, denominada Correntes de Maré, que conduzem volumes de água de um ponto para outro, onde causa as oscilações verticais.

A oscilação vertical é periódica e preditiva, sendo que a situação encontrada é resultado da soma de diferentes componentes harmônicas, com períodos e amplitudes distintas. A partir de uma série de compostos harmônicos, a curva de maré para um momento posterior ou anterior ao presente pode ser prevista.

Uma série de marés e correntes é chamada de série temporal, por conter informações em série ao longo do tempo. A série temporal é uma sequência de observações ordenadas no tempo. O estudo da série temporal fornece os mecanismos de geração da série de dados coletada, permitindo a previsão de valores futuros. As observações são dependentes ou correlacionadas.

2.2 FORÇAS GERADORAS

A onda de maré tem como maior fonte de influência e geração o posicionamento relativo entre a Terra, Sol e Lua. A periodicidade e amplitude da onda de maré podem ser precisamente descrita através da influência destes astros e da posição

geográfica ao longo da Terra, mas seu comportamento é passível de influências inerentes a modificações na topografia e padrões meteorológicos (PARK, 1989).

A Terra e a Lua giram em torno de um centro de massa comum, este situado dentro da Terra, distante cerca de 4700 km de seu eixo central, onde ambos os astros fazem uma rotação completa em torno do centro de massa periodicamente a cada 27,3 dias.

A rotação em torno do centro de massa do sistema Terra-Lua ocasiona no mesmo valor de velocidade angular ($2\pi/27,3$) para qualquer ponto da Terra e, desta forma, mesma força centrífuga para qualquer ponto (esta força centrífuga é diferente daquela resultante da rotação da Terra em torno de seu próprio eixo). A força centrífuga além de igual em todos os pontos da Terra possui direção paralela à linha que liga os centros da Terra e da Lua.

Levando em conta a força de atração gravitacional da Lua sobre a Terra, ela será maior quanto mais próxima da Terra estiver, de forma que a parte oposta da Terra estará sobre menor força de atração gravitacional. A direção da força gravitacional será orientada para o centro da Lua, fazendo com que esta força se forme formando um ângulo com a força centrífuga, com exceção do ponto onde os astros estão em linha. A força de atração gravitacional é inversamente proporcional ao cubo da distância entre os centros da Terra e da Lua.

A força geradora de maré será então a resultante da força centrífuga (gerada pelo movimento de rotação da Terra em torno do centro de massa do sistema Terra-Lua) e da força de atração gravitacional (exercida pela Lua sobre a Terra). Um modelo esquemático representativo das forças atuantes no sistema Terra-Lua, e a resultante, pode ser visualizado na figura 2.

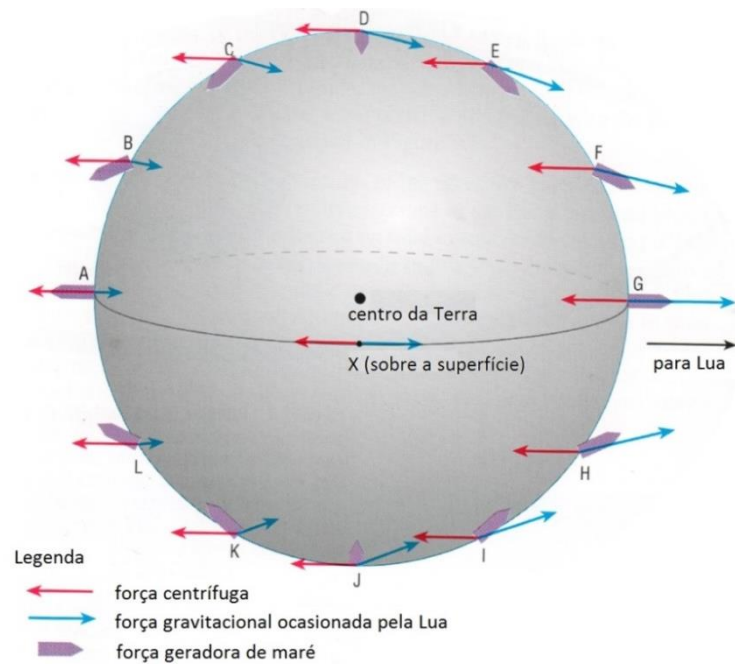


Figura 2: Esquema representativo da força geradora de marés. Adaptado de Park (1989).

As forças geradoras de marés atuam convergindo seus sentidos para as duas extremidades da Terra que estão alinhadas com o centro da Lua, mais próxima da Lua com componente voltada para a Lua, e na outra extremidade com a componente apresentando mesma intensidade, mas sentido oposto. Desta forma imagina-se que são geradas duas regiões de concentração de volume de água nas duas extremidades da Terra alinhadas com a Lua, denominando um estado de equilíbrio, chamado de maré de equilíbrio. Este processo é ilustrado pela Figura 3.

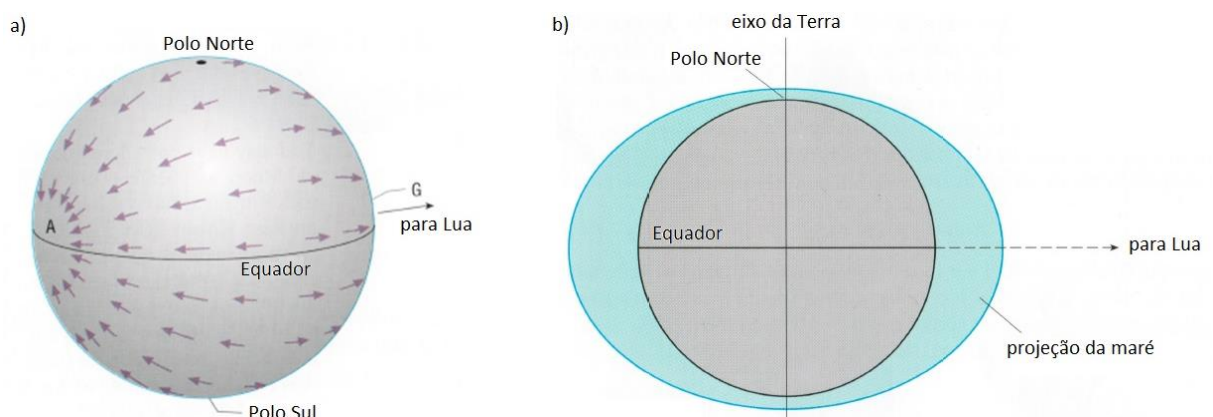


Figura 3: a) Vetores da componente horizontal da força geradora de maré, mostrando a convergência para os pontos A e G; b) Ilustração da projeção de maré resultado das componentes horizontais da força geradora de maré. Adaptado de Park (1989).

Levando em conta o dia solar da Terra de 24 horas e o período de rotação da Lua em torno do centro de massa do sistema Terra-Lua (27,3 dias no mesmo sentido que a Terra gira em torno do seu próprio eixo), o período de rotação da Terra respeitando o movimento da Lua acontece em um período de 24 horas e 50 minutos. Este período distinto tem um efeito prático em defasar uma alta maré de sua sucessiva em 25 minutos, causando uma defasagem diária de marés de 50 minutos. Uma ilustração desse efeito é mostrada na Figura 4.

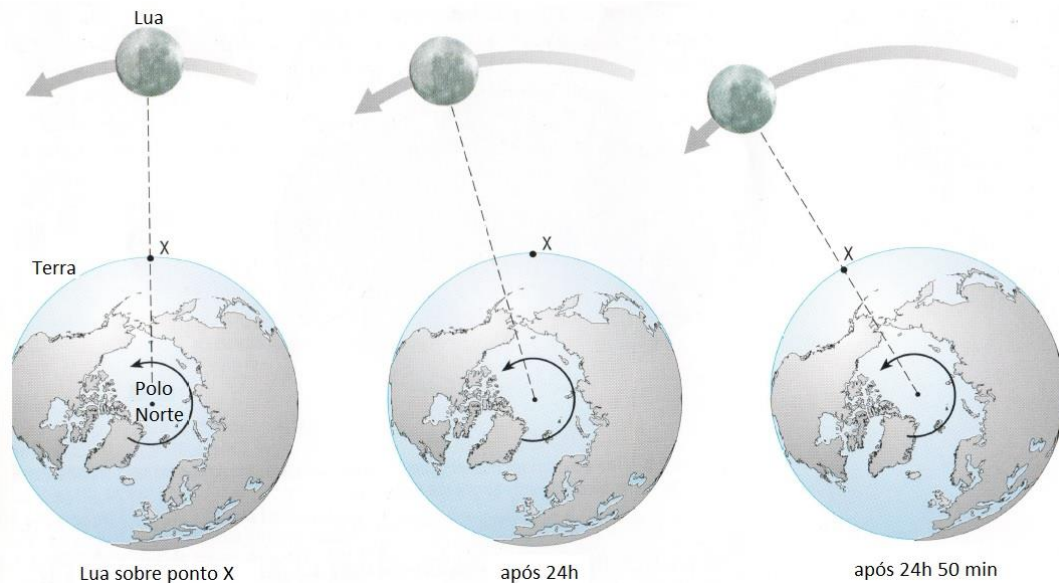


Figura 4: Ilustração da defasagem de um ciclo de maré para o ciclo subsequente, levando em conta a rotação diária da Terra e rotação da Lua em torno do sistema Terra-Lua. Adaptado de Park (1989).

Existem dois ciclos envolvendo o sistema Terra-Lua que possuem efeito significativo nas marés de Lua: declinação da Lua e sua órbita elíptica. A órbita da Lua não está alinhada paralelamente com a linha do Equador, mas sim com um ângulo de inclinação variando de 0 a 28,5 graus dependendo da posição sobre a Terra. Quando a Lua está criando um ângulo de inclinação com a Terra maior do que zero, o plano de concentração de volume de água estará defasado em relação ao Equador, o que fará que os efeitos de geração de marés sejam desiguais ao longo de um dia em determinadas latitudes (mais pronunciada nas médias latitudes), com altura de marés diferentes entre duas preamares (ou baixamares).

Quando a Lua está situada na posição com maior inclinação com relação ao Equador é criada uma configuração astronômica que favorece uma maior desigualdade diurna; quando a Lua está situada na linha do Equador, não há o favorecimento de ser criada uma configuração de desigualdade diurna em nenhum

ponto da Terra. Como a órbita da Lua não é circular, mas sim elíptica, e esta não mantém a Terra em seu centro de rotação, haverá momentos que a Lua estará mais próxima da Terra, ocasionando maiores valores de geração de marés; enquanto haverá momentos que a Lua estará mais distante da Terra, ocasionando menores valores de geração de marés (Figura 5).

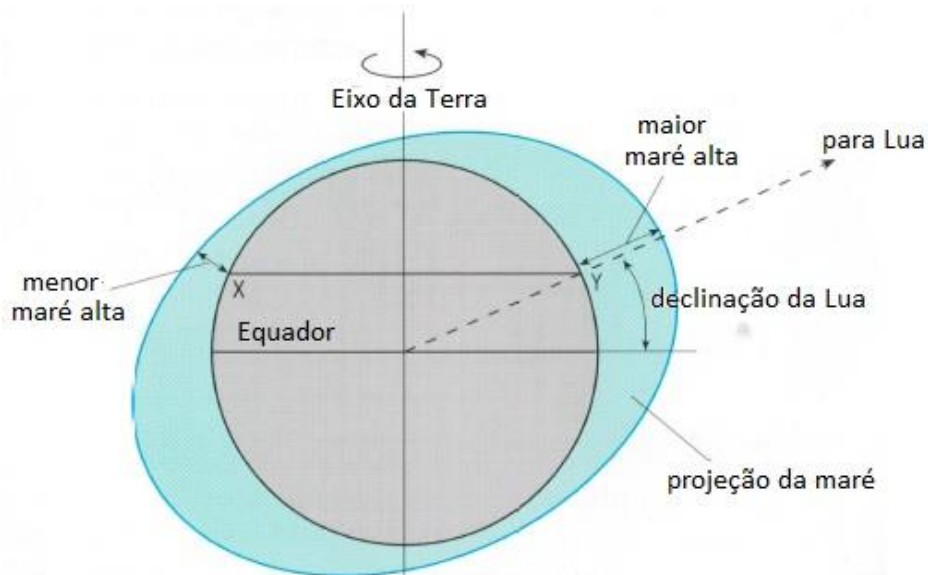


Figura 5: Ilustração representando o efeito da declinação da Lua em relação do eixo de rotação Terra-Lua. Adaptado de Park (1989).

Como a Lua, o Sol também exerce força de geração de marés sobre a Terra com menor efeito quando comparado com a Lua. Embora o Sol tenha massa muito maior que a da Lua, ele está posicionado distante da Terra. A componente de geração de marés provocada pelo Sol também tem período semidiurno, e apresenta período de 12 horas. O mesmo efeito provocado por declinação em sua órbita também causa desigualdade diurna nas componentes geradoras de marés.

Para entender a ação conjunta das forças de geração de marés exercidas pela Lua e Sol sobre a Terra, considera-se que todos os astros não apresentam declinação de órbita. Resumidamente, quando os astros estão alinhados em uma mesma linha, as componentes geradoras de marés causadas pela Lua e Sol somam-se, as chamadas marés de sizígia, gerando marés com maiores amplitudes (Figura 6). Quando a Lua está desalinhada com o alinhamento Sol-Terra, as componentes geradoras de maré estão fora de fase, as chamadas marés de quadratura, gerando marés com menores amplitudes. Este sistema completa um ciclo completo em um período de 29,5 dias. Neste sistema a Lua representa uma maior influência na

geração de marés por estar situada mais próxima da Terra, mesmo o Sol tendo uma massa maior.

