

Samuel Sembalista Haurelhuk

**ESTUDO DE CAPACIDADE DO CANAL DA GALHETA  
(PORTO DE PARANAGUÁ)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Disciplina de Trabalho de  
Conclusão de Curso II, da Universidade  
Federal de Santa Catarina para obtenção  
do Grau de Engenheiro Civil.  
Orientador: Prof. Amir Mattar Valente,  
Dr.

Florianópolis  
2014



Samuel Sembalista Haurelhuk

**ESTUDO DE CAPACIDADE DO CANAL DA GALHETA  
(PORTO DE PARANAGUÁ)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil, e aprovado a em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 24 de Novembro de 2014.

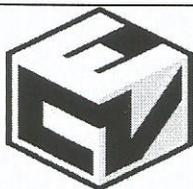
Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

Prof. Amir Mattar Valente, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Marcos Aurelio Marques Noronha, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Sílvio dos Santos, MSc.  
Laboratório de Transportes e Logística - LabTrans



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
Coordenadoria de Trabalho de Conclusão de Curso

### TERMO DE CONCLUSÃO DO TCC

Autor: Samuel Sembalista Haurelhuk

Matrícula: 09136050

Data da defesa: 24/11/2014

Professor orientador: Amir Mattar Valente

Título do TCC: Estudo de Capacidade do Canal da Galheta (Porto de Paranaguá)

Declaro que efetuei as alterações recomendadas, pela banca examinadora, por ocasião da defesa.

Florianópolis, 10 de Dezembro de 2014

Assinatura do autor: \_\_\_\_\_

### PARECER

As alterações recomendadas pela Banca foram efetuadas corretamente.

A versão modificada da monografia foi apresentada, pelo autor, para as devidas verificações. As recomendações feitas pela banca examinadora por ocasião da defesa, foram devidamente incorporadas ao trabalho. Assim, a versão modificada, estando em conformidade aos demais requisitos estabelecidos no Regulamento de TCC, pode ser entregue à Coordenadoria de TCC, como a versão final do trabalho, para que esta execute os procedimentos subsequentes, necessários à conclusão da disciplina ECV5513 – TCC II.

ORIENTADOR (Responsável pela verificação):

NOME: Amir Mattar Valente \_\_\_\_\_

ASSINATURA: \_\_\_\_\_

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rafael Haurelhuk e Maria Inês Sembalista Haurelhuk, pelo apoio incondicional desde o primeiro dia da graduação até o seu término. Esse feito seria realmente impossível sem vocês.

Ao meu irmão Felipe Sembalista Haurelhuk, pelos anos de convivência e amparo quando aplicável.

Ao engenheiro e amigo Sílvio dos Santos, pelos inúmeros auxílios, orientações, oportunidades e companheirismo que me dedicou tanto neste trabalho quanto na vida, desde que nos conhecemos no PNL P.

Ao professor Amir Mattar Valente, pela valiosa orientação, disponibilidade, respeito.

À engenheira e gestora no Porto de Imbituba Jussara Neto, devido ao comprometimento genuíno com o meu desenvolvimento profissional e quem admiro a conduta.

Ao prático Gustavo Martins pela contribuição técnica, suporte e incentivo ao trabalho e ao coordenador no TCP Cleber Amaral, pela celeridade nos contatos e cessão dos dados referentes ao Canal da Galheta.

Ao presidente da Comissão de Jovens Profissionais da PIANC Pablo Arecco, pelo auxílio na obtenção de referências, e ao engenheiro Paulo Ricardo de Matos, pelas incontáveis indagações solucionadas.

Aos colegas de trabalho no Porto de Imbituba, no LabTrans e na AIESEC, que certamente moldaram minhas decisões e deram estímulo à busca pela excelência.

Aos colegas da Engenharia Civil, os quais de diversas formas estiveram presentes nessa caminhada.



Remember ... there's no such thing as a self-made success.

(Michael Dell, 2003)



## RESUMO

A importância do transporte hidroviário para a humanidade é incontestável tendo em vista que a maior parte do comércio exterior é realizado por via marítima. A globalização da economia mundial só intensifica a interdependência dos Estados Nacionais, a necessidade de cooperações, trocas de insumos, produtos, conhecimentos, e conseqüentemente a necessidade da utilização do modal marítimo. O bom andamento dessa organização econômica depende diretamente da condição em que se encontram os pontos inicial e final de todas essas trocas, os portos. Tendo esse cenário em vista, o presente trabalho aplica uma análise de capacidade em nível conceitual da configuração marítima do Porto de Paranaguá. A metodologia adotada é a proposta pela diretriz PIANC onde entram como variáveis dados físicos do local e características das embarcações que frequentam o porto, para ser possível definir as dimensões verticais e horizontais do Canal de Acesso, da Área de Fundeio e da Bacia de Evolução. Os resultados deste trabalho dão parecer quanto à capacidade da configuração marítima em questão e sugerem possíveis melhorias a serem aplicadas.

**Palavras-chave:** Portos. Canal de Acesso. Capacidade.



## **ABSTRACT**

The ship transport carries out the majority of today's global trade making its importance to humankind undeniable. World's economy globalization only intensifies Nations' interdependency; need for cooperation; input, products and knowledge exchanges and; therefore, maritime industry development. Nowadays' economy organization success directly relies on the beginning and end of each trade, the ports. Facing the described reality, this work applies PIANC methodology to evaluate Paranagua port maritime configuration capacity. In the mentioned methodology, location's physical data together with vessel's normally navigating the area characteristics are variables that define Harbour Approach Channels, Anchorage Areas and Turning Basins vertical and horizontal dimensions. Results produced by this work enable comments related to the mentioned maritime configuration capacity and suggest improvements.

**Keywords:** Ports. Harbour Approach Channel. Capacity.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Canal e Canal Navegável.....	25
Figura 2 – Fatores Determinantes da Profundidade de um Canal. ....	27
Figura 3 – Fatores Relacionados à Embarcação.....	29
Figura 4 – Calado Aéreo. ....	30
Figura 5 – Uma ou Dupla Via. ....	32
Figura 6 – Tipos de Canal Quanto à Seção Transversal.....	33
Figura 8 – Distância à margem.....	37
Figura 7 – Curvas.....	39
Figura 9 – Área de Giro de Embarcação Fundeada.....	42
Figura 10 – Principais Dimensões de uma Embarcação. ....	46
Figura 11 – Graus de Liberdade da Embarcação.....	48
Figura 12 – “ <i>Squat</i> ”.....	50
Figura 13 – Manobrabilidade. ....	53
Figura 14 – Ângulo de Deriva.....	55
Figura 15 – PM (Preamar) e BM (Baixamar).....	56
Figura 16 – Marés de Sízígia e Quadratura.....	57
Figura 17 – Maré Semidiurna com Desigualdades Diurnas.....	58
Figura 18 – Assoreamento.....	59
Figura 19 – Simulador “ <i>real-time</i> ” no Centro de Simulación, Investigación Y Desarrollo Marítimo (SIDMAR). ....	65
Figura 20 – Movimentação no Porto de Paranaguá.....	68
Figura 21 – Área de Influência.....	69
Figura 22 – Local de Estudo. ....	70
Figura 23 – Seção Alfa do Canal da Galheta. ....	71
Figura 24 – Trecho de Via Singela.....	71
Figura 25 – Seções Bravo 1 e 2 do Canal da Galheta .....	72
Figura 26 – Rosa dos Ventos.....	77
Figura 27 – Rosa de Ondas. ....	78
Figura 28 – Maré Enchente. ....	79
Figura 29 – Estofó.....	80
Figura 30 – Maré Vazante.....	80



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Via de Manobra Básica. ....	35
Tabela 2 – Fatores Ambientais e Outros – Dimensões Adicionais. ....	35
Tabela 3 – Distância às margens vermelha e verde.....	37
Tabela 4 – Distância de cruzamento.....	38
Tabela 5 – Raio de Curva Mínimo. ....	40
Tabela 6 – Coordenadas Geográficas do Porto de Paranaguá. ....	67
Tabela 7 – Dimensões Áreas de Fundeio. ....	74
Tabela 8 – Rebocadores na ZP-17.....	74
Tabela 9 – Embarcação Homologada APPA.....	75
Tabela 10 - <b>F<sub>s</sub></b> resultantes. ....	85
Tabela 11 – Afundamento da Quilha de Sentina ( <b>SK</b> ) Resultante. ....	85
Tabela 12 – Profundidade ( <b>hCD</b> ) do Canal.....	86
Tabela 13 - Profundidade ( <b>hCD</b> ) da Área de Fundeio. ....	86
Tabela 14 – Conformidade Vertical das Áreas de Fundeio.....	86
Tabela 15 – Profundidade ( <b>hCD</b> ) das Bacias de Evolução e Conformidade.....	87
Tabela 16 – Via de Manobra Básica do Canal da Galheta. ....	87
Tabela 17 – Relação Profundidade Calado ( <b>hT</b> ).....	88
Tabela 18 – Fatores Ambientais e Outros – Dimensões Adicionais do Canal da Galheta. ....	89
Tabela 19 – Distância às Margens Vermelha e Verde do Canal da Galheta. ....	90
Tabela 20 – Distância de Cruzamento do Canal da Galheta. ....	90
Tabela 21 - Larguras Resultantes para o Canal da Galheta.....	91
Tabela 22 – Comprimento Mínimo da Seção Reta entre Curvas do Canal da Galheta.....	91
Tabela 23 – Raio Mínimo de Curvas do Canal da Galheta. ....	92
Tabela 24 – Características Ambientais e Parcelas de Segurança para Área de Fundeio. ....	93
Tabela 25 – Característica da Embarcação ( <b>LC</b> ) para Área de Fundeio e Dimensão Horizontal ( <b>DH</b> ) Resultante. ....	93
Tabela 26 – Conformidade Áreas de Fundeio.....	93
Tabela 27 – Diâmetro Nominal das Bacias de Evolução. ....	94
Tabela 28 – Direção de ventos detalhada.....	105
Tabela 29 – Direção de ondas detalhada.....	105



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ADC – Air Draught Clearance  
ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários  
APPA – Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina  
AWAC - Acoustic Water and Current Profiler  
BM - Baixamar  
BSI – British Standard Institute  
CCG – Canadian Coast Guard  
CONAPRA – Conselho Nacional de Praticagem  
CP1 – Carregador de Peso 1  
CP2 – Carregador de Peso 2  
CV1 – Carregador de Volume 1  
CV2 – Carregador de Volume 2  
DGPS - Differential Global Navigation Satellite Positioning Systems  
DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação  
DPC – Diretoria de Portos e Costas  
DWT - Deadweight Tonnage  
EIA – Estudo de Impacto Ambiental  
FOB – Free on Board  
GT – Gross Tonnage  
IALA - International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities  
IAPH - International Association of Ports & Harbours  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IMPA – International Maritime Pilots Association  
IMO – International Maritime Organization  
INPH – Instituto de Pesquisas Hidroviárias  
JIN – Japan Institute of Navigation  
MARIN - Maritime Research Institute Netherlands  
MM – Margem de Manobrabilidade  
NBR – Norma Brasileira  
NORMAM – Norma da Autoridade Marítima  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PCC – Pure Car Carrier  
PDZPO – Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Paranaguá  
PIANC - Permanent International Association of Navigation Congresses  
PM – Preamar  
ROM - Recomendaciones de Obras Marítimas

SEP – Secretaria de Portos  
SGB – Sistema Geodésico Brasileiro  
TCP – Terminal de Contêineres do Paraná  
TEU – Twenty-foot Equivalent Unit  
TPN – Tanque de Provas Numérico  
UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development  
UKC – Underkeel Clearance  
USACE- United States Army Corps Of Engineers  
USP – Universidade de São Paulo  
VLCC – Very Large Crude Carrier  
VTMS – Sistema de Gerenciamento de Tráfego de Navios

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1 OBJETIVOS.....	24
1.1.1 Objetivo Geral.....	24
1.1.2 Objetivos Específicos.....	24
<b>2.REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>25</b>
2.1 ELEMENTOS DA CONFIGURAÇÃO MARÍTIMA .....	25
2.1.1 Elementos Geométricos do Canal de Acesso .....	26
2.1.1.1 Dimensão Vertical.....	27
2.1.1.2 Dimensão Horizontal.....	31
2.1.1.3 Relação entre as Dimensões Vertical e Horizontal.....	40
2.1.2 Elementos Geométricos da Área de Fundeio .....	40
2.1.2.1 Dimensão Horizontal – Área de Giro.....	41
2.1.2.2 Dimensão Vertical – Profundidade.....	42
2.1.3 Elementos Geométricos da Bacia de Evolução .....	43
2.1.3.1 Dimensão Horizontal – Diâmetro Nominal.....	43
2.1.3.2 Dimensão Vertical – Profundidade.....	43
2.2 ELEMENTOS DA CONFIGURAÇÃO DA	
EMBARCAÇÃO TIPO.....	44
2.2.1 Características Básicas de uma Embarcação .....	44
2.2.2 Principais Tipos de Embarcação.....	45
2.2.3 Dimensões Básicas de uma Embarcação.....	45
2.2.4 Capacidade de Carregamento .....	46
2.2.5 Coeficientes Dimensionais de uma Embarcação.....	47
2.2.6 Graus de Liberdade de uma Embarcação .....	48
2.2.7 Características da Embarcação Influentes em Projeto de	
Canal .....	49

2.2.7.1	Calado estático da embarcação .....	49
2.2.7.2	Tolerância devido às incertezas na determinação do calado estático .....	49
2.2.7.3	Mudança na densidade da água.....	50
2.2.7.4	Efeito “ <i>squat</i> ” .....	50
2.2.7.5	Inclinação Dinâmica.....	51
2.2.7.6	Resposta da Embarcação à Ação das Ondas .....	52
2.2.7.7	Folga Mínima Abaixo da Quilha (UKCNet).....	52
2.2.7.8	Manobrabilidade Básica.....	52
2.2.7.9	Margem de Manobrabilidade (MM) .....	54
2.3	DADOS FÍSICOS .....	54
2.3.1	Vento.....	54
2.3.2	Ondas .....	55
2.3.3	Marés e Correntes .....	56
2.3.4	Condição geotécnica do solo do canal .....	58
2.3.5	Assoreamento.....	59
2.3.6	Visibilidade .....	60
2.3.7	Gelo.....	60
<b>3.METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CAPACIDADE PARA PROJETO DE UM CANAL E ALTERNATIVAS DE SIMULAÇÃO</b> .....		<b>61</b>
3.1	RAZÃO DA ESCOLHA.....	61
3.2	PROCESSO DE PROJETO DE UM CANAL.....	62
3.3	SIMULAÇÃO.....	63
3.3.1	Simuladores de Manobra.....	63
<b>4. ESTUDO DE CASO - CONFIGURAÇÃO MARÍTIMA DO PORTO DE PARANAGUÁ .....</b>		<b>67</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS .....	67
4.2	CARACTERÍSTICAS REGULATÓRIAS.....	75

4.3	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS .....	76
4.4	ESTUDO DE CAPACIDADE – MODELO ADOTADO	81
4.4.1	Embarcação Tipo.....	82
4.4.2	Dimensão Vertical do Canal de Acesso .....	83
4.4.3	Dimensão Vertical da Área de Fundeio.....	86
4.4.4	Dimensão Vertical da Bacia de Evolução .....	87
4.4.5	Dimensão Horizontal do Canal de Acesso .....	87
4.4.5.1	Largura do Canal de Acesso da Galheta.....	87
4.4.5.2	Curvas e Alinhamento do Canal de Acesso.....	91
4.4.6	Dimensão Horizontal da Área de Fundeio .....	92
4.4.7	Dimensão Horizontal da Bacia de Evolução .....	94
	<b>5.CONCLUSÃO .....</b>	<b>95</b>
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	95
5.2	LIMITAÇÕES.....	95
5.3	RECOMENDAÇÕES .....	96
	<b>6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
	<b>7.ANEXOS.....</b>	<b>105</b>
	ANEXO A – Dados Físicos da Região do Canal da Galheta .....	105
	ANEXO B – Capítulo 8 da Norma de Tráfego Marítimo e Permanência Nos Portos de Paranaguá e Antonina .....	106
	ANEXO C – Capítulo 6 da Norma de Tráfego Marítimo e Permanência Nos Portos de Paranaguá e Antonina .....	107



## 1. INTRODUÇÃO

A navegação, desde o início dos tempos, vem dando forma a organização humana. A expansão do conhecimento marítimo, materializado pela caravela, foi uma das principais razões para o sucesso Português na colonização da América (FAUSTO, 1994). Acredita-se que o primeiro Canal navegado tenha sido o Grande Canal Fluvial da China, construído no século VI. Leonardo da Vinci em 1515, por meio de um projeto de Canais e Eclusas, conseguiu resolver o problema das enchentes na região de Milão. Esses fatos dão embasamento histórico para a relevância da navegação e do setor portuário e marítimo como um todo na organização humana (SANTOS, 2014).

Estima-se que 80% do comércio exterior, com base em toneladas, seja transportado via marítima. Isso representou no ano de 2012 pouco mais de 9 bilhões de toneladas (UNCTAD, 2013). Atingiu-se, também no ano de 2012, a marca de 600 milhões de TEUs (Twenty-foot equivalent unit) movimentados. A não ser no ano de 2008, devido a uma crise econômica, quando o comércio exterior teve queda, o prognóstico é de constante expansão.

O modal marítimo em si está revestido de vantagens inerentes a sua utilização, já que é, comparativamente às demais alternativas, limpo e ambientalmente favorável, além de muito eficiente energeticamente (IMO, 2012).

Ainda, de acordo com UNCTAD (2013), temos em desenvolvimento a tendência da chegada de mega-contêineres e a consequente pressão sob a configuração marítima existente. Dentro desse contexto expansionista e globalizado, empreendedores buscam alternativas para tornar o trânsito de produtos entre as nações viável economicamente, tais como a expansão do Canal do Panamá e novas rotas marítimas no Ártico.

Ao analisarmos a balança comercial brasileira entre 2003 e 2012 é possível observar, segundo dados da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários), uma clara predominância do modal marítimo. Baseado no valor FOB (Free on Board) da mercadoria 84% do transporte foi realizado por via marítima. A fatia chega a 98% se nos basearmos no volume em toneladas.

O desenvolvimento de um transporte seguro e eficiente é fundamental se levado em consideração os benefícios de tal realidade. O transporte corresponde em média a 60% dos custos logísticos (FLEURY et al., 2000), logo, qualquer redução obtida no setor é relevante. Ainda,

aproximadamente 70 a 80% dos acidentes marítimos são causados por erro humano (HANSA 2006, 2010; apud SCHENK, 2014).

Segundo o Fórum Econômico Mundial em seu Relatório “Global Competitiveness 2013-2014”, competitividade é o conjunto de fatores, políticas e instituições que determinam o nível de produtividade de uma nação levando em consideração seu nível de desenvolvimento. O Relatório analisa 114 fatores em sua avaliação e, no quesito infraestrutura portuária, entre 148 nações pesquisadas, o Brasil encontra-se na 131ª posição, longe do ideal para um país com mais de 7.000km de costa.

O critério básico para definir uma configuração marítima é a segurança de suas manobras e operações (PIANC, 2014).

Ao verificarmos a relevância do setor portuário para uma nação, o contexto globalizado da economia, a tendência de expansão no comércio exterior, a predominância do modal marítimo nas transações internacionais aliado a suas inerentes vantagens, a necessidade de investimentos que a infraestrutura portuária nacional demanda, e a conseqüente pressão que sofre dentro do panorama apresentado, se justifica o estudo da segurança da Configuração Marítima de um dos mais importantes portos do país.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo será avaliar a capacidade da Configuração Marítima do Porto de Paranaguá e determinar uma embarcação tipo adequada para navegá-la. Ainda, sugerir obras de melhoramento, caso aplicável.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Analisar todas as áreas molhadas da configuração marítima que influem na navegação segura e eficiente de uma embarcação. São elas:

- Canal de acesso;
- Bacia de Evolução;
- Área de fundeio.

A análise será feita em nível conceitual de projeto.

Em seguida, determinar qual a embarcação tipo adequada para a situação vigente.

Por fim, identificar inadequação (se existente) e sugerir ação para extingui-la ou mitigá-la.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

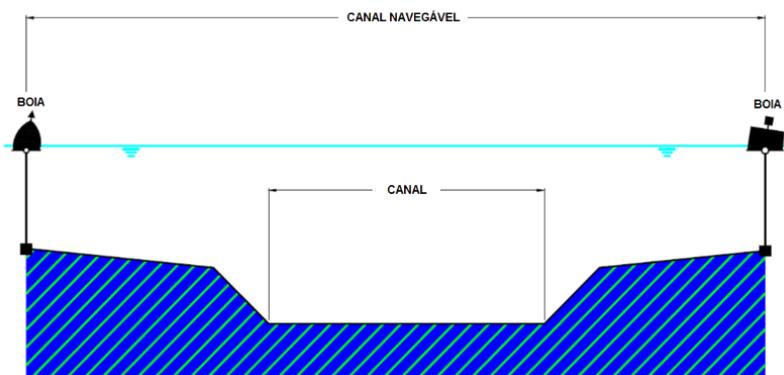
### 2.1 ELEMENTOS DA CONFIGURAÇÃO MARÍTIMA

A diretriz PIANC (2014) distingue a configuração marítima de um porto em áreas onde embarcações se movimentam (canal de acesso, áreas de manobra, entrada do porto) e áreas onde elas se mantêm estacionárias (áreas de fundeio, berços, terminais, cais).

É importante iniciar definindo alguns termos básicos. Segundo a norma PIANC (2014):

- Canal: Rota claramente definida para navegação de embarcações tipo;
- Canal Navegável: Porção mais larga em relação ao Canal de Acesso onde embarcações menores podem navegar com segurança.

Figura 1 - Canal e Canal Navegável.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.5

- Canal de Acesso: Canal que ligue berços de um porto ao mar aberto. Ele deve possuir também profundidade e largura suficientes para acomodar a embarcação tipo.
- Entrada do porto: Local de entrada e saída de um porto;
- Baía de Evolução: Locais onde a embarcação para, faz curvas ou outras manobras até a chegada no berço;
- Área de fundeio: Local onde uma embarcação pode ancorar e aguardar a manobra com segurança.

Conforme já apresentado nos objetivos, o escopo deste trabalho consiste na análise de todas as áreas molhadas de uma configuração marítima, ou seja, consistirá em analisar o seu Canal de Acesso, Bacia de Evolução e Área de Fundeio. A análise mencionada dessa configuração só é possível, segundo PIANC (2014), se prestarmos atenção aos seguintes aspectos:

- Projeto geométrico da área abaixo e acima do nível da água com definição de todas as dimensões tais como eixos, alinhamentos, raios, curvas, alturas;
- Auxílios a navegação para sinalizar o Canal;
- Condições de mar e atmosfera para os quais certo tipo de embarcação está apta a navegar de forma segura, dentro da configuração avaliada;
- Definição de auxílio da praticagem e rebocadores para um dado tipo de embarcação e situação.

O escopo deste trabalho está restrito aos aspectos correlatos à Engenharia Civil, portanto, a definir o aspecto geométrico adequado à configuração marítima. Isso será realizado por meio de análise de características ambientais do local de estudo e características da embarcação tipo que a navega. A explanação completa do procedimento adotado consta no Item 3 – Metodologia de Cálculo de Capacidade para Projeto de um Canal e Alternativas de Simulação. Consequentemente, somente aspectos geométricos serão detalhados a frente. Auxílios à navegação, condições ambientais para uma manobra em específico e auxílios são mais afins à área operacional do porto.

Há dois elementos geométricos que configuram as três áreas molhadas da configuração marítima a serem avaliadas. São eles: a dimensão vertical e a dimensão horizontal. Iniciaremos pela análise do Canal de Acesso.

