



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**MARÉS E CORRENTES NA OTIMIZAÇÃO DE MANOBRAS DE NAVIOS NA BAÍA
DE SÃO MARCOS, SÃO LUÍS – MA**

Augusto César Rodrigues Magalhães

ORIENTADOR: Audalio Rebelo Torres Junior

São Luís - MA

2018



AUGUSTO CÉSAR RODRIGUES MAGALHÃES

**MARÉS E CORRENTES NA OTIMIZAÇÃO DE MANOBRAS DE NAVIOS NA BAÍA
DE SÃO MARCOS, SÃO LUÍS – MA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos para à obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica dos sistemas costeiros e oceânicos.

Área de concentração: Oceanografia Física

ORIENTADOR: Audalio Rebelo Torres Junior

São Luís - MA

2018



Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Magalhães, Augusto César Rodrigues.

MARÉS E CORRENTES NA OTIMIZAÇÃO DE MANOBRAS DE NAVIOS
NA BAÍA DE SÃO MARCOS, SÃO LUÍS MA / Augusto César
Rodrigues Magalhães. - 2018.
52 f.

Orientador(a): Audalio Rebelo Torres Junior.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Oceanografia/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São
Luís - MA, 2018.

1. Baía de São Marcos. 2. Manobra de navios. 3.
Tempos de manobra. 4. Velocidade de corrente. I. Torres
Junior, Audalio Rebelo. II. Título.



MAGALHÃES, Augusto César Rodrigues. **Marés e correntes na otimização de manobras de navios na Baía de São Marcos, São Luís – MA.** 2018. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Área de Concentração: Oceanografia Física

Aprovada em 30 / 08 / 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Audalio Rebelo Torres Junior
Universidade Federal do Maranhão
Instituto de Ciências do Mar
ORIENTADOR

Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias
Universidade Federal do Maranhão
Instituto de Ciências do Mar

Prof. Dr. Osvaldo Ronald Saavedra Mendez
Universidade Federal do Maranhão
Instituto de Engenharia Elétrica

São Luís
2018



AGRADECIMENTOS

Ao Deus, arquiteto do mundo que sempre me deu e dará fé e força de vontade para alcançar meus objetivos.

A minha mãe, Maria do Socorro Soares Magalhães, in memoria, por acreditar em mim sempre.

A minha esposa Vania e meus filhos Marina e Augusto que sempre estiveram ao meu lado em todas as dificuldades.

Ao professor Dr. Audalio Rebelo Torres Junior, por ter me concedido a honra de ser seu orientado. Pela paciência e dedicação em passar seus conhecimentos.

Ao LHiCEAI, por meio do professor Francisco José pelo suporte.

A todos os alunos de sala do programa PPGOceano que sempre ajudaram nas dificuldades enfrentadas para a conclusão deste.



MAGALHÃES, Augusto César Rodrigues. **Marés e correntes na otimização de manobras de navios na baía de são marcos, São Luís – MA.** 2018. 52 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, Maranhão.

Orientador: Audalio Rebelo Torres Junior

Linha de pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos

Resumo

Na busca constante de ganhos de produtividade na operação portuária sustentável e segura, este trabalho visa dar visibilidade aos ganhos das manobras de navios através da otimização dos tempos de atracação de navios do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM. Para estudo de caso, foi objeto a otimização das manobras Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TMPM, que é o maior terminal de movimentação em volume de minério de ferro do Brasil. Com levantamento de dados de velocidade e direção de corrente em determinado período de tempo foi possível compreender melhor a dinâmica de movimentação das correntes que influenciam nas manobras de embarcações, possibilitando a busca por ampliação das janelas de manobra, reduzindo o tempo de cais livre, potencializando a produtividade.

Palavras-chave: Tempos de manobra, Velocidade de corrente, Manobra de navios, Baía de São Marcos.



MAGALHÃES, Augusto César Rodrigues. **Marés e correntes na otimização de manobras de navios na baía de são marcos, São Luís – MA.** 2018. 52 f. Thesis (Master). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Federal University Maranhão, São Luís, Maranhão, Brazil, 2018.

Advisor: Dr. Audalio Rebelo Torres Junior

Line of research: Coastal and Oceanic Systems Dynamic.

Abstract

In the constant pursuit of productivity gains in the safe and sustainable port operation, this work aims to give visibility to the gains of the vessel maneuvers by optimizing the mooring times of the Ponta da Madeira Maritime Terminal (TMPM). For the case study, the optimization of the maneuvers of Terminal Marítimo of Ponta da Madeira - TMPM, which is the largest volume handling terminal of iron ore in Brazil. With data collection of speed and direction of current in a certain period of time it was possible to better understand the dynamics of the movement of the currents that influence in the ship's maneuvers, making possible the search for magnification of the maneuver windows, reducing free time without productivity.

Keywords: Optimization of maneuver times, Current velocity, Vessel maneuver, São Marcos Bay.



LISTA DE ABREVIATURAS

BM	Baixa mar
BP	Bollard Pull: força de tração estática de uma embarcação, normalmente utilizada como medida de força aplicável de cada rebocador a ser utilizado em uma manobra (medida em toneladas força)
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
LHiCEAI	Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Estuarina e de Águas Interiores.
MBL	Carga nominal mínima de ruptura
NPCP	Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Maranhão
PM	Preamar
POB	Pilot on Board – Horário marcado pela regra para embarque do Prático
SISMO@ValePDM	Sistema de informação meteo-oceânicas em tempo real
TMPM	Terminal Marítimo de Ponta da Madeira



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Baía de São Marcos [Fonte: Arquivo de imagens do LHiCEAI].....	18
Figura 2. Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TPM [Fonte: Arquivo de imagens do LHiCEAI].....	19
Figura 3. Terminal Marítimo de Ponta da Madeira [Fonte: Do autor (2017)].....	19
Figura 4. Localização das estações oceanográficas (HMPDMDOLFIM15 e HMPDMDOLFIM08) e maregráfica (HMPDMTIDE) no Píer IV Norte do Terminal marítimo da Ponta da Madeira, onde as linhas vermelhas indicam a extensão dos feixes acústicos para medição de correntes no dolpins 15 e 08.	20
Figura 5. Perfilador horizontal acústico de correntes instalados no TPM [Fonte: Hidromares – SonTek (2018)]	21
Figura 6. Esquema de instalação e funcionamento do SL500, da SonTek - Na figura, é representada, esquematicamente, a medição de correntes feita pelos feixes horizontais ao longo de 10 células ao mesmo tempo. Também está representado o feixe vertical que fornece a distância do equipamento em relação à superfície do mar. ([Fonte: Hidromares – SonTek (2018)].	21
Figura 7. Conteúdo interno do SISMO®ValePDM no SISMO®Web [Fonte: Hidromares (2018)].....	23
Figura 8. Visualização de dados do SISMO®ValePDM no SISMO®Web [Fonte: Hidromares (2018)].....	23
Figura 9. Exemplo de visualização dos dados SISMO®ValePDM no SISMO®App. ...	24
Figura 10. Série temporal de elevação do nível do mar observada (preto) e prevista pela maré astronômica (vermelho) para o período analisado [Fonte: De Caroli, 2018].	25

Figura 11. Correntes amostradas no Dolfin 15 - A escala está indicada no canto superior direito. Eixo das ordenadas: distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer. [Fonte: De Caroli, 2018].....	26
Figura 12. Correntes amostradas no Dolfin 08 - A escala está indicada no canto superior direito da figura. Eixo das ordenadas: distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer [Fonte: De Caroli, 2018].	27
Figura 13. Variação do nível do mar em metros (gráfico superior), intensidade em nós (gráfico do meio) e direção das correntes (gráfico inferior) observados à 120 metros de distância do dolfin 15 do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira, em 01 de fevereiro de 2018, durante maré de sizígia. Em vermelho e verde estão marcadas as janelas operacionais definidas para preamar e baixa-mar, respectivamente. No gráfico superior, os instantes de baixa-mares e preamares obtidos da tábua de marés estão indicados pelo símbolo azul.	28
Figura 14. Variação do nível do mar em metros (gráfico superior), intensidade em nós (gráfico do meio) e direção das correntes (gráfico inferior) observados a 120 metros de distância do dolfin 08 do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira, em 10 de fevereiro de 2018, durante maré de quadratura. Em vermelho e verde estão marcadas as janelas operacionais definidas para preamar e baixa-mar, respectivamente. No gráfico superior, os instantes de baixa-mares e preamares obtidos da tábua de marés estão indicados pelo símbolo azul, sendo as factíveis janelas mais elásticas devido velocidades de corrente abaixo de 2,5 nós.	29
Figura 15. Levantamento de maré [Fonte: Vale S/A, 2017].....	30
Figura 16. Demonstrativo do sentido da corrente em relação à manobra do navio. .	32
Figura 17. Gráfico de variação das marés [Fonte: Vale S/A, 2017].	34
Figura 18. Gráfico de maré [Fonte: Vale S/A, 2017].	34
Figura 19. Janela de maré no píer 1 TTPM [Fonte: Vale S/A, 2017].	35
Figura 20. Regra original de manobras para o Terminal de Ponta da Madeira [Fonte: CVRD (2001)].	35



Figura 21. Regra atual de manobras para o Terminal de Ponta da Madeira [Fonte: CVRD (2001)].....	36
Figura 22. Classe de navios por DWT [Fonte: Lloyd's Register of Shipping].....	38
Figura 23. Uso de rebocadores portuários no TMPM.....	40
Figura 24. Esquema de classificação de rebocadores [Fonte: Tug use in Ports (1997)].	40
Figura 25. Rebocadores em “Push Pull” [Foto do autor].....	41
Figura 26. Tempo médio mensal de atracação de navios [Fonte: Vale S/A, 2017]...45	
Figura 27. Terminal Marítimo da Ponta da Madeira demonstra os pontos de embarque e a distância entre os mesmos, de 2,5 milhas [Fonte: Marine Traffic, 2017].....	45
Figura 28. Cruzamento de navios na bacia de evolução no TMPM [Fonte: Marine Traffic, 2017].....	46
Figura 29. Período médio mensal de tempo de vacância do cais em 2017 [Fonte S/A, 2017]	46
Figura 30. Tempos de manobra [Fonte: Vale S/A, 2017].....	47
Figura 31. Tempos de manobra [Fonte: Vale S/A, 2017].....	47



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médio (m), máximo (m), mínimo (m), desvio padrão (m) e variância (m^2) dos dados de variação do nível do mar, observados no dolfin 8 do TMPM [Fonte: De Caroli, 2018].	25
Tabela 2. Amplitude (m) e fase (graus) das principais componentes de maré [Fonte: De Caroli, 2018].	26
Tabela 3. Velocidades média (nós) e máxima (nós) observadas nos dolphins 8 e 15 do TMPM [Fonte: De Caroli, 2018].	27
Tabela 4. Regra de Manobra – Atracação e desatracação [Fonte: NPCP, 2009].	31
Tabela 5. Tábua de maré do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira [Fonte: Vale S/A, 2017].	33
Tabela 6. Pontos de embarque de práticos para ZP-04 [Fonte: NPCP – MA (2009)].	39
Tabela 7. Classificação genérica de rebocadores [Fonte: Rebocadores Portuários (2002)].	41
Tabela 8. Quantitativo de rebocadores sugerido pela NPCP [Fonte: NPCP – MA (2009)].	42
Tabela 9. Tempo de Manobra de Navios [Fonte: Vale S/A (2016)].	44



Sumário

1.	Introdução	13
2.	Objetivos	16
2.1.	Objetivo geral	16
2.2.	Objetivos específicos	16
3.	Área de estudo	17
4.	Método	20
5.	Resultados e discussão	25
5.1.	Avaliação da variação de maré e velocidade de correntes.	25
5.2.	Marcação de uma manobra de navio no tmpm	31
5.2.1.	Aumento da janela operacional do terminal de 6 para 16hs diárias	35
5.3.	Classificação dos navios existentes	37
5.4.	Ponto de embarque do prático	39
5.5.	Uso de rebocadores portuários	39
6.	Discussão	43
7.	Considerações finais	48
7.1.	Conclusão e recomendações	48
8.	Referências	50

1. Introdução

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira - TMPM, da Vale S/A, está situado na Baía de São Marcos na área Portuária da Ilha de São Luís, além do Porto do Itaqui - Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP, o Porto da ALUMAR – Consorcio de Alumínio do Maranhão, Porto de Ponta da Espera, Porto Grande e o Porto de Cujupe.

A Área Portuária do Maranhão constitui-se no segundo maior complexo portuário da América Latina e um dos maiores do mundo em termos de movimentação de carga (GARCIA, 2007).

O desenvolvimento deste complexo portuário passa por constante busca de melhoria dos indicadores operacionais dos terminais, bem como avaliação de simulações em situações emergenciais de contingência, fazendo com que os terminais portuários foquem cada vez mais na segurança aquaviária, salva guarda de vida-humana e preservação do meio ambiente, visando obviamente alcançar melhor desempenho para sua atividade.

Os indicadores operacionais de um terminal tornam o mesmo competitivo, desta forma, é de fundamental relevância a realização de estudos das marés e correntes que possa avaliar a otimização do tempo de manobra de navios, aperfeiçoando assim a operação portuária, potencializando os resultados do terminal e fomentando todo o crescimento da comunidade portuária e economia da comunidade local.

A contribuição interna da operação do terminal e externa da Praticagem local será fundamental no alcance de melhorias, elencando pontos críticos e possíveis soluções, identificando oportunidades sem necessitar de grandes investimentos por parte das empresas.

Inicialmente, a observação por certo período de tempo dos fatores naturais que ocorrem na região, proporcionará entendimento destas variáveis e a influência das mesmas nas manobras que ocorrem na bacia de evolução da Baía de São Marcos.

De forma direta avaliaremos os intervalos das manobras de navios que se destinam ao Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM, que poderá refletir em redução do tempo e novas janelas de manobra, podendo ser revertido em horas de embarque de minério, ou seja, melhor resultado em volume embarcado.

Embora se trate de uma região com enorme potencialidade para instalação de portos, a Baía de São Marcos apresenta uma condicionante natural que impõe grande dificuldade para a navegação e amarração de navios nos berços de atracação, que são as grandes amplitudes de marés registradas nesta região. As alturas mais frequentes variam de 4,5 a 5,5 metros, mas podem atingir até mesmo valores próximos a 6,5 m nas marés de sizígia equinociais.

Essa grande variação nos níveis d'água dentro da baía resultam em correntes com velocidades muito intensas, ora vazando, ora enchendo, dificultando tanto as manobras de navios, quanto a manter os navios amarrados com segurança durante as operações de carregamento ou descarregamento (MELO, 2015).

