



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica

# RESTRIÇÃO DO CALADO DINÂMICO NA BARRA NORTE DO RIO AMAZONAS: ANÁLISE DAS MARÉS E DAS PASSAGENS DOS NAVIOS

Leonardo de Almeida Leal

Yasmin Wakasa Góes

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Marcos Nicolás Gallo

Coorientadora: Susana Beatriz Vinzon

Rio de Janeiro

Março de 2018

RESTRIÇÃO DO CALADO DINÂMICO NA BARRA NORTE DO RIO  
AMAZONAS: ANÁLISE DAS MARÉS E DAS PASSAGENS DOS NAVIOS

Leonardo de Almeida Leal

Yasmin Wakasa Góes

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE  
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:

---

Prof. Marcos Nicolás Gallo, D. Sc.

---

Prof.<sup>a</sup> Susana Beatriz Vinzón, D. Sc.

---

Prof. Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa, M. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO de 2018

Leal, Leonardo de Almeida

Góes, Yasmin Wakasa

Restrição do calado dinâmico na Barra Norte do Rio Amazonas: análise das marés e das passagens dos navios/Leonardo de Almeida Leal e Yasmin Wakasa Góes. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018.

X, 100 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcos Nicolás Gallo

Co-orientadora: Susana Beatriz Vinzon

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 74-75.

1. Palavras-chave: Barra Norte do Rio Amazonas, previsão de maré, calado dinâmico

I. Gallo, Marcos *et al.*; II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

*“Esforçar-se para reconhecer limitações e superá-las, é uma das atitudes que tornam nossa vida melhor.”*

*Abílio Diniz*

## Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao professor Marcos Gallo por ter orientado este trabalho com tanta atenção e cuidado, sempre trazendo ideias, se colocando à disposição para dúvidas, inclusive durante seu tempo livre.

Agradeço à professora Susana Vinzon pela participação no processo de elaboração do trabalho e, principalmente, pelo entusiasmo em tornar a ideia deste projeto real. Agradeço também às empresas CARGILL e NORSUL pelos dados disponibilizados, sem os quais não seria possível realizar este estudo. Ao Paulo Renato pela participação na banca.

Agradeço aos meus pais, Sandra e José, meu irmão Rafael, minha irmã Duda e o Lucas (rsrs), pelo amor e carinho de todo dia, por serem a base da minha formação pessoal e acadêmica e pelo entusiasmo com as minhas conquistas.

Agradeço à Família Wakasa Góes que sempre me acolheu com muito carinho e compreensão, mas que na reta final desse trabalho, em especial, me aturou por dias acampado na sala, me desculpem, em especial, dona Aparecida!! Rs. Agradeço, também, ao Douglas e à Giovanna que nos auxiliaram em momentos de incerteza durante a execução do presente estudo.

Agradeço a todos meus amigos e grandes companheiros da Engenharia Ambiental, GS, por todos momentos maravilhosos que vivemos juntas dentro e fora da universidade e também por compartilhar as ansiedades e as vitórias de cada etapa desse processo. Agradeço a todos os meus amigos do Gestão Inteligente que foram preteridos em alguns momentos em função da realização do TCC, em especial o Michel, Gabriel e Felipe, irmãos de criação, grandes responsáveis pela minha formação. Agradecer a todos do grupo Família Leal, em especial meu irmão português Luan por todos os concelhos.

Por último, e mais importante, agradeço à minha companheira de trabalho, Yasmin Wakasa Góes, por ter me dado a honra de ser a dupla dela, por todas as horas de trabalho árduo, discussões construtivas, companheirismo e dedicação. Tenho a certeza de que sem ela, o trabalho perderia muita qualidade.

Leonardo.

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Sayumi e Silvio, pelo amor, respeito e compreensão que sempre tiveram por mim ao longo de todos os anos. Por me apoiarem e me darem o impulso necessário para atingir meus objetivos. Aos meus irmãos, Giovanna e Mateus, por serem os melhores amigos e cúmplices que alguém pode ter. A Cida pelo carinho e cuidado. Aos meus primos, tios e avós por me mostrarem desde criança como é bom crescer rodeada de pessoas que se amam e se querem bem. Ao Douglas por todo suporte e amizade sempre.

Ao Leonardo pela parceria e cumplicidade demonstrada em toda e qualquer situação. Pela tranquilidade e positividade sempre, por não medir esforços para o sucesso desse trabalho. Agradeço também à família Leal, pelo carinho, atenção e amor dedicados a mim.

Aos meus professores, responsáveis pelo conhecimento que adquiri ao longo da vida. Principalmente ao nosso orientador Marcos e à Susana, por nos auxiliarem de forma irretocável e cuidadosa no decorrer desse projeto. Ao professor Paulo Renato por aceitar o convite para participar da banca e contribuir com esse projeto.

À minha família por escolha, meus amigos, que sempre estiveram comigo mesmo que afastados pela distância. Desde amigos de infância do Colégio Santo Agostinho, Nati, Tati, Vi, Yas, Rai, Molina, Dietrich, Feitosa, Tobias e Lopez. Aos amigos que a UFRJ me deu e que levarei para sempre comigo Lu, Marj e as meninas do Amb+Civil+Prod. A todos do incrível período de 2013.1 da Ambiental, sem vocês essa caminhada não teria sido a mesma.

À equipe do projeto TechnipFMC Odebrecht PLSV e AIS onde estagiei, pela compreensão e apoio durante o intenso período de elaboração do estudo, agradecimento especial à Aracy. Às empresas Norsul e Cargill pelo fornecimento de dados.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, muito obrigada.

Yasmin.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

RESTRIÇÃO DO CALADO DINÂMICO NA BARRA NORTE DO RIO  
AMAZONAS: ANÁLISE DAS MARÉS E DAS PASSAGENS DOS NAVIOS

Leonardo de Almeida Leal

Yasmin Wakasa Góes

Março/2018

Orientador: Marcos Nicolás Gallo

Coorientadora: Susana Beatriz Vinzon

Curso: Engenharia Ambiental

A motivação deste estudo está baseada no fato de existir um local denominado Agrião com a batimetria elevada que limita o calado de passagem dos navios no chamado Arco Norte, pela foz do Rio Amazonas. Tendo em vista os altos custos que envolvem o transporte de carga, há um interesse das empresas em otimizar o calado dinâmico de forma a transportar o máximo possível para economizar, diminuindo os custos nas viagens realizadas. O trabalho se propõe a analisar sessenta passagens dos navios das empresas Cargill Agrícola S/A e Companhia de Navegação Norsul, durante o espaço temporal de maio de 2016 a janeiro de 2018. A metodologia aplicada é quantitativa e qualitativa, o trabalho objetiva tratar os dados disponibilizados pelas empresas de forma a delimitar espacialmente as rotas de passagem dos navios, observar a variabilidade temporal das profundidades e avaliar as passagens em função da maré e do calado dinâmico. As análises das passagens indicam que um melhor entendimento da maré no local possibilita um aumento de calado dinâmico e, conseqüentemente, a capacidade de carga dos navios. Dessa forma, o trabalho busca fornecer subsídios para o aprimoramento da navegação na região do Agrião na Barra Norte do Rio Amazonas.

*Palavras-chave:* Barra Norte do Rio Amazonas, Previsão de maré, Calado dinâmico

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

DYNAMIC DRAFT RESTRICTION IN THE NORTH BAR OF THE AMAZON RIVER: ANALYSIS OF THE TIDES AND THE PASSAGES OF THE VESSELS

Leonardo de Almeida Leal

Yasmin Wakasa Góes

March/2018

Advisor: Marcos Nicolás Gallo

Co-advisor: Susana Beatriz Vinson

Course: Environmental Engineering

The motivation of this study is based on the fact that there is a place called Agrião with a high bathymetry which limits the vessels passage on the North Arc, through the Amazon river outfall. Owing to the high costs that involves cargo transports, there is a large interest, by the cargo companies, in optimize the dynamic draft in order to transport the highest amount of cargo as possible, reducing travel costs. This review proposes to analyse sixty passages of the vessels from Cargill Agrícola S/A and Companhia de Navegação Norsul, since May 2016 until January 2018. The methodology applied is quantitative and qualitative; this work main goal is to threat the data given by the companies in order to: spatially delimit the vessels route, observe the temporal variability of the depths and evaluate the routes according to the dynamic draft and the high water. The analysis of the passages indicates that a better understanding of the tide in the place allows an increase of dynamic draft and, consequently, the capacity of load of the ships. Thus, this work provides subsidies for the improvement of the navigation in the region of Agrião at the North Bar of the Amazon River.

Keywords: North Bar of the Amazon River, tide forecast, dynamic draft



## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivo .....	1
1.3. Maré.....	2
1.4. Contextualização.....	4
1.5. Empresas.....	9
1.5.1. Cargill Agrícola S/A.....	9
1.5.2. Companhia de Navegação Norsul .....	10
2. DESCRIÇÃO DA ÁREA.....	12
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. Recebimento de dados .....	17
3.2. Padronização e filtragem de dados .....	17
3.2.1. Calado.....	18
3.2.2. SOW .....	18
3.2.3. Latitude e Longitude.....	19
3.2.4. Data e hora (UTC).....	19
3.2.5. UKC.....	19
3.3. Cálculo da profundidade .....	20
3.4. Definição da Maré .....	20
3.5. Plotagem de gráficos e mapas.....	22
3.6. Análise de gráficos e mapas.....	23
4. RESULTADOS .....	25
4.1. Mapa Geográfico das Rotas .....	25
4.2. Passagem dos Navios em função da Maré no ponto H.....	30
4.3. Região do Agrião: Corte Transversal e Longitudinal .....	32

4.4.	Localização das Preamares e Baixa-mares nas Rotas dos Navios.....	36
4.4.1.	Navios Entrando – Altura de maré .....	36
4.4.2.	Navios Entrando - Sizígia/Quadratura.....	39
4.4.3.	Navios Saindo – Altura de maré.....	41
4.4.4.	Navios Saindo - Sizígia/Quadratura .....	43
4.5.	Profundidade da Rota em função da Preamar.....	45
4.5.1.	Posição de Preamares de Quadratura.....	48
4.5.2.	Posição de Preamares de Sizígia .....	52
4.6.	Otimização de Calado com auxílio da Maré.....	56
4.6.1.	MV TIANJIN PIONEER .....	56
4.7.	Estudos de caso de variação do horário de entrada no Agrião .....	62
4.7.1.	Caso de Quadratura: MV PETERS .....	62
4.7.2.	Caso de Sizígia: MV MARIA .....	66
5.	CONCLUSÕES.....	70
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
	ANEXO I.....	77
	ANEXO II .....	78
	ANEXO III.....	79
	ANEXO IV .....	80
	ANEXO V .....	81
	ANEXO VI.....	86
	ANEXO VII.....	91

## Lista de Figuras

Figura 1: Configuração do sistema Lua, Terra e Sol para as fases de Lua Cheia e Nova	3
Figura 2: Configuração do sistema Lua, Terra e Sol para as fases de Lua Crescente e Minguante.....	4
Figura 3: Distribuição da matriz de transporte brasileira .....	5
Figura 4: Representação geográfica do Corredor do Arco Norte .....	6
Figura 5: Localização dos terminais portuários no Corredor do Arco Norte .....	7
Figura 6: Ilustração do Navio Graneleiro Juruti.....	8
Figura 7: Evolução do logotipo da Cargill Agrícola S/A de 1930 a 2018.....	9
Figura 8: Logotipo da Companhia de Navegação Norsul .....	10
Figura 9: Extensão Total da Calha Principal do Rio Amazonas .....	13
Figura 10: Mapa da Barra Norte do Rio Amazonas da Carta Náutica 21300 de 2017. .	15
Figura 11: Estação maregráfica Ponta do Céu.....	16
Figura 12: Localização Estação Maregráfica Ponta do Céu e PontoH.....	16
Figura 13: Resumo do passo a passo da metodologia utilizada pelo estudo .....	17
Figura 14: Definição das Rotas de passagem dos Navios a partir dos dados disponibilizados pelas empresas.....	26
Figura 15: Definição das Rotas de passagem na Região de Batimetria Crítica relacionada com a situação de carregamento dos navios .....	28
Figura 16: Localização temporal das passagens dos Navios em função da Maré no ponto H .....	31
Figura 17: Representação das profundidades relacionadas às respectivas longitudes para obtenção do Corte Transversal na Região do Agrião.....	33
Figura 18: Representação das profundidades relacionadas às respectivas latitudes para obtenção do Corte Longitudinal na Região do Agrião.....	34
Figura 19: Delimitação da região de profundidade mínima dentro do Quebra-molas, com informações das profundidades obtidas através dos cortes transversal e longitudinal...	35

Figura 20: Rotas de passagem dos Navios Entrando em direção ao continente com destaque da ocorrência de preamar e baixa-mar na região do Agrião.....	38
Figura 21: Rotas de passagem dos Navios Entrando em direção ao continente com classificação de sizígia na região do Agrião.....	40
Figura 22: Rotas de passagem dos Navios Saindo do continente com destaque da ocorrência das preamares na região do Agrião.....	42
Figura 23: Rotas de passagem dos Navios Saindo do continente com classificação de sizígia ou quadratura das preamares na região do Agrião. ....	44
Figura 24: Plotagem das profundidades encontradas nas rotas de passagem, em função da ocorrência de preamar no ponto H para a região do quebra-molas. ....	46
Figura 25: Gráfico das Profundidades MV PETERS e MV YONG HUAN.....	49
Figura 26: Mapa das Rotas MV PETERS e MV YONG HUAN.....	49
Figura 27: Gráfico das Profundidades MV MARIA e CS JENNA.....	53
Figura 28: Mapa das Rotas MV MARIA e CS JENNA.....	53
Figura 29: Ilustração do Navio Tianjin Pioneer .....	56
Figura 30: Maré no Ponto H - MV TIANJIN PIONEER.....	59
Figura 31: Lucro em função da diferença de altura das marés - MV TIANJIN PIONEER .....	61
Figura 32: Tempos de passagem - MV PETERS .....	63
Figura 33: Caso de Quadratura - MV PETERS.....	64
Figura 34: Tempos de passagem - MV MARIA .....	66
Figura 35: Caso de Sizígia - MV MARIA.....	68
Figura 36: Representatividade dos dados .....	70
Figura 37: Motivos da Exclusão de arquivos .....	71
Figura 38: Gráfico com todas as preamares e baixa-mares das passagens ao longo do quebra-molas, classificadas em sizígia ou quadratura.....	80
Figura 39: Gráfico das Profundidades MV TANIKAZE e MV GLORY ROTTERDAM .....	82

Figura 40: Mapa das Rotas MV TANIKAZE e MV GLORY ROTTERDAM.....	82
Figura 41: Gráfico das Profundidades MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD .....	84
Figura 42: Mapa da Rota MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD .....	84
Figura 43: Gráfico das Profundidades MV DOGAN e MV CS CAPRICE .....	87
Figura 44: Mapa das Rotas MV DOGAN e MV CS CAPRICE .....	87
Figura 45: Gráfico das Profundidades CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY ....	89
Figura 46: Mapa das Rotas CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY .....	89
Figura 47: Navio MV PETERS .....	91
Figura 48: Maré no Ponto H - MV PETERS.....	94
Figura 49: Lucro em função da diferença de altura das marés - MV PETERS.....	96
Figura 50: Navio MV MARIA .....	96
Figura 51: Maré no Ponto H - MV MARIA.....	99

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Passagem de Navios entrando em direção ao continente com separação das situações de maré.....	37
Tabela 2: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV PETERS e MV YONG HUAN .....	48
Tabela 3: Resultados compilados da análise de posicionamento das preamares de quadratura na Região do Agrião.....	50
Tabela 4: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV MARIA e CS JENNA .....	52
Tabela 5: Resultados compilados da análise de posicionamento das preamares de sizígia na Região do Agrião.....	54
Tabela 6: Altura de maré acima do valor de referência da passagem para o mês de março de 2017. ....	56
Tabela 7: Comparação de casos - MV PETERS .....	65
Tabela 8: Comparação de casos – MV MARIA.....	69
Tabela 9: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV TANIKASE e MV GLORY ROTTERDAM. ....	81
Tabela 10: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD. ....	83
Tabela 11: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV DOGAN e MV CS CAPRICE. ....	86
Tabela 12: Altura de maré e profundidade mínima para os navios CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY.....	88
Tabela 13: Altura de maré acima do valor de referência da passagem MV PETERS ...	91
Tabela 14: Altura de maré acima do valor de referência da passagem MV MARIA.....	97

## Lista de Siglas

<b>Sigla</b>	<b>Definição</b>
CFS	Capitania Fluvial de Santarém
CNB	Corrente Norte do Brasil
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPAOR	Capitania dos Portos da Amazônia Oriental
CPAP	Capitania dos Portos do Amapá
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
IANF	Inquéritos de Acidentes e Fatos da Navegação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LOA	<i>Length Overall</i>
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NPCF	Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial de Santarém
NPCP	Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos
NR	Nível de Redução
PCA	Plataforma Continental Amazônica
PT	Parecer Técnico
SOW	<i>Speed Over Water</i>
SNA	Sociedade Nacional de Agricultura
UKC	<i>Under-Keel Clearance</i>
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Motivação**

Nos dias de hoje, segundo informações da Companhia Nacional de Abastecimento (2018) o Brasil juntamente com os Estados Unidos, ponteia o ranking mundial de produção de soja. Além disso, o país é um dos líderes na produção e exportação de diversos produtos agrícolas como o milho, arroz e outros. De acordo com as projeções do Relatório OECD-FAO *Agricultural Outlook 2017-2026* é esperado que o Brasil atinja um elevado crescimento da taxa de produção de soja, permitindo que o mesmo ultrapasse os Estados Unidos e se torne o maior produtor mundial de soja.

O cenário econômico apresentado apenas torna-se concebível, na medida em que o país consiga superar importantes entraves relacionados ao escoamento da produção. Neste âmbito está inserido o Arco Norte, um corredor que compreende portos ou estações de transbordos dos estados de Rondônia, Amazonas, Pará, Amapá e Maranhão, responsável por escoar grande parte da produção nacional. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) prevê em seus relatórios o aumento da chegada de grãos aos terminais desse corredor, devido à localização próxima às áreas de produção facilitando os planos de logística e custos associados ao transporte.

Os navios que transportam grãos advindos dos terminais portuários de Itacoatiara (AM), Santarém (PA) e Santana (AP) pertencentes ao corredor do Arco Norte, utilizam a Barra Norte do Rio Amazonas como rota de saída. Há um local que limita as passagens dos navios a profundidade de 11,50m, onde há um interesse por parte das empresas em otimizar o calado dinâmico de forma a transportar o máximo de carga, tendo em vista os altos custos associados ao seu transporte. Pode-se definir calado dinâmico como a variação de profundidade disponível para navegação em função da profundidade local e da variação de maré.

## **1.2. Objetivo**

O presente estudo se propõe a abordar a necessidade de aprimoramento das condições de segurança e navegabilidade na Barra Norte do Rio Amazonas, visando aferir a possibilidade de otimização do calado dinâmico para a navegação na região.



Por conseguinte, torna-se indispensável a delimitação espacial das rotas de passagem dos navios, através dos dados e planilhas fornecidos pelas empresas Cargill Agrícola S/A e Cia de Navegação Norsul. Ademais, deve-se observar a variabilidade temporal para que seja possível avaliar as passagens em função da maré e do calado dinâmico.

### **1.3. Maré**

As marés são oscilações rítmicas do nível do mar em intervalo de horas que podem ser percebidas facilmente por quem permanece em regiões costeiras ao longo desse tempo e afetam diretamente a morfologia costeira, navegação, pesca, habitat e atividades recreativas.

A altura relativa a onda de maré é representada por  $H$  e constitui-se na distância vertical entre uma crista e vale (preamar e baixamar). O período  $T$  é o tempo transcorrido entre a passagem de duas cristas consecutivas da onda. Pode-se afirmar que a maré é diurna se a onda de maré possui um ciclo (período completo) aproximado de 24h, caso o período se aproxime de 12h, diz-se que a maré é semi-diurna (VALENTINI, 1990). Segundo GALLO e VINZON (2005), no Amazonas a maré é predominantemente semi-diurna, com principais componentes  $M_2$  (período de 12,42 horas) e  $S_2$  (período de 12 horas).

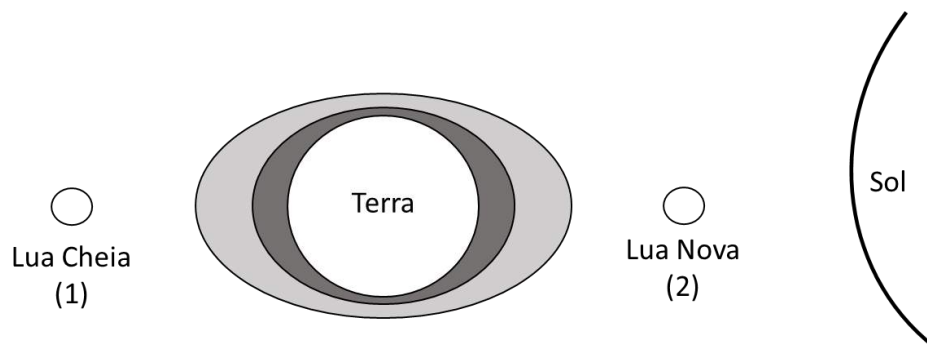
Além disso, outros parâmetros relativos à onda de maré são: preamar e baixa mar. Tais referências representam respectivamente o nível máximo e o nível mínimo de maré no ciclo. Tendo isso em vista, o ciclo de maré apresenta três fases de ocorrência, a enchente de maré (representada pela elevação do nível de água), a vazante de maré (representada pela redução do nível de água) e a estofa de maré.

Os instrumentos responsáveis pela medição das marés são denominados marégrafos, que reproduzem as variações do nível d'água do mar desconsiderando as oscilações de alta frequência provenientes das ondas de gravidade. A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), ligada ao Ministério da Marinha é responsável pela operação destes instrumentos citados.

Ademais, as marés podem ser divididas em dois grupos nos quais se diferenciam em suas causas: maré astronômica e maré meteorológica.

A maré meteorológica é uma variação introduzida no nível do mar por efeitos meteorológicos, como a ocorrência de ventos e a diferença de pressão atmosférica (VALENTINI, 1990).

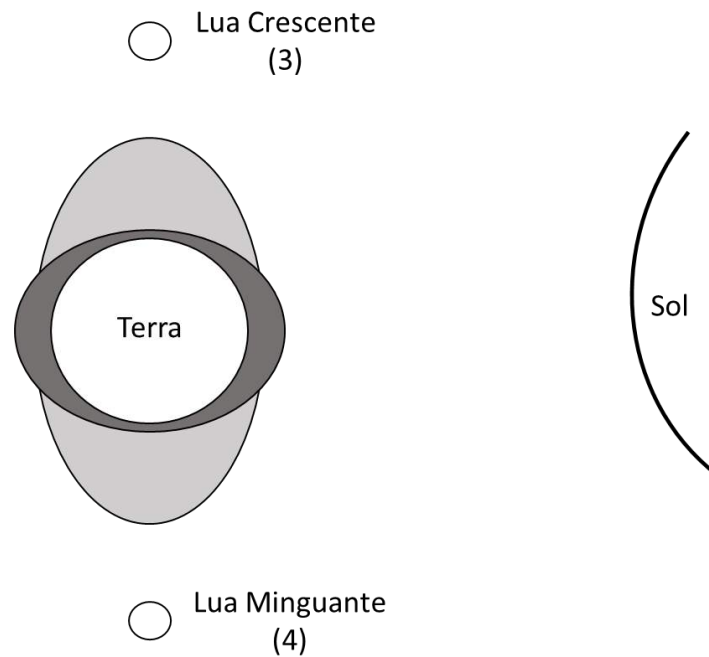
Segundo KAMPHUIS (2000), as marés astronômicas são uma combinação de forças ligadas a atração gravitacional da Terra, força centrífuga gerada pela rotação da combinação Terra-Lua, atração gravitacional da Lua e atração gravitacional do Sol. A Lua, a Terra e o Sol apresentam quatro configurações diferentes que irão influenciar nas fases da Lua. Como pode ser observado na Figura 1, em duas situações (1) e (2) os efeitos gerados pela Lua são somados aqueles gerados pelo Sol. Tendo isso em vista, nos períodos de Lua cheia e Lua Nova, as preamares são mais altas e as baixa-mares são mais baixas, tais situações representam uma maré de sizígia.



**Figura 1: Configuração do sistema Lua, Terra e Sol para as fases de Lua Cheia e Nova**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018

Já nas situações (3) e (4) observadas na Figura 2, os efeitos gerados pela Lua e pelo Sol estão defasados, caracterizando a chamada maré de quadratura que apresenta preamares e baixa-mares menos acentuadas. Nessas situações onde as influências dos astros estão defasadas, são denominadas Lua Crescente e Lua Minguante.



**Figura 2: Configuração do sistema Lua, Terra e Sol para as fases de Lua Crescente e Minguante**  
Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

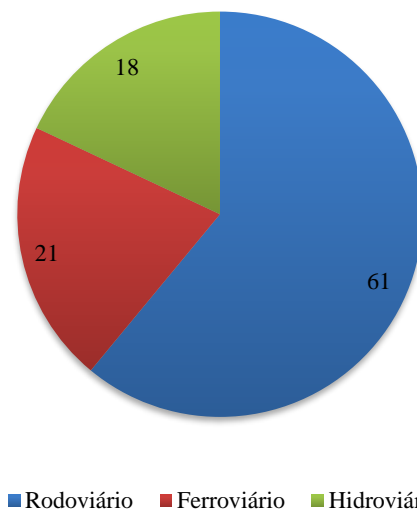
Em uma Carta Náutica, as profundidades representadas são reduzidas ao nível de redução (NR) da maré. Este nível corresponde à média das baixa-mares de sizígia, dessa forma são eliminadas as variações das marés e é garantido ao navegante que este não encontre nenhuma profundidade menor do que aquelas representadas na carta náutica.

A variação da maré proporciona a aplicação do conceito de calado dinâmico dos navios, ou seja, tem-se o aumento ou diminuição da lamina d'água disponível para navegação devido não só a batimetria do local como também às diferenças de altura de maré.

#### **1.4. Contextualização**

O setor de transporte possui forte relação com a economia, promovendo a acessibilidade e mobilidade das pessoas e das cargas, auxiliando os outros setores. Em 2016, o IMEA caracterizou a matriz de transporte brasileira como 61% rodoviário, 21% ferroviário e 18% hidroviário.

## Matriz de Transporte Brasileira



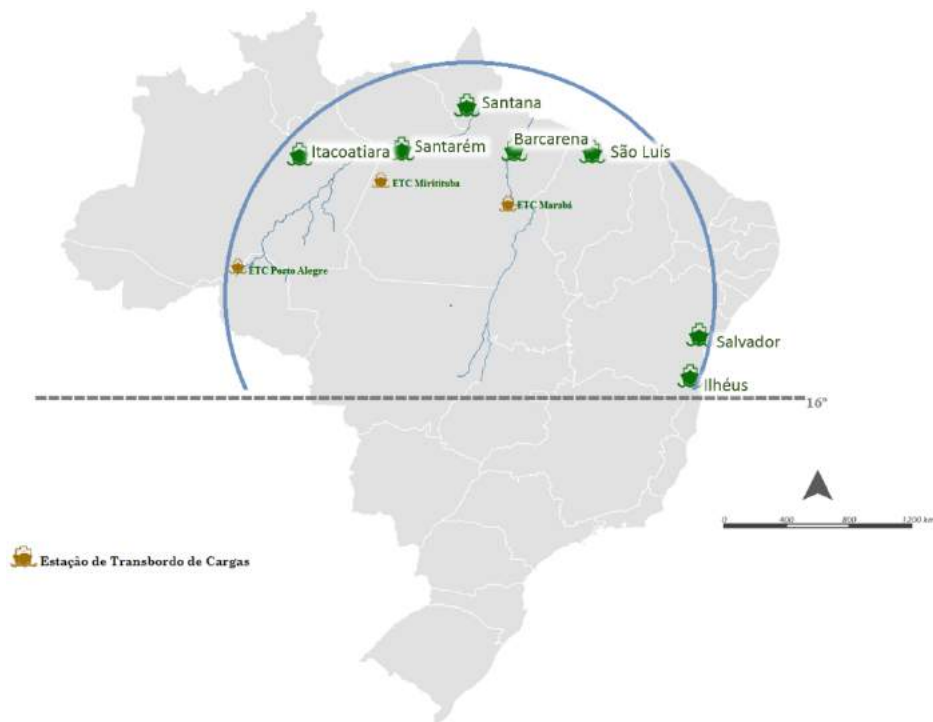
**Figura 3: Distribuição da matriz de transporte brasileira**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Tendo em vista o alto consumo de combustível, elevados índices de engarrafamento nas cidades brasileiras, acidentes reportados e o tempo de transporte, o transporte hidroviário sem dúvidas apresenta-se como uma ótima alternativa socioambiental.

O transporte hidroviário pode ser dividido entre fluvial e marítimo. Desde o Brasil colônia, o transporte marítimo é de suma importância para o Brasil em suas relações comerciais. O mesmo é essencial para permitir uma ampla troca comercial entre o Brasil e outros países ou até mesmo internamente.

Segundo a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA), o corredor do Arco Norte é reconhecido nos dias de hoje como um dos mais importantes corredores de escoamento para a exportação do País. Tal fato se deve a constante expansão da movimentação de soja e milho enviados ao exterior. Segundo o MAPA, o corredor do Arco Norte pode ser definido por uma linha imaginária que atravessa a extensão do território brasileiro no Paralelo 16° Sul, passando próximo as cidades de Ilhéus (BA), Brasília (DF) e Cuiabá (MT). Os portos de principal interesse do agronegócio que compõem esse segmento logístico são os de Itacoatiara (AM), Santarém e Barcarena (PA), Santana (AP), São Luís (MA), Salvador e Ilhéus (BA). Como pode ser observado na Figura 4 a seguir.