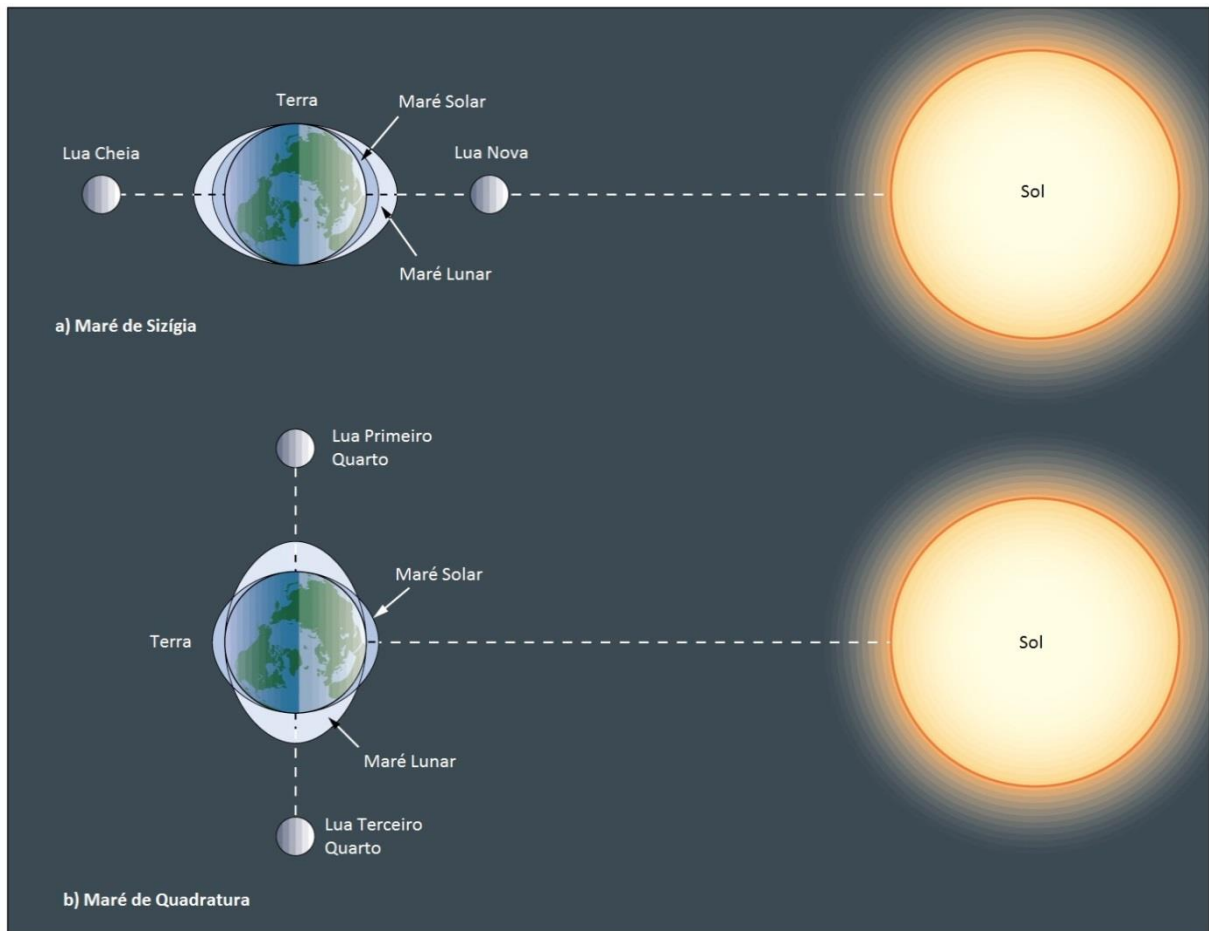


Figura 6: Esquema mostrando a influência do posicionamento dos astros Sol, Terra e Lua nos efeitos de maré sobre a Terra.

2.3 CONSTITUINTES HARMÔNICAS

O método harmônico de estudo de marés baseia-se no fato da onda de maré ser uma soma de componentes harmônicas com amplitudes e fases particulares, onde a fase da constituinte se é identificada por movimentos astronômicos do entre Terra, Sol e Lua.

As componentes harmônicas de maré de certa localidade são obtidas pela análise harmônica de uma série de dados medidos, com duração mais longa que os períodos de ocorrências das componentes.

O objetivo principal de analisar harmonicamente uma série de dados de maré é decompor a série em parâmetros estáveis no tempo que descrevam o comportamento hidrodinâmico do ambiente.

A partir da definição das constantes harmônicas é possível determinar o número de forma que caracteriza o tipo de maré, classificando-a como de comportamento diurno, semi-diurno, ou mista, podendo esta ser segmentada em mista com predominância diurna ou semi-diurna (MASSELINK e HUGHES, 2003).

Quantitativamente, um registro de marés pode ser classificado pela razão de amplitude das maiores componentes harmônicas diurnas e semi-diurnas. Utiliza-se desta forma valores de amplitude de componentes harmônicos específicos, definido pelo Número de Forma de Maré (Nf) conforme:

$$N_f = \frac{aK_1 + aO_1}{aM_2 + aS_2}$$

Onde:

- Nf = 0,00 a 0,25 Maré semi-diurna
- Nf = 0,25 a 1,5 Maré mista, com predominância semi-diurna
- Nf = 1,5 a 3,00 Maré mista, com predominância diurna
- Nf > 3,00 Maré diurna

2.4 MARÉS EM ÁGUAS RASAS

Quando a onda de maré chega em águas rasas na plataforma continental, sua velocidade é reduzida, sua forma amplificada, modulada e distorcida por um número de mecanismos hidrodinâmicos (PARKER, 2007).

A distorção da forma de onda ocasionada por mecanismos hidrodinâmicos em águas rasas provoca a assimetria de maré, quando as oscilações de subida e descida da maré não se mantêm iguais, alterando também o padrão de correntes de enchente e vazante. Esta distorção pode ter efeitos em dobrar a altura de uma parte da curva, seja a porção relativa a alta maré ou a baixa maré.

Dois efeitos podem ser descritos como causadores interações não-lineares que por sua vez, provocam distorções dos componentes fundamentais, criando harmônicos composto. Há o efeito da diferença de velocidade de onda durante propagação da onda de maré em seus níveis alto e baixo em águas rasas, e também há o efeito de atrito com o fundo e afunilamento da porção de terra emersa por onde a onda propaga-se.

A distorção da onda de maré atua na geração do composto harmônico M_4 , em primeira instância, e então progressivamente aos compostos M_6 e M_8 .

Em águas rasas onde a profundidade não é muito maior que a variação de maré, a profundidade sob a crista da onda de maré tenderá a ser maior do que sob a cava, fazendo com que a crista de onda propaga-se em maior velocidade. Assim, haverá um mecanismo que fará com que a maré alcance o seu nível alto de forma mais rápida do que o seu nível baixo alcançará (PARKER, 2007).

O mecanismo de fricção com o fundo pode ter um efeito simétrico e assimétrico. O efeito assimétrico resulta do fato de que a fricção tem como ação retardar a cava da onda em maior escala do que a crista, contribuindo para a distorção da onda de maré, somando-se ao efeito descrito no parágrafo acima. O efeito simétrico resulta da perda de energia devido à fricção sendo proporcional ao quadrado da velocidade de corrente (v^2), permitindo inferir que haverá uma perda de energia maior durante fluxos de velocidade de enchente e vazante quando comparados com momento de baixa velocidade (PARKER, 2007).

O efeito assimétrico da fricção atua na geração do composto M_4 enquanto o efeito simétrico atua na geração do composto M_6 . Ambos os compostos são referidos como *overtides*, sendo M_4 o segundo harmônico de M_2 , e M_6 o terceiro harmônico de M_2 . O composto M_8 é o terceiro harmônico de M_2 , sendo gerado por efeitos não lineares assimétricos no composto M_6 com o composto M_2 (PARKER, 2007).

Quando uma onda de maré propaga-se por um estuário e sua largura é continuamente reduzida (afunilamento), o efeito de fricção dissipará energia da onda de maré, mas o efeito de afunilamento manterá a altura de onde sobrelevada, resultando em uma maior distorção na forma de onda. Ainda, a onda de maré poderá sofrer ainda uma maior influência da interação com o fluxo rio abaixo, amplificando os efeitos de distorção (PARKER, 2007).

2.5 ESTUÁRIOS E SUA CONFIGURAÇÃO HIDRODINÂMICA

Os estuários são zonas de transição entre o ambiente costeiro e marinho, tendo seu limite superior considerado como sendo o ponto onde os de maré ainda se fazem presentes (PARK, 1989). São importantes zonas de troca de água e sedimentos entre região marinha e continente.

A definição de estuários mais aceita nos estudos costeiros foi proposta por Pritchard (1995):

“Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Geralmente são divididos em três seções: baixo estuário, possuindo conexão livre com o oceano; médio estuário, onde ocorre o processo de mistura da água marinha com água doce; e alto estuário, dominado por água doce mas ainda sentindo os efeitos da maré, seja no nível ou presença de sais (PARK, 1989).

Miranda et al (2002) apresentaram um esquema didático de representação funcional de um sistema estuarino (Figura 7), onde ZR representa a Zona de Maré do Rio, dominada por processos fluviais, com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita a influência da maré; ZM denota a Zona de Mistura, onde ocorrem o processo de mistura da água doce com água do mar; e ZC situando-se como Zona Costeira, delimitando-se da Zona de Mistura até a frente da pluma estuarina.

Na ZR a circulação hidrodinâmica é predominantemente unidirecional (rio abaixo ou acima). Na transição entre a ZR e ZM há uma região onde a circulação apresenta uma característica nula pela convergência de movimentos fluviais e oceânicos, favorecendo a concentração de sedimentos em suspensão. Na ZC os componentes mais energéticos de correntes são gerados pelos ventos e correntes (MIRANDA et al, 2002).

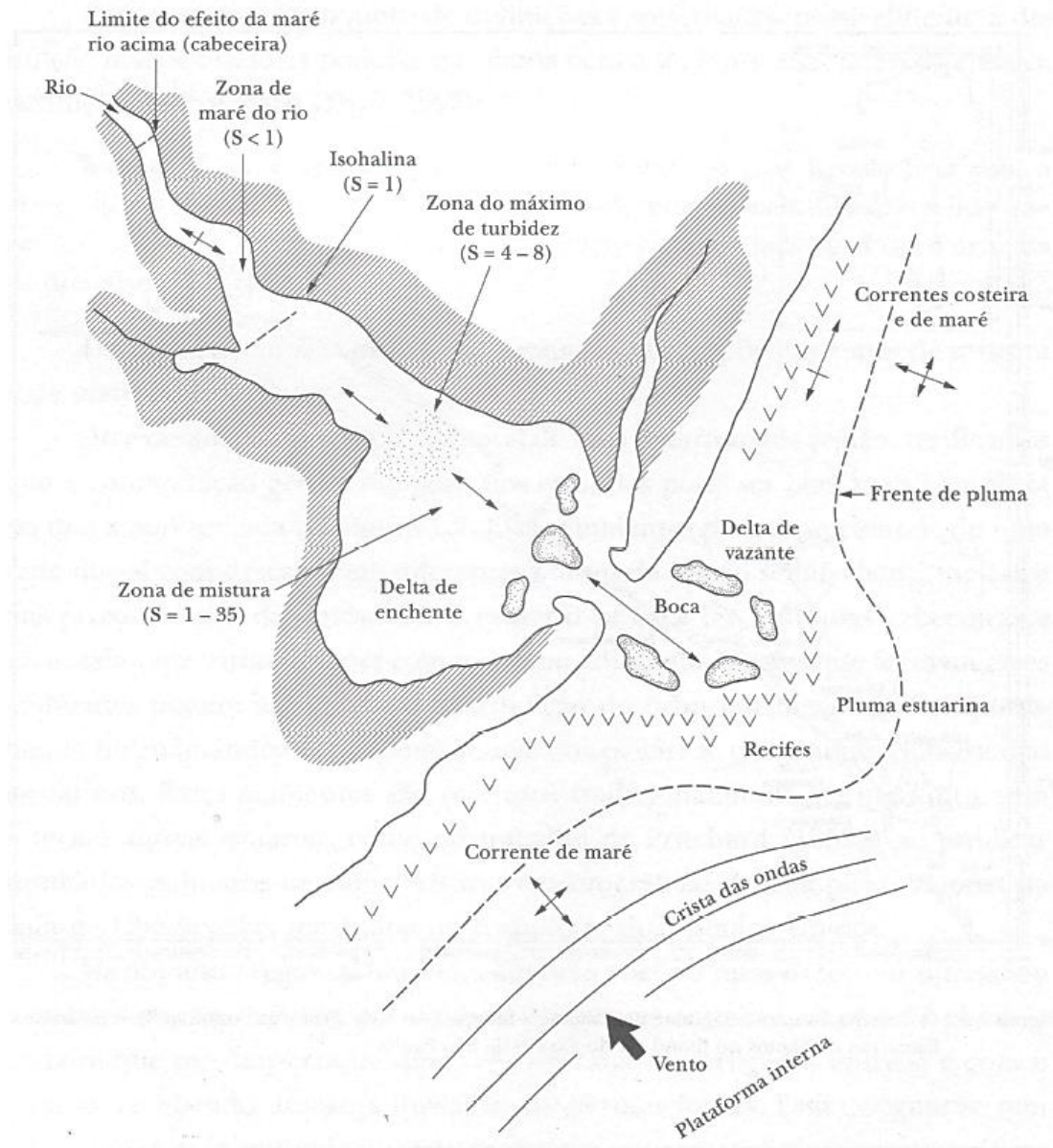


Figura 7: Configuração e delimitações funcionais de um ambiente estuário. Fonte: Miranda et al (2002).

A superfície dos estuários oscila verticalmente forçada pelos processos de ondas de gravidade superficial, co-oscilações das marés, tensão de cisalhamento do vento, variações temporais na descarga dos rios e pressão atmosférica, além da co-oscilação com a sobre elevação do nível de água provocada pelo vento que ocorre na plataforma continental (MIRANDA et al., 2002).

O efeito da descarga fluvial além de gerar um componente de circulação estuarina estuário abaixo, ao diluir a água do mar, produz diferenças de densidade ao longo do estuário, gerando um movimento estuário acima forçado pelo gradiente de pressão, o movimento barotrópico (MIRANDA et al., 2002).

O movimento da onda de maré para o interior do estuário controla as oscilações verticais no nível de água e movimento horizontal da coluna de água. O aumento do nível de água é provocado pela passagem da crista da onda de maré, enquanto a redução do nível é provocada pela passagem da cava da onda. O movimento horizontal de água para o interior do estuário é denominado de corrente de enchente, enquanto o movimento para o oceano é denominado corrente de vazante.

Os máximos valores de velocidade de enchente e vazante normalmente serão encontrados na entrada da baía ou estuário. No entanto, se a largura e profundidade da baía decresçam de forma abrupta, as velocidades de correntes serão mais elevadas nas regiões mais rasas e estreitas, pois o fluxo de água estará sendo forçado para passar por uma menor área (PARKER, 2007).