O TMPM está localizado na região equatorial, onde o predomínio é de variação da maré astronômica, com efeitos meteorológicos de menor influência, tornando a mesma mais previsível.

A oscilação da maré é definida resumidamente pela posição do Sol e da Lua em relação a Terra, suas distâncias e suas massas. A força de atração entre estas entidades causa o deslocamento das massas de água, ar e terra em ambos os corpos celestes e a força centrífuga do sistema o mantém em equilíbrio. Pela Lei da gravitação universal e por serem conhecidas as informações de distâncias e massas destes corpos, as intensidades e as direções das forças de atração são previsíveis (PRATS, 2017).

Na variação de maré, há diferença de fase entre os picos de maré e os picos de corrente, que ocasiona redução da velocidade de corrente, sugere a viabilidade de aproximação do cais com valores menores de velocidade de corrente que não representem risco à manobra de atracação.

A previsibilidade das marés para a baía de São Marcos sugere viabilidade de adoção de regras de manobra de navios onde as janelas podem ser mais elásticas, dotando o TMPM com potencial de crescimento de volume embarcado em grande escala, podendo este estudo ser comprovado em simulação e posteriormente testados em campo.

Com a previsibilidade da maré, busca-se identificar quais os melhores momentos dentro da janela de maré, onde as manobras desde o embarque do Prático até o ato do navio tocar o cais possam ser viabilizadas, para tal, o gerenciamento das manobras que possam estar ocorrendo na mesma maré deve ser bastantes sincronizadas.

A variação de maré e velocidade de corrente são fatores limitantes e determinantes na realização das manobras de navios de pequeno e grande porte nas áreas de águas restritas da baía.

Assim, buscou-se levantar dados de campo para avaliação dos resultados que podem ser, pelas áreas de interesse, submetidos à avaliação da Praticagem local, que são os técnicos responsáveis por lei para avaliação e execução de manobras de navios.

No segundo capítulo detalharemos os objetivos que norteiam este estudo, motivação para elaboração do mesmo. No capítulo três citaremos a área geográfica abrangida pelo estudo, com considerações importantes sobre a localização da mesma, que tem influência direta nas variáveis que afetam a área de estudo. Descreveremos no capítulo quatro os métodos utilizados para que este estudo tomasse corpo e pudesse ter importância direta em nosso objetivo. Apresentaremos no capítulo cinco os resultados obtidos com os dados levantados em campo que motivaram a realização do estudo e norteiam a discursão.

No capítulo seis discutiremos os dados apresentados, quais dados foram descartados e por quais motivos, além de focar nas conclusões que poderão ser avaliadas e testadas. Por fim, no capítulo sete, concluiremos e recomendaremos possíveis avaliações para as áreas de interesse, que podem propiciar alcance de resultados mais produtivos.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Analisar o tempo das manobras de navios realizadas pelos Práticos na baía de São Marcos no Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar o tempo efetivo médio de realização de manobras e os espaços de tempo onde às velocidades de corrente sejam menores e que permitam a avaliação dos resultados para realização de manobras diferenciadas e seguras, onde as aproximações ao cais, que é o momento crítico, sejam realizadas de forma otimizada;
- Verificar a possibilidade de redução do tempo de manobra considerando as variações de velocidade de corrente relacionadas à variação da superfície livre;
- Estudar o padrão de circulação do canal de acesso da bacia de evolução do TMPM visando a minimização do tempo de manobra das embarcações.

3. Área de estudo

A Baía de São Marcos abriga um grande complexo portuário de extrema importância para economia do país. Localizado ao norte do estado do Maranhão, a Baía de São Marcos possui um canal central bem desenvolvido, abrindo-se largamente sobre a Plataforma Continental Maranhense e, muitos dos seus atributos físicos e biológicos mais importantes, contudo, não são transicionais e sim exclusivos. Isto quer dizer que possuem características físicas, químicas e biológicas encontradas apenas nestes ambientes (ODUM, 1983).

É a maior Baía da costa Nordeste do Brasil, com cerca de 100 km de extensão e aproximadamente 23.600 km² (RIOS, 2001). É delimitada a oeste pelo continente, a leste pela Ilha do Maranhão (também denominada Ilha de São Luís), e ao sul pela foz do rio Mearim (Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN, 2013).

A hidrodinâmica da Baía é caracterizada por grandes variações de marés semi-diurnas, cujas máximas podem atingir 6,5 metros em grandes sizígias (média: 4,6 m). Entretanto, em 75% do tempo, a altura máxima fica inferior a 5,5 metros. Essa oscilação de maré está diretamente relacionada à circulação das águas na Baía (El-Robrini et al., 2006).

A barra da Baía é ampla e alcança aproximadamente 25 km de extensão, abrangendo desde a ponta Pirajuba, localizada a oeste, e a ponta do Araçagi, a leste. A profundidade da Baía também varia consideravelmente, podendo chegar a 80 m na área mais central, tornando-se mais rasa em áreas próximas às margens. Adicionalmente, regiões de banco de areia podem ser identificadas subjacentes a trechos mais profundos (por exemplo, Banco das Almas, Banco do Meio, Banco Darlan) (IBGE, 2012).

A Baía de São Marcos (Figura 1) recebe aporte fluvial de alguns rios, sendo os principais aportes das bacias de drenagem do Mearim, Grajaú e Pindaré. Na Ilha de São Luís, onde está situada a cidade de São Luís, localiza-se uma expressiva área portuária que abrange o Terminal Marítimo da Ponta da Madeira, propriedade da empresa Vale S. A., o Porto de Itaqui (Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP), o Porto da ALUMAR (pertencente ao Consórcio Alumínio do Maranhão), o Porto Grande, Cujupe, Terminal de Ponta da Espera, Rampa Campos Melo, Terminal da Ponta D'areia e Iate Clube (IBGE, 2012).

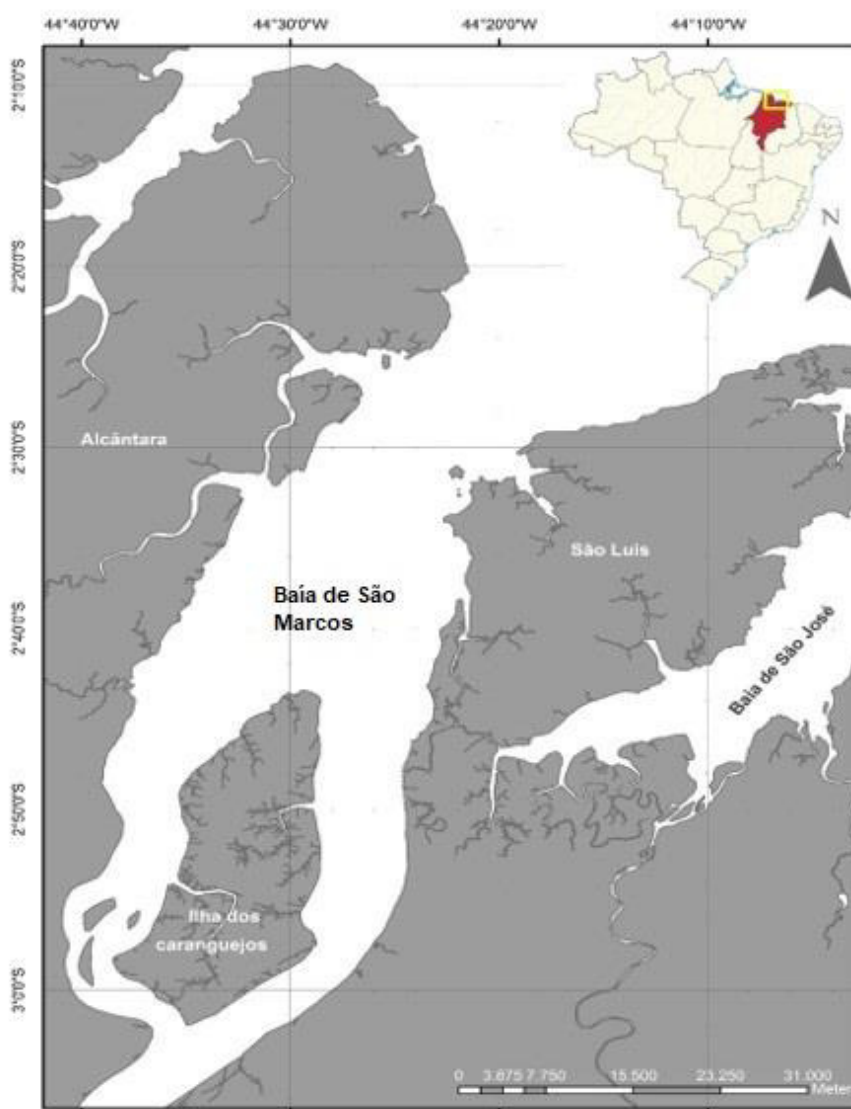


Figura 1. Baía de São Marcos [Fonte: Arquivo de imagens do LHiCEAI].

O Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM (Figura 2), privativo da Vale S/A, é de embarque minério de ferro e é composto por cinco berços (Berços dos Píeres 01, 03 Sul, 03 Norte, 04 Sul e 04 Norte) (Figura 03):

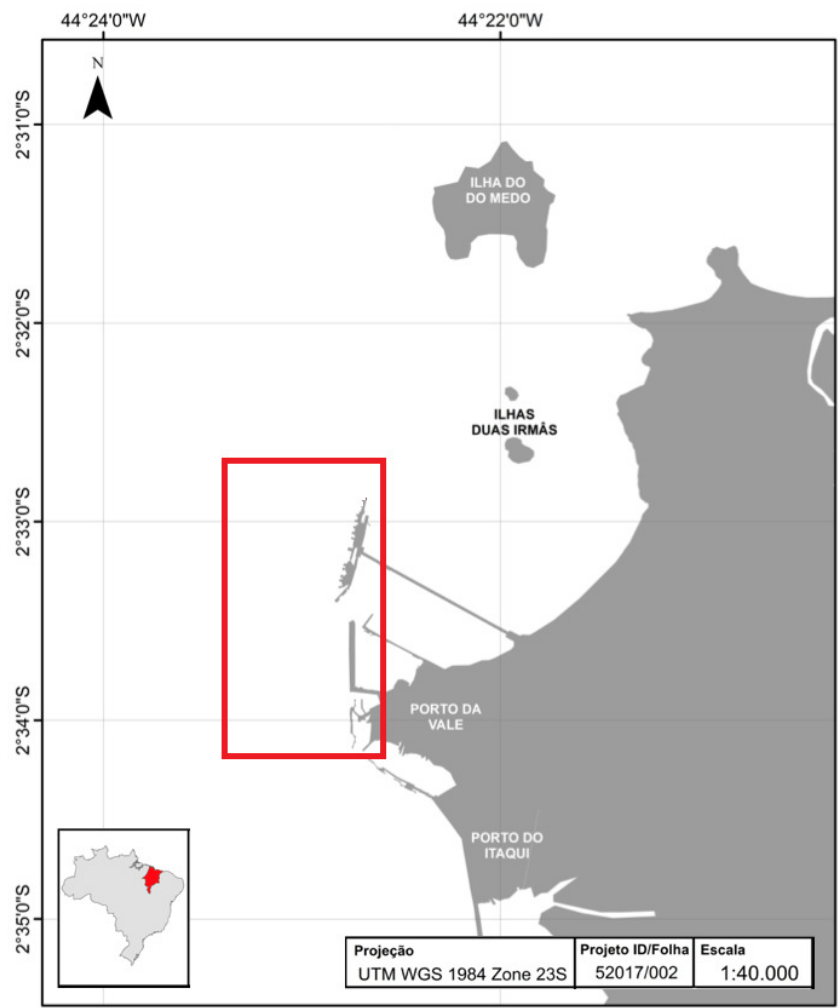


Figura 2. Terminal Marítimo de Ponta da Madeira – TMPM [Fonte: Arquivo de imagens do LHiCEAI].



Figura 3. Terminal Marítimo de Ponta da Madeira [Fonte: Do autor (2017)].

4. Método

Foi realizado um levantamento de dados da variação do nível do mar e velocidades de corrente, além da avaliação dos indicadores de eficiência do terminal através de relatórios diários de desempenho, onde foram analisadas as informações que podem indicar os possíveis pontos de melhoria. Essas informações permitiram mensurar e identificar as perdas, formando um gráfico, identificando possíveis ganhos a serem obtidos com a alteração no padrão de manobras.

Instalado em janeiro de 2018, o SISMO®ValePDM¹ é formado por duas estações oceanográficas e uma estação maregráfica (Figura 4). Cada estação oceanográfica é equipada com um perfilador acústico de correntes horizontal (ADCP), modelo SL500, marca SonTek (Figura 5 e 6). Este equipamento amostra dados de intensidade e direção das correntes ao longo de uma secção horizontal com extensão de até 120 m a partir do ponto de instalação do sensor, sendo assim, capazes de observar variações espaciais da intensidade e direção das correntes. Cada ADCP é também equipado com um sensor de pressão e um transdutor vertical para monitoramento do nível do mar.



Figura 4. Localização das estações oceanográficas (HMPDMDOLFIM15 e HMPDMDOLFIM08) e maregráfica (HMPDMTIDE) no Píer IV Norte do Terminal marítimo da Ponta da Madeira, onde as

¹ Software cedido pela Empresa Vale S/A

linhas vermelhas indicam a extensão dos feixes acústicos para medição de correntes no dolfin 15 e 08 [Fonte: adaptado de Google Earth, 2018] .