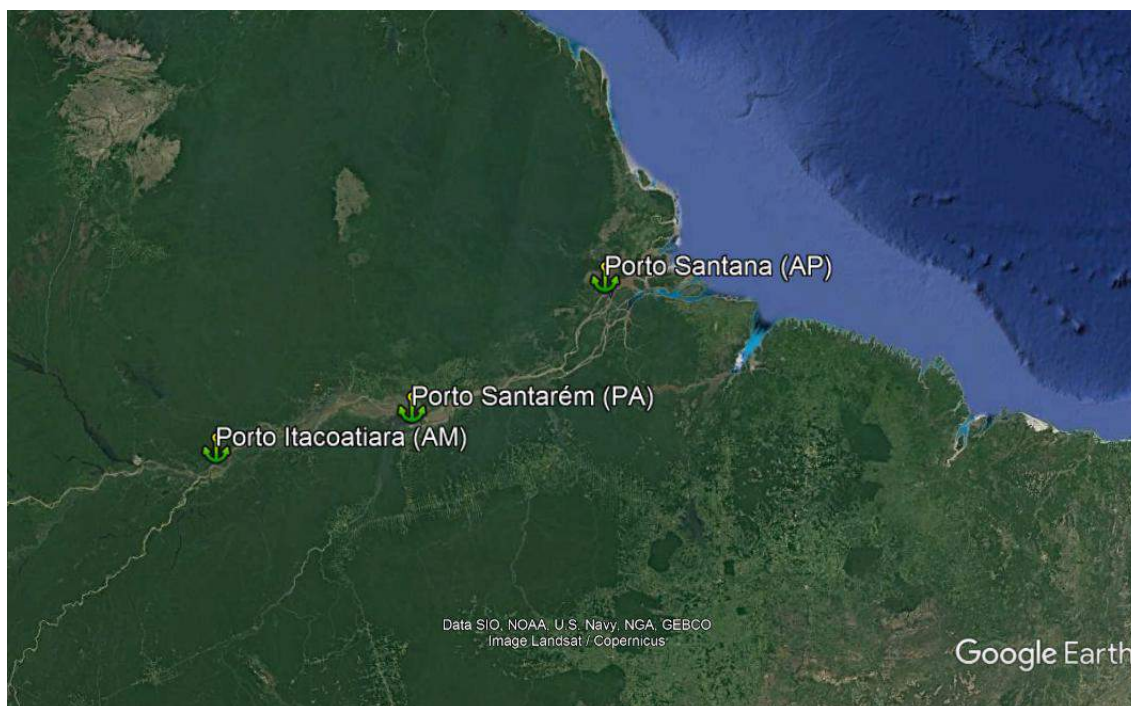


**Figura 4: Representação geográfica do Corredor do Arco Norte**

Fonte: [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br), 2017.

De acordo com o coordenador geral de Infraestrutura, Logística e Geoconhecimento para o Setor Agropecuário, da SPA, Carlos Alberto Nunes Batista, os portos do corredor do Arco Norte são ótimas alternativas por estarem localizados em regiões com distâncias competitivas em relação ao modal rodoviário. Além disso, ressalta a importante vantagem competitiva pela proximidade com os principais mercados consumidores de grãos, Estado Unidos e Europa. Ademais, os terminais do Arco Norte possuem elevada capacidade de carga e são essenciais para reduzir a sobrecarga em Portos como o de Santos, por exemplo.

No corredor do Arco Norte estão situados três importantes terminais portuários que possuem como rota de saída a Barra Norte do rio Amazonas. A localização desses portos pode ser observada na Figura 5 apresentada abaixo.



**Figura 5: Localização dos terminais portuários no Corredor do Arco Norte**

Fonte: Google Earth, 2018.

Em relação à tipologia dos navios, segundo FONSECA (2002), os navios mercantes possuem como atividade fim o transporte de passageiros e mercadorias, e podem ser classificados de diversos modos sendo um deles quanto ao fim que se destinam. Os navios relacionados no presente estudo são navios graneleiros, destinados ao transporte de carga seca a granel.

A carga a granel é um tipo de carga que se transporta em grande quantidade e sem acondicionamento (FONSECA, 2002). No estudo realizado, distinguiu-se a situação de carga de um navio a partir de duas nomenclaturas. Pode-se dizer que o navio está “EM LASTRO” quando o mesmo não está transportando carga. Em contraposição, denomina-se “CARREGADO”, quando o navio está transportando carga além do próprio peso de sua estrutura. A Figura 6 ilustra a imagem de um dos navios graneleiros relacionados no estudo.



**Figura 6: Ilustração do Navio Graneleiro Juruti**

Fonte: Site da empresa Norsul, 2018.

A partir dessa foto é possível perceber a dimensão e o porte de navios desse tipo. O comprimento de fora a fora dos navios tem como referência a distância entre popa e proa, é o comprimento máximo de uma embarcação (D'ALMEIDA, 2009). Segundo FONSECA (2002) é também denominado LOA (*length overall*), uma medida muito importante para exprimir a dimensão do navio.

O navio acima ilustrado pertence a frota da Companhia de Navegação Norsul, uma das colaboradoras desse projeto e é denominado Juruti. Segundo o site da *Marine Traffic*, o graneleiro em questão possui comprimento de fora a fora (LOA) de 225m, largura extrema de 32,26m.

## 1.5. Empresas

Os parágrafos que seguem nesse tópico do trabalho têm por objetivo descrever um pouco as empresas que contribuíram para o estudo através do fornecimento de dados. Será realizado um breve relato de suas histórias, descrição das atividades, principais focos de mercado, áreas de atuação, entre outros pontos relevantes. São elas: Cargill Agrícola S/A e Cia de Navegação Norsul, cujos CNPJs (Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica) encontram-se no ANEXO I e ANEXO II respectivamente.

### 1.5.1. Cargill Agrícola S/A

A história da empresa Cargill Agrícola S/A teve início em 1865 com a apropriação de terras ao final da linha férrea de McGregor & Western, pelo fundador William Wallace Cargill. No entanto, apenas no ano de 1930 a empresa assumiu o nome pelo qual é reconhecida nos dias de hoje. Na imagem a seguir é possível observar a evolução do logotipo da empresa Cargill Agrícola S/A.



**Figura 7: Evolução do logotipo da Cargill Agrícola S/A de 1930 a 2018**

Fonte: Site da empresa Cargill Agrícola S/A, 2018.

Segundo o site da empresa (2018), a Cargill possui um total de cinco terminais portuários. Guarujá (SP), Paranaguá (PR), Santarém (PA) e Porto Velho (RO), são locais onde a empresa opera para embarque de grãos. O Terminal Exportador do Guarujá (TEG) é uma joint venture entre a Cargill Agrícola (60%) e a Louis Dreyfus Commodities (40%).

No ano de 1999 a Cargill venceu a Licitação Pública para a construção do terminal graneleiro no Porto Organizado de Santarém, cidade situada a 698km de Belém capital do Estado do Pará. Embora o início da construção do terminal tenha se dado em 1999, a operação do mesmo começou em 2003. Com o intuito principal de escoar uma parcela



da produção de grãos adquirida pela Cargill na região centro-oeste do Brasil (Mato Grosso), o terminal possibilitou também que a comunidade local tivesse êxito em escoar sua própria produção. Dessa forma, o terminal contribui com o agronegócio brasileiro e com o crescimento sustentável da região de Santarém, movimentando soja e milho com o auxílio dos modais rodoviário e hidroviário.

Em 2015, a multinacional Cargill celebrou 150 anos da empresa com um total de 145.000 funcionários espalhados pelo mundo todo em 67 países. Atualmente, com sede em Minnesota nos Estados Unidos e tendo David W. MacLennan como CEO, a Cargill é uma empresa privada e multinacional cuja principal atividade é a produção e o processamento de alimentos.

### **1.5.2. Companhia de Navegação Norsul**

A Companhia de Navegação Norsul é especialista no transporte de cargas a granel e neogranel, carga geral, carga de projeto e carga líquida / químico, na cabotagem e no longo curso. Iniciou seus trabalhos no ano de 1963 e desde então vem se tornando uma das maiores empresas de navegação privada do Brasil. Um fato interessante a ser ressaltado está no logotipo da empresa brasileira, que como pode ser observado na imagem abaixo, ressalta as cores da bandeira do Brasil.



**Figura 8: Logotipo da Companhia de Navegação Norsul**

Fonte: Site da empresa Cia de Navegação Norsul, 2018.

Segundo o site da empresa, a Norsul é composta por um total de 596 colaboradores e controla 29 embarcações. Importante líder da região da costa leste da América do Sul no transporte de carga seca a granel, a mesma possui graneleiros capazes de atender quase

toda a movimentação entre países sul-americanos, como soja, milho, minério de ferro, bauxita, trigo, açúcar, sal, alumina, produtos de aço, etc.

## 2. DESCRIÇÃO DA ÁREA

A respeito da região das passagens estudadas, segundo WATANABE (2014), a Plataforma Continental Amazônica (PCA) localizada na costa norte do Brasil é uma região que constitui um ambiente energético cuja circulação advém de diversas forçantes. A grande carga de sedimentos associada à enorme vazão fluvial do Rio Amazonas são fatores que influenciam nesse comportamento (GEYER *et al.*, 1996). Além disso, tem-se na região a ação de ventos alísios e da Corrente Norte do Brasil (CNB), fatores que somam e intensificam esse comportamento.

O Amazonas é o rio mais extenso do mundo, com 6.815 quilômetros e apresenta a maior vazão de água. O rio Amazonas nasce no lago Lauri, nos Andes do Peru. O mesmo está presente nos seguintes países do Peru, Colômbia e Brasil, em sua bacia hidrográfica estão também os países da Bolívia, Equador, Venezuela e Guiana (IBGE, 2015).

O rio nasce com o nome de Vilcanota e depois recebe diferentes denominações: Uicaiali, Urubamba e Marañón. Quando ultrapassa a fronteira, entrando no Brasil, torna-se Solimões, até encontrar o rio Negro, próximo de Manaus. Desse ponto até a foz recebe o nome de Amazonas, percorrendo 3.165 quilômetros. (IBGE, 2015). A Figura 9 é um mapa que apresenta a total extensão do Rio Amazonas.



**Figura 9: Extensão Total da Calha Principal do Rio Amazonas**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Nos 3.165 quilômetros que percorre em território brasileiro, o rio Amazonas sofre um desnível de apenas 82 metros, suave e progressivo, essa característica proporciona excelentes condições de navegação, recebendo navios desde sua foz, onde se localiza a cidade de Belém, até Manaus. Em 1997, foi inaugurada a hidrovia do rio Madeira, que opera de Porto Velho a Itaquatiara (IBGE, 2015).

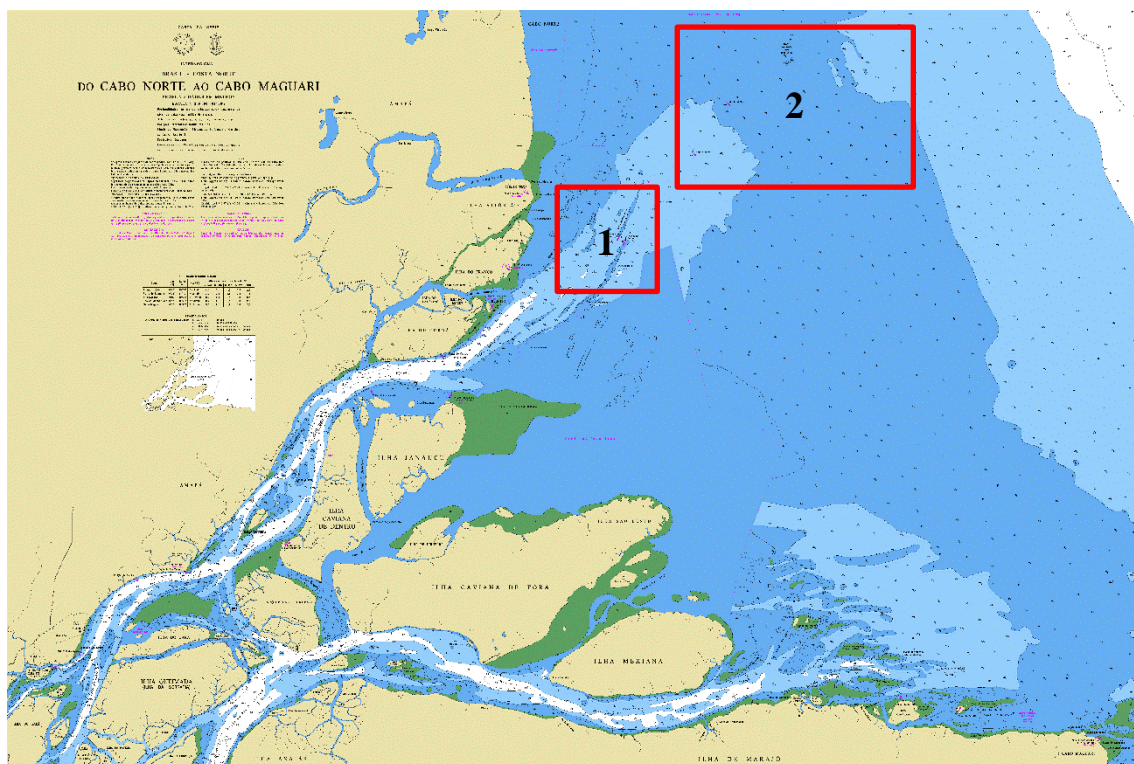
Ainda segundo o IBGE (2015), o rio Amazonas possui uma vazão média de 216.342 metros cúbicos por segundo, e a profundidade média é de 50 m, o que significa que o calado estipulado para navegação dos navios graneleiros na região não é limitado pela profundidade no rio, além disso o rio Amazonas possui uma enorme concentração de sedimentos que são arrastados devido à enorme vazão.

Porém, ao chegar na sua foz (Oceano Atlântico), o rio tem sua seção hidráulica aumentada e com isso, de acordo com os princípios da equação da continuidade, sua velocidade é reduzida (pois a vazão permanece constante). Desse modo, os sedimentos mais densos

que antes eram carregados devido a uma elevada velocidade, passam a sedimentar, o que acarreta numa diminuição na profundidade (lâmina d'água) na foz do Rio Amazonas.

Além disso, segundo ARENTZ (2009) devido ao acúmulo de lama, criou-se uma espécie de quebra-molas, situado na região denominada Zona do Agrião. Tal fato torna a área extremamente sensível para navegação. De acordo com o Parecer Técnico nº09 (2017), a zona citada possui aproximadamente 24 milhas náuticas de extensão (aproximadamente 44,45 quilômetros). Segundo as NPCF-CFS (2015), o calado máximo permitido para navegação pelo canal da Barra Norte é de 11,50 metros, devido a limitação de profundidade no Canal do Grande Curuá.

Ademais, a presença de bancos de areia no Canal do Grande Curuá, que dá acesso à região do estudo, acarreta em uma constante mudança nas profundidades cartografadas e na posição da calha navegável e isso tudo em conjunto com o tráfego intenso de embarcações, fazem com que essa área se torne de extremo interesse para verificações da batimetria (ARENTZ, 2009). Segundo a Capitania dos Portos da Amazônia Oriental (CPAOR), em 2007, 795 navios atravessaram o canal da Barra Norte (Curuá) e foram registrados 20 incidentes na região. A Figura 10 é o mapa que destaca as duas áreas descritas no texto, área 1 é o Canal da Barra Norte (bancos de areia) e a área de número 2 é a área de interesse do presente estudo (região do agrião).



**Figura 10: Mapa da Barra Norte do Rio Amazonas da Carta Náutica 21300 de 2017.**

Fonte: Carta 21300, 2017.

Uma maneira de melhorar a navegação na Barra Norte do Rio Amazonas, segundo Arentz, consiste em disponibilizar por meio de cartas náuticas, informações hidrográficas periodicamente atualizadas aos navegantes. Atualmente, cabem à DHN a coleta e tratamento de dados batimétricos.

Ainda segundo Arentz em 2009, estabelecer as profundidades em um canal de navegação com as características hidrográficas observadas na Barra Norte com precisão, é como uma solução de compromisso entre garantir segurança à navegação e, ao mesmo tempo, viabilizar o acesso das embarcações que demandam os portos do interior do estuário. Portanto, as profundidades precisam ser rigorosamente determinadas, evitando gerar impactos econômicos negativos, seja em razão de um acidente de navegação, seja pela limitação de calado imposta aos navios mercantes.

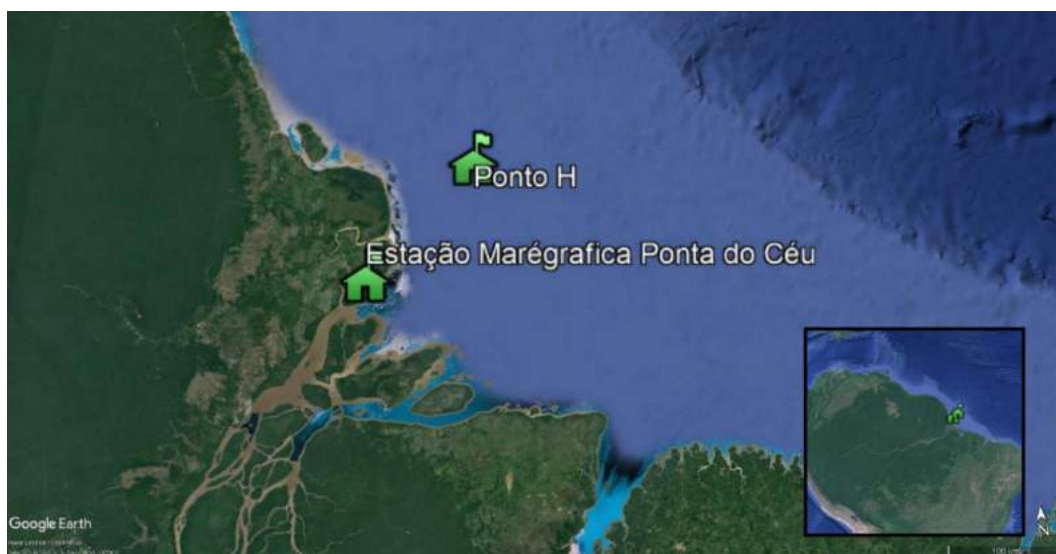
A respeito da maré na região amazônica, a mesma é semi-diurna e com principais componentes M2 (período de 12,42 horas) e S2 (período de 12 horas) (GALLO e VINZON, 2005). Dentre as diversas estações de medição de maré da região, está a

Estação Maregráfica Ponta do Céu, representada na Figura 11, está localizada na Ilha do Curuá nas coordenadas de Latitude  $0^{\circ} 45' 6.998''$  N e Longitude:  $50^{\circ} 7' 0.998''$  W.



**Figura 11: Estação maregráfica Ponta do Céu**

Tendo em vista que na Zona do Agrião não há medição de maré, e sendo a Ponta do Céu a estação de medição mais próxima da região de estudo, a mesma foi utilizada para realizar o cálculo da previsão de Maré na região do local das passagens de acordo com as instruções da Carta Náutica 21300 (2017). A partir de agora, pode-se denominar o ponto para o qual foram calculadas as marés como ponto H, situado nas coordenadas Latitude  $1^{\circ} 34'N$  e Longitude  $49^{\circ} 13'W$ . A localização da estação maregráfica e do ponto H pode ser observada na Figura 12 a seguir.

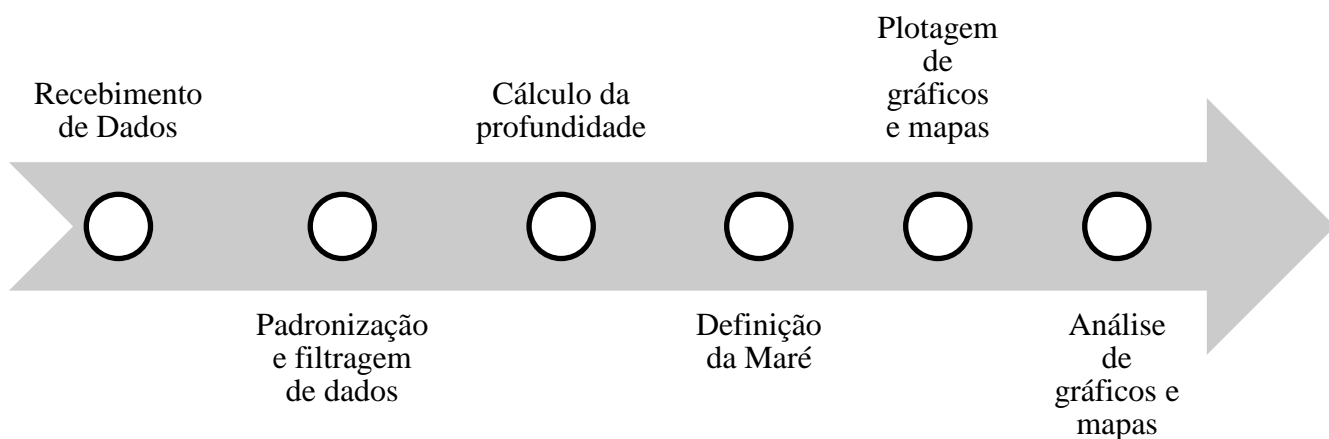


**Figura 12: Localização Estação Maregráfica Ponta do Céu e PontoH**

Fonte: Google Earth Pro, 2018.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada segue um padrão qualitativo e quantitativo, baseada no tratamento de dados e análise gráfica, como pode ser observado na Figura 13 a seguir.



**Figura 13: Resumo do passo a passo da metodologia utilizada pelo estudo**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

#### 3.1. Recebimento de dados

Primeiramente os arquivos elaborados a bordo, contendo os registros das 60 (sessenta) passagens contendo dados de calado, SOW, latitude, longitude, Data e hora, UKC e outros, foram encaminhados pelas equipes das embarcações via e-mail para a realização do estudo em questão. O estudo se baseou em dados fornecidos pelas empresas Cargill Agrícola S/A e Companhia de Navegação Norsul, coletados durante as passagens que ocorreram no espaço temporal de maio de 2016 a janeiro de 2018.

#### 3.2. Padronização e filtragem de dados

O presente trabalho se iniciou com um período de tratamento dos dados, tendo em vista que os mesmos foram elaborados não só por embarcações diferentes como também por empresas distintas. Cada navio possui procedimentos e ferramentas individuais para registro de dados e por isso fez-se necessária uma etapa de homogeneização e filtragem



de dados. Além disso, a tripulação de cada navio possui uma maneira de salvar e encaminhar os registros em arquivos com extensões diferentes como Microsoft Word (.docx), Portable Document Format (.pdf), Microsoft Excel (.xls), e semelhantes. Por essa razão, foi elaborada uma planilha modelo utilizando o Excel para receber os dados e armazená-los de maneira homogênea, facilitando o tratamento dos mesmos e a sua posterior localização. A tabela modelo utilizada no presente trabalho encontra-se no ANEXO III.

O modelo de planilha foi utilizado para armazenar os dados de cada passagem da embarcação em abas diferentes. Desse modo, as coordenadas da mesma embarcação entrando no Rio Amazonas estarão em aba diferente daquelas que representam a embarcação saindo do rio. Possibilitando assim uma análise de forma individual para cada passagem realizada pelos navios.

Além da padronização, fez-se necessária a filtragem das informações que seriam utilizadas nas análises do estudo, para isso foram selecionados os seguintes parâmetros: Calado, Velocidade, Latitude e Longitude, Data e Hora e UKC (“*Under-Keel Clearance*”).

### **3.2.1. Calado**

O calado do navio é a parte do casco que se encontra submersa, é a medida da altura desde a superfície da água até a quilha (FONSECA, 2002). Tal medida linear da embarcação foi selecionada com o intuito de realizar cálculos como a profundidade de água no local em que o navio está passando.

### **3.2.2. SOW**

A velocidade considerada foi a velocidade sobre a água (SOW – “*Speed Over Water*”) em nós. Foi selecionada pois pretende-se investigar a existência ou não de um padrão no local de acordo com a maré.

### **3.2.3. Latitude e Longitude**

Segundo STERN (2004) qualquer local na Terra pode ser referenciado por dois números, sua latitude e longitude, coordenadas que devem ser utilizadas pelos capitães dos navios para especificar uma posição no mapa. Tais parâmetros são ângulos medidos em graus, minutos de arco e segundos de arco.

No globo terrestre, as linhas de longitude constante, também denominadas de meridianos se estendem de polo a polo, e são medidas de zero a 180°Leste e 180°Oeste. Já as linhas de latitude constante são círculos de diferentes diâmetros sendo o maior deles na linha do Equador, onde a latitude é zero (STERN, 2004) e variam de 90°Norte a 90°Sul.

Para o estudo em questão, com o intuito de padronizar, todos os dados de Latitude e Longitude foram formatados em grau decimal. Dessa forma foi possível plotar as passagens dos navios com o mesmo referencial geográfico para a localização das rotas espacialmente.

### **3.2.4. Data e hora (UTC)**

Em relação ao posicionamento das passagens no tempo, outros parâmetros imprescindíveis para a realização das análises são a data e a hora de ocorrência das mesmas. Foram fornecidas informações temporais para cada coordenada espacial das passagens dos navios de ambas as empresas. Tais dados são essenciais para a análise da variabilidade temporal das passagens dos navios e para a correlação com as marés observadas em cada instante.

É importante ressaltar que todos os dados foram transformados em UTC (*Universal Time Coordinated*), o fuso horário no qual todas as outras zonas horárias do mundo estão baseadas. Tendo isso em vista, todas as planilhas que possuíam dados baseados em horário local (UTC-3) foram atualizadas para estarem de acordo com a referência UTC.

### **3.2.5. UKC**

O parâmetro UKC (*Under-Keel Clearance*) é a distância medida entre o final do casco do navio e o fundo do mar (no caso, pode ser o início da camada de lama, uma vez que o equipamento utilizado não possui a capacidade de penetrar na camada de lama). Do

mesmo modo como o Calado do navio, o UKC foi selecionado com o objetivo de viabilizar o cálculo da profundidade dos locais de passagem das embarcações.

### **3.3. Cálculo da profundidade**

Com base nos dados fornecidos pelos navios foi possível calcular a profundidade, outro parâmetro importante para as análises do estudo. A planilha modelo no Microsoft Excel, foi programada para calcular a profundidade baseando-se na seguinte expressão:

$$P = C + UKC$$

Sendo:

$P$  = Profundidade (m)

$C$  = Calado (m)

$UKC$  = *Under-Keel Clearance* (m)

A profundidade total é igual a soma do calado e do UKC, parâmetros já detalhados anteriormente. Tal parâmetro foi calculado com o objetivo de identificar a lâmina d'água disponível que o navio cargueiro possuiria para a navegação no local.

### **3.4. Definição da Maré**

Tendo em vista a proximidade com a área de interesse do estudo, os instantes e as alturas de maré foram estimados a partir da maré prevista para a estação Ponta do Céu. Os dados de maré foram estimados para o ponto de coordenadas Latitude 1° 34'N e Longitude 49° 13'W, denominado ponto H.

Foram extraídas do site da Marinha (disponível nas referências bibliográficas do estudo) as Tábuas de Maré relativas à estação Ponta do Céu na Barra Norte do Rio Amazonas. Os dados obtidos através do site abrangem o espaço temporal desde maio de 2016 a janeiro de 2018, período de ocorrência das passagens analisadas no presente estudo. As Tábuas de Maré de cada mês do período de análise foram copiadas individualmente para uma planilha modelo no Microsoft Excel previamente elaborada para tratar os dados de entrada.

De acordo com a Carta 21300 de 2017, a preamar no ponto H ocorre aproximadamente 4 horas e 10 minutos antes de ocorrer a preamar na estação Ponta do Céu. Tendo isso em vista, os instantes de preamar foram calculados da seguinte forma:

$$T_{Hp} = T_{Ep} - 4h e 10min$$

Sendo:

$T_{Hp}$  = Instante estimado para ocorrência de preamar no ponto H (UTC)

$T_{Ep}$  = Instante previsto para ocorrência de preamar na Estação Ponta do Céu (UTC)

Por outro lado, a baixa-mar no ponto H ocorre aproximadamente 4 horas e 39 minutos antes da ocorrência da baixa-mar na estação Ponta do Céu. O cálculo para os instantes da baixa-mar no ponto H foi realizado de forma análoga a preamar.

$$T_{Hb} = T_{Eb} - 4h e 39min$$

Sendo:

$T_{Hb}$  = Instante estimado para ocorrência de baixa-mar no ponto H (UTC)

$T_{Eb}$  = Instante previsto para ocorrência de baixa-mar na Estação Ponta do Céu (UTC)

Tendo em vista essas informações, foi possível calcular o tempo relativo ao ponto H, na região de restrição de calado. Ademais, calculou-se a Maré reduzida subtraindo a altura de Maré da média das Marés obtidas na estação Ponta do Céu. Por fim, sabe-se que a maré no ponto H representa 67% da maré reduzida, com essa relação foi possível calcular a maré na região de interesse do estudo. Com isso, o cálculo da altura de maré estimada para o ponto H segue a fórmula abaixo:

$$H = 1,48 + 0,67 * (X - 2,21)$$

Sendo:

$H$  = altura de maré estimada para o ponto H (m)

$X$  = altura de maré prevista para Ponta do Céu (m)

### 3.5. Plotagem de gráficos e mapas

Ao final da filtragem e padronização dos dados fornecidos pelas empresas, foi possível iniciar a etapa de plotagem de gráficos. Tendo em vista a grande quantidade de dados e informações que as planilhas carregam, esta etapa foi muito importante para facilitar as análises e tomadas de decisão do estudo. Os gráficos foram plotados com o auxílio das ferramentas do Microsoft Excel. Ademais, o software ArcGIS foi utilizado para plotar os mapas e rotas de passagem dos navios sobrepostos na Carta 21300.