O momento da curva de maré onde ocorrem as correntes de enchente e vazante é dependente do comportamento da maré no interior do estuário, se é progressiva ou estacionária. Defasagem entre as componentes M_2 e M_4 causam distorções na duração dos ciclos de enchente e vazante, com o grau de defasagem determinando a dominância, quando presente, do vazante ou enchente.

De uma forma geral, o fluxo de água resultante em um estuário será a resultante da corrente de maré e a corrente do rio, resultando em uma rápida e longa fase de corrente de vazante e uma fase de corrente de enchente mais curta e lenta.

Levando em conta o citado efeito de perda de energia devido a fricção sendo proporcional ao quadrado da velocidade, durante a maré vazante a corrente de maré é intensificada pela fluxo do rio, resultando em uma maior perda de energia. Durante a maré enchente, a menor velocidade de corrente resulta em uma menor perda de energia pelo mesmo motivo descrito acima (PARKER, 2007).

A dominância na vazante, quando os valores de velocidade de corrente são maiores que valores de enchente, é encarada com o processo hidrodinâmico responsável pela manutenção da profundidade dos canais, impedindo seu assoreamento.

Conforme a onda de maré propaga-se estuário adentro, a crista de onda (maré enchente) viaja mais rápido do que a cava da onda (maré vazante) por conta que a velocidade de propagação depende da profundidade. Pela geometria dos estuários, conforme a maré enche, uma maior quantidade de água precisa fluir através do canal de maré, então a velocidade tende a ser aumentada (PARK, 1989).

Após um valor limite, a velocidade é reduzida porque o fluxo não é mais restrito a mover-se em um canal de maré. Durante a maré vazante, o fluxo inicial de correntes tende a se deslocar de forma mais lenta no início do processo sobre áreas inundadas, então sua velocidade é aumentada conforme a maré reduz seu nível, então o fluxo é novamente canalizado e auxiliado pelos canais de maré (PARK, 1989).

Neste processo é visualizada uma assimetria na velocidade de corrente de maré, resultado do preenchimento e esvaziamento das planícies entre-marés durante um ciclo de marés (Figura 8). Durante o fluxo sobre planície de marés, nos estágios iniciais da maré vazante e nos estágios finais da maré enchente (desta forma, com estuário cheio), a velocidade de corrente tende a ser reduzida devido ao montante de água ser disperso por uma maior área. Quanto esta área entre-marés encontra-se vazia, entre o final da maré vazante e o início da maré cheia, o fluxo de água tenderá a ser aumentado para que o montante de água flua pela menor área na mesma escala de tempo.

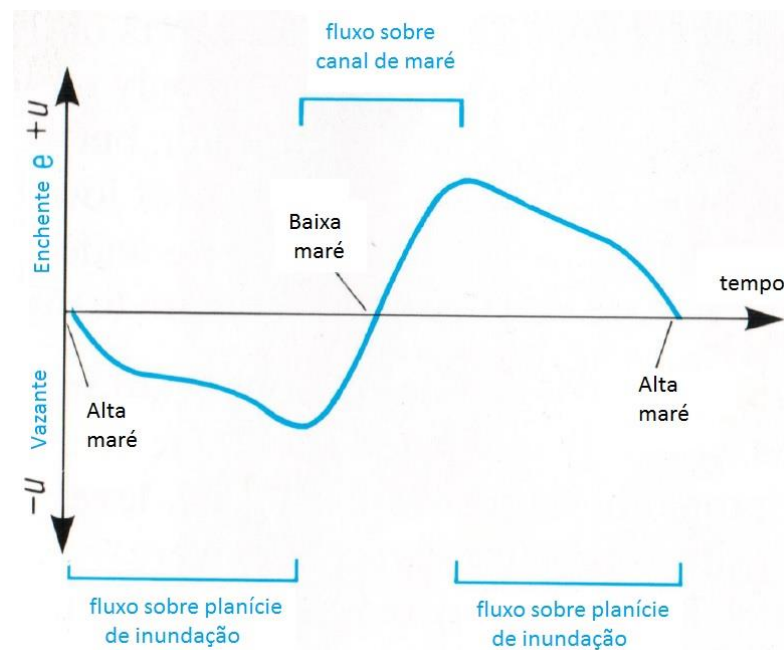


Figura 8: Esquema mostrando os momentos de fluxo sobre planície de inundação e sobre canal de maré em estuários.

Wolanski et al. (1990; *apud* Rigo, 2004) atribuíram o domínio de vazante à presença dos manguezais, importantes no aumento do prisma de maré e por controlarem a dispersão de soluto, devido ao aprisionamento lateral da água no canal.

A assimetria de maré em canais de maré com manguezal foi resultado, segundo Wolanski et al. (1990), da mudança de fase do sinal de maré entre a cabeça e boca do estuário, quando a frente de onda da preamar chega até a cabeça do canal, já está vazando na sua boca, o que fornece a declividade para a facilitação do fluxo de água estuário abaixo.

2.6 ESTUDO CORRENTES E MARÉS NO MARANHÃO

Estudos e investigações na zona costeira do Maranhão e plataforma continental associada iniciaram durante a década de 70, tiveram um aprofundamento descritivo na década de 80, e durante a década de 90 e anos 2000 foram consolidados estudos em programas ambientais.

Nos anos 70, Morais (1977) realizou estudo sobre evolução sedimentar na área adjacente ao Porto de Itaqui, onde utilizou de informações de correntes e marés para a descrição dos processos sedimentológicos.

Na década de 80 houve estudos de caráter hidro-sedimentológicos que permitiram primeiras definições sobre o comportamento de correntes do estuário do Rio Mearim e sua associação com ação sobre o fundo arenoso (ALFREDINI, 1983; 1988), além de uma série de notas técnicas emitidas envolvendo estudos de implantação dos portos.

Durante a década de 90 houve a publicação de estudos sobre a dinâmica costeira ao norte da Ilha de São Luís (EI-ROBRINI, 1992; FEITOSA, 1989, 1996, 1997; TAROUCO E SANTOS, 1997; VIANA, 2000).

Pereira e Harari (1995) publicaram um estudo sobre os resultados de uma modelagem numérica tridimensional na plataforma continental do Estado do Maranhão visando simular a circulação gerada por efeitos harmônicos e meteorológicos na área de estudo.

Entre os anos 80 e 90 uma série de publicações técnicas geradas por centros de pesquisa da Universidade de São Paulo contribuíram para a geração do conhecimento no ambiente nos aspectos hidrodinâmicos e de circulação, grande parte deste motivados pela instalação dos portos e manutenção de canal de acesso.

Ei-Robrinini et al, (2002) publicaram um Atlas Oceanográfico na área de influência do Bloco Exploratório BM-BAR-1.

Garcia e Alfredini (2005) publicaram um artigo sobre caracterização hidrodinâmica das correntes de maré na área portuária do Maranhão utilizando modelagem numérica

Amaral (2006) desenvolveu sua tese realizando a caracterização hidrossedimentológica do canal de acesso do complexo portuário do Maranhão, descrevendo hidrodinâmica e circulação do ambiente, bem como aspectos morfodinâmicos e sedimentológicos de formas de fundo do canal, gerando publicações em revistas científicas (AMARAL e ALFREDINI, 2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS DE ESTUDO

Os perfis de corrente foram obtidos por um ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*), que permite a coleta de dados com uma alta resolução vertical de medições do vetor de correntes, além de medições de nível obtido por um sensor de pressão, considerados os dados de maré. Com a utilização de ADCP é possível obter valores de velocidade e direção de correntes por praticamente toda a coluna d'água, com exceção da região próxima do fundo devido a altura do sistema de fundeio e distância de branqueamento (*blanking distance*), quando instalado com seus feixes voltados para cima (*upward-looking*), adotado no fundeio dos equipamentos deste projeto, e próximo da superfície por interferências acústicas sofridas pela interface entre ar-água ou água-fundo marinho.

A eficiência na operação de coleta de dados deve vir acompanhada de pessoal qualificado e métodos na calibração dos dados para verificar a coerência dos dados coletados em termos de meio digital para o meio científico, e processamento para descrever e obter informações sobre a série temporal. Em um primeiro momento da análise dos dados coletados são utilizados métodos de estatística sobre séries temporais no domínio do tempo, observando como os sensores coletaram os dados (EMERY e THOMPSON, 1998).

Um passo necessário é a verificação de sincronismo na coleta dos dados. Este erro atua no horário e intervalo de coleta de dados, causado por mudança no intervalo de amostragem ou por causa amostras são perdidas durante o período de gravação. Pode ser observado diretamente sobre o campo de horário de coleta na série temporal (EMERY e THOMPSON, 1998).

Outras formas de erro podem acontecer em decorrência de falha no equipamento ou questões ambientais, fornecendo valores errôneos à série temporal, conhecido por *spikes*. Ainda podem ocorrer erros aleatórios ou ruídos, considerados estatisticamente independente e com distribuição normal de probabilidade de ocorrência, devendo-se recorrer a métodos estatísticos em sua eliminação (EMERY e THOMPSON, 1998).

Inicialmente os dados brutos coletados necessitam passar por uma etapa de redução dos dados que os tornam uma informação ligada à hidrodinâmica do estuário. Este procedimento permite uma avaliação ambiental do estuário, possibilitando a compreensão da circulação hidrodinâmica do ambiente.

4. ARTIGO

Para cumprimento da normativa do programa de pós-graduação da UFRGS, foi gerado e submetido um artigo à revista científica *Brazilian Journal of Oceanography*. Como o artigo ainda não foi aprovado em tempo hábil de finalização desta dissertação foi incluída a carta de recebimento do artigo em anexo, conforme Anexo I.

DESCRIÇÃO PONTUAL DE MARÉ, PERFIL DE CORRENTES E SUAS INTER-RELAÇÕES EM UM PONTO DO ESTUÁRIO DO RIO MEARIM, SÃO LUIS, MARANHÃO.

Punctual description of tides, current profile and their inter-relationship in a measurement point in Mearim River Estuary, São Luis, Maranhão

Diego M. BITENCOURT^{1*}, Jair WESCHENFELDER² & Rodrigo do Carmo BARLETTA³

1 Programa de Pós-Graduação em Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Instrumentação Meteo-Oceanográfica Offshore - Chicago Bridge & Iron (CB&I). Avenida Paisagista José Silva de Azevedo Neto, n° 200, Bl 2, Sl 106, Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ - CEP 22775-056. E-mail: diego.bitencourt@cbi.com

2 Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9500 – Instituto Geociências, Agronomia, Porto Alegre, RS – CEP 91501-970 – Caixa Postal: 15001. Email: jair.weschenfelder@ufrgs.br

3 Chicago Bridge & Iron (CB&I). Rodovia José Carlos Daux, 8600, Bl 3, Sl 102, Snt Antônio de Lisboa, Florianópolis, SC – CEP 88050-000. Email: rodrigo.barletta@cbi.com

4.1 ABSTRACT

This study aim to describe the punctual hydrodynamic behavior of Mearim River estuary, analyzing the pattern of the tidal current, the tidal data and possible relationship between them. During 2012 november and december an ADCP was deployed in the estuary channel, where it collected data for 31 days. The data were qualified and processed for further analysis and inter-comparisons. It was observed the estuarine water column in the point of deployment moved as a homogeneous water column with bidirectional flux in axis NE-SW. The deployment was made in a period of low pluviosity index. The energy spectrum of current velocity indicated partial contribution of harmonics M_2 , M_4 , M_6 e M_8 in the current pattern found. Delays between the maximum velocity during flood and ebb conditions, showed the dominance of the ebb process over the flood in the estuary. An analysis integrated presented on this paper allowed a better understanding of the behavior of the current forced by tides, called the tidal current in the Mearim River estuary.

4.2 RESUMO

Este estudo visa à descrição pontual do comportamento hidrodinâmico do estuário do Rio Mearim, analisando os padrões de corrente de maré, do registro de marés e das possíveis relações entre eles. Durante novembro e dezembro de 2012 um ADCP foi fundeado no canal do estuário, onde coletou dados por 31 dias. Os dados foram qualificados e processados para futura análise e inter-relações. Foi observado que a coluna de água estuarina no ponto de medição move-se como uma coluna de água homogênea com fluxo bidirecional no eixo NE-SW. As medições ocorreram no período de baixo índice de pluviosidade. O espectro de energia de velocidade de correntes indicou contribuições parciais dos harmônicos M_2 , M_4 , M_6 e M_8 no padrão de correntes encontrados. Defasagens no tempo entre os picos de máxima velocidade de corrente durante enchente e vazante mostraram a dominância do processo de maré vazante sobre a enchente no estuário. A análise integrada apresentada permitiu uma melhor compreensão no entendimento do comportamento das correntes forçadas pela maré, as chamadas correntes de maré, no estuário do Rio Mearim.

4.3 DESCRIBERS

Tidal current, estuary hydrodynamics, Mearim River

Corrente de mare, hidrodinâmica estuarina, Rio Mearim

4.4 INTRODUCTION

Take in account the economical, ecological and social importance of estuaries, a deep descriptive knowledge of tidal current and heights behavior and their relationship is imperative for a good management in all of those issues and activities executed in estuaries.

The São Marcos Bay, located in Northeast Brazil, has a noticeable position on the international market for its strategic vocation for the commodities exportation and importation of sub-products extracted from petroleum. This insert the Maranhão Port Area as the second bigger port complex in Brazil in terms of load movement, localizing close to bigger consumer markets: United States, Europe and Asia utilizing the Panama channel (AMARAL, 2006).

Daily in São Marcos Bay, the navigation channel is used by small (passengers, fishers and suppliers) and big (Valemax class) ships with tons of load, and in its water body, the same ship execute maneuvers for port logistics (rotation, trapping).

The navigation and maneuver in port area are impacted daily by the tidal current acting on ships, which cause them the replacement from its real route taking in account the ideal route. In addition, strong tidal current in certain moments of the maneuver amplify this problem, making the control by pilots something hard, which compromise the operation and impact ship docking (PIANC, 1997).

In this context, the proposed study aim contribute with the knowledge in how currents react in a short time scale, allowing a better understanding on its behavior along the variation in tidal height.

This study concentrate in verify and describe the current profile behavior in a single point in Mearim River estuary. It will be analyzed its particularity in function of the tidal height measured, observing which moment of its curve are seen the higher values in current velocity, reversion of direction and recurrence times of these moments. It is part of this study a parametric analysis of the time series, and also in terms of energy spectral of currents and tides, individualizing each process seen.

As a practical result, this descriptive study of the current patterns inside the estuary allow to support logistical decision and port control, aiming to improve entrance maneuvers and docking, concerning with security, environment and health issues. Also, it will contribute to the hydrodynamic knowledge of the study area.