Figura 5. Perfilador horizontal acústico de correntes instalados no TPM [Fonte: Foto do autor, (2018)]

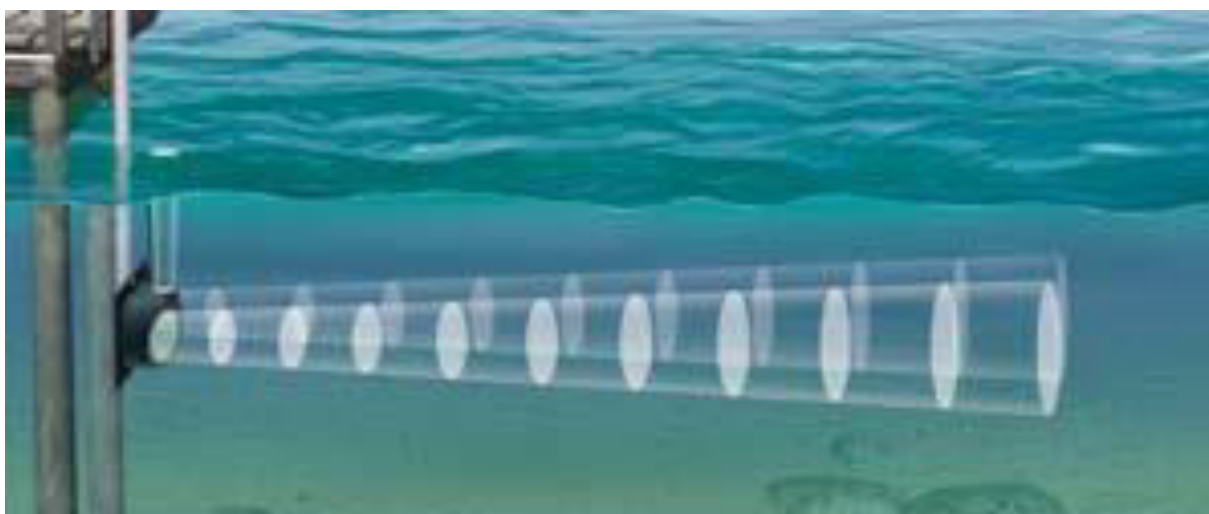


Figura 6. Esquema de instalação e funcionamento do SL500, da SonTek - Na figura, é representada, esquematicamente, a medição de correntes feita pelos feixes horizontais ao longo de 10 células ao mesmo tempo. Também está representado o feixe vertical que fornece a distância do equipamento em relação à superfície do mar. ([Fonte: SonTek (2018)]).

Os ADCP's estão instalados no Píer IV Norte do Terminal Marítimo de Ponta da Madeira, nos dolfin 15 (norte) e 08 (central), respectivamente, a uma profundidade aproximada de 6 m (em referência ao zero hidrográfico), voltados para o canal de navegação (Figura 4). Estão configurados para operar com 6 células de 20 m cada, dispostas transversalmente ao píer. (DE CAROLI, 2018)

Princípio do sensor - O princípio de funcionamento do ADCP utiliza a propagação e reflexão de ondas acústicas através da coluna d'água. Estas ondas passam a se chocar com as partículas em suspensão, onde a diferença entre a frequência do sinal refletido por esses alvos em movimento e a frequência do sinal emitido é proporcional à velocidade dos alvos (efeito *Doppler*) e, portanto, à velocidade da própria corrente de um meio para o outro. É este sinal que carrega informações sobre as intensidades e direções das correntes. (FINEP/CNPq/CTPETRO/Petrobras/ANP (Projeto POTMAR/REDE PETROMAR).

Ressalta-se aqui que, dentre os ADCP's horizontais existentes no mercado, o ADCP da SonTek é o equipamento mais adequado para medição das correntes em regiões criticamente rasas (Polonichko e Romeo, 2007; Velasco e Polonichko, 2007). Os transdutores acústicos foram desenvolvidos através de uma técnica para supressão do efeito conhecido como *side lobe*. Esta técnica faz com que o equipamento tenha o maior alcance horizontal para medição das correntes, quando colocado em regiões criticamente rasas, diminuindo a interferência do reflexo acústico da superfície. (DE CAROLI, 2018).

Além das estações oceanográficas, compõe o SISMO®ValePDM a transmissão dos dados de nível do mar da estação maregráfica mantida pela Vale, instalada nas proximidades da ponte de acesso ao Píer IV Norte (Figura 4), (DE CAROLI, 2018).

Os dados coletados por estes sensores, após transmitidos, são recebidos em servidores em nuvem. Neste momento, os dados são processados e avaliados pelo **sismoDQ®**: software de avaliação da qualidade dos dados desenvolvido pela empresa HidroMares. Desta forma, apenas os dados avaliados de alta qualidade são disponibilizados para visualização dos clientes, garantindo tomadas de decisão baseadas em dados confiáveis (DE CAROLI, 2018).

Após o processamento e avaliação, os dados são disponibilizados para visualização tanto na Área do Cliente SISMO®, denominada SISMO®Web e localizada no site da HidroMares (Figura 7 e Figura 8) e em aplicativos para smartphones (Figura 9). Dados brutos e processados são armazenados em nossos servidores de acordo com as necessidades de cada cliente. Estes ficam disponíveis para livre acesso dos clientes através do SISMO®Web (Figura 7). Por solicitação da Associação dos Práticos do Estado do Maranhão, os dados amostrados também são disponibilizados para visualização em plataforma própria da Associação.

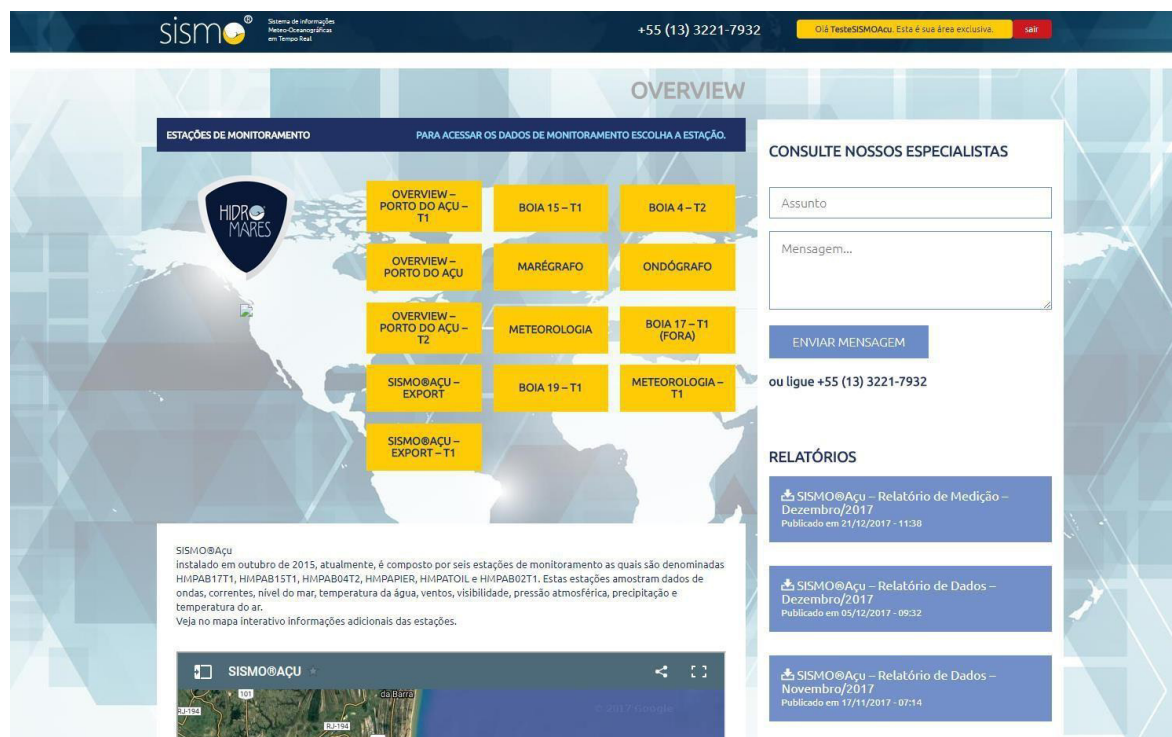


Figura 7. Conteúdo interno do SISMO@ValePDM no SISMO@Web [Fonte: Hidromares (2018)]

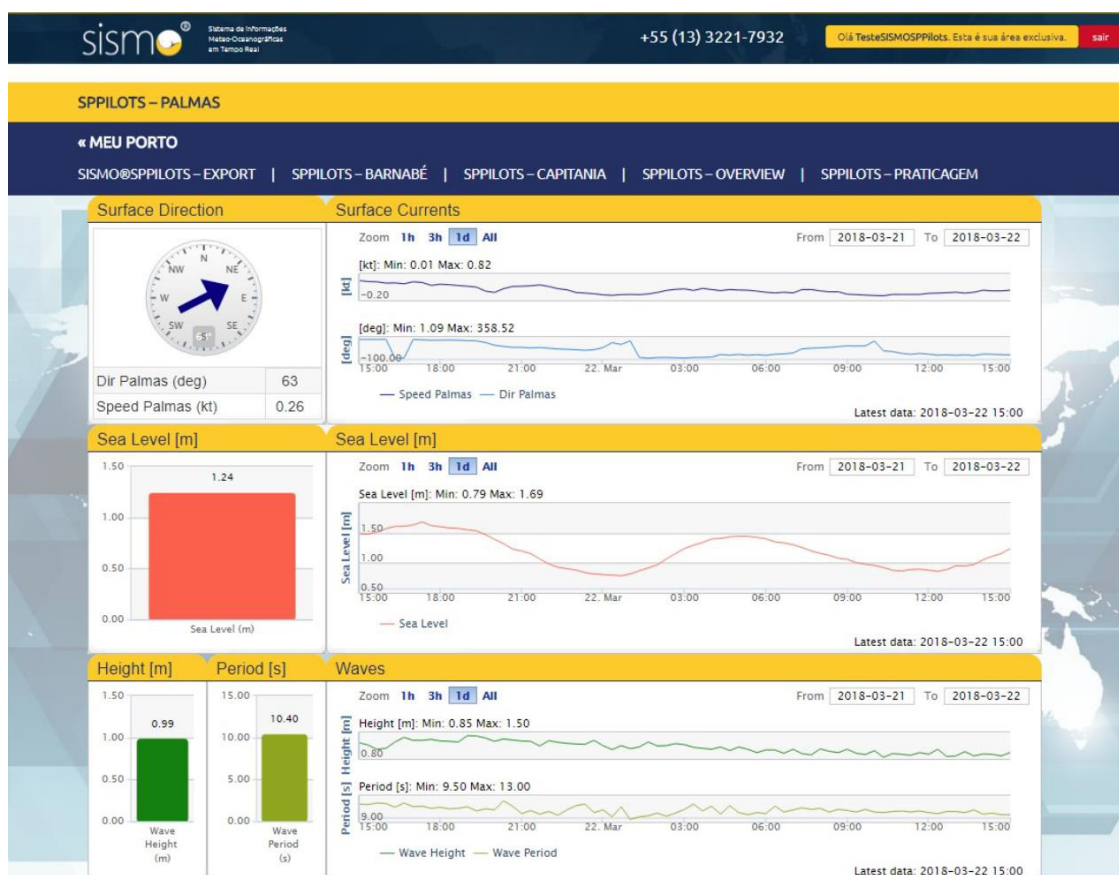


Figura 8. Visualização de dados do SISMO@ValePDM no SISMO@Web [Fonte: Hidromares (2018)]

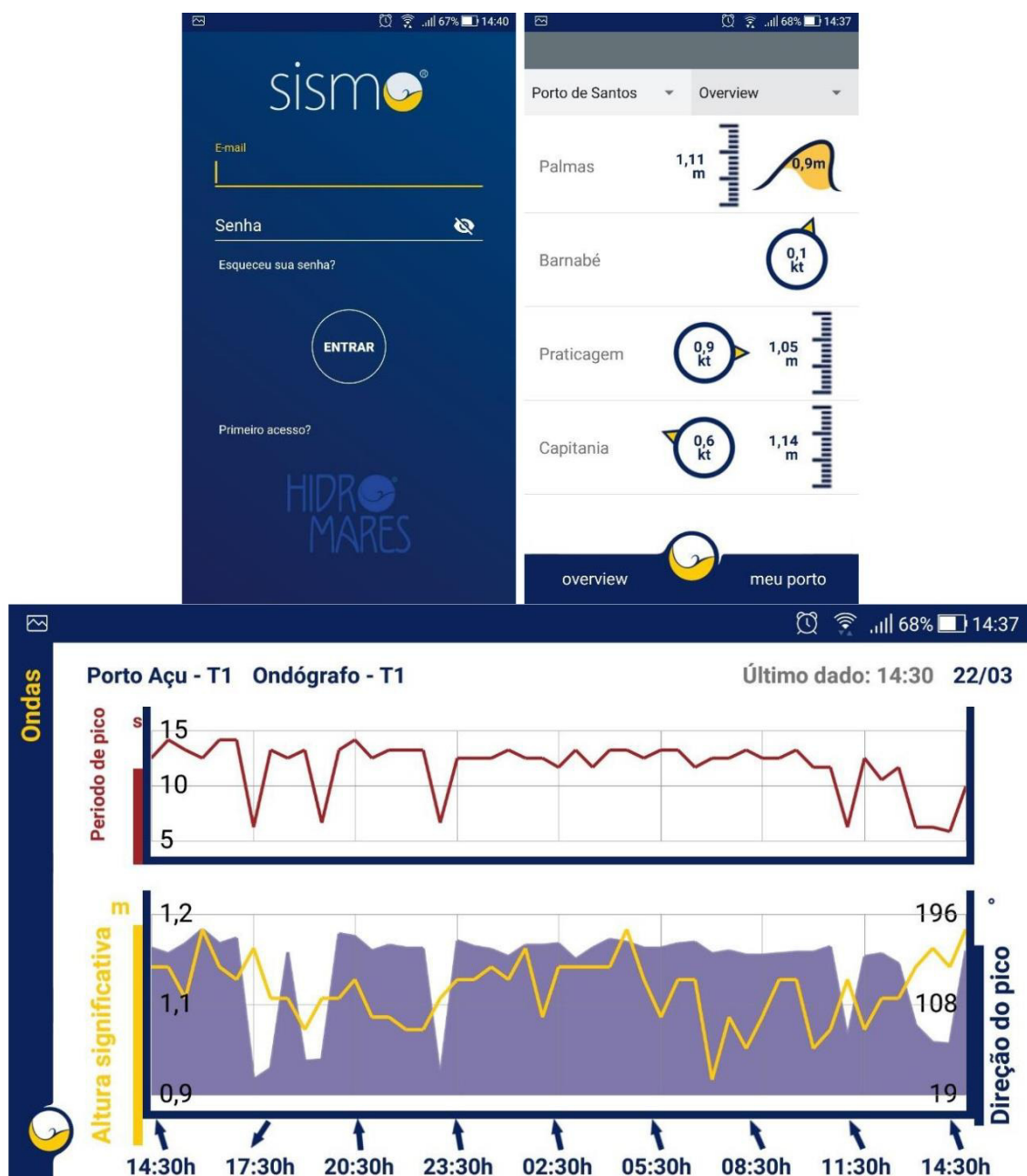


Figura 9. Exemplo de visualização dos dados SISMO®ValePDM no SISMO®App.

Os resultados apresentados foram obtidos a partir da análise dos dados amostrados e processados para o período compreendido entre 01 de fevereiro e 30 de abril de 2018. (DE CAROLI, 2018).