Os resultados obtidos proporcionam inúmeras opções de plotagem, porém para o presente estudo, foram selecionadas as seguintes opções gráficas:

1. Coordenadas Geográficas das Rotas (Latitude x Longitude);
  - 1.1. Mapa Geográfico das Rotas;
  - 1.2. Rotas na Região de Batimetria Crítica - Situação de Carregamento;
2. Passagem dos navios em função da maré no ponto H;
3. Região do Agrião: Corte Transversal e Longitudinal;
4. Localização das Preamares e Baixa-mares nas Rotas dos Navios;
  - 4.1. Navios Entrando – Altura de maré;
  - 4.2. Navios Entrando Sizígia/Quadratura;
  - 4.3. Navios Saindo – Altura de maré;
  - 4.4. Navios Saindo Sizígia/Quadratura;
5. Profundidade da rota em função da preamar;
  - 5.1. Posição de preamares de quadratura;
  - 5.2. Posição de preamares de sizígia;
6. Otimização de Calado com auxílio da Maré;
7. Estudos de caso de variação do horário de entrada no Agrião.

Tendo em vista a primeira opção gráfica, estão ilustradas todas as passagens dos navios pelo trecho crítico. Além disso, os navios foram diferenciados pela sua situação de carregamento, “EM LASTRO” ou “CARREGADO”, com o objetivo de observar as rotas percorridas por cada tipo e verificar a existência de um padrão na escolha da rota a ser percorrida.

Para a segunda opção gráfica, foi feita a sobreposição de dois gráficos, o primeiro foi o da profundidade de todos os navios no tempo e o segundo foi a maré no ponto H no tempo,

que teve como objetivo um panorama geral do intervalo de tempo das passagens e a comparação da maré durante todo o período.

Para realizar a terceira opção, plotou-se a Profundidade dos Navios que estão saindo do continente versus longitude, gerando o perfil de fundo, com o objetivo de enxergar o “quebra-molas” (região de profundidade limitada), e verificar as menores profundidades encontradas na região. Para isso, plotou-se também o gráfico com a latitude, visando aferir a menor profundidade para a região.

Para a elaboração da quarta opção gráfica, os navios foram separados em entrando no continente (todos “EM LASTRO”) e saindo do continente (a maioria “CARREGADO”, com a exceção de um “EM LASTRO”) e buscou-se os horários das preamares e/ou baixa-mares mais próximos do período de passagem dos navios (caso existam) com o objetivo de encontrar uma relação entre as preamares e baixa-mares (tanto de sizígia quanto de quadratura) e as rotas traçadas pelos navios.

Na quinta, foi realizada uma análise mais específica, comparando casos de preamares de sizígia e quadratura dos navios que estavam carregados (saindo do continente). Essa análise foi dividida em duas partes, ambas comparavam navios com rotas parecidas, mas a preamar relativa ao ponto H ocorreu em pontos distintos. O objetivo dessa análise foi definir qual a melhor maneira de aproveitar a maré de forma a obter a maior profundidade durante todo o trecho do “quebra-molas”, através da comparação entre as profundidades mínimas encontradas nos trechos percorridos.

Na sexta, tendo em vista as diferenças de calado possibilitadas pela variação da maré, foi realizado um estudo de caso com o intuito de precificar o ganho obtido através do aproveitamento da altura de maré (ou calado dinâmico).

Foi realizada uma última análise, com o intuito de relatar os diferentes tempos de entrada para um mesmo navio. O objetivo dessa análise é aferir qual o melhor momento de maré para iniciar a passagem (enchente, estofa de preamar ou vazante de maré). Além disso, foram realizados cálculos para quantificar o ganho de calado, tonelagem e dinheiro.

### **3.6. Análise de gráficos e mapas**

Com base nos gráficos e mapas plotados na fase anterior, deu-se início a etapa de verificação e validação de dados. O objetivo principal desta etapa é examinar os gráficos e resultados que foram possíveis obter através dos dados fornecidos pelas duas empresas.

No t3pico a seguir, ser3o detalhados de forma mais aprofundada os pilares que guiaram a etapa de an3lise de resultados.

## **4. RESULTADOS**

Todas as análises descritas na metodologia do presente estudo foram realizadas, assim como todos os gráficos descritos foram gerados. A análise dos resultados encontra-se nos respectivos tópicos a seguir.

### **4.1. Mapa Geográfico das Rotas**

Essa análise teve o objetivo de plotar as coordenadas das diversas passagens dos navios, que foram fornecidas pelas duas empresas, de forma a observar todas as rotas percorridas e verificar a existência de um padrão entre elas.

Primeiramente, todos os pontos foram plotados, independentemente da localização dos mesmos, da situação de carregamento ou até mesmo do sentido percorrido (entrando ou saindo do continente). Com isso, verificou-se que muitos navios forneceram dados apenas na região de batimetria crítica denominada Agrião, ou até mesmo em área próxima a ela. No entanto, alguns navios forneceram dados da passagem por uma extensa área, não só ao redor do quebra-molas. Tal percepção foi muito importante para o estudo na medida em que era necessário saber a localização geográfica dos dados que seriam analisados pelo mesmo.

Por exemplo, navios como o “MV TANIKAZE” e “IDC DIAMOND”, forneceram uma extensa gama de dados que abrangiam desde o início da passagem, quando o navio ainda estava a quilômetros de distância da zona do Agrião. Tais regiões possuem elevadas profundidades quando comparadas a zona crítica. A partir da plotagem dos pontos, foi possível realizar a distinção entre os dados referentes a região de batimetria crítica e aquela onde a lâmina d’água disponível é maior.

No gráfico a seguir, foram plotadas a Latitude e a Longitude de todos os pontos das rotas de passagem. Além disso, destacou-se o Ponto H, para referência de maré, com coordenadas e especificações já descritas anteriormente.



## Mapa Geográfico das Rotas

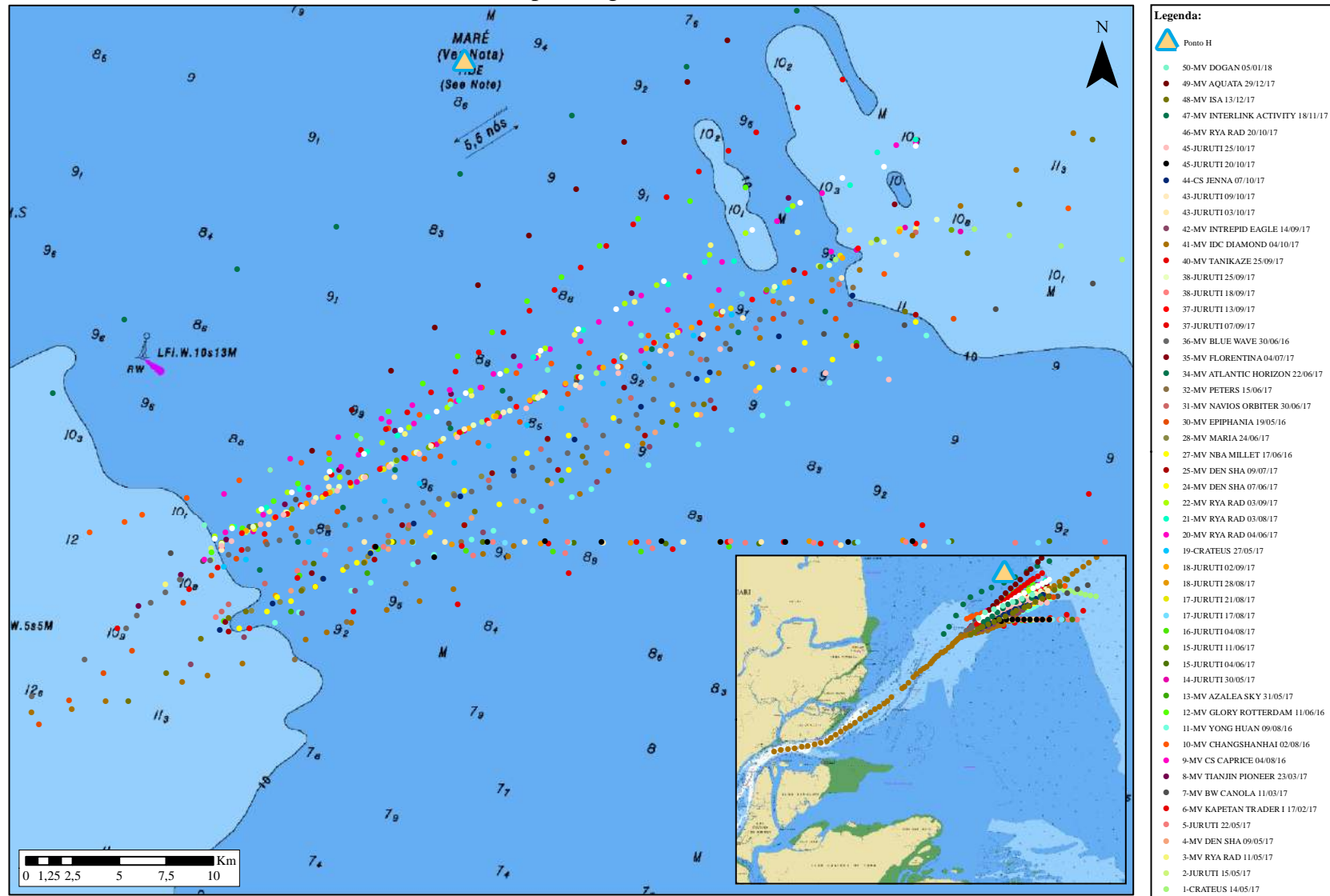


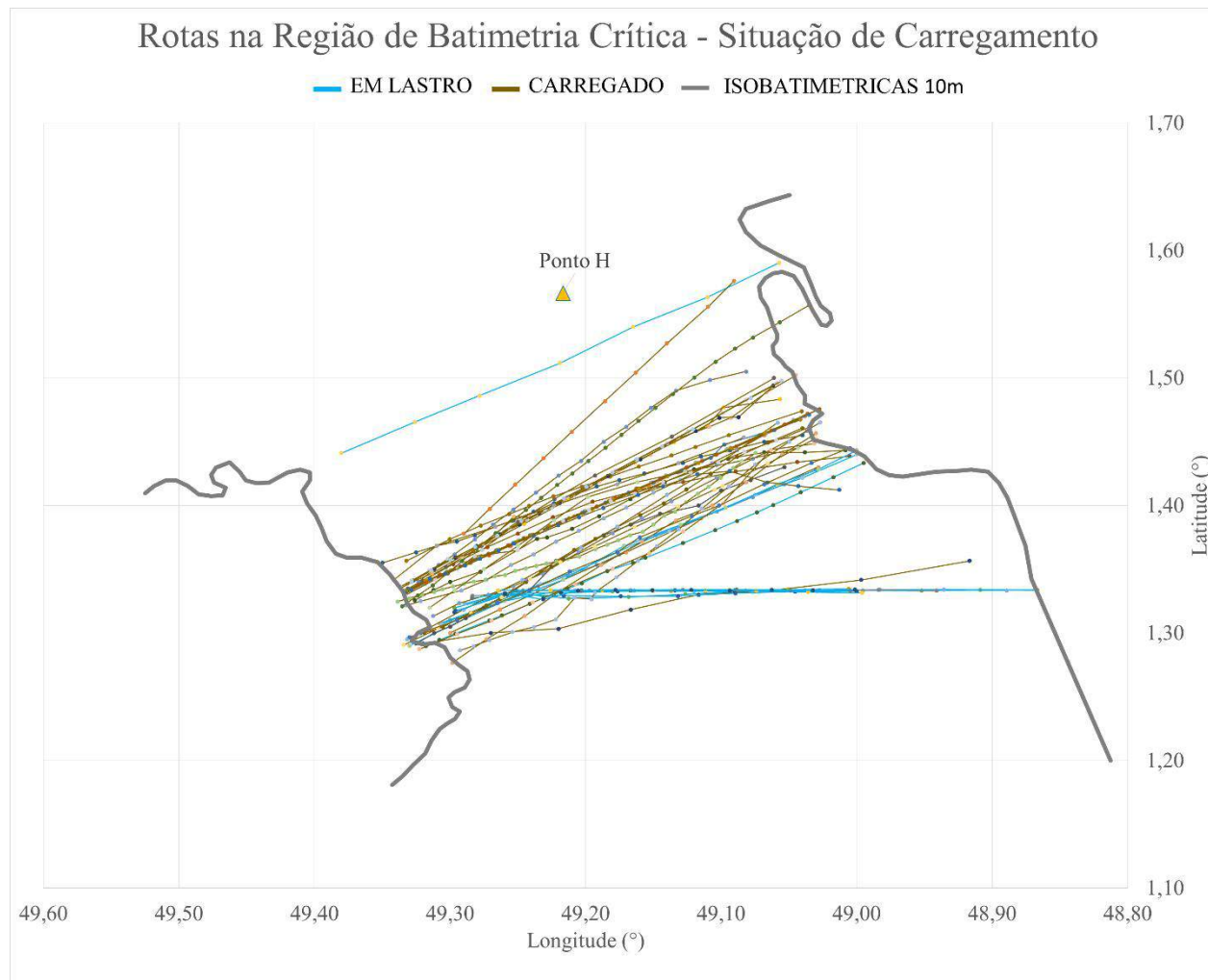
Figura 14: Definição das Rotas de passagem dos Navios a partir dos dados disponibilizados pelas empresas.

Fonte: Elaboração dos autores, 2018

Com exceção de alguns navios, foi possível observar um padrão nas rotas selecionadas pelos mesmos para atravessar a região do quebra-molas. De forma a possibilitar a realização de uma análise mais detalhada, um novo mapa foi plotado. As rotas foram limitadas somente a região de batimetria crítica e os dados separados em rotas de navios “CARREGADO” (na cor marrom) e “EM LASTRO” (na cor azul).

Dessa maneira, objetivou-se identificar a existência de um padrão de preferência na escolha das rotas de passagem, atrelado à situação de carregamento dos navios. Além disso, nesse momento do estudo, foi possível selecionar os dados de interesse das análises de maré, através do reconhecimento e sinalização dos dados referentes a região distante da zona de batimetria crítica.

Tal gráfico pode ser observado na Figura 15 a seguir.



**Figura 15: Definição das Rotas de passagem na Região de Batimetria Crítica relacionada com a situação de carregamento dos navios**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

De acordo com o gráfico exposto acima, foi possível chegar a duas conclusões relacionadas ao comportamento dos navios.

A primeira está relacionada ao fato de que os navios carregados tendem a passar pelo menor trecho possível com restrição de calado (com profundidade reduzida). Ou seja, como pode ser observado no mapa, os navios “CARREGADOS” apresentaram uma tendência maior em realizar a travessia pelo trecho mais estreito (24 milhas náuticas) do quebra-molas, onde a distância percorrida entre as isobatimétricas de 10m é menor. Tal conclusão pode ser explicada pela preocupação com a profundidade alcançada pelos navios, tendo em vista que os mesmos possuem calados maiores quando estão em situação de transporte de carga.

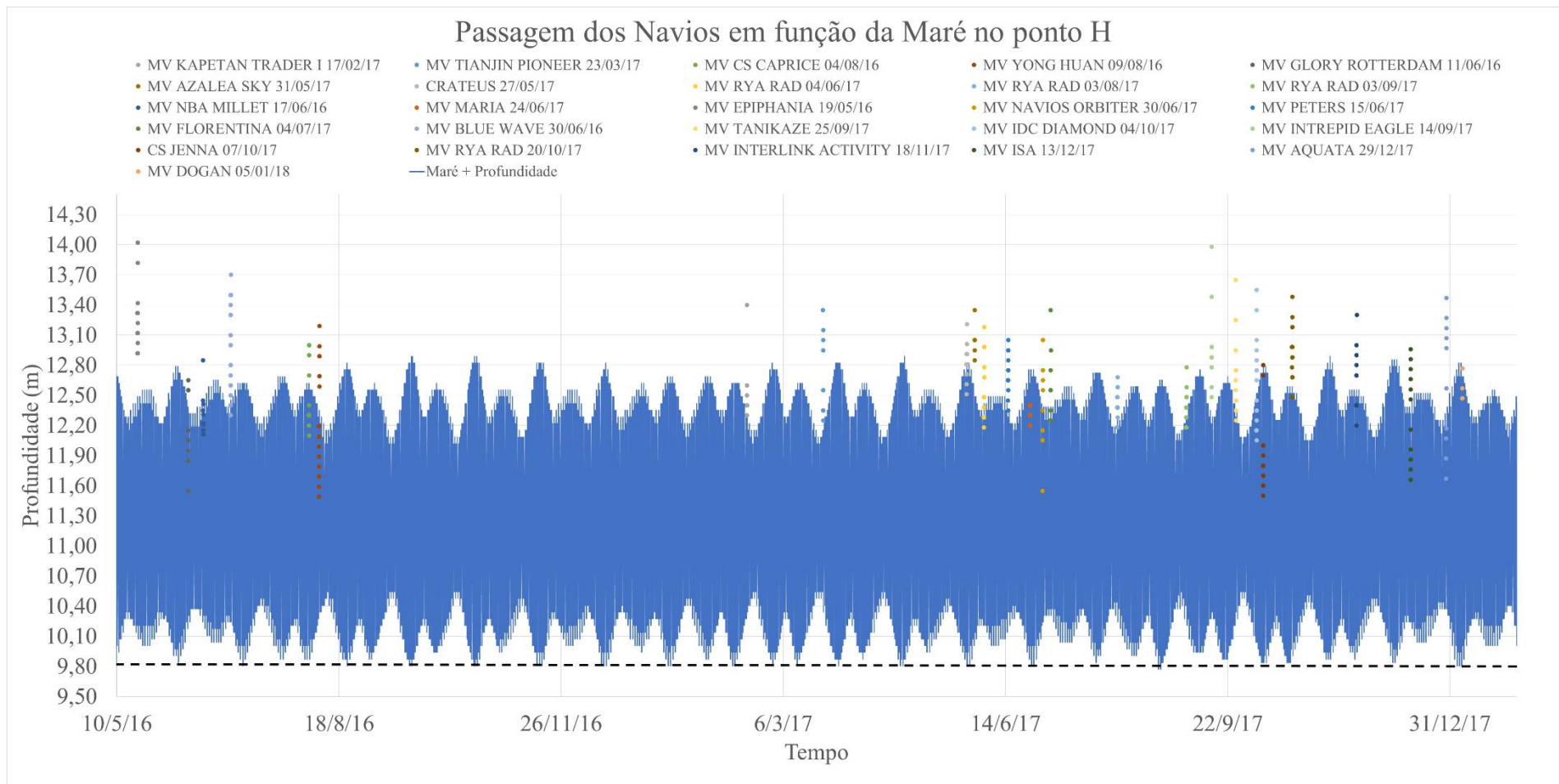
Em contraposição, os navios “EM LASTRO”, ou seja, aqueles que não estavam transportando carga e por isso possuíam uma situação de calado mais confortável, tenderam a não possuir um padrão único quanto à sua passagem no trecho de batimetria crítica. De certo modo, esta conclusão também faz sentido na medida em que o calado destes navios “EM LASTRO” possui metragem inferior (entre 6,50 e 7,83m) aos valores da batimetria da carta náutica 21300 em toda a região percorrida. Por fim, entende-se que para os navios entrando, a preocupação com a rota de passagem não é tão necessária quanto nos casos em que os navios estão saindo carregados.

## **4.2. Passagem dos Navios em função da Maré no ponto H**

Nessa análise, foi feita a sobreposição de dois gráficos diferentes. O primeiro deles representa a profundidade dos navios ao longo do tempo de passagem dos mesmos. Já o segundo representa o nível da lâmina d'água considerando as alturas de maré no ponto H e a profundidade mínima de 9,8m referida na folha de bordo do Parecer Técnico nº09/2017, durante o espaço temporal das análises. Teve como objetivo avaliar o panorama geral do intervalo de tempo das passagens e a comparação da maré durante todo o período.

Pode-se perceber através da análise do gráfico da Figura 16, que na maioria das vezes a maré envolvida no caso encontrava-se no pico de preamar, maior altura de maré, o que faz com que a lâmina d'água disponível para navegação seja maior. Porém, observou-se que nem sempre a maré ocorre em períodos de sizígia, o que já é um indicativo que as passagens poderiam ser otimizadas de alguma forma, visto que a sizígia possui altura de maré superior à de quadratura.

O gráfico da Passagem dos Navios em função da Maré no ponto H está representado na Figura 16, a seguir.



**Figura 16: Localização temporal das passagens dos Navios em função da Maré no ponto H**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

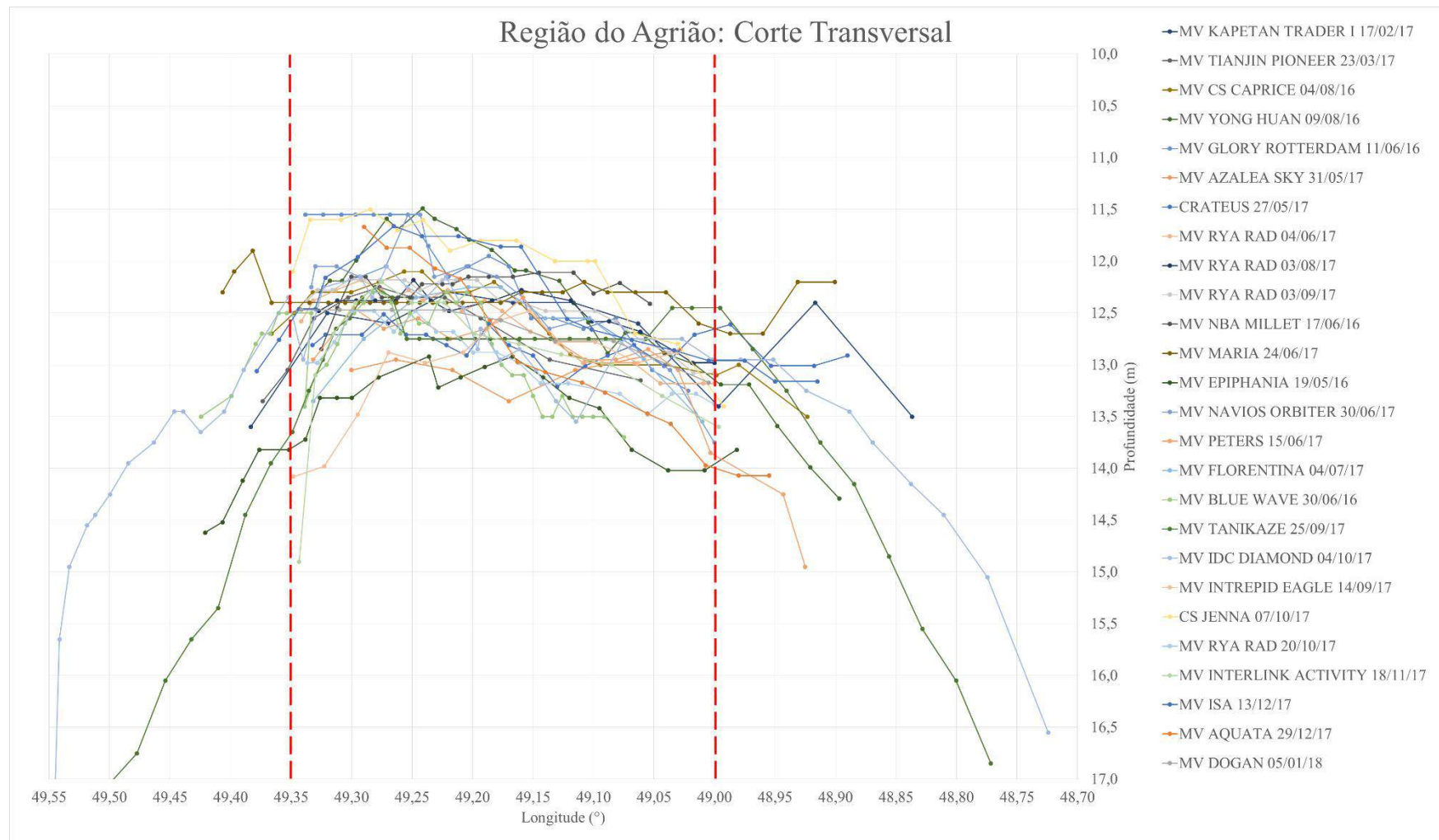
### **4.3. Região do Agrião: Corte Transversal e Longitudinal**

Essa análise foi realizada com o intuito de ilustrar o perfil de profundidade do quebra-molas na região e, além disso, identificar qual foi a profundidade mínima no trecho enfrentada por todos os navios que saíam do continente. Para a análise em questão, foram selecionados os dados dos navios que estavam em sentido saindo do continente, devido à localização geográfica das passagens dos mesmos, situados na região crítica de batimetria. As rotas dos navios se concentraram, aproximadamente, em latitude semelhante, variando a longitude.

Para estes gráficos, foram plotadas as coordenadas longitudinais ou latitudinais, e as profundidades informadas por cada navio, com o objetivo de enxergar o comportamento e a variação das mesmas no corte transversal ao quebra-molas.

O resultado dessa análise foi satisfatório, uma vez que foi possível identificar no gráfico as profundidades que formam o quebra-molas (destacado entre as linhas tracejadas vermelhas em ambos os gráficos). Ademais, a profundidade mínima encontrada na região demonstrou-se de acordo com as Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial de Santarém, onde se recomenda 11,50 metros. Além disso, observa-se que as menores profundidades estão situadas no extremo oeste da travessia do Agrião, e as maiores próximas ao extremo Leste, sendo limitadas em aproximadamente 14 metros.

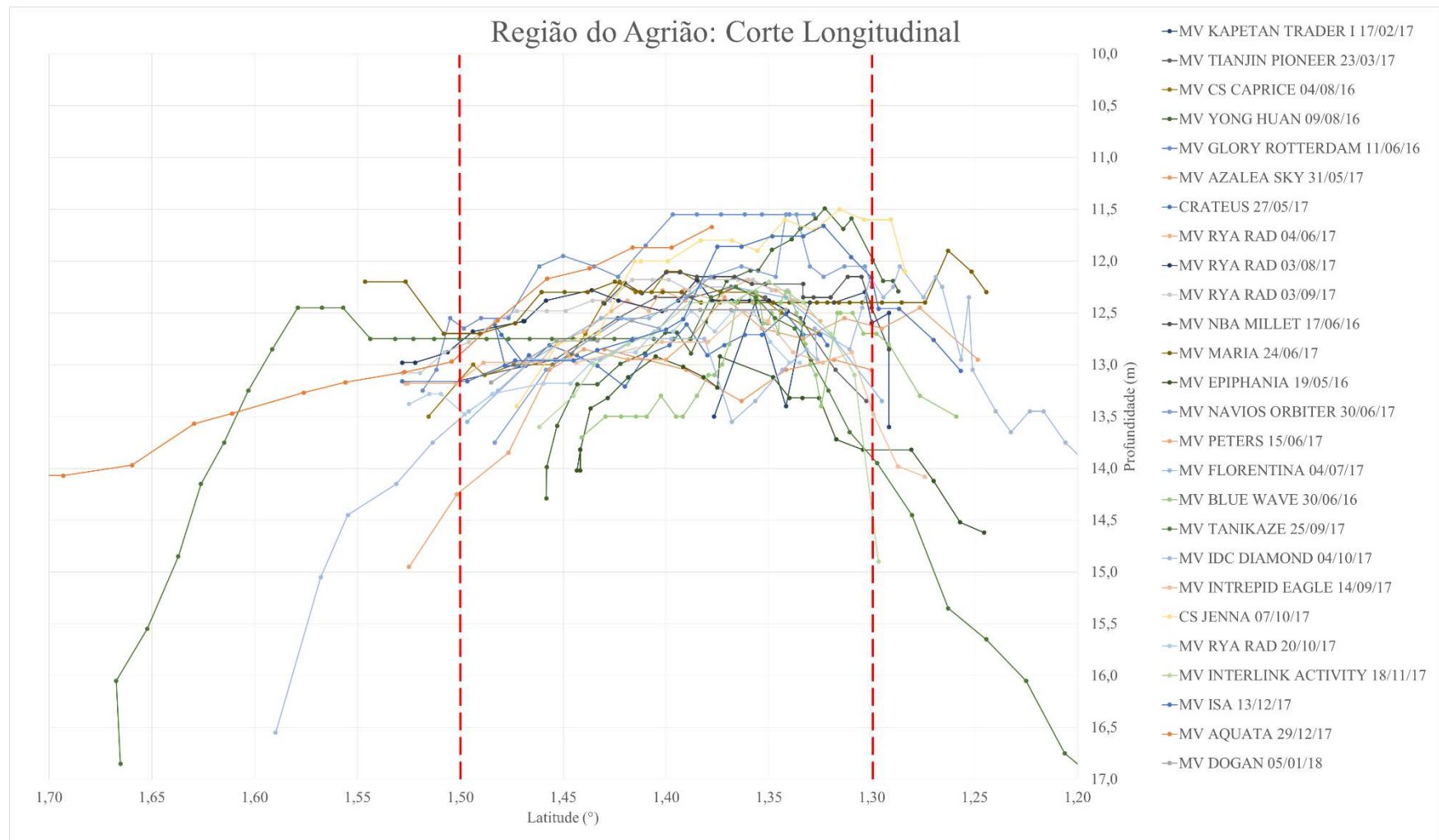
O gráfico da Região do Agrião: Corte Transversal, está representado na Figura 17. Já o gráfico da Região do Agrião: Corte Longitudinal, encontra-se na Figura 18.