Going further, the results shown can contribute to support studies linked to estimates in sediment transport rate, salt, nutrient and pollutions; to understand calibration of numerical models; to subsidize further oceanographic surveys, helping in their planning stage.

4.5 MATERIALS AND METHODS

The Maranhão State is geographically located in the occidental boundary of northeast region of Brazil (figure 9), and has up to 6,5 millions of people in 2010, in an area of 331.937,450 km². It covers the biggest bay in North and Northeast Brazilian coast, the São Marcos Bay, where is found an exclusive estuary by its

geographic extension, tide dynamic and relative importance as hold a complex port infrastructure.

4.5.1 Early Studies

Studies and investigations in Maranhão coastal zone and continental platform has begun during the 70's. The knowledge was improved through descriptive studies in the 80's, and between the 90's and 2000, it was consolidated as studies in environmental programs.

In the 80's it was executed hydro-sedimentologic studies which allow the first definition of the current behavior in Mearim River Estuary and its association with seabed features, beyond a series of technical notes. In the 90's it was seen studies regarding the coastal dynamics in north São Luís Island (EI-ROBRINI, 1992; AMARAL, 2006; AMARAL & ALFREDINI, 2010).

4.5.2 Environment Characterization

The study area is found in the Golfão Maranhense compartment according to classification of EL-ROBRINI et al (2006). This classification is based on physiography compartmentalization, which is characterized by its estuarine complex, where an inflow of fresh water comes from Rivers Mearim (study area), Itapecuru and Munin, and another small ones.

The São Marcos Bay is the major bay in North Brazil, bounded in west by continent, in east by Maranhão Island (São Luis), and in south by Mearim River Mouth. This one presents as a broad estuarine zone, oriented NE-SW, open to the ocean in its north portion by a distance between river margins of up to 30 km, narrowing to 10 km when the observer is 25 km into the estuary.

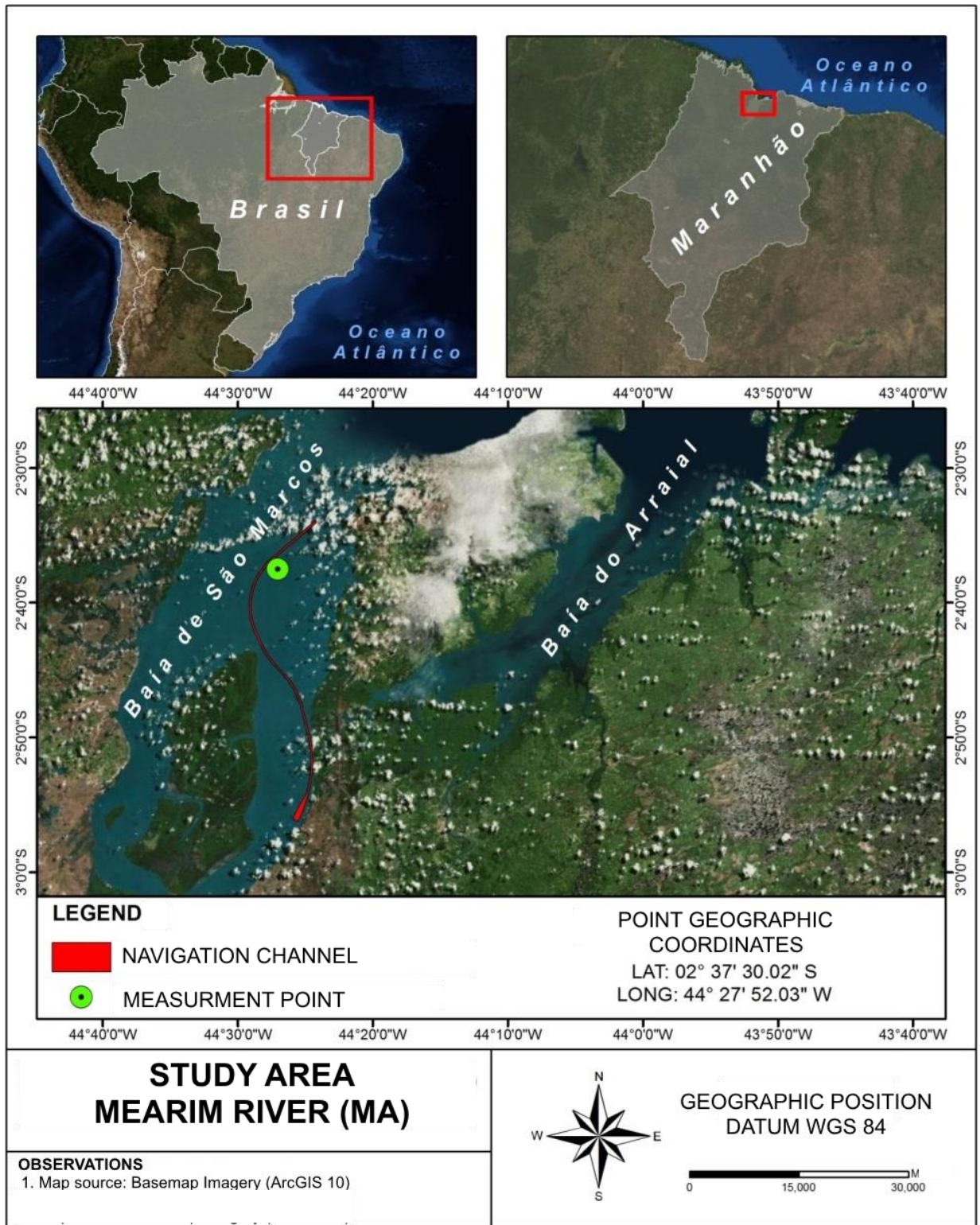


Figure 9: Localization of study area.

The mouth of São Marcos Bay has wide dimensions, and it narrows considerable in the mouth of Mearim River. According to El-Robrini et al (2006), the São Marcos Bay consist in an active estuary, with a central navigation channel well developed,

dominated by ebb current, where it is seen a series of sand bars, from the mouth of the Bay up to kilometers inside the estuary.

The area has a tropical climate with a wet season presenting a high pluviometric rate from December to June, and a dry season in the other half of year. According to automatic station INMET in São Luis (station A203) in the first half of the year the study area is dominated by a high precipitation rate, while the second semester generally is dominated by a low precipitation rate. The relative humidity follows the same pattern, with high rate in the first half of the year, lowering its index in the second half (figure 10).

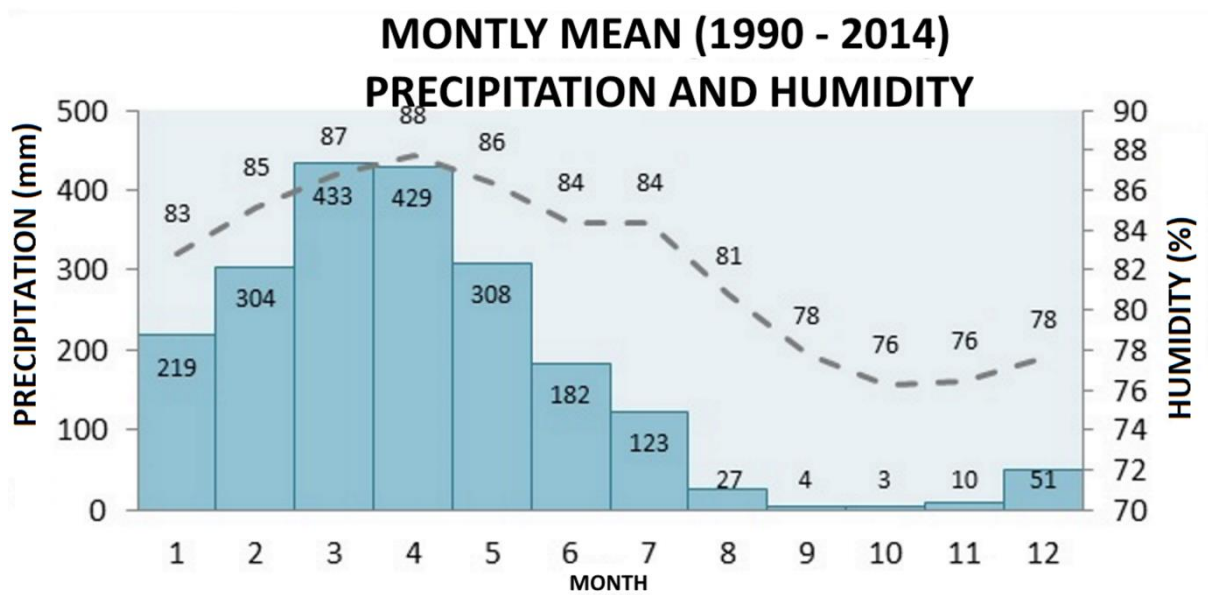


Figure 10: Monthly average of precipitation and relative humidity between 1990 and 2014.

The Wind pattern in north Brazil, where its inserted the study area, is governed by a macro-scale circulation, with wind direction blowing from the east and northeast, with mean velocity about 5 m/s (EL-ROBRINI et al, 2006). Figure 11 shows a wind rose generated from an INMET time series between 2011 and 2014, where can be seen dominant and frequent wind blowing from E-NE. The most frequent wind velocity is 2 – 4 m/s and 4 – 6 m/s.

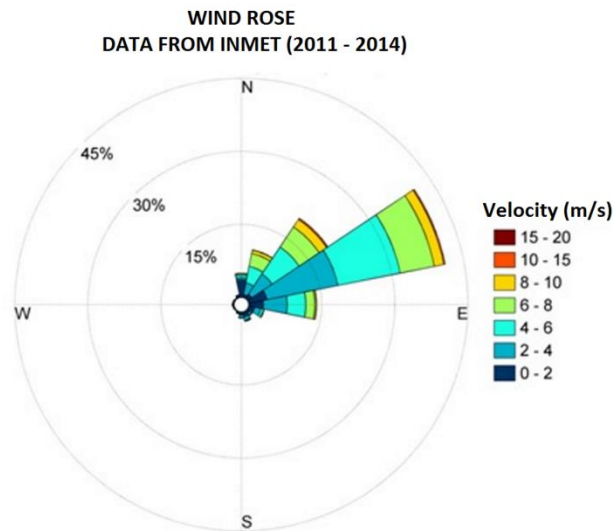


Figure 11: Wind rose showing the frequency of occurrence in function of Wind velocity and direction, generated by an INMET time series between 2011 and 2014.

The hydrodynamic in São Marcos Bay is governed by tide variations, with the local winds contributing to small waves inside the estuary and deviations in circulation generated by tide.

The tide regime is characterized by semi-diurnal type, with 2 cycles of flood and ebb situations, namely a macro-tide environment reaching up to 7 m of wave tide amplitude.

The tide-induced current has N to NE direction in ebb condition, and S to SW direction in flood condition. The maximum values of velocity generally occur 3 to 4 hours from the higher level, on ebb conditions; and 2 to 3 hour after the lower level, on flood conditions. In São Marcos Bay the current velocity induced by tide can reach up to 2,5 m/s, according to El-Robrinni et al (2006).

In fact, the tide induced current inside the estuary are mainly governed by the astronomic constituent, since the meteorological one for the hydrodynamic circulation answers to about 0,2% of the total in a normal meteorological situation in winter and summer times (PEREIRA & HARARI, 1995).

Waves inside the Bay are produced by local NE winds, and are able to reach up to 1,10 m height with a wave period of 6 s.

4.6 METHODOLOGY

4.6.1 Data Collection

The time series used in this study was collected by an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) model AWAC 600 kHz, from Nortek. This frequency of operation can be used to profile current in a range up to 50 m, what makes it a well proven solution for shallow water surveys.

The equipment was deployed in a point inside the navigation channel of the estuary (figure 9), around 30 km distant from the estuary mouth, in a region of broad estuarine domain, with margins of 20 km wide. The point chosen is located exposed to all current, wind and waves influence inside the estuary. The geographical coordinates of the measurement point is seen in table 1.

Table 1: Geographic coordinates of oceanographic mooring.

Latitude	2° 37' 30.02" S
Longitude	44° 27' 52.03" O

The deployment configuration of the equipment used in the present study can be seen on table 2.

Table 2: Deployment configuration used to collect data with the ADCP.

Number of cells	30
Cell size	1 m
Profile interval	600 s
Ensemble average	180 s
Lenght of trasmitted pulse	1 m
Blanking distance	0,5 m
Compass update rate	600 s
Coordinate system	ENU
Salinity considered	35 ppt

The equipment was deployed between November 11th 2012 and December 17th 2012, and after recovered, the data were firstly analyzed by AWAC AST® software for a first contact with the time series, evaluating the quality of signal measured and further extraction to a format used by the algorithm of data qualifying and processing process.

4.6.2 Data qualification and processing

The data qualification consists in technics which the data can be confident through the elimination of noises and faults (bias) included on it. The processing technics consist in give a physical and environmental significance to them, allowing further analysis and inter-comparison.

As part of the verification of data quality it was observed the attitude behavior of the mooring, which present if the equipment was inside its acceptable position and inclination during all deployment (30° for current measurement). After, it was observer the quality signal parameter measured by the ADCP, namely the signal to noise rate, which shows if the signal returned to the equipment is inside acceptable values above its noise.

Basically, a higher value of SNR indicates that the signal analyzed is more pure and significant, containing a lower rate of noise on it. A lower value of SNR shows that the signal analyzed has a major content of noise.

The time series was qualified and processed by an algorithm according to CB&I (2010). The algorithm goes manually through a series of steps to evaluate the quality of the data collected and eliminate inconsistent data, represented by the errors: spikes (3 standard deviation as reference), gaps, synchronism and repeatable values.

All direction information collected by the ADCP is referenced to Earth magnetic by the use of a magnetic compass. This deviation was correct according to the geographic location, with a value of $20,92^\circ$, obtained in NOAA.

In this study was used the current data in terms of magnitude and direction, instead of u and v component. This was chosen to preserve all the energy contained in the velocity information, taking in account that when using components u and v oriented to the estuary axis, some energy persists in component v.

4.6.3 Standardization of information

Due to the high rate of tidal variation, the measurement cell was transformed into adimensional depth, using information known about the depth of any individual cell in relation to the distance from ADCP and the water level data collection.

This transformation to adimensional depth aim to eliminate from the physical significate of the data the effects of stretch and contraction of the water column during flood and ebb tides. As an example, if this method was not executed, when analyzing a cell located at the surface in low tide, the physical significance of this measurement at the same cell would not be equivalent in high tide, where the cell would be about 6 m below the water surface.