5. Resultados

5.1. Avaliação da variação de maré e velocidade de correntes.

Na Figura 10 é ilustrada a variação do nível do mar observada no marégrafo do TMPM. Note que a variação do nível do mar apresenta padrão semi-diurno, com a modulação referentes às marés de quadratura e de sizígia. Os níveis médios, máximo e mínimo observados no período foram iguais a 3,20 m, 6,51 m e -0,09 m, respectivamente (Tabela 1). A Figura 10 também compara a variação do nível do mar observada e aquela prevista pela maré astronômica através da suíte de processamentos *t_tide* (PAWLOWICZ, *et al.*, 2002).

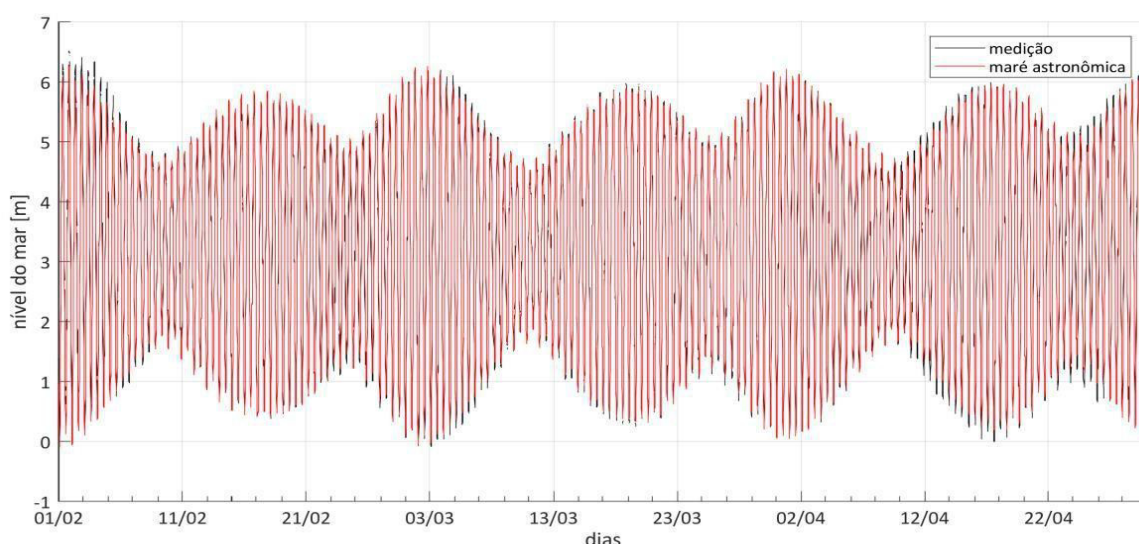


Figura 10. Série temporal de elevação do nível do mar observada (preto) e prevista pela maré astronômica (vermelho) para o período analisado [Fonte: De Caroli, 2018].

Tabela 1. Valores médio (m), máximo (m), mínimo (m), desvio padrão (m) e variância (m^2) dos dados de variação do nível do mar, observados no dolfin 8 do TMPM [Fonte: De Caroli, 2018].

Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão	Variância
3,20	6,51	-0,09	1,66	2,75

A elevada variação da maré influencia diretamente a velocidade da corrente. Uma característica marcante da região é a presença do regime de maré de altas amplitudes e amplitude de macro maré, com alturas podendo atingir 6,5 m e influenciar áreas distantes até 150 km do litoral. A variação periódica do nível do mar determina a presença de fortes correntes (Pereira & Harari, 1995) ao longo de todo o ciclo anual, atingindo valores acima de 3 m/s (5,83 nós) em áreas adjacentes ao TMPM.

Verifica-se que as séries temporais são similares, indicando que a maior variabilidade do nível do mar no TPM está associada às marés, tendo pouca influência dos ventos e/ou pressão atmosférica. A Tabela 2 apresenta amplitude e fase das constantes harmônicas obtidas após análise harmônica da série temporal dos dados de nível do mar. As componentes principais são as semi-diurnas M2 e S2 com amplitude igual a 2,12 m e 0,68 m, respectivamente. Resultados obtidos para o dolfin 08 e 15 foram muito similares (DE CAROLI, 2018).

Tabela 2. Amplitude (m) e fase (graus) das principais componentes de maré [Fonte: De Caroli, 2018].

Componente	Amplitude	Fase	Componente	Amplitude	Fase
O1	0,1133	215,01°	N2	0,3276	183,42°
NO1	0,1313	313,24°	M2	2,1269	200,60°
K1	0,0698	254,05°	S2	0,6822	241,25°

As correntes observadas tanto no dolfin 15 quanto no dolfin 08 são apresentadas nas figuras 11 e 12, respectivamente, na forma de gráfico tipo palito (*stickplot*). No eixo principal, estão indicadas as distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer. Nos dois pontos de observação, é evidente a variação da intensidade e da direção das correntes nos períodos de enchente e vazante, sizígia e quadratura.

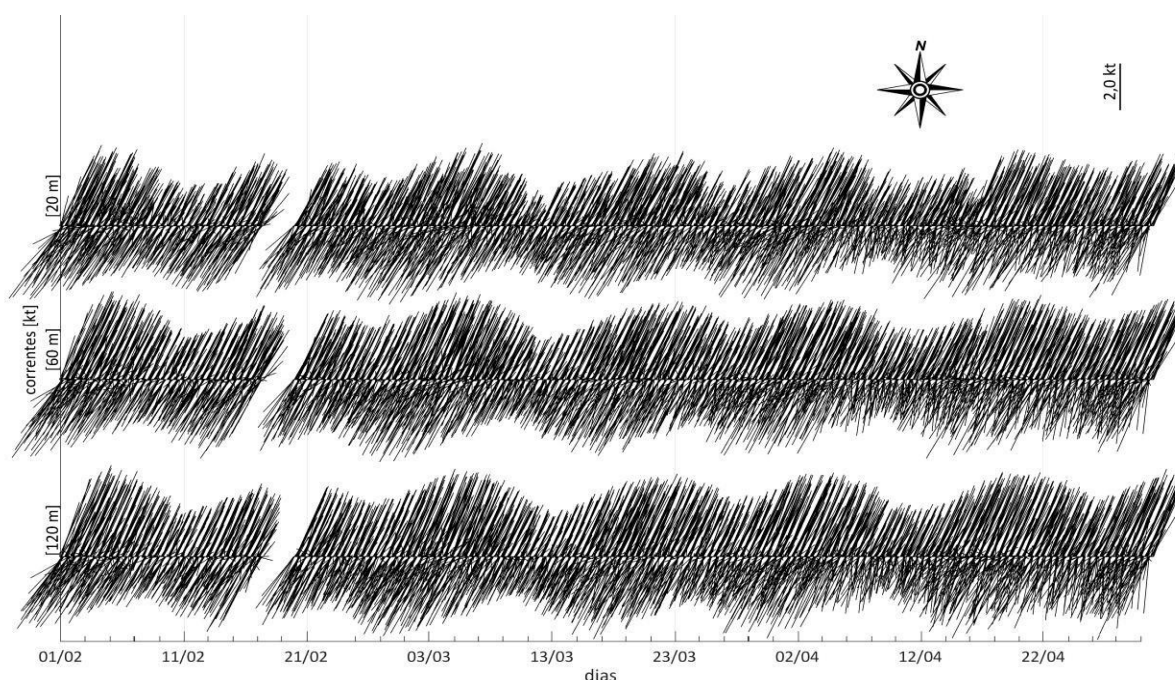


Figura 11. Correntes amostradas no Dolfin 15 - A escala está indicada no canto superior direito. Eixo das ordenadas: distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer. [Fonte: De Caroli, 2018].

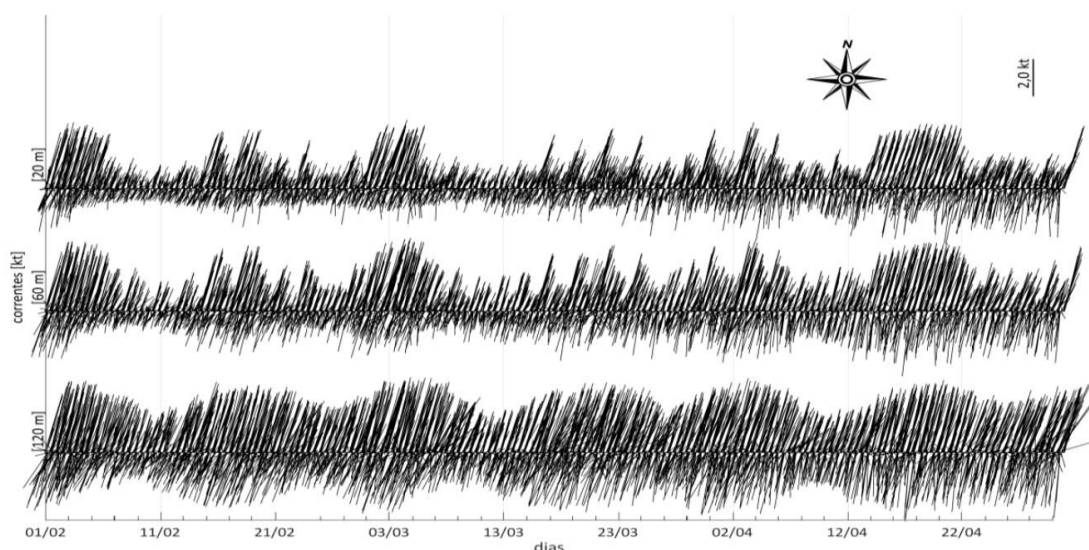


Figura 12. Correntes amostradas no Dolfin 08 - A escala está indicada no canto superior direito da figura. Eixo das ordenadas: distâncias das células de medição do ADCP a partir do píer [Fonte: De Caroli, 2018].

A análise estatística destes dados demonstra que as correntes tendem a ser um pouco mais intensas mais próximo do dolfin 15 do que no dolfin 8, exceto na célula de amostragem localizada a 120 m (Tabela 3): a 100 m de distância do píer, as correntes máximas observadas nos dolfin 15 e 8 tiveram valor de 4,65 nós e 4,28 nós, respectivamente. Isto ocorre devido à presença constante de navios atracados ao sul do dolfin 08, diferente do que ocorre no dolfin 15. Ao largo (120 m de distância) a diferença na intensidade das correntes, entre ambos os dolfin é menor, inclusive com valores médios maiores para o dolfin 08 (1,76 nós) com relação ao dolfin 15 (1,65 nós).

Tabela 3. Velocidades média (nós) e máxima (nós) observadas nos dolfin 8 e 15 do TPM [Fonte: De Caroli, 2018].

Dolfin 8			Dolfin 15		
Distância do píer (m)	Vel. Média (nós)	Vel. Máxima (nós)	Distância do píer (m)	Vel. Média (nós)	Vel. Máxima (nós)
20,00	1,05	3,89	20,00	1,66	4,01
40,00	1,16	4,09	40,00	1,75	4,11
60,00	1,28	4,21	60,00	1,87	4,25
80,00	1,46	4,21	80,00	1,92	4,34
100,00	1,77	4,28	100,00	1,91	4,65
120,00	1,76	4,85	120,00	1,65	4,54

As manobras com embarcações são realizadas a partir da análise da previsão da tábua de marés para a região, assumindo a seguinte janela de operação: entre 2 horas antes e 15 minutos depois da preamar e entre o momento da baixa-mar até 2 horas depois deste instante “Normas e Procedimentos para a Capitania dos Portos do Maranhão” – NPCP. (NPCP -2009). Na Figura 13 e Figura 14, estão exemplificadas as condições hidrodinâmicas ao longo de 24 horas em maré de sizígia, no dolfin 15, e em maré de quadratura, no dolfin 08, respectivamente. Em cada gráfico, a janela de operação está marcada conforme a regra vigente para preamar e baixa-mar.

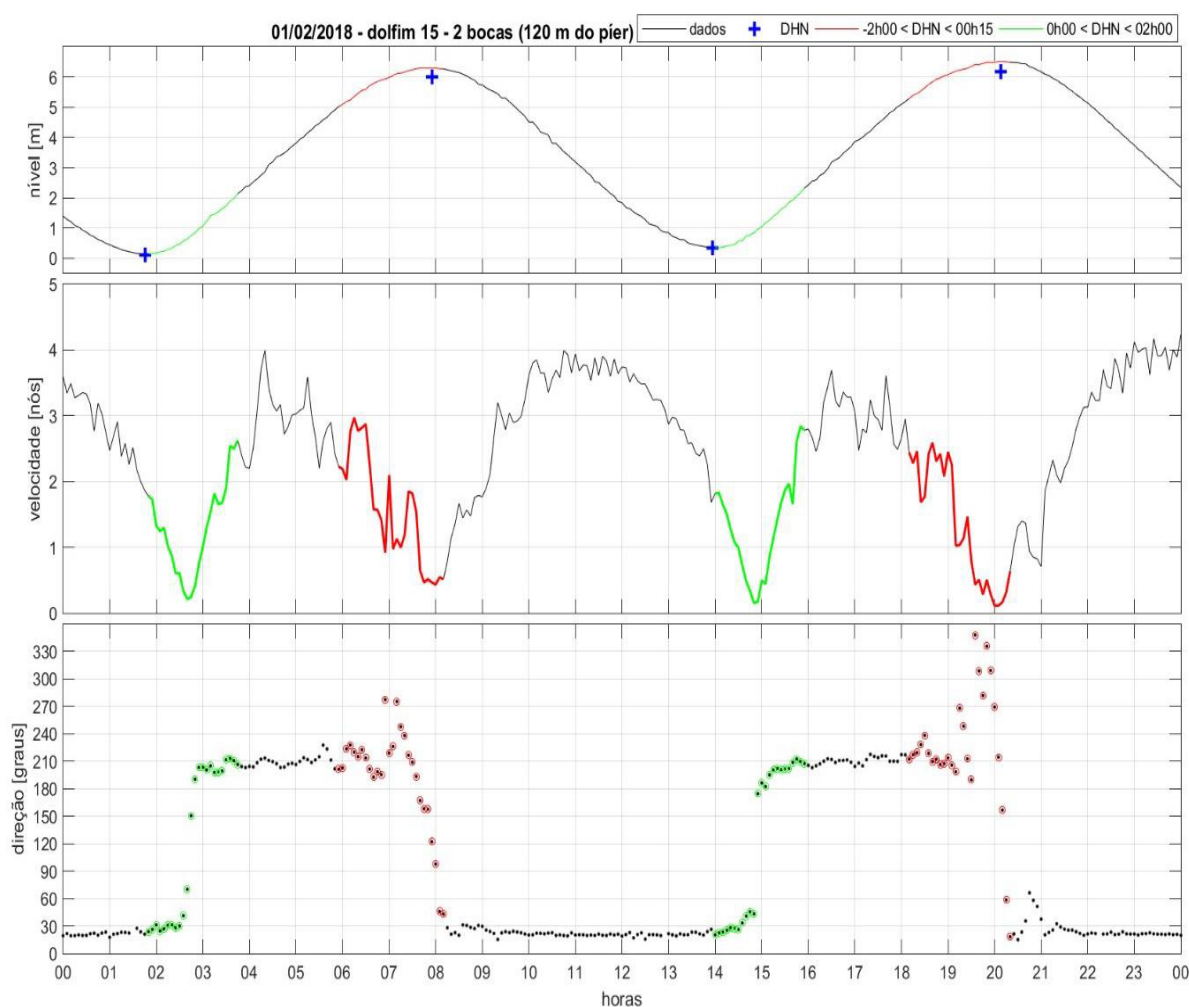


Figura 13. Variação do nível do mar em metros (gráfico superior), intensidade em nós (gráfico do meio) e direção das correntes (gráfico inferior) observados à 120 metros de distância do dolfin 15 do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira, em 01 de fevereiro de 2018, durante maré de sizígia. Em vermelho e verde estão marcadas as janelas operacionais definidas para preamar e baixa-mar, respectivamente. No gráfico superior, os instantes de baixa-mares e preamares obtidos da tábua de marés estão indicados pelo símbolo azul.