**Figura 17: Representação das profundidades relacionadas às respectivas longitudes para obtenção do Corte Transversal na Região do Agrião.**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

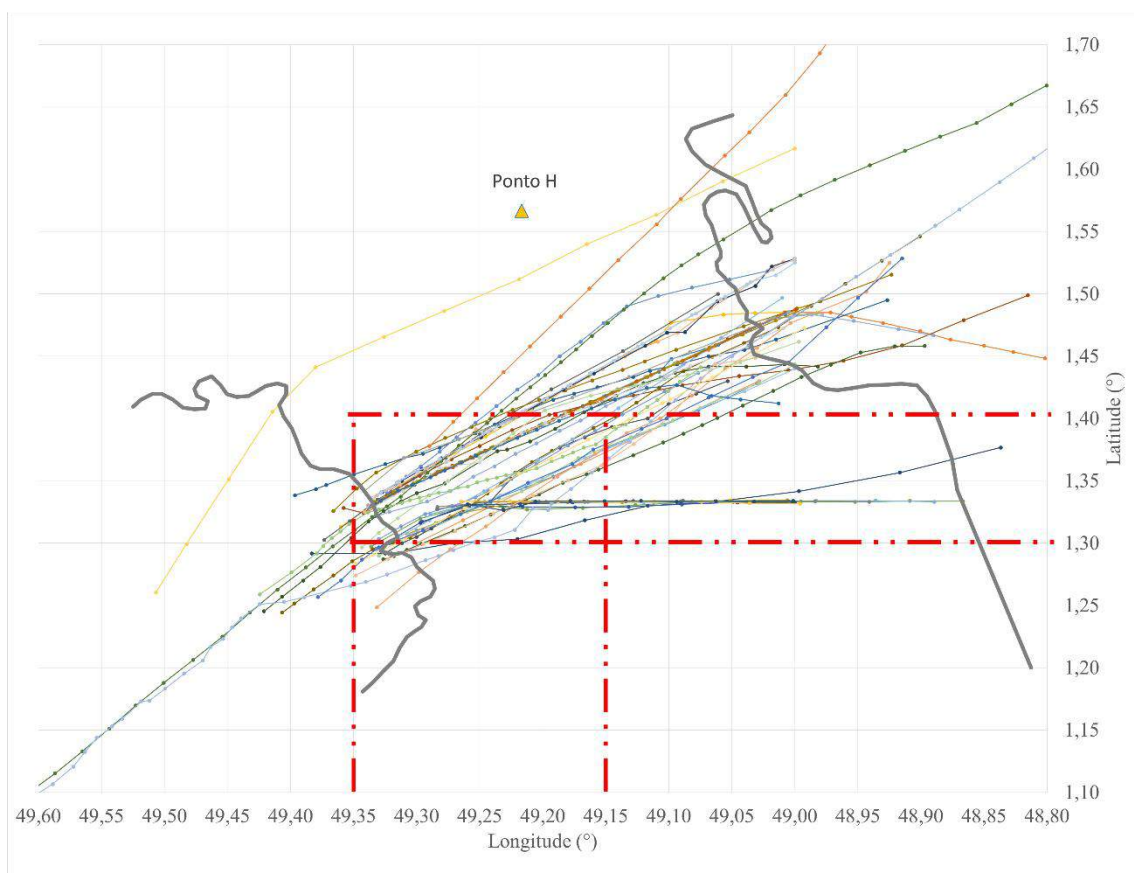




**Figura 18: Representação das profundidades relacionadas às respectivas latitudes para obtenção do Corte Longitudinal na Região do Agrião.**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

A partir da análise do gráfico do corte transversal, da Figura 17, foi possível constatar que as menores profundidades estão situadas entre as coordenadas 49,35° W e 49,15°W. Além disso, através do gráfico do corte longitudinal da Figura 18, conclui-se que as menores profundidades estão situadas entre as coordenadas de 1,3°N e 1,4°N. Como pode ser observado na Figura 19 a seguir, dentro da própria região do quebra-molas, existe uma outra zona com batimetria ainda mais crítica. As informações obtidas através dessa análise foram importantes para justificar e auxiliar as conclusões obtidas através de outras análises a seguir.



**Figura 19: Delimitação da região de profundidade mínima dentro do Quebra-molas, com informações das profundidades obtidas através dos cortes transversal e longitudinal.**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

#### **4.4. Localização das Preamares e Baixa-mares nas Rotas dos Navios**

O objetivo dessa análise foi investigar se as rotas dos navios teriam alguma relação com a altura de maré. Como foi verificado, de acordo com a análise realizada no item 4.1 do presente estudo, os navios entrando no continente apresentaram comportamento distinto dos navios saindo. Para a realização dessa análise, os navios foram separados em função do seu sentido de deslocamento: entrando no continente (todos “EM LASTRO”) e saindo do continente (a maioria “CARREGADO”, com a exceção de um “EM LASTRO”).

Primeiramente, foram analisadas as rotas dos navios com o objetivo de aferir a ocorrência das preamares ou baixa-mares ao longo do trecho de batimetria crítica no Agrião. Além disso, esta análise tem o intuito de investigar a possibilidade de existência de um padrão no posicionamento das preamares em relação as rotas de passagem.

Posteriormente, as preamares e baixa-mares identificadas foram classificadas em sizígia, aquelas com maior altura de maré, e quadratura, as de menor altura de maré. Portanto, foram gerados quatro gráficos diferentes, que serão descritos e apresentados a seguir. O ANEXO IV apresenta o gráfico com as premares e baixa-mares de todas as passagens destacadas ao longo do tempo durante todo o espaço temporal das análises.

##### **4.4.1. Navios Entrando – Altura de maré**

Inicialmente, foram plotadas somente as rotas dos navios que estavam entrando no continente. Nessa análise, já não era esperada uma preocupação com a maré, tendo em vista que os navios (todos “EM LASTRO”) possuíam um calado muito menor por estarem suportando apenas o peso próprio, de tal forma que conseguiriam navegar na região apenas com a profundidade da Carta 21300, independentemente da situação de maré na região.

Para esta opção gráfica, foram analisadas 14 (quatorze) rotas entrando em direção ao continente. Dessas, somente foi registrada a ocorrência de preamar na região do quebra-molas para o navio MV ATLANTIC HORIZON que realizou a passagem no dia 22 de junho de 2017. Ainda assim, além do fato da baixa ocorrência de preamares, ainda foram observadas 2 (duas) passagens onde o navio MV DEN SHA passou pela região do Agrião durante as baixa-mares dos dias 9 de maio e 7 de junho do ano de 2017.

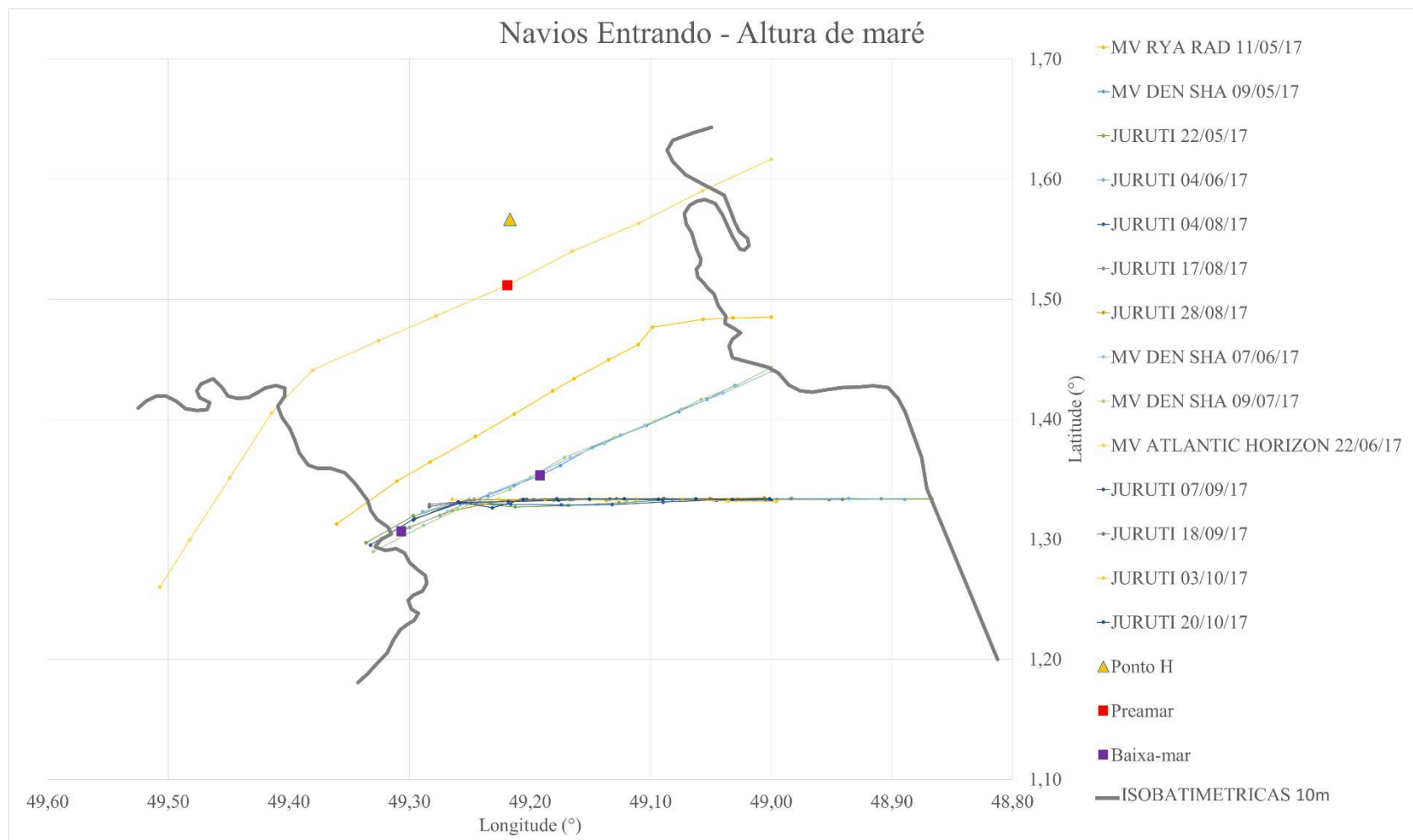
Dessa forma, pode-se comprovar a despreocupação quanto a lâmina d'água disponível para navegação durante a travessia de navios que estão entrando no continente e estão “EM LASTRO”, com justificativa compreensível como explicado anteriormente. Além disso, a ausência de uma preocupação com o calado torna-se clara quando se observam travessias no quebra-molas durante a baixa-mar. O gráfico dos Navios Entrando com as preamares e baixa-mares está representado na Figura 20, a seguir.

Tendo em vista que das quatorze rotas, apenas três apresentaram a preamar ou baixa-mar dentro da região do quebra-molas, foi realizada uma outra análise a fim de identificar se a ocorrência da preamar para o Ponto H se deu antes ou após a passagem pela região de batimetria crítica. Ou seja, identificar se há um padrão na passagem das embarcações pelo quebra-molas durante períodos de enchente e os de vazante. Os resultados encontrados estão na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1: Passagem de Navios entrando em direção ao continente com separação das situações de maré.**

Navio	Quebra-molas		Preamar mais próxima	Situação
	Início	Fim		
MV RYA RAD 11/05/17	11/5/17 20:10	11/5/17 21:40	11/5/17 23:51	Enchente
JURUTI 22/05/17	22/5/17 17:05	22/5/17 18:45	22/5/17 20:34	Enchente
JURUTI 04/06/17	4/6/17 8:15	4/6/17 9:45	4/6/17 7:25	Vazante
JURUTI 04/08/17	4/8/17 22:43	4/8/17 23:53	4/8/17 21:30	Vazante
JURUTI 17/08/17	17/8/17 2:53	17/8/17 4:14	17/8/17 6:34	Enchente
JURUTI 28/08/17	28/8/17 13:09	28/8/17 14:20	28/8/17 15:49	Enchente
MV DEN SHA 09/07/17	9/7/17 6:00	9/7/17 8:15	9/7/17 11:10	Enchente
JURUTI 07/09/17	7/9/17 12:59	7/9/17 14:10	7/9/17 11:42	Vazante
JURUTI 18/09/17	18/9/17 23:51	18/9/17 1:02	18/9/17 21:51	Vazante
JURUTI 03/10/17	3/10/17 7:45	3/10/17 8:55	3/10/17 9:19	Enchente
JURUTI 20/10/17	20/10/17 2:15	20/10/17 3:45	19/10/17 22:55	Vazante

É notório que não há um padrão para a passagem dos navios entrando, percebe-se que de onze passagens, seis embarcações navegaram durante a enchente de maré e os outros cinco, durante a vazante.



**Figura 20: Rotas de passagem dos Navios Entrando em direção ao continente com destaque da ocorrência de preamar e baixa-mar na região do Agrião.**

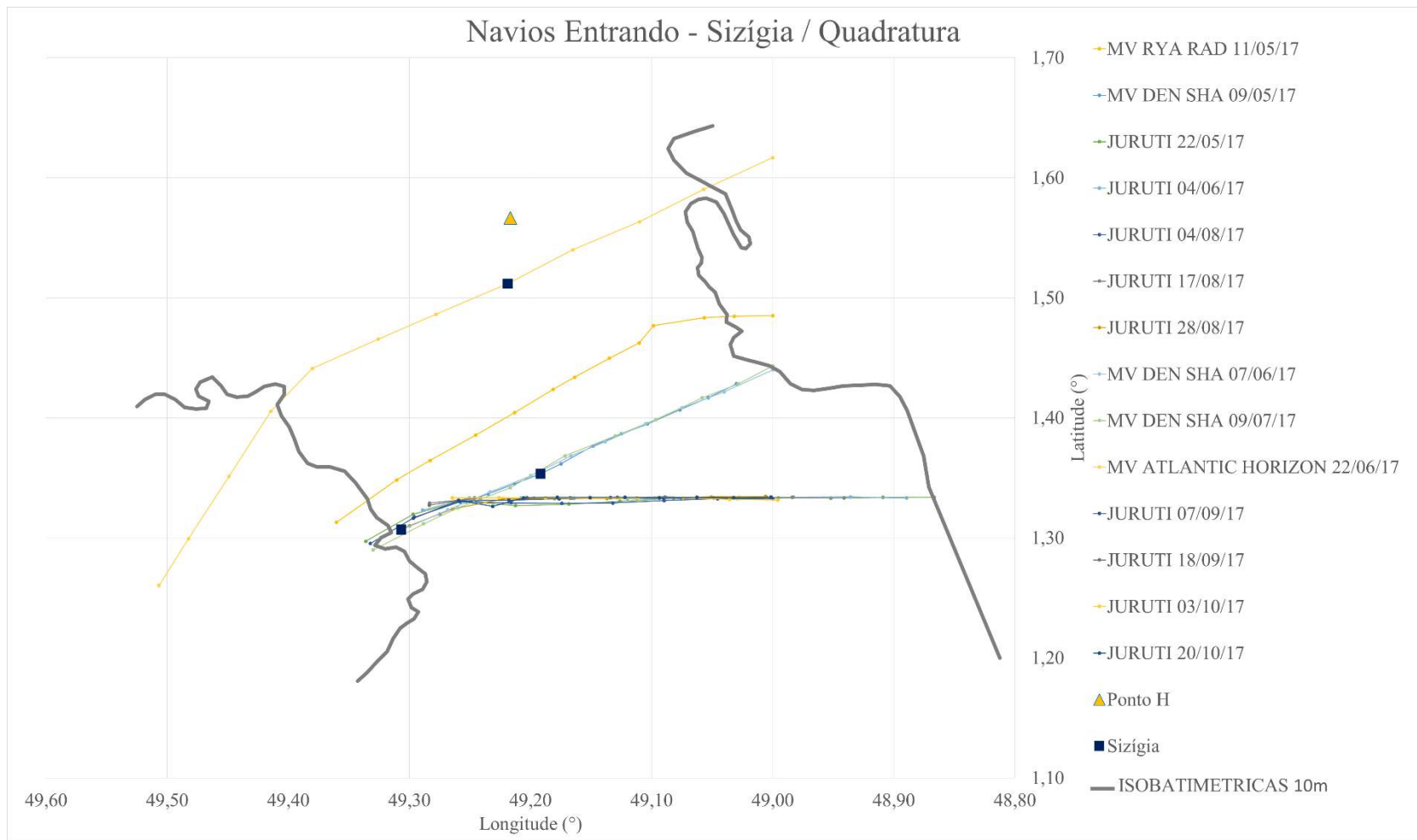
Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

#### **4.4.2. Navios Entrando - Sizígia/Quadratura**

Essa análise é uma expansão da análise anterior realizada no item anterior do presente estudo. Foi realizado um detalhamento a fim de identificar o tipo de preamar e baixa-mar, classificando as alturas de maré em sizígia ou quadratura. Para isso, foi calculada a média das preamares compiladas durante todo o espaço temporal da análise (maio de 2016 a janeiro de 2018). O valor de referência obtido para a preamar foi de aproximadamente 2,63 metros, todos valores iguais ou acima da média foram considerados como sizígia e os valores abaixo foram considerados como quadratura. O mesmo foi feito de forma análoga para as baixa-mares sendo o valor de referência calculado igual a 0,35 metros, porém nesse caso os valores maiores ou iguais foram considerados como sizígia e os menores foram considerados como quadratura.

Como pode ser observado no Gráfico a seguir, os três pontos plotados no item anterior foram classificados como sizígia. Este fato contribui de forma positiva para as afirmações realizadas anteriormente na medida que comprova que o navio MV DEN SHA realizou duas passagens pela região do Agrião durante a situação mais crítica de altura de maré (baixa-mar de sizígia).

O gráfico dos Navios Entrando com a preamar e baixa-mares de Sizígia, está representado na Figura 21.



**Figura 21: Rotas de passagem dos Navios Entrando em direção ao continente com classificação de sizígia na região do Agrião.**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

#### **4.4.3. Navios Saindo – Altura de maré**

Nessa análise, tendo em vista que os navios estão em sua maioria carregados e, conseqüentemente com calados mais elevados, era esperado que houvesse uma preocupação maior quanto à altura de maré no momento da passagem pela região do quebra-molas. Tudo isso, tendo em vista que a maioria dos navios saem com o calado máximo permitido de 11,5m que supera as profundidades na região segundo a Carta 21300.

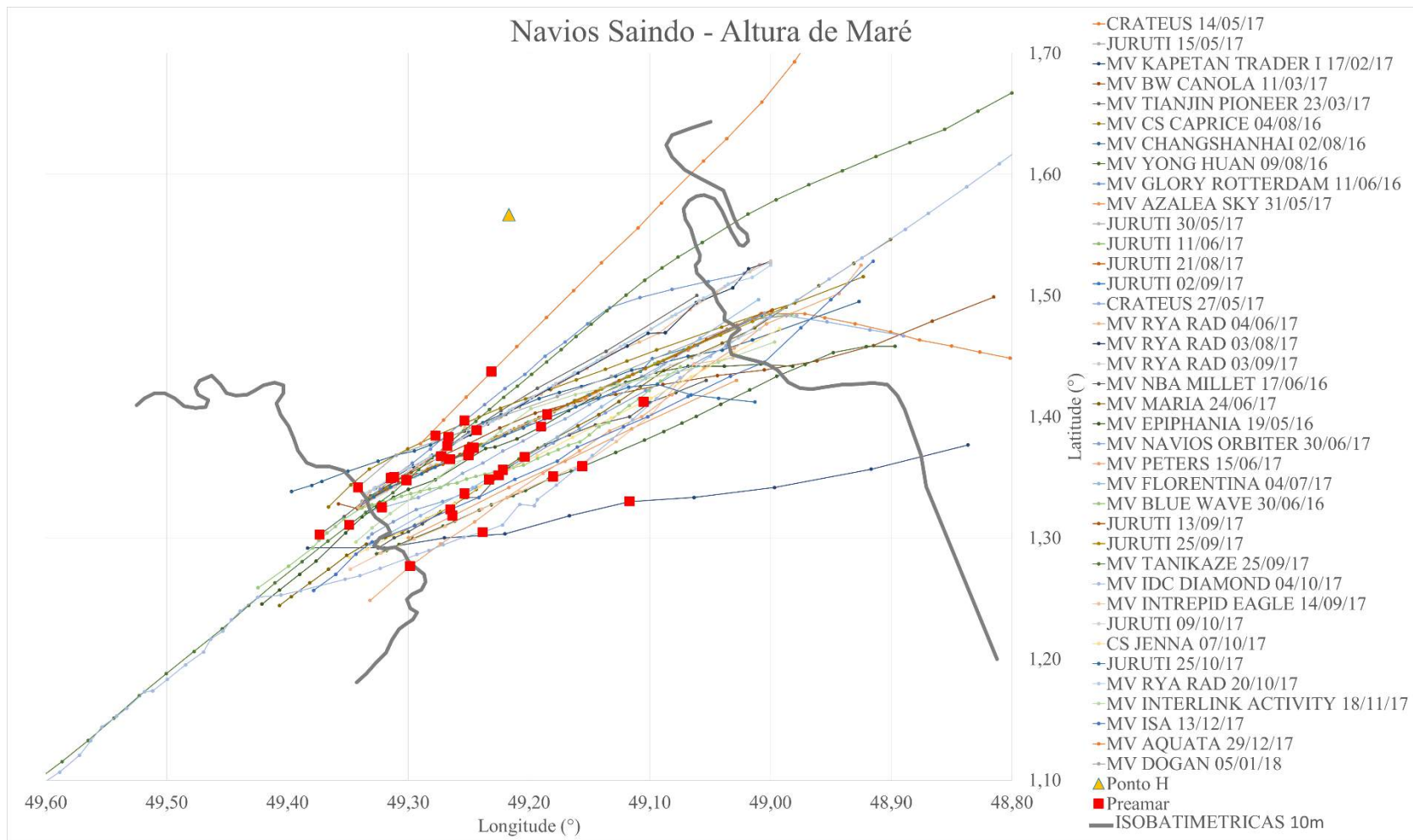
Foram analisadas 38 (trinta e oito) rotas de navios saindo do continente, e dessas, em 35 (trinta e cinco) foram registradas ocorrências de preamar durante o período de passagem dos navios pela região do Agrião, o que enfatiza a grande preocupação quanto à profundidade no local do quebra-molas. Além disso, é importante ressaltar que em nenhuma rota foi observada a ocorrência de baixa-mar.

Com essa análise, pode-se afirmar que há um planejamento por parte da equipe de bordo dos navios para garantir que as alturas de maré estejam favoráveis no momento da passagem do navio pela região crítica. A existência de um planejamento também pode ser reforçada pela escolha da rota dos navios, de forma que os mesmos percorrem a menor distancia possível na extensão do quebra-molas, como já foi citado anteriormente.

Ademais, foi possível concluir também que os navios, em sua maioria, tendem a passar com o instante de preamar posicionado entre o início e o meio do quebra-molas, ou seja, entram aproximadamente com alturas de maré mais elevadas e passam pelo quebra-molas ao longo do período de vazante. Tal conclusão pode ser complementada pelas informações obtidas pelos gráficos de Corte Transversal e Longitudinal, através dos quais foi possível aferir em qual região do quebra-molas as profundidades encontradas eram ainda mais rasas. Posteriormente serão detalhadas análises com o intuito de avaliar a ocorrência do padrão observado.

O gráfico dos Navios Saindo com as preamares, está representado na Figura 22, a seguir.





**Figura 22: Rotas de passagem dos Navios Saindo do continente com destaque da ocorrência das preamares na região do Agrião.**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

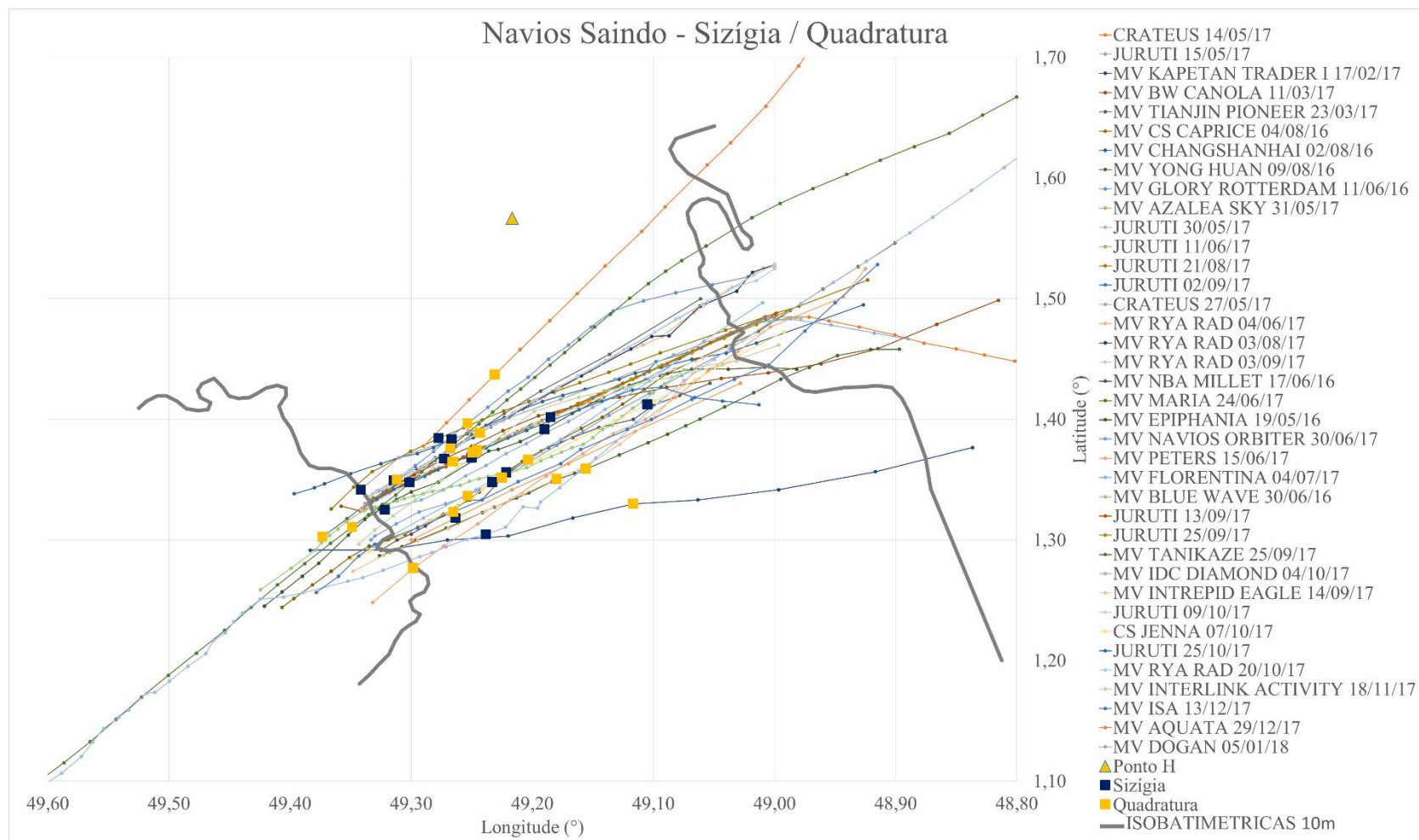
#### **4.4.4. Navios Saindo - Sizígia/Quadratura**

Essa análise é uma expansão da análise anterior do item 4.4.3 do presente estudo, a mesma objetiva identificar o tipo de preamar, se é sizígia ou quadratura e para isso foi utilizado-se a mesma média das preamares calculada durante todo o período de análise (maio de 2016 a janeiro de 2018), cujo cálculo já foi detalhado anteriormente. De forma análoga, todos valores iguais ou acima dessa média (2,65metros) foram considerados como sizígia e os valores abaixo foram considerados como quadratura.

Como já citado no item 4.4.3, existem 35 (trinta e cinco) preamares nesse gráfico e elas foram classificadas de acordo com as regras explicitadas acima como de 16(dezesseis) ocorrências de sizígia e 19 (dezenove) de quadratura, como pode ser visto na Figura 23 (em azul escuro e em laranja, respectivamente), elas se concentram entre o início e a região do centro do trecho de batimetria crítica.

Ademais, o fato de ser uma maré de sizígia ou quadratura, é de suma importância nesse caso. Como o gráfico apresentou diferentes posições da preamar no quebra-molas tanto para sizígia quanto para quadratura, esse fato motivou uma análise mais à fundo, comparando casos de sizígia e quadratura em diferentes posições cujas rotas foram semelhantes, com o objetivo de determinar qual o melhor cenário de passagem (análise realizada nos itens 4.5.1 e 4.5.2 do presente estudo).

O gráfico dos Navios Saindo com as preamares de Sizígia ou Quadratura, está representado na Figura 23.



**Figura 23: Rotas de passagem dos Navios Saindo do continente com classificação de sizígia ou quadratura das preamares na região do Agrião.**

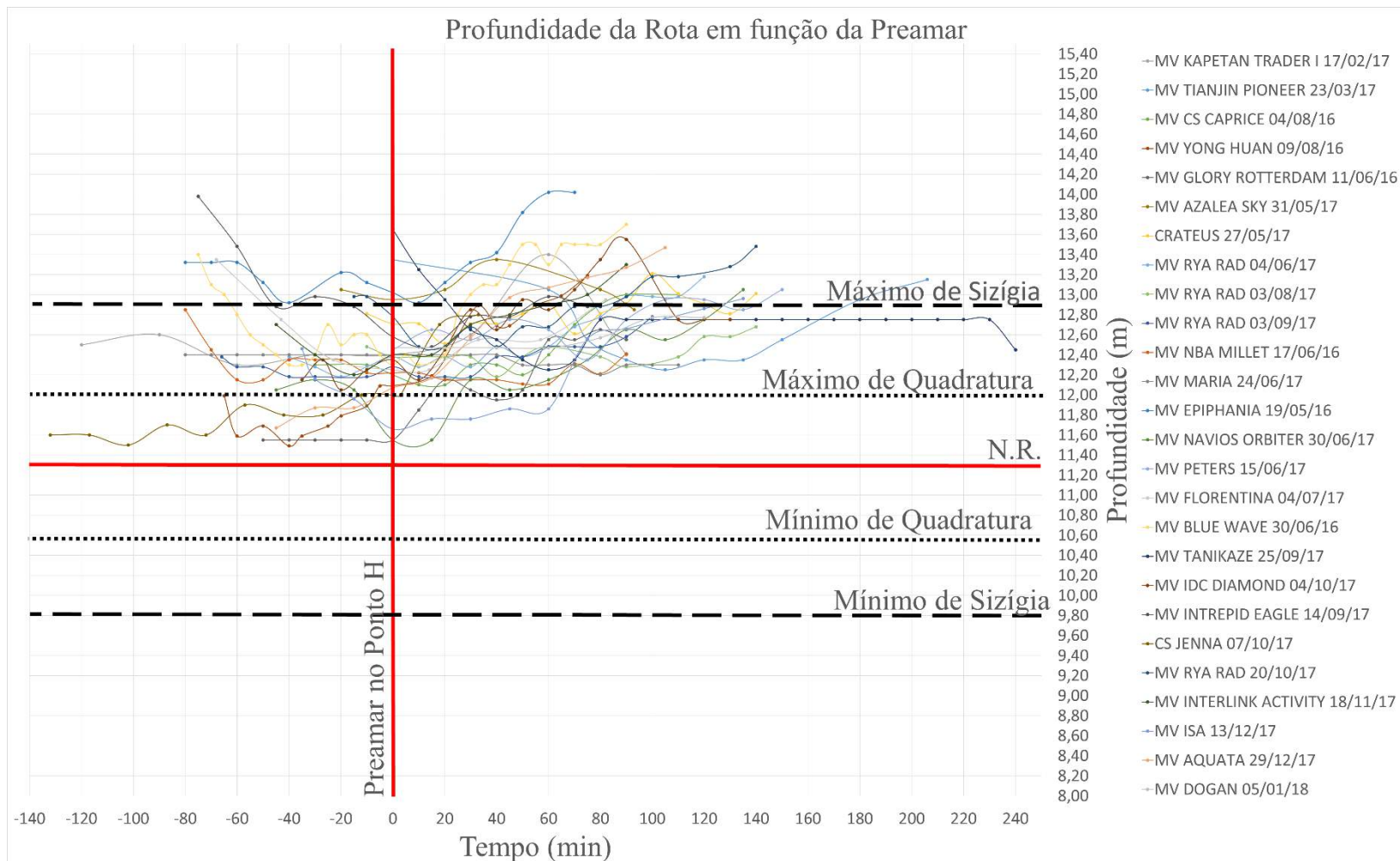
Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

#### **4.5. Profundidade da Rota em função da Preamar**

Para essa análise, foram plotadas as profundidades dos navios, na região do Agrião, de acordo com o tempo da passagem em função da preamar no ponto H. Ou seja, o momento da ocorrência da preamar foi considerado em 0 minutos e os outros dados temporais foram plotados em função dele. Os dados utilizados foram de navios saindo do continente carregados, cuja alta incidência de preamares na região do quebra-molas já havia sido comprovada anteriormente.