After this transformation, it was selected 4 sample depth to follow with all the current analysis. The extracts were delimited by boundary adimensional depth values, according to table 3.

Table 3: Table shows the boundary values to the definition of the depth extracts presented on this study.

EXTRACT	INFERIOR	UPPER
Near bottom Current	0,23	0,27
Midwater Current	0,48	0,53
Semi-surface Current	0,73	0,77
Surface Current	Last data (cell) collect	

4.6.4 Energy spectra

To understand the contribution of origin process to the behavior and patterns seen on tidal and current data, at the several frequency band, it was realized a simple spectral analysis with Hanning window and spectral estimative using Welch method.

The energy spectral is obtained through the transformation of data in time domain to frequency domain, using Fourier analysis.

4.6.5 Generation of Harmonical Components of Tides

To extract the harmonical components of tides it was used the software PACMARÉ®, elaborated by Franco (1992). To run the software, the tidal time series was prepared in Matlab, and it was created a .txt document with useful information for PACMARÉ®.

4.7 RESULTS AND DISCUSSIONS

4.7.1 Data quality parameters

The first parameter analyzed to check if the equipment was in a proper condition of collect good data is the pitch and roll data. The figure 12 shows a series of these parameters for the period of deployment, and presents a well condition of the equipment along the whole time series, inside its limit of operation. There were little noises during the deployment and a strong movement of the whole structure at the final days of measurement, but all of these didn't affect the measurement.

The parameter Signal to Noise Ratio for the whole profile and deployment can be seen in figure 13, where it is shown the quality aspect of the signal received during the measurements. Looking to it is noticeable a good visual character of the series, with a smooth lowering in this value from the bottom (equipment) to the surface (more distance from the transducer), with all values higher than 30 dB. This is an expected result, since the energy of the signal will decay as it propagates along the water column.

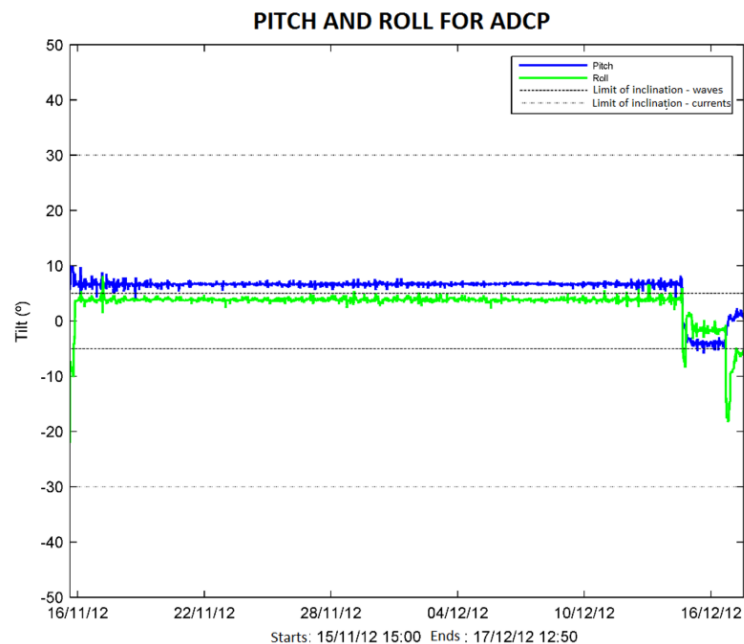


Figure 12: Time series of pitch and roll.

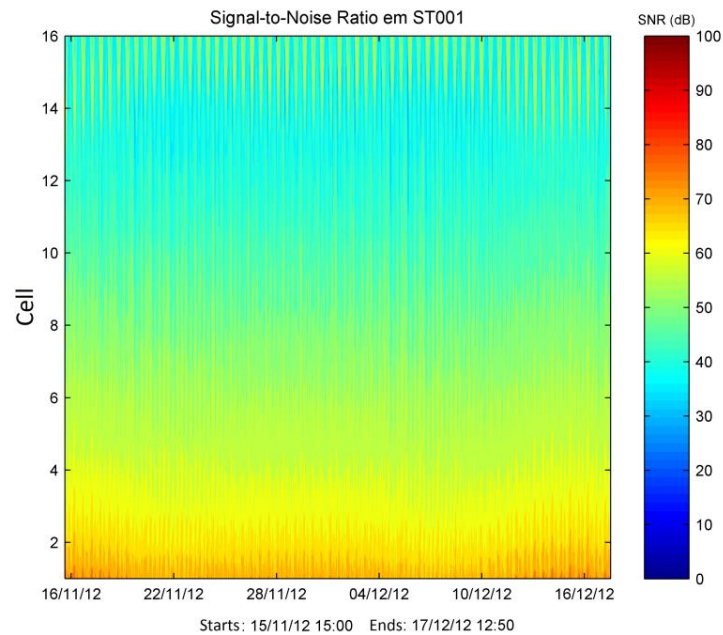


Figure 13: Time series of signal to noise ratio (SNR) for the whole profile and deployment.

It was defined as valid data according to quality parameters of the sensors described above a start date of November 15th 2012 15:00h to December 17th 2012 12:30, totalizing 31 days of measurement.

4.7.2 Tide data

The tide time series collected by ADCP can be seen by figure 14, while the more relevant statistics parameters can be seen by table 4. It is highlighted that the values presented don't represent the tide isolated, but the tide over the depth of sensor collection during the deployment. It should be added 2 m related from the height sensor above estuarine bed.

Table 4: Statistic parameter of tide time series.

Parameter	Value (m)
Minimum	14,96
Maximum	21,66
Mean	18,52
Variation	6,7

The average amplitude from trough to crest found was 6,7 m, evidenced during spring tide. The mean level measured in the measurement point was 20,52 (18,52 m

measured from the sensor + 2 m relative to sensor height above estuarine bed), with a minimum during the measurement of 16,96 m (14,96 m + 2 m), and maximum of 23,66 m (21,66 m + 2 m). The higher tidal variation was found in a situation of new moon, which occurred in November 13th 2012 and December 13th 2012.

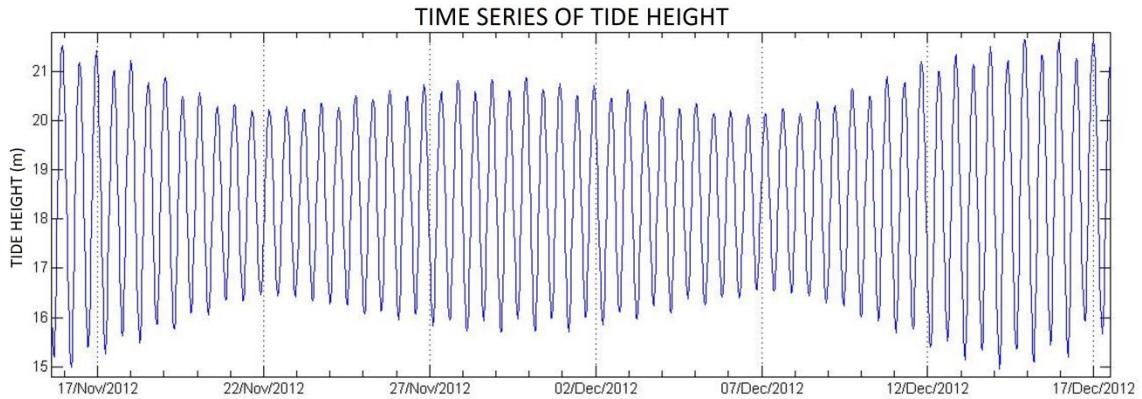


Figure 14: Tidal time series collected by ADCP.

The form number (N_f), which express the relative importance of diurnal (K_1 e O_1) and semidiurnal (M_2 e S_2) components of tides, showed that the tide measured is semidiurnal. The result obtained was:

$$N_f = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} = \frac{10,79 + 9,59}{214,84 + 59,21} = 0,074$$

It is also observed by Figure 14 that in every 2 successive waves, one presents amplitude higher than the next one, being this behavior more pronounced during situations in spring tide.

4.7.3 Current time series

The result for current showed expected values for a macro tidal estuary, with higher velocity at the surface, reducing gradually to the estuarine bed, without a sharp reduce on the mean value.

A synthesis of the statistical parameters for current velocity in function of the depth extracts studied can be seen by table 5, where it is noticeable the higher value in surface (2,26 m/s). At the near bottom extract the maximum value found was 1,88 m/s, a difference of 0,3 m/s when compared with the maximum found at the surface. For all depth extracts the minimum of velocity found was virtually 0 (zero).

Table 5: Basic statistics parameters for each depth extract.

Parameter	Value (m/s)			
	Near Bottom	Midwater	Semi-surface	Surface
Minimum	0	0,01	0,01	0,01
Maximum	1,88	2,06	2,17	2,26
Mean	0,81	0,94	1,00	1,02
Variation	1,88	2,5	2,16	2,25

Observing a current rose from last measurement cell, it is observed that in the Mearim River estuary there is a hydrodynamic bidirectional pattern in axis NE-SW (figure 15). During flood tide the current vector has direction of 220° , and during ebb tide direction of 30° . This pattern is seen in all measurement cells. Small variation in the current direction occurs in moments of inversion in current, when velocity is close to zero. Independent of the navigation channel orientation, the current follows the estuary orientation and its connection with the ocean.

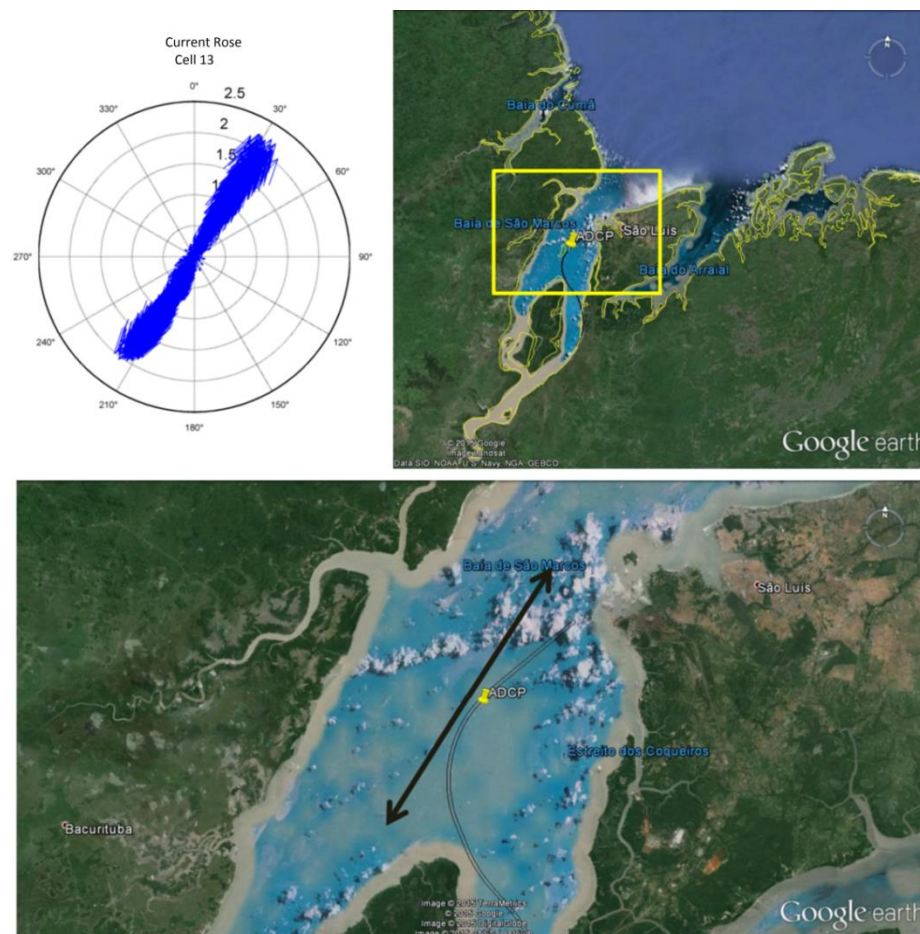


Figure 15: Current rose for measurement cell 13 and bidirectional axis of currents acting on the study area.

4.7.4 Spectral Analysis

It was realized spectral analysis of the tide time series, and current velocity for all the depth extracts in this study. The energy spectra for tidal height (figure 16) reveals the dominance in the frequency of 2 cycle per day (cpd), characterizing the semi-diurnal regime of tides, according to the result of form number (N_f) presented above. It was also seen a small contribution in occurrence of energy in 1 cpd.

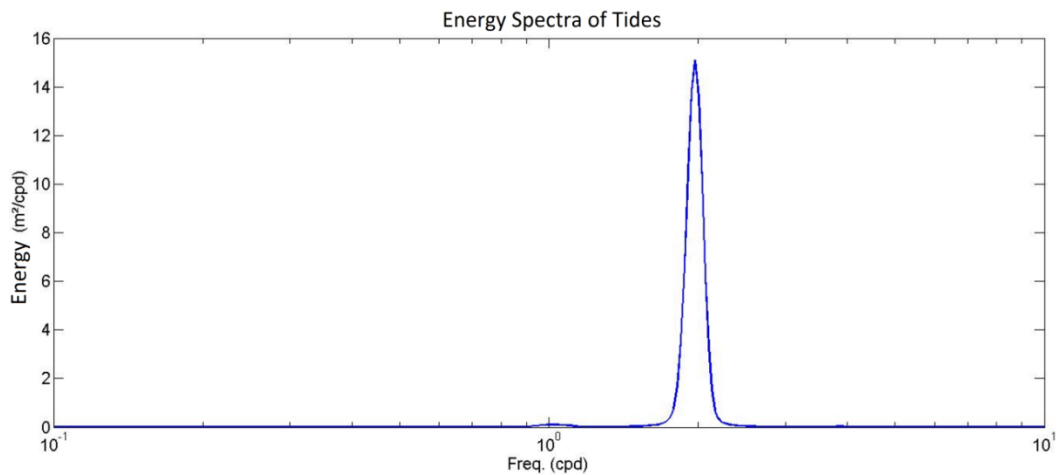


Figure 16: Energy spectra for tides.

The energy spectra for current in all depth extracts shows the same behavior of energy, with differences in amplitude among them (figure 17). It was seen noticeable peaks in frequency of 2 cpd, 4, 6 and 8; a small occurrence in 1 cpd; and an energy not considered here in the low frequency relative to meteorological process acting in the continental platform.