### 2.1.1 Elementos Geométricos do Canal de Acesso

A dimensão vertical de um Canal é composta de dois parâmetros: (a) profundidade do canal e (b) o calado aéreo. A dimensão horizontal demanda definição de um número maior de parâmetros os quais dependem principalmente, segundo PIANC (2014):

- Dimensões e manobrabilidade da embarcação, bem como características correlatas tais como a disponibilidade de rebocadores e espaço para manobra;

- Auxílios a navegação existentes no Canal de Acesso;
- Características geométricas e físicas do Canal bem como aspectos que afetam sua variabilidade incluindo incertezas na determinação, erosão, assoreamento e depósito de sedimentos, tolerâncias.

O escopo deste trabalho consiste na definição das características geométricas mais adequadas à realidade do local de estudo, conforme já afirmado inicialmente.

### 2.1.1.1 Dimensão Vertical

- ✓ Profundidade

Inicialmente trataremos da profundidade do Canal. As características que são levadas em consideração para determiná-la são:

- Relacionadas ao nível da água e fatores intervenientes (marés, correntes);
- Relacionadas à embarcação tipo;
- Relacionadas ao fundo do Canal.

Figura 2 – Fatores Determinantes da Profundidade de um Canal.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.23.

O aprofundamento adequado no que concerne aos fatores do nível de água será realizado no Item 2.3 – Dados Físicos, já que estão intimamente relacionados a aspectos ambientais.

Os fatores relacionados à embarcação serão abordados no Item 2.2 – Elementos da Configuração da Embarcação.

Relacionado ao fundo do Canal. Afim de dirimir possíveis equívocos de consequências muito graves, apenas um nível de referência deve ser adotado para definir todos os parâmetros verticais de profundidade do Canal. Muitos países usam a mais baixa maré astronômica como nível de referência para suas cartas náuticas (PIANC, 2014). No Brasil, O zero hidrográfico, uma medida fixa do nível médio do mar, é determinado a partir da coleta de dados em dado ponto e sempre referenciado ao Datum Vertical de Imbituba, definido pelo IBGE como referência para o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). Há também o conceito de nível de redução, que é considerado um nível mínimo, do qual não se observa diminuição senão raramente, e é o utilizado nas cartas. Seria o nível médio das baixa-mares de sizígia. (PDZPO, 2012).

A distância entre o fundo do Canal e o ponto mais profundo de uma embarcação que o navega deve obedecer certos padrões de segurança. Essa distância está relacionada: (a) a uma tolerância para incertezas na determinação do fundo, (b) uma tolerância para alterações de fundo entre dragagens e (c) uma tolerância executiva da dragagem (PIANC, 2014).

Todos os sensores que realizam a batimetria possuem uma imprecisão inerente a sua utilização que deve ser considerada, justificando a tolerância para incertezas na determinação do fundo. Os fenômenos de sedimentação e assoreamento, que serão detalhados no Item 2.3 – Dados Físicos, causam alterações de fundo nos Canais dragados, estas que são consideradas ao aplicar a tolerância para alterações de fundo entre dragagens. Faz-se necessário, por fim, a adoção de uma tolerância executiva de dragagem já que as dragas não são absolutamente precisas e possuem um intervalo de incerteza (PIANC, 2014).

A profundidade de um Canal, matematicamente, em nível conceitual, é dada pela seguinte expressão:

$$h_{CD} = F_s + S_K, \quad (1)$$

onde,

$h_{CD}$ : profundidade do Canal;

$F_s$ : fator relacionado à embarcação;

$S_K$ : afundamento da quilha da sentina

Conforme a abordagem adequada ao Projeto Conceitual proposta pela diretriz PIANC, os fenômenos de “*squat*”, inclinação devido ao vento e curvas e tolerância devido à interação com as ondas são combinados em um único fator. Esse fator é denominado fator relacionado à embarcação ( $F_s$ ) e pode ser encontrado na Figura 3.

Figura 3 – Fatores Relacionados à Embarcação.

Description	Vessel Speed	Wave Conditions	Channel Bottom	Inner Channel	Outer Channel
<b>Ship Related Factors <math>F_s</math></b>					
Depth $h$	≤ 10 kts	None		1.10 $T$	
	10 - 15 kts			1.12 $T$	
	> 15 kts			1.15 $T$	
	All	Low swell ( $H_s < 1$ m)			1.15 $T$ to 1.2 $T$
		Moderate swell ( $1$ m $< H_s < 2$ m)			1.2 $T$ to 1.3 $T$
		Heavy swell ( $H_s > 2$ m)			1.3 $T$ to 1.4 $T$
	<b>Add for Channel Bottom Type</b>				
All	All	Mud	None	None	
		Sand/clay	0.4 m	0.5 m	
		Rock/coral	0.6 m	1.0 m	
<b>Air Draught Clearance (ADC)</b>					
ADC	All	All		0.05 $H_{st}$	0.05 $H_{st}$ + 0.4 $T$
Notes:					
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. For Ship Related Factors: Assumes <math>T &gt; 10</math> m. If <math>T &lt; 10</math> m, use value for <math>T = 10</math> m</li> <li>2. Swell means waves with peak periods <math>T_p</math> greater than 10 s</li> <li>3. For Outer Channel swell values, use lower value for smaller swell wave periods and higher value for larger swell periods</li> <li>4. Value of significant wave height <math>H_s</math> is dependent on required operation, design ship type, level of accessibility, wave period and relative wave direction</li> <li>5. <math>H_{st}</math> is the distance from the sea surface to the top of the ship</li> <li>6. Seawater density assumed for <math>T</math>. Additional adjustments required if fresh water.</li> </ol>					

Fonte: PIANC, 2014; p.37

O fator  $S_K$  é especialmente importante quando estamos lidando com embarcações carregadoras de volume, as quais estão mais sujeitas aos efeitos de ventos e curvas. Ele é matematicamente expresso a partir da equação (PIANC, 2014):

$$S_K = F_K \left( \frac{B}{2} \sin \phi_{WR} \right), (2)$$

onde,

$F_K$ : fator da quilha da sentina;

$B$ : boca;

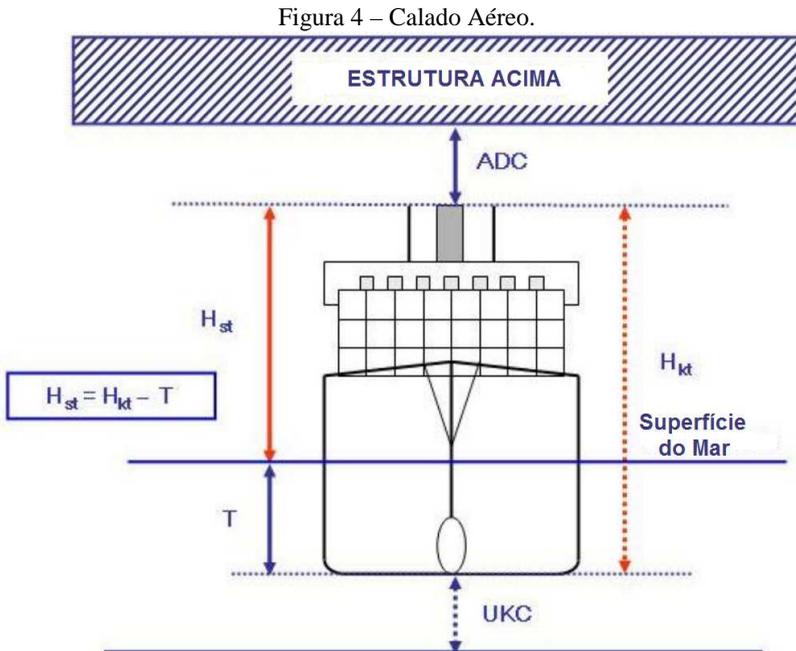
$\phi_{WR}$ : ângulo de jogo ao fazer curvas e em virtude da ação do vento.

O fator  $F_K$  está em função da curvatura da quilha da sentina e possui valores característicos entre 0,76 e 0,90. Quanto maior o valor adotado, mais conservadora é a estimativa (PIANC, 2014).

#### ✓ Calado Aéreo

Relacionado ao calado aéreo, pode-se afirmar que está relacionado à porção do Canal localizada acima da linha d'água e possui bastantes semelhanças às já descritas para a porção submersa. Trata das distâncias do topo da embarcação às possíveis estruturas existentes tais como pontes, cabos, prevendo uma folga mínima entre a estrutura e o topo do navio (ADC).

O calado aéreo não terá suas particularidades exploradas com mais detalhes pois como veremos adiante o local de estudo não as demanda.



Fonte: Adaptado de Takahashi, 2007; apud PIANC, 2014; p.36.

### 2.1.1.2 Dimensão Horizontal

Para um dado Canal, os custos executivos de uma obra de alteração do parâmetro vertical, profundidade ou calado aéreo, tendem a ser muito maiores se comparados a obras na dimensão horizontal. Em virtude disso, as embarcações vêm se desenvolvendo recentemente em direção a um aumento de boca ( $B$ ), o que acarreta num aumento considerável dos efeitos do vento, ondas e correntes nas embarcações. Ainda, a menor distância entre os bordos da embarcação e do Canal, entre embarcações para Canais de dupla via, acarretam num aumento das consequências dessas interações e demandam atenção especial (PIANC, 2014).

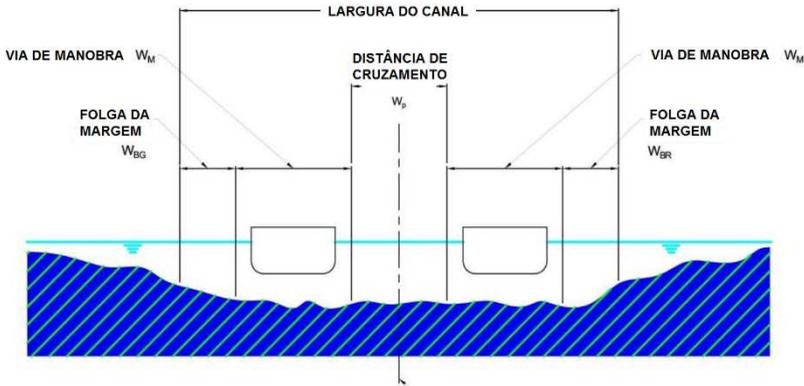
Definições básicas serão dadas inicialmente.

#### ✓ Tipos e Características Básicas de Canais

Os Canais podem ser naturais, quando mantém a profundidade sem intervenção humana ao longo do tempo; e dragados, quando demandam dragagem de manutenção para conservar suas características (PIANC, 2014).

Há canais de via singela e de dupla via. O Canal é considerado de uma via quando apenas uma embarcação tipo pode navegar o Canal em dado momento; e de dupla via, quando permite o cruzamento seguro de duas embarcações tipo navegando no Canal. Por vezes, um canal de via singela pode conter trechos onde a dupla via é possível em certas condições, criando uma terceira situação, a de via mista. Os locais onde esse encontro é possível de maneira segura, seja para ultrapassagem ou para cruzamento, são chamados de pontos de cruzamento. A decisão pelo projeto de um Canal de via singela ou dupla está em função do tráfego anual que demanda tal porto considerando um nível de serviço adequado, e aos custos de manutenção do Canal em uma dada configuração. É comum a adoção de pontos de cruzamento em canais muito longos, ao invés de uma dupla via contínua. Como exemplo, pode-se citar o Canal de Kiel localizado na Europa que possui quase 100km de extensão e 12 pontos de cruzamento (PIANC, 2014). Ainda vale citar o importantíssimo Canal de Suez, que liga o Mar Mediterrâneo ao Golfo de Suez no Mar Vermelho, e conta com 4 pontos de cruzamento ao longo de seus 164 km de extensão. Outro Canal de importância semelhante, o Canal do Panamá, não possui pontos de cruzamento já que não foi construído em nível e o limitante relacionado às dimensões da embarcação tipo são as eclusas (SANTOS, 2014).

Figura 5 – Uma ou Dupla Via.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.74

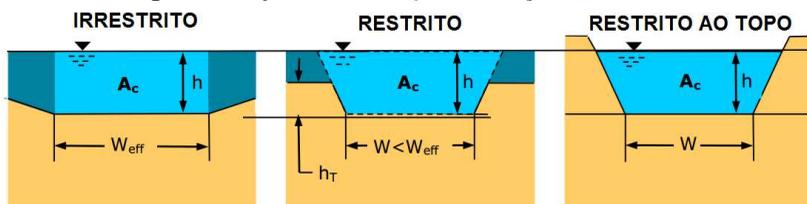
### ✓ Seção Transversal

Em relação à seção transversal e de interesse especial na quantificação do efeito “*squat*”, o qual será explanado no Item 2.2 – Elementos da Configuração da Embarcação Tipo, há três tipos idealizados de Canal. (a) Canal Irrestrito, quando há extensa porção de massa líquida para navegar a embarcação, ou seja, a largura efetiva do Canal ( $W_{Eff}$ ) ultrapassa 8 vezes a boca ( $B$ ). (b) Canal Restrito, que é o tipo mais comum de Canal encontrado na prática. Possui uma vala como sua porção mais inferior, geralmente o que ocorre em Canais dragados. É a situação intermediária entre o Canal Irrestrito e o Canal Restrito até o Topo já que neste a vala age como um canal influenciando o fluxo ao redor da embarcação e naquele o topo irrestrito permite ao fluxo se comportar como num Canal Irrestrito. (c) E por fim o Canal Restrito ao Topo. Na realidade, o Canal Restrito ao Topo é um tipo de Canal Restrito onde a vala ultrapassa a linha d’água. Trata-se de um caso raro na navegação marítima. Os principais casos a serem mencionados são o Canal do Panamá, o Canal de Suez, o Canal de Kiel, e o Canal Terneuzen-Ghent (PIANC, 2014).

Muitos Canais existentes hoje na realidade possuem divergências entre seções e se tornam canais com características mistas. Ainda, as fórmulas contidas no referencial adotado estão baseadas numa embarcação que navega situado no centro de um canal simétrico, o que não ocorre na maioria das vezes na prática. Portanto, o engenheiro deve

utilizar o bom senso ao adotar uma ou outra formulação matemática (PIANC, 2014).

Figura 6 – Tipos de Canal Quanto à Seção Transversal.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.28.

#### ✓ Localização

No que está relacionado à localização, um Canal de Acesso pode ser externo ou interno. No caso externo, há ação de ondas que podem vir a provocar significativa movimentação vertical da embarcação. Canais internos não recebem ondas e portanto não tem como consequência a referida movimentação aplicável aos canais externos (PIANC, 2014).

Além de investir num alargamento do Canal, auxílios à navegação tais como cartas náuticas digitais, sistema de controle VTMS (Sistema de Gerenciamento de Tráfego de Navios) auxiliam na determinação do posicionamento das embarcações e aumentam a segurança (PIANC, 2014).

#### ✓ Número de Froude

Segundo PIANC (2014) o número de Froude traz consigo características do Canal navegado e da embarcação que o navega. Trata-se do mais importante parâmetro adimensional e mede a resistência da embarcação ao movimento em águas rasas sendo função de sua velocidade ( $V_s$ ) e da profundidade do Canal ( $h$ ). Está definido matematicamente como:

$$F_{nh} = \frac{V_s}{\sqrt{gh}}, \quad (3)$$

O denominador conta também com a constante ( $g$ ) que se trata da aceleração da gravidade no local considerado. Ao se aproximar de 1 a relação determina uma barreira de velocidade para o avanço da

embarcação. Normalmente o valor para contêineres fica abaixo de 0,7 e para tanques abaixo de 0,6 (PIANC, 2014).

✓ Alinhamento e Largura do Canal

Segundo a diretriz PIANC (2014), no que diz respeito ao parâmetro horizontal, e mais especificamente ao alinhamento, um canal deve ser projetado considerando:

- Ligar dois pontos pelo menor percurso possível;
- Condições da entrada e saída de cada seção do Canal;
- Evitar a utilização de áreas de acreção onde dragagem de manutenção venha a ser uma custosa necessidade constante;
- Regime de ondas, ventos e correntes;
- Evitar curvas em especial perto da entrada do porto;
- Condições ao longo do Canal, de modo que a tráfego de embarcações não cause transtornos às imediações.

Um canal deve possuir o máximo de seções retas possível, conectadas por curvas de raio grande. É preferível projetar um canal que possua o regime de correntes atuando na mesma direção dele, minimizando a ação de correntes de través e a necessidade da adoção de um ângulo de deriva. O mesmo se aplica a ventos e ondas que da mesma forma interferem diretamente na navegabilidade da embarcação e determinam o fechamento da barra se atingida uma condição insegura. Ao alinhar correntes, ondas e ventos ao canal há garantia de maior tempo de acesso seguro às instalações portuárias. É recomendado também que o Canal não esteja alinhado de forma perpendicular ao cais de atracação minimizando dessa forma risco de danos ao cais na ocasião de perda da governabilidade durante a aproximação (PIANC, 2014).

A largura da via navegável está em função basicamente: (a) da manobrabilidade em si da embarcação, (b) da habilidade do marinheiro responsável pela manobra, (c) dos auxílios à navegação disponíveis, (d) da visibilidade. Os dois primeiros são os mais importantes já que os itens c e d podem ser mitigados com o aprimoramento dos auxílios (PIANC, 2014).

Para seções retilíneas de dado Canal de via singela, segundo a diretriz PIANC (2014), a largura total ( $W$ ) é expressa pela seguinte expressão:

$$W = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} = W_M + W_{BR} + W_{BG}, \quad (4)$$

E para seções de dupla via:

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_P = 2W_M + W_{BR} + \sum W_P + W_{BG}, \quad (5)$$

A largura da via de manobra básica é dada pelo termo ( $W_{BM}$ ) e é um múltiplo da boca ( $B$ ) da embarcação tipo, dada pela Tabela 1 (PIANC, 2014).

Tabela 1 – Via de Manobra Básica.

Manobrabilidade da Embarcação	Boa	Média	Pobre
Via de Manobra Básica, $W_{BM}$	1,3B	1,5B	1,8B

Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.85

A manobrabilidade de tanques e graneleiros é geralmente pobre; contêineres, PCCs, gaseiros são considerados médios; cruzeiros e balsas possuem manobrabilidade boa (PIANC, 2014).

Dimensão adicional em virtude de fatores ambientais e outros é expressa por meio do termo ( $W_i$ ) e dada pela Tabela 2. Essa tabela pode ser utilizada levando em consideração os limites operacionais, caso sejam conhecidos, ou às condições predominantes. A via de manobra ( $W_M$ ) é dada pela via de manobra básica ( $W_{BM}$ ) adicionada de do fator ( $W_i$ ) supracitado (PIANC, 2014).

Tabela 2 – Fatores Ambientais e Outros – Dimensões Adicionais.

Largura $W_i$	Velocidade $V_s$	Canal Externo	Canal Interno
<b>(a) Velocidade da embarcação <math>V_s</math> (em nós com relação a água)</b> $V_s \geq 12nós$ $8nós \leq V_s < 12nós$ $5nós \leq V_s < 8nós$	rápido		0,1B
	moderado		0,0
	lento		0,0
<b>(b) Vento de través predominante <math>V_{CW}</math> (nós)</b> <b>-suave</b> $V_{CW} < 15nós$ ( < Beaufort 4) <b>-moderado</b> $15nós \leq V_{CW} < 33nós$ (Beaufort 4 – Beaufort 7)	rápido		0,1B
	moderado		0,2B
	lento		0,3B
	rápido		0,3B
	moderado		0,4B
	lento		0,6B

<p><b>-forte</b>  <math>33n\acute{o}s \leq V_{CW} &lt; 48n\acute{o}s</math>  (Beaufort 7 – Beaufort 9)</p>	<p>rápido  moderado  lento</p>	<p>0,5B  0,7B  1,1B</p>	
<p><b>(c) Corrente de través predominante <math>V_{CC}</math> (nós)</b>  <b>-negligenciável</b>  <math>V_{CC} &lt; 0,2n\acute{o}s</math></p> <p><b>-suave</b>  <math>0,2n\acute{o}s \leq V_{CC} &lt; 0,5n\acute{o}s</math></p> <p><b>-moderado</b>  <math>0,5n\acute{o}s \leq V_{CC} &lt; 1,5n\acute{o}s</math></p> <p><b>-forte</b>  <math>1,5n\acute{o}s \leq V_{CC} &lt; 2,0n\acute{o}s</math></p>	<p>todos</p> <p>rápido  moderado  lento</p> <p>rápido  moderado  lento</p> <p>rápido  moderado  lento</p> <p>rápido  moderado  lento</p>	<p>0,0</p> <p>0,2B  0,25B  0,3B</p> <p>0,5B  0,7B  1,0B</p> <p>1,0B  1,2B  1,6B</p>	<p>0,0</p> <p>0,1B  0,2B  0,3B</p> <p>0,4B  0,6B  0,8B</p> <p>-  -  -</p>
<p><b>(d) Corrente longitudinal predominante <math>V_{IC}</math> (nós)</b>  <b>-baixo</b>  <math>V_{IC} &lt; 0,2n\acute{o}s</math></p> <p><b>-moderado</b>  <math>0,5n\acute{o}s \leq V_{IC} &lt; 1,5n\acute{o}s</math></p> <p><b>-forte</b>  <math>V_{IC} \geq 3,0n\acute{o}s</math></p>	<p>todos</p> <p>rápido  moderado  lento</p> <p>rápido  moderado  lento</p>	<p>0,0</p> <p>0,0  0,1B  0,2B</p> <p>0,1B  0,2B  0,4B</p>	
<p><b>(e) Altura das ondas na boca e na proa incidentes a 45°</b>  <math>H_s \leq 1,0m</math>  <math>1,0m &lt; H_s &lt; 3,0m</math>  <math>H_s \geq 3,0m</math></p>	<p>todos  todos  todos</p>	<p>0,0</p> <p>~0,5B</p> <p>~1,0B</p> <p>0,0  -  -</p>	
<p><b>(f) Auxílios à navegação</b>  excelente  bom  moderado</p>		<p>0,0  0,2B  0,4B</p>	
<p><b>(g) Superfície do fundo</b>  se <math>h \geq 1,5T</math></p> <p>se <math>h \leq 1,5T</math> então  liso e macio  áspero e duro</p>		<p>0,0</p> <p>0,1B  0,2B</p>	

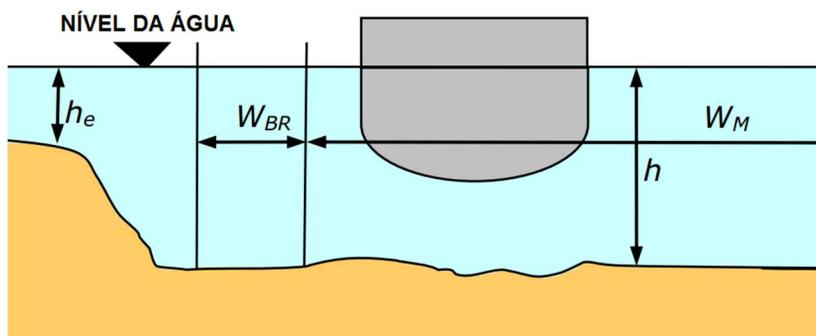
<b>(h) Profundidade do Canal <math>h</math></b>	$h \geq 1,5T$	0,0	$h \geq 1,5T$	0,0
	$1,5T > h \geq 1,25T$	0,1B	$1,5T > h \geq 1,15T$	0,2B
	$h < 1,25T$	0,2B	$h < 1,15T$	0,4B
<b>(i) Cargas de alta periculosidade</b>	Ver explicação adiante			

Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.86

✓ Distância à margem

Ao navegar próximo às margens de um Canal uma embarcação sofre variação do regime de fluxo ao redor do casco, o qual se torna assimétrico lateralmente com relação à linha central longitudinal. Consequentemente, devido ao fluxo assimétrico, há geração de forças hidrodinâmicas. Para evitar situações incontroláveis sob ação dessa força uma folga à margem é necessária (PIANC, 2014).