A partir da análise do gráfico, observa-se que as passagens pelo trecho de batimetria crítica duram entorno de 200 min (pouco mais que três horas). O gráfico contendo os dados dos navios encontra-se na Figura 24 a seguir. As profundidades estão referidas à profundidade mínima referida na folha de bordo de 2017 (Parecer Técnico Praticagem nº09/2017), igual a 9,80 metros.

As linhas tracejadas e pontilhadas representam a variação de maré nos extremos das baixa-mares e preamares (de sizígia e quadratura). Segundo os cálculos realizados para todo o espaço temporal do estudo (maio de 2016 a janeiro de 2018), a maior baixa-mar de quadratura está aproximadamente em 0,74 metros de altura de maré em relação a menor baixa-mar de sizígia. As mesmas diferenças foram calculadas para a maior preamar de sizígia e para a menor preamar de quadratura sendo respectivamente 3,09 metros e 2,22 metros. Ademais, observa-se que todos os navios passam acima do nível médio da maré de 11,3 metros.



**Figura 24: Plotagem das profundidades encontradas nas rotas de passagem, em função da ocorrência de preamar no ponto H para a região do quebra-molas.**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Como pode ser observado no gráfico, existem profundidades que excedem o nível máximo de preamar de sizígia. Tal fato pode ser explicado por diferentes razões. A primeira está ligada a possibilidade de as profundidades informadas pela sondagem realizada na folha de bordo não estarem de acordo com as profundidades reais observadas na região. Ou até mesmo por se tratarem de regiões com profundidades superiores aquela utilizada pela análise de 9,8m (profundidade mínima na sondagem da folha de bordo já citada).

Outrossim, a segunda justificativa pode estar relacionada ao cálculo realizado para transformar a maré da estação Ponta do Céu na maré para o Ponto H. Como citado anteriormente, foi utilizada a Carta21300 para realizar as conversões de maré. A terceira possibilidade pode estar relacionada ao fato do estudo utilizar apenas um único ponto para referenciar a maré ao longo do quebra-molas. Segundo VILELA (2011), considerando pontos de medição de maré nos extremos da região do agrião distando cerca de 50 Km entre si, a maré ao longo da região de batimetria crítica pode variar em 0,5 metros de altura de maré ao longo de 1 hora, sendo a maré do extremo Oeste do quebra-molas maior que a maré do extremo Leste.

Além disso, nos itens a seguir foram feitas análises detalhadas comparando casos de preamares de sizígia e quadratura, para navios com rotas semelhantes e conseqüentemente profundidades também. No entanto, devido ao período de ocorrência da passagem (tempo referido à preamar), as alturas de maré se diferenciam em alguns casos, fato que também foi levado em consideração. O objetivo dessa análise foi definir qual a melhor maneira de aproveitar a maré, com foco no posicionamento da preamar em relação ao quebra-molas, de forma a obter a profundidade mais confortável durante todo o trecho do Agrião. Os respectivos gráficos para casos de sizígia e quadratura foram detalhados e podem ser observados nos itens a seguir

#### 4.5.1. Posição de Preamares de Quadratura

A partir da análise gráfica do item anterior, foram destacados os casos onde rotas semelhantes possuíam preamares de quadratura dentro da região de batimetria crítica, mas em locais diferentes. No total, foram plotados três gráficos diferentes onde as preamares de quadratura estavam em posicionamentos diferentes na rota de passagem pelo Agrião para dois navios distintos. O intuito dessa análise é averiguar se há vantagem em posicionar a preamar de quadratura em local específico para realização das passagens e, em caso positivo, qual seria a situação que traria maiores benefícios em termos de calado para os navios.

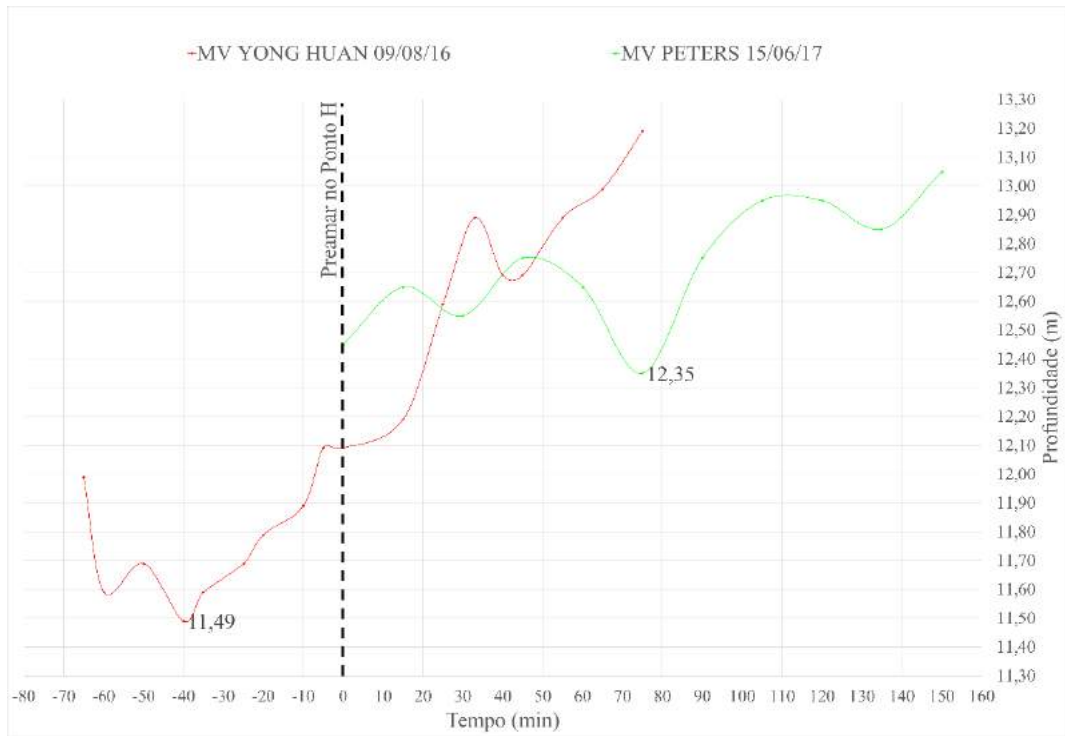
##### 4.5.1.1. *MV PETERS e MV YONG HUAN*

A passagem do navio MV PETERS ocorreu durante a preamar do dia 15 de junho de 2017. Já a do navio MV YONG HUAN ocorreu na preamar do dia 9 de agosto de 2016. As respectivas alturas de maré das preamares e profundidades mínimas observadas ao longo do trecho do Agrião encontram-se na Tabela 2 abaixo.

**Tabela 2: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV PETERS e MV YONG HUAN**

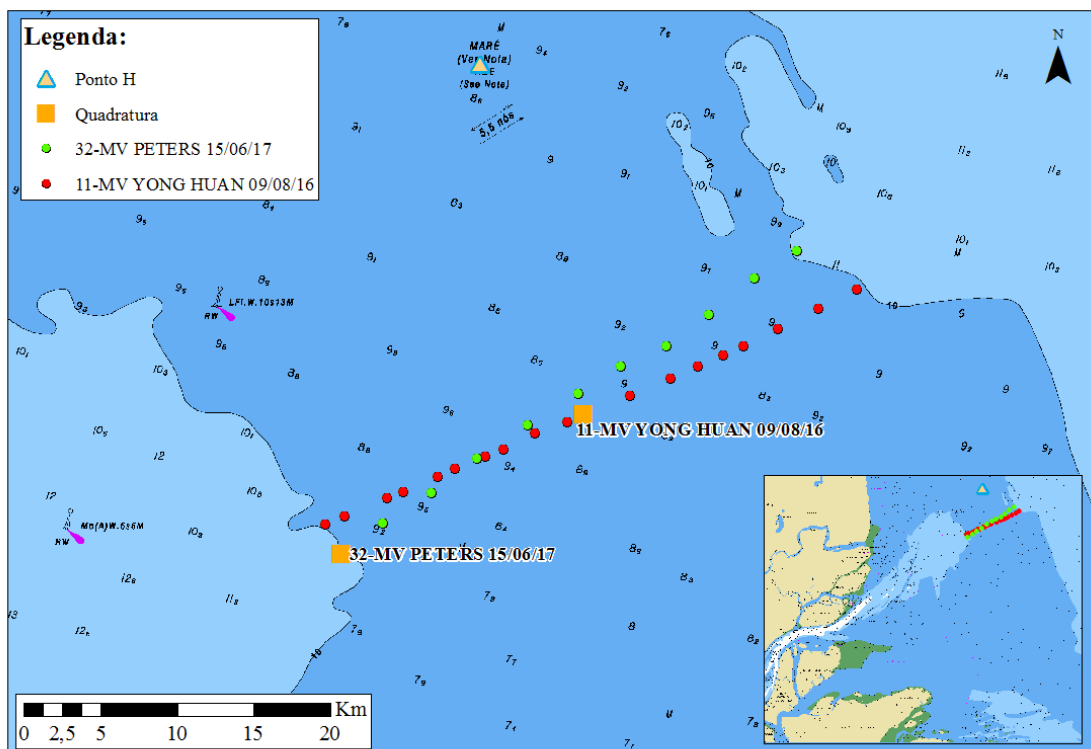
<b>Navio</b>	<b>Altura de maré no Ponto H [metros]</b>	<b>Profundidade mínima [metros]</b>
MV PETERS	2,53	12,35
MV YONG HUAN	2,55	11,49

Nota-se que embora ambas as marés fossem classificadas como quadratura, a altura de maré do dia 15 de junho de 2017 foi inferior de 2 centímetros em relação a do dia 9 de agosto de 2016. Além disso, pela Figura 26 observa-se que a preamar para o navio MV PETERS ocorre próximo ao início da região de batimetria crítica (lado oeste), quando para o navio MV YONG HUAN, a mesma ocorre quase no meio das duas isobatimétricas.



**Figura 25: Gráfico das Profundidades MV PETERS e MV YONG HUAN**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



**Figura 26: Mapa das Rotas MV PETERS e MV YONG HUAN**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



Após a análise dos gráficos foi possível concluir que a profundidade mínima para a preamar de quadratura durante a passagem do navio MV PETERS foi superior à profundidade mínima do navio MV YONG HUAN ao longo do trajeto. Tendo em vista a altura de maré para as duas situações, essa diferença se agrava ainda mais, confirmando a teoria. Desconsiderando a diferença entre as alturas de maré, ou seja, caso as duas passagens fossem realizadas com a mesma altura de maré a diferença entre as profundidades mínimas para essas passagens passaria de 86 centímetros para 88 centímetros.

De forma análoga foram realizados mais dois estudos para preamares de quadratura cujos cálculos estão descritos da mesma forma detalhada no ANEXO V. A Tabela 3 a seguir compila todos os resultados obtidos nas três análises.

**Tabela 3: Resultados compilados da análise de posicionamento das preamares de quadratura na Região do Agrião.**

Caso	Navio	Altura de maré no Ponto H	Profundidade mínima <sup>[1]</sup>	Diferença de Profundidade <sup>[2]</sup>	Desconto de Maré <sup>[3]</sup>	Diferença Final <sup>[4]</sup>
		[metros]	[metros]	[metros]	[metros]	[metros]
1	MV PETERS	2,53	12,35	0,86	0,02	0,88
	MV YONG HUAN	2,55	11,49			
2	MV TANIKASE	2,48	12,25	0,7	0,1	0,8
	GLORY ROTTERDAM	2,58	11,55			
3	MV TIANJIN PIONEER	2,35	12,25	0,07	0,13	0,2
	MV RYA RAD	2,48	12,18			

[1] – Profundidade mínima observada durante toda rota da passagem;

[2] – Diferença entre as profundidades mínimas dos dois navios;

[3] – Diferença entre as alturas de maré de quadratura das duas situações;

[4] – Diferença final entre as profundidades mínimas observadas, considerando o desconto das alturas de maré.

Com isso, a partir das análises das três situações acima citadas, conclui-se que para os casos de preamar de quadratura, o posicionamento da preamar no início da passagem pelo quebra-molas favorece as profundidades mínimas observadas. Além disso, para todos os casos a diferença de altura de maré entre a passagem dos dois navios favoreceu ainda mais a profundidade para aquele que passou com a preamar mais próxima da isobatimétrica a oeste da região do Agrião.

#### 4.5.2. Posição de Preamares de Sizígia

Analogamente as análises de quadratura, foram destacados os casos onde rotas semelhantes possuíam preamares de sizígia dentro da região de batimetria crítica. Foram plotados três gráficos diferentes onde as alturas de maré de sizígia estavam em posicionamentos diferentes na rota de passagem pelo Agrião para dois navios distintos. O intuito dessa análise é averiguar se há vantagem em posicionar a premar de sizígia em local específico para realização das passagens e, em caso positivo, qual seria a situação que traria maiores benefícios em termos de calado para os navios e, além disso, se a maré de sizígia segue o mesmo padrão encontrado nas análises de quadratura.

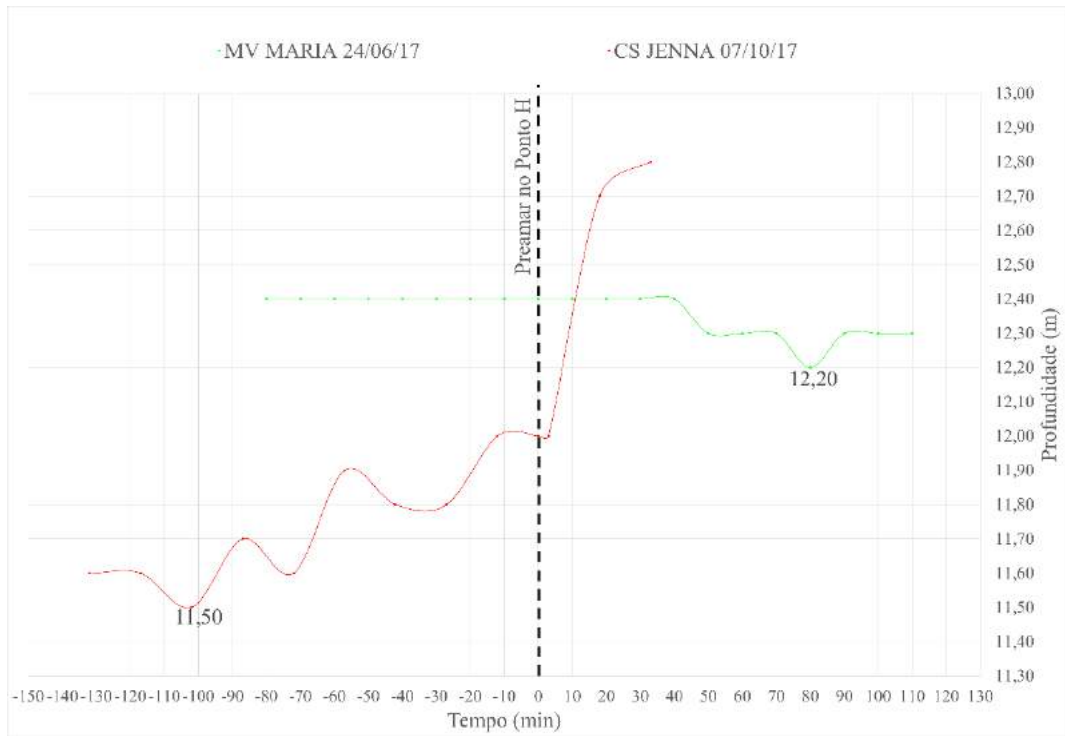
##### 4.5.2.1. *MV MARIA e CS JENNA*

A passagem do navio MV MARIA ocorreu durante a preamar do dia 24 de junho de 2017. Já a do navio CS JENNA ocorreu na preamar do dia 8 de outubro de 2017. As respectivas alturas de maré das preamares e profundidades mínimas observadas ao longo do trecho do Agrião encontram-se na Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV MARIA e CS JENNA**

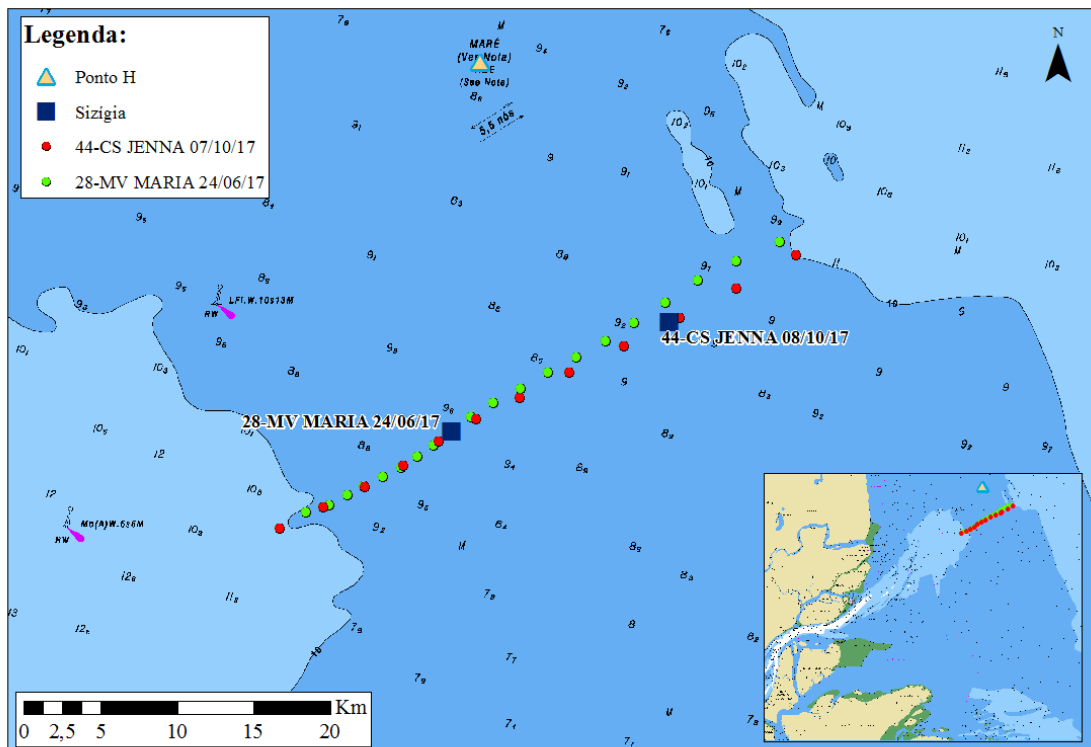
<b>Navio</b>	<b>Altura de maré no Ponto H [metros]</b>	<b>Profundidade mínima [metros]</b>
MV MARIA	2,82	12,20
CS JENNA	2,99	11,50

Nota-se que embora ambas as marés fossem classificadas como sizígia, a altura de maré do dia 24 de junho de 2017 foi inferior de 17 centímetros em relação a do dia 8 de outubro de 2017. Além disso, pelo gráfico da Figura 28 observa-se que a premar para o navio MV MARIA ocorre próximo ao início da região de batimetria crítica (lado oeste), quando para o navio CS JENNA, a mesma ocorre quase no meio das duas isobatimétricas.



**Figura 27: Gráfico das Profundidades MV MARIA e CS JENNA**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



**Figura 28: Mapa das Rotas MV MARIA e CS JENNA**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Após a análise dos gráficos foi possível concluir que a profundidade mínima para a preamar de sizígia durante a passagem do navio MV MARIA foi superior à profundidade mínima do navio CS JENNA ao longo do trajeto. Tendo em vista a altura de maré para as duas situações, essa diferença se agrava ainda mais, confirmando a teoria. Desconsiderando a diferença entre as alturas de maré, ou seja, caso as duas passagens fossem realizadas com a mesma altura de maré a diferença entre as profundidades mínimas para essas passagens passaria de 70 centímetros para 87 centímetros.

De forma análoga foram realizados mais dois estudos para preamares de sizígia cujos cálculos estão descritos da mesma forma detalhada no ANEXO VI. A Tabela 5 a seguir compila todos os resultados obtidos nas três análises.

**Tabela 5: Resultados compilados da análise de posicionamento das preamares de sizígia na Região do Agrião.**

Caso	Navio	Altura de maré no Ponto H	Profundidade mínima	Diferença de Profundidade	Desconto de Maré	Diferença Final
		[metros]	[metros]	[metros]	[metros]	[metros]
1	MV MARIA	2,82	12,2	0,70	0,17	0,87
	CS JENNA	2,99	11,5			
2	MV DOGAN	2,89	12,47	0,37	-0,07	0,30
	MV CS CAPRICE	2,82	12,1			
3	CRATEUS	3,02	12,51	0,31	-0,27	0,04
	INTERLINK ACTIVITY	2,75	12,2			

[1] – Profundidade mínima observada durante toda rota da passagem;

[2] – Diferença entre as profundidades mínimas dos dois navios;

[3] – Diferença entre a as alturas de maré de sizígia das duas situações;

[4] – Diferença final entre as profundidades mínimas observadas, considerando o desconto das alturas de maré.

Com isso, a partir das análises das três situações acima citadas, conclui-se que para todos os casos de preamar de sizígia, o posicionamento da preamar no início da passagem pelo quebra-molas favorece as profundidades mínimas observadas. Além disso, para um dos casos a diferença de altura de maré entre a passagem dos dois navios favoreceu ainda mais a profundidade para aquele que passou com a preamar próxima a isobatimétrica a oeste da região do Agrião. No entanto, para os dois outros casos, essa diferença não favoreceu os navios com as maiores profundidades mínimas. Todavia, ainda assim considerando a diferença de altura de maré, os mesmos continuaram apresentando profundidades mínimas mais vantajosas.

## 4.6. Otimização de Calado com auxílio da Maré

### 4.6.1. MV TIANJIN PIONEER

A análise deste tópico tem por objetivo selecionar uma única passagem realizada por um navio saindo do porto, em situação de carregamento positiva. Tendo isso em vista, foi selecionado o navio “MV TIANJIN PIONEER”, ilustrado na Figura 29 a seguir, que iniciou a passagem pelo trecho de batimetria crítica na noite do dia 23 de março de 2017.



**Figura 29: Ilustração do Navio Tianjin Pioneer**

Fonte: Site *Baltic Shipping Services*, 2018.

Segundo declarado pela empresa, a embarcação navegou com um calado de 11,55m na preamar noturna do dia 23 de março de 2017. Abaixo é possível observar a Tabela 6 de premares no trecho crítico para todo o mês de março do ano de 2017. Além disso, foram calculadas as diferenças de maré para a maré do dia em que o navio realizou a passagem pela região.

**Tabela 6: Altura de maré acima do valor de referência da passagem para o mês de março de 2017.**

<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
1/3/17 0:38	3,02	0,67
1/3/17 12:53	2,95	0,60

<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
2/3/17 1:13	2,95	0,60
2/3/17 13:43	2,95	0,60
3/3/17 1:57	2,95	0,60
3/3/17 14:30	2,88	0,53
4/3/17 2:51	2,82	0,46
4/3/17 15:19	2,75	0,40
5/3/17 3:51	2,61	0,26
5/3/17 16:23	2,61	0,26
6/3/17 5:02	2,48	0,13
6/3/17 17:34	2,48	0,13
7/3/17 6:21	2,41	0,06
7/3/17 18:47	2,48	0,13
8/3/17 7:38	2,48	0,13
8/3/17 19:53	2,55	0,20
9/3/17 8:43	2,55	0,20
9/3/17 20:53	2,61	0,26
10/3/17 9:36	2,68	0,33
10/3/17 21:49	2,68	0,33
11/3/17 10:17	2,75	0,40
11/3/17 22:40	2,75	0,40
12/3/17 10:58	2,82	0,46
12/3/17 23:13	2,75	0,40
13/3/17 11:45	2,82	0,46
13/3/17 23:53	2,82	0,46
14/3/17 12:17	2,82	0,46
15/3/17 0:38	2,75	0,40
15/3/17 12:53	2,75	0,40
16/3/17 1:08	2,68	0,33
16/3/17 13:36	2,68	0,33
17/3/17 1:51	2,61	0,26
17/3/17 14:08	2,61	0,26
18/3/17 2:40	2,48	0,13
18/3/17 14:55	2,55	0,20
19/3/17 3:32	2,35	0,00
19/3/17 15:49	2,41	0,06
20/3/17 4:38	2,28	-0,06
20/3/17 16:51	2,35	0,00
21/3/17 5:47	2,21	-0,13
21/3/17 17:57	2,28	-0,06
22/3/17 6:51	2,21	-0,13
22/3/17 18:58	2,28	-0,06
23/3/17 7:51	2,28	-0,06
<b>23/3/17 19:57</b>	<b>2,35</b>	<b>0,00<sup>[1]</sup></b>

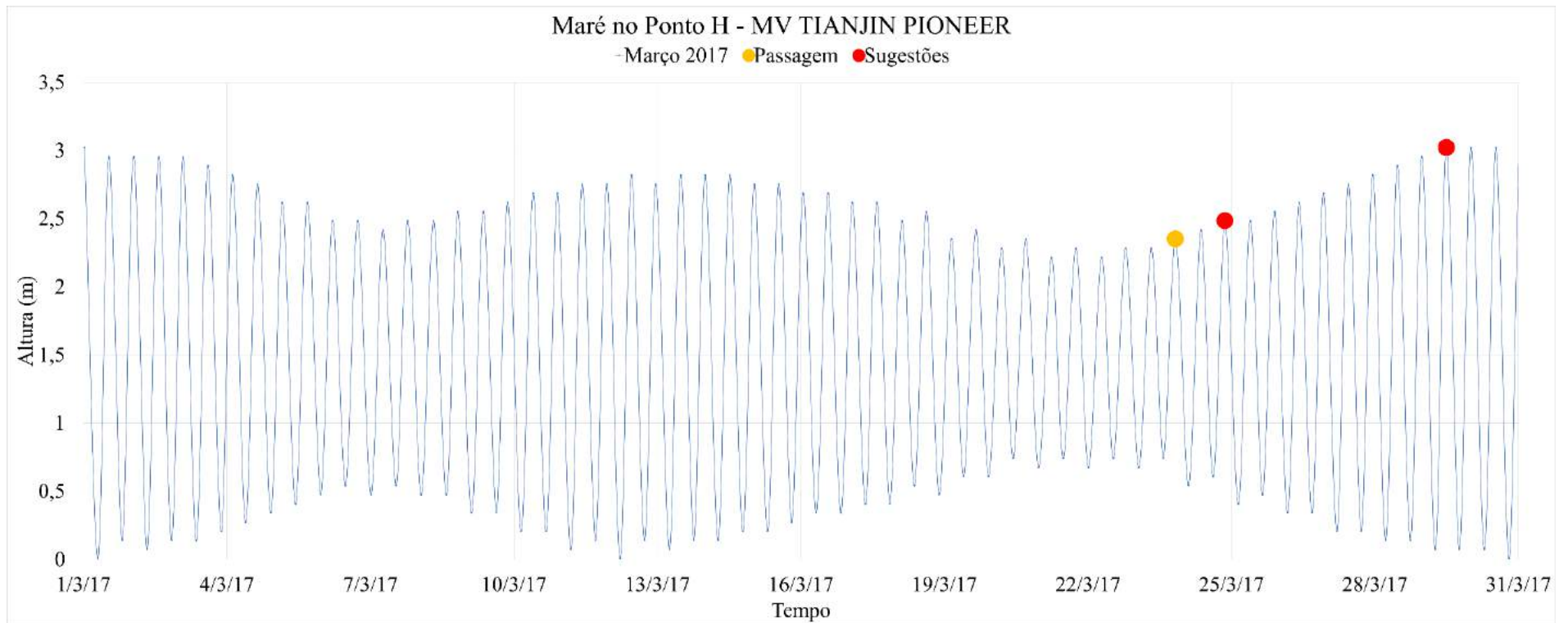


<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
24/3/17 8:45	2,41	0,06
<b>24/3/17 20:49</b>	<b>2,48</b>	<b>0,13<sup>[2]</sup></b>
25/3/17 9:28	2,48	0,13
25/3/17 21:38	2,55	0,20
26/3/17 10:00	2,61	0,26
26/3/17 22:12	2,68	0,33
27/3/17 10:43	2,75	0,40
27/3/17 22:51	2,82	0,46
28/3/17 11:13	2,88	0,53
28/3/17 23:36	2,95	0,60
<b>29/3/17 11:51</b>	<b>3,02</b>	<b>0,67<sup>[3]</sup></b>
30/3/17 0:10	3,02	0,67
30/3/17 12:40	3,02	0,67
31/3/17 0:53	3,02	0,67
31/3/17 13:15	3,02	0,67

[1] – Dia da passagem do Navio

[2] – Maior diferença de altura de maré em 1 dia da passagem do navio

[3] – Maior diferença de altura de maré considerando o mês todo.