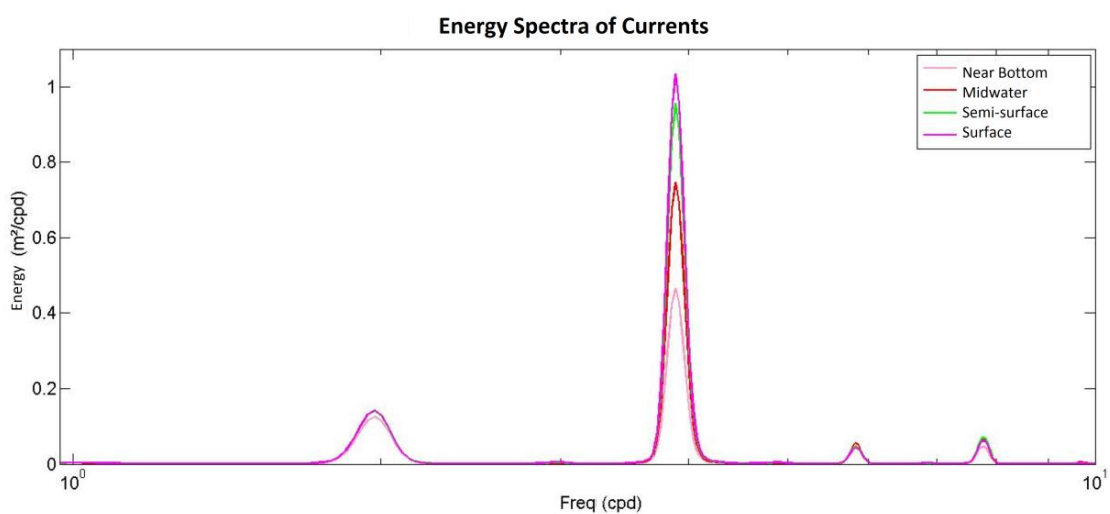


Figure 17: Energy spectra for currents in all 4 depth extracts.

The figures 18, 19 and 20 detail the peaks found in the higher energy concentration, showing the differences among them.

To the energy concentrated in the frequency of 2 cpd, the depth extract semi-surface and surface presented practically the same value; while the near bottom extract showed the lower value (fig. 18). The frequency of 2 cpd visualized on the data represent the influence of the vertical oscillation from tide, imposing its periodicity in the occurrence on the estuary. Even with the dominance of semi-diurnal tides, this was not the frequency most representative for currents.

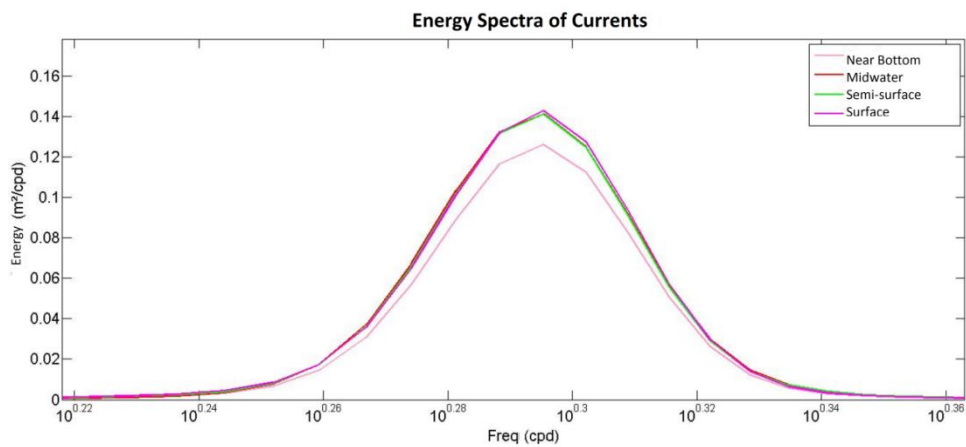


Figure 18: Energy spectra integrated with focus on frequency in 2 cpd.

To the energy concentrated in 4 cpd, the major energy peak was associated with the surface current, decaying gradually to the near bottom depth extract, when it was seen the half value found in surface (fig. 19). The component in 4 cpd represents the actuation of M_4 component, the first compound of M_2 component. It is result of the asymmetric effect produced by friction between the wave tide with the bottom. The asymmetric effect acts slowing the wave trough in major scale than its crest, contributing to distortion in tide (PARKER, 2007).

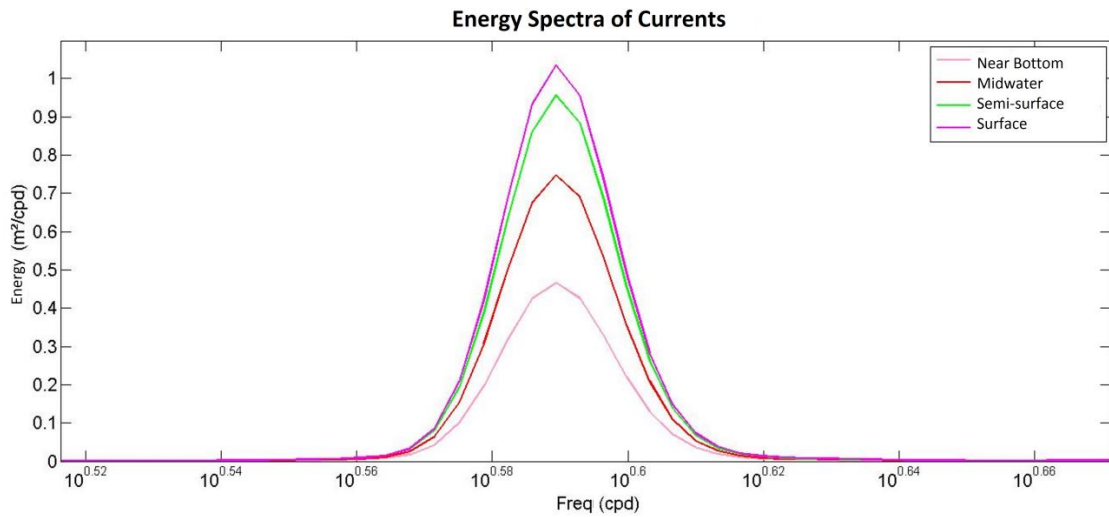


Figure 19: Energy spectra integrated for frequency of 4 cpd.

To the frequencies of 6 and 8 cpd the behavior seen was a part from the other described above (fig. 20). In 6 cpd the major energy was found in the mid-water current, followed by the near bottom current, semi-surface and then, surface. This component represents the actuation of M_6 , the second compound from M_6 component. It is generated by symmetric effect in loss of energy from friction, being proportional to the current velocity square (v^2) (PARKER, 2007). The depth extract close to the bottom represented this effect.

In 8 cpd the major energy was concentrated in the depth extract semi-surface, followed by midwater current, surface, and them, near bottom current. The component represents the actuation of M_8 , the third compost of M_2 . This component is generated by non-linear effect asymmetric in compound M_6 with the compound M_2 (PARKER, 2007)

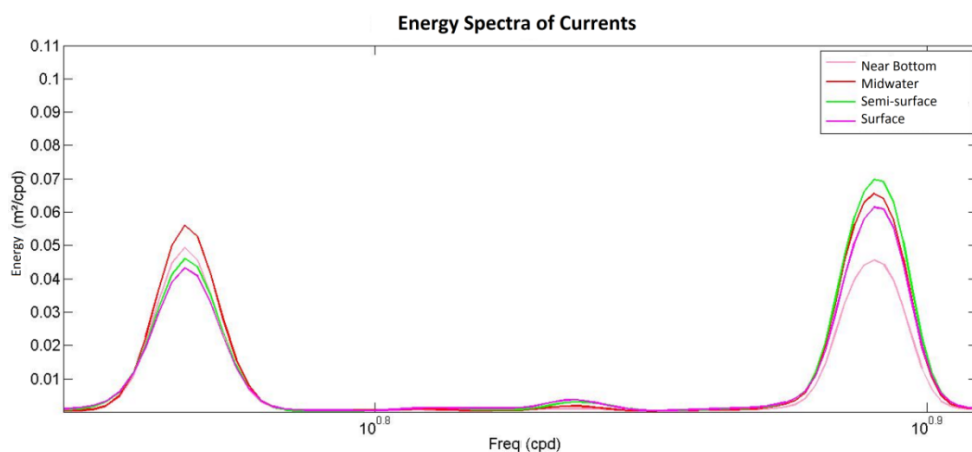


Figure 20: Energy spectra integrated for frequencies of 6 cpd and 8 cpd.

A synthesis of the energy values found in all frequencies described for each depth extract can be seen in table 6.

Table 6: Energy values (m^2/cpd) for each depth extract in all frequencies described.

Depth Extract	2 cpd	4 cpd	6 cpd	8 cpd
Surface	0,143	1,034	0,043	0,061
Semi-surface	0,141	0,955	0,046	0,070
Midwater	0,141	0,747	0,056	0,066
Near bottom	0,126	0,465	0,049	0,046

4.7.5 Analysis of current in function of tides

On this item it will be presented and discussed the principal relationship found in the behaviour of current induced by tide, being observed the pattern of current, the occurrence of maximum of velocities and moments of its inversion. It will be presented the data only for near bottom and surface, taking in account that for the depth extracts midwater and near surface the behaviour is analogous, with intermediate magnitudes between the end depth extracts.

Figure 21 shows the positioning in peaks of maximum current velocity during flood and ebb tide for the near bottom current, and also the moments in inversion of current direction between transitions in flood-ebb and ebb-flood tide.

In a general sense, observing the distribution of points along the tidal curve, there is a tendency in peaks of maximum current velocity during flood occur at the central point between the levels in maximum and minimum stage, or instants after this point, on this study named region on the middle of tidal curve. For the peaks of maximum current velocity in ebb tide, the tendency is occur at the final stage of the tidal curve, closer to the point of minimum tidal height, where it occurs the beginning of flood tide.

A bigger variation in moments of peaks in current velocity in flood tide for the near bottom extract is found during spring tide at the final time series.

The inversion in tidal current, defined here as the moment flood tide (or ebb) reach its maximum (or minimum) level and then change to ebb tide (or flood), in the flood condition occur generally right after the maximum height of tide, while for ebb

condition its occurrence can happen between right after the minimum tidal height and the first quarter of the next ascending tidal curve.

Bigger variation in moments of inversion of current generally occur in ebb to flood tide, in spring tide, mainly at the start of time series.

It was found a difference in occurrence time between the peak of current velocity during flood to ebb tide, and then, the peak of current velocity during ebb to flood tide. After the peak of current velocity in flood tide, an average of 7,9 h (standard deviation of 0,5 h) has passed to reach the next peak of current velocity in ebb tide. After the ebb tide peak, it takes an average of 4,5 h (standard deviation of 0,6 h) to reach the next peak of flood tide. This fact is better evidenced by figure 14 and 15.

When speaking about occurrence tidal time, the flood occurs by an average of 5,9 h each tidal cycle, standard deviation of $\pm 0,5$ h; while the occurrence tidal time for ebb condition is an average of 6,4 h, standard deviation of $\pm 0,5$ h.

The longest time occurs in ebb tide, in parallel to the higher velocity, mainly supported by the freshwater discharge from rivers.

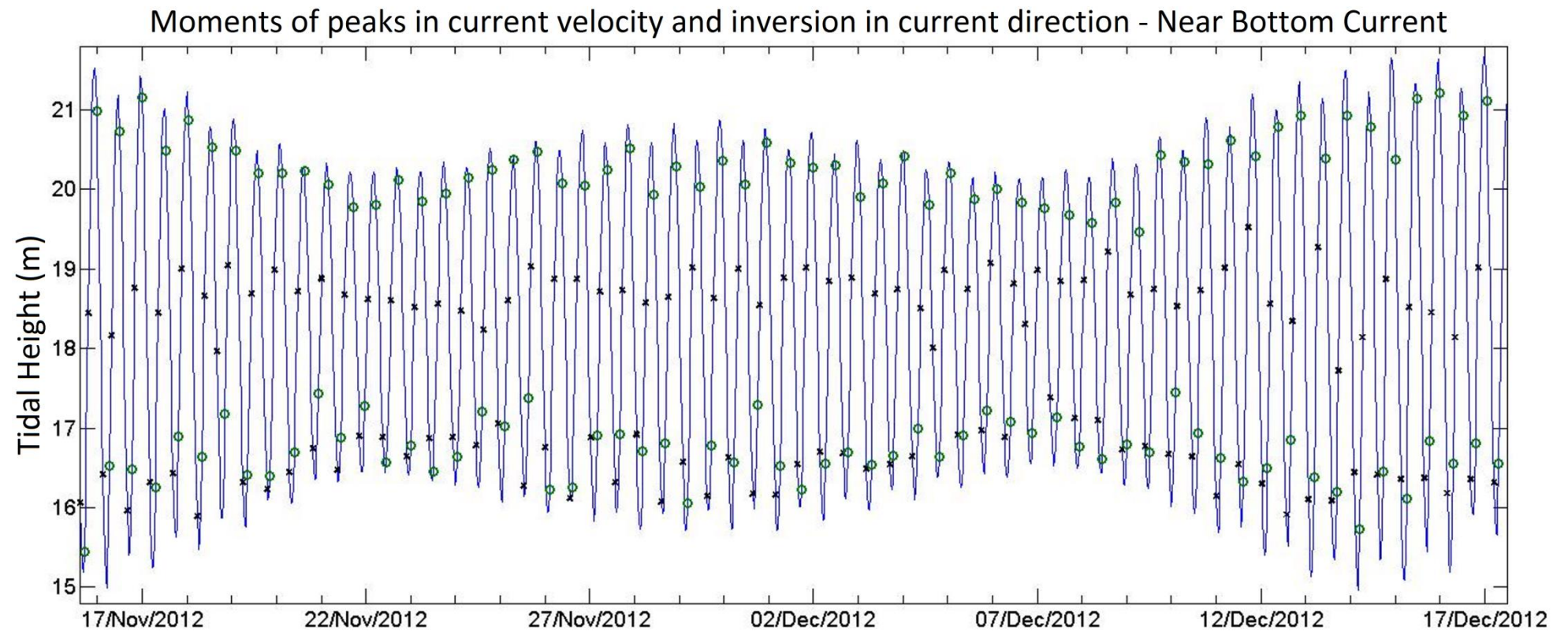


Figure 21: Positioning of peaks moments of current velocity induced by tides and inversion in current direction over the tidal curve to the depth extract near bottom.