Figura 7 – Distância à margem.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.80

Distância às margens vermelha e verde é considerada respectivamente, nos cálculos, pelos termos  $W_{BR}$  e  $W_{BG}$ , dada pela tabela 3.

Tabela 3 – Distância às margens vermelha e verde.

<b>Distância às margens (<math>W_{BR}</math> e/ou <math>W_{BG}</math>)</b>	<b>Velocidade (<math>V_s</math>)</b>	<b>Canal Externo</b>	<b>Canal Interno</b>
Gentil inclinação	rápido	0,2B	0,2B
abaixo d'água (1:10	moderado	0,1B	0,1B
ou menos inclinada)	lento	0,0	0,0

Bordos do Canal medianamente inclinados e bancos de areia	rápido	$0,7B$	$0,7B$
	moderado	$0,5B$	$0,5B$
	lento	$0,3B$	$0,3B$
Taludes íngremes, estruturas	rápido	$1,3B$	$1,3B$
	moderado	$1,0B$	$1,0B$
	lento	$0,5B$	$0,5B$

Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.88

#### ✓ Interação entre Embarcações

Uma alteração no regime de fluxo sob o casco similar à que ocorre ao navegar perto das margens de um Canal ocorre quando há duas embarcações navegando próximas uma da outra. Essa interação deve ser levada em conta, a partir da inserção de uma distância  $W_p$  no meio das duas vias de manobra do Canal  $W_M$ , seja para embarcações se deslocando em sentidos diferentes, seja para uma manobra de ultrapassagem. A densidade de tráfego também influencia nessa distância sendo que quanto a densidade maior a distância necessária (PIANC, 2014).

$W_p$ , aplicável a canais de dupla via, é o termo que traz a soma da distância de separação entre as duas vias de manobra somada a uma parcela adicional que varia com a densidade de tráfego na mesma, e é denominada distância de cruzamento.

Tabela 4 – Distância de cruzamento.

<b>Distância de cruzamento (<math>W_p</math>)</b>	<b>Canal Externo</b>	<b>Canal Interno</b>
Velocidade da embarcação (nós)		
Rápido: $V_s > 12$	$2,0B$	$1,8B$
Moderado: $8 < V_s < 12$	$1,6B$	$1,4B$
Devagar: $5 < V_s < 8$	$1,2B$	$1,0B$

Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.89

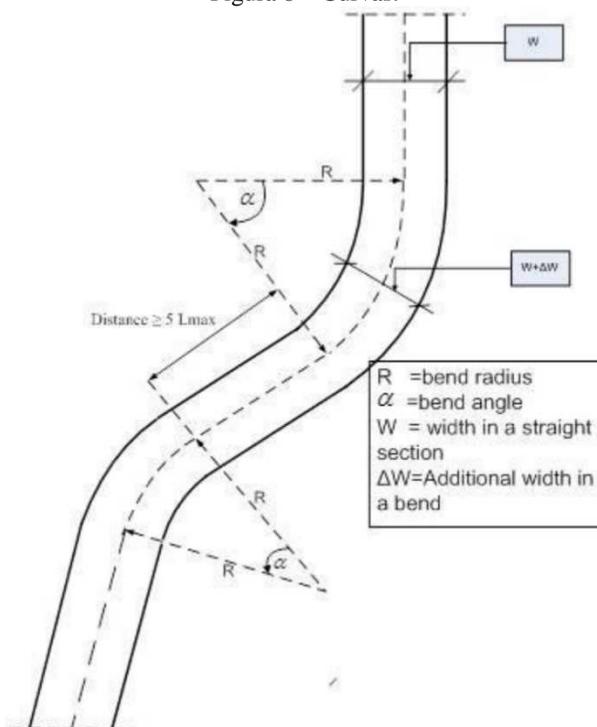
#### ✓ Amplitude de Maré

Uma amplitude muito elevada de maré (maior de 4,0 metros), combinada com condições severas de ventos e correntes demanda a aplicação de fator adicional. A ocasião de um acidente pode interromper a utilização do Canal por longo tempo demandando o estudo cuidadoso das janelas de navegação. Em título de projeto conceitual, recomenda-se que a largura do Canal seja ao menos o comprimento total ( $L_{oa}$ ) da embarcação (PIANC, 2014).

## ✓ Curvas

Inicialmente considera-se em termos de projeto que um Canal será navegado pela embarcação tipo por meios próprios, sem o auxílio de rebocadores. Se o raio da curva for muito pequeno a embarcação pode ter dificuldade de realizar a manobra por si só e o auxílio de rebocadores pode ser tornar necessário.

Figura 8 – Curvas.



Fonte: PIANC, 2014; p.75

Recomenda-se utilizar de curvas somente para conectar duas seções retas respeitando ainda uma distância mínima de transição. Em certos casos, conectar duas curvas diretamente é inevitável e a utilização de simulação vai auxiliar na escolha da melhor maneira de concatena-las. De especial importância será a maneira com que a embarcação deverá se posicionar para entrar na primeira curva e navegar a seguinte com sucesso. Duas curvas sucessivas devem possuir, preferencialmente, uma

seção reta de transição de pelo menos 5 vezes o comprimento total ( $L_{oa}$ ) da embarcação tipo. Admite-se 3 vezes o  $L_{oa}$  da embarcação tipo se as curvas forem para a mesma direção. Distâncias menores demandam análise cuidadosa realizada em simulador. Deve se prestar atenção à configuração da seção transversal do Canal, pois influi na navegabilidade da embarcação.

O raio da curva em questão depende da razão profundidade/calado ( $h/T$ ), ângulo do leme. Recomenda-se em nível conceitual que utilize-se a seguinte tabela, onde a variável é o tipo de embarcação (PIANC, 2014).

Tabela 5 – Raio de Curva Mínimo.

Número	Tipo de Embarcação	Raio da Curva ( $L_{oa}$ )
1	Cargueiro	5
2	Pequeno Cargueiro	6
3	Conteineiro Pós-Panamax	7
4	Conteineiro Panamax	6
5	Muito Grande Graneleiro	6
6	Grande Ganeleiro	6
7	Pequeno Graneleiro	5
8	VLCC	5
9	Pequeno Tanqueiro	5
10	LNG	4
11	Carga Geral Frigorificada	5
12	Cruzeiro	4
13	Balsa	5

Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.90

### 2.1.1.3 Relação entre as Dimensões Vertical e Horizontal

Apesar de serem determinadas a princípio separadamente, a largura e a profundidade são interconectadas. A maior conexão entre elas está relacionada com a velocidade da embarcação. Também, para pequenas folgas abaixo da quilha, as respostas do leme se tornam menos eficientes (PIANC, 2014). As relações são apropriadas especialmente nos cálculos em nível detalhado.

### 2.1.2 Elementos Geométricos da Área de Fundeio

Conforme definido inicialmente nos elementos da configuração marítima, área de fundeio é onde uma embarcação larga a âncora para aguardar futura atracação em berço ou mesmo realizar movimentação de

cargas, passageiros. Normalmente estão localizadas em áreas externas, que não interrompam o acesso de outras embarcações ao Porto. No entanto, é comum encontrar áreas de fundeio na área útil da configuração marítima em portos localizados ao longo de margens de rios. Elas dependem fundamentalmente das características da embarcação tipo, tempo que a embarcação ficará ancorada, condições do tempo, características de fundo, dentre outras (PIANC, 2014).

Uma área de fundeio adequada possui dimensões que permitam às embarcações se movimentarem desimpedidos com uma certa margem de segurança. É preferível que a área de fundeio esteja localizada no local mais abrigado possível de ondas e ventos, longe de vias de tráfego muito intenso, e de fácil posicionamento. O fundo da área de fundeio deve ser preferencialmente plano, livre de obstruções e de boa resistência (PIANC, 2014).

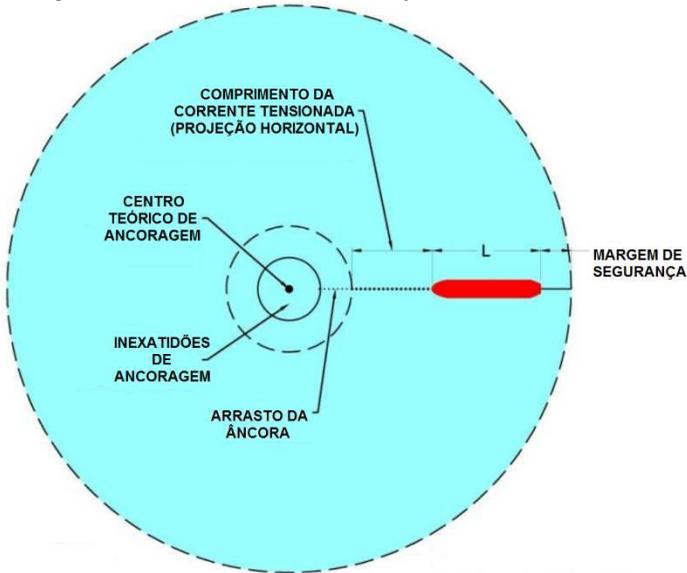
### 2.1.2.1 Dimensão Horizontal – Área de Giro

Quanto ao parâmetro horizontal. A embarcação fundeada sofrerá uma influência do vento e correntes do local conseqüentemente se deslocando ao redor de sua âncora. Existem diferenças nas diretrizes para fundeio de embarcações dotadas de duas âncoras, uma âncora na proa e uma na popa, em situações especiais tais como ancoragem em maré vazante. Situações específicas podem levar a redução ou até aumento das distâncias, porém, a regra geral para avaliar a área de fundeio é o respeito a área de giro de uma embarcação fundeada com uma âncora na proa, a qual fica em função: (a) do ( $L_{oa}$ ) comprimento total da embarcação; (b) comprimento da corrente da âncora ( $L_C$ ); (c) margem de segurança adicional ( $S_D$ ) que depende da perícia da tripulação a bordo, tempo que a âncora leva desde a ordem de jogada até o toque no fundo, exatidão da carta náutica, sendo que valores entre 25% e 50% do  $L_{oa}$  podem ser aceitos; (d) margem de arrasto da âncora ( $A_D$ ) devida à resultante das forças do vento, ondas e corrente; (e) margem de segurança ( $S_C$ ) que pode ser adotada 10% do  $L_{oa}$  ou ao menos 20 metros. A soma simples desses parâmetros fornece a área de giro mencionada.

$$AG = L_{oa} + L_C + S_D + A_D + S_C, (6)$$

É importante, ainda, ter em mente que as áreas de giro não podem se sobrepor (PIANC, 2014).

Figura 9 – Área de Giro de Embarcação Fundeada.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.102

Recomenda-se, para o item (d), o qual está em função de características ambientais, a adoção das seguintes dimensões:

Na ocasião de solo com boa resistência de ancoragem:

Se velocidade do vento for menor ou igual a 10m/s	0m
Se velocidade do vento for de 20m/s	60m
Se velocidade do vento for 30m/s	120m
Se velocidade do vento for maior ou igual a 30m/s	180m

Solo com má resistência de ancoragem:

Se velocidade do vento for menor ou igual a 10m/s	30m
Se velocidade do vento for de 20m/s	90m
Se velocidade do vento for 30m/s	150m
Se velocidade do vento for maior ou igual a 30m/s	210m

Correlação com situações de ondas, correntes ou ainda a combinação destes fatores pode ser feita baseado na resultante dos efeitos.

### 2.1.2.2 Dimensão Vertical – Profundidade

Referente ao parâmetro vertical. Apesar da recomendação para que essa área esteja o mais livre possível da ação de ondas, correntes e ventos, estes parâmetros ainda poderão estar presentes de modo a provocar uma movimentação vertical da embarcação, mesmo que de maneira menos severa que durante a navegação no Canal. Embarcações fundeadas estão normalmente livres do fenômeno “*squat*”, o qual será detalhado adiante na seção 2.2 – Elementos da Configuração da embarcação Tipo, a não ser quando sujeitas a correntes muito fortes. Essas condições menos severas sugerem uma UKC de  $1.1 T$  (PIANC, 2014).

### 2.1.3 Elementos Geométricos da Bacia de Evolução

Bacia de Evolução, conforme definido nos elementos da configuração marítima, é o local onde as embarcações param, realizam manobras de giro e são acompanhadas aos seus berços, assistidas normalmente por rebocadores (PIANC, 2014).

Se as instalações portuárias estiverem localizadas num rio, a seção do Canal pode ser alargada criando uma bacia de evolução. No entanto, ao utilizar dessa alternativa, a configuração marítima pode ficar paralisada durante a referida manobra, aumentando períodos mortos. A utilização de controle de tráfego ou a localização da bacia de evolução fora da seção do Canal são maneiras de lidar com a situação (PIANC, 2014).

#### 2.1.3.1 Dimensão Horizontal – Diâmetro Nominal

Em nível conceitual o diâmetro nominal de uma bacia de evolução deve ser maior ou igual a  $2L_{oa}$ . Esse diâmetro depende dos riscos envolvidos. Se o local sofre com a incidência de fortes ventos ou está situado em um rio de correnteza significativa o diâmetro nominal deve ser aumentado. Em portos pequenos ou desprovidos de rebocadores recomenda-se aumentar para  $3L_{oa}$ . Se as condições forem muito favoráveis é possível considerar a redução para valores inferiores a  $2L_{oa}$ , no entanto, é prudente deixar essa decisão para a fase detalhada e adotar o valor referencial (PIANC, 2014).

#### 2.1.3.2 Dimensão Vertical – Profundidade

A profundidade da bacia de evolução deve ser igual à do Canal que lhe dá acesso de forma a prevenir encalhes (ASCE, 2005).

## 2.2 ELEMENTOS DA CONFIGURAÇÃO DA EMBARCAÇÃO TIPO

A publicação “Arte Naval – Volume 1”, de autoria do Capitão de Mar e Guerra Maurílio M. Fonseca, publicado em 2005 em sua 7ª edição, que se trata de literatura consagrada no tema, utilizada pela Marinha do Brasil em diversos certames, define:

“Embarcação é uma construção feita de madeira, concreto, ferro, aço ou da combinação desses e outros materiais, que flutua e é destinada a transportar pela água pessoas ou coisas.”

Segundo PIANC (2014), a embarcação a navegar o Canal de Acesso projetado constitui o primeiro passo no exercício de Projeto. Portanto, torna-se necessário definir qual o tipo de embarcação e suas características, sua capacidade de carregamento e dimensões.

Antes, porém, de definir tais aspectos, é importante familiarizar o leitor às expressões e características mais básicas de uma embarcação.

### 2.2.1 Características Básicas de uma Embarcação

A literatura (FONSECA, 2005) traz diversos itens para definir os pontos básicos uma embarcação. Faz-se necessário, ao que dispõe esse trabalho, definir sete:

- Casco: É o corpo da embarcação sem nenhum acessório. Não possui forma geométrica única porém é sempre dotado de um eixo de simetria, que passa pelo eixo da quilha;
- Proa: Considerando um navio em marcha normal, trata-se da extremidade anterior. O formato do casco nessa porção é comumente idealizada para melhor fender o mar.
- Popa: Trata-se da parte posterior do navio. É projetado de modo a tornar mais eficiente a ação do leme e do hélice.
- Bordos: Com o casco dividido pelo plano diametral em duas partes simétricas, o observador em cima deste plano, visando a proa, BE (boreste) é a parte direita e BB (bombordo) é a parte esquerda;
- Quilha: Peça ao longo de todo o comprimento do casco no plano diametral e na parte mais baixa do navio. É a parte mais importante do navio já que em caso de encalhe é a quilha que suporta os maiores esforços;
- Leme: Aparelho destinado à governar uma embarcação;

- Hélice: Objeto que transmite o movimento rotacional produzido pelas máquinas ao mar, movimentando a embarcação;

### 2.2.2 Principais Tipos de Embarcação

Segundo PIANC (2014) as embarcações podem ser divididas genericamente pelo tipo de carga transportada. Na categoria de carregadores de alta densidade, “carregadores de peso”, podemos elencar as embarcações de carga geral, granel sólido e petroleiros. Os carregadores de baixa densidade, “carregadores de volume”, são as balsas, os cruzeiros, contêineres, embarcações “ro-ro” e que transportem gases combustíveis. Há ainda os tipos específicos como barcos pesqueiros, navios da marinha de guerra e embarcações de esporte e lazer.

O tipo de carga que uma embarcação transporta é fator importante da embarcação pois a influência dos condicionantes climáticos na manobra em águas restritas, e conseqüentemente determinantes para o projeto de um Canal, difere significativamente entre os diferentes tipos de embarcação (PIANC, 2014).

### 2.2.3 Dimensões Básicas de uma Embarcação

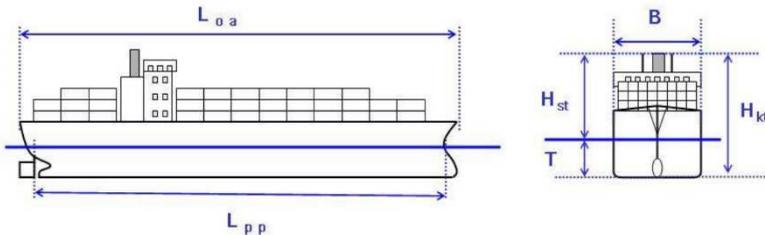
As dimensões principais de uma embarcação, segundo PIANC (2014), são:

- $L_{oa}$  (Length Overall – Comprimento Total): É o comprimento máximo da embarcação (FONSECA, 2005).
- $L_{pp}$  (Length Between Perpendiculars – Comprimento entre Perpendiculares): As perpendiculares são duas retas normais à linha-d’água projetada, contidas no plano diametral e traçadas na proa e na popa. São denominadas perpendicular a vante e perpendicular a ré. Comprimento entre perpendiculares é a distância entre as perpendiculares a vante e a ré, previamente definidas (FONSECA, 2005).
- $B$  (Beam - Boca): Maior largura do casco (FONSECA, 2005);
- $T$ : (Calado): Distância vertical entre a linha d’água e o ponto mais baixo da embarcação na seção considerada (FONSECA, 2005).
- $T_{FL}$ : (Full-Load Draught – Calado a Plena Carga): Distância vertical entre a linha d’água e o ponto mais baixo da embarcação na seção considerada quando na condição de deslocamento em

plena carga. Trata-se do calado máximo da embarcação (FONSECA, 2005);

- $H_{kt}$ : (Height from Keel to Top – Altura da Quilha ao Ponto Mais alto): Altura total da embarcação entre seus pontos superior e inferior extremos, mastro e quilha (TAKAHASHI 2007; apud PIANC, 2014).
- $H_{st}$ : (Height from Water Surface to Top – Altura da Superfície da Água ao Ponto Mais Alto): Altura da linha d’água ao ponto superior extremo, mastro (TAKAHASHI 2007; apud PIANC, 2014).

Figura 10 – Principais Dimensões de uma Embarcação.



Fonte: PIANC, 2014; p.7

As dimensões principais e formato acima do nível da água (e conseqüente influência do vento) diferem entre embarcações carregadoras de peso e as carregadoras de volume. Estas possuem menor calado e maior influência do vento que aquelas.

#### 2.2.4 Capacidade de Carregamento

Para definir uma embarcação baseado em seu tamanho e capacidade de carregamento, são normalmente utilizados segundo PIANC (2014) dois parâmetros:

- *DWT* (Deadweight Tonnage – Tonelada de Porte Bruto): Valor em toneladas da embarcação carregada ao máximo somada ao combustível, lubrificantes, água para consumo e de lastro, tripulação, passageiros e suprimentos.
- *GT* (Gross Tonnage – Arqueação Bruta): Cálculo complexo, baseado no documento “International Convention on Tonnage Measurement of Ships” publicado pela IMO, do volume dos espaços confinados de uma embarcação. Índice adimensional mais utilizado em embarcações carregadoras de volume.

Parâmetros especiais são utilizados às demais embarcações tais como passageiros para cruzeiros, contêineres para contêineres, metros cúbicos para embarcações de gases combustíveis (PIANC, 2014).

O fator de carregamento também constitui aspecto importante para análise da segurança da manobra tendo em vista que interfere na manobrabilidade da embarcação (PIANC, 2014).

### 2.2.5 Coeficientes Dimensionais de uma Embarcação

Os principais coeficientes que de alguma forma traduzem as dimensões de uma embarcação e como estão interrelacionadas são, segundo PIANC (2014):

- $C_B$  (Coeficiente de bloco);
- $C_{WP}$  (Coeficiente da área de flutuação).

Coeficiente de Bloco é a medida da “finura” de uma embarcação em relação a um bloco retangular com as mesmas dimensões. Valores típicos variam de 0,36 a 0,45 para embarcações de alta velocidade, na casa dos 0,85 para carregadores de alta densidade, entre 0,54 a 0,71 carregadores de volume. Para projeto conceitual o valor pode ser obtido por meio de Tabelas que se baseiam no tipo de embarcação (carregadores de alta densidade, carregadores de volume, etc). Um projeto detalhado demanda cálculo baseado nas características da embarcação tipo (PIANC, 2014).

O Coeficiente da área de flutuação é a razão entre a área de flutuação e o retângulo que a circunscreve e é definido matematicamente segundo PIANC (2014) como:

$$C_{WP} = \frac{A_{WP}}{L_{pp}B}, (7)$$

onde:

$A_{WP}$ : Área de flutuação;

$L_{pp}$ : Comprimento entre perpendiculares;

$B$ : Boca.

Valores típicos estão entre 0,75 e 0,85 (Gaythwaite, 1990; apud PIANC, 2014) embora valores como 0,90 já tenham sido utilizados em graneleiros e petroleiros.

## 2.2.6 Graus de Liberdade de uma Embarcação

Para melhor compreender os fatores da embarcação influentes no Projeto de um Canal é importante demonstrar de que forma uma embarcação se comporta navegando sob ação dos efeitos naturais e de que forma eles o influenciam.

Uma embarcação sofre ação de seis graus de liberdade: avanço, deriva, afundamento, jogo, arfagem, guinada (PIANC, 2014).

Figura 11 – Graus de Liberdade da Embarcação.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.30

- Avanço: translação ao longo do eixo X. Afeta a dimensão horizontal do Canal e sua largura;
- Deriva: translação ao longo do eixo Y. Afeta a dimensão horizontal do Canal e sua largura;
- Afundamento: translação ao longo do eixo Z. Afeta a dimensão vertical do Canal. Embarcações possuem tendência de acompanhar as ondas para cima e para baixo;
- Jogo: rotação em torno do eixo X. Afeta a dimensão vertical do Canal. Ondas incidindo num dado ângulo em relação ao eixo longitudinal da embarcação (mar de través) criam um momento intensificador que é contrabalanceado por outro restaurador baseado na altura metacêntrica;
- Arfagem: rotação em torno do eixo Y. Afeta a dimensão vertical do Canal. É função do comprimento e da

velocidade da embarcação e mais importante para mares de proa ou popa;

- Guinada: rotação em torno do eixo Z. Afeta a dimensão horizontal do Canal e sua largura;

## 2.2.7 Características da Embarcação Influentes em Projeto de Canal

São fatores da embarcação o calado estático da embarcação e a UKC (folga resultante abaixo da quilha). Por sua vez, a UKC é composta de seis fatores:

- Tolerância devido às incertezas na determinação do calado estático;
- Mudança na densidade da água;
- Efeitos “*squat*” e trim da embarcação;
- Inclinação dinâmica;
- Tolerância devido a respostas às ondas;
- Folga mínima abaixo da quilha.