**Figura 30: Maré no Ponto H - MV TIANJIN PIONEER**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Com essas informações é possível concluir que com as oscilações de maré, caso o navio tivesse, por exemplo, realizado a passagem pelo trecho crítico na preamar noturna do dia seguinte (24 de março de 2017), seria possível navegar com 13 centímetros a mais de calado. Tudo isso, considerando as mesmas condições da navegação que aferiram o sucesso da passagem.

De forma a quantificar esse ganho em valores monetários, foi realizada uma última análise. Como pode ser observado na Figura 29, o navio “TIANJIN PIONEER” possui extensas dimensões. Segundo o site da *Baltic Shipping Services*, tal embarcação possui 225 metros de comprimento e 32 metros de largura. Totalizando uma área de 7.200m<sup>2</sup> em contato com a superfície da água do mar (considerando que as medidas foram aproximadas para efeitos de cálculo de engenharia). Tendo em vista que a densidade da água salgada é de 1,025kg/m<sup>3</sup>:

$$7.200 \text{ m}^2 \times 1,025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 7.380 \frac{\text{t}}{\text{m}}$$

Com isso, através do cálculo realizado com as medidas do navio acima citado, sabe-se que para ganhar 1,0m de calado deve-se carregar o navio com 7.380 toneladas de carga. Considerando o acréscimo de 13 centímetros possibilitado pela análise das preamares anteriormente, seria possível carregar um total de aproximadamente 989 toneladas a mais de carga durante uma única viagem.

Ademais, tendo em vista a maior diferença de altura de maré somente no mês de março, que ocorre no dia 29 por exemplo, seria possível ter um acréscimo máximo de 67 centímetros. De forma análoga, é possível concluir que, baseando-se somente no aproveitamento da preamar, seria possível carregar o navio com aproximadamente 4.944 toneladas a mais de carga a ser transportada.

Com o intuito de quantificar o ganho em termos monetários, foi utilizado um simulador de custo de transporte hidroviário do site da Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL). Adotou-se como premissa para o cálculo o transporte de granel sólido agrícola, com navegação de 6.000 quilômetros (simulando a distância para transporte até a Europa), por uma hidrovía com média restrição operacional. Tendo isso em vista foi possível concluir que as empresas de transporte poderiam ter um lucro de 184,93 reais para cada tonelada transportada a mais de carga. Com isso, caso o transporte tivesse sido feito na noite do dia 24 de março, seriam lucrados aproximadamente 182.895 reais no

total. Ademais, considerando a maior preamar do mês de março, essa diferença subiria para 914.404 reais. As quantias citadas estão ilustradas na Figura 31 a seguir.



**Figura 31: Lucro em função da diferença de altura das marés - MV TIANJIN PIONEER**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Analogamente, foram feitos estudos de custo para a variação da passagem de acordo com as alturas de maré para outros dois navios, MV PETERS e MV MARIA. Os resultados das análises também foram satisfatórios e ambas se encontram detalhadas no ANEXO VII do presente estudo.

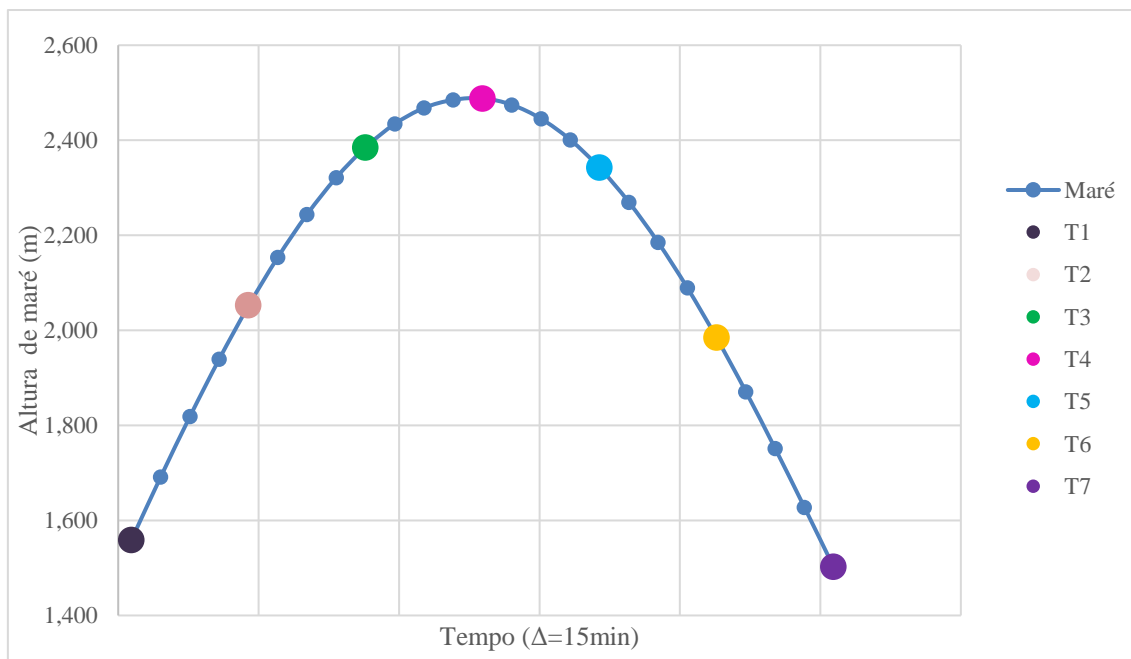
#### **4.7. Estudos de caso de variação do horário de entrada no Agrião**

Para essa análise foram selecionadas duas passagens, uma com ocorrência de preamar de sizígia e outra de quadratura. O intuito dessa análise é detalhar e confirmar as diferenças de profundidades mínimas observadas durante as passagens variando o início da mesma (análise 4.5 do presente estudo) no espaço de tempo ao redor da preamar. Com isso, o estudo visa avaliar a situação de maré, enchente ou vazante, que afere as melhores condições de profundidade na região crítica do quebra-molas.

Tendo isso em vista, para cada caso, foi calculada a função representativa da maré em relação ao ponto H, com auxílio do Microsoft Excel, a fim de plotar sete pontos com delta de uma hora entre eles. Por fim, foi plotado um último gráfico com o propósito de representar diferentes situações de passagem dos navios. Basicamente, a diferença entre elas está no tempo de entrada do navio na região de batimetria crítica, partindo do primeiro tempo, cada um entrou uma hora após o anterior.

##### **4.7.1. Caso de Quadratura: MV PETERS**

O navio selecionado para esta análise foi o MV PETERS, que realizou a passagem no dia 15 de junho de 2017. Na Figura 32, é possível observar as alturas de maré para o Ponto H em função do tempo ao longo da travessia, e em destaque estão os sete pontos selecionados pela análise. O primeiro ponto selecionado foi o da preamar (T4), depois foram criados os pontos T1 (T4-3 horas), T2 (T4-2 horas), T3 (T4-1 hora), T5 (T4+1 hora), T6 (T4+2 horas) e T7 (T4+3 horas).



**Figura 32: Tempos de passagem - MV PETERS**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Tendo em vista o gráfico anterior, observa-se que as alturas das marés dos pontos T3 e T5 são similares, porém, no primeiro caso a maré está no período de enchente e no segundo a maré está no período de vazante, o mesmo ocorre para os pontos T2 e T6 e T1 e T7. Com a definição destes sete tempos diferentes de entrada na região do agrião, foi dado prosseguimento à análise.

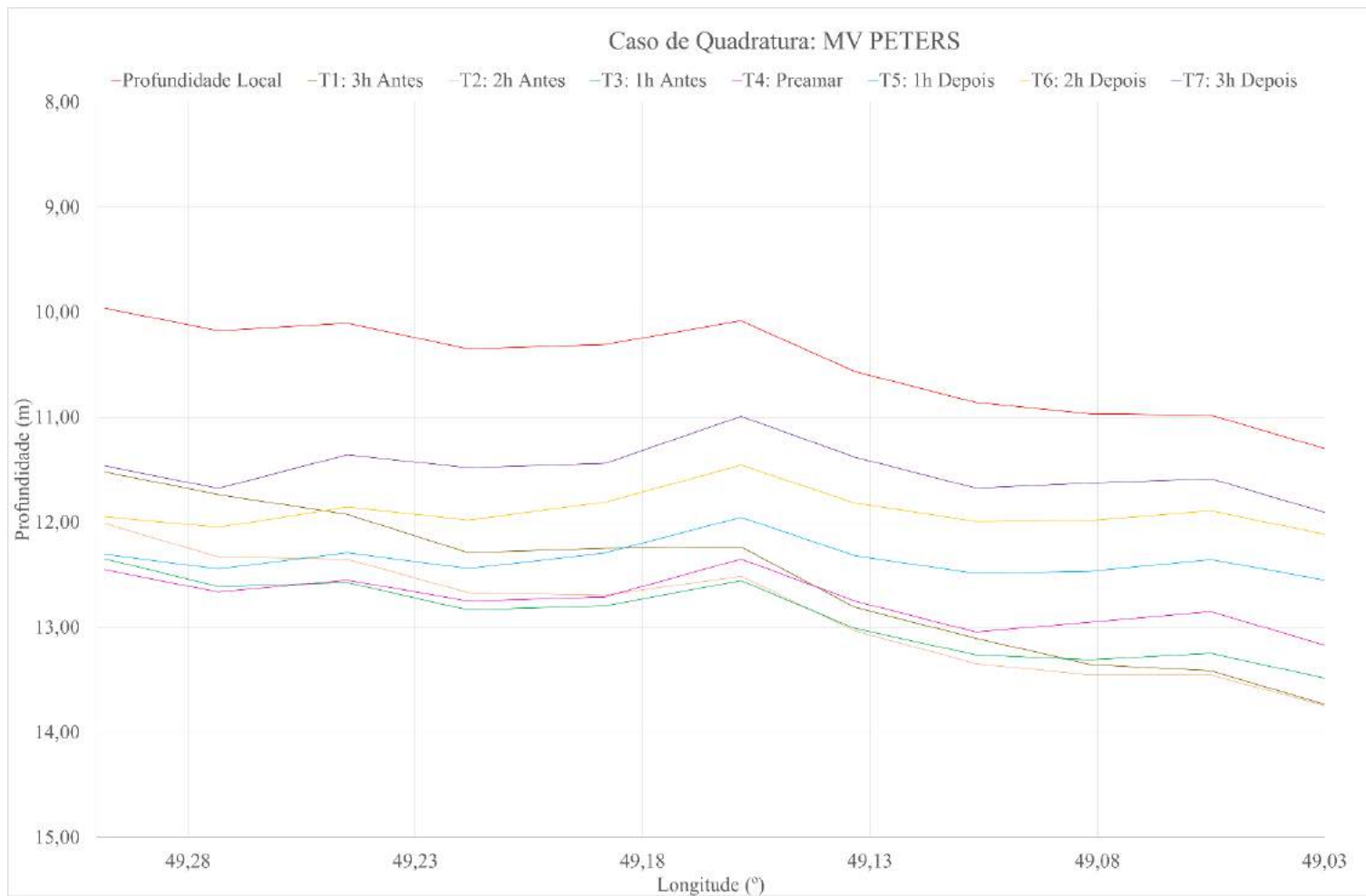
Na Figura 33, estão plotadas as profundidades que seriam encontradas pelos navios no decorrer da passagem pela região crítica, para cada tempo de entrada selecionado anteriormente. É importante ressaltar que o intervalo de tempo dos pontos do eixo x do gráfico (longitude), representa o intervalo de tempo das leituras de profundidades feitas pelo navio, no caso, 15 minutos.

A profundidade local em um determinado instante foi determinada pela diferença entre as profundidades calculadas na passagem do navio (UKC + Calado) e a maré calculada nesse mesmo instante, conforme indicado a seguir:

$$\text{Profundidade local } (t) = \text{Profundidade Navio}(t) - \text{Maré } (t)$$

Onde:

t = tempo relacionado à posição do navio (minutos).



**Figura 33: Caso de Quadratura - MV PETERS**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Tendo em vista o gráfico anterior pode-se concluir que, para o caso da preamar de quadratura, a maior profundidade mínima foi encontrada para a embarcação que navegou com o instante da preamar localizada em até 1 hora antes do início do quebra-molas (T3 ou T4), ou seja, a embarcação entrando na região do Agrião no momento da preamar.

Além disso, ao comparar as profundidades encontradas pelos navios que navegaram na enchente (T1, T2 e T3), com os que iniciaram a passagem na vazante (T5, T6 e T7) nota-se uma clara diferença a favor da enchente, ou seja, as maiores profundidades foram encontradas pelas embarcações que navegaram com a preamar localizada próxima a região Oeste do quebra-molas.

Por fim, com o objetivo de quantificar as diferenças de profundidade, foi considerada a profundidade mínima encontrada no trecho do quebra-molas para cada caso, e então foi feita a comparação dos melhores casos (T3 e T4) com o restante e foi calculada a diferença de calado, o quanto essa diferença representa em carga e o quanto essa carga apresenta em dinheiro. A conversão de calado em carga e de carga em dinheiro se deu de forma análoga à análise realizada no item 4.6 do presente estudo, os resultados obtidos encontram-se na tabela a seguir.

**Tabela 7: Comparação de casos - MV PETERS**

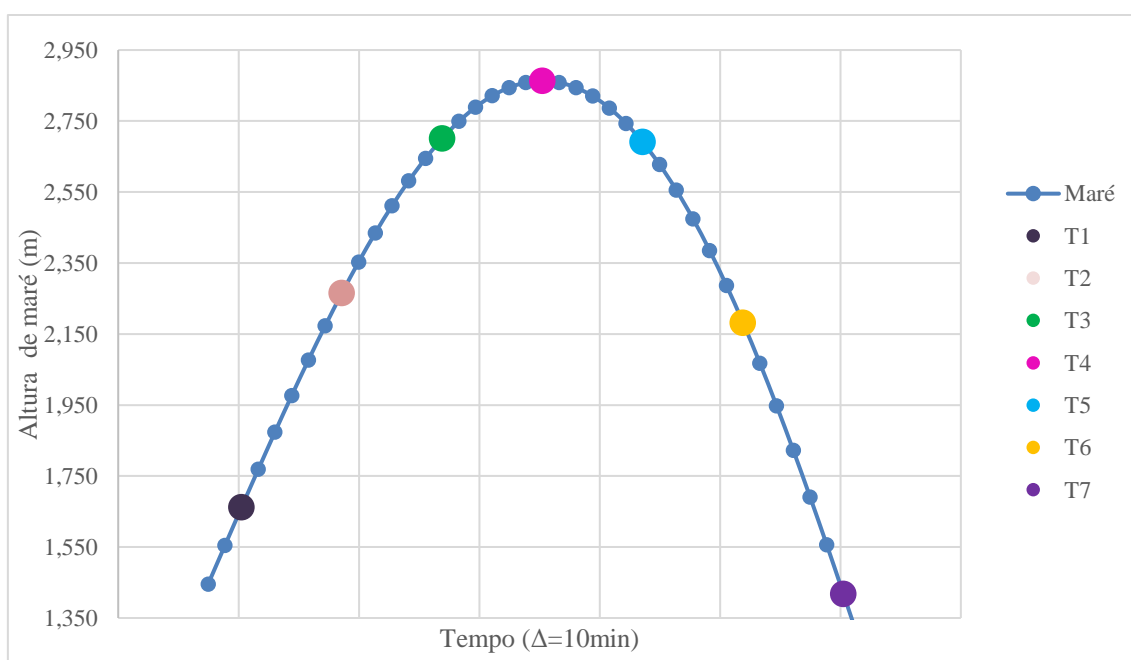
Caso	Profundidade Mínima	Diferença para a maior Profundidade		
		Calado	Representação em carga	Representação em dinheiro
	(m)	(cm)	(ton)	(reais)
T1	11,52	-82	6119,49	R\$ 1.131.677,73
T2	12,01	-33	2485,29	R\$ 459.604,98
T3	12,35	0	0,00	R\$ 0,00
T4	12,35	0	0,00	R\$ 0,00
T5	11,95	-39	2945,25	R\$ 544.665,76
T6	11,45	-89	6602,81	R\$ 1.221.056,81
T7	10,99	-135	10034,52	R\$ 1.855.683,64

Tendo em vista os resultados explicitados na tabela anterior, pode-se observar que a diferença de calado pode chegar a 135 cm ou, em dinheiro, R\$ 1.855.683,64. É importante ressaltar que a diferença entre as passagens T3 ou T4 e T7, que geraram tal diferença, foi de 3 horas, que é aproximadamente o tempo de travessia.



#### 4.7.2. Caso de Sizígia: MV MARIA

Com o objetivo de verificar se o comportamento observado durante a quadratura é semelhante ao da sizígia, o navio selecionado para esta análise foi o MV MARIA, que realizou a passagem entre os dias 24 e 25 de junho de 2017. Na Figura 34, é possível observar as alturas de maré para o Ponto H em função da longitude, e em destaque estão os sete pontos selecionados pela análise. O primeiro ponto selecionado foi o da preamar (T4), depois foram criados os pontos T1 (T4-3 horas), T2 (T4-2 horas), T3 (T4-1 hora), T5 (T4+1 hora), T6 (T4+2 horas) e T7 (T4+3 horas).



**Figura 34: Tempos de passagem - MV MARIA**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Tendo em vista o gráfico anterior, observa-se que as alturas das marés dos pontos T3 e T5 são similares, porém, no primeiro caso a maré está no período de enchente e no segundo a maré está no período de vazante, o mesmo ocorre para os pontos T2 e T6, assim como T1 e T7. Com a definição destes sete tempos diferentes de entrada na região do agrião, foi dado prosseguimento à análise.

Na Figura 35, estão plotadas as profundidades que seriam encontradas pelos navios no decorrer da passagem pela região crítica, para cada tempo de entrada selecionado

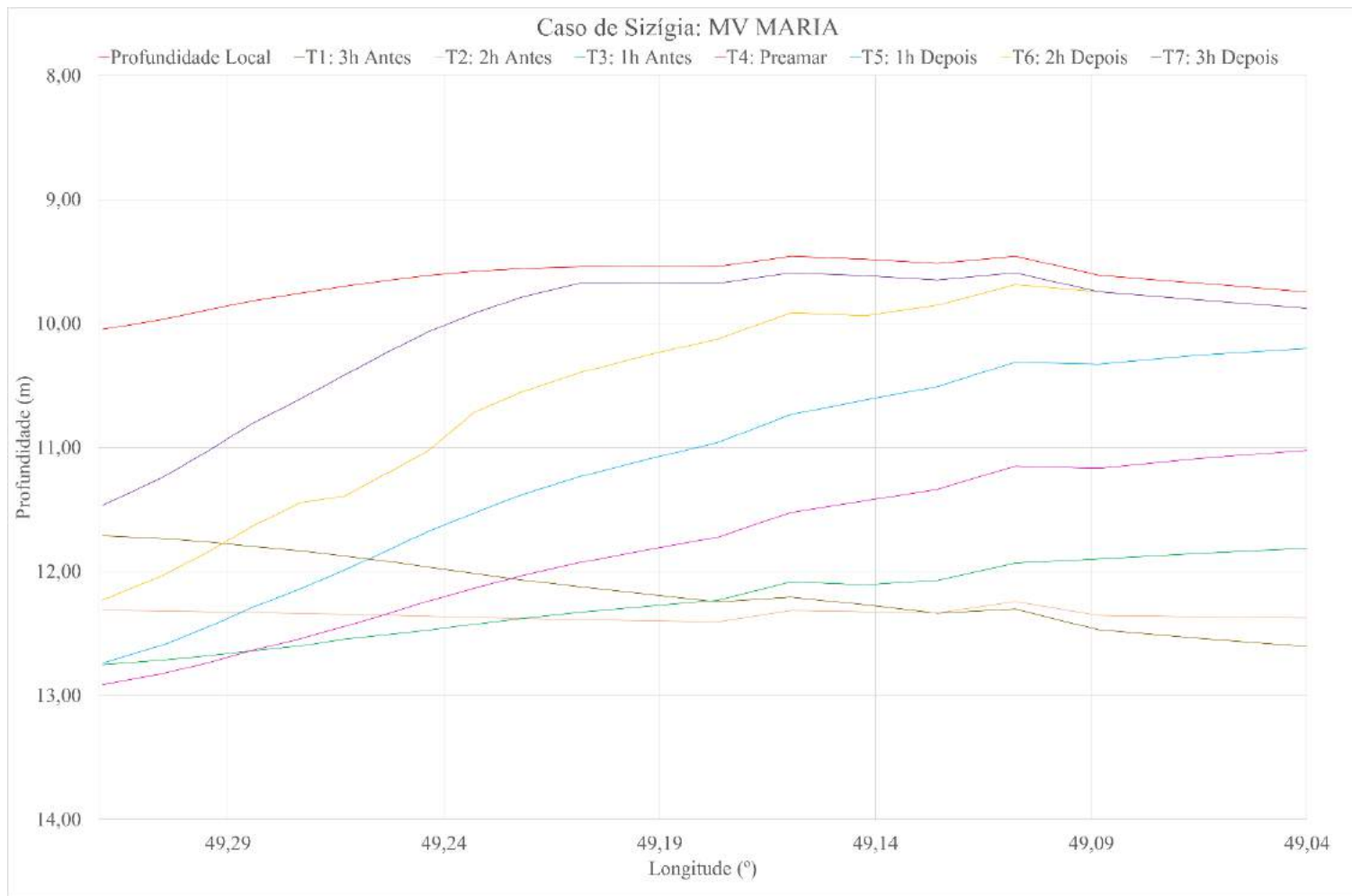
anteriormente. É importante ressaltar que o intervalo de tempo dos pontos do eixo x do gráfico (longitude), representa o intervalo de tempo das leituras de profundidades feitas pelo navio, no caso, 10 minutos.

A profundidade local em um determinado instante foi determinada pela diferença entre as profundidades calculadas na passagem do navio (UKC + Calado) e a maré calculada nesse mesmo instante, conforme indicado a seguir:

$$\textit{Profundidade local (t)} = \textit{Profundidade Navio(t)} - \textit{Maré (t)}$$

onde:

t = tempo relacionado à posição do navio (minutos).



**Figura 35: Caso de Sízgia - MV MARIA**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Tendo em vista o gráfico anterior pode-se concluir que, para o caso da preamar de sizígia, a maior profundidade foi encontrada para a embarcação que navegou com o instante da preamar localizada à Oeste do quebra-molas durante a maré de enchente (T2), aproximadamente 2 horas antes da preamar.

Além disso, ao comparar as profundidades encontradas pelos navios que navegaram na enchente (T1, T2 e T3), com os que iniciaram a passagem na vazante (T5, T6 e T7) nota-se uma clara diferença a favor da enchente, ou seja, as maiores profundidades foram encontradas pelas embarcações que navegaram com a preamar localizada próxima a região Oeste do quebra-molas.

Por fim, com o objetivo de quantificar as diferenças de profundidade, foi considerada a profundidade mínima encontrada no trecho do quebra-molas para cada caso, e então foi feita a comparação do melhor caso (T2) com o restante e foi calculada a diferença de calado, o quanto essa diferença representa em carga e o quanto essa carga apresenta em dinheiro. A conversão de calado em carga e de carga em dinheiro se deu de forma análoga à análise realizada no item 4.6 do presente estudo, os resultados obtidos encontram-se na tabela a seguir.

**Tabela 8: Comparação de casos – MV MARIA**

Caso	Profundidade Mínima	Diferença para a maior Profundidade		
		Calado	Representação em carga	Representação em dinheiro
	(m)	(cm)	(ton)	(reais)
T1	11,70	-53	3978,68	R\$ 735.776,74
T2	12,24	0	0,00	R\$ 0,00
T3	11,81	-43	3212,50	R\$ 594.088,00
T4	11,02	-122	9105,07	R\$ 1.683.801,37
T5	10,20	-204	15211,82	R\$ 2.813.121,92
T6	9,68	-255	19045,68	R\$ 3.522.117,76
T7	9,58	-265	19774,65	R\$ 3.656.926,33

Tendo em vista os resultados explicitados na tabela anterior, pode-se observar que a diferença de calado pode chegar a 265 cm ou, em dinheiro, R\$ 3.656.926,33. É importante ressaltar que a diferença entre as passagens T2 e T7, que geraram tal diferença, foi de 5 horas.

## 5. CONCLUSÕES

Para o presente estudo, todos os procedimentos descritos na metodologia foram realizados, atendendo aos objetivos propostos. O trabalho obteve resultados interessantes que serão importantes para orientar a navegação na Barra Norte do Rio Amazonas e motivar estudos futuros para que mais informações sejam agregadas.

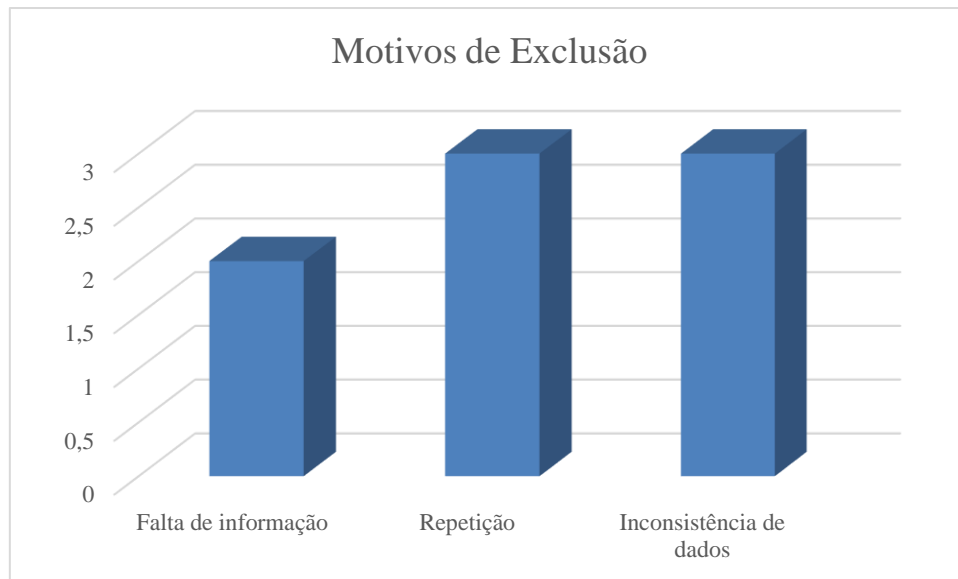
Primeiramente, faz-se necessário registrar as dificuldades encontradas nas etapas de tratamento, filtragem e padronização dos dados. Tendo em vista que cada embarcação possui um modelo diferente para registrar e salvar as informações, foram recebidos no total 60 arquivos com extensão, organização e até mesmo conteúdos totalmente diferentes. Indubitavelmente, a falta de padronização dificulta e retarda o tratamento de dados.



**Figura 36: Representatividade dos dados**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Como pode ser observado na Figura 36, oito dos arquivos recebidos foram excluídos das análises por apresentarem diferentes empecilhos para seu uso. Tais motivos para exclusão estão discriminados no gráfico a seguir.



**Figura 37: Motivos da Exclusão de arquivos**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Tendo em vista os motivos explicitados acima, é essencial salientar que o desprovimento, por parte de algumas embarcações, de um meio automatizado para coleta de dados, acaba por facilitar a ocorrência de erros ao registrar manualmente as informações. Tais falhas humanas podem ser facilmente contornadas na medida em que se adotem equipamentos adequados para que os registros sejam realizados de forma automatizada. É importante lembrar que esses equipamentos não devem ser vistos como um custo a mais, mas sim como um investimento por parte das empresas, uma vez que os dados serão utilizados para favorecer os estudos.

Considerando a praticidade para implementação e a enorme vantagem que poderá trazer aos trabalhos futuros, o estudo propõe um modelo de planilha a fim de padronizar os dados. A mesma se encontra no ANEXO III. Ressalta-se que a planilha foi utilizada para filtragem de informações do estudo, e estende-se como sugestão inicial, que poderá ser acrescida de outras informações necessárias.

Em relação as rotas de passagem dos navios, as análises realizadas com o intuito de delimitar espacialmente as mesmas foram satisfatórias e demonstraram a ocorrência de um padrão utilizado pelas embarcações. Conclui-se que os navios que saem do porto “CARREGADOS” tendem a atravessar o trecho do quebra-molas utilizando rotas muito semelhantes e que coincidem com o trecho de menor extensão do mesmo. Tal observação

faz sentido na medida em que os mesmos estão transportando toneladas de carga e conseqüentemente possuem elevados calados, limitados pela NPCF-CFS (2015) em 11,5m.

Em contraposição, o mesmo não foi observado para navios “EM LASTRO”, cujos calados são inferiores aos dados de profundidade mínima da Carta 21300 e, portanto, são capazes de trafegar pela região sem preocupação relacionada à lâmina d’água disponível para navegação.

As passagens analisadas ocorreram em um espaço temporal de maio de 2016 a janeiro de 2018, e através do gráfico da Figura 16 observou-se que, em sua maioria, os navios saindo do continente tendem a programar a passagem pelo trecho do Agrião para que a mesma ocorra em períodos de preamar, onde as alturas de maré são mais elevadas.

Além disso, através da observação das análises que proporcionaram a visualização do corte transversal e longitudinal da região de passagem dos navios pelo quebra-molas, constatou-se a presença de um local com batimetria ainda mais crítica. O mesmo está situado no extremo Oeste da zona do Agrião, aproximadamente limitado pelas coordenadas longitudinais 49,35° W a 49,15°W e latitudinais 1,3°N a 1,4°N.