Legend: x – peaks of current velocity in ebb and flood tide; o – moments of inversion in current direction, between flood-ebb and ebb-flood.

Observing figure 22 in detail, it is seen a standard behaviour of the current velocity near bottom for a typical neap tide. Its evidenced higher current velocity in ebb tide and its longest duration. Yet, it is noted a major peak of tidal height, and consequently a higher current velocity, in the first wave (tidal cycle) of the day.

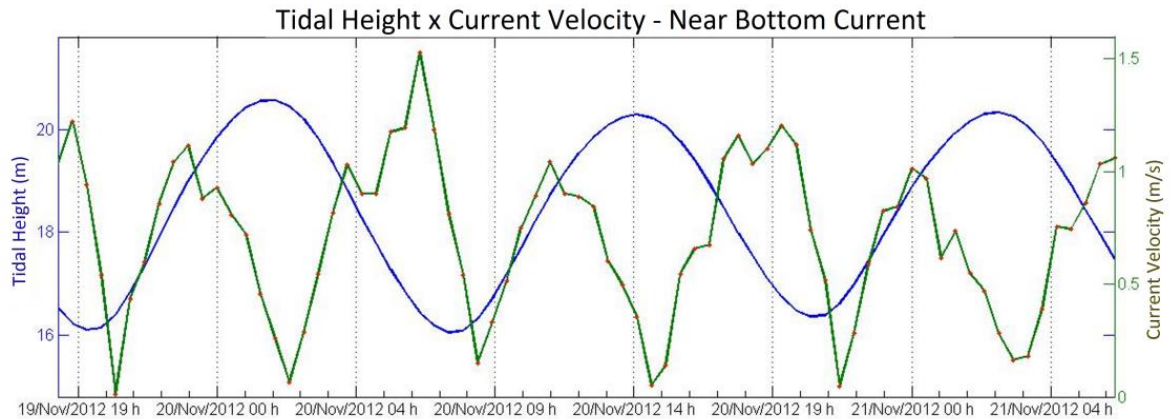


Figure 22: Current velocity near bottom plotted against tidal curve, with a focus to a daily cycle in neap tide situation.

Figure 23 presents the detailed behaviour of current velocity near bottom with a focus to a daily cycle in spring tide, where it can be seen higher current velocity during ebb tide, and a shortest time between the inversion in ebb to flood tide. The main feature on this plot is the shape of occurrence of velocity curve (in green), where in ebb tide it is visualized a gradually growth in the velocity values, while in flood tide the velocity peak is reached right after the begin of the process.

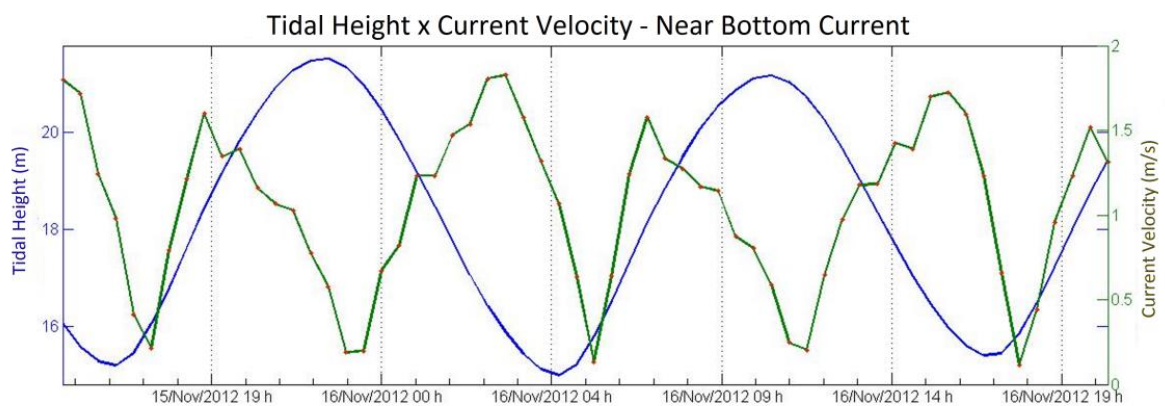


Figure 23: Current velocity near bottom plotted against tidal curve, with a focus to a daily cycle in spring tide situation.

Figure 24 shows the positioning in peaks of maximum current velocity during flood and ebb tide for the surface current, and also the moments in inversion of current direction between transitions in flood-ebb and ebb-flood tide.

Analysing the moments of velocity peaks in flood tide, it is visualized the occurrence happens around the central region of flood tidal curve, sometimes before or after this region.

The velocity peaks in ebb tide are concentrated right after the central region of the tidal curve, after the water level of the estuary be reduced by half of its total. In some occurrence the velocity peak is found at the final stage of the ebb tidal curve.

Visualizing the moments of inversion in currents it was identified that both of situation (ebb-flood and flood-ebb), occur generally right after the lower and higher level, respectively. Some exceptions is taken, where it takes a delay to the inversion occur.

It was found a difference in occurrence time between the peak of current velocity during flood to ebb tide, and then, the peak of current velocity during ebb to flood tide. After the peak of current velocity in flood tide, an average of 7,4 h (standard deviation of 0,8 h) has pass to reach the next peak of current velocity in ebb tide. After the ebb tide peak, it takes an average of 4,9 h (standard deviation of 0,7 h) to reach the next peak of flood tide. This fact is better evidenced by figure 17 and 18.

When speaking about occurrence tidal time, the flood occur by an average of 6,2 h each tidal cycle, standard deviation of +/- 0,5 h; while the occurrence tidal time for ebb condition is an average of 6,1 h, standard deviation of +/- 0,6 h.

At the surface, it is noticeable that periods of occurrence of tides are practically the same for ebb and flood tide, showing the impact of the absence of friction with the bottom.

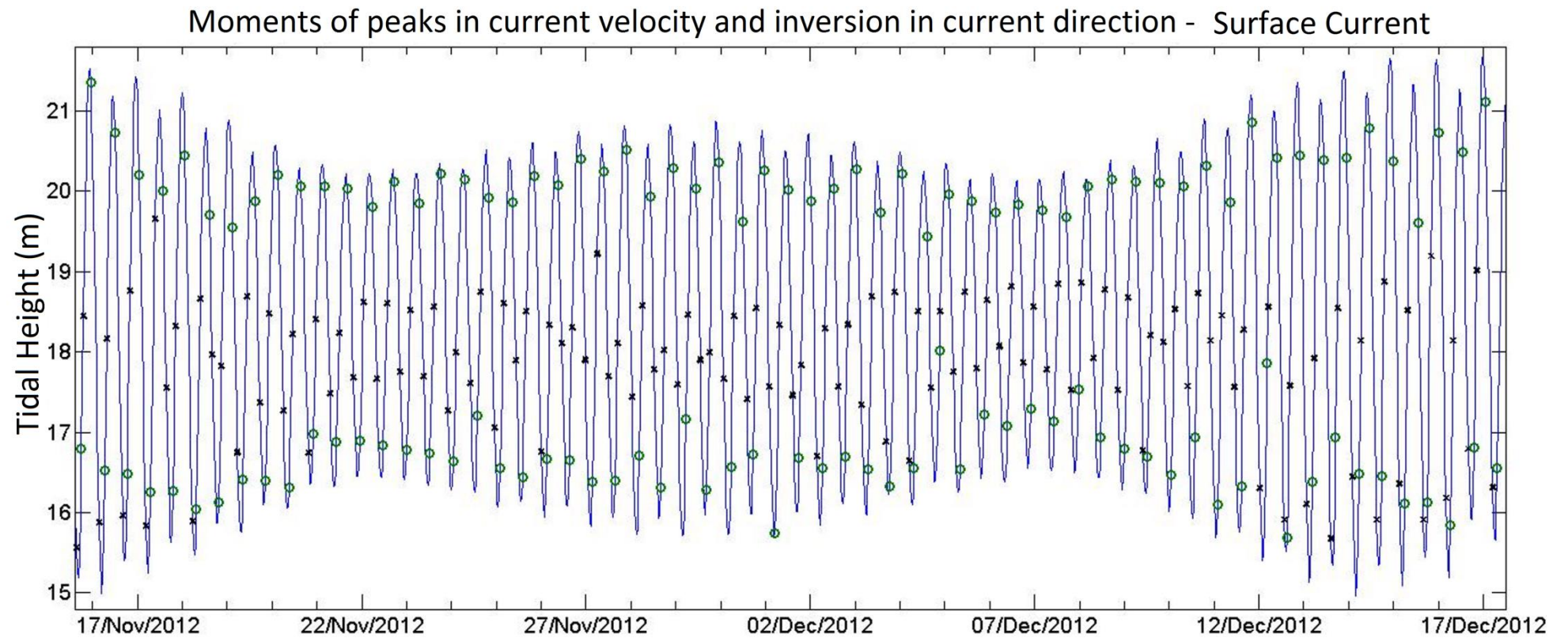


Figure 24: Positioning of peaks moments of current velocity induced by tides and inversion in current direction over the tidal curve to the depth extract surface.

Legend: x – peaks of current velocity in ebb and flood tide; o – moments of inversion in current direction, between flood-ebb and ebb-flood.

Analyzing a tidal cycle and current velocity at the surface in neap tide (figure 25) it is observed that values are similar to ebb and flood tide. The difference occurs at the moment of minimum velocity and inversion, where in flood tide this magnitude reaches the value zero.

Another noticeable difference is the shape of velocity curve, where in flood tide the velocity peak is reached in an abrupt way, decaying its values along the following flood cycle. In ebb tide, the values reach its peak in a less abrupt way when compared with flood tide, and remain at this stage with higher velocity for a longer duration.

By this curve shape, it is observed that ebb tide current acts for a longer duration with more expressive values, when compared to flood tide current.

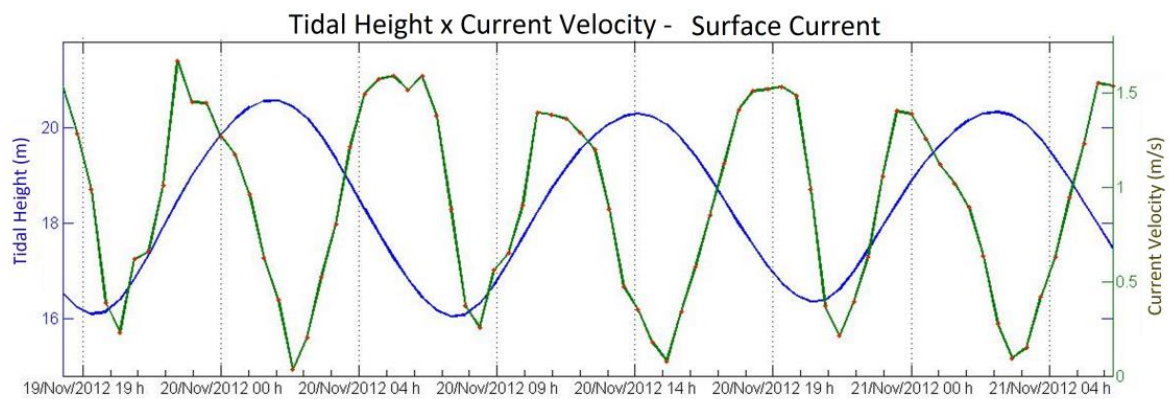


Figure 25: Current velocity at the surface plotted against tidal curve, with a focus to a daily cycle in neap tide situation.

For a spring tide cycle (figure 26) at the surface, the data showed the same behavior exposed above with different magnitudes, stronger than in neap tide. As an example, the shape of current velocity curve found in ebb tide in November 16th 2012 00h shows a gradually growth in current velocity, reaching its peak close to the final of the ebb situation.

The current velocity in the subsequent flood tide reaches its peak around the central region of the flood tide curve, decaying gradually until instant after the higher level of flood tide.

It is also noticeable the shortest time between the change from ebb tide current to the flood one, when compared to the time between the change from flood to ebb tide.

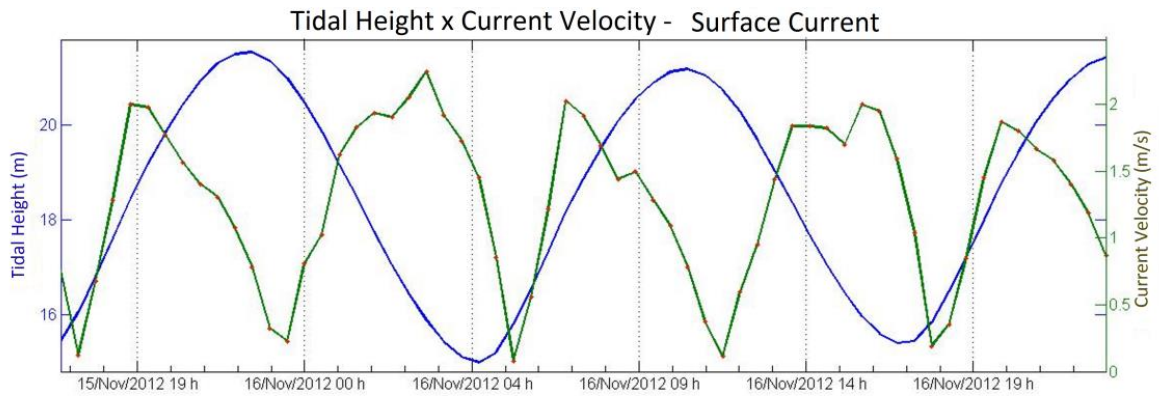


Figure 26: Current velocity at the surface plotted against tidal curve, with a focus to a daily cycle in spring tide situation.

Another comparison and question to be considered, is the differentiation among the shape of velocity curve for all the depth extracts, taking in account flood and ebb tides, according to figure 27: one is longer, not-sharpen and with higher values (ebb tide); the another (flood tide) is shorter, sharpen and with peaks smaller than in ebb tide.

This implies in a long duration of moments with higher velocity during ebb tide, suggesting the study area being an ebb tide dominated estuary.