### 2.2.7.1 Calado estático da embarcação

O primeiro fator a ser considerado é o calado estático da embarcação tipo. Deve-se tomar o cuidado de considerar a variação do mesmo durante o deslocamento da embarcação de porto a porto (“*passage*”) devido ao consumo de combustível, variação no lastro, etc. Também se deve observar o efeito trim caso a embarcação não navegue com a quilha paralela ao plano de flutuação. Neste caso, deve ser considerado o calado mais desfavorável entre o calado a vante e o calado a ré (PIANC, 2014).

### 2.2.7.2 Tolerância devido às incertezas na determinação do calado estático

Uma tolerância relacionada às incertezas na determinação do calado estático se faz necessária. Muitas vezes a determinação precisa no porto de partida é difícil devido a influência de ondas. Ainda, a densidade no porto de partida pode variar limitando a aplicabilidade desse valor no porto de chegada. Por fim, inclinação estática da embarcação devido a dano estrutural ou carregamento não balanceado podem influenciar a leitura (PIANC, 2014).

### 2.2.7.3 Mudança na densidade da água

O calado da embarcação em água doce ( $T_{fw}$ ) apresenta variação ao calado da embarcação em água salgada ( $T_{sw}$ ) devido a variação na densidade da água nestas duas situações. Essa relação está em função do coeficiente de bloco ( $C_B$ ) e do coeficiente de área da área de flutuação ( $C_{WP}$ ). Matematicamente (PIANC, 2014):

$$T_{fw} = \left(1 + 0,025 \frac{C_B}{C_{WP}}\right) T_{sw}, \quad (8)$$

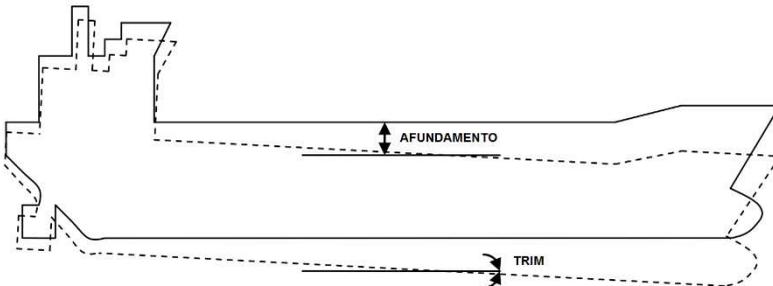
O deslocamento de uma embarcação aumenta, portanto, de 2 a 3% em água doce comparado a água do mar já que o deslocamento é inversamente proporcional a densidade da água (PIANC, 2014).

A equação acima é aplicável se a embarcação for de quilha paralela ao plano de flutuação (PIANC, 2014).

### 2.2.7.4 Efeito “squat”

O fator mais significativo para determinação do UKC é o “squat” incluindo trim dinâmico. Durante o deslocamento de uma embarcação, o fluxo de água abaixo do casco interfere no regime de pressões hidrodinâmicas da redondeza. O regime de equilíbrio entre energia potencial e energia cinética acaba por produzir uma força vertical com sentido de cima para baixo, causando afundamento, e momento em relação ao eixo transversal, o que leva a produzir trim. O momento mencionado pode acarretar em calados diferentes na popa e na proa (PIANC, 2014).

Figura 12 – “Squat”.



Fonte: Adaptado de IJSEBAERT, 2010; p.8

Portanto, “*squat*” acaba por produzir um maior calado e necessidade de acréscimo na UKC. Águas rasas e proximidade com os bordos do Canal são fatores que intensificam esse fenômeno (PIANC, 2014).

O “*squat*” sempre existiu porém era item de menor preocupação no projeto de canais pois as embarcações eram menores, navegavam mais lentamente e em canais mais largos e profundos. As condições atuais favorecem um “*squat*” maior e demandam uma atenção especial ao tema (PIANC, 2014).

Este fenômeno depende das características da embarcação e configurações do canal. Dentre as relacionadas à embarcação, as principais são o calado ( $T$ ), formato do casco normalmente indicado pelo coeficiente de bloco ( $C_B$ ), e a velocidade ( $V_S$ ). Importante ressaltar que a velocidade mencionada é a relativa entre a embarcação e a água, não em relação ao fundo do Canal, o que inclui a consideração de correntes fluviais e de maré. A relação entre velocidade e “*squat*” é quadrática o que a torna o parâmetro mais importante. Características secundárias porém influentes no “*squat*” são a  $L_{pp}$ , a boca ( $B$ ), e os formatos da proa e popa (PIANC, 2014).

A proximidade dos bordos e do fundo do Canal ao casco da embarcação são os fatores influentes no que está relacionado ao Canal em si. A avaliação do “*squat*” é considerada desnecessária quando a razão entre a profundidade do canal ( $h$ ) e o calado do navio ( $T$ ) é superior a 1.5, já que o risco de tocar o fundo fica muito diminuído (PIANC, 2014).

A maioria dos estudos do fenômeno considera a embarcação navegando em regime permanente (sem aceleração) e num Canal retilíneo de dimensões constantes. No entanto, o “*squat*” muda ao passar por estados transientes diversos. Mudança de águas profundas para águas rasas, curvas, aceleração, proximidade aos bordos, presença de outra embarcação, todas modificam o fenômeno. Portanto, é importante tomar cuidado ao aplicá-las (PIANC, 2014).

O “*squat*” já está incluído para fins de Projeto Conceitual nos coeficientes empíricos e não será calculado em específico.

### 2.2.7.5 Inclinação Dinâmica

Quando uma embarcação faz curvas, a inclinação dinâmica ocorrerá dependendo da velocidade da embarcação, do ritmo da curva, da altura metacêntrica e das forças provenientes dos cabos do rebocador. A

diferença entre jogo e inclinação dinâmica está na causa do movimento sendo que jogo é proveniente de movimentos ondulatórios e inclinação dinâmica é decorrente de movimentos não oscilatórios, tais como ventos e correntes. A inclinação dinâmica está em função da boca e da forma da embarcação ser mais ou menos suscetível a ação do vento (PIANC, 2014).

A inclinação dinâmica adiciona calado à embarcação e é em virtude disto que se faz parte integrante da análise (PIANC, 2014).

#### 2.2.7.6 Resposta da Embarcação à Ação das Ondas

As ondas e a respectiva resposta da embarcação para com elas acabam se manifestando em movimentações de afundamento, arfagem e jogo, os quais acabam por influenciar seu calado. Essa característica é de principal importância principalmente para portos desabrigados (PIANC, 2014).

#### 2.2.7.7 Folga Mínima Abaixo da Quilha (*UKC<sub>Net</sub>*)

Dada uma embarcação se movimentando a velocidade planejada sob a ação dos mais severos ventos e ondas, a folga mínima abaixo da quilha é a última subtração realizada na profundidade do Canal, feita após terem sido descontadas todas as outras parcelas. É uma adição final na margem de segurança e na distância que resta entre a quilha e o fundo do Canal (PIANC, 2014).

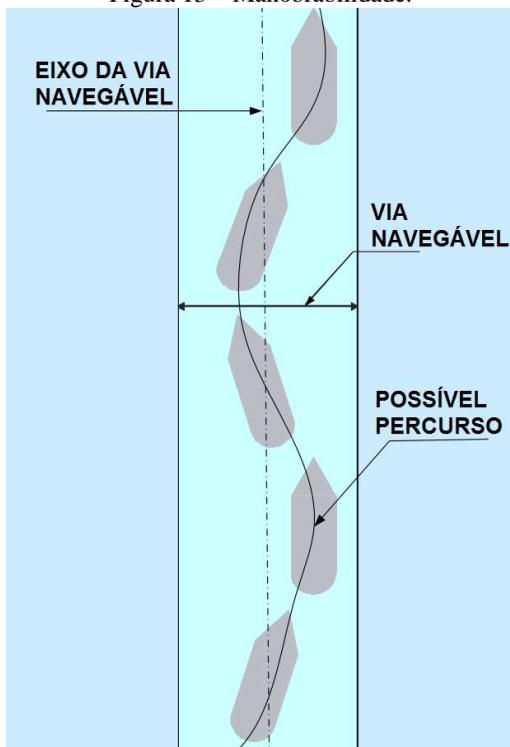
#### 2.2.7.8 Manobrabilidade Básica

Manobrabilidade pode ser definida como a habilidade que a embarcação possui em realizar os movimentos pretendidos pela tripulação sem o auxílio de rebocadores. Uma embarcação, navegando sob governo próprio, sem ações naturais externas (ondas, ventos, correntes) irá percorrer um percurso que excede em certo nível sua boca. Isso se deve ao fato de que há um tempo de resposta do marinheiro a cargo da navegação em avistar os auxílios à navegação e determinar sua posição, interpretar a necessidade de correções no curso e em comunicar estas aos responsáveis. Também a embarcação possui seu tempo de resposta às ações tomadas pelos que a governam. Essa característica de movimentação ocorre mesmo em águas calmas (PIANC, 2014).

A manobrabilidade da embarcação define-se com base em seu comportamento em três condições principais: (a) capacidade de governo com baixa inclinação do leme, menor que 5 graus; (b) capacidade de

governo com média inclinação do leme, entre 10 e 20 graus; (c) capacidade de governo com o leme completamente inclinado (PIANC, 2014).

Figura 13 – Manobrabilidade.



Fonte: Adaptado de PIANC, 2014; p.77

Manter o percurso está completamente ligado ao conceito de manobrabilidade. Embarcações carregadoras de peso com alto coeficiente de bloco são menos capazes de manter um percurso continuamente se comparados a embarcações carregadoras de volume com baixo coeficiente de bloco (PIANC, 2014).

Com relação a águas rasas e profundas, a capacidade de manter o percurso é maior em águas rasas. Embarcações completamente carregadas, por vezes, possuem maior instabilidade de percurso em águas médias (razão profundidade calado por volta de 1,5) do que em águas profundas. A capacidade de realizar curvas, no entanto, diminui em águas rasas (PIANC, 2014).

### 2.2.7.9 Margem de Manobrabilidade (MM)

Quanto menor a folga resultante abaixo da quilha, mais dificultosa fica a manobra da embarcação já que é necessário certo espaço livre que garanta os fluxos hídricos ao redor do casco. Apesar da folga abaixo da quilha se tratar de um componente vertical, também influencia na definição de componentes horizontais pois uma folga reduzida torna a embarcação mais morosa, influenciando no tempo de resposta e na ocasião de navegação em curva por exemplo (PIANC, 2014).

A margem de manobrabilidade (MM) é a soma determinística de todos os fatores UKC de forma a atingir um valor de folga resultante abaixo da quilha que garanta manobrabilidade à embarcação em movimento. A verificação da conformidade à MM deve ser sempre realizada, seja em nível conceitual ou detalhado (PIANC, 2014).

O valo de MM a ser respeitado depende do tipo de embarcação, dimensões do Canal e alinhamento, e intensidade do tráfego. O valor mínimo de 5% do calado ou 0,6 metros, adotando-se o maior valor dentre estes, já se mostrou ser um valor adequado para a maior parte das embarcações e canais. Com o auxílio de rebocadores esse valor pode ser reduzido, sendo que normalmente passa a ser de 0,5 metros independente do calado (PIANC, 2014).

## 2.3 DADOS FÍSICOS

É importante obter o máximo de informação possível referente às condições físicas e ambientais do local onde se avalia um Canal de Acesso. Para avaliação da capacidade de um Canal, os principais aspectos influentes são (PIANC, 2014):

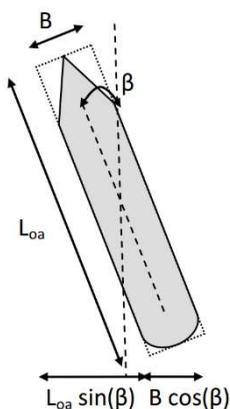
- Ventos;
- Ondas;
- Marés e Correntes;
- Condição Geotécnica do Solo;
- Assoreamento;
- Visibilidade;
- Gelo.

### 2.3.1 Vento

Vento é o ar em movimento. Esse aspecto é especialmente importante já que influi diretamente no projeto geométrico vertical e

horizontal de um Canal. O sistema de forças atuantes numa embarcação navegando é composto pelas forças hidrodinâmicas, casco e leme, bem como o vento atuante na porção acima da linha d'água. Muitas vezes é necessário adotar um ângulo de deriva para se atingir o avanço desejado (PIANC, 2014).

Figura 14 – Ângulo de Deriva.



Fonte: IJSEBAERT, 2010; p.4

Os efeitos do vento na embarcação podem ser mais ou menos intensos dependendo de quatro fatores: (a) qual é o tamanho e formato da embarcação acima do nível da água, sendo que quanto maior a porção emersa maiores os efeitos do vento. (b) a velocidade em que navega a embarcação. Os efeitos são mais proeminentes quanto mais lentamente uma embarcação se desloca. (c) razão profundidade/calado ( $h/T$ ). A resistência de uma embarcação ao deslocamento lateral aumenta à medida que a ( $h/T$ ) se aproxima da unidade uma vez que folgas abaixo de quilha pequenas acabam gerando menos deriva. (d) velocidade do vento e direção em relação à embarcação. Quanto maior a intensidade maiores os efeitos. (PIANC, 2014).

### 2.3.2 Ondas

Ondas podem gerar movimentos na embarcação tais como afundamento, jogo e arfagem bem como deriva devido a ondas e a passagem de outras embarcações. Dessa forma influem diretamente nos

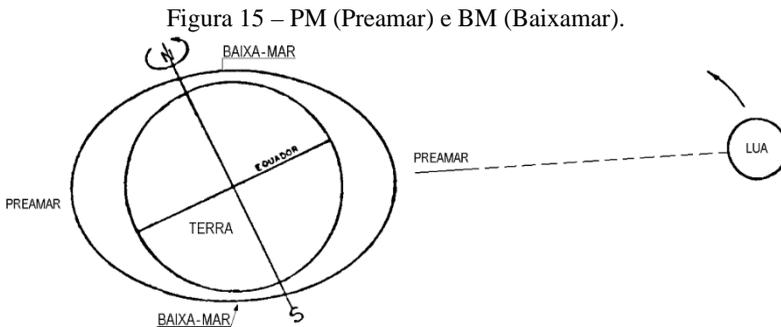
parâmetros vertical e horizontal do projeto geométrico de um Canal (PIANC, 2014).

### 2.3.3 Marés e Correntes

As marés são de especial importância no projeto de um Canal pois são determinantes para a dimensão vertical. Elas alteram sua profundidade e, com isso, podem acabar restringindo manobras a embarcações devido ao seu calado. A maré também afeta o calado aéreo (PIANC, 2014). O conhecimento antecipado da corrente resultante de um Canal é muito valioso pois sugere momentos mais adequados para a realização de manobras, escolha do bordo de atracação e velocidade com que o navio deve evoluir (MIGUENS, 2000). A corrente resultante também determina o ângulo de deriva necessário ao avanço da embarcação e sucesso da manobra, o qual foi definido no item 2.3.1 - Vento e influi nas dimensões horizontais do Canal (IJSEBAERT, 2010).

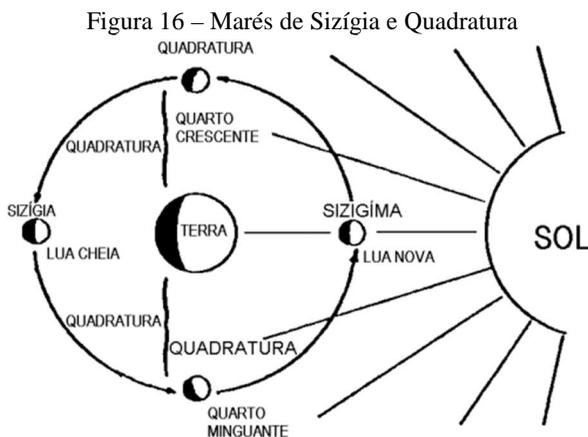
Maré é a variação vertical da superfície da água considerada sobre dado ponto da Terra. Devido à Lei da Gravitação Universal de Newton, os principais agentes provocadores das marés e suas variações são a Lua e o Sol, já que estão a distâncias e possuem massas capazes de causar influência perceptível. Há também a ocorrência de deslocamentos horizontais, gerando correntes de marés. A diferença térmica entre pontos do planeta gera os grandes sistemas de vento que por sua vez ocasionam as correntes oceânicas (MIGUENS, 2000).

Devido às interações de força gravitacional entre o Planeta Terra e Lua, a água da superfície terrestre tende a fluir em direção aos pontos mais próximo e mais afastado desta. Ocorrem então as PMs (preamares) e BMs (baixa-mares) (MIGUENS, 2000).



Fonte: MIGUENS, 2000; p.228

Quando também consideramos a influência do Sol na dinâmica de marés devemos considerar as marés de sizígia e quadratura. A maré de sizígia é o momento onde a atração solar e lunar se somam. Marés de sizígia possuem PMs muito altas e BMs muito baixas. As de quadratura possuem valores intermediários (MIGUENS, 2000).



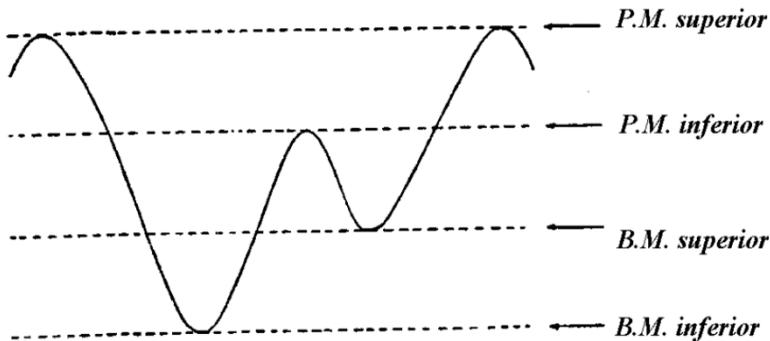
Fonte: MIGUENS, 2000; p.229

Temos como situação mais comum a maré semidiurna, na qual ocorrem duas PMs e duas BMs a cada dia lunar. PMs e BMs sucessivas possuem pequena variação de altura. Situações fora desse padrão podem ocorrer por influência de massas terrestres, águas restritas, atrito, viscosidade do meio líquido, efeito Coriolis, produzindo marés diurnas ou marés mistas. Em marés diurnas ocorre uma PM e uma BM durante o dia e a diferença entre as alturas é pequena. Nas marés mistas as diferenças entre PMs e BMs sucessivas é muito grande e, apesar de ocorrerem normalmente duas PMs e duas BMs por dia, a maré por vezes se mostra diurna. Por fim, ainda há situação onde a maré é sempre semidiurna, porém apresenta variações entre PMs e BMs tal como demonstra a Figura 17. Essa fica caracterizada como maré semidiurna com desigualdades diurnas (MIGUENS, 2000).

As correntes de maré são a componente vetorial horizontal geradas pelo mesmo processo de interação gravitacional explicado para marés. Normalmente, em portos abrigados, o Canal de Acesso possui corrente de maré com velocidade máxima para dentro na PM, máxima para fora na BM e nula quando atinge seu nível médio.

As correntes oceânicas são geradas por processos de acomodação termoalinos e de circulação dos ventos (MIGUENS, 2000). Esses dois processos estão interligados mas não serão aprofundados tendo em vista que não influem significativamente no estudo proposto nos objetivos.

Figura 17 – Maré Semidiurna com Desigualdades Diurnas.



Fonte: MIGUENS, 2000; p.230

A corrente de água doce para um Canal abrigado deve ser levada em consideração já que pode influenciar a corrente resultante. Ela sempre possui a direção do curso do rio, sentido a jusante e varia ao longo do ano em função das chuvas a montante. Especial atenção deve ser dada a ocasiões meteorológicas excepcionais e de grande magnitude (PIANC, 2014).

Correntes de través afetam a possibilidade da embarcação em manter seu curso enquanto correntes longitudinais afetam a possibilidade de manobrar e parar. Conforme explanado no item Manobrabilidade Básica, em águas restritas com a razão profundidade/calado ( $h/T$ ) próxima à unidade, as características de manobrabilidade sofrem alteração, como também sofre alteração a capacidade da embarcação em lidar com a influência das correntes (PIANC, 2014).

#### 2.3.4 Condição geotécnica do solo do canal

As condições geotécnicas do solo do Canal afetam a UKC necessária para manobra segura da embarcação, já que as consequências em virtude de um toque no fundo são proporcionais a essas condições. Material em suspensão (solo mole) traz consequências menos graves numa situação de toque, porém prejudica a manobrabilidade da

embarcação e dificulta a determinação das condições de fundo (PIANC, 2014).

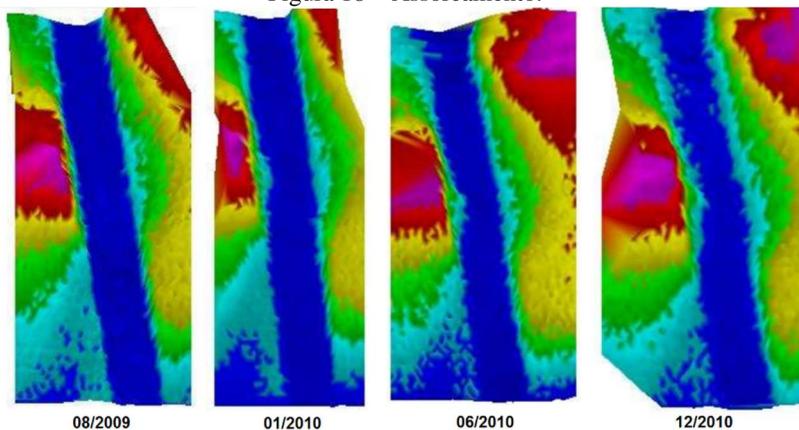
Para a correta determinação da profundidade de projeto de um Canal, a condição geotécnica se faz presente no fator denominado Tolerância para Incertezas na Determinação do Fundo. Canais com fundos de solo mole possuem uma interface entre o meio aquoso e o solo, o qual pode ser tocado pelo fundo da embarcação sem causa-la dano. Porém, incertezas são inerentes às sondagens feitas em fundos compostos de solos moles e a correta identificação do nível dessa interface se torna um desafio (PIANC, 2014).

Em um fundo rochoso, apesar de sua determinação não ser dificultosa como na ocasião de solo mole, a aplicação da Tolerância para Incertezas na Determinação do Fundo continua pertinente. Os equipamentos utilizados para a determinação do nível de fundo possuem de fábrica uma certa margem de erro que deve ser considerada, até porque, uma ocasião de toque no fundo traria consequências muito sérias (PIANC, 2014).

### 2.3.5 Assoreamento

O regime de assoreamento em Canais dragados é de grande importância já que irá definir a periodicidade de dragagens de manutenção e evitar toques no fundo devido à mudança em suas condições (PIANC, 2014).

Figura 18 – Assoreamento.



Fonte: Gustavo Martins - Seminário TPN, 2014.

Na condição de projetista, quando se quer determinar a profundidade do Canal e se quer levar os efeitos do assoreamento em conta, recomenda-se a utilização da tolerância denominada Tolerância para Alterações de Fundo Entre Dragagens, a fim de garantir a necessária segurança à navegação (PIANC, 2014).

A Figura 18 está inserida para ilustrar como o assoreamento altera as condições de fundo do Canal, tanto na dimensão vertical quanto na horizontal. Trata-se da alteração do fundo aferida entre Agosto de 2009 e Dezembro de 2010 no Canal da Galheta.

### 2.3.6 Visibilidade

As condições de visibilidade são consideradas pobres quando menores de 0,5 milhas náuticas e impactam diretamente nas dimensões e tipos de embarcações com autorização para operar em uma configuração marítima, bem como a densidade de tráfego considerada segura nesta. Visibilidade muito pobre motiva inclusive fechamento de Canais uma vez que é fundamental para a navegação segura de uma embarcação. Essa condição ambiental bem como as demais determina períodos em que as instalações portuárias serão utilizadas e se tornam indiretamente importantes indicadores de viabilidade econômica. Os períodos de não utilização podem ser diminuídas com o investimento em auxílios à navegação, maior disponibilidade de rebocadores (PIANC, 2014).

### 2.3.7 Gelo

Segundo a PIANC, presença de gelo no Canal deve ser estudada visto que influi na manobrabilidade da embarcação e pode até impossibilitar a utilização do Canal durante um período do ano.

Esse aspecto não entrará como variável no escopo do trabalho e dispensa definições mais aprofundada.

### **3. METODOLOGIA DE CÁLCULO DE CAPACIDADE PARA PROJETO DE UM CANAL E ALTERNATIVAS DE SIMULAÇÃO**

#### **3.1 RAZÃO DA ESCOLHA**

Existe um organismo da ONU (Organização das Nações Unidas), denominado IMO (Organização Marítima Internacional), responsável, segundo seu próprio Documento Básico, Parte I – Propósitos da Organização, item a:

“Prover mecanismos de cooperação entre governos (...); que encorajem e facilitem a adoção geral dos mais elevados e exequíveis níveis de segurança marítima, eficiência da navegação e prevenção e controle da poluição causada pelas embarcações; (...)”

O Brasil é signatário da IMO desde 1963, logo, compactua com tal propósito. Entretanto, essa organização não possui publicação que traga informações técnicas detalhadas quanto a configuração marítima, as quais poderiam servir de referência para a análise referida nos objetivos.

No Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), desde 1940, é o órgão responsável pela normalização técnica e conta com a NBR (Norma Brasileira) 13246:1995, que versa sobre o tema. Entretanto, o fato de sua mais atualizada versão datar de 1995 a torna inadequada.

Existem diversos referenciais utilizados pelo mundo tais como o Coastal Engineering Manual publicado pelo USACE (United States Army Corps of Engineers) e utilizada nos Estados Unidos da América, a ROM (Recomendaciones de Obras Marítimas) publicada pelo governo da Espanha e lá utilizada com força de norma, a publicada pela CCG (Canadian Coast Guard), utilizada no Canadá, a BSI (British Standard Institute) utilizadas no Reino Unido, a JIN (Japan Institute of Navigation) utilizada no Japão, cada uma com suas características próprias.

Dentre estes inúmeros referenciais existentes, o mais adequado é, no entender do próprio autor, o publicado pela PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses). Ele é, atualmente, o mais atualizado tendo em vista que foi publicado em 2014. Além disso, ele foi produzido por um grupo de trabalho internacional, em forte

cooperação com a IAPH (International Association of Ports & Harbours), a IMPA (International Maritime Pilots Association), e a IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities), importantíssimos organismos do setor (PIANC, 2014). Inclusive, segundo IJsebaert (2010), a publicação da PIANC pode ser encarada como o referencial internacional. Complementando, segundo V. (2013), quem comparou a publicação PIANC ainda de 1997 e a USACE, considerou PIANC como melhor referência. Ainda, Heuts (2010) ao projetar um novo porto no Marrocos, Meer (2002) ao fazer um estudo de viabilidade de um porto, Grupo Itajaí 2010 (2010), ao analisar a sedimentação do canal de acesso do Porto de Itajaí, Bakermans (2014), ao analisar um porto em mar aberto, e ainda outros, utilizaram as diretrizes propostas pela PIANC em seus trabalhos. Por fim, a metodologia PIANC traz consigo elementos referenciados de algumas das outras normas citadas, constituindo atualmente uma compilação dos melhores estudos, o que credencia a referência adotada.

### 3.2 PROCESSO DE PROJETO DE UM CANAL

Segundo a norma PIANC (2014), canais são projetados num processo de dois passos:

- Projeto Conceitual;
- Projeto Detalhado.

O projeto conceitual é caracterizado por ser rápido e não prever a utilização de dados muito detalhados. São utilizados os processos empíricos para definição das características do Canal. É importante pois nessa fase é possível avaliar cenários inúmeros. Exemplo: Um aprofundamento do canal aumentaria o calado máximo possível das embarcações que frequentam o porto. Porém, demandaria um investimento maior em dragagem de manutenção no futuro. Existe demanda que justifique esse aprofundamento? Análises como essa, onde se ganha num aspecto mas se perde do outro, ficam facilitadas nessa etapa (PIANC, 2014).

O projeto detalhado existe para refinar, aprimorar e validar o projeto conceitual dotado por meio de análises numéricas e físicas, com a utilização de simuladores. Essa fase demanda um aprofundamento maior dos dados e vasta experiência do projetista em analisar os resultados. O auxílio de profissionais da área da navegação, tais como práticos e mestres de rebocador, também se faz necessário. Aspectos bem

aprofundados também são analisados nessa fase tais como boias de auxílio à navegação, número de rebocadores (PIANC, 2014).

Inicialmente, em nível de projeto conceitual, o primeiro passo é adotar uma ou mais embarcações tipo que poderão frequentar a referida configuração marítima, definindo assim alternativas a serem analisadas. Na sequência ao trabalho busca-se otimizar aspectos de navegação, segurança, meio ambiente, economia, dentre outros, reduzindo a amostra de alternativas que merecem ser analisadas em nível de projeto detalhado (PIANC, 2014).

### 3.3 SIMULAÇÃO

Há dois tipos de modelo de simulação existentes atualmente, os quais possuem objetivos distintos: (a) simular a capacidade de um Canal por meio de manobra de atracação e sua viabilidade quanto a aspectos da segurança da navegação, ou (b) quantificar o tráfego máximo no Canal para determinar em conjunto com outras análises a capacidade de movimentação de cargas do sistema portuário (PIANC, 2014).

Para a simulação de tráfego máximo num Canal normalmente se utiliza o cálculo de capacidade baseado na Teoria de Filas. Essa Teoria parte da premissa básica de que a seção da cadeia com a menor capacidade determinará a capacidade da cadeia como um todo. No caso da configuração marítima essa seção é normalmente a Bacia de Evolução (PIANC, 2014). O simulador FlexSim pode ser citado como uma alternativa para auxiliar na determinação de tal capacidade.

O objetivo deste trabalho demanda uma análise dos simuladores de manobra, os quais serão aprofundados adiante.

#### 3.3.1 Simuladores de Manobra

Há dois tipos de simuladores de manobra:

- “*Fast-time*”;
- “*Real-time*”.

Ambos são compostos de software de simulação, modelos matemáticos de manobra de embarcações, banco de dados com as características geográficas e ferramentas de análise. A principal diferença entre eles é que no sistema “*fast-time*” um algoritmo navega a embarcação e posiciona automaticamente os rebocadores. No modelo “*real-time*” a navegação fica a cargo de um ser humano, geralmente o prático (PIANC, 2014).

Os simuladores de manobra permitem uma dupla aplicação: (a) engenharia e pesquisa, (b) capacitação e treinamento. Vale destacar, no entanto, que demandam diferentes requisitos. Para pesquisa e engenharia o modelo deve reproduzir fielmente o comportamento físico na navegação de forma a constituir um extrapolador confiável e permitir análises da segurança de manobra de uma certa embarcação em dada condição ambiental. No caso da capacitação, deve reproduzi-lo qualitativamente, transmitindo as impressões, desafios, dificuldades que o operador teria inserido na situação ambiental definida em certa embarcação (TANNURI, 2014).

Os modelos matemáticos são mais confiáveis se baseados em dados obtidos em escala real. Podem ser também aferidos em tanques e tuneis de vento, modelos físicos em escala, e posteriormente calibrados por meio de parâmetros reais. Entretanto, é possível produzir resultados satisfatórios com a utilização de modelagem numérica e de modelos previamente utilizados de embarcações com características semelhantes (PIANC, 2014).

As características geográficas dependem da coleta de dados topográficos, batimétricos e hidráulicos do local de análise e são muito importantes pois influem diretamente na resposta hidrodinâmica das embarcações (PIANC, 2014).

A alternativa “*fast-time*” pode ser suficiente para manobras consideradas mais simples, sem muitas curvas, em trechos praticamente retilíneos. O algoritmo que alimenta o simulador *fast-time* é normalmente dotado de 5 ou mais parâmetros principais e, para que se assemelhe ao máximo a dados reais, podem ser alterados a cada teste. Ainda, os parâmetros relacionados aos rebocadores e comunicação com o oficial de máquinas também devem ser considerados. São necessárias várias manobras em cada situação considerada, com os parâmetros de resposta dos operadores variando dentro de certo intervalo, que permitam uma análise estatística dos dados e garantam validade significativa aos resultados. No entanto, por mais simples que seja o projeto de um Canal, a manobra de atracação não é trivial quando se está muito perto do cais, ou ainda quando se faz curvas na bacia de evolução. Logo, a dispensa de uma simulação “*real-time*” deve ser adotada com extrema cautela (PIANC, 2014).

A alternativa “*real-time*” é a mais completa e próxima da realidade. O grau de sofisticação de um simulador “*real-time*” varia muito indo desde um monitor ou projetor e alguns controles apenas até simulação em 360° e todos os controles disponíveis numa situação real (“*Full-Mission Bridge*”). Estes simuladores de passadiço são utilizados inclusive para

treinamento de profissionais da navegação em formação. A simulação mais avançada é indicada para definição última das dimensões horizontais do Canal e posicionamento de auxílios à navegação. Sem dúvida, sua operação deve ser realizada por profissionais experientes do ramo e conhecedores do local, os práticos e mestres de rebocador, afim de se ter uma opinião realmente embasada e experiente. Somente a participação destes na simulação “*real-time*” confere a devida garantia de inserção dos fatores humanos e margens de erro (PIANC, 2014).

Figura 19 – Simulador “*real-time*” no Centro de Simulación, Investigación Y Desarrollo Marítimo (SIDMAR).



Fonte: Samuel Sembalista Haurelhuk, 2013.

Dentre outros existentes, é válido citar os seguintes simuladores de manobra atualmente disponíveis no mercado: (a) SHIPMA, simulador “*fast-time*” desenvolvido pela parceria entre a MARIN (Maritime Research Institute Netherlands) e a Deltares, dois institutos de pesquisa na área marítima da Holanda; (b) Rembrandt, simulador “*fast-time*” e “*real-time*” desenvolvido pelo grupo BMT, empresa holandesa de consultoria na área marítima; (c) Arcadis Ship Navigator, simulador “*fast-time*” e “*real-time*” de uma empresa holandesa voltada a consultoria, engenharia, projetos; (d) Simulador TPN “*Full Mission*” do Tanque de

Provas Numérico, simulador “*fast-time*” e “*real-time*” totalmente desenvolvido no Brasil pela USP (Universidade de São Paulo)

Dado que o trabalho se propõe a analisar o Canal em nível conceitual de projeto, a simulação se torna facultativa, visto que é mais indicada em nível detalhado. A simulação em nível “*fast-time*” poderia até ser realizada, no entanto, o valor dos softwares no mercado torna essa alternativa impossível no momento.

## 4. ESTUDO DE CASO - CONFIGURAÇÃO MARÍTIMA DO PORTO DE PARANAGUÁ

### 4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O Canal da Galheta, que dá acesso ao Porto de Paranaguá e é objeto de estudo deste Trabalho, está situado no Estado do Paraná, no município de Paranaguá. Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) o Estado conta com uma população estimada em 2014 de 11.081.692 de habitantes, possui uma área de 199.307,922 km<sup>2</sup> e uma densidade demográfica resultante de 52,40 hab/km<sup>2</sup>. O estado está dividido atualmente em 399 municípios.

Tabela 6 – Coordenadas Geográficas do Porto de Paranaguá.

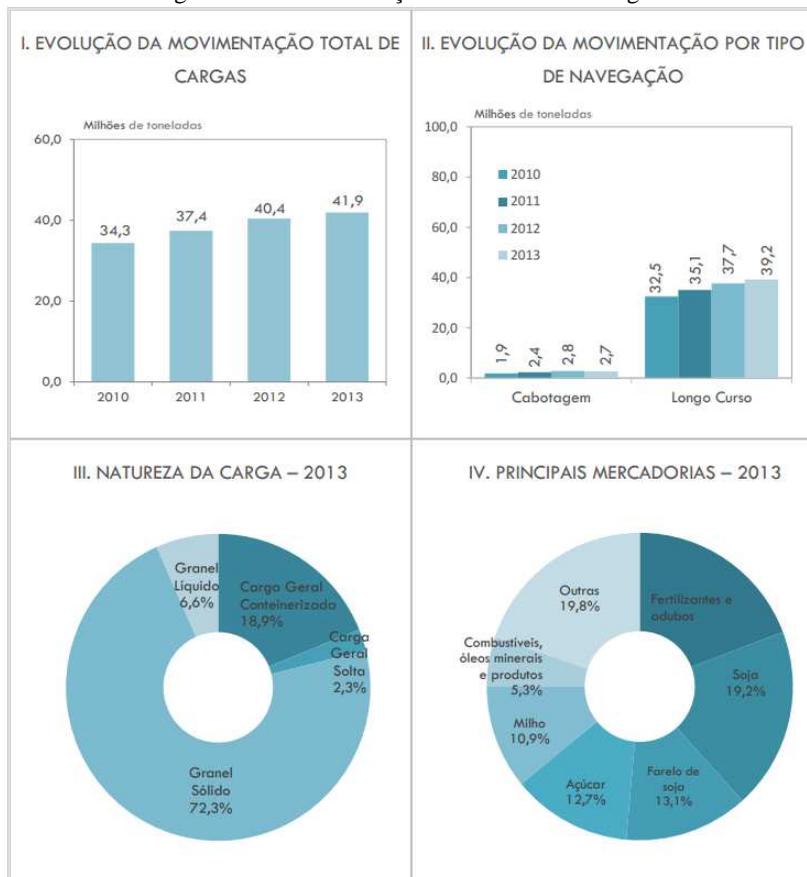
	Coordenadas
Latitude	25° 30,1' S
Longitude	48° 31' W

Fonte: APPA, 2011; apud PDZPO 2012; p.27

O Porto de Paranaguá movimentou 41,9 milhões de toneladas em 2013, o que representa 4,5% do total movimentado nos portos do país. A mencionada movimentação significa um incremento de 3,6% em relação a 2012 (ANTAQ, 2014). A projeção de demanda para o ano de 2030 quantifica a movimentação total em quase 81 milhões de toneladas, um incremento de quase 100% sobre a movimentação atual (SEP, 2013).

A movimentação do Porto é principalmente de produtos agrícolas e itens correlatos, na modalidade de longo curso. Em ordem decrescente temos a soja (19,2%), fertilizantes e adubos (19,1%), farelo de soja (13,1%), açúcar (12,7%) e milho (10,9%) (ANTAQ, 2014). Apesar dessa divisão de mercado, os investimentos que estão sendo realizados em portos do Arco Norte poderão tornar essa movimentação de produtos agrícolas por Paranaguá menos interessante aos produtores da região centro-oeste e norte. Estima-se que o percentual, baseado em toneladas para o ano de 2030, correspondente ao grão de soja passe a ser de 15%. O contêiner, por sua vez, passará por uma expansão de 4,8% ao ano e será a carga mais representativa na divisão com 20% do total, totalizando 16 milhões de toneladas (SEP, 2013).

Figura 20 – Movimentação no Porto de Paranaguá.

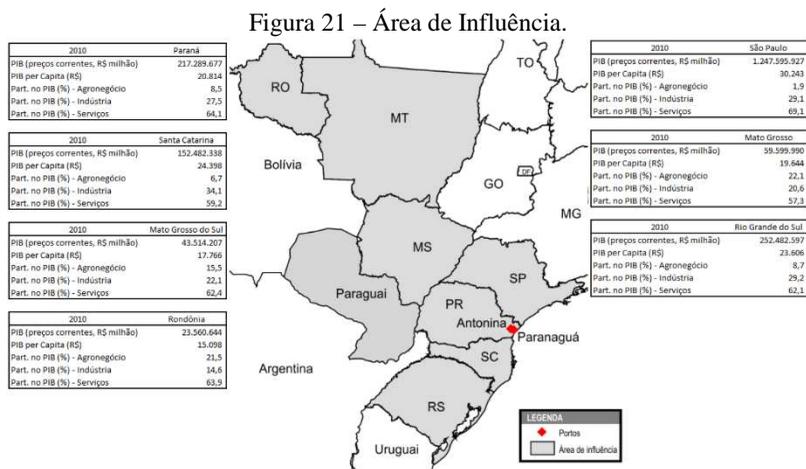


Fonte: ANTAQ, 2014; p.17

A área de influência do Porto de Paranaguá conforme claramente demonstra a Figura 21, retirada de seu Plano Mestre de 2012, é bastante extensa e abarca a região mais desenvolvida economicamente do país. Ela inclui os Estados do Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, São Paulo, Rio Grande do Sul, e ainda países vizinhos como Bolívia, Paraguai e Argentina. Somente o Estado de São Paulo somado aos três estados da região Sul já compõe quase 50% do PIB total do país (SEP, 2013).

A partir da apreciação dos dados apresentados é fácil identificar a relevância econômica e social do objeto de estudo. Uma interrupção do

Canal de Acesso ao Porto de Paranaguá, mesmo que temporária, traria consequências altamente danosas à economia.



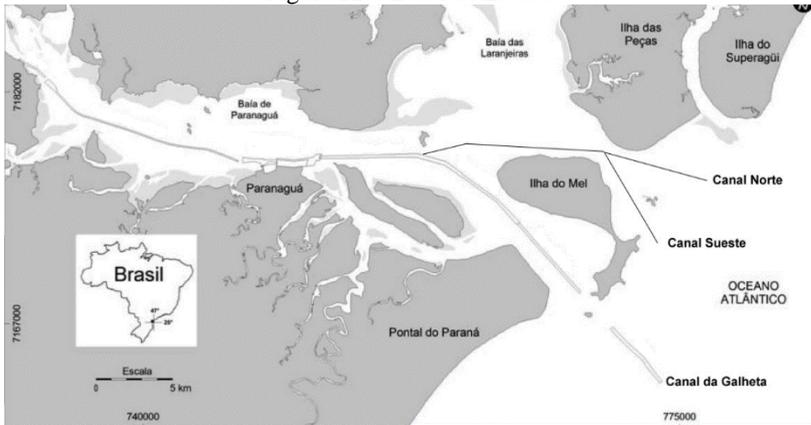
#### 4.1.1 Canal de Acesso

O Canal da Galheta, indicado na Figura 22, nem sempre foi o Canal utilizada para acessar o Porto de Paranaguá. O Canal Sueste era de início o principal Canal de Acesso ao Porto e, eventualmente, o Canal Norte. Segundo o Anteprojeto de Dragagem do INPH (Instituto de Pesquisas Hidroviárias) publicado em 2014, as primeiras intervenções humanas no acesso ao Porto datam de 1930, ocasião do rebaixamento da cota batimétrica dos Canais Norte e Sueste. Em 1968 estes sofreram rebaixamento a cota 10 metros. Porém, esses Canais possuem rochas em seu leito e tiveram sua utilização interrompida no início da década de 1970 devido ao aumento do calado das embarcações e uma consequente necessidade de aprofundamento. Por conta disso, optou-se por criar o Canal da Galheta, a fim de evitar obras de derrocagem, já com profundidade de 12 metros (SOARES, 2009).

Conforme há um aumento da movimentação em tonelagem de mercadorias, há uma tendência do aumento de atracções nos berços e de trânsitos de embarcações pelo Canal de Acesso ao Porto. No ano de 2012 foram realizadas 2.525 atracções no Porto e, estima-se que sejam realizadas 5.873 em 2030. A capacidade de tráfego do Canal da Galheta

foi estimada em mais de 10.000 atracções por ano, o que dispensa a análise desse tipo no momento (SEP, 2013).

Figura 22 – Local de Estudo.



Fonte: Adaptado de SOARES, 2009; p.73

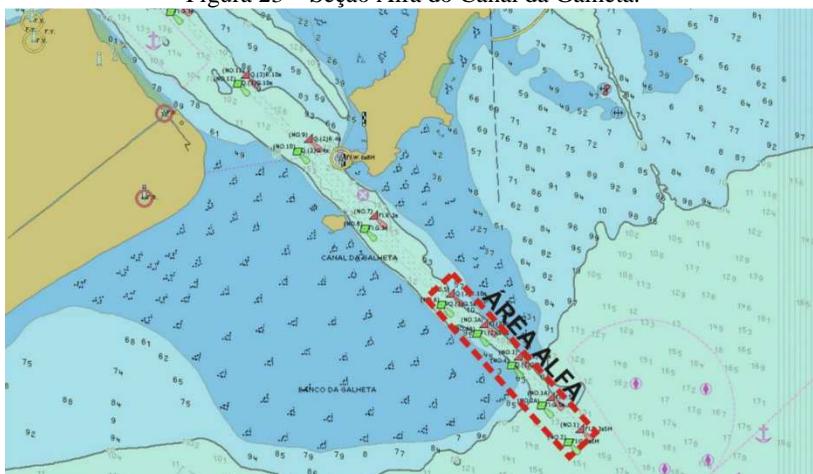
Se analisarmos as atracções em função do tipo de embarcação iremos encontrar uma predominância de carregadores de volume. Para a demanda projetada em 2030, considerando os 16 tipos de carga projetados no Plano Mestre de 2012, o Porto contará com 3.209 atracções de embarcações carregadores de volume e 2.664 atracções de embarcações carregadoras de peso. Apesar da predominância de contêineres e PCCs no trânsito realizado pelo Canal da Galheta, não se pode menosprezar o trânsito de carregadores de peso (SEP, 2013).

O Canal da Galheta é subdividido pela Autoridade Portuária – APPA em três seções:

✓ Seção Alfa.

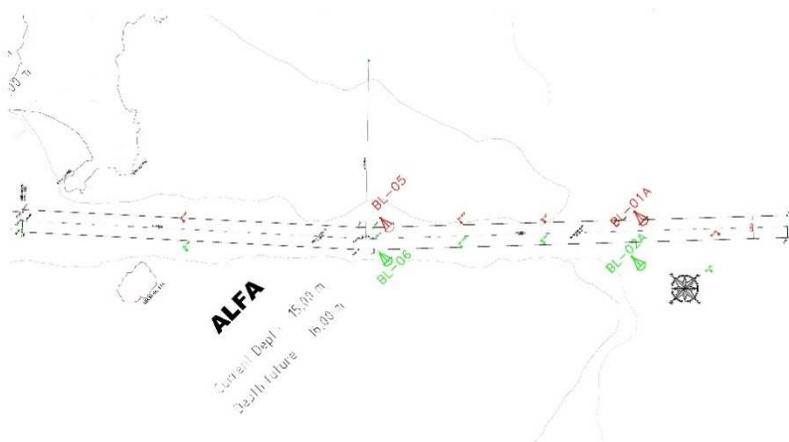
Trata-se da parte mais externa do Canal com extensão de 8.635 metros. Ele corta o banco da Galheta, o qual possui profundidade natural de cerca de 5 metros e largura por toda a sua extensão de 200 metros. É a única seção não abrigada. Fica entre as boias luminosas 1/2 e 9/10 e é praticamente retilínea, com apenas uma curvatura de raio muito elevado (SEP, 2013). Possui profundidade de projeto de 15 metros (TCP, 2014).

Figura 23 – Seção Alfa do Canal da Galheta.



Fonte: APPA, apud Plano Mestre de Paranaguá, 2013; p.95.

Figura 24 – Trecho de Via Singela.



Fonte: TCP, 2014.