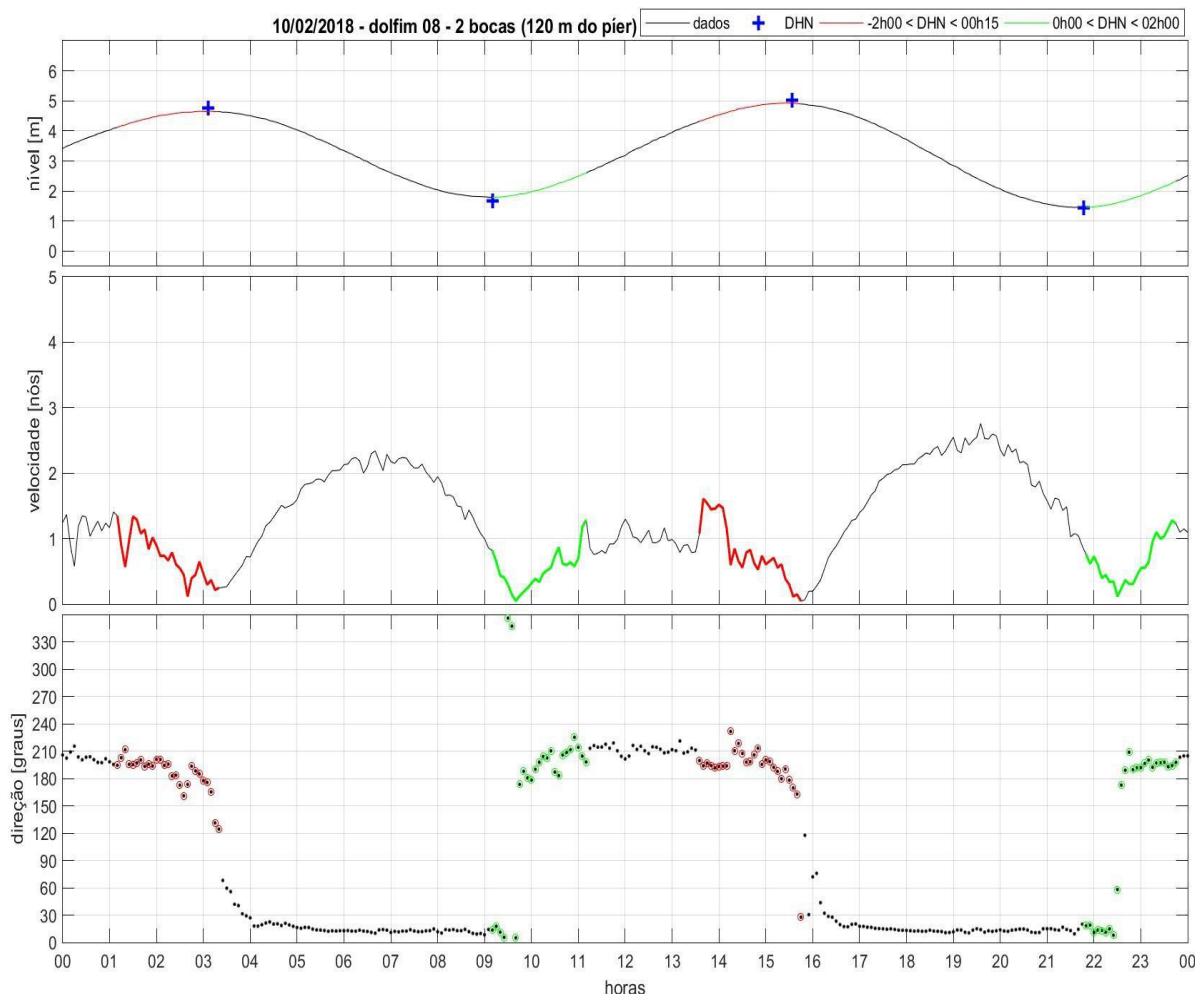


Figura 14. Variação do nível do mar em metros (gráfico superior), intensidade em nós (gráfico do meio) e direção das correntes (gráfico inferior) observados a 120 metros de distância do dolfin 08 do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira, em 10 de fevereiro de 2018, durante maré de quadratura. Em vermelho e verde estão marcadas as janelas operacionais definidas para preamar e baixa-mar, respectivamente. No gráfico superior, os instantes de baixa-mares e preamares obtidos da tábua de marés estão indicados pelo símbolo azul, sendo as factíveis janelas mais elásticas devido velocidades de corrente abaixo de 2,5 nós.

A análise preliminar dos dados apresentados na Figura 14 indica que a janela de operação poderia ser maior tanto na preamar quanto na baixa-mar da maré de quadratura. Note que as condições de intensidade e direção das correntes observadas há 2 horas antes da segunda preamar do dia apresentavam valores inconstantes no período de 4 horas. No caso da baixa-mar, a janela de operação que se encerrou por volta das 11:00 poderia ter sido estendida até às 16:00, adotando apenas premissas das condições hidrodinâmicas. No período de sizígia (Figura 13), a expansão da janela de operação não é tão evidente neste exemplo.

Após o levantamento de variação de marés e velocidades de corrente constatou-se que a frequência das variações de maré é observada entre o intervalo entre 4,75 a 5,25 m de variação que corresponde a 19,29 % do período observado, (Figura 15) (TIDEWATER, 2017).

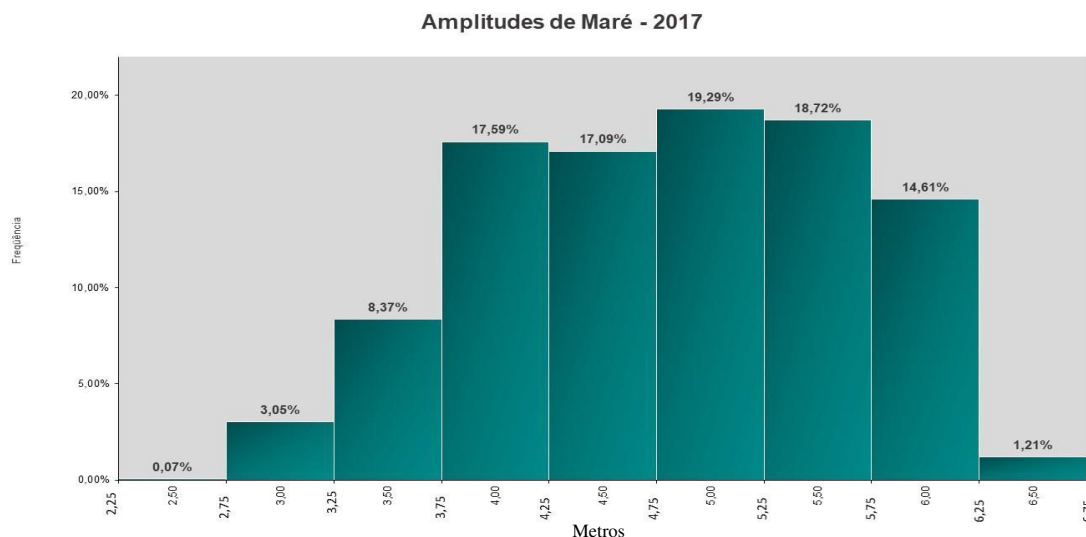


Figura 15. Levantamento de maré [Fonte: Vale S/A, 2017]

Notar que a soma das alturas superiores a 5,75 m corresponde a 15,82 % onde não há regras de atracação de navios no Píer 4 Norte, face ser considerado uma faixa onde ainda não há plena segurança para realização de manobras pelos Práticos da Baía de São Marcos.

Constatou-se, que na faixa onde o limite inferior é de 5,25 e o limite superior é de 5,75 m corresponde a 18,72 % das marés lidas para o período e estão no limite da faixa de segurança hoje estabelecida, sendo importante que seja alcançado maior de nível de treinamento dos profissionais responsáveis pelas manobras, que pode ser alcançado com simulações em modelos físicos e matemáticos e posterior treinamento em campo.

A avaliação da variação do nível do mar na Baía de São Marcos é fundamental, a localização dos terminais na área de afunilamento da baía expõe a área de manobra e os terminais a grandes velocidades de corrente que representam o maior desafio para os estudiosos e profissionais que manobram navios. O entendimento dos fenômenos da natureza e suas nuances diversas, possibilita buscar alternativas nas opções de governo dos navios e dos rebocadores de forma que possam vencer as fortes correntes e viabilizem as manobras com a segurança necessária para evitar acidentes de grade monta.

5.2. Marcação de uma manobra de navio no TMPM

O acesso de uma embarcação ao mar territorial brasileiro é regulamentado por diversas regras que devem ser seguidas. O acesso deve ser autorizado para que não seja considerado como invasão, respeitando assim a soberania do estado brasileiro.

Um navio para atracar em um porto deve seguir as normas locais que estabelecem regras para acesso ao mesmo, onde são estabelecidos os limites do canal de acesso, da bacia de evolução e do terminal de atracação (NPCP -2009).

A atracação e a desatracação dos navios são realizadas através de procedimento que é chamado de “faina de Praticagem”, que visa conduzir o navio de forma segura até o píer. O profissional responsável pela execução da manobra é o Prático, que auxilia o comandante do navio, regulamentadas pela publicação das “Normas e Procedimentos para a Capitania dos Portos do Maranhão” – NPCP (NPCP -2009).

As manobras de navios no TMPM ocorrem em geral em dois momentos, conforme regra (Tabela 4 – Regra de Manobra).

- a. Embarque do práctico, no mesmo horário da baixa mar indicado na tábua de marés, no navio que irá desatracar do porto e embarque do práctico, no mesmo horário do navio que irá atracar (NPCP -2009).
- b. Embarque do práctico, duas horas antes da preamar do navio que irá desatracar do porto e no mesmo horário do navio que irá atracar (NPCP -2009).

A seguir elencamos as regras de manobras realizadas no Píer 1.

Tabela 4. Regra de Manobra – Atracação e desatracação [Fonte: NPCP, 2009]

Píer 1		
Atracação		
DWT	Bordo	Período de manobra
Até 190 k	Boreste	BM até 1h30 min antes da PM (com $A \leq 4,5$ m)
> 190 k	Boreste	BM e 2h antes da PM
Até 190 k	Bombordo	1h30min antes da PM
		1h30min antes da PM até PM (com $A \leq 4,5$ m)

Desatracação		
DWT	Bordo	Período de manobra
Até 260 k	Boreste	BM até a PM (com $A \leq 4,5$ m). Quando a saída for 1 h antes da PM.
		com $A \leq 4,5$ m, a entrada será 1h30min antes da PM
> 260 k	Boreste	30 min antes da BM até a BM
		2h30min até 2h antes da PM
Até 190 k	Bombordo	1h antes da BM até 30 min antes da BM
		1h30min antes da PM até a PM (com $A \leq 4,5$ m)

As manobras são marcadas conforme a regra para que os navios manobrem sempre com a corrente passando no sentido da proa para a popa, dando ao navio maior capacidade de governo durante a manobra, tendo em vista que, o mesmo é governado pelo leme posicionado na parte de popa, conforme (figura 16).



Figura 16. Demonstrativo do sentido da corrente em relação à manobra do navio.

Na tabela 5, apresentamos a tábua de marés calculada para o TPM, adequado com estação maregráfica que fornece a variação de marés mais apurada para cálculo da mesma. A tábua de maré é composta com os horários de pico da maré alta e baixa, servindo como marco na escala do tempo para a determinação do horário da manobra.

Tabela 5. Tábua de maré do Terminal Marítimo da Ponta da Madeira [Fonte: Vale S/A, 2017].