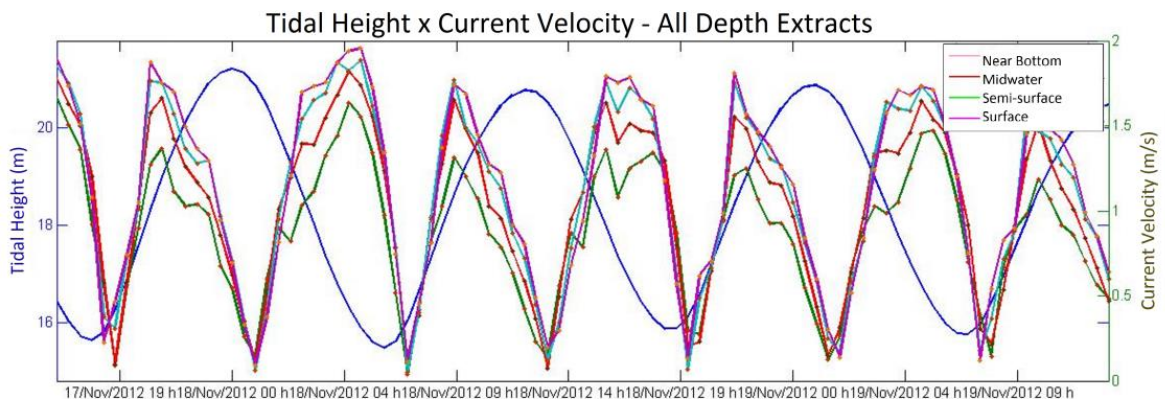


Figure 27: Tidal height plotted against current velocity for all depth extracts.

Descriptions about hydrodynamics regime of estuaries in the bibliography suggest the occurrence of dominance of flood or ebb, and its impact in the process of sediment transport. This affirmation respect the mass conservation principle, where a dominance in ebb tide will form an estuary sediment exporter. An estuary dominated by flood tide, will form an estuary sediment importer.

For Mearim River estuary, it is observed that during ebb tide, the current velocity and its duration are higher and longer than in flood tide. This is supported by the slight longer duration in occurrence of ebb tide process over flood tide, suggesting to infer that the study area is a sediment exporter.

It should be highlighted that the study was made during November and December, referring to the time of less occurrence of precipitation, which can reduce significantly the fresh water discharge.

4.8 CONCLUSION

According to the data presented on this study, for the period, the estuarine water mass at the point of measurement moves in a form of homogeneous water column, indicating absence of stratification. The main axis of bidirectional movement of it is NE-SW, with slightly variation on this axis in moments of slower current during inversion in direction.

The absence of stratification is also inferred because of moments in tide inversion, when it occurs practically at the same instant for all depth extracts. It corroborates the fact of the velocity current behavior acts in an analogous way for all depth extracts, with the main differentiation on it being a higher value at the surface and lower at near bottom.

As already shown, the Mearim River is dominated by ebb tide. On this study it was noticeable that higher values in current velocity occurs at the surface, regarding the absence of friction, supported by the fresh water discharge

The tide regime is predominately semi-diurnal, with tidal amplitude reaching up to 6,7 m, according to the data collected and presented on this study. The higher value for current velocity found was 2,26 m/s at the surface, during the last spring tide data.

For the tidal data, the spectral energy is all concentrated in the component M_2 . For current, it was found another concentration of energy in compound M_2 , but also, in the components M_4 , M_6 , M_8 . There is a distortion in the shape of current velocity, resulting from the non-linear interaction with bottom friction and hydrodynamic mechanisms that happen during the propagation of wave crest and though over different conditions of depth, especially in estuaries with high amplitude of wave tide.

The major spectral energy for current velocity induced by tides was found in the 4 cpd band, resulted from the generation of the harmonic M_4 due to non-linear process during the entrance and propagation of wave tide into the estuary. On this frequency, the energy was higher at the surface, decaying on magnitude until near bottom.

It was also found contribution to the spectral energy of current velocity in frequencies of 2, 6 and 8 cpd, showing the complexity on the description of current behavior in Mearim River estuary. In those frequencies the magnitude and order of appearance don't follow that found in the frequency of 2 cpd.

It was seen an asymmetry on the shape of tidal current velocity, here attributed as a result from the filling and deflation of tidal plains during a tidal cycle. During a flow over tidal plain, at the initial stage of ebb tide and at the final stage of flood tide (this way, with a filled estuary), the current velocity will be reduced due to the quantity of water being dispersed in a wide area. When this area is at middle stages of tide, with less volume of water, the flux will be increased to the water amount flow in a smallest area at the same time scale.

It was verified a time lag between near bottom and surface when observed the duration of ebb and flood tide process, showing the influenced of estuarine bed (and associated friction) on its hydrodynamics. At near bottom the ebb process takes around 6,5 h, and the flood process takes 5,9 h. At the surface the same process occurs in 6,1 h and 6,2 h, respectively.

The moments of current velocity peaks in flood tide occurs about 4,5 h after the ebb tide velocity peak at near bottom depth extract, and 4,9 h at the surface depth extract. After the current velocity peak in flood tide, it is taken about 7,9 h to the occurrence of the same peak in ebb tide at neat bottom, and 7,4 h at the surface.

Analyzing the moments with maximum and minimum values for current velocity along the tidal curve, and knowing all the timings associated, it is possible plan previously any marine activity intended to be realizer at the estuary, taking in account efficiency and risks. Better operational windows can be found between peaks of flood and ebb tide.

In reasons of continuity of research, it is suggested enlarge the sample point measuring the same data at the estuary mouth, and at the interior of the estuary,

after the margins narrows. Also, it is suggested to include CTD profiles in strategic points at the estuary to monitor and infer the barotropic influence on currents.

4.9 BIBLIOGRAPHY

AMARAL, R.F. 2006. Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. 207f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMARAL, R.F. & ALFREDINI, P. 2010. Modelação Hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo portuário do Maranhão. RBRH, 15 (2), 5-14.

CB&I. 2010. Rotina para processamento de dados coletados por ADCP.

EL-ROBRINI, M. Evolution Rapide des fonds d'une zone estuarine: le Secteur d'Itaqui-Baie de São Marcos-Maranhão (Brésil). IFREMER, Paris: p. 159-175. 1992.

EL-ROBRINI, M.; SILVA, M. M. da; EL-ROBRINI, M. H.; FEITOSA, A. C.; TAROUÇO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S. dos & VIANA, J R. 2006. Maranhão. In: DIETER, M. (Org). Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, p. 87-130.

FRANCO, A. S. 1992. Marés: fundamentos, análise e previsão. DHN.

PEREIRA, J.E.R. & HARARI, J. 1995. Modelo Numérico Tridimensional Linear da Plataforma Continental do Estado do Maranhão. Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo, vol. 43, n. 1, p. 11-26.

PARKER, B. B. 2007. Tidal Analysis and Prediction. Maryland, NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3, 388p.

PIANC. 1997. Canais de Acesso: um Guia para Projetos. Relatório final do Grupo de Trabalho II-30. Bruxelas (Bélgica) e Tokyo (Japão).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ambiente estudado possui características ímpares para um ambiente costeiro, com grande variação de maré e fortes velocidades de correntes, em uma grande dimensão de corpo aquoso. Um exemplar de todas as importantes características do ambiente costeiro estuário comumente descritas em trabalhos científicos são encontradas na Baía de São Marcos: berçário de espécies vegetais e fauna, ambiente frágil nos arredores, importante via econômica de escoamento de commodities, pesca artesanal e comunidades ribeirinhas.

Os resultados apresentados para o estuário do Rio Mearim mostraram a sua peculiaridade frente aos modelos conceituais clássicos descritos na literatura quanto ao comportamento de seu sistema de correntes de enchente e vazante ao longo da curva de maré, onde não foi aplicável o conceito de que um menor tempo de ocorrência do processo de enchente (ou vazante), respeitando o princípio de conservação de massa), resultaria em uma dominância do processo de enchente sobre o de vazante (ou vice-versa).

Destaca-se que o estudo em questão foi realizado durante os meses de novembro de dezembro, referindo-se ao período de pouca ocorrência de precipitação, o que reduz consideravelmente a vazão fluvial. É sugerido realizar a mesmo a análise em períodos de alto índice de pluviosidade, entre março e abril, para verificar de que forma a vazão fluvial interfere no comportamento das correntes e marés.

Ponderando entre o conhecimento de que obras de infraestrutura costeiras causam impactos de ordem ambiental, e por outro lado, a necessidade em se ter uma infraestrutura capaz de atender a demanda de desenvolvimento populacional nos aspectos sociais e econômicos, é preciso conhecer e prever o comportamento e dinâmica dos estuários. A comum justificativa para tais estudos é permitir que as obras instaladas cumpram com sua função e não causem impactos negativos.

Neste direcionamento, o presente estudo apresentou uma metodologia para análise do comportamento das correntes em um estuário com alta variação de maré, em função das variações de nível para apenas um ponto de medição.

Tal estudo também fomenta como informação preliminar, o planejamento de futuras campanhas de levantamentos meteo-oceanográficos na área de estudo para se coletar mais dados.

Visto a extensão do estuário, sugere-se ampliar o estudo com equipamento de medição estuário adentro e abaixo, e então, interligar as informações com cálculos de defasagem e propagação de marés.

Imaginando o uso de tais informações conectadas no ambiente específico do estuário do Rio Mearim, com a sua devida vocação estratégica portuária, é possível criar um cronograma logístico de acessos, navegação e manobras com embarcações, visando a eficiência portuária dentro de limites operacionais de segurança ao ambiente, ao capital e aos recursos humanos envolvidos nas atividades.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P. Análise de métodos de modelação física da ação de correntes sobre leito móvel. 1983. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

ALFREDINI, P. A técnica de traçadores em modelos de fundo fixo aplicada a estudos sedimentológicos. 1988. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

AMARAL, Rogério Fernando. **Caracterização hidrossedimentológica do Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão**. 2006. 207f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

AMARAL, R. F.; ALFREDINI, P. Modelação Hidrossedimentológica no Canal de Acesso do Complexo Portuário do Maranhão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 5-14, 2010.

EL-ROBRINI, M. Evolution Rapide des fonds d'une zone estuarine: le Secteur d'Itaqui-Baie de São Marcos-Maranhão (Brésil). IFREMER, Paris: p. 159-175. 1992.

EL-ROBRINI, M.; ROCHA, E.J.P.; RIBEIRO, E.B.M.; DE LIMA, G. do S.P.; SANTOS, M. de L.S.; ALVES, M.A.M.S & EL-ROBINI, M.H.S. **Atlas Oceanográfico na Área de Influência do Bloco Exploratório BM-BAR-I**. 2002.

EMERY, W. J.; THOMSON, R. E. **Data Analysis Methods in Physical Oceanography**. Michigan: Elsevier, 1998. 634 p.

- FEITOSA, A.C. Evolução morfogenética do litoral norte da Ilha do Maranhão. 1989. 210f. Dissertação de Mestrado - UNESP, Rio Claro. 1989.
- FEITOSA, A. C. Dinâmica dos Processos Geomorfológicos da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão. 1996. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, São Paulo. 1996.
- FEITOSA, A.C. Morfodinâmica da área costeira a nordeste da Ilha do Maranhão. In: VII Simpósio de Quantificação em Geociências. UNESP, v. 1, p. 45-47. Rio Claro, 1997.
- GARCIA, P. D.; ALFREDINI, P. Caracterização Hidrodinâmica das Correntes de Maré na Área Portuária do Maranhão. **Revista Pesquisa Naval**, Brasília, n. 18, p. 39-44, 2005.
- MASSELINK, G.; HUGHES, M. G. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Londres: Hodder Education, 2003. 354 p.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: Edusp, 2002. 432 p.
- MORAIS, J. O. Evolução Sedimentar da Área Adjacente ao Porto de Itaqui, Estado do Maranhão, Brasil. **Arquivo Ciências do Mar**, vol. 17, n. 2, p. 143-151, 1977.
- PARK, D. (ed). **Waves, Tides and Shallow Water Processes**. Reino Unido, The Open University, 1989. 227 p.
- PARKER, B. B. **Tidal Analysis and Prediction**. Maryland, NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3, 2007. 388p.
- PEREIRA, J. E. R.; HARARI, J. Modelo Numérico Tridimensional Linear da Plataforma Continental do Estado do Maranhão. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, vol. 43, n. 1, p. 11-26, 1995.
- PIANC. **Canais de Acesso: um Guia para Projetos**. Relatório final do Grupo de Trabalho II-30. Bruxelas (Bélgica) e Tokyo (Japão), 1997.
- PRITCHARD, D.W. What is an estuary: physical viewpoint. In: LAUFF, G.H. (ed.) Estuaries. AAAS, Washington, DC. Pub. 83, p. 3-5. 1967.
- RIGO, Daniel. **Análise do Escoamento em Regiões Estuarinas com Manguezais – Medições e Modelagem na Baía de Vitória, ES**. 2004. 156f. Tese (Doutorado em

Engenharia Oceânica) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

TAROUCO, J.E.F.; SANTOS, J.H.S. Morfodinâmica da Praia do Araçaji. Paço do Lumiar – MA. I Forum Latino Americano de Geologia Física Aplicada, Anais. Vol. 1. Paraná. 1997.

VIANA, J.R. Estudo da morfodinâmica da Praia de São Marcos, São Luis, Maranhão. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Geografia. UFMA, Maranhão. 91 p. 2000.

WOLANSKI, E.; MAZDA, Y.; KING, B.; GAY, S. Dynamics, Flushing and Trapping in Hinchinbrook Channel, a Giant Mangrove Swamp, Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, n. 31, p. 555-579, 1990.

ANEXO I



Diego Bitencourt <diegobitencour@gmail.com>

Artigo Submetido - SGP/BJO

1 mensagem

sgp@sgponline.com.br <sgp@sgponline.com.br>

29 de novembro de 2015 20:09

Responder a: cassiaol@usp.br

Para: diegobitencour@gmail.com



Ilmo(a) Sr.(a)
Prof(a), Dr(a) Diego Mello Bitencourt

Referente ao código de fluxo: 1168

Categoria: Artigo Original

Informamos que recebemos o manuscrito "Punctual description of tides, current profile and their inter-relationship in a measurement point in Mearim River Estuary, São Luis, Maranhão", será enviado para apreciação dos revisores para possível publicação/participação na(o) Brazilian Journal of Oceanography. Por favor, para qualquer comunicação futura sobre o referido manuscrito cite o número de referência apresentado acima.

Obrigado por submeter seu trabalho a(o) Brazilian Journal of Oceanography

Dados de Acesso

Usuário: DiegoBitencourt

Senha: [REDACTED]

Atenciosamente,

Profa. Dra. Ana Maria Setubal Pires Vanin
Editora

Praça do Oceanográfico, 191
São Paulo, SP - Brasil
CEP 05508-120

««« Favor não responder esta mensagem, pois ela foi gerada automaticamente pelo SGP »»»