Considerando o fato acima citado, foi constatado para os navios que estavam saindo “CARREGADOS” que a maioria deles apresentava a preamar posicionada logo na entrada do Agrião (lado oeste), ou seja, as embarcações experimentavam a maior altura de maré justamente durante a passagem pela região com profundidades mais rasas, o que de certa forma é coerente. No entanto, quanto ao tipo de maré (sizígia ou quadratura), não foi observado um padrão significativo, na medida em que a ocorrência de ambos os tipos de maré se deu de forma similar.

Tendo em vista essa mesma análise, só que para os navios entrando em direção ao continente, não foi possível observar um padrão para a incidência de preamares e/ou baixa-mares na zona do Agrião. Assim como já mencionado anteriormente, as baixas medidas de calado observadas para os navios que estão “EM LASTRO” podem ser uma justificativa plausível para a despreocupação quanto a maré durante a navegação dos mesmos.

Ademais, para as análises realizadas com o intuito de investigar o melhor posicionamento das preamares para os navios que se encontravam saindo do continente “CARREGADOS” por uma rota similar, concluiu-se que as embarcações que

posicionaram a preamar mais a Oeste da zona do Agrião encontraram profundidades mínimas mais favoráveis. Ou seja, conseguiram aproveitar a maré para navegar de forma mais segura e vantajosa iniciando a passagem pelo Agrião durante o período de enchente da maré. Foram analisadas seis situações, entre elas três preamares de sizígia e três de quadratura, e em todos os casos, sem exceção, esse padrão se confirmou.

Tendo em vista a análise realizada e descrita no item 4.6 do presente relatório, objetivou-se analisar passagens individuais, tanto de sizígia quanto de quadratura, a fim de atribuir valores à otimização de calado resultante de um melhor aproveitamento da preamar. Conclui-se que ao variar o dia da passagem pode-se obter um aumento de profundidade devido a ocorrência de alturas de maré superiores, e conseqüentemente torna-se possível elevar a quantidade de carga transportada durante uma única viagem. Além disso, observou-se que o caso que o navio atravessou a região do Agrião durante a maré de quadratura, é o caso que se pode obter os maiores ganhos monetários variando o dia da passagem se comparado ao caso de sizígia.

Os resultados obtidos com elevados ganhos monetários motivaram a realização de análises detalhadas para variações horárias de entrada dos navios na região crítica. Foi observado que, tanto na maré de sizígia quanto na maré de quadratura o melhor instante da preamar localiza-se à Oeste do quebra-molas e as situações onde os navios entram durante a maré de enchente (entre 1 e 2 horas antes da preamar), o que reforçou os resultados obtidos nas análises anteriores.

Outrossim, é importante ressaltar que o estudo em questão utilizou o Ponto H como referência para o cálculo da maré, através das condições estabelecidas pela Carta Náutica 21300. Todavia, como mencionado, ao longo da região do quebra-molas poderá ocorrer variação de 0,5 metros de altura de maré em um período de 1 hora (VILELA,2011). Desse modo, tal fato poderá explicar algumas divergências observadas pelas análises.

O trabalho deixa como legado não só os resultados das análises, a fim de contribuir para o aprimoramento das condições de segurança e navegabilidade na Barra Norte do Rio Amazonas, como também sugestões de melhorias a fim de padronizar e automatizar a coleta de dados para que futuramente outros estudos consigam ser realizados de forma a colaborar com o mesmo propósito.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARENTZ, Maria Fernanda Rezende. **A modelagem hidrodinâmica como auxílio à navegação no canal norte do estuário do Amazonas**. 2009. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CONSELHO TÉCNICO ZP-01. **Consulta de Calado – Barra Norte**. Parecer Técnico nº09, Belém, 2017.

D'ALMEIDA, Jorge. **Arquitetura Naval: O Dimensionamento do Navio**. 1. ed. Lisboa: Prime Books, 2009. 248p.

FONSECA, Maurílio M. Arte naval. **Rio de Janeiro-RJ: Serviço de Documentação da Marinha**, v. 1, 2002.

GALLO, Marcos Nicolás e VINZON, Susana Beatriz. **Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary**. 2005. *Ocean Dynamics*, v. 55 (5-6), pp. 441-448.

GEYER, W. Rockwell *et al.* Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5-6, p. 575-616, 1996.

IMEA. Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária. **Entendendo o Mercado da Soja**. Cuiabá: IMEA, 2016. Disponível em [http: <www.imea.com.br](http://www.imea.com.br). Acesso em 20 de dezembro de 2016>. Acesso em: 13 mar, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Acervo dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Documentação e Biblioteca, 2015.

KAMPHUIS, J. William. **Introduction to coastal engineering and management**. World Scientific, 2010.

MARINE TRAFFIC. **Juruti Bulk Carrier**. Disponível em: <https://www.marinetraffic.com/pt/ais/details/ships/shipid:775104/imo:9473339/mmsi:710008790/vessel:JURUTI>> Acesso em: 20 jan. 2018.

MARINHA DO BRASIL. **Carta Náutica 21300 – Do Cabo Norte ao Cabo Maguari**. Diretoria de Hidrografia e Navegação.

MARINHA DO BRASIL. **Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial de Santarém (NPCF-CFS)**, Santarém, 2015.

MARINHA DO BRASIL. **Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos da Amazônia Oriental (NPCP-CPAOR)**, Belém, 2015.

MARINHA DO BRASIL. **Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Amapá (NPCP-CPAP)**, Macapá, 2015.

MARINHA DO BRASIL. **Tábuas de Marés 2016 a 2018**. Diretoria de Hidrografia e Navegação.

MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Infraestrutura e logística – escoamento da Safra**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/infraestrutura-e-logistica/infraestrutura-e-logistica>> Acesso em: 10fev. 2018.

OECD/FAO (2017), **OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026**, OECD Publishing, Paris. 2017.

PINHEIRO, Fernanda Mattos. **Morfodinâmica da Barra Norte do Rio Amazonas sob a ótica da Segurança da Navegação**. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2013.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA (SNA). **Arco Norte se consolida no escoamento de grãos. Pará é aposta para próximos anos**. Disponível em: <<http://sna.agr.br/arco-norte-se-consolida-no-escoamento-de-graos-para-e-aposta-para-proximos-anos/>> Acesso em: 29 jan. 2018.

STERN, David P. Latitude and longitude. **Web page, NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland**, v. 17, 2004.

VALENTINI, Enise. **Notas de Aula de Hidráulica Marítima**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

VILELA, Carla de Paula Xavier. **Influência da hidrodinâmica sobre os processos de acumulação de sedimentos finos no estuário do rio amazonas**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

WATANABE, Gilberto Akio Oliveira. **Marés internas semi-diurnas na plataforma continental amazônica**. 2014. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2014.

# ANEXO I

 <b>REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL</b> <b>CADASTRO NACIONAL DA PESSOA JURÍDICA</b>		
NÚMERO DE INSCRIÇÃO <b>60.498.706/0001-57</b> MATRIZ	<b>COMPROVANTE DE INSCRIÇÃO E DE SITUAÇÃO CADASTRAL</b>	DATA DE ABERTURA <b>31/12/1965</b>
NOME EMPRESARIAL <b>CARGILL AGRICOLA S A</b>		
TÍTULO DO ESTABELECIMENTO (NOME DE FANTASIA) *****		
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE ECONÔMICA PRINCIPAL <b>10.42-2-00 - Fabricação de óleos vegetais refinados, exceto óleo de milho</b>		
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS SECUNDÁRIAS <b>46.32-0-01 - Comércio atacadista de cereais e leguminosas beneficiados</b> <b>10.65-1-03 - Fabricação de óleo de milho refinado</b> <b>19.32-2-00 - Fabricação de biocombustíveis, exceto álcool</b> <b>46.84-2-99 - Comércio atacadista de outros produtos químicos e petroquímicos não especificados anteriormente</b> <b>52.50-8-05 - Operador de transporte multimodal - OTM</b> <b>46.83-4-00 - Comércio atacadista de defensivos agrícolas, adubos, fertilizantes e corretivos do solo</b> <b>20.13-4-02 - Fabricação de adubos e fertilizantes, exceto organo-minerais</b> <b>50.21-1-02 - Transporte por navegação interior de carga, intermunicipal, interestadual e internacional, exceto travessia</b> <b>50.30-1-02 - Navegação de apoio portuário</b> <b>52.31-1-02 - Atividades do Operador Portuário</b> <b>37.01-1-00 - Gestão de redes de esgoto</b> <b>82.99-7-99 - Outras atividades de serviços prestados principalmente às empresas não especificadas anteriormente</b> <b>35.30-1-00 - Produção e distribuição de vapor, água quente e ar condicionado</b> <b>71.20-1-00 - Testes e análises técnicas</b> <b>20.93-2-00 - Fabricação de aditivos de uso industrial</b>		
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA NATUREZA JURÍDICA <b>205-4 - Sociedade Anônima Fechada</b>		
LOGRADOURO <b>AV DOUTOR CHUCRI Z Aidan</b>	NÚMERO <b>1240</b>	COMPLEMENTO <b>ANDAR 6 AO 9 TORRE DIAMOND</b>
CEP <b>04.711-130</b>	BAIRRO/DISTRITO <b>VILA Sao FRANCISCO (ZONA SUL)</b>	MUNICÍPIO <b>Sao PAULO</b>
UF <b>SP</b>	ENDEREÇO ELETRÔNICO	
TELEFONE <b>(11) 5099-3311</b>		
ENTE FEDERATIVO RESPONSÁVEL (EFR) *****		
SITUAÇÃO CADASTRAL <b>ATIVA</b>	DATA DA SITUAÇÃO CADASTRAL <b>03/11/2005</b>	
MOTIVO DE SITUAÇÃO CADASTRAL		
SITUAÇÃO ESPECIAL *****	DATA DA SITUAÇÃO ESPECIAL *****	

## ANEXO II

 <b>REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL</b> <b>CADASTRO NACIONAL DA PESSOA JURÍDICA</b>			
NÚMERO DE INSCRIÇÃO <b>33.127.002/0001-03</b> <b>MATRIZ</b>		<b>COMPROVANTE DE INSCRIÇÃO E DE SITUAÇÃO CADASTRAL</b>	
		DATA DE ABERTURA <b>06/03/1964</b>	
NOME EMPRESARIAL <b>CIA DE NAVEGACAO NORSUL</b>			
TÍTULO DO ESTABELECIMENTO (NOME DE FANTASIA) *****			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE ECONÔMICA PRINCIPAL <b>50.11-4-01 - Transporte marítimo de cabotagem - Carga</b>			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS SECUNDÁRIAS <b>50.12-2-01 - Transporte marítimo de longo curso - Carga</b>			
CÓDIGO E DESCRIÇÃO DA NATUREZA JURÍDICA <b>205-4 - Sociedade Anônima Fechada</b>			
LOGRADOURO <b>R 07</b>	NÚMERO <b>02</b>	COMPLEMENTO <b>QUADRA A</b>	
CEP <b>65.076-460</b>	BAIRRO/DISTRITO <b>SAO FRANCISCO</b>	MUNICÍPIO <b>SAO LUIS</b>	UF <b>MA</b>
ENDEREÇO ELETRÔNICO		TELEFONE	
ENTE FEDERATIVO RESPONSÁVEL (EFR) *****			
SITUAÇÃO CADASTRAL <b>ATIVA</b>		DATA DA SITUAÇÃO CADASTRAL <b>03/11/2005</b>	
MOTIVO DE SITUAÇÃO CADASTRAL			
SITUAÇÃO ESPECIAL *****		DATA DA SITUAÇÃO ESPECIAL *****	

### ANEXO III

#### Formulário de padronização de dados

<b>EMPRESA:</b>		<b>Preamar no Ponto H</b>
<b>NAVIO:</b>		
<b>CALADO (m):</b>		<b>STATUS:</b>
<b>SENTIDO:</b>		<b>Baixa-mar no Ponto H</b>

Profundidade (m)	Calado (m)	Velocidade (nós)	Latitude (°)	Longitude (°)	Data e Hora (UTC)	UKC (m)

## ANEXO IV

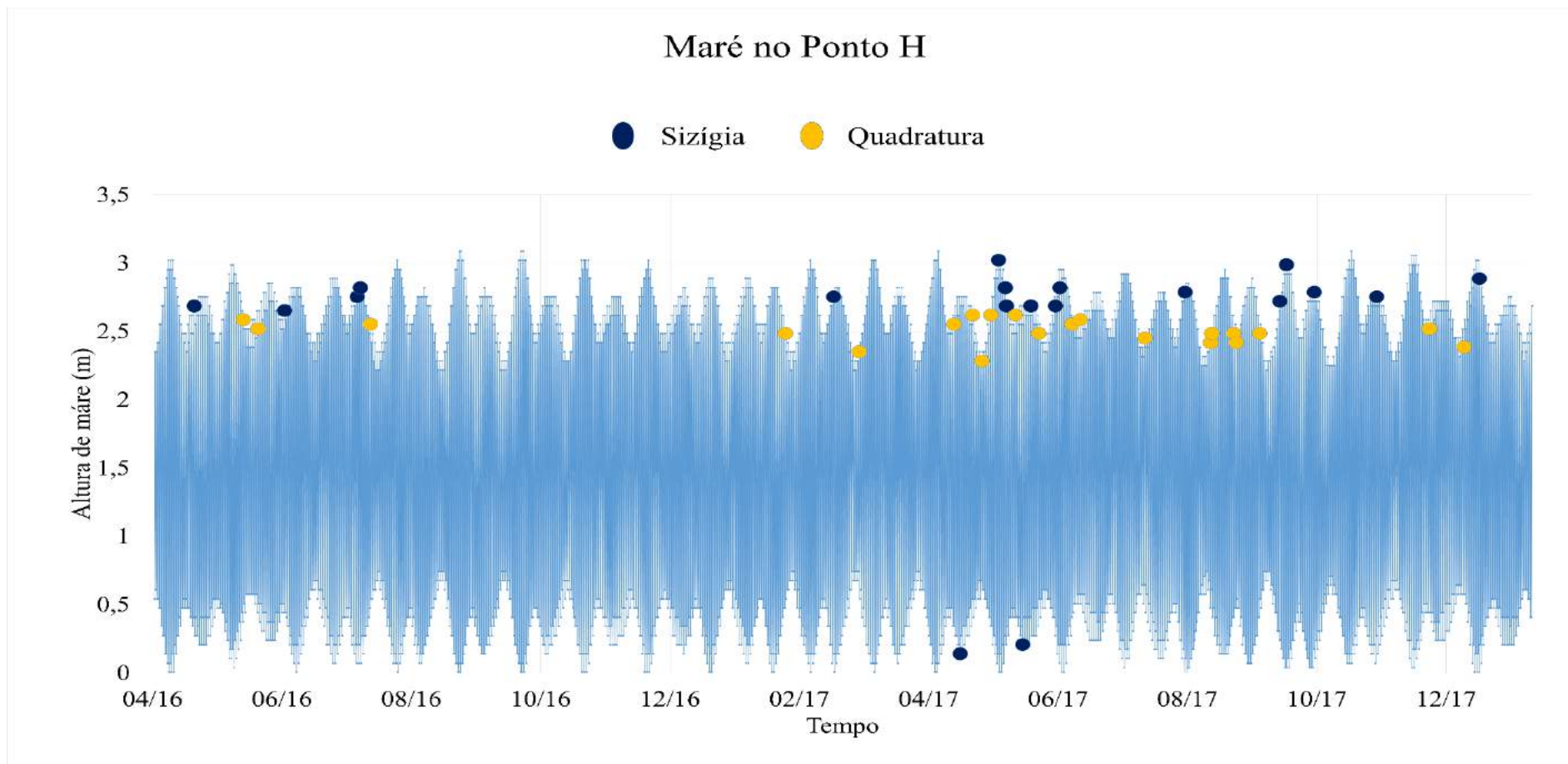


Figura 38: Gráfico com todas as preamares e baixa-mares das passagens ao longo do quebra-molas, classificadas em sizígia ou quadratura.

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

## ANEXO V

### MV TANIKASE e MV GLORY ROTTERDAM

A passagem do navio MV TANIKASE ocorreu durante a preamar do dia 25 de setembro de 2017. Já a do navio MV GLORY ROTTERDAM ocorreu na preamar do dia 11 de junho de 2016. As respectivas alturas de maré das preamares e profundidades mínimas observadas ao longo do trecho do Agrião encontram-se na Tabela 9 abaixo.

**Tabela 9: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV TANIKASE e MV GLORY ROTTERDAM.**

<b>Navio</b>	<b>Altura de maré no Ponto H [metros]</b>	<b>Profundidade mínima [metros]</b>
MV TANIKASE	2,48	12,25
GLORY ROTTERDAM	2,58	11,55

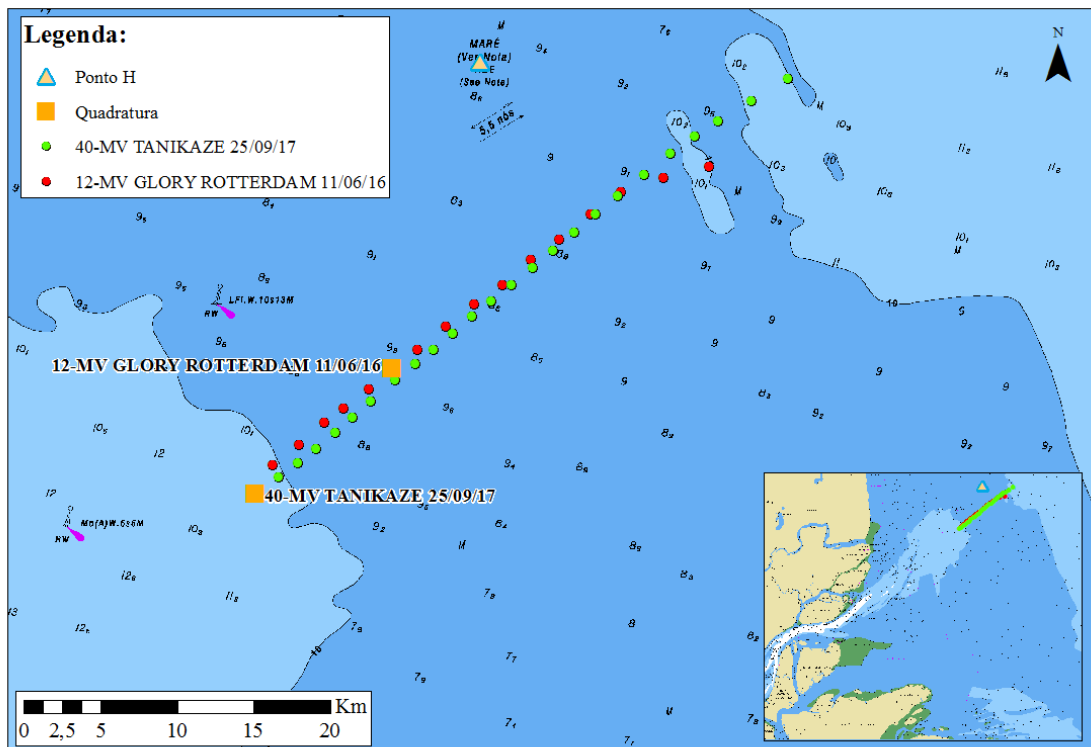
Nota-se que embora ambas as marés fossem classificadas como quadratura, a altura de maré do dia 25 de setembro de 2017 foi inferior de 10 centímetros em relação a do dia 11 de junho de 2016. Além disso, pela Figura 40 observa-se que a preamar para o navio MV TANIKASE ocorre próximo ao início da região de batimetria crítica (lado oeste), quando para o navio MV GLORY ROTTERDAM, a mesma ocorre quase no meio das duas isobatimétricas.





**Figura 39: Gráfico das Profundidades MV TANIKAZE e MV GLORY ROTTERDAM**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



**Figura 40: Mapa das Rotas MV TANIKAZE e MV GLORY ROTTERDAM**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Após a análise dos gráficos foi possível concluir que a profundidade mínima para a preamar de quadratura durante a passagem do navio MV TANIKASE foi superior à profundidade mínima do navio MV GLORY ROTTERDAM ao longo do trajeto. Tendo em vista a altura de maré para as duas situações, essa diferença se agrava ainda mais, confirmando a teoria. Desconsiderando a diferença entre as alturas de maré, ou seja, caso as duas passagens fossem realizadas com a mesma altura de maré a diferença entre as profundidades mínimas para essas passagens passaria de 70 centímetros para 80 centímetros.

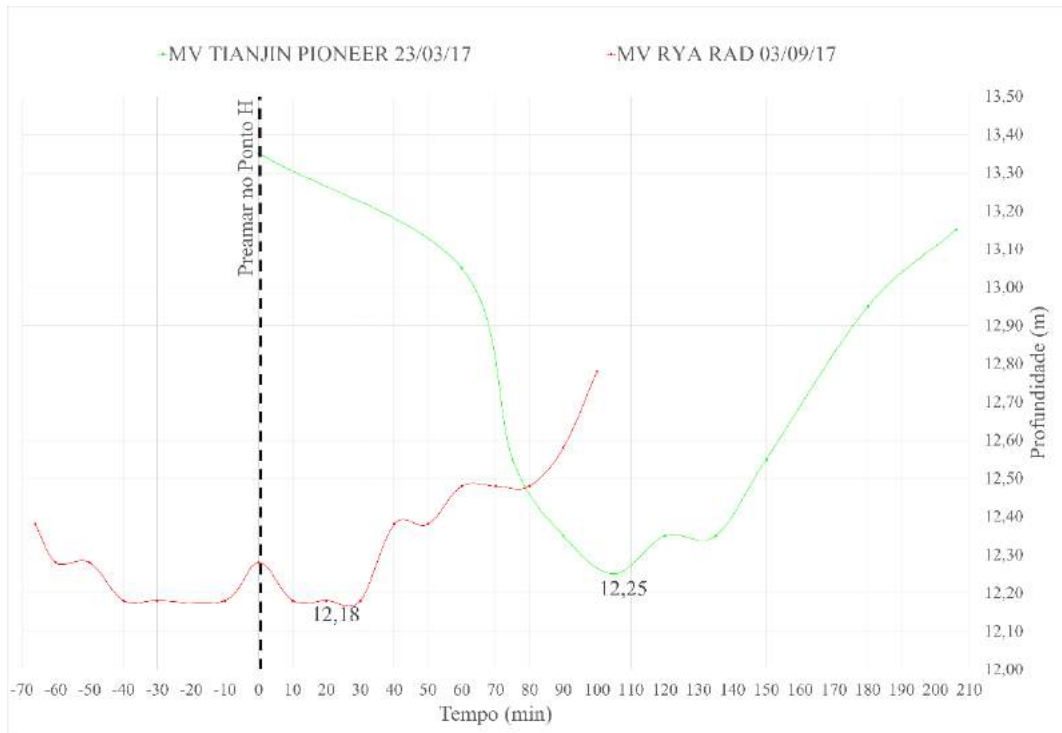
### **MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD**

A passagem do navio MV TIANJIN PIONEER ocorreu durante a preamar do dia 23 de março de 2017. Já a do navio MV RYA RAD ocorreu na preamar do dia 3 de setembro de 2017. As respectivas alturas de maré das preamares e profundidades mínimas observadas ao longo do trecho do Agrião encontram-se na Tabela 10 abaixo.

**Tabela 10: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD.**

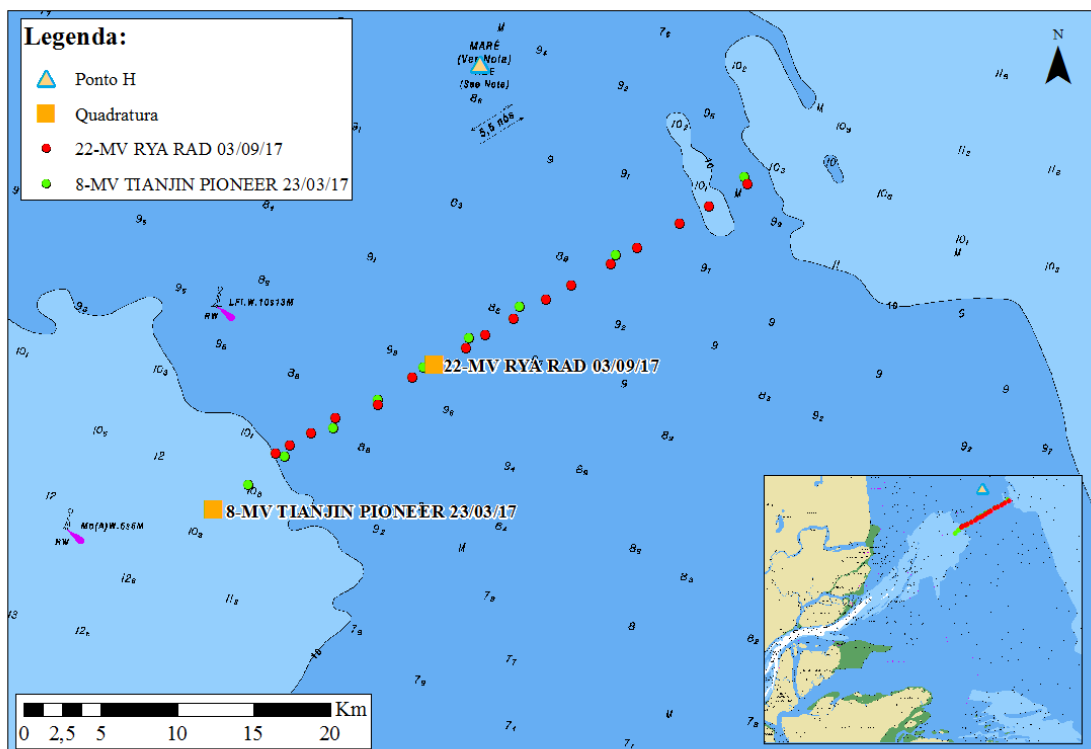
<b>Navio</b>	<b>Altura de maré no Ponto H [metros]</b>	<b>Profundidade mínima [metros]</b>
MV TIANJIN PIONEER	2,35	12,25
MV RYA RAD	2,48	12,18

Nota-se que embora ambas as marés fossem classificadas como quadratura, a altura de maré do dia 23 de março de 2017 foi inferior de 13 centímetros em relação a do dia 3 de setembro de 2017. Além disso, pela Figura 42 observa-se que a preamar para o navio MV TIANJIN PIONEER ocorre próximo ao início da região de batimetria crítica (lado oeste), quando para o navio MV RYA RAD, a mesma ocorre quase no meio das duas isobatimétricas.



**Figura 41: Gráfico das Profundidades MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



**Figura 42: Mapa da Rota MV TIANJIN PIONEER e MV RYA RAD**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Após a análise dos gráficos foi possível concluir que a profundidade mínima para a preamar de quadratura durante a passagem do navio MV TIANJIN PIONEER foi superior à profundidade mínima do navio MV RYA RAD ao longo do trajeto. Tendo em vista a altura de maré para as duas situações, essa diferença se agrava ainda mais, confirmando a teoria. Desconsiderando a diferença entre as alturas de maré, ou seja, caso as duas passagens fossem realizadas com a mesma altura de maré a diferença entre as profundidades mínimas para essas passagens passaria de 7 centímetros para 20 centímetros.

## ANEXO VI

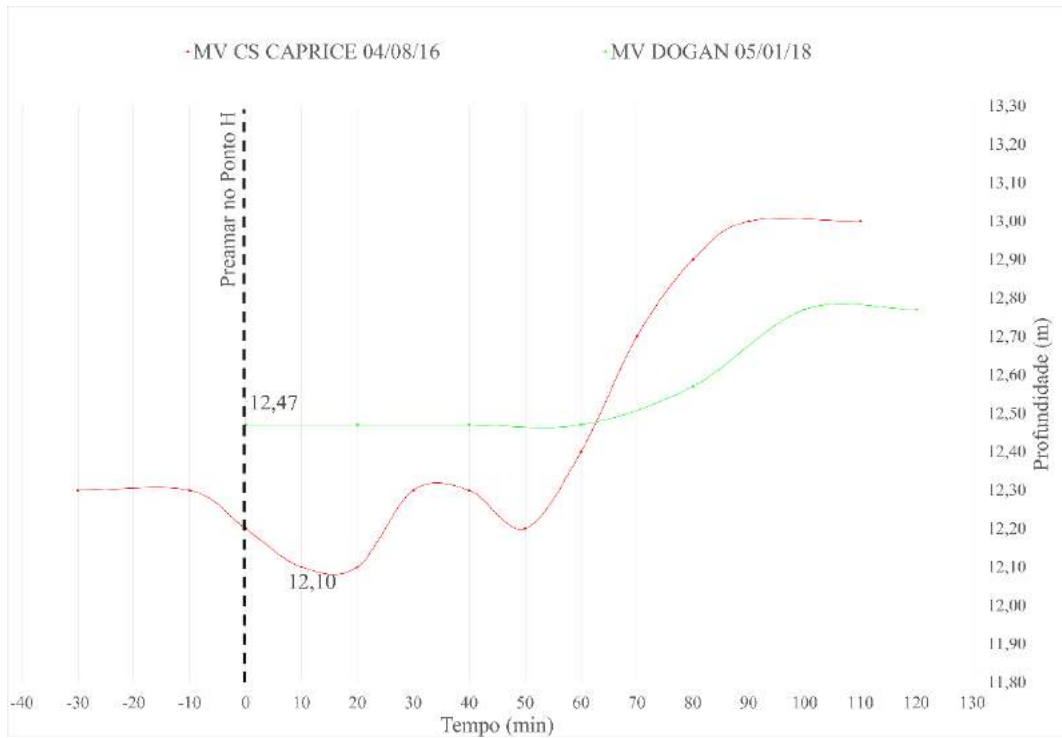
### MV DOGAN e MV CS CAPRICE

A passagem do navio MV DOGAN ocorreu durante a preamar do dia 5 de janeiro de 2018. Já a do navio MV CS CAPRICE ocorreu na preamar do dia 4 de agosto de 2016. As respectivas alturas de maré das preamares e profundidades mínimas observadas ao longo do trecho do Agrião encontram-se na Tabela 11 abaixo.

