



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
ENGENHARIA NAVAL

MÔNICA CAROLINE PEREIRA DE SOUZA

**PLANEJAMENTO DE ATIVIDADES PARA UTILIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE  
ENSINO FLUTUANTE, CIÊNCIAS DO MAR IV, NO APOIO ÀS ATIVIDADES DO  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL DA UFPE**

RECIFE

2020

Mônica Caroline Pereira de Souza

**Planejamento de atividades para utilização do laboratório de ensino flutuante,  
Ciências do Mar IV, no apoio às atividades do curso de Engenharia Naval da UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Naval da Universidade  
Federal de Pernambuco como parte  
dos requisitos necessários para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Naval

Professor Orientador: Silvio Melo

Recife

2020

MÔNICA CAROLINE PEREIRA DE SOUZA

**PLANEJAMENTO DE ATIVIDADES PARA UTILIZAÇÃO DO LABORATÓRIO DE  
ENSINO FLUTUANTE, CIÊNCIAS DO MAR IV, NO APOIO ÀS ATIVIDADES DO  
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL DA UFPE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval.

Aprovado por:

---

Prof. Silvio Eduardo Gomes de Melo, D.Sc. (Orientador)

---

Prof. Miguel Angel Celis Carbajal, D.Sc.

---

Prof. Cesar Augusto Salhua Moreno, D.Sc.

---

Prof. Alex Costa da Silva, D.Sc.

Data:

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela conclusão de mais uma etapa na minha vida. A Deus, o autor da minha vida, eu agradeço por todas as bênçãos derramadas.

Agradeço a minha mãe, que com muito amor sempre me apoia, me dá coragem e ânimo. Agradeço a ela por ser fonte de inspiração para mim e me dar forças para enfrentar os desafios com esperança.

Agradeço ao meu pai, que apesar de suas limitações de saúde, sempre torce por mim e se alegra a cada conquista.

Agradeço a minha família por todo apoio e carinho.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia Naval, que compartilharam seus conhecimentos contribuindo para minha formação profissional. Agradeço também a todos os professores, desde a minha fase escolar, que colaboraram para minha formação.

Agradeço ao meu orientador, Sílvio, pelo apoio e importantes sugestões que colaboraram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço aos meus colegas de curso que comigo vivenciaram desafios, dificuldades e alegrias.

## RESUMO

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) vai receber uma embarcação chamada Ciências do Mar IV para fomento do ensino e da pesquisa. Para o curso de graduação em Engenharia Naval, a utilização de uma embarcação real para desempenhar a função de Laboratório de Ensino Flutuante (LEF) e ser inserida no ensino representa a possibilidade de os alunos reforçarem o conhecimento adquirido em sala de aula através de atividades práticas e vivenciarem desafios reais que fazem parte da área de atuação do futuro profissional, proporcionado aos alunos a oportunidade de ingressarem no mercado de trabalho já tendo vivenciado algumas experiências práticas através de uma embarcação real. Nesse contexto, este trabalho realiza um planejamento das atividades a serem realizadas neste laboratório, sugerindo práticas relacionadas a disciplinas no âmbito do curso de Engenharia Naval e descrevendo os procedimentos a serem realizados, servindo de guia para a realização dessas atividades.

**Palavras-chave:** Laboratório de Ensino Flutuante; Ciências do Mar IV; Engenharia Naval; planejamento de atividades.

## **ABSTRACT**

The Federal University of Pernambuco (UFPE) will receive a ship called Ciências do Mar IV to promote learning and research. For the graduation course in Naval Engineering, the use of a real ship to serve as a Floating Teaching Laboratory (LEF) and be inserted in learning activities represents the possibility for students to reinforce the knowledge acquired in the classroom through practical activities and to experience real challenges that are part of the field of action of the future professional, providing to the students the opportunity to enter in the job market having already experienced some practical experiences through a real vessel. In this context, this work comes to plan the activities to be carried out in this laboratory, suggesting practices related to disciplines within the scope of the Naval Engineering course and describing the procedures to be performed, serving as a guide for carrying out these activities.

**Keywords:** floating teaching laboratory; Ciências do Mar IV; Naval Engineering; activity planning

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ciências do Mar IV (Fonte: Cortesia - INACE).....	12
<b>Figura 2:</b> Logo do LEF na embarcação Ciências do Mar IV (Fonte: Cortesia - INACE) ...	14
<b>Figura 3:</b> Respostas sobre atividades acadêmicas que mais contribuíram na formação profissional (Fonte: SODRÉ; MORANDINI, 2018) .....	17
<b>Figura 4:</b> Simulação de curva de giro em CFD (Fonte: DUMAN; BAL, 2019).....	20
<b>Figura 5:</b> Forças na direção vertical (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001).....	23
<b>Figura 6:</b> Tipos de equilíbrio (Fonte: WIKIMEDIA, 2018) .....	24
<b>Figura 7:</b> Distribuição dos pontos de referência (Fonte: Adaptado de BARRASS; DERRETT, 2006).....	25
<b>Figura 8:</b> Pontos de referência (Fonte: SNAME, 1988).....	25
<b>Figura 9:</b> Configurações de força (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001).....	26
<b>Figura 10:</b> Curva GZ (Fonte: Adaptado de BARRASS, 2001) .....	27
<b>Figura 11:</b> Teste de inclinação (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001).....	28
<b>Figura 12:</b> Deflexão do pêndulo (Fonte: BIRAN, 2001).....	29
<b>Figura 13:</b> Exemplo de curvas hidrostáticas (Fonte: BARRASS; DERRETT, 2006).....	31
<b>Figura 14:</b> Movimentos do navio (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001).....	32
<b>Figura 15:</b> Sistema de referência (Fonte: SNAME, 1989).....	33
<b>Figura 16:</b> Estabilidade direcional (Fonte: SNAME, 1989).....	35
<b>Figura 17:</b> <i>Telegraph lever</i> (Fonte: NAUTICEXPO) .....	36
<b>Figura 18:</b> Curva de giro (Fonte: SNAME, 1989) .....	38
<b>Figura 19:</b> Teste de zig-zag (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001) .....	39
<b>Figura 20:</b> Espiral direto (Fonte: SNAME, 1989).....	40
<b>Figura 21:</b> <i>Pull-Out</i> - embarcação estável (Fonte: ABS, 2006) .....	42
<b>Figura 22:</b> <i>Pull-Out</i> - embarcação instável (Fonte: Adaptado de ABS, 2006) .....	42
<b>Figura 23:</b> Teste de parada brusca (Fonte: ABS, 2006) .....	43
<b>Figura 24:</b> LEF em navegação (Fonte: Cortesia – INACE) .....	44
<b>Figura 25:</b> Vista do Porto do Recife (Fonte: PORTO DO RECIFE) .....	46
<b>Figura 26:</b> Porto do Recife - Berços de atracação (Fonte: PORTO DO RECIFE) .....	46
<b>Figura 27:</b> Escala Beaufort de ventos (Fonte: MARINHA DO BRASIL).....	47
<b>Figura 28:</b> Modelo de velocidade de vento no Recife (Fonte: METEOBLUE).....	48
<b>Figura 29:</b> Histograma da velocidade do vento em Recife (Fonte: FIGUEIRÊDO, 2014) .	48