 Gerência de Operação de Pátios e Supervisão de Marítima Janeiro de 2018						
Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
	1	2	3	4	5	6
	▼ 00:06 - 0,36m ▲ 06:23 - 5,84m ▼ 12:25 - 0,57m ▲ 18:38 - 6,05m	● ▼ 01:02 - 0,17m ▲ 07:14 - 5,94m ▼ 13:14 - 0,44m ▲ 19:29 - 6,14m	▼ 01:57 - 0,05m ▲ 08:04 - 5,99m ▼ 14:04 - 0,37m ▲ 20:19 - 6,16m	▼ 02:46 - 0,06m ▲ 08:57 - 5,97m ▼ 14:57 - 0,42m ▲ 21:08 - 6,10m	▼ 03:27 - 0,20m ▲ 09:44 - 5,85m ▼ 15:46 - 0,61m ▲ 21:59 - 5,93m	▼ 04:10 - 0,46m ▲ 10:27 - 5,65m ▼ 16:29 - 0,87m ▲ 22:47 - 5,66m
7	8	9	10	11	12	13
▼ 04:59 - 0,81m ▲ 11:14 - 5,41m ▼ 17:16 - 1,16m ▲ 23:34 - 5,36m	☾ ▼ 05:46 - 1,16m ▲ 12:06 - 5,20m ▼ 18:08 - 1,40m	▲ 00:29 - 5,10m ▼ 06:40 - 1,43m ▲ 13:04 - 5,07m ▼ 19:08 - 1,54m	▲ 01:32 - 4,94m ▼ 07:46 - 1,56m ▲ 14:10 - 5,07m ▼ 20:16 - 1,53m	▲ 02:44 - 4,93m ▼ 08:53 - 1,52m ▲ 15:14 - 5,17m ▼ 21:23 - 1,38m	▲ 03:51 - 5,05m ▼ 09:53 - 1,38m ▲ 16:10 - 5,33m ▼ 22:21 - 1,17m	▲ 04:49 - 5,20m ▼ 10:46 - 1,21m ▲ 17:02 - 5,47m ▼ 23:10 - 0,98m
14	15	16	17	18	19	20
▲ 05:38 - 5,32m ▼ 11:31 - 1,07m ▲ 17:47 - 5,57m ▼ 23:57 - 0,83m	▲ 06:16 - 5,40m ▼ 12:10 - 0,97m ▲ 18:23 - 5,63m	● ▼ 00:40 - 0,75m ▲ 06:53 - 5,45m ▼ 12:53 - 0,91m ▲ 19:01 - 5,67m	▼ 01:14 - 0,69m ▲ 07:25 - 5,48m ▼ 13:25 - 0,90m ▲ 19:34 - 5,71m	▼ 01:53 - 0,66m ▲ 07:59 - 5,52m ▼ 14:01 - 0,88m ▲ 20:06 - 5,75m	▼ 02:21 - 0,67m ▲ 08:31 - 5,54m ▼ 14:32 - 0,91m ▲ 20:42 - 5,75m	▼ 02:55 - 0,68m ▲ 09:02 - 5,55m ▼ 15:02 - 0,93m ▲ 21:14 - 5,72m
21	22	23	24	25	26	27
▼ 03:23 - 0,75m ▲ 09:36 - 5,51m ▼ 15:40 - 1,00m ▲ 21:51 - 5,64m	▼ 03:59 - 0,84m ▲ 10:08 - 5,44m ▼ 16:16 - 1,09m ▲ 22:29 - 5,52m	▼ 04:36 - 0,97m ▲ 10:51 - 5,35m ▼ 17:01 - 1,18m ▲ 23:14 - 5,37m	☾ ▼ 05:21 - 1,13m ▲ 11:42 - 5,25m ▼ 17:59 - 1,27m	▲ 00:12 - 5,23m ▼ 06:19 - 1,27m ▲ 12:47 - 5,18m ▼ 19:04 - 1,31m	▲ 01:25 - 5,13m ▼ 07:32 - 1,36m ▲ 14:04 - 5,22m ▼ 20:25 - 1,24m	▲ 02:47 - 5,16m ▼ 08:55 - 1,31m ▲ 15:19 - 5,36m ▼ 21:46 - 1,03m
28	29	30	31			
▲ 04:04 - 5,30m ▼ 10:08 - 1,15m ▲ 16:29 - 5,55m ▼ 22:57 - 0,77m	▲ 05:14 - 5,50m ▼ 11:14 - 0,93m ▲ 17:32 - 5,75m ▼ 23:59 - 0,51m	▲ 06:12 - 5,70m ▼ 12:12 - 0,70m ▲ 18:29 - 5,93m	● ▼ 00:55 - 0,27m ▲ 07:04 - 5,88m ▼ 13:04 - 0,49m ▲ 19:19 - 6,09m			

Na figura 17, apresentamos o gráfico de variação de marés ao longo de um mês, onde em baixas amplitudes representam as marés de quadratura (cor verde), com velocidade de corrente abaixo de 2,5 nós e altas amplitudes os períodos de maré de sizígia (cor vermelha) com velocidades de corrente acima de 2,5 nós. Objetivando ilustrar as correntes e amplitudes onde são factíveis as manobras em marés de quadratura.

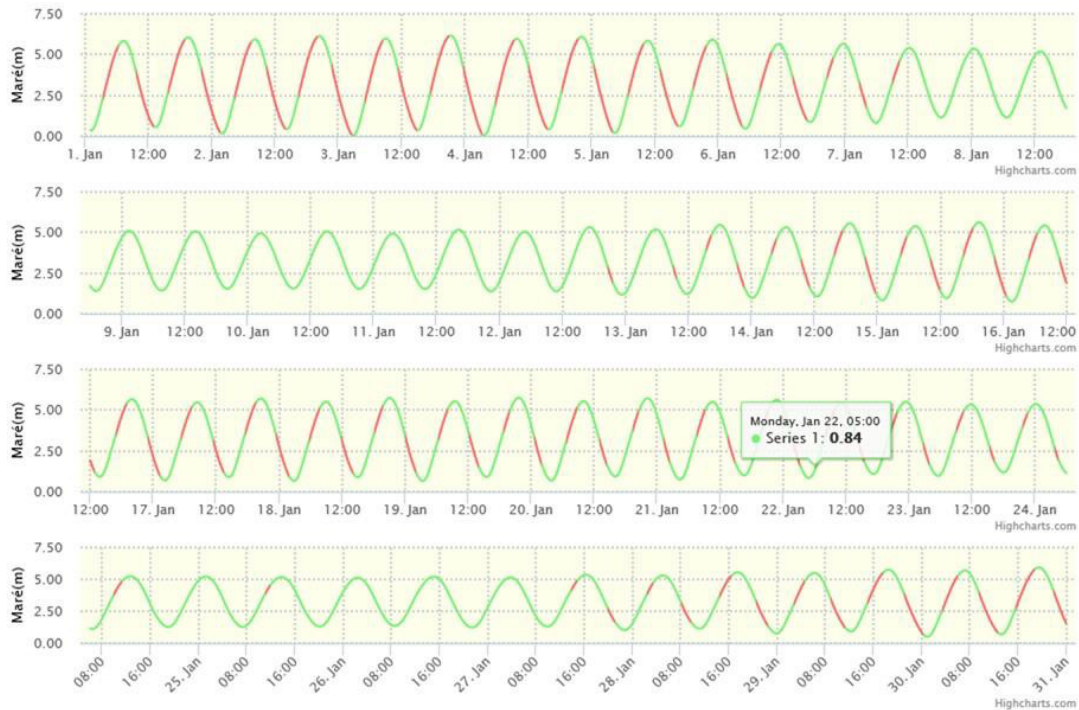


Figura 17. Gráfico de variação das marés [Fonte: Vale S/A, 2017].

Na figura 18 é apresentado gráfico de variação de maré, onde pode ser identificado na escala de tempo os horários de marcação de manobra, baixa mar e preamar. Para execução de manobras a figura 19 retrata as janelas temporais, onde podem ocorrer a execução de manobras, duas horas antes da preamar e no mesmo horário do baixa-mar, horários estes onde o prático deverá estar se apresentando no passadiço para realização da manobra.

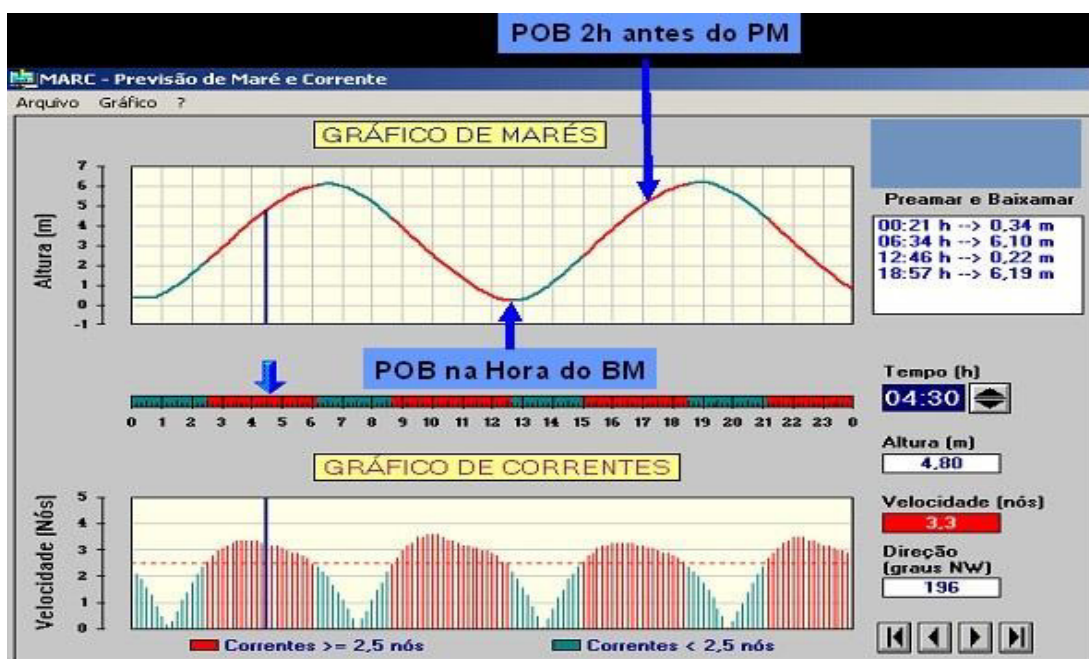


Figura 18. Gráfico de maré [Fonte: Vale S/A, 2017].

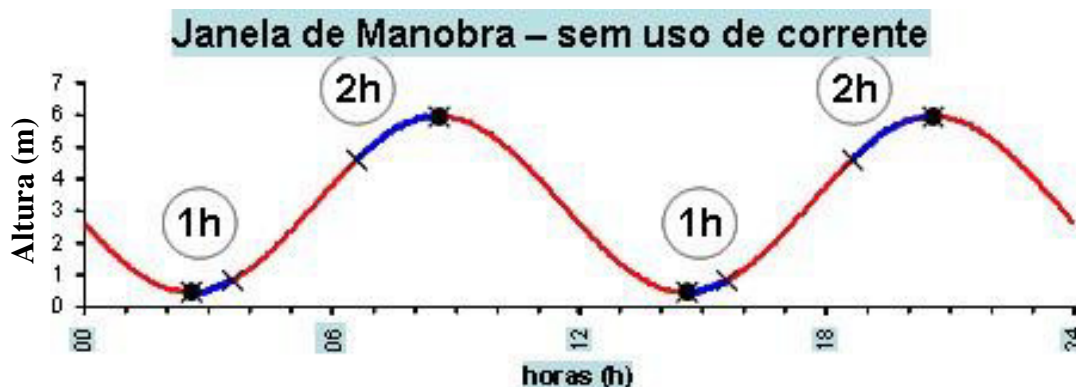


Figura 19. Janela de maré no píer 1 TPM [Fonte: Vale S/A, 2017].

5.2.1. Aumento da janela operacional do Terminal de 6 para 16hs diárias

A regra de manobra vigente de 1986 a 2007 determinava que, em função do conhecimento da Praticagem em relação às fortes velocidades das correntes de maré na região, os navios deveriam operar para condições de marés com alturas de até 5 metros somente no intervalo de tempo compreendido entre o estofo da baixa-mar até uma hora depois e no intervalo de duas horas antes da preamar até o instante do estofo da preamar (instantes em que as velocidades das correntes são menores), permitindo assim manobras em apenas seis horas/dia (Figura 20).

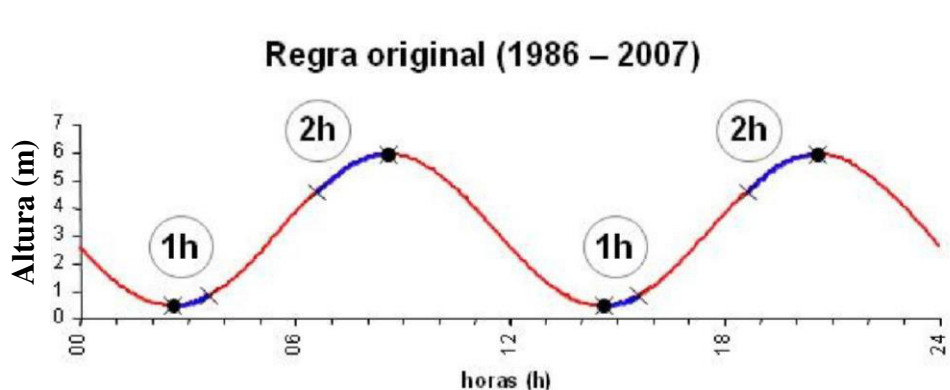


Figura 20. Regra original de manobras para o Terminal de Ponta da Madeira [Fonte: CVRD (2001)].

Com base nos resultados dos mais de 1.000 ensaios, realizados no Simulador analógico de manobras não tripuladas do LHEPUSP, houve consenso das autoridades portuárias, marítimas e entidades envolvidas quanto à possibilidade de ampliação dos horários das janelas operacionais de marés até 5m de altura, contando-se com acréscimo de *bollard-pull* dos rebocadores, (aquisição de dois rebocadores de 75tf BP), visando uma maior eficiência na execução do binário do giro (giro mais rápido e menos sujeito ao arrasto das correntes). Também se propiciou a função de sustentar a navegabilidade do navio no caso de uma falha

operacional, reduzindo seu abatimento rumo aos bancos de areia da região e contribuindo também para aprimorar as condições de segurança da navegação, uma vez que permitiu otimizar a gestão das unidades em manobras simultâneas para os berços do Ponta da Madeira, EMAP e ALUMAR, cujas respectivas quantidades de manobras estão em franco crescimento.

Foram programadas manobras experimentais no simulador e posteriormente manobras no porto, após a conclusão dos processos de equalização, adestramento e evolução técnica de toda a equipe envolvida nas manobras, encaminhou-se proposta para homologação das novas regras junto à Capitania dos Portos do Maranhão para validação das novas regras de manobras para o Píer I.

As novas regras de manobras para o Píer I permitiram ampliação dos horários das janelas operacionais de marés de seis horas/dia para dezesseis horas/dia (Figura 21), possibilitando-se manobras de atracação e desatracação desde o estófo da baixa-mar até uma hora depois da preamar, reduzindo o tempo de espera dos navios e propiciando um aumento de mais 6 navios além dos 55 que já manobravam anteriormente por mês, resultando em um ganho de 10 milhões de toneladas anuais na capacidade de embarque do Terminal (incremento de 15%), (GERENT, 2009).

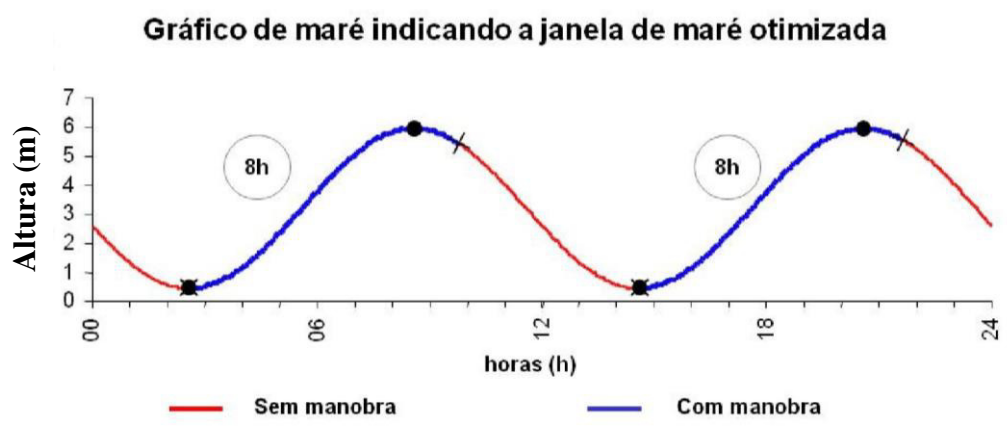


Figura 21. Regra atual de manobras para o Terminal de Ponta da Madeira [Fonte: CVRD (2001)]

Este estudo mostrou que com a compreensão dos efeitos naturais, aliados ao domínio das técnicas de manobrabilidade é possível realizar aumento das janelas de manobra dentro da camada de segurança de navegação para a Baía de São Marcos.