A seção abriga o único trecho não considerado de dupla via ao longo de todo o Canal da Galheta, conforme pode ser observado na Norma de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e

Antonina, em seu Capítulo 7 – PROCEDIMENTOS DE MANOBRAS, Item 7.1.4:

(...)

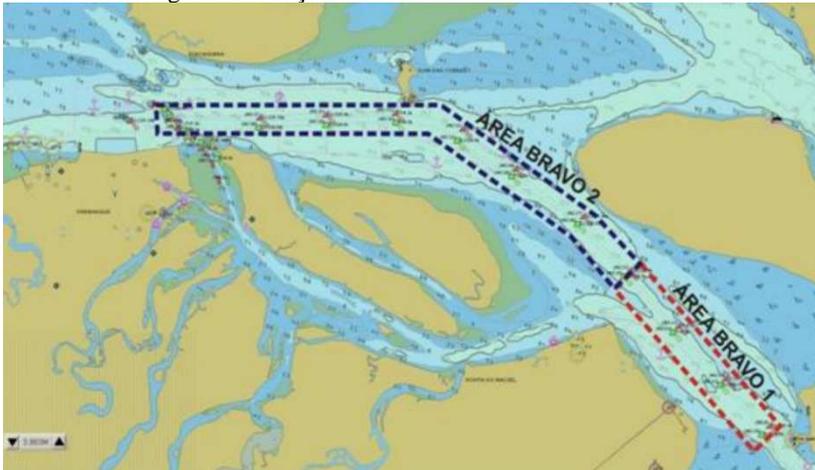
7.1.4 – Não é permitido o cruzamento ou ultrapassagem de navios entre os pares de boias luminosas de Nº 1 A e 2 A a Nº 05 e 06. Nos demais trechos do Canal de Navegação, os navios com calados compatíveis com as profundidades registradas nas Cartas Náuticas poderão cruzar ou ultrapassar por outro navio em trânsito pelo canal.

(...)

✓ Seções Bravo 1 e 2

São as seções seguintes à Alfa. A seção Bravo 1 possui extensão de 6.075 metros e largura de 200 metros constantemente, com profundidade de projeto de 13,5 metros. Considera-se uma área semiabrigada. Fica entre as boias 9/10 e 15/16 e é completamente retilínea (SEP, 2013).

Figura 25 – Seções Bravo 1 e 2 do Canal da Galheta



Fonte: APPA, apud Plano Mestre de Paranaguá, 2013; p.95.

A seção Bravo 2 possui 14.471 metros de extensão e 150 metros de largura constantemente, com profundidade de projeto de 13,0 metros. Fica entre as boias 15/16 e 30/31 e possui três curvas, todas com raio  $\geq$  a 2.000 metros. Fica totalmente inserido em área abrigada (SEP, 2013).

Considerando primeira curva como a mais a jusante, segunda como a intermediária e terceira como a mais a montante, entre si, a primeira e a segunda curva possuem distância de 3.519 metros. A segunda e a terceira curvas, por sua vez, 1.241 metros (TCP, 2014).

O Canal da Galheta ainda segue adiante com as seções Delta 1, Delta 2 e Echo as quais não serão abordadas pois fogem ao escopo deste trabalho.

#### 4.1.2 Bacia de Evolução

A totalidade da área situada em frente ao cais do Porto de Paranaguá consiste em sua bacia de evolução. Ela é dividida em três seções de largura que varia entre 450 e 550 metros (SEP, 2013):

##### ✓ Seções Charlie 1 e 2

Situadas em frente ao cais público do Porto de Paranaguá. Possui profundidades que variam de 10,0 a 13,0 metros, com previsão de aprofundamento para 14,5 metros (SEP, 2013; TCP, 2014).

Possui dimensão longitudinal de aproximadamente 2.750 metros e transversal de 603 metros (TCP, 2014).

##### ✓ Seção Charlie 3

Situado em frente aos píeres da Fospar, Cattalini e Píer Público. Possui profundidade de 12,0 metros com projeto para atingir 14,0 metros (SEP, 2013; TCP, 2014).

Possui dimensão longitudinal de 2.200 metros e transversal de 343 metros (TCP, 2014).

#### 4.1.3 Área de Fundeio

O Porto de Paranaguá possui 12 áreas destinadas à fundeio com utilização ordenada pela Norma de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina. O fundeadouro 1 não será abordado pois atende o Porto de Antonina e o Terminal de Ponta do Félix, fugindo do escopo deste trabalho.

Segundo a norma de ordenamento, a qual se encontra completa no Anexo C, cada área destinada a fundeio está voltada a certo tipo de embarcação e a certas condições meteorológicas, conforme demonstrado no excerto abaixo a título de exemplificação:

6.11. A Área 11 é destinada a navios de qualquer comprimento e calado até 9,2 metros, aguardando atracação ou a navios que estejam aguardando melhoria das condições meteorológicas para demandarem a Barra.

As profundidades de cada área, obtidas a partir de consulta às Cartas Náuticas 1821 e 1822, disponibilizadas pela CHM (Centro de Hidrografia da Marinha) e DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), à Planta da Porto enviada pelo TCP e ao PDZPO permitiram a compilação da tabela abaixo:

Tabela 7 – Dimensões Áreas de Fundeio.

Área de Fundeio	Dimensões (m)		Profundidade (m)
	Transversal	Longitudinal	
2	900	2.680	6 a 14
3	310	830	7 a 9
4	770	2.100	8 a 12
5	550	1.800	11 a 14
6	710	6.620	10 a 19
7	710	1.590	10 a 11
8	660	4.300	9 a 12
9	730	3.170	9 a 12
10	530	1.670	8 a 9
11	760	4.570	9 a 13
12	-	-	12 a 17

Fonte: Adaptado de Cartas 1821 e 1822 CHM/DHN, 2014; PDZPO, 2012; TCP, 2014.

#### 4.1.4 Disponibilidade de Rebocadores

Segundo o livro Rebocadores Portuários publicado pelo CONAPRA (Conselho Nacional de Praticagem) há 9 rebocadores a disposição na ZP-17, conforme lista a tabela abaixo:

Tabela 8 – Rebocadores na ZP-17.

Nome	Tração Estática (t)	Propulsão
Lagoa Baiana	27.20	1 eixo – Tubulão-Kort
Lagoa Gaúcha	30.30	1 eixo – Tubulão-Kort
Abrolhos	51.00	Azimutal a Ré
Cariri	37.00	2 eixos - Tubulão-Kort
Pelagios	50.00	Azimutal a Ré

Tanarus	50.00	Azimutal a Ré
Mar de Espanha	20.10	1 eixo – Tubulão-Kort
Neptuno	45.00	Azimutal a Ré
Centaurus	30.70	1 eixo – Tubulão-Kort

Fonte: Adaptado CONAPRA, 2012

## 4.2 CARACTERÍSTICAS REGULATÓRIAS

A Norma de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina regula a configuração marítima dos portos que a nomeiam e é de responsabilidade da Autoridade Portuária. Conforme consta no Capítulo 1 – Objeto da supracitada norma:

“A presente Norma de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina (NTMP-APPA), estabelecida pela APPA, regulamenta os procedimentos para o tráfego marítimo e permanência e/ou utilização das instalações portuárias ou de áreas sob a sua jurisdição (Área do Porto Organizado), em conformidade com o estabelecido nas leis, decretos e portarias que regem a matéria, em especial a Lei nº8.630, de 25 de fevereiro de 1993, e em consonância as demais autoridades competentes.”

Em caso de investimento em obras de melhoria quaisquer, a homologação dos novos limites passa pela alteração da norma vigente. Atualmente, a embarcação homologada para navegar pelo Canal da Galheta possui as seguintes características (APPA, 2012):

Tabela 9 – Embarcação Homologada APPA.

$L_{oa}$ (m)	$B$ (m)	$DWT$ (t)	$T$ (m)
306	45,2	175.000	12,5

Fonte: APPA, 2012.

As dimensões supracitadas são as máximas permitidas pela APPA (Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina) e representam atualmente o conceito de embarcação tipo de projeto. Vale ressaltar, no entanto, que a embarcação tipo mencionada está permitida mediante certas condicionantes e só pode ser operada em circunstâncias específicas. Segundo o Capítulo 8, itens 8.1 e 8.2 da Norma de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina:

“8.1 – O calado máximo admitido é de 12,5 (doze vírgula cinco) metros.

8.2 – Para navios de calado superior a 11,8 (onze vírgula oito) metros e até 12,50 (doze vírgula cinco) metros, somente no período diurno, desde que se adequado aos seguintes fatores condicionantes:

- a) sem restrições de operação em qualquer condição de amplitude de maré;
- b) preferencialmente próximo ao estofo das preamares;
- c) velocidade mínima do navio no fundo de 10,0 (dez) nós;
- d) visibilidade de 4,0 (quatro) milhas;
- e) vento até nível 3 (três) da escala Beaufort; e
- f) sem a presença de vagas ou marulhos causados por rajadas de vento.”

Existem outras restrições para faixas de calado menores que estarão na íntegra disponíveis no Anexo B.

Conforme afirma o objeto da Norma, há ainda regulação de outros aspectos tais como os pertinentes à Bacia de Evolução, utilização das Áreas de Fundeio, Praticagem, Sinalização Náutica. Os referentes à Bacia de Evolução e Sinalização Náutica estarão disponíveis respectivamente nos Anexos C e D.

## 4.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

### 4.3.1 Clima

Segundo a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná o regime climático do local baseado na classificação de Koppen, é do tipo Cfa. Essa classificação significa se tratar de clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

### 4.3.2 Pluviometria

Conforme já sugere a classificação de Koppen, a estação mais chuvosa é o verão, e a menos chuvosa o inverno, não havendo períodos

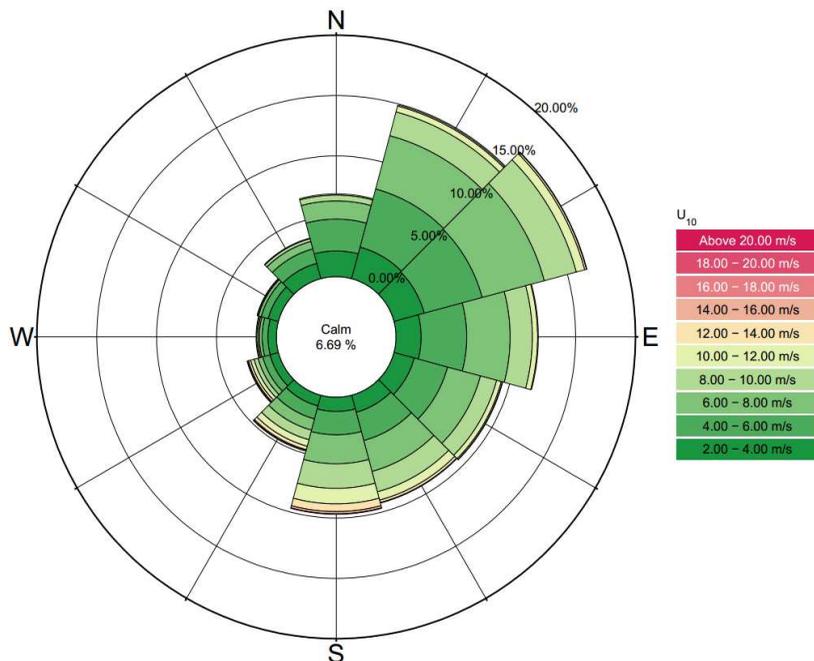
secos. As maiores precipitações diárias, em torno de 100mm alcançando picos de 400mm, ocorrem no verão. A precipitação média mensal é de 200,5 mm (INPH, 2014)

Em relação a umidade do ar, Paranaguá apresenta médias mensais anuais em torno de 12.103 mB<sup>3</sup>. As maiores médias mensais ocorrem nos meses de junho, julho e agosto, já os mais baixos índices ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (EIA Paranaguá, 2004; apud PDZPO, 2012).

#### 4.3.3 Ventos

Os ventos na porção litorânea do estado do Paraná, o qual inclui Paranaguá, têm sua dinâmica definida, em sua ação sobre o ramo Atlântico da Massa Polar, pelo Anticiclone do Atlântico Sul e pelo Anticiclone Migratório Polar (BIGARELLA et al., 1978; apud, PDZPO 2012).

Figura 26 – Rosa dos Ventos.



Fonte: TCP, 2014; Fig 1.1.1

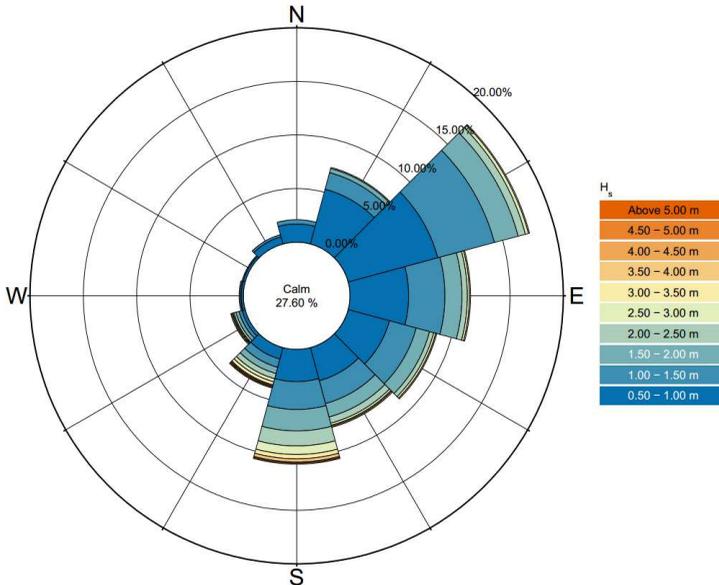
Segundo dados fornecidos pelo TCP (Terminal de Contêineres de Paranaguá), obtidos através de modelagem numérica aplicada a dados previamente coletados para previsão meteorológica, e detalhados na Figura 26, podemos afirmar que a direção predominante dos ventos fica entre nordeste e lés-nordeste, com intensidade que não apresenta possibilidade nenhuma de ultrapassar 20m/s.

Apenas 22% dos ventos registrados chegaram a 8m/s e menos de 3% chegaram a 12m/s. Os dados que permitiram gerar a Rosa de Ventos estão disponíveis no Anexo A.

#### 4.3.4 Ondas, Marés, Correntes, Densidade

Levantamentos da altura da maré são realizados de forma contínua pela APPA por meio de dados obtidos em estações maregráficas automáticas operadas pela praticagem e instaladas na Galheta, no Porto de Paranaguá e no Terminal de Ponta do Félix. Por meio dessas estações, foi possível observar que a maré na região do Canal da Galheta é semidiurna com desigualdades diurnas (APPA, 2012).

Figura 27 – Rosa de Ondas.



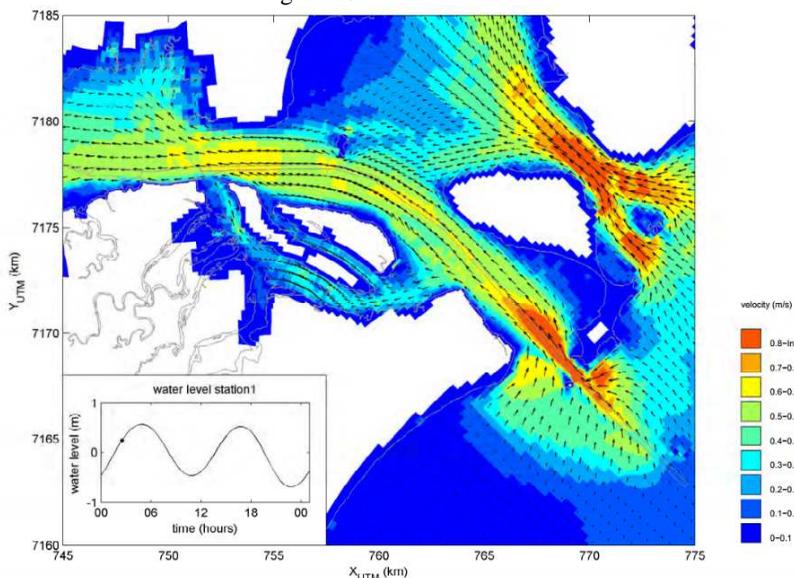
Fonte: TCP, 2014; Fig 1.1.1

A maré na região do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) apresenta amplitude média de 2,2m e caráter predominantemente semidiurno dentro do complexo, embora ocorram desigualdades e efeitos não lineares (MARONE et al., 1995; apud PDZPO, 2012).

O regime de ondas, detalhado na Figura 27 e produzido a partir da coleta de dados aferidos por meio de um AWAC (Acoustic Water and Current Profiler) encomendado pelo TPC, permite afirmar que a direção predominante das ondas fica entre nordeste e lés-nordeste, com altura que não ultrapassa em nenhuma ocasião 5 metros. A coleta de dados realizada pelo TCP corrobora a afirmativa da APPA constante em sua Norma de Tráfego Marítimo. Essa coleta foi realizada em 8 estações distribuídas ao longo da região de estudo e extrapoladas matematicamente às demais. As situações onde a variação da maré gera correntes máximas, maré enchente e vazante, foram ilustradas nas figuras 28 e 30. A situação mais calma, a de estofa, está ilustrada na figura 29:

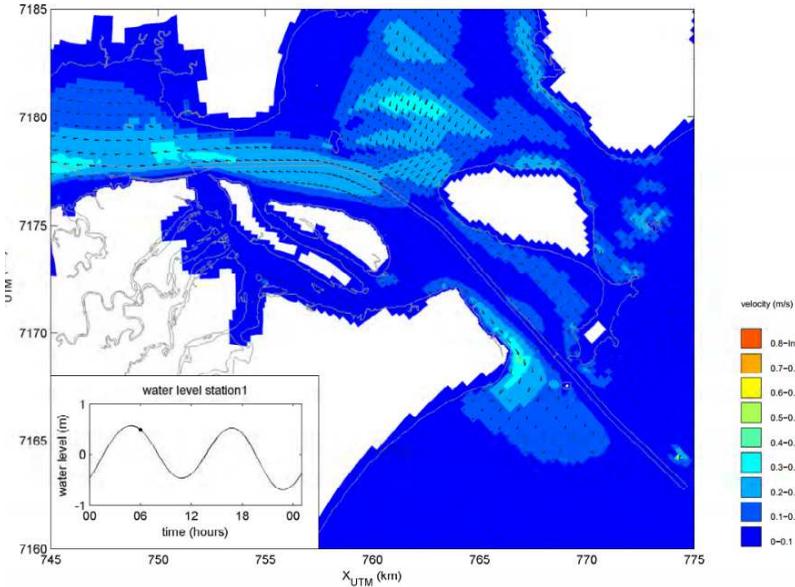
Menos de 4% das ondas ultrapassa a altura de 2,5 metros. Os dados que permitiram gerar a Rosa de Ondas estão disponíveis no Anexo A.

Figura 28 – Maré Enchente.



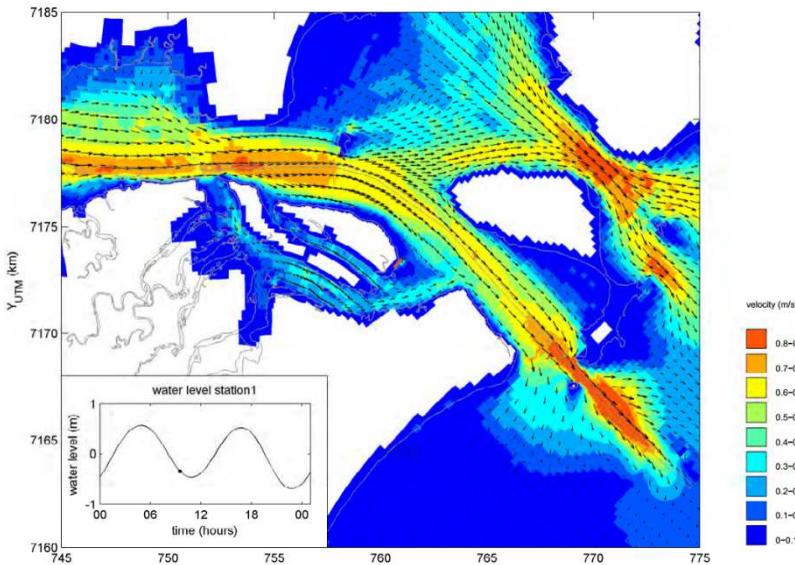
Fonte: TCP, 2014; Fig 2.2.4.

Figura 29 – Estofo.



Fonte: TCP, 2014; Fig 2.2.11.

Figura 30 – Maré Vazante.



Fonte: TCP, 2014; Fig 2.2.18.

Segundo APPA (2012) por meio da publicação do PDZPO, e da interpretação das figuras 28, 29 e 30 acima, fornecidas pelo TCP (2014), é possível afirmar que as correntes no Canal não ultrapassam 2,6 nós senão muito raramente.

Segundo INPH (2014) a densidade da água do Canal varia de 1.010 gramas por litro a 1.019 gramas por litro.

#### 4.3.5 Condição Geotécnica do Solo e Assoreamento

O fundo do Canal da Galheta é composto por 95% de grãos terrígenos sendo que areia fina é a fração granulométrica média (ARAÚJO, 2001).

Em dois fluxos principais, externo e interno, se divide o fluxo sedimentar que se desloca ao longo do litoral paranaense. Tanto no setor externo quanto no interno as taxas de sedimentação variaram em torno de 20.000m<sup>3</sup>/mês (LAMOUR, 2000; apud PDZPO 2012; p.51).

#### 4.3.6 Gelo

Conforme já informado no tópico 4.3.1 - Clima, segundo a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná, a classificação do local segundo Koppen é Cfa. Portanto, não há presença de gelo em nenhuma época do ano, em nenhuma circunstância.

### 4.4 ESTUDO DE CAPACIDADE – MODELO ADOTADO

Segundo PIANC (2014) para o caso deste Trabalho, o de análise de um Canal existente, o processo é basicamente o mesmo do utilizado para o projeto de um novo Canal. A diferença é que normalmente o canal possui maiores restrições, devido a estrutura já existente, e maior quantidade de dados levantados.

A metodologia aqui adotada é a Verificação Determinística, em termos conceituais devido à natureza dos dados disponíveis e a disponibilidade de recursos, proposta pela PIANC. Segundo ela, as dimensões do canal serão determinadas baseado em cálculos onde os dados físicos que temos em posse entrarão como variáveis. Os resultados permitirão analisar se é possível que a embarcação tipo estudada navegue de maneira segura pelo Canal.

#### 4.4.1 Embarcação Tipo

A projeção de demanda por atracação no Porto de Paranaguá, constante no Plano Mestre do Porto publicado em 2013, sugere a análise dos dois principais tipos de embarcações quanto ao tipo de carga transportada. O tipo carregador de volume será representado por um porta contêiner e o tipo carregador de peso por um graneleiro. Dessa forma todas as manobras pelo canal estarão devidamente avaliadas.

Primeiramente, devido se tratar do tipo de embarcação que mais frequentará o porto, será iniciada a avaliação do porta contêiner. A partir de contato feito com o TCP, constatou-se que a embarcação desse tipo com as maiores dimensões que navega atualmente o canal possui as seguintes dimensões:

$L_{oa}$ : 332,2m  
 $L_{pp}$  : 318,0m  
 $B$  : 48,2m  
 $T$ : 12,5m

Possui ainda, capacidade de carregamento:

$DWT$ : 123.843 toneladas  
 $GT$ : 117.0000  
 10.595 TEUs

Este será denominado de maneira sucinta de CV1 (Carregador de Volume 1).

Existe a pretensão para que em breve comece a navegar o Canal da Galheta até atracação no TCP embarcação com as seguintes características:

$L_{oa}$ : 368,0m  
 $L_{pp}$  : 352,0m  
 $B$  : 51,0m  
 $T$ : 14,5m

Possuindo capacidade de carregamento:

$DWT$ : 152.300 toneladas  
 $GT$ : 146.700  
 13.806 TEUs

O qual será também avaliado. Este será denominado de maneira sucinta de CV2 (Carregador de Volume 2)

Ainda, devido à movimentação em toneladas ser predominantemente realizada por embarcações do tipo carregadoras de peso, e estas possuem características que diferem significativamente em relação às carregadoras de volume, o graneleiro com as seguintes características foi escolhido por representar o de maiores dimensões a frequentar atualmente a configuração marítima:

$L_{oa}$ : 225,0m

$L_{pp}$  : 215,0m

$B$  : 32,2m

$T$ : 13,1m

Possui ainda, capacidade de carregamento:

$DWT$ : 61.400 toneladas

Este será denominado de maneira sucinta de CP1 (Carregador de Peso 1).

Por fim, um segundo graneleiro será considerado, com dimensões maiores às máximas permitidas atualmente:

$L_{oa}$ : 245,0m

$L_{pp}$  : 233,0m

$B$  : 43,0m

$T$ : 14,3m

Possui ainda, capacidade de carregamento:

$DWT$ : 82.000 toneladas

Ele será denominado de maneira sucinta de CP2 (Carregador de Peso 2). As informações sobre embarcações carregadoras de peso foram obtidas a partir de contato com Gustavo Martins.

#### 4.4.2 Dimensão Vertical do Canal de Acesso

Conforme a abordagem adequada ao Projeto Conceitual proposta pela diretriz PIANC se fez necessária a aplicação da seguinte expressão matemática para obtenção da profundidade do Canal:

$$h_{CD} = F_s + S_K, (1)$$

Inicialmente, para obtenção do fator relacionado à embarcação ( $F_s$ ), foi necessário observar quatro características: (a) velocidade de avanço da embarcação, (b) regime de ondas, (c) características geotécnicas do solo de fundo e (d) localização do de modo a encaixá-las adequadamente na Tabela 3.

Frente à velocidade de avanço da embarcação na atracação, Segundo o prático da ZP-17 (Zona de Praticagem 17), Gustavo Martins, há algumas considerações a se fazer frente a navegação desde o ponto de recebimento do prático até a atracação, e assim encaixar a manobra em alguma das faixas de velocidade constantes na tabela. A velocidade varia em função de diversos fatores e depende do tipo de embarcação, do trecho navegado, dentre outros fatores. Inicialmente ocorre a aceleração do navio a partir de uma velocidade baixa, entre 3 e 6 nós, para a velocidade de navegação no Canal, entre 8 e 12 nós. Carregadores de peso demoram mais para atingir a velocidade de navegação no Canal se comparados a carregadores de volume sendo que graneleiros carregados chegam a demorar cerca de uma hora para atingir tal velocidade. O segundo momento é de desaceleração até a atracação, e é nessa hora que a embarcação recebe os rebocadores, navegando com velocidade por volta de 5 nós. Nas proximidades do berço a velocidade é diminuída ainda mais. As embarcações perdem velocidade de forma diferente sendo que em média e redução é iniciada entre 2 e 3 milhas náuticas de distância do ponto de recebimento dos rebocadores. Alguns graneleiros possuem a velocidade máxima de manobra abaixo de 8 nós, enquanto contêineres tem a marcha mínima ajustada em mais de 10 nós. Essas diferenças nas características de manobra geram problemas que a Atalaia acaba tendo que resolver diariamente, tais como cruzamentos em áreas proibidas, programação das lanchas e a possibilidade de exceder recursos necessários tais como equipes de amarração e rebocadores. Frente as afirmações de Gustavo, foi adotada faixa de velocidade da embarcação tipo inferior a 10 nós para o cálculo de embarcações graneleiras e entre 10 e 15 nós para porta contêineres.

A Análise do item 4.3 – CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS permite afirmar que as ondas estão no nível moderado já que durante a observação menos de 4% ultrapassaram 2m. A característica geotécnica do fundo do Canal é arenosa. Trata-se ainda de um Canal abrigado na seção Bravo 2, semiabrigado na seção Bravo 1 e externo na seção Alfa. Já que não encontramos estrutura alguma acima do Canal da Galheta, a análise do Calado Aéreo é dispensável.

Quanto às características (c) e (d). Inexiste especificação exata para a condição encontrada na seção Bravo 1 do Canal da Galheta,

considerada semiabrigada. Para os valores a serem utilizados na multiplicação do calado das embarcações tipo avaliadas, a favor da segurança, foi utilizado o menor valor do intervalo proposto para a situação de Canal externo. Relacionados à condição geotécnica do fundo foi adotado um valor médio entre a situação abrigada e a externa para o valor de segurança adicional. Para as embarcações tipo selecionadas o fator relacionado à embarcação resulta:

Tabela 10 -  $F_s$  resultantes.

$F_s$ (m)	Seção		
	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
CV1	16,75	15,45	14,40
CV2	19,35	17,85	16,64
CP1	17,53	16,17	14,81
CP2	19,09	17,61	16,13

Fonte: Elaboração própria

Para as embarcações carregadoras de volume o fator  $S_K$  será determinado. O fator  $S_K$  é determinado pela aplicação da equação a seguir:

$$S_K = F_K \left( \frac{B}{2} \sin \phi_{WR} \right), (2)$$

Para tanto é necessário adotar um valor para o fator  $F_K$ , que será 0,76 tanto para CV1 quanto CV2. Adotou-se o menor valor já que o projeto conceitual já é conservador por natureza e a adoção de um valor maior traria resultados excessivamente conservadores. O ângulo de jogo  $\phi_{WR}$  adotado será de 2°.

O afundamento da quilha de sentina resultante para cada embarcação analisada será de:

Tabela 11 – Afundamento da Quilha de Sentina ( $S_K$ ) Resultante.

	$S_K$ (m)
CV1	0,64m
CV2	0,68m

Fonte: Elaboração própria

O que resultará em profundidades recomendadas para cada seção do Canal da Galheta:

Tabela 12 – Profundidade ( $h_{CD}$ ) do Canal.

$h_{CD}$ (m)	Seção		
	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
CV1	17,39m	16,09m	15,04m
CV2	20,03m	18,53m	17,32m
CP1	17,53m	16,17m	14,81m
CP2	19,09m	17,61m	16,13m

Fonte: Elaboração própria

Pode-se afirmar, com base nos resultados obtidos, comparados com a profundidade atual encontrada, que a seção Alfa, Bravo 1 e Bravo 2 encontram-se em não conformidade.

#### 4.4.3 Dimensão Vertical da Área de Fundeio

Conforme já explanado no Item 2 – Referencial Teórico, recomenda-se a profundidade de 1,17 na área de fundeio. Isso resulta nas seguintes profundidades, para cada embarcação tipo considerada:

Tabela 13 - Profundidade ( $h_{CD}$ ) da Área de Fundeio.

	CV1	CV2	CP1	CP2
Profundidade ( $h_{CD}$ ) m	13,75	15,95	14,41	15,73

Fonte: Elaboração própria

O que permite afirmar que algumas das áreas de fundeio estão em conformidade com as embarcações analisadas e outras não. A análise está sintetizada completamente na tabela 13 a seguir:

Tabela 14 – Conformidade Vertical das Áreas de Fundeio.

Área	CV1	CV2	CP1	CP2
2	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
3	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
4	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
5	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
6	SIM	SIM	SIM	SIM
7	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
8	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
9	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
10	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
11	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
12	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Elaboração própria

#### 4.4.4 Dimensão Vertical da Bacia de Evolução

A três Bacias de Evolução analisadas, Charlie 1, 2 e 3 devem ter a mesma profundidade do Canal de Acesso que as conduz, portanto, a profundidade da seção Bravo 2 do Canal da Galheta.

Tabela 15 – Profundidade ( $h_{CD}$ ) das Bacias de Evolução e Conformidade.

$h_{CD}$ (m)	Profundidade	Conformidade
CV1	15,04	NÃO
CV2	17,32	NÃO
CP1	14,81	NÃO
CP2	16,13	NÃO

Fonte: Elaboração própria

É possível afirmar que nenhuma das Bacias de Evolução está em conformidade com as profundidades mínimas calculadas.

#### 4.4.5 Dimensão Horizontal do Canal de Acesso

##### 4.4.5.1 Largura do Canal de Acesso da Galheta

Dado que a Seção Alfa do Canal da Galheta é praticamente retilínea, e possui importante distância em via singela (1,5 milhas náuticas) pode-se aplicar a equação:

$$W = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} = W_M + W_{BR} + W_{BG}, (4)$$

Para as seções Bravo 1 e Bravo 2, devido ao seu caráter de dupla via, é adequada a aplicação da seguinte equação:

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_P = 2W_M + W_{BR} + \sum W_P + W_{BG}, (5)$$

Inicialmente determina-se o valor da via de manobra básica ( $W_{BM}$ ). A tabela 1 – Via de Manobra Básica fornece a dimensão da via analisada em função de sua boca ( $B$ ). As embarcações CV1 e CV2 foram consideradas de manobrabilidade moderada e as embarcações CP1 e CP2 de manobrabilidade pobre. Isso resulta nos seguintes valores para  $W_{BM}$ :

Tabela 16 – Via de Manobra Básica do Canal da Galheta.

$W_{BM}$ (m)	Seção		
	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
CV1	72,3	72,3	72,3

CV2	76,5	76,5	76,5
CP1	57,96	57,96	57,96
CP2	77,4	77,4	77,4

Fonte: Elaboração própria

Em seguida, utilizando a tabela 2 – Fatores Ambientais e Outros – Dimensões Adicionais, define-se ( $W_i$ ). Esta parcela demanda análise de 9 características.

Em relação à velocidade da embarcação ( $V_s$ ), foi aplicado o intervalo de 8 nós a 12 nós para as 4 embarcações analisadas e para todas as características aplicáveis, em virtude do relato prestado pelo prático Gustavo Martins.

Em relação aos ventos de través, conforme a análise da Figura 27 - Rosa dos Ventos, considerou-se adequado adotar a categoria suave.

As correntes de través predominantes foram encaixadas na categoria baixa. Adotou-se o valor médio entre a situação externa e interna para a seção Bravo 1.

As correntes longitudinais predominantes foram encaixadas na categoria moderado.

Quanto à altura das ondas na proa e popa, interpretou-se estar no nível moderado. Para a seção Bravo 1 foi considerado um valor de 0,2 bocas ( $B$ ) em vista seu caráter transitório entre interno e externo.

Os auxílios à navegação foram considerados bons já que existe DGPS, linhas de guia iluminadas, boias iluminadas e casadas com refletores de radar no Canal. Eles não puderam ser considerados excelentes uma vez que não há VTMS.

Tabela 17 – Relação Profundidade Calado ( $h/T$ ).

$h/T$	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
CV1	1,20	1,08	1,03
CV2	1,03	0,93	0,93
CP1	1,15	1,03	1,03
CP2	1,05	0,94	0,94

Fonte: Elaboração própria

A relação profundidade calado ( $h/T$ ) no Canal é menor que 1,5 para todas as embarcações analisadas e o fundo foi encaixado na categoria liso e macio. As relações profundidade calado ( $h/T$ ) encontradas estão sintetizadas na Tabela 17 – Relação Profundidade Calado ( $h/T$ ).

As relações menores que 1,0 sugerem um toque no fundo. Elas só foram encontradas felizmente para embarcações que ainda não navegam o Canal. Ainda, as profundidades analisadas não levam em consideração a amplitude da maré, que pode gerar janelas de navegação possíveis. Para a região Bravo 1 foi considerado um fator multiplicador de 0,3 bocas, valor médio entre a situação interna e externa.

Nenhuma das embarcações analisadas carrega cargas de alta periculosidade, o que dispensou a análise do último item.

Tabela 18 – Fatores Ambientais e Outros – Dimensões Adicionais do Canal da Galheta.

$W_i$ (m)	Seção		
	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
(a) Velocidade da embarcação $V_s$ (em nós com relação a água)			
CV1		0	
CV2		0	
CP1		0	
CP2		0	
(b) Vento de través predominante $V_{CW}$ (nós)			
CV1		9,64	
CV2		10,20	
CP1		6,44	
CP2		8,60	
(c) Corrente de través predominante $V_{CC}$ (nós)			
CV1	12,05	10,85	9,64
CV2	12,75	11,48	10,2
CP1	8,05	7,25	6,44
CP2	10,75	9,68	8,6
(d) Corrente longitudinal predominante $V_{lc}$ (nós)			
CV1		4,82	
CV2		5,10	
CP1		3,22	
CP2		4,3	
(e) Altura das ondas na boca e na proa incidentes a 45°			
CV1	24,1	9,64	0
CV2	25,5	10,2	0
CP1	16,1	6,44	0
CP2	21,5	8,6	0

(f) Auxílios à navegação			
CV1		9,64	
CV2		10,2	
CP1		6,44	
CP2		8,6	
(g) Superfície do fundo			
CV1		4,82	
CV2		5,10	
CP1		3,22	
CP2		4,3	
(h) Profundidade do Canal $h$			
CV1	9,64	14,46	19,28
CV2	10,20	15,30	20,40
CP1	6,44	9,66	12,88
CP2	8,60	12,90	17,20
(i) Cargas de alta periculosidade	Não se aplica à análise		

Fonte: Elaboração própria

Adiante, foi avaliada a distância às margens vermelha ( $W_{BR}$ ) e verde ( $W_{BG}$ ) por meio da Tabela 3 – Distância às Margens Vermelha e Verde. Os bordos do Canal foram considerados medianamente inclinados dado a razão 1:4.

Tabela 19 – Distância às Margens Vermelha e Verde do Canal da Galheta.

$W_{BR}$ e $W_{BG}$ (m)	Seção		
	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
CV1	24,1	24,1	24,1
CV2	25,5	25,5	25,5
CP1	16,1	16,1	16,1
CP2	21,5	21,5	21,5

Fonte: Elaboração própria

Nas seções Bravo 1 e 2, de dupla via, é importante considerar o termo distância de cruzamento ( $W_P$ ). Para a seção semiabrigada Bravo 1 adotou-se o fator multiplicador 1,5, valor médio entre o proposto para a situação interna e externa.

Tabela 20 – Distância de Cruzamento do Canal da Galheta.

$W_P$ (m)	Seção	
	Bravo 1	Bravo 2
CV1	72,3	67,48
CV2	76,5	71,40
CP1	48,3	45,08

CP2	64,5	60,20
-----	------	-------

Fonte: Elaboração própria

A dimensão adicional devido à amplitude de maré muito elevada não se aplica às condições do Canal da Galheta.

As larguras resultantes para as seções do Canal da Galheta estão contidas na Tabela a seguir:

Tabela 21 - Larguras Resultantes para o Canal da Galheta.

W (m)	Seção		
	Alfa	Bravo 1	Bravo 2
CV1	171,11	349,46	351,86
CV2	181,05	390,16	372,32
CP1	123,97	262,44	254,38
CP2	165,55	354,76	339,7

Fonte: Elaboração própria

Dado os resultados, é possível afirmar que a seção Alfa encontra-se adequada para o trânsito das embarcações avaliadas e as seções Bravo 1 e Bravo 2 encontram-se inadequadas.

#### 4.4.5.2 Curvas e Alinhamento do Canal de Acesso

As três curvas existentes na seção Bravo 2 estão voltadas para a mesma direção portanto demandam distância entre si de ao menos 3 comprimentos totais ( $L_{oa}$ ) da embarcação considerada. A tabela abaixo fornece os valores resultantes.

Tabela 22 – Comprimento Mínimo da Seção Reta entre Curvas do Canal da Galheta.

	Comprimento mínimo da seção reta (m)
CV1	996,6
CV2	1104,0
CP1	675,0
CP2	735,0

Fonte: Elaboração própria

As duas seções retas que distanciam as três curvas existentes na seção Bravo 2 estão adequadas.

O raio de curva mínimo adequado às embarcações CV1 e CV2 é de 7 comprimentos totais ( $L_{oa}$ ) e às embarcações CP1 e CP2 de 6 comprimentos totais ( $L_{oa}$ ). Portanto:

Tabela 23 – Raio Mínimo de Curvas do Canal da Galheta.

	Raio mínimo de curvas (m)
CV1	2325,4
CV2	2576,0
CP1	1350,0
CP2	1470,0

Fonte: Elaboração própria

A fonte pesquisada não traz o raio exato das três curvas, somente que são maiores de 2.000 metros. Pode-se afirmar inequivocamente portanto que se encontram adequadas às embarcações CP1 e CP2.

#### 4.4.6 Dimensão Horizontal da Área de Fundeio

Conforme explanado conceitualmente no Referencial Teórico a dimensão horizontal da Área de Fundeio se dá pela adição das seguintes dimensões:

$$AG = L_{oa} + L_C + S_D + A_D + S_C, (6)$$

O primeiro termo da soma está em função da embarcação tipo, portanto, consulta inequívoca.

Todos as áreas de fundeio do Porto de Paranaguá, à exceção da número 12, foram consideradas de boa proteção. Como o tempo de estada para atracar é de caráter operacional e varia muito, adotou-se o valor médio do intervalo proposto na bibliografia, 3,5 profundidades em maré alta. O fundeadouro 12 é externo e foi considerado de piores condições. Adotou-se para ele o valor médio do intervalo proposto, de 6 profundidades na maré alta.

A margem de segurança adicional adotada foi de 25% do comprimento total.

As condições geotécnicas do solo foram consideradas boas para ancoragem. Em conjunto com a rosa de ventos é possível encaixar essa parcela na condição 0m.

A última parcela fica para todas as embarcações testadas em 10% de seu comprimento total.

Os resultados obtidos para todas as embarcações testadas estão reunidos na Tabela 21:

Tabela 24 – Características Ambientais e Parcelas de Segurança para Área de Fundeio.

	$L_{oa}$ (m)	$S_D$ (m)	$A_D$ (m)	$S_C$ (m)	Soma Parcial (m)
CV1	332,2	83,05	0	33,22	448,47
CV2	368,0	92,00	0	36,80	496,80
CP1	225,0	56,25	0	22,50	303,75
CP2	245,0	61,25	0	24,50	330,75

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos para a característica da embarcação ( $L_C$ ) disponíveis na Tabela 22 adotaram o valor mais profundo do intervalo apresentado na Tabela 6 – Dimensões Áreas de Fundeio a favor da segurança. Também estão disponíveis as dimensões horizontais resultantes por embarcação e por Área de Fundeio.

Tabela 25 – Característica da Embarcação ( $L_C$ ) para Área de Fundeio e Dimensão Horizontal Resultante.

AF	$L_C$ (m)	$DH$ (m)			
		CV1	CV2	CP1	CP2
2	49,0	497,47	545,80	352,75	382,75
3	31,5	479,97	528,30	335,25	365,25
4	42,0	490,47	538,80	345,75	375,75
5	49,0	497,47	545,80	352,75	385,75
6	66,5	514,97	563,30	370,25	400,25
7	38,5	486,97	535,30	342,25	372,25
8	42,0	490,47	538,80	345,75	375,75
9	42,0	490,47	538,80	345,75	375,75
10	31,5	479,97	528,30	335,25	365,25
11	45,5	493,97	542,30	349,25	379,25
12	102	550,47	598,80	405,75	435,75

Fonte: Elaboração própria

Comparando os dados obtidos e apresentados na Tabela 16 com as dimensões atuais das Áreas de Fundeio disponíveis na Tabela 6 é possível afirmar que a conformidade é parcial, conforme sintetiza a Tabela a seguir.

Tabela 26 – Conformidade Áreas de Fundeio.

	Conformidade

Área de Fundeio	Transversal	Longitudinal
2	CP1 – CP2	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
3	NÃO	NÃO
4	CP1 – CP2	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
5	NÃO	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
6	NÃO	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
7	CP1	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
8	NÃO	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
9	CP1	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
10	NÃO	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
11	CP1 – CP2	CV1 – CV2 – CP1 – CP2
12	-	-

Fonte: Elaboração própria

#### 4.4.7 Dimensão Horizontal da Bacia de Evolução

O diâmetro nominal mínimo das Bacias de Evolução Charlie 1, 2 e 3 pode ser considerado  $2L_{oa}$  já que não possuem nenhuma característica que demande cuidado especial e se trata de Porto dotado de rebocadores para auxílio nas manobras.

Portanto:

Tabela 27 – Diâmetro Nominal das Bacias de Evolução.

Embarcação	Diâmetro Nominal Mínimo das Bacias Charlie 1, 2 e 3 (m)
CV1	664,4
CV2	736,0
CP1	450,0
CP2	490,0

Fonte: Elaboração própria

O que confere um caráter de conformidade parcial. As três Bacias estão adequadas na dimensão longitudinal, com larga folga. Já no quesito transversal, foi identificada desconformidade. As Bacias Charlie 1 e 2 possibilitam a evolução das embarcações CP1 e CP2 e não possibilitam a evolução das embarcações CV1 e CV2. A Bacia Charlie 3 não possibilita a evolução de nenhuma das embarcações analisadas.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos durante o trabalho realizado permitem tecer alguns comentários referentes ao tema bem como sugerir futuras investigações.

Baseado em relatos de profissionais da área marítima e portuária, os quais o autor teve intenso contato durante o desenvolvimento do trabalho, bem como em pesquisas acadêmicas prévias vivenciadas durante sua trajetória acadêmica de pesquisa, se pode constatar que a grande carência de investimentos que acometeu o setor durante muitos anos repercute atualmente. Levantamentos simples de dados ambientais são por vezes inexistentes em muitos portos do país e a imprescindibilidade destes para o desenvolvimento de estudos impede consequentemente a adoção de configurações marítimas mais seguras e eficientes. Além de dados, faltam especialistas e centros de pesquisa capazes de processá-los. Felizmente o Laboratório de Transportes e Logística da Universidade de Santa Catarina vem desenvolvendo inúmeros estudos voltados ao setor e contribuindo enormemente para o seu desenvolvimento. Vale citar também a Universidade de São Paulo que possui grandes autoridades na área e conta inclusive com simulação “*fast-time*” e “*real-time*” totalmente desenvolvida no país.

A realidade de Paranaguá em nível conceitual de projeto se mostrou pouquíssimas vezes adequada até mesmo para a situação atual e principalmente não conforme com as pretensões futuras dos operadores do local. Deve-se considerar, certamente, que uma análise em nível conceitual é conservadora por natureza e a continuidade do estudo certamente credenciaria as manobras realizadas para as embarcações CV1 e CP1, uma vez que elas já ocorrem e não há registro de incidentes até o momento. Contudo, o presente estudo fica como indicativo claro da perícia dos envolvidos nas manobras no Canal da Galheta, práticos e mestres de rebocador, já que os valores excedem significativamente o recomendado pela diretriz utilizada e mais respeitada atualmente no mundo.

Recomendações relacionadas à Capacidade do Canal serão feitas no Item 5.3 – RECOMENDAÇÕES.

### 5.2 LIMITAÇÕES

Apesar deste trabalho ter alcançado resultados verossímeis, a inexistência na Universidade Federal de Santa Catarina de um simulador que auxiliasse na validação dos cálculos empíricos realizados de certa forma o descredencia. Isto é, seria temeroso aplicar os resultados aqui obtidos em obras de valores milionários sem antes contar com as próximas etapas recomendadas pela metodologia. Normalmente os valores de nível conceitual são excessivamente conservadores, o que levaria a uma configuração marítima segura, porém pouco eficiente.

Ainda, é importante salientar o caráter interdisciplinar do tema abordado. O projeto completo de uma configuração marítima segura e eficiente passa pela abordagem de conceitos afins às engenharias civil e naval, além da consulta a profissionais da Marinha Mercante (práticos, mestres de rebocador, oficiais de máquina e náutica). O autor possui conhecimento aprofundado nos temas relacionados à Engenharia Civil e pode felizmente contar com o apoio de um prático que navega o Canal, porém, a consulta a um número maior de especialistas, utilização de ferramentas, se fazem necessárias antes da decisão por uma obra de grande impacto financeiro.

### 5.3 RECOMENDAÇÕES

O auto corrobora as recomendações da diretriz utilizada para a realização deste trabalho, diretriz PIANC, com as seguintes considerações.

A escolha das embarcações tipo neste trabalho se deu a partir de consultas feitas a profissionais da área portuária, mais especificamente do Terminal de Contêineres de Paranaguá, e marítima, prático Gustavo Martins. No entanto, uma análise completa da situação econômica dotada de projeção de demanda aquaviária, consulta a outros operadores poderia sugerir a necessidade de analisar um número maior de possibilidades, incluindo casos mais específicos. O aprofundamento do processo determinístico é, portanto, recomendada, já que é exatamente o que se espera da fase de projeto conceitual.

Na sequência, utilizar dos novos cálculos determinísticos bem como os realizados por este trabalho e realizar simulações “*fast-time*”, de modo a reduzir o número de possibilidades antes de prosseguir para o nível detalhado de projeto.

Por fim, passar a fase detalhada de projeto, a qual é dotada de análises completas de cada aspecto interveniente na utilização de dada configuração marítima. Dar sequência a esse detalhamento com simulações “*real-time*” de forma a agregar experiência prática ao trabalho

de mesa de projeto. Por fim, será atingido não só o principal objetivo de uma configuração marítima, que é a navegação segura das embarcações, como também a melhor alternativa do ponto de vista econômico, comercial, ambiental, social e humano.

Baseado nos resultados até aqui obtidos, ficariam recomendados o aprofundamento e alargamento do Canal de Acesso, ampliação da dimensão transversal das Bacias de Evolução e Área de Fundeio, bem como suas profundidades. Apesar do grande número de intervenções propostas, cabem colocações peculiares.

No caso específico da Área de Fundeio, o aumento da profundidade poderia ser discutido em termos operacionais já que uma atracação direta pode ocorrer, caso haja o devido planejamento. Frente ao parâmetro horizontal, a checagem pressupôs embarcações que largaram somente uma âncora a frente e, portanto, podem girar ao seu redor, o que demanda uma multiplicação da distância obtida por dois. As áreas da configuração marítima estudada possuem, em sua grande maioria, caráter retangular e dimensões generosas no parâmetro longitudinal. Caso fosse necessária uma economia de recursos, poderia se buscar uma alternativa operacional para resolver a não conformidade, tal como a utilização de uma âncora de proa e outra de popa.

Frente especificamente às Bacias de Evolução. O píer 217, o qual se encontra mais a jusante do Porto e próximo do Canal do Surdinho, opera navios carregadores de volume. Apesar da atracação ser possível, ela poderia ser facilitada sobremaneira se realizada a derrocagem das Pedras do Surdinho e Palangana, resultando inclusive num aumento da capacidade do próprio Canal de Acesso, e ficando como uma obra recomendada.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA - APPA. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento – PDZPO do Porto de Paranaguá**: Relatório Final. Florianópolis, jul. de 2012.

ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA – APPA. **Norma de Tráfego Marítimo e Permanência nos Portos de Paranaguá e Antonina**. Paranaguá, 2012.

ARAÚJO, Alfredo Duarte de. **DINÂMICA SEDIMENTAR E EVOLUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA DO SACO DO LIMOEIRO NA ILHA DO MEL, E SUA RELAÇÃO COM O CANAL DE ACESSO AO PORTO DE PARANAGUÁ**. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/geociencias/article/viewFile/4187/3384>>. Acesso em: 21 out. 2014.

BAKERMANS, B.a.. **Open ports for container vessels**: An exploratory study into the possibilities for offshore and exposed container ports. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering And Geosciences, Hydraulic Engineering, Delft University Of Technology, Delft, 2014. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl>>. Acesso em: 14 set. 2014.

BRASIL. Antaq. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Anuário Estatístico**. Brasília: Antaq, 2013. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/Anuarios/Anuario2013/index.htm>>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRASIL. Antaq. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Boletim Anual de Movimentação de Cargas**: Análise da Movimentação de Cargas nos Portos Organizados e Terminais de Uso Privativo. Brasília: Antaq, 2014. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/PublicacoesTecnicas.asp>>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRASIL. Roberto de Souza Dantas. Secretaria de Comércio Exterior. **A importância dos Portos para o Comércio Exterior Brasileiro**. Brasília, 2013. 19 slides, color. Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/atividade/materia/getPDF.asp?t=124363&tp=1>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

BRUCE L. MCCARTNEY (Estados Unidos da América). American Society of Civil Engineers. **Ship Channel Design and Operation**. Reston: Asce, 2005. 272 p. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/ebooks>>. Acesso em: 21 out. 2014.

CAJATY, Marcelo; FRAGOSO, Otávio A. **Rebocadores Portuários**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Praticagem, 2002.

FAUSTO, Boris. **História do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1994.

FLEURY, Paulo Fernando et al. **Logística Empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

FONSECA, Maurílio M. **Arte Naval – Volume I**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2005.

MARTINS, Gustavo. **Área de Fundeio**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <[samshflp@gmail.com](mailto:samshflp@gmail.com)>. em: 18 out. 2014.

MARTINS, Gustavo. **Embarcação Tipo**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <[samshflp@gmail.com](mailto:samshflp@gmail.com)>. em: 17 nov. 2014.

MARTINS, Gustavo. **Novos Navios em Canais Antigos: O caso de Paranaguá e Antonina**. São Paulo, 2014. 54 slides, color.

MARTINS, Gustavo. **Velocidade de Atracação**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <[samshflp@gmail.com](mailto:samshflp@gmail.com)>. em: 11 out. 2014.

HEUTS, Robert. **Port Design - Nador**. 2010. 275 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering and Geosciences, Ports, Delft

University of Technology, Delft, 2010. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/>>. Acesso em: 08 set. 2014.

IJSEBAERT, Tom. **Integral Design of Work Channels and Basins for the Execution of Dredging Projects**. 2010. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering And Geosciences, Hydraulic Engineering, Ports And Waterways, Delft University Of Technology, Delft, 2010. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/>>. Acesso em: 08 set. 2014.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **Basic Documents Volume – I**. London, 2010. Disponível em: <<http://www.imo.org/About/Pages/DocumentsResources.aspx>>. Acesso em: 05 de set. 2014.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. **The Origins of IMO**. London, 2012. Disponível em: <[http://www.imo.org/blast/mainframe.asp?topic\\_id=1726](http://www.imo.org/blast/mainframe.asp?topic_id=1726)>. Acesso em: 05 de set. 2014.

MEER, Rinske van Der. **Project Jade Weser Port: A feasibility study**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, 2002. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/>>. Acesso em: 08 set. 2014.

MIGUENS, Altineu Pires. **Navegação: A Ciência e a Arte. Volume I – Navegação Costeira, Estimada e em Águas Restritas**. Niteroi, 2000. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/bhmn/download/>>. Acesso em: 02 de set. 2014.

PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES. **Harbour Approach Channels – Design Guidelines**. Bruxelles, 2014. Disponível em: <<http://www.pianc.org/downloads/publications>>. Acesso em: 08 de ago. 2014.

SANTOS, Sílvio dos. **Aspectos da Navegação Interior**. Florianópolis: Labtrans/UFSC, 2014. 413p.

S.B.DEVILLÉ et al. **Prefeasibility report for the Port of Itajaí: Sedimentation and layout study**. Itajaí: Delft University of Technology, 2010. 172 p

SCHENK, Siegberto. **Gestão e Análise de Risco**: São Paulo: Praticagem Zp-14, 2014. 99 slides, color.

SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – SEP/PR. **Plano Mestre – Porto de Paranaguá**. Florianópolis, ago. 2013.

SOARES, Carlos Roberto. **Os Portos de Paranaguá (PR) e Itajaí (SC): Análise Comparativa das Suas Relações Com as Cidades de Inserção, da Estrutura Operacional Atual e das Condições Sócio-Ambientais das Regiões de Entorno**. 2009. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/>>. Acesso em: 26 ago. 2014.

TANNURI, Eduardo A. **Modelagem matemática de manobras e validação de simuladores**. São Paulo: TPN-USP, 2014. 43 slides, color.

UNITED NATIONS. **United Nations Conference on Trade and Development - Review of Maritime Transport**. New York and Geneva: United Nations Publication, 2013. Disponível em: <[http://unctad.org/en/publicationslibrary/rmt2013\\_en.pdf](http://unctad.org/en/publicationslibrary/rmt2013_en.pdf)>. Acesso em: 25 de ago. 2014.

V., Sebastián Rayo. **Development of a simulation model for the assessment of approach channels - The Taman Seaport case**. 2013. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering, Chair of Ports and Waterways, Technical University Of Delft, Delft, 2013. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/>>. Acesso em: 08 set. 2014.

WORLD ECONOMIC FORUM. **The Global Competitiveness Report 2013 - 2014**. Geneva: World Economic Forum, 2013. Disponível em: <[www.weforum.org/gcr](http://www.weforum.org/gcr)>. Acesso em: 10 de out. 2014.



## 7. ANEXOS

### ANEXO A – Dados Físicos da Região do Canal da Galheta

O presente anexo contém detalhamento dos dados físicos, fornecidos pelo TCP, que permitiram compor figuras constantes no corpo do texto:

- Rosa dos Ventos;
- Rosa de Ondas.

#### Rosa dos Ventos

A Tabela abaixo contém os dados físicos anualizados da dinâmica de ventos na região do Canal da Galheta.

Tabela 28 – Direção de ventos detalhada

U10 [m/s]	wind direction degrees [° N]												Total	
	-15 to 15	15 to 45	45 to 75	75 to 105	105 to 135	135 to 165	165 to 195	195 to 225	225 to 255	255 to 285	285 to 315	315 to 345		
<	2.0	.71	.77	.72	.68	.61	.52	.43	.40	.39	.41	.49	.58	6.69
2.0	4.0	2.13	2.71	2.61	2.10	1.75	1.46	1.17	.92	.73	.71	.88	1.31	18.47
4.0	6.0	2.64	4.99	5.01	3.81	2.88	2.43	1.94	1.11	.63	.48	.60	1.24	27.75
6.0	8.0	1.51	4.57	5.37	3.63	2.84	2.65	2.40	.96	.40	.24	.25	.64	25.46
8.0	10.0	.48	2.04	2.77	1.85	1.40	1.75	2.03	.83	.35	.11	.09	.24	13.95
10.0	12.0	.10	.51	.73	.44	.40	.71	1.29	.56	.30	.11	.02	.05	5.19
12.0	14.0	.01	.10	.16	.06	.10	.21	.64	.30	.19	.05	.01	.01	1.83
14.0	16.0	.00	.02	.03	.01	.02	.04	.19	.09	.09	.02	.00	.00	.52
16.0	18.0	.	.00	.00	.	.00	.01	.03	.02	.03	.01	.00	.00	.12
18.0	20.0	.	.00	.	.	.00	.00	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.02
20.0	>	.	.	.	.	.00	.00	.00	.00	.00	.	.	.	.00
Total		7.58	15.70	17.40	12.58	10.01	9.78	10.13	5.18	3.10	2.14	2.34	4.07	100.00

Fonte: TCP, 2014

#### Rosa de Ondas

A Tabela abaixo contém os dados físicos anualizados da dinâmica de ondas na região do Canal da Galheta.

Tabela 29 – Direção de ondas detalhada

Hs [m]	wave direction degrees [° N]												Total	
	-15 to 15	15 to 45	45 to 75	75 to 105	105 to 135	135 to 165	165 to 195	195 to 225	225 to 255	255 to 285	285 to 315	315 to 345		
<	.03	.13	4.18	26.17	29.05	23.29	16.43	.69	.02	.00	.01	.01	.01	100.00
.50	.02	.12	4.10	26.07	28.90	23.13	16.28	.68	.01	.00	.00	.01	.01	99.32
1.00	.02	.08	2.93	18.84	23.33	20.53	15.05	.57	.01	.00	.00	.00	.00	81.36
1.50	.01	.01	.92	5.28	8.94	11.43	10.72	.41	.01	.00	.00	.00	.00	37.73
2.00	.00	.00	.23	1.10	2.29	3.74	4.91	.21	.	.	.	.	.00	12.49
2.50	.00	.00	.04	.23	.56	.91	1.65	.08	.	.	.	.	.	3.47
3.00	.	.	.01	.04	.14	.25	.48	.02	.	.	.	.	.	.95
3.50	.	.	.00	.00	.02	.07	.12	.00	.	.	.	.	.	.21
4.00	.	.	.	.	.00	.01	.03	.	.	.	.	.	.	.04
4.50	.	.	.	.	.00	.00	.00	.	.	.	.	.	.	.01
5.00	.	.	.	.	.00	.	.	.	.	.	.	.	.	.00

Fonte: TCP, 2014

ANEXO B – Capítulo 8 da Norma de Tráfego Marítimo e Permanência Nos Portos de Paranaguá e Antonina

**CAPÍTULO 8 – CONDICIONANTES AO ACESSO AO CANAL DA GALHETA**

8.1 – O calado máximo admitido é de 12,5 (doze vírgula cinco) metros.

8.2 – Para navios de calado superior a 11,8 (onze vírgula oito) metros e até 12,50 (doze vírgula cinco) metros, somente no período diurno, desde que se adequa aos seguintes fatores condicionantes:

- a) sem restrições de operação em qualquer condição de amplitude de maré;
- b) preferencialmente próximo ao estofo das preamares;
- c) velocidade mínima do navio no fundo de 10,0 (dez) nós;
- d) visibilidade de 4,0 (quatro) milhas;
- e) vento até nível 3 (três) da escala Beaufort; e
- f) sem a presença de vagas ou marulhos causados por rajadas de vento.

8.3 – Para navios de calado superior a 10,9 (dez vírgula nove) metros e até 11,8 (onze vírgula oito) metros, tráfego diurno, desde que se adequando aos seguintes fatores condicionantes:

- a) sem restrições de operação em qualquer condição de amplitude de maré;
- b) preferencialmente próximo ao estofo das preamares;
- c) velocidade mínima do navio no fundo de 8,0 (oito) nós;
- d) visibilidade de 2,0 (duas) milhas; e
- f) vento até o nível 4 (quatro) da escala Beaufort.

8.4 – Tráfego noturno para navios de calado entre 10,6 (dez vírgula seis) metros e 10,8 (dez vírgula oito) metros, desde que se adequando aos seguintes fatores condicionantes:

- a) sem restrições de operação em qualquer condição da amplitude da maré;
- b) preferencialmente próximo ao estofo das preamares;
- c) velocidade mínima do navio no fundo de 10,0 (dez) nós;
- d) visibilidade de 4,0 (quatro) milhas; e
- e) vento até o nível 3 (três) da escala Beaufort; e
- f) os sinais náuticos de “1-2” a “7-8”, funcionando normalmente.

8.5 – A operação no Terminal de Contêineres de Paranaguá-TCP de navios que possuam até 306 metros de comprimento e boca até o limite de 45,2 (quarenta e cinco vírgula dois) metros será realizada da seguinte forma:

8.5.1 – Para navios com comprimento entre 285 (duzentos e oitenta e cinco) metros e 301 (trezentos e um) metros e com boca até o limite de

- 40 (quarenta) metros, devem ser observadas as seguintes condições: I. Visibilidade mínima de 4,0 (quatro) milhas;
- II. Mar e vento até força 4 (quatro) da escala de Beaufort;
- III. Velocidade de manobra até 14,0 (quatorze) nós;
- IV. Sinais náuticos entre os pares de boias 1-2a 7-8, e bóias 29, 30 e 31, em perfeito estado de funcionamento;
- V. Por ocasião da passagem no trecho crítico entre as bóias 29, 30 e 31, a maré deverá estar parada (estofa da maré);
- VI. Sem presença de vagas no fundo, no trecho compreendido entre os pares de boias 1-2a 5-6;
- VII. Uso obrigatório de dois rebocadores azimutais para as manobras de atracação e desatracação.

8.5.2 – Para navios com comprimento entre 301 (trezentos e um) metros e 306 (trezentos e seis) metros e boca entre 40 (quarenta) metros e 45,2 (quarenta e cinco vírgula dois) metros, devem ser observadas, além das condições estabelecidas no item 8.5.1 acima, as seguintes condições:

- I. Navegação entre os pares de boias 1-2a 7-8 será realizada somente no período diurno;
- II. Não será permitido o cruzamento no canal com outro navio com calado superior a 9,5 (nove vírgula cinco) metros, no trecho compreendido entre os pares de boias 1-2a 17-18; e
- III. Uso obrigatório de três rebocadores azimutais para as manobras de atracação e desatracação.

#### ANEXO C – Capítulo 6 da Norma de Tráfego Marítimo e Permanência Nos Portos de Paranaguá e Antonina

6.1. No que tange as áreas para os navios que demandam o Porto de Antonina, devem ser observadas a Portaria nº 31/2010 e Cartas Náuticas 1821 e 1822. Para os fundeadouros de uso exclusivo de barcaças que operam com transbordos de cargas para o Porto de Antonina são os determinados nos limites das Áreas 1 e 2 indicados 6.1.1 e 6.1.2 a seguir:

##### 6.1.1. ÁREA Nº 1

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 28´,08	048° 38´,56
2	25° 28´,32	048° 36´,98
3	25° 28´,59	048° 37´,03
4	25° 28´,32	048° 38´,59

## 6.1.2. ÁREA Nº 2

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',80	048° 35',40
2	25° 29',80	048° 33',80
3	25° 30',10	048° 33',80
4	25° 30',10	048° 35',40

6.2. A Área 2 é destinada a navios em uma das seguintes situações ou comprimento abaixo mencionados, observada a ordem de prioridade para fundeio em que estão relacionados:

- Navios aguardando atracação no Terminal de Ponta do Félix, com até 185 (cento e oitenta e cinco) metros de comprimento e até 6,4 (seis vírgula quatro) metros de calado;
- Navios com comprimento de até 210 (duzentos e dez) metros e calado máximo de 10,7 (dez vírgula sete) metros destinados a operação no Porto de Paranaguá (posição mais a leste da área);
- Navios aguardando reabastecimento de óleo combustível e/ou lubrificante para consumo próprio com comprimento de até 210 (duzentos e dez) metros e até 10,7 (dez vírgula sete) metros de calado posição mais a leste da área; e
- Navios realizando operações de transbordo de carga para o Porto de Antonina, com comprimento de até 210 (duzentos e dez) metros e até 10,7 (dez vírgula sete) metros de calado (posição mais a leste da área).

6.2.1. O local de fundeio será estabelecido em função das profundidades existentes no local e do raio de giro dos navios fundeados ou por fundear.

6.2.2. A área 2 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',53	048° 33',22
2	25° 29',43	048° 32',20
3	25° 29',60	048° 32',20
4	25° 29',60	048° 31',65
5	25° 29',88	048° 31',65
6	25° 30',02	048° 33',22

6.3. A Área 3 é destinada a navios com comprimento inferior a 180 (cento e oitenta) metros e calado de até 7,0 (sete) metros.

6.3.1. A área 3 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
-----------	--------------	-----------------

1	25° 29',18	048° 32',20
2	25° 29',18	048° 30',94
3	25° 29',60	048° 30',94
4	25° 29',60	048° 32',20

6.4. A Área 4 é destinada a navios com comprimento inferior a 180 (cento e oitenta) metros e calado de até 7,0 (sete) metros.

6.4.1. A área 4 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',18	048° 30',93
2	25° 29',33	048° 30',38
3	25° 29',47	048° 30',38
4	25° 29',47	048° 30',93

6.5. A Área 5 é destinada a navios a serem submetidos a visitas das autoridades de saúde dos Portos e outras, quando as condições do navio assim o recomendarem, e poderão fundear navios com calado de até 11,3 (onze vírgula três) metros.

6.5.1. A área 5 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',84	048° 28',35
2	25° 29',79	048° 27',27
3	25° 30',15	048° 27',27
4	25° 30',08	048° 28',35

6.6. A Área 6 é destinada a navios com comprimento maior do que 180 (cento e oitenta) metros e calado de até 12,5 (doze vírgula cinco) metros, e a navios de qualquer porte compatível com as condições físicas da área, que necessitem de reabastecimento de óleo combustível e/ou lubrificante para consumo próprio.

6.6.1. A área 6 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',22	048° 29',50
2	25° 29',18	048° 26',08
3	25° 29',55	048° 26',08
4	25° 29',62	048° 29',50

6.6.2. Deverão ser observados ainda os seguintes limites:

1) Navios até 12,5 (doze vírgula cinco) metros – Setor Oeste do Fundeadouro

2) Navios até 10,1 (dez vírgula um) metros – Setor Leste do Fundeadouro

6.7. A Área 7 é destinada a navios em uma das situações abaixo mencionadas, observada a ordem de prioridade para fundeio em que estão relacionados, e limitados em 10,1 (dez vírgula um) metros de calado:

- a) Navios de qualquer porte em Quarentena;
- b) Navios de qualquer porte operando com explosivos, produtos inflamáveis e outros produtos agressivos, considerados prejudiciais ao meio ambiente;
- c) Navios que necessitam de reabastecimento de óleo combustível e/ou lubrificante, para consumo próprio; e
- d) Navios com mais de 180 (cento e oitenta) metros de comprimento.

6.7.1. A área 7 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos N°	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',82	048° 27',28
2	25° 29',80	048° 26',31
3	25° 30',21	048° 26',31
4	25° 30',17	048° 27',28

6.8. A Área 8 é destinada a navios com comprimento maior do que 180 (cento e oitenta) metros e calado de até 8,2 (oito vírgula dois) metros.

6.8.1. A área 8 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos N°	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',23	048° 25',15
2	25° 30',59	048° 23',05
3	25° 30',86	048° 23',27
4	25° 29',53	048° 25',40

6.9. A Área 9 é destinada a navios com comprimento superior a 180 (cento e oitenta) metros e calado de até 10,1 (dez vírgula um) metros.

6.9.1. A área 9 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos N°	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 29',81	048° 26',31
2	25° 30',12	048° 24',87
3	25° 30',36	048° 24',41
4	25° 30',54	048° 24',52

5	25° 30',23	048° 26',31
---	------------	-------------

OBSERVAÇÕES: 1) Navios até 9,2 metros – Setor Oeste do Fundeadouro

2) Navios até 10,1 metros – Setor Leste do Fundeadouro

6.10. A Área 10 é destinada, exclusivamente, para fundeio de barcas utilizadas no transporte das estruturas e de plataformas “OFF SHORE”.

6.10.1. A área 10 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 32',37	048° 22',54
2	25° 32',57	048° 22',32
3	25° 32',90	048° 23',32
4	25° 32',62	048° 23',43

6.11. A Área 11 é destinada a navios de qualquer comprimento e calado até 9,2 metros, aguardando atracação ou a navios que estejam aguardando melhoria das condições meteorológicas para demandarem a Barra.

6.11.1. A área 11 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 32',09	048° 22',17
2	25° 33',85	048° 20',28
3	25° 34',13	048° 20',59
4	25° 32',37	048° 22',54

6.12. A Área 12 é destinada a navios fundeados aguardando ordem para demandarem a Baía de Paranaguá, de profundidade que varia entre 14 (quatorze) e 19 (dezenove) metros, sob responsabilidade da Autoridade Marítima, por estar fora da Área do Porto Organizado.

6.12.1. A área 12 é delimitada pelos pontos de coordenadas abaixo:

Pontos Nº	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	25° 42',33	048° 18',49
2	25° 36',63	048° 11',63
3	25° 38',79	048° 09',50
4	25° 44',49	048° 16',24