**Tabela 11: Altura de maré e profundidade mínima para os navios MV DOGAN e MV CS CAPRICE.**

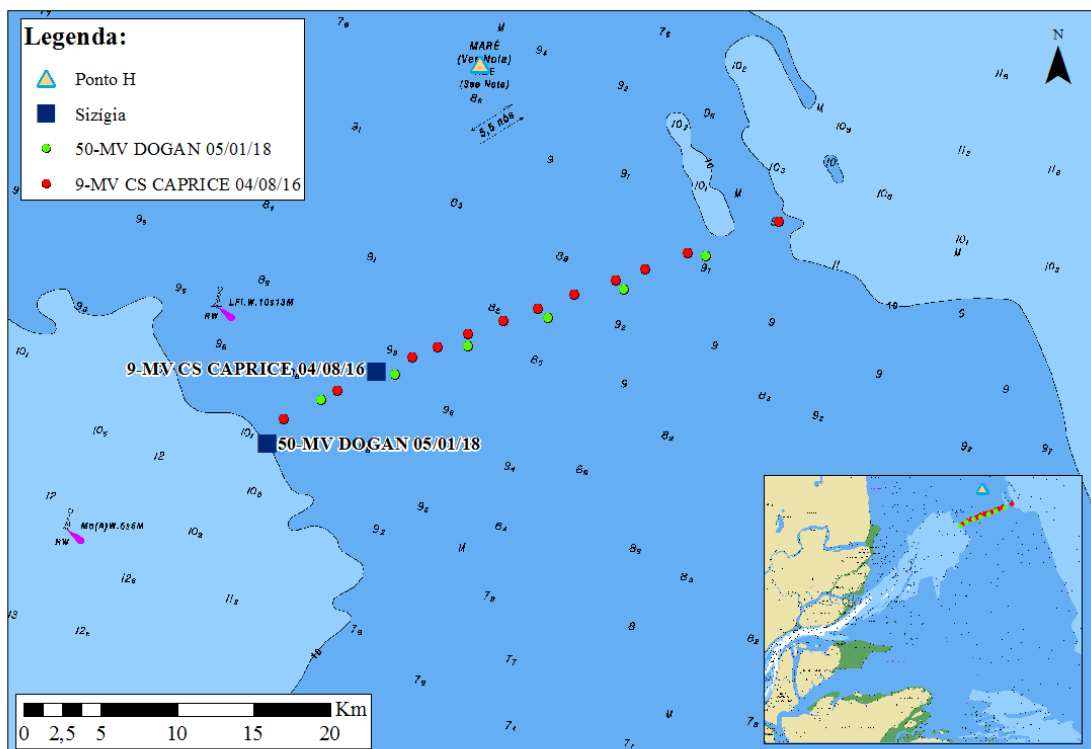
<b>Navio</b>	<b>Altura de maré no Ponto H [metros]</b>	<b>Profundidade mínima [metros]</b>
MV DOGAN	2,89	12,47
MV CS CAPRICE	2,82	12,10

Nota-se que embora ambas as marés fossem classificadas como sizígia, a altura de maré do dia 5 de janeiro de 2018 foi superior de 7 centímetros em relação a do dia 4 de agosto de 2016. Além disso, pela Figura 44 observa-se que a preamar para o navio MV DOGAN ocorre próximo ao início da região de batimetria crítica (lado oeste), quando para o navio MV CS CAPRICE, a mesma ocorre quase no meio das duas isobatimétricas.



**Figura 43: Gráfico das Profundidades MV DOGAN e MV CS CAPRICE**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



**Figura 44: Mapa das Rotas MV DOGAN e MV CS CAPRICE**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Após a análise dos gráficos foi possível concluir que a profundidade mínima para a preamar de sizígia durante a passagem do navio MV DOGAN foi superior à profundidade mínima do navio MV CS CAPRICE ao longo do trajeto. Tendo em vista a altura de maré para as duas situações, essa diferença é reduzida, mas ainda continua sendo positiva, confirmando a teoria. Caso as duas passagens fossem realizadas com a mesma altura de maré a diferença entre as profundidades mínimas para essas passagens passaria de 37 centímetros para 30 centímetros.

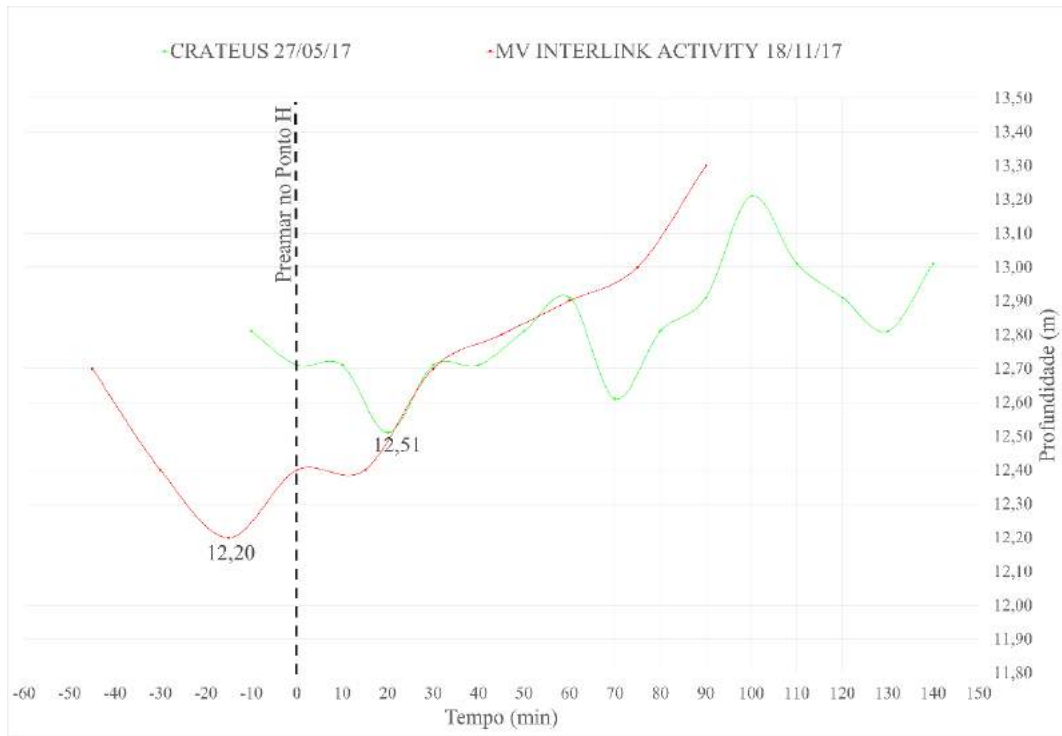
### **CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY**

A passagem do navio CRATEUS ocorreu durante a preamar do dia 27 de maio de 2017. Já a do navio MV INTERLINK ACTIVITY ocorreu na preamar do dia 18 de novembro de 2017. As respectivas alturas de maré das preamares e profundidades mínimas observadas ao longo do trecho do Agrião encontram-se na Tabela 12 abaixo.

**Tabela 12: Altura de maré e profundidade mínima para os navios CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY.**

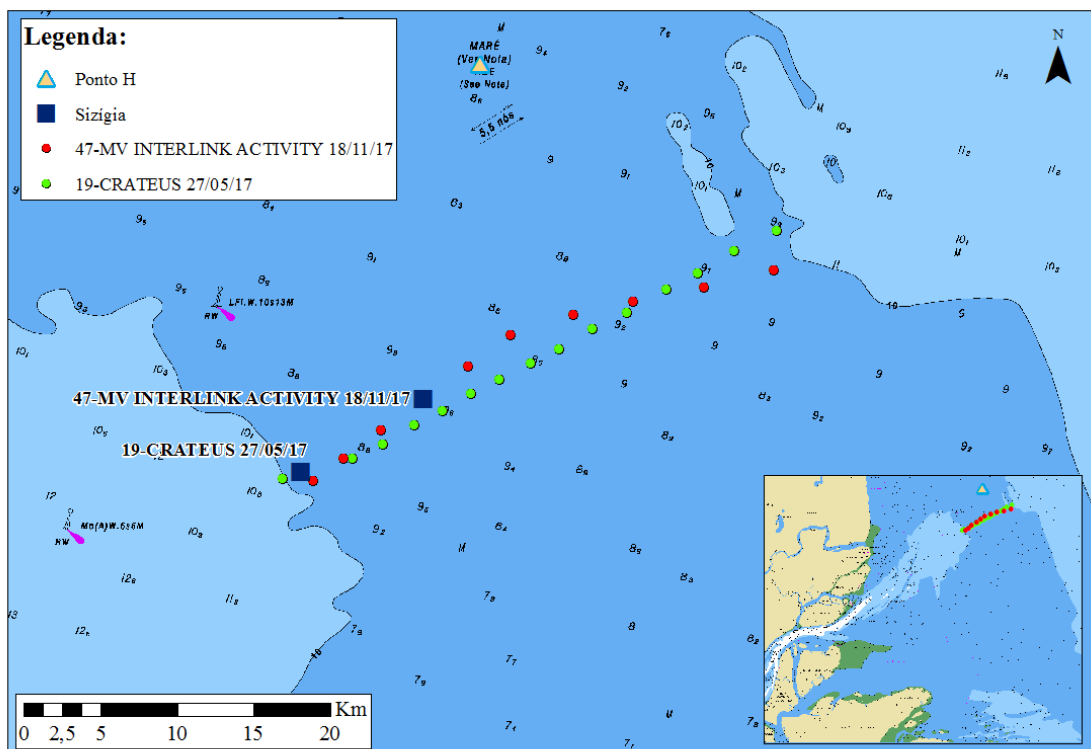
<b>Navio</b>	<b>Altura de maré no Ponto H [metros]</b>	<b>Profundidade mínima [metros]</b>
CRATEUS	3,02	12,51
INTERLINK ACTIVITY	2,75	12,20

Nota-se que embora ambas as marés fossem classificadas como sizígia, a altura de maré do dia 27 de maio de 2017 foi superior de 27 centímetros em relação a do dia 18 de novembro de 2017. Além disso, pelo gráfico da Figura 46 observa-se que a preamar para o navio CRATEUS ocorre próximo ao início da região de batimetria crítica (lado oeste), quando para o navio MV INTERLINK ACTIVITY, a mesma ocorre quase no meio das duas isobatimétricas.



**Figura 45: Gráfico das Profundidades CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



**Figura 46: Mapa das Rotas CRATEUS e MV INTERLINK ACTIVITY**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.



Após a análise dos gráficos foi possível concluir que a profundidade mínima para a preamar de sizígia durante a passagem do navio CRATEUS foi superior à profundidade mínima do navio MV INTERLINK ACTIVITY ao longo do trajeto. Tendo em vista a altura de maré para as duas situações, essa diferença é reduzida, mas ainda continua sendo positiva, confirmando a teoria. Caso as duas passagens fossem realizadas com a mesma altura de maré a diferença entre as profundidades mínimas para essas passagens passaria de 31 centímetros para 4 centímetros.

## ANEXO VII

### MV PETERS

A análise deste tópico tem por objetivo selecionar uma única passagem realizada por um navio saindo do porto, em situação de carregamento positiva. Tendo isso em vista, foi selecionado o navio “MV PETERS”, ilustrado na Figura 47 a seguir, que iniciou a passagem pelo trecho de batimetria crítica na noite do dia 15 de junho de 2017.



**Figura 47: Navio MV PETERS**

Fonte: Site *Marine Traffic*, 2018.

Segundo declarado pela empresa, a embarcação navegou com um calado de 11,55 metros na preamar do dia 15 de junho de 2017. Abaixo é possível observar a Tabela 13 de premares no trecho crítico para todo o mês de junho do ano de 2017. Além disso, foram calculadas as diferenças de maré para a maré do dia em que o navio realizou a passagem pela região.

**Tabela 13: Altura de maré acima do valor de referência da passagem MV PETERS**

<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
1/6/17 4:00	2,62	0,13

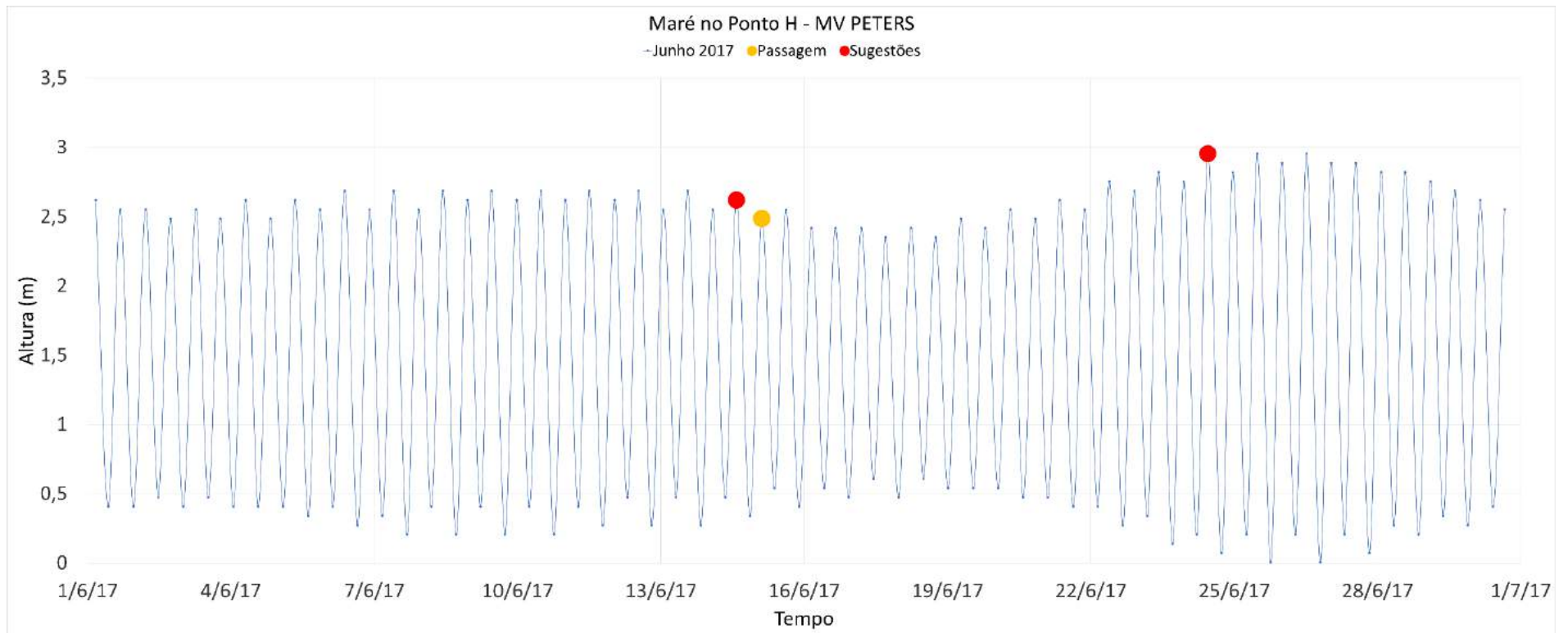
<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
1/6/17 16:23	2,55	0,07
2/6/17 5:12	2,55	0,07
2/6/17 17:36	2,49	0,00
3/6/17 6:23	2,55	0,07
3/6/17 18:47	2,49	0,00
4/6/17 7:25	2,62	0,13
4/6/17 19:49	2,49	0,00
5/6/17 8:21	2,62	0,13
5/6/17 20:47	2,55	0,07
6/6/17 9:06	2,69	0,20
6/6/17 21:38	2,55	0,07
7/6/17 9:49	2,69	0,20
7/6/17 22:15	2,55	0,07
8/6/17 10:32	2,69	0,20
8/6/17 22:53	2,62	0,13
9/6/17 10:58	2,69	0,20
9/6/17 23:34	2,62	0,13
10/6/17 11:42	2,69	0,20
11/6/17 0:02	2,62	0,13
11/6/17 12:08	2,69	0,20
12/6/17 0:45	2,62	0,13
12/6/17 12:49	2,69	0,20
13/6/17 1:19	2,55	0,07
13/6/17 13:27	2,69	0,20
14/6/17 1:58	2,55	0,07
<b>14/6/17 14:02</b>	<b>2,62</b>	<b>0,13<sup>[2]</sup></b>
<b>15/6/17 2:47</b>	<b>2,49</b>	<b>0,00<sup>[1]</sup></b>
15/6/17 14:53	2,55	0,07
16/6/17 3:40	2,42	-0,07
16/6/17 15:49	2,42	-0,07
17/6/17 4:40	2,42	-0,07
17/6/17 16:55	2,35	-0,13
18/6/17 5:43	2,42	-0,07
18/6/17 17:58	2,35	-0,13
19/6/17 6:40	2,49	0,00
19/6/17 19:00	2,42	-0,07
20/6/17 7:36	2,55	0,07
20/6/17 20:00	2,49	0,00
21/6/17 8:28	2,62	0,13
21/6/17 20:53	2,55	0,07
22/6/17 9:15	2,75	0,27
22/6/17 21:47	2,69	0,20
23/6/17 10:00	2,82	0,34

<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
23/6/17 22:40	2,75	0,27
<b>24/6/17 10:49</b>	<b>2,95</b>	<b>0,47<sup>[3]</sup></b>
24/6/17 23:23	2,82	0,34
25/6/17 11:42	2,95	0,47
26/6/17 0:02	2,89	0,40
26/6/17 12:25	2,95	0,47
27/6/17 0:51	2,89	0,40
27/6/17 13:04	2,89	0,40
28/6/17 1:45	2,82	0,34
28/6/17 13:55	2,82	0,34
29/6/17 2:38	2,75	0,27
29/6/17 14:51	2,69	0,20
30/6/17 3:36	2,62	0,13
30/6/17 15:53	2,55	0,07

[1] – Dia da passagem do Navio

[2] – Maior diferença de altura de maré em 1 dia da passagem do navio

[3] – Maior diferença de altura de maré considerando o mês todo.



**Figura 48: Maré no Ponto H - MV PETERS**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Com essas informações é possível concluir que com as oscilações de maré, caso o navio tivesse, por exemplo, realizado a passagem pelo trecho crítico na preamar do dia anterior (14 de junho de 2017), seria possível navegar com 13 centímetros a mais de calado. Tudo isso, considerando as mesmas condições da navegação que aferiram o sucesso da passagem.

De forma a quantificar esse ganho em valores monetários, foi realizada uma última análise. Como pode ser observado na Figura 47, o navio MV PETERS possui extensas dimensões. Segundo o site da *Marine traffic*, tal embarcação possui 223,7 metros de comprimento e 32,2 metros de largura. Totalizando uma área de 7.203,14 m<sup>2</sup> em contato com a superfície da água do mar (considerando que as medidas foram aproximadas para efeitos de cálculo de engenharia). Tendo em vista que a densidade da água salgada é de 1,025kg/m<sup>3</sup>:

$$7.203,14 \text{ m}^2 \times 1,025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 7.383,22 \frac{\text{t}}{\text{m}}$$

Com isso, através do cálculo realizado com as medidas do navio acima citado, sabe-se que para ganhar 1,0m de calado deve-se carregar o navio com 7.383,22 toneladas de carga. Considerando o acréscimo de 13,4 centímetros possibilitado pela análise das preamares anteriormente, seria possível carregar um total de aproximadamente 989,35 toneladas a mais de carga durante uma única viagem.

Ademais, tendo em vista a maior diferença de altura de maré somente no mês de março, que ocorre no dia 24 por exemplo, seria possível ter um acréscimo máximo de 46,9 centímetros. De forma análoga, é possível concluir que, baseando-se somente no aproveitamento da preamar, seria possível carregar o navio com aproximadamente 3462,73 toneladas a mais de carga a ser transportada.

Com o intuito de quantificar o ganho em termos monetários, foi utilizado um simulador de custo de transporte hidroviário do site da Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL). Adotou-se como premissa para o cálculo o transporte de granel sólido agrícola, com navegação de 6.000 quilômetros (simulando a distância para transporte até a Europa), por uma hidrovía com média restrição operacional. Tendo isso em vista foi possível concluir que as empresas de transporte poderiam ter um lucro de 184,93 reais para cada tonelada transportada a mais de carga. Com isso, caso o transporte tivesse sido feito na noite do dia 24 de março, seriam lucrados aproximadamente 182.960 reais no

total. Ademais, considerando a maior preamar do mês de março, essa diferença subiria para 640.362 reais. As quantias citadas estão ilustradas na Figura 49.



**Figura 49: Lucro em função da diferença de altura das marés - MV PETERS**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

## **MV MARIA**

A análise deste tópico tem por objetivo selecionar uma única passagem realizada por um navio saindo do porto, em situação de carregamento positiva. Tendo isso em vista, foi selecionado o navio “MV MARIA”, ilustrado na a seguir, que iniciou a passagem pelo trecho de batimetria crítica na noite do dia 24 de junho de 2017.



**Figura 50: Navio MV MARIA**

Fonte: Site *Marine Traffic*, 2018.

Segundo declarado pela empresa, a embarcação navegou com um calado de 11,5 metros na preamar do dia 24 de junho de 2017. Abaixo é possível observar a Tabela 14 de premares no trecho crítico para todo o mês de junho do ano de 2017. Além disso, foram calculadas as diferenças de maré para a maré do dia em que o navio realizou a passagem pela região.

**Tabela 14: Altura de maré acima do valor de referência da passagem MV MARIA**

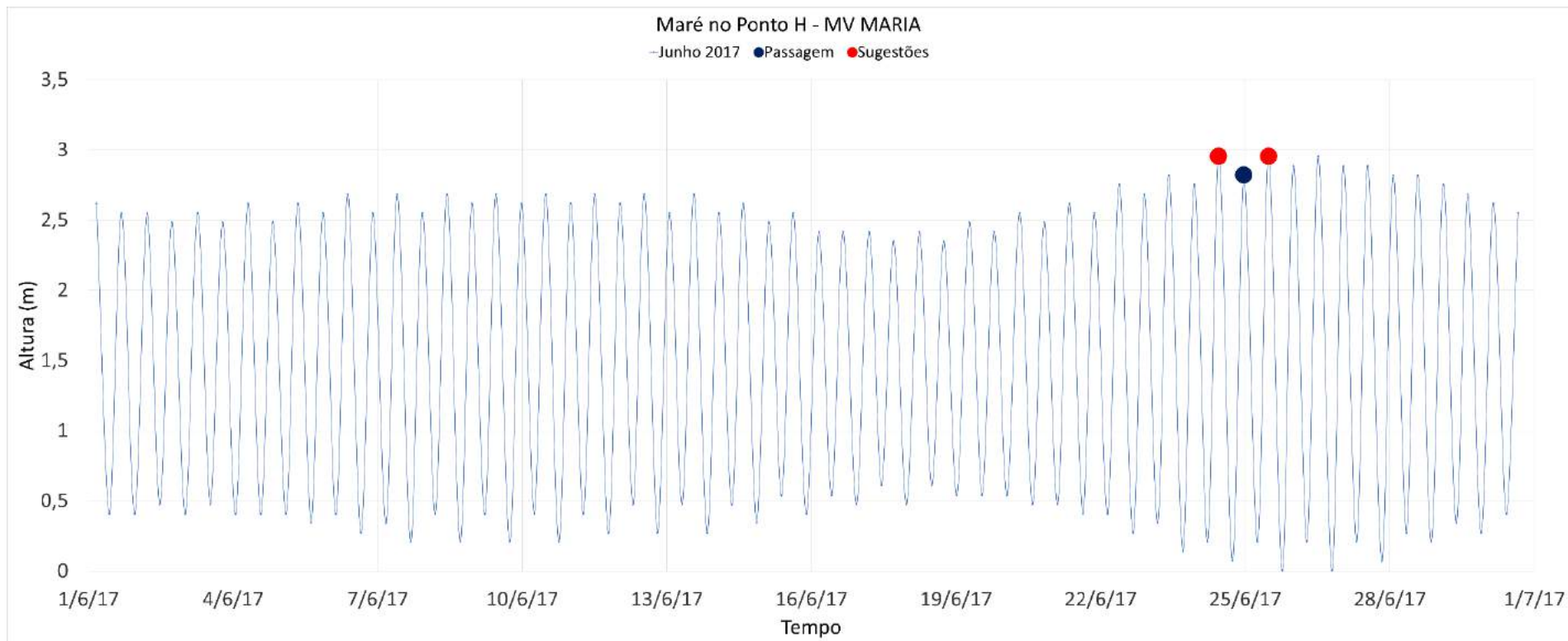
<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
1/6/17 4:00	2,62	-0,20
1/6/17 16:23	2,55	-0,27
2/6/17 5:12	2,55	-0,27
2/6/17 17:36	2,49	-0,34
3/6/17 6:23	2,55	-0,27
3/6/17 18:47	2,49	-0,34
4/6/17 7:25	2,62	-0,20
4/6/17 19:49	2,49	-0,34
5/6/17 8:21	2,62	-0,20
5/6/17 20:47	2,55	-0,27
6/6/17 9:06	2,69	-0,13
6/6/17 21:38	2,55	-0,27
7/6/17 9:49	2,69	-0,13
7/6/17 22:15	2,55	-0,27
8/6/17 10:32	2,69	-0,13
8/6/17 22:53	2,62	-0,20
9/6/17 10:58	2,69	-0,13
9/6/17 23:34	2,62	-0,20
10/6/17 11:42	2,69	-0,13
11/6/17 0:02	2,62	-0,20
11/6/17 12:08	2,69	-0,13
12/6/17 0:45	2,62	-0,20
12/6/17 12:49	2,69	-0,13
13/6/17 1:19	2,55	-0,27
13/6/17 13:27	2,69	-0,13
14/6/17 1:58	2,55	-0,27
14/6/17 14:02	2,62	-0,20
15/6/17 2:47	2,49	-0,34
15/6/17 14:53	2,55	-0,27
16/6/17 3:40	2,42	-0,40
16/6/17 15:49	2,42	-0,40
17/6/17 4:40	2,42	-0,40



<b>Tempo Ponto H</b>	<b>Maré Ponto H (m)</b>	<b>Diferença para maré noturna do dia 23(m)</b>
17/6/17 16:55	2,35	-0,47
18/6/17 5:43	2,42	-0,40
18/6/17 17:58	2,35	-0,47
19/6/17 6:40	2,49	-0,34
19/6/17 19:00	2,42	-0,40
20/6/17 7:36	2,55	-0,27
20/6/17 20:00	2,49	-0,34
21/6/17 8:28	2,62	-0,20
21/6/17 20:53	2,55	-0,27
22/6/17 9:15	2,75	-0,07
22/6/17 21:47	2,69	-0,13
23/6/17 10:00	2,82	0,00
23/6/17 22:40	2,75	-0,07
<b>24/6/17 10:49</b>	<b>2,95</b>	<b>0,13<sup>[2]</sup></b>
<b>24/6/17 23:23</b>	<b>2,82</b>	<b>0,00<sup>[1]</sup></b>
<b>25/6/17 11:42</b>	<b>2,95</b>	<b>0,13<sup>[2]</sup></b>
26/6/17 0:02	2,89	0,07
26/6/17 12:25	2,95	0,13
27/6/17 0:51	2,89	0,07
27/6/17 13:04	2,89	0,07
28/6/17 1:45	2,82	0,00
28/6/17 13:55	2,82	0,00
29/6/17 2:38	2,75	-0,07
29/6/17 14:51	2,69	-0,13
30/6/17 3:36	2,62	-0,20
30/6/17 15:53	2,55	-0,27

[1] – Dia da passagem do Navio

[2] – Maior diferença de altura de maré em 1 dia da passagem do navio



**Figura 51: Maré no Ponto H - MV MARIA**

Fonte: Elaboração dos autores, 2018.

Com essas informações é possível concluir que com as oscilações de maré, caso o navio tivesse, por exemplo, realizado a passagem pelo trecho crítico na preamar anterior (24 de junho de 2017, mesmo dia da passagem) ou até mesmo na preamar seguinte (25 junho de 2017), seria possível navegar com 13,4 centímetros a mais de calado. Tudo isso, considerando as mesmas condições da navegação que aferiram o sucesso da passagem.

De forma a quantificar esse ganho em valores monetários, foi realizada uma última análise. Como pode ser observado na Figura 50, o navio MV MARIA possui extensas dimensões. Segundo o site da *Marine traffic*, tal embarcação possui 225 metros de comprimento e 32,3 metros de largura. Totalizando uma área de 7.267,5 m<sup>2</sup> em contato com a superfície da água do mar (considerando que as medidas foram aproximadas para efeitos de cálculo de engenharia). Tendo em vista que a densidade da água salgada é de 1,025kg/m<sup>3</sup>:

$$7.267,5 \text{ m}^2 \times 1,025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} = 7449,19 \frac{\text{t}}{\text{m}}$$

Com isso, através do cálculo realizado com as medidas do navio acima citado, sabe-se que para ganhar 1,0m de calado deve-se carregar o navio com 7449,19 toneladas de carga. Considerando o acréscimo de 13,4 centímetros possibilitado pela análise das preamares anteriormente, seria possível carregar um total de aproximadamente 998,19 toneladas a mais de carga durante uma única viagem.

Ademais, tendo em vista que a passagem já ocorreu durante a maré de sizígia, percebe-se que o ganho de calado em relação ao caso da quadratura, é muito menor.

Com o intuito de quantificar o ganho em termos monetários, foi utilizado um simulador de custo de transporte hidroviário do site da Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL). Adotou-se como premissa para o cálculo o transporte de granel sólido agrícola, com navegação de 6.000 quilômetros (simulando a distância para transporte até a Europa), por uma hidrovia com média restrição operacional. Tendo isso em vista foi possível concluir que as empresas de transporte poderiam ter um lucro de 184,93 reais para cada tonelada transportada a mais de carga. Com isso, caso o transporte tivesse sido feito na noite do dia 24 de março, seriam lucrados aproximadamente 182.628 reais no total.