5.3. Classificação dos navios existentes

Devido às restrições impostas pelas velocidades de correntes se faz necessário o conhecimento dos tipos de navios que podem navegar e atracar nos terminais Vale S/A, dependendo do porte dos navios, há restrições para as marés de sizígia, bem como, são impostos procedimentos especiais quanto ao tipo de arranjo e procedimento de amarração dos navios para cada terminal.

Classificação de navios pela capacidade de carga (em toneladas):

- **Handy e Handymax:** Tradicionalmente as mulas de carga do mercado marítimo de mercadorias secas, o tipo Handy e o mais recente Handymax continuam populares com suas menos de 50.000 tpb. Esta categoria também é usada para definir pequenos navios tanques para óleo.
- **Panamax:** Representam o maior navio capaz de navegar pelo atual Canal do Panamá, o que pode ser aplicado a navios tanque ou de carga; seu comprimento está limitado a 294,1 metros (dependendo do tipo de navio), sua largura a 32,2 metros e seu calado a 12 metros (em água doce). A tonelagem média aproximada para este tamanho de embarcação é de 65.000 tpb, podendo variar entre 50.000 tpb e 80.000 tpb.
- **Capesize:** Refere-se a um tamanho de navio não bem definido que tem características que o tornam incapaz de cruzar o Canal do Panamá e de Suez, não necessariamente por sua tonelagem, mas por suas dimensões. Estes navios operam em terminais de águas profundas carregando matérias primas, como minério de ferro e carvão. Como consequência, os navios da classe "Capesize" navegam via o Cabo Horn (sul da América do Sul) ou o Cabo da Boa Esperança (sul da África). Sua capacidade varia de 80.000 tpb a 175.000 tpb.
- **Aframax:** Navio tanque de capacidade variando entre 75.000 tpb e 115.000 tpb, sendo os maiores navios tanque no sistema de classificação da AFRA (Average Freight Rate Assessment).
- **Suezmax:** Este padrão, que representa as limitações do Canal de Suez, tem evoluído. Antes de 1967, o Canal de Suez só podia acomodar navios de até 80.000 tpb. O canal foi fechado entre 1967 e 1975 por causa de uma disputa entre países vizinhos. Uma vez reaberto em 1975, a capacidade do canal alcançou os 150.000 tpb. O maior navio capaz de transitá-lo tem seu

comprimento limitado a 500 metros, sua largura a 70 metros e seu calado a 21 metros. Está sendo estudado um alargamento do canal para permitir a navegação de navios tanque de 200.000 tpb.

- **VLCC / VLOC:** Os "Very Large Crude Oil Carrier / Very Large Ore Carrier", tem capacidade entre 150.000 tpb e 320.000 tpb. Eles oferecem uma grande flexibilidade de uso dos terminais, já que a maioria pode acomodar suas dimensões, sendo apropriados para portos com limitações de profundidade, principalmente próximo ao Mediterrâneo, costa oeste da África e Mar do Norte. Alguns podem cruzar o Canal de Suez em lastro.
- **ULCC / ULOC:** Os "Ultra Large Crude Oil Carrier / Ultra Large Ore Carrier". tem capacidade entre 300.000 tpb e 550.000 tpb. Usados para carregar óleo cru / minério por longas rotas sem escalas do Golfo Pérsico até a Europa, América e leste da Ásia, via Cabo da Boa Esperança ou Estreito de Mallaca. A grandiosidade destes navios requer a construção de terminais apropriados (GERENT, 2009).

Alguns navios são ilustrados na figura 22.

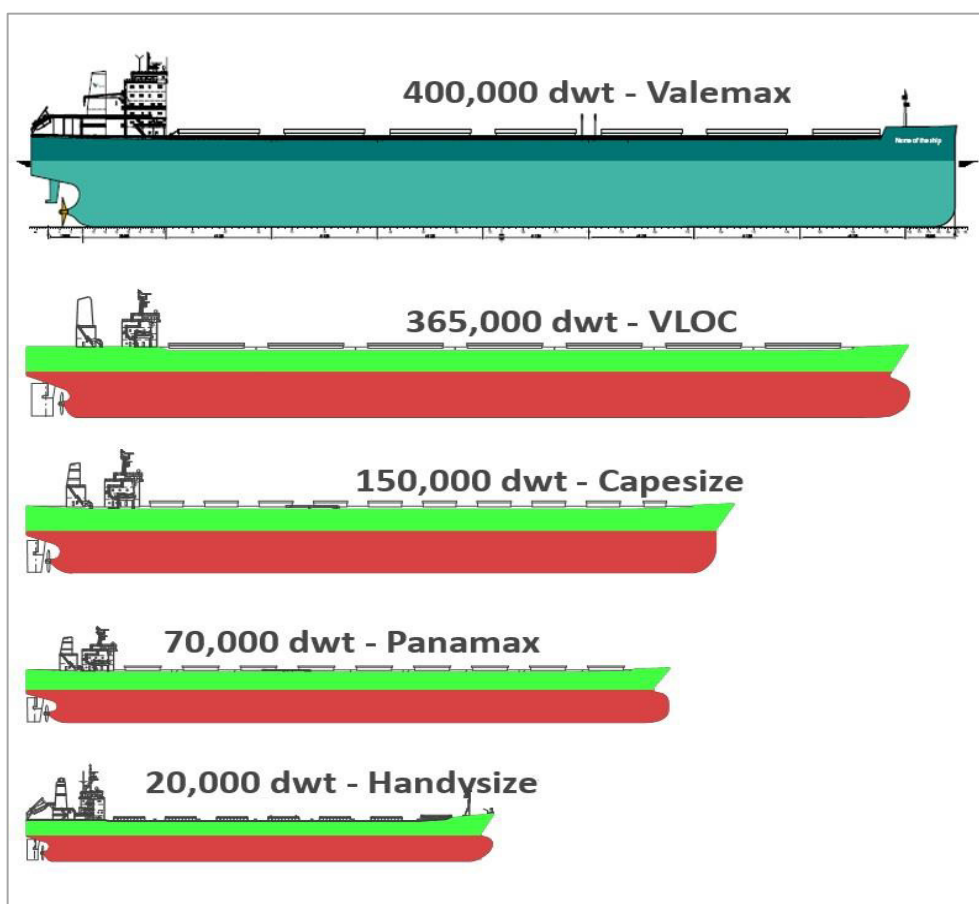


Figura 22. Classe de navios por DWT [Fonte: Lloyd's Register of Shipping].

5.4. Ponto de embarque do Prático

Após a marcação da manobra dos navios, os práticos irão a bordo, sendo um Prático para realizar a desatracação no Píer 1 e outro Prático se deslocará para o ponto de embarque determinado pelo anexo 4-B para embarque na zona de Praticagem 04 (ZP-4) que corresponde a Baía de São Marcos, como segue, tabela 6.

Tabela 6. Pontos de embarque de práticos para ZP-04 [Fonte: NPCP – MA (2009)].

ZP	Estado	Latitude	Longitude	Informações complementares
04	MA	02° 28' 54" S	044° 22' 12" W	Ponto de embarque para navios com calado inferior a onze metros, proximidades da boia nº 19.
		02° 26' 00" S	044° 20' 36" W	Ponto de embarque para navios com TPB superior a 100.000 ou com calado igual ou superior a 11 metros, nas proximidades da boia nº 19.
		02° 31' 30" S	044° 23' 06" W	Ponto de desembarque para todos os navios.

O Prático deve embarcar de forma segura, para tal, o navio segue regras internacionais e boas práticas marinheiras recomendadas.

5.5. Uso de rebocadores portuários

As manobras de navios de grande porte em áreas abrigadas com espaço restrito dependem do uso de rebocadores portuários para que sejam executadas, sendo esta ferramenta hoje e no futuro indispensável para manter a camada de segurança nas operações portuárias (RIOS, 2001).

As manobras na baía de São Marcos são consideradas especiais, face as fortes correntes que são peculiares nesta região, aliados ao porte dos grandes navios que navegam nestas águas é necessário cada vez mais rebocadores de potência suficiente que garantam a segurança da navegação e salva guarda da vida humana e do meio ambiente marinho (Figura 23).



Figura 23. Uso de rebocadores portuários no TMPM.

Nos portos e terminais do globo terrestre, existem vários tipos de rebocadores que operam em águas abrigadas, chamados “onshore”. Além dos que operam em mar aberto “Oceânicos” e em plataformas de petróleo, denominados “offshore”, variam em suas características de manobra e potência em bollard pull – BP (SILVA et. al., 2002). São ainda classificados devido à capacidade de tração e ao tipo de propulsão, que são fatores que determinam a utilização nas manobras de atracação e desatracação de navios de grande porte (Figura 24).

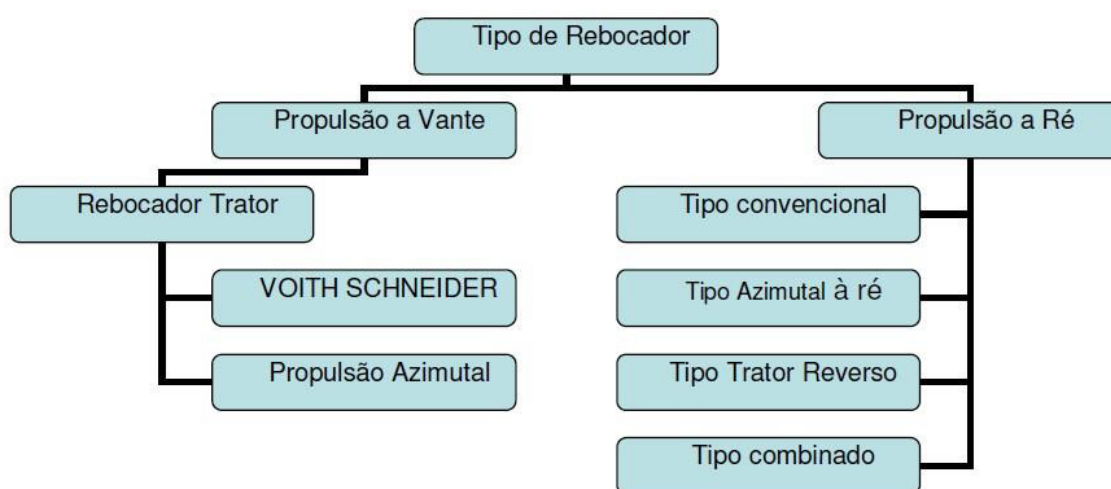


Figura 24. Esquema de classificação de rebocadores [Fonte: Tug use in Ports (1997)].

Conforme o Guia Genérico da Melhor Utilização Teórica de Rebocadores (SILVA et. al., 2002), as posições dos rebocadores na manobra de um navio são diferentes na preferência e na forma predominante de emprego.

Tabela 7. Classificação genérica de rebocadores [Fonte: Rebocadores Portuários (2002)].

<i>POSIÇÃO DO CABO NO NAVIO</i>	<i>CONVENCIONAL</i>	<i>TRATOR</i>	<i>TRATOR REVERSO</i>
<i>CABO PASSADO NA PROA</i>	<i>Bom</i>	<i>Ótimo</i>	<i>Bom</i>
<i>CABO PASSADO NA POPA</i>	<i>Ruim</i>	<i>Bom</i>	<i>Ótimo</i>
<i>COSTADO SEM CORRENTE</i>	<i>Regular</i>	<i>Ótimo</i>	<i>Ótimo</i>
<i>COSTADO COM CORRENTE</i>	<i>Ruim</i>	<i>Ótimo</i>	<i>Ótimo</i>

Especificamente para o TMPM, face o aumento do porte dos navios que atracam, atualmente somente utilizamos os rebocadores denominados “ASD” Azimutal Stern Drive, também chamado de “Trator Reverso” (Figura 25). A potência mínima recomendada para manobras com segurança no TMPM é de 75 BP.



Figura 25. Rebocadores em “Push Pull” [Foto do autor].

Em geral nas manobras são utilizados rebocadores no costado “*push pull*” e rebocadores com cabo passado na popa e proa. As condições de uso de rebocadores, se de uso obrigatório ou facultativo, deverão ser estabelecidas pela Administração do Porto (Autoridade Portuária), sob coordenação da Autoridade Marítima. A decisão sobre o emprego dos mesmos é de competência do Comandante do Navio, ouvido a Autoridade Portuária e o Serviço de Praticagem (NPCP – MA, 2009).

A Autoridade Marítima recomenda o uso dos equipamentos auxiliares a manobra, mas deixa a cargo do comandante do navio a decisão final quanto a utilização dos equipamentos adequados à manobra e dispositivos.

O quantitativo de rebocadores é recomendado pelo Prático ao comandante do navio, sendo o Prático o detentor de conhecimento das condições de velocidade e efeitos da corrente, maré e vento locais, que influenciam o navio e os rebocadores na manobra (Tabela 8).

Tabela 8. Quantitativo de rebocadores sugerido pela NPCP [Fonte: NPCP – MA (2009)].

DWT x 1.000	Atracação	Desatracação
Até 80	2	2
Até 120	3	2
Até 150	4	3
Até 280	4	4
Acima de 280	5	5

6. Discussão

O modelo físico, bem como o SIAMA, simulador analógico de manobras não tripuladas, são ferramentas que somadas à perícia humana, visam simular a realidade de maneira esquematicamente simplificada, permitindo uma melhor compreensão dos fenômenos naturais hidráulicos e condições atípicas, possibilitando um melhor planejamento operacional portuário (GERENT, 2009).

Como a natureza está em contínua transformação, com condições físicas alterando-se constantemente, é fundamental que haja uma rotineira atualização do cenário a ser representado no SIAMA, de acordo com a finalidade do estudo. Nem sempre a condição mais recente levantada em campo, deverá ser a representada, na maioria dos casos deve-se simular a condição mais crítica já levantada no real (ou até extrapolada para uma condição mais crítica que está), para que haja sempre garantia da segurança (GERENT, 2009).

Por ser uma ferramenta que serve de apoio à tomada de decisões, não pode, em hipótese alguma, ser substituída por outros tipos de estudos, mas sempre os completas, considerando o primado da comparação reiterada de condições sobre os resultados exatamente quantitativos.