<b>Figura 30:</b> Bússola giroscópica (Fonte: FURUNO) .....	49
<b>Figura 31:</b> Display da bússola giroscópica - modo aproamento (Fonte: FURUNO).....	49
<b>Figura 32:</b> Display da bússola giroscópica – modo taxa de giro (Fonte: FURUNO) .....	50
<b>Figura 33:</b> Display da bússola giroscópica – modo navegação (Fonte: FURUNO) .....	50
<b>Figura 34:</b> GPS FURUNO GP 170 (Fonte: FURUNO) .....	51
<b>Figura 35:</b> Display do GPS – modo <i>plotter</i> (Fonte: FURUNO).....	51
<b>Figura 36:</b> Odômetro <i>Doppler</i> (Fonte: FURUNO) .....	52
<b>Figura 37:</b> Ecossonda (Fonte: FURUNO) .....	52
<b>Figura 38:</b> Configuração inicial (Fonte: Autora) .....	54
<b>Figura 39:</b> Condição máxima de inclinação (Fonte: Autora) .....	54
<b>Figura 40:</b> Vista de perfil da embarcação (Fonte: INACE, 2015) .....	56
<b>Figura 41:</b> Vista superior da embarcação (Fonte: INACE, 2015).....	56
<b>Figura 42:</b> Configuração da instalação do pêndulo (Fonte: MSC267(85) (2008)).....	57
<b>Figura 43:</b> Amarração da embarcação (Fonte: MSC267(85) (2008)) .....	57
<b>Figura 44:</b> Movimentação de pesos - teste de inclinação (Fonte: DNV, 2015) .....	59
<b>Figura 45:</b> Ângulo de trim (Fonte: BIRAN, 2003) .....	61
<b>Figura 46:</b> Gráfico resultante do teste de inclinação (Fonte: DNV, 2015).....	68



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Questionário elaborado para obter a opinião dos alunos sobre o LEA .....	15
<b>Tabela 2:</b> Manobras recomendadas por diversas organizações .....	19
<b>Tabela 3:</b> Movimentos do navio .....	32
<b>Tabela 4:</b> Velocidade e aceleração .....	32
<b>Tabela 5:</b> Características principais da embarcação .....	44
<b>Tabela 6:</b> Dados utilizados para encontrar o peso .....	54
<b>Tabela 7:</b> Parâmetros a serem tomados antes do teste de inclinação .....	58
<b>Tabela 8:</b> Cálculo do GMt.....	60
<b>Tabela 9:</b> Variáveis a serem medidas no teste de Curva de Giro .....	64
<b>Tabela 10:</b> Variáveis a serem medidas no teste de Zig-zag.....	65
<b>Tabela 11:</b> Variáveis a serem medidas no teste de Espiral Direto .....	66
<b>Tabela 12:</b> Variáveis a serem medidas no teste de <i>Pull-Out</i> .....	66
<b>Tabela 13:</b> Variáveis a serem medidas no teste de Parada Brusca .....	67
<b>Tabela 14:</b> Critério - Teste de inclinação.....	69
<b>Tabela 15:</b> Critérios – Curva de Giro.....	69
<b>Tabela 16:</b> Critérios – Zig-Zag.....	70
<b>Tabela 17:</b> Critério – Teste de Parada Brusca .....	71

## LISTA DE SÍMBOLOS

LEF	<i>Laboratório de Ensino flutuante</i>
ABS	<i>American Bureau of Shipping</i>
COG	<i>Course over ground</i>
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>
GL	<i>Germanischer Lloyd</i>
GM	Altura metacêntrica
GZ	Braço do momento de endireitamento
INACE	Indústria Naval do Ceará
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
ITTC	<i>International Towing Tank Conference</i>
KB	Cota vertical do centro de carena
KG	Cota vertical do centro de gravidade
KM	Cota vertical do metacentro
LCB	Cota longitudinal do centro de carena
LCG	Cota longitudinal do centro de gravidade
Lpp	Distância entre a perpendicular de proa e a perpendicular de popa
MSC	<i>Maritime Safety Committee</i>
ROT	<i>Rate of turn</i>
SNAME	<i>Society of Naval Architects &amp; Marine Engineers</i>
SOG	<i>Speed over ground</i>
TCG	Cota transversal do centro de gravidade
Ta	Calado a ré
Tf	Calado a vante

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	22
3.1. ESTABILIDADE INTACTA.....	22
3.1.1 PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES.....	23
3.1.2 ESTABILIDADE TRANSVERSAL .....	24
3.2 TESTE DE INCLINAÇÃO .....	28
3.3. MANOBRABILIDADE .....	31
3.3.1 MOVIMENTOS DO NAVIO.....	31
3.3.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA .....	33
3.3.3 ESTABILIDADE DIRECIONAL .....	34
3.3.4 CAPACIDADE DE GIRO .....	35
3.3.5 CAPACIDADE DE PARADA.....	36
3.4 TESTES DE PROVA DE MAR .....	36
3.4.1 CURVA DE GIRO .....	37
3.4.2 TESTE DE ZIG-ZAG.....	38
3.4.3 TESTE DE ESPIRAL DIRETO.....	39
3.4.4 TESTE DE PULL-OUT.....	41
3.4.5 PARADA BRUSCA .....	42
4 PROCEDIMENTOS PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES .....	44
4.1. LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS TESTES.....	45
4.2 EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO A SEREM UTILIZADOS .....	48
4.2.1 BÚSSOLA GIROSCÓPICA.....	49
4.2.2 GPS .....	50
4.2.3 ODÔMETRO DOPPLER.....	51
4.2.4 ECOSSONDA.....	52

4.3	PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE INCLINAÇÃO .....	53
4.3.1	ITENS NECESSÁRIOS À REALIZAÇÃO DO TESTE DE INCLINAÇÃO.....	55
4.3	PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE CURVA DE GIRO.....	63
4.4.	PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE ZIG-ZAG.....	64
4.5.	PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE ESPIRAL DIRETO.....	65
4.6	PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE PULL-OUT.....	66
4.7.	PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE PARADA BRUSCA.....	66
5.	RESULTADOS ESPERADOS .....	68
5.1	TESTE DE INCLINAÇÃO .....	68
5.2	TESTE DE CURVA DE GIRO.....	69
5.3	TESTE DE ZIG-ZAG.....	69
5.4	TESTE DE ESPIRAL DIRETO.....	70
5.5	TESTE DE PULL-OUT.....	70
5.6	TESTE DE PARADA BRUSCA.....	71
6.	CONCLUSÕES.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
	ANEXO A: DADOS HIDROSTÁTICOS CONSIDERANDO TRIM=0.....	79
	ANEXO B: ARRANJO GERAL.....	81
	ANEXO C: PLANO DE LINHAS.....	82

## 1.INTRODUÇÃO

Para uma embarcação estar pronta para ser utilizada com segurança, é preciso um longo e complexo processo que envolve desde a fase conceitual do projeto, onde são geradas as concepções iniciais sobre aquilo se deseja projetar, até os testes realizados com a embarcação já construída para analisar se esta atende aos requisitos estatutários, aos requisitos do armador e também aos da classificadora onde o navio será certificado.

No processo de concepção de uma embarcação, há dois grandes vieses: o viés de projeto e o de construção. O projeto deve levar em consideração diversas questões técnicas, econômicas e ambientais envolvidas, mas também é preciso pensar em realizar um projeto para que seja viável na fase da produção também. Por outro lado, a construção deve materializar o projeto buscando a conformidade com as características planejadas na fase de projeto. Ou seja, esses dois vieses se complementam e são fundamentais para se obter uma embarcação que cumpra o seu objetivo de maneira eficiente.

Nesse contexto, diversas análises e testes são realizados tanto na fase de projeto quanto na etapa de construção. Durante a fase de projeto de uma embarcação, são realizadas análises em diferentes áreas de estudo e são realizados diferentes testes antes de a embarcação ser construída. Essas verificações incluem estudos de estabilidade, hidrodinâmica, estruturas, instalações propulsoras, instalações de máquinas, etc. Depois de obter sucesso nessas análises, a embarcação está apta para ser construída.

A fase de produção engloba diversos processos construtivos desde a matéria prima até o produto final. Na produção de um navio de aço, por exemplo, as chapas de aço passam por um tratamento inicial, depois são cortadas e conformadas, e então começam a serem montados os sub-blocos, posteriormente os blocos até a montagem final dos diversos elementos.

Buscando promover a segurança e a qualidade, importantes atividades de inspeção são realizadas nessa fase. Essas verificações incluem desde as mais simples, como a observância se a chapa de aço utilizada em cada elemento estrutural está em conformidade com o material e a espessura de projeto, a inspeções mais detalhadas como é o caso do controle dimensional dos elementos, o alinhamento entre eles e a inspeção de solda (SSC, 1990).

Concluídas as etapas de projeto e construção, a embarcação passa por outros testes antes de ser entregue ao armador, que são os testes de mar e cais. De modo geral, esses testes têm o intuito de verificar o desempenho da embarcação, incluindo inspeções nos equipamentos do navio, nos instrumentos de navegação e comunicação, nos sistemas elétricos e de máquinas e também quanto ao desempenho náutico da embarcação (GL(CLASS), 2012).

Os testes de mar e cais envolvem diversas áreas de estudo e são conduzidos com base nas normas vigentes. Existem diversas normas internacionais e nacionais as quais uma embarcação está submetida. Com relação às organizações estatutárias internacionais, uma das mais importantes é a *International Maritime Organization* (IMO), que dispõe de diversas regras aplicáveis no âmbito naval. Dentre as suas várias convenções publicadas, é possível citar algumas que são bastante utilizadas na Engenharia Naval, como por exemplo: Salvaguarda da vida humana no mar (SOLAS); Prevenção da poluição causada por navios (MARPOL) e Convenção Internacional de Linhas de Cargas (ICLL). Além dessas regras internacionais, a embarcação deve cumprir as normas nacionais, que no caso do Brasil são as Normas da Autoridade Marítima (NORMAM), as normas da classificadora que irá certificar o navio e os requisitos contratados pelo armador. Os testes de mar e cais realizados em uma embarcação compõem uma importante etapa na concepção de um navio e é neste cenário que está inserido o escopo deste trabalho de conclusão de curso.

A Universidade Federal de Pernambuco irá receber uma embarcação chamada Ciências do Mar IV, para qual o planejamento de atividades será realizado. Essa embarcação tem o objetivo de servir de auxílio para o aprendizado dos alunos e à pesquisa dos cursos relacionados a ciências do mar (ASCOM-UFPE).



**Figura 1:** Ciências do Mar IV (Fonte: Cortesia - INACE)

No contexto especificamente do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco, o recebimento de uma embarcação, que poderá ser utilizada nas atividades de ensino e pesquisa do curso, pode proporcionar aos alunos, na esfera do ensino, a oportunidade de lidar com desafios práticos comumente vivenciados por profissionais da área e, além disso, pode proporcionar o desenvolvimento de novos estudos na área da pesquisa.

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo propor e planejar atividades relacionadas à Engenharia Naval para serem realizadas na embarcação Ciências do Mar IV, de modo que essas atividades possam ser inseridas no contexto da graduação do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco.

Além deste capítulo de introdução, este trabalho de conclusão de curso está estruturado da seguinte forma: Revisão bibliográfica; Fundamentação teórica; Procedimentos para realização dos testes; Resultados esperados e Conclusão. No capítulo de revisão bibliográfica estão presentes algumas informações obtidas por meio de estudos recentes acerca da importância da utilização de um laboratório no ensino do curso de Engenharia. Além disso, estão presentes também algumas informações relevantes sobre testes realizados em embarcações, a partir de recentes pesquisas. O capítulo da fundamentação teórica contém a teoria essencial de estabilidade intacta, manobrabilidade e sobre alguns testes realizados em embarcações. No capítulo de Procedimentos para realização dos testes, estão contidas as orientações necessárias para que os testes propostos sejam realizados, incluindo informações sobre: locais sugeridos, equipamentos essenciais e o procedimento necessário a execução dos testes. No capítulo de Resultados esperados estão indicados os parâmetros que se espera obter através dos testes, bem como os critérios necessários para aprovação da embarcação para os casos dos testes em que há critérios normativos estabelecidos. No capítulo de Conclusão serão analisados os procedimentos indicados bem como a abrangência dos testes sugeridos para o curso de Engenharia Naval da UFPE. Além disso, estão presentes algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco possui cinco laboratórios: Laboratório de Simulação e Visualização (LSIVI); Laboratório de Projetos Especiais (LAPESP); Laboratório de Computação de Alto Desempenho (LACAD); Laboratório de Modelos e Manufaturas Navais (LABMAN); e o Laboratório Canal de Corrente Circulante (LAB3C). Dentre esses laboratórios, o LSIVI, o LAPESP e o LACAD são utilizados para estudos computacionais. O LABMAN é utilizado para a construção de embarcações em escala reduzida. No LAB3C são realizados estudos hidrodinâmicos a partir da utilização de modelos em um canal cuja velocidade máxima do fluxo de água é de 1,5 m/s (COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL).

Através dos laboratórios computacionais, é possível realizar a modelagem 3D de embarcações e efetuar estudos a partir de programas computacionais utilizados para análises na área de engenharia naval. Por outro lado, tanto no LABMAN quanto no LAB3C, são realizadas atividades com modelos materiais de embarcações. Dessa forma, os estudos realizados nos laboratórios atualmente existentes baseiam-se na simulação computacional e em análises feitas através de modelos.

A UFPE vai receber a embarcação Ciências do Mar IV, que servirá de Laboratório de Ensino Flutuante (LEF), dessa maneira, além das análises produzidas em estudos computacionais e em modelos, neste laboratório novos estudos poderão ser realizados em uma embarcação real. A inserção desse novo laboratório poderá proporcionar o desenvolvimento de novas pesquisas e também contribuir para o ensino no curso de Engenharia Naval. Neste contexto está inserido o tema deste trabalho de conclusão de curso: o planejamento de atividades para utilização do LEF - Ciências do Mar IV, no apoio às atividades do curso de Engenharia Naval da UFPE.



**Figura 2:** Logo do LEF na embarcação Ciências do Mar IV (Fonte: Cortesia - INACE)



A seguir serão apresentadas informações relevantes obtidas em artigos com o objetivo de apontar perspectivas provenientes de estudos e de contribuir para o embasamento deste trabalho de conclusão de curso.

No contexto das atividades a serem executadas em um laboratório universitário, segundo PEKELMAN; GONÇALVES MELLO JR (2004), os laboratórios devem ser didaticamente utilizados nas disciplinas correlacionadas e, além disso, devem ser uma ferramenta para o desenvolvimento de pesquisas, seja na graduação ou na pós-graduação. Ainda de acordo com PEKELMAN; GONÇALVES MELLO JR (2004), os laboratórios tem uma função bastante relevante para a formação dos estudantes do curso de Engenharia, pois desenvolve a habilidade de trazer o conhecimento teórico para uma experiência real e viabiliza a adaptação do estudante a condições que ele poderá vivenciar durante a fase profissional.

No âmbito da relevância da realização de atividades práticas para a formação do engenheiro, de acordo com uma recente pesquisa (SILVA et al., 2018), onde foi realizado um levantamento sobre a importância do laboratório de energias alternativas (LEA) na formação de engenheiros e para a realização de pesquisas na Universidade Federal do Ceará (UFC), foi observado que a partir da utilização do LEA foram produzidas 11 dissertações de mestrado e 2 teses de doutorado considerando os anos compreendidos entre 2011 e 2016. Além disso, um questionário foi elaborado com 6 perguntas que objetivavam recolher a opinião de estudantes sobre o LEA, conforme mostrado na tabela 1.

**Tabela 1:** Questionário elaborado para obter a opinião dos alunos sobre o LEA

Nº	Perguntas Elaboradas para o Questionário
1	O Laboratório de energias alternativas – LEA é importante nos planos de ensino para o desenvolvimento dos estudantes do curso de engenharia?
2	O entendimento do conteúdo fica mais claro com as aulas no laboratório?
3	Você considera o laboratório um ambiente que fomenta as pesquisas no segmento de energia solar?
4	As aulas no laboratório deveriam ser mais intensificadas nos cursos da engenharia?
5	Você considera a metodologia de aulas teóricas e práticas mais motivadora para aprender o assunto?
6	O laboratório é uma ferramenta que prepara melhor o engenheiro para o mercado de trabalho?

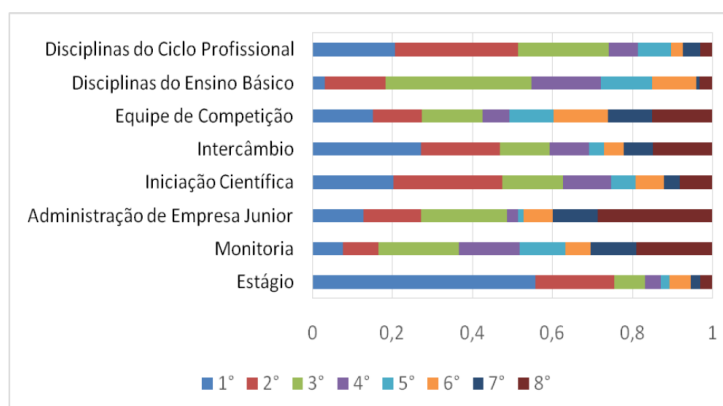
Fonte: (SILVA et al., 2018)

A partir das respostas obtidas, verificou-se que uma grande parte dos alunos que participaram da pesquisa concordou totalmente ou parcialmente com relação às perguntas realizadas, o que traz um resultado de que o LEA auxilia no processo de aprendizagem dos alunos (SILVA et al., 2018).

Essa pesquisa não é a única que consegue destacar a importância da utilização de atividades em laboratório no ensino do curso de engenharia. Em outra recente pesquisa (MARTINS et al., 2019), analisou-se a relevância do laboratório de sistemas eletrônicos (LSE) da Universidade Federal do Pará (UFPA) de acordo com um questionário respondido por alunos. Dentre as perguntas deste questionário, destaca-se a seguinte: “A vivência no laboratório é importante para preparar o Engenheiro para o futuro acadêmico ou mercado de trabalho?” (MARTINS et al., 2019, p.6), em que todos os alunos que participaram da pesquisa avaliaram como máxima concordância conforme escala *Likert*. Essa escala colhe respostas dos participantes de uma pesquisa através do nível de concordância ou discordância com o item questionado (KAM, 2020).

No contexto do curso de Engenharia Naval especificamente, foi realizado um estudo recente (SODRÉ; MORANDINI, 2018) sobre a formação dos alunos do curso de Engenharia Naval e Oceânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) a partir da perspectiva de ex-alunos já graduados. Esta pesquisa foi realizada através da utilização de um questionário contendo 18 questões. Dentre essas questões estão as seguintes temáticas: o perfil das pessoas que responderam ao questionário; a colaboração do curso na formação do engenheiro; e habilidades de gestão (SODRÉ; MORANDINI, 2018).

Com relação à contribuição de atividades acadêmicas na formação profissional, os participantes da pesquisa responderam, em sua maioria, que a atividade de estágio é a atividade acadêmica mais relevante para sua formação (SODRÉ; MORANDINI, 2018). A figura 3 ilustra os dados obtidos de acordo com as respostas dos participantes referentes às atividades acadêmicas. Esse resultado mostra a importância do estágio, que é uma atividade prática, na construção do conhecimento.



**Figura 3:** Respostas sobre atividades acadêmicas que mais contribuíram na formação profissional (Fonte: SODRÉ; MORANDINI, 2018)

Em outro item deste mesmo questionário, foi questionada aos participantes a seguinte pergunta: “Quais são suas críticas e/ou sugestões para a formação profissional do Curso de Engenharia Naval e Oceânica?” (SODRÉ; MORANDINI, 2018, p.8). As respostas coletadas foram divididas conforme o tópico em que ela estava relacionada, e de acordo com as respostas dos egressos, o tópico mais citado foi: uma maior conexão entre a teoria e a prática (SODRÉ; MORANDINI, 2018).

É exatamente através desta sugestão realizada por engenheiros egressos do curso de Engenharia Naval e Oceânica da UFRJ que é possível perceber a importância da inserção de um LEF no ensino de graduação de Engenharia Naval, o qual pode proporcionar aos alunos uma vivência prática da teoria aprendida, através de atividades realizadas em uma embarcação real. Conforme AKPO et al. (2019), a experiência prática proporcionada pelo uso do laboratório contribui para a revisão e fixação do conteúdo previamente visto durante as aulas teóricas em sala de aula.

Na perspectiva da aprendizagem, de acordo com CARVALHO; PORTO; BELHOT, (2001), durante a graduação, o conteúdo ao longo do curso é distribuído em parcelas. É necessário que o aluno consiga conectar esses conhecimentos para uma aprendizagem mais efetiva. Além disso, o processo de aprendizagem se completa quando o aluno consegue aplicar o conhecimento adquirido (CARVALHO; PORTO; BELHOT, 2001).

Conforme as exigências cada vez mais minuciosas oriundas do mercado trabalhista, além do conhecimento teórico aprendido, o mercado aguarda um profissional que esteja previamente familiarizado com a aplicação prática desse conhecimento, e por isso, a utilização do laboratório deve estar conectada ao ensino das disciplinas (AKPO et al., 2019).

Ainda no contexto mercadológico, primeiramente era necessário que o engenheiro tivesse qualidades técnicas. Então, com a modernização industrial, exigiu-se deste profissional a qualificação científica, e posteriormente foram requisitadas de maneira adicional, habilidades gerenciais (INOVA ENGENHARIA, 2006 apud SODRE; MORANDINI, 2018).

Além de promover a transformação do conhecimento teórico em prática, as aulas em laboratório podem contribuir para o desenvolvimento de habilidades gerenciais. Conforme AKPO et al. (2019), a partir das aulas de laboratório, os alunos podem desenvolver competências fundamentais, como por exemplo: liderança, organização e iniciativa.

Nesse contexto, os testes propostos para serem realizados na embarcação Ciências do Mar IV têm como finalidade ser inseridos, de modo didático, no contexto do ensino do curso de Engenharia Naval da UFPE para proporcionar aos alunos a oportunidade de realizar testes de mar e cais, que são atividades que podem ser desempenhadas pelos futuros profissionais. Dessa maneira, um dos testes mais importantes realizados antes da entrega ao armador é o teste de inclinação, cujo principal objetivo é obter a cota vertical do centro de gravidade (KG) da embarcação leve.

Em uma recente pesquisa (BERTHEUSSEN KAROLIUS; VASSALOS, 2018), foram analisados os resultados referentes aos valores de KG de 9 embarcações diferentes através de metodologias variadas. Além do método clássico do teste de inclinação, foram analisadas as seguintes metodologias: método generalizado, método gráfico e o método polar. BERTHEUSSEN KAROLIUS; VASSALOS (2018) afirmam que o método clássico possui algumas limitações quanto à extensão do ângulo de inclinação, devido à consideração de que o metacentro não modifica de local ao inclinar a embarcação, e dessa forma, recomenda-se um ângulo máximo de 2° ao realizar o teste de inclinação. Apesar disso, o método clássico do teste de inclinação é o método mais aceito atualmente e para a maioria das embarcações funciona apropriadamente desde que realizado da maneira correta (BERTHEUSSEN KAROLIUS; VASSALOS, 2018).

Além do teste de inclinação, que é realizado no cais, durante a prova de mar são realizados diversos testes com o intuito de verificar algumas características da embarcação, dentre elas: capacidade de giro, estabilidade direcional e a capacidade de parada, que serão detalhadas no capítulo 3. Dentre os vários testes de prova de mar, o *International Towing Tank Conference* (ITTC) indica alguns testes recomendados por várias organizações normativas, conforme a tabela 2.

**Tabela 2:** Manobras recomendadas por diversas organizações

Tipo de teste	IMO	IMO	ITTC	SNAME	Norse	Japan	ISO	ITTC
	A601	MSC137(76)	1975	1989	Standard	RR		2017
Curva de giro	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zig-zag	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zig-zag modificado						✓		✓
Zig-zag em velocidade baixa				✓		✓		✓
Espiral direto			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Espiral reverso			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Pull-Out	✓		✓	✓			✓	✓
Parada brusca	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Parada inercial	✓				✓	✓	✓	✓
Homem ao mar	✓						✓	✓
Manobra de curso paralelo	✓						✓	✓
Giro inicial	✓			✓				✓
Giro acelerando	✓		✓				✓	✓
Teste de propulsor	✓		✓	✓	✓		✓	✓
Teste de carangueijo							✓	✓
Manutenção do novo curso						✓		
Aceleração/Desaceleração	✓						✓	
Parada brusca à ré				✓	✓	✓		
Revoluções mínimas	✓			✓	✓			

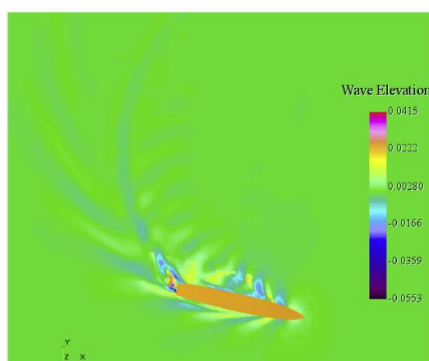
Fonte: Adaptado de ITTC (2017)

Nesse sentido é possível observar que os testes de curva de giro, zig-zag e parada brusca foram os únicos testes recomendados por todas as organizações consideradas, portanto, isto indica a importância desses testes no contexto da manobrabilidade. Além disso, o conteúdo desses testes está relacionado à hidrodinâmica do navio, área de estudo que está presente na grade curricular do curso de Engenharia Naval da UFPE.

Além da realização dos testes de manobra na embarcação real, é possível realizar esses testes a partir de modelos para avaliar as características de manobra da embarcação na fase pré-construção. No contexto didático, é viável realizar uma comparação entre os resultados encontrados através da embarcação real e da utilização do modelo em escala reduzida.

Nesse contexto, há dois tipos de testes realizados através de modelos em escala reduzida: teste *captive model* e teste *free-running model* (SNAME, 1989). O teste *captive model* tem o objetivo de encontrar os coeficientes hidrodinâmicos para aplicá-los em modelos matemáticos sobre a manobrabilidade da embarcação (ITTC, 2017). No teste *free-running*, são realizadas as manobras usualmente feitas na embarcação real, porém nesse caso, são feitas por meio de um modelo contendo um sistema propulsivo, através da utilização de um controle remoto (DUMAN; BAL, 2019).

Além da possibilidade de realizar o teste *free-running* em um modelo confeccionado através da impressão 3D, ele pode ser simulado através de uma análise fluidodinâmica computacional (CFD). Em uma pesquisa recente (DUMAN; BAL, 2019), foram realizadas manobras de curva de giro com diferentes velocidades e ângulos de leme utilizando um software CFD, como exemplificado na figura 4, onde o ângulo de leme é de 35°. De acordo com DUMAN; BAL (2019), a metodologia CFD é robusta e confiável.



**Figura 4:** Simulação de curva de giro em CFD (Fonte: DUMAN; BAL, 2019)

De acordo com o que foi dito, é possível concluir que a inserção de um laboratório que pode proporcionar aos alunos a vivência prática em uma embarcação real pode contribuir muito para a formação profissional do Engenheiro Naval, seja na esfera da aprendizagem, para reforçar os conceitos teóricos aprendidos, seja para desenvolver habilidades de liderança e iniciativa ou ainda para adquirir experiências práticas, item muito importante na expectativa do perfil profissional que o mercado de trabalho espera.

Este Trabalho de Conclusão de Curso está relacionado a disciplinas essenciais do curso de Engenharia Naval: Arquitetura Naval e Hidrodinâmica. Além disso, este TCC está conectado às disciplinas ligadas a temática da utilização de equipamentos de navegação, como é o caso da disciplina de navegação, que é eletiva.

Esse trabalho tem como objetivo propor algumas atividades a serem realizadas pelos alunos no contexto do ensino na graduação de Engenharia Naval da UFPE e, além disso, esse TCC sistematiza os procedimentos das atividades sugeridas, contribuindo para o planejamento das atividades a serem realizadas no laboratório Ciências do Mar IV, e conseqüentemente, contribuindo para a formação dos futuros profissionais de Engenharia Naval provenientes da UFPE.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Quando um navio já se encontra construído ou com um percentual grande de construção, diversos testes são realizados no cais para verificar se os equipamentos estão funcionando conforme o planejado e se a embarcação atende às normas vigentes. Nesse contexto, é possível verificar sobre o funcionamento das máquinas e dos diversos sistemas que estão presentes em um navio, como por exemplo: o sistema de água, sistema de esgoto, de óleo, de ar comprimido, de ar condicionado, entre outros. Além disso, é possível analisar quanto ao funcionamento dos equipamentos que ficam no convés, como por exemplo: o molinete e a baleeira, e dos equipamentos de comunicação. É importante verificar não apenas quanto ao correto funcionamento desses equipamentos, mas, além disso, é necessário analisar acerca da estabilidade da embarcação, que é o objetivo pretendido na realização do teste de inclinação.

Por outro lado, existem testes que são realizados apenas no mar, que necessitam da embarcação em movimento. Esses testes estão contidos na prova de mar e muitos deles tem como objetivo verificar o desempenho náutico da embarcação, ou seja, seu desempenho em funcionamento. Dentre eles, os principais testes são os de manobrabilidade, como por exemplo: teste de curva de giro, de zig-zag, de parada brusca, entre outros.

Por essa razão, a teoria e os conceitos apontados nesse capítulo, enfatizam a temática da estabilidade e da manobrabilidade, incluindo o teste de inclinação e os testes de prova de mar mais relevantes.

#### **3.1. ESTABILIDADE INTACTA**

A construção naval é uma atividade bastante antiga que se desenvolveu a partir da tentativa e erro de povos antigos. Esse conhecimento era passado e foi sendo aprimorado através das gerações. Nessa metodologia de tentativa e erro, muitos acidentes marítimos aconteceram e era preciso além desse conhecimento empírico, uma base científica. O princípio de Arquimedes é um dos mais básicos na arquitetura naval e foi desenvolvido há mais de dois mil anos, mas foi somente no século XIX que a ciência se tornou mais significativa na construção naval (RAWSON; TUPPER, 2001).



### 3.1.1 PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

O Princípio de Arquimedes estabelece que um corpo flutuando em determinado meio fluido está sujeito à ação de uma força que tem o sentido para cima com a mesma intensidade da força referente ao peso do fluido deslocado pelo corpo (RAWSON; TUPPER, 2001). Através desse princípio, é possível, por exemplo, prever se um corpo terá a capacidade de flutuar na água. Na situação em que uma embarcação flutua em águas calmas, é possível concluir que o somatório das forças na direção vertical é igual a zero, e, portanto, o peso da embarcação é igual ao peso referente ao volume de água deslocado. A equação (1) (RAWSON; TUPPER, 2001) mostra matematicamente esse equilíbrio, onde o deslocamento, que equivale ao peso do corpo, é igual ao peso do volume de fluido deslocado.

$$\Delta = \rho * \nabla * g \quad (1)$$

Em que:

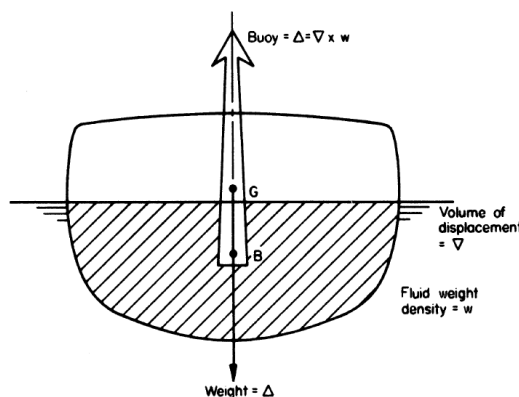
$\Delta$ =Deslocamento

$\rho$ =densidade do fluido

$\nabla$ =volume deslocado

$g$ =gravidade

A figura 5 ilustra essa condição, onde o peso da embarcação é considerado atuando no centro de gravidade (G) e o peso referente ao volume de água deslocado é considerado atuando no centro de carena (B).

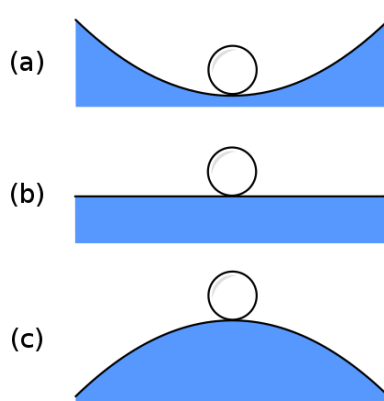


**Figura 5:** Forças na direção vertical (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001)

### 3.1.2 ESTABILIDADE TRANSVERSAL

A capacidade de flutuar é um requisito necessário para uma embarcação, mas além da flutuabilidade, existem outros fatores importantes a serem analisados, como por exemplo, a estabilidade. De acordo com RAWSON; TUPPER (2001), a estabilidade está relacionada à tendência de uma embarcação voltar à posição de origem após uma perturbação. Conforme SNAME (1988) existem três tipos de equilíbrio: i) equilíbrio estável; ii) equilíbrio neutro; e iii) equilíbrio instável. Na condição em que um momento externo atua em uma embarcação causando uma inclinação, é possível acontecer diferentes situações quando esse momento atuante cessar. Se a embarcação voltar à posição original, ela possui equilíbrio estável ou estabilidade positiva, se ela permanecer na posição que ela estava após a atuação do momento externo, ela possui equilíbrio neutro, ou se ela continuar a inclinar-se mesmo após a força que causa a inclinação cessar, a embarcação possui equilíbrio instável ou estabilidade negativa (SNAME, 1988).

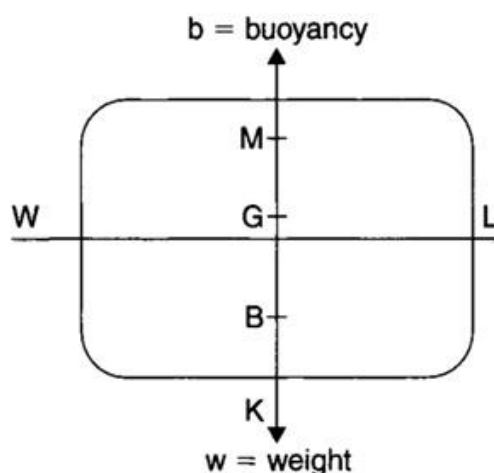
Esse conceito pode ser mais bem entendido através da figura 6, onde são mostradas as três possíveis situações. A letra (a) ilustra a condição de equilíbrio estável, onde após uma perturbação o corpo tende a voltar à posição original. A letra (b) mostra o equilíbrio neutro, onde o corpo tende a permanecer na posição gerada após a perturbação, enquanto que a letra (c) ilustra o equilíbrio instável, onde após uma pequena perturbação o corpo tende a continuar o movimento iniciado.



**Figura 6:** Tipos de equilíbrio (Fonte: WIKIMEDIA, 2018)

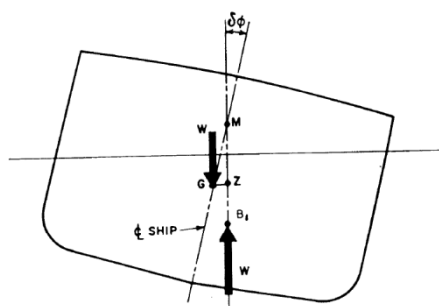
Uma embarcação deve possuir equilíbrio estável, e isto é alcançado através do somatório de momentos. Para explicar como esse mecanismo acontece, é preciso

conhecer primeiramente os principais pontos de referência no estudo da estabilidade. Os principais pontos de referência são: o centro de gravidade (G); o centro de carena (B); a quilha (K); e o metacentro transversal (Mt). O centro de gravidade é o ponto onde é possível considerar que o peso da embarcação está concentrado. O centro de carena é o ponto no qual é possível considerar que está concentrado o peso do volume de água deslocado pela embarcação, enquanto que a quilha é o ponto mais inferior do casco.



**Figura 7:** Distribuição dos pontos de referência (Fonte: Adaptado de BARRASS; DERRETT, 2006)

Na condição em que uma embarcação sofre uma inclinação a pequenos ângulos, o centro de carena se desloca de uma posição inicial B para uma posição  $B_1$ . Traçando uma reta vertical a partir de  $B_1$ , é possível encontrar o metacentro transversal a partir da interseção dessa reta que parte de  $B_1$ , com a reta vertical original que parte do centro de carena inicial (SNAME, 1988).

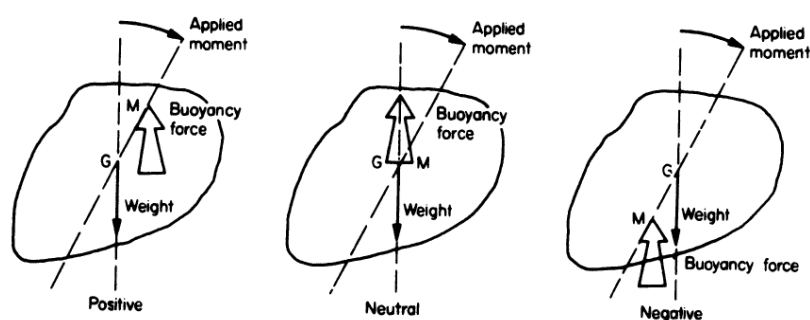


**Figura 8:** Pontos de referência (Fonte: SNAME, 1988)

Pela figura 8 é possível observar que traçando uma reta horizontal partindo do centro de gravidade, encontra-se o ponto Z, que é a interseção entre essa reta horizontal e a reta vertical que sai de B<sub>1</sub>. Desse modo, a distância GZ é o braço do momento de endireitamento. Conforme SNAME (1988) é possível considerar pequenos ângulos até aproximadamente 7 graus e nessa condição, é possível obter o valor de GZ através da equação (2).

$$GZ \cong GM \text{ sen}(\text{ângulo}) \quad (2)$$

A figura 9 mostra as possíveis configurações dos pontos referentes ao centro de gravidade e o metacentro. Se o centro gravidade estiver abaixo do metacentro, o momento gerado por essa configuração faz com que a embarcação tenda a voltar ao equilíbrio original, ou seja, a embarcação possui equilíbrio estável. Se eles estiverem na mesma posição, a embarcação possui equilíbrio neutro, isto é, ela tende a permanecer na mesma posição. Caso o metacentro esteja abaixo do centro de gravidade da embarcação, essa condição causa uma situação indesejável do ponto de vista da estabilidade, pois o momento gerado por essa configuração de forças tende a aumentar o ângulo de inclinação. Portanto, a condição desejada de equilíbrio estável tem como requisito que GM seja positivo, ou seja, o centro de gravidade esteja abaixo do metacentro.



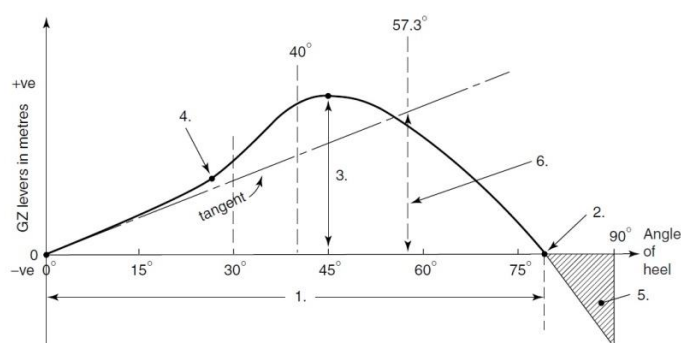
**Figura 9:** Configurações de força (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001)

Além de analisar se uma embarcação tem estabilidade positiva através do requisito do valor de GM ser maior que zero, é possível ter uma percepção do quão rápido uma embarcação tende a voltar à posição de equilíbrio através do valor de GM. Na análise de pequenos ângulos, pela equação (2), é possível perceber que GZ é diretamente proporcional à GM. Como já foi dito, a distância GZ é o braço de

endireitamento, e o momento gerado depende diretamente do seu valor. Quanto maior for GZ, maior será a tendência de a embarcação voltar à sua posição original, ou seja, esse retorno acontece mais rapidamente, e de modo contrário, quanto menor for GZ, mais lento será o retorno da embarcação à posição inicial. Por conta disso é possível concluir que GM é um importante fator para análise da estabilidade. Conforme BIRAN (2003), o momento de endireitamento é obtido de acordo com a equação (3).

$$\text{Momento de endireitamento} = \Delta * GZ \quad (3)$$

Um gráfico bastante importante na análise da estabilidade é a curva GZ. Essa curva mostra o valor de GZ associado a diversos ângulos de