A participação de Pilotos reais e profissionais da área portuária é fundamental para a garantia da qualidade das informações geradas pelo simulador, pois a condução dos ensaios, análise das condições simuladas e dos resultados gerados, deve ser realizada por especialistas no assunto (GERENT, 2009).

Contudo, esperamos identificar através dos dados e das simulações oportunidades de melhoria na performance das janelas de manobras de navios no TMPM, contribuindo para melhoria dos indicadores de eficiência do terminal, alavancando melhores resultados financeiros e tornando a empresa mais competitiva no mercado onde atua.

A atracação e a desatracação dos navios são denominadas de “faina de Praticagem”, feita pelo Prático. Marcadas 3 h antes e canceladas 2 h antes do POB. As manobras de navios no Porto são regulamentadas pela publicação das “Normas e Procedimentos para a Capitania dos Portos do Maranhão” – NPCP.

As manobras de navios no TMPM ocorrem em regra geral em dois momentos:

a) Embarque do prático, no mesmo **horário** da **baixa mar** indicado na tábua de marés, no navio que irá desatracar do porto e embarque do prático, no mesmo horário do navio que irá atracar no porto.

b) Embarque do prático, **duas horas** antes **da preamar** no navio que irá desatracar do porto e no mesmo horário do navio que irá atracar.

Após levantamento dos tempos de manobra de navios (Tabela 9) e do levantamento do tempo médio mensal de atracação de navios (Figura 26), concluímos que, partindo do ponto de embarque do Prático até a atracação, há possibilidade de otimização na duração da manobra de navio, objeto desta dissertação.

Tabela 9. Tempo de Manobra de Navios [Fonte: Vale S/A (2016)].

NOME DO NAVIO	POB	Início da Manobra	Data Primeiro Cabo	Hora Primeiro Cabo	Duração do Evento
Asterix	22/12/2016	19:36:00	22/12/2016	21:25:00	1,81
Begang	23/12/2016	11:45:00	22/12/2016	13:15:00	1,50
Seacon 9	21/12/2016	23:27:00	22/12/2016	00:20:00	0,83
Rhodes VI	21/12/2016	10:42:00	21/12/2016	12:20:00	1,63
Ore Noumea	20/12/2016	22:17:00	20/12/2016	23:50:00	1,55
Stellar Ace	20/12/2016	09:42:00	20/12/2016	11:18:00	1,60
Ore Dongiakou	20/12/2016	04:24:00	20/12/2016	06:18:00	1,90
Cape Ioanna	19/12/2016	20:50:00	19/12/2016	22:44:00	1,90
Lydia Oldendorf	19/12/2016	16:20:00	19/12/2016	18:30:00	2,16
York	19/12/2016	16:10:00	19/12/2016	18:12:00	2,03
Mineral Oak	18/12/2016	03:36:00	18/12/2016	05:30:00	1,90



Figura 28. Cruzamento de navios na baía de evolução no TPM [Fonte: Marine Traffic, 2017].

Com este procedimento há um intervalo de tempo onde o cais fica sem navio, ou seja, há “vacância” do cais. O cais ficará vazio, até que o navio que irá atracar faça o giro de posicionamento e se desloque rumo ao cais, lançando o primeiro cabo e realizar atracação. Ao longo do ano de 2017 foram levantados dados de campos onde mensurou-se o tempo de “vacância” do píer, conforme a figura 29.



Figura 29. Período médio mensal de tempo de vacância do cais em 2017 [Fonte: Adaptado de Vale S/A, 2017].

A eliminação desta “vacância” torna-se uma possibilidade de ganho real, as manobras ocorrem duas horas antes da preamar (PM) e no mesmo horário da baixa-mar (BM), onde, velocidade média de corrente na a aproximação do navio que atraca ao cais, tende a valores mínimos, possibilitando assim atracação sem riscos operacionais.

Com o resultado dos dados apresentados, observamos que há casos em que o tempo de “vacância” do píer era reduzido. Assim, passou-se a observar, qual o aspecto dentro da manobra que contribuía para a redução do tempo de cais livre.

Nos exemplos abaixo (Figuras 30 e 31), que foi o melhor tempo de 2017, realizamos uma experiência, onde o tempo de desatracação foi relativamente baixo e como principal fator que contribuiu para a redução da vacância, foi a antecipação em 30 minutos da chegada do Prático a bordo.

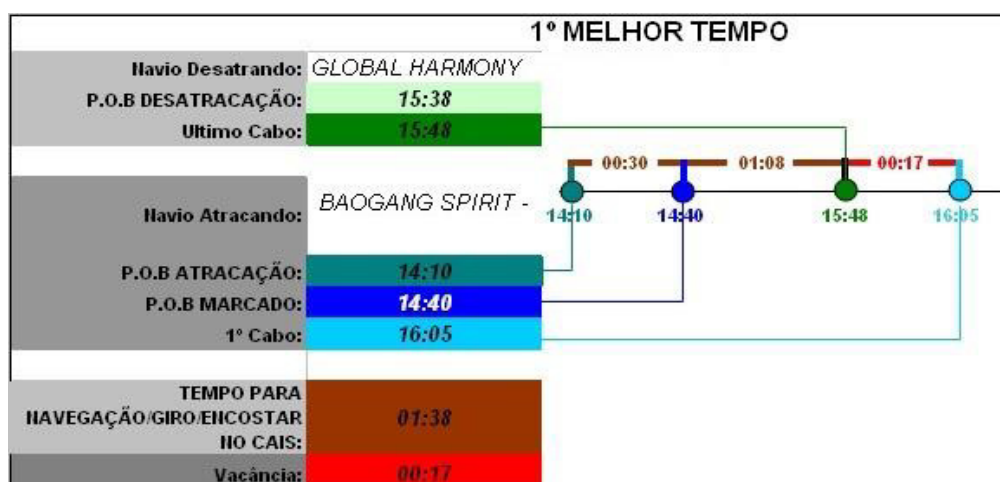


Figura 30. Tempos de manobra [Fonte: Vale S/A, 2017]

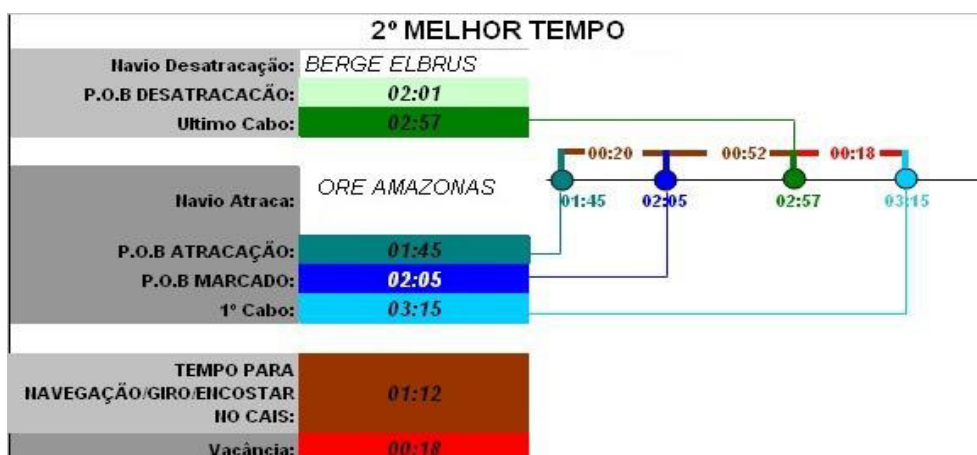


Figura 31. Tempos de manobra [Fonte: Vale S/A, 2017]

Desta forma, a manobra de atracação foi antecipada em relação à manobra de desatracação, permitindo que o navio que estava atracando se aproximasse e aguardasse ao largo do cais, antes da desatracação do navio que estava no cais.

Com o sucesso desta experiência, identificamos que é factível alteração da regra de manobra de navios do TMPM.

7. Considerações finais

Como a Baía de São Marcos está localizada na região equatorial submetida a elevadas marés de sizígia com fortes velocidades de corrente, que restringem as janelas de manobra a curtos espaços de tempo, prejudicando a operacionalidade e o crescimento do porto, fez-se necessário a instalação de sistema medição de corrente em tempo real e geração de banco de dados que possam ser avaliados criteriosamente objetivando ampliar janelas temporais de manobras seguras, tal como foi feito pela Vale S/A.

A análise preliminar dos dados de intensidade e direção de correntes observados até o momento no TPM indica a possibilidade de aumentar a janela de operação em até 2-4 horas em cada preamar e até em baixa-mar de marés de quadratura com base exclusivamente nas condições hidrodinâmicas reinantes em cada período. É necessário a continuação do monitoramento de campo, onde possamos ter um maior banco de dados que possibilite uma avaliação segura em uma série temporal longa, que dará precisão ao estudo.

7.1. Conclusão e Recomendações

Pode-se comprovar, através dos levantamentos históricos de resultados e da análise crítica desta dissertação, que a simulação analógica de manobras não tripuladas de navios é uma importante ferramenta na otimização de operações náuticas e projetos portuários (GERENT, 2009).

Com base em dados e fatos do levantamento do tempo de vacância do cais, envolvendo também os comentários da Praticagem local, evidenciamos que a antecipação do horário do POB em pelo menos 30 minutos, no navio que irá atracar, incidirá em redução do tempo de vacância do píer em torno de vinte a trinta minutos.

Este ganho representa um aumento de capacidade de dois navios a mais embarcados por mês, representando um total de 4.080.000 (quatro milhões e oitenta mil) toneladas de minério de ferro a serem embarcadas a mais por ano.

Após este resultado, sugerimos que seja avaliado e após comprovação prática poderá ser adotado este novo procedimento, com a alteração da regra de manobras do complexo, onde o prático fará todo o gerenciamento do tráfego local com toda segurança.

A análise preliminar dos dados, também sugere que a relação entre o estofa da maré e o horário da mudança de direção e velocidade das correntes, possibilitará alterações nas janelas de manobra.

Portanto, será necessário um acordo entre a Vale e a Praticagem para que se possa viabilizar este novo procedimento, que resultará em ganhos para ambos envolvidos.

Recomendamos ainda que poderá haver melhor gerenciamento das manobras, a partir da observação dos resultados citados neste trabalho, aliado a expertise da Praticagem local, onde o controle do tráfego na Baía de São Marcos poderá viabilizar antecipação de manobras nos berços onde há mais abrigo e que em baixas amplitudes de maré, teremos conseqüentemente menores velocidades de corrente.

O valor de velocidade de corrente abaixo de 2,5 nós, na condição de maré de enchente, poderá propiciar condições para aumento da janela de manobras. No entanto, nas marés vazando, apesar de ser observado velocidades de corrente abaixo de 2,5 nós as manobras poderão ser inviabilizadas devido ao fluxo de água nas embarcações pela popa, o que não viabiliza manobras seguras devido à dificuldade no governo das embarcações.

O alívio do congestionamento tráfego de navios na baía é de extrema importância para o contínuo crescimento dos volumes embarcados no TMPM, uma das sugestões como a antecipação de manobras no píer 1, eliminará interferência de manobra com o píer 4 Sul e 4 Norte, sendo de grande importância para a segurança do tráfego aquaviário.

Recomendamos que considerando os riscos envolvidos nas manobras de navios de grande porte em águas restritas é de fundamental importância que se considere a realização de adestramento inicialmente em simuladores de manobras sejam eles físicos e/ou computacionais.

A imensa evolução dos modelos matemáticos possibilitou a integração com os modelos físicos, que podem gerar novas metodologias, sendo ferramentas de grande suporte a engenharia portuária com inúmeras pesquisas de Engenharia.

Concluimos, portanto, que se faz necessária avaliação das oportunidades aqui tratadas, embasadas nos resultados levantados em campo e que culmine em simulações no modelo físico e matemático, para dirimir qualquer dúvida, resultando em reavaliação das regras das janelas de manobra para a Baía de São Marcos.

8. Referências

CAPITANIA DOS PORTOS DO ESTADO DO MARANHÃO. 2009. **Portaria nº 46/CPMA/NPCP**. Normas e Procedimentos para a Capitania dos Portos do Maranhão, MA.

DE CAROLI, Alexandre. 2018. **Implementação do Sistema de Informações Meteo-Oceanográficas em Tempo Real (SISMO®) para Futura Definição de Novas Janelas Operacionais no Terminal Ponta da Madeira**, 2018.

DHN. 2013. **Do Rio Pará à baía de São Marcos**: Capítulo 4. In: Roteiro - Costa Norte, da baía do Oiapoque ao Cabo Calcanhar rios Amazonas, Jari e Trombetas, Rio Pará.

EL-ROBRINI, M.; Alves, M.A.M.S.; Souza Filho, P.W.M.; Elrobrini, M.H.; Silva Jr., O.G.; França, C.F. 2006. In: Dieter Muehe. (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro** - Maranhão. 1 ed. Brasília: MMA, v. 1, p. 86-130. Disponível Em:http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/ma_erosao.pdf. Acesso em julho/2018.

GARCIA, P. D., **Caracterização hidrossedimentológica das correntes de maré e do transporte de sedimentos associado à área portuária do Maranhão**. 2007. 258 p. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GERENT, J. P. **A simulação analógica de manobras de navios na otimização de operações e projetos portuários**. Exame de Qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Obras Hidráulicas Marítimas. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Obras Hidráulicas Marítimas, 2009.

IBGE. 2012. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Diretoria de Geociências - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 176p.

Marine Traffic. Em: (<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4>). Acesso em 12 de dezembro de 2017.

MELO, B. J. C. de. 2015. **Abordagem experimental para avaliação de manobras de navios em modelos físicos de espaços náuticos** / versão corr. – São Paulo, 300 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1983. 434p.

PAWLOWICZ, R.; BEARDSLEY, B.; LENTZ, S. **Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE**. Computers, Geosciences, v. 28, p. 929-937, 2002.

PEREIRA, José Edson Rodrigues; HARARI, Joseph. 1995. **Modelo numérico tri-dimensional linear da plataforma continental do Estado do Maranhão**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Bolm Tnst. oceanogr., S Paulo, 43(1):11-26.

PRATS, Raphael de Campos. **Avaliação e impactos da elevação do nível do mar no porto de santos** (São Paulo, Brasil) / R. C. Prats - versão corr. - São Paulo, 2017. 73 p.

RIOS, L. 2001. **Estudos de Geografia do Maranhão**. 3ª ed. São Luís, Graphis.

SILVA, O. A. F. A da; CAJATY, M. 2002. **Rebocadores portuários**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Praticagem. 134p.

TIDEWATER. Em: (<http://globalcompact.pt/noticias/274-tidewater>). Acesso em 15 novembro de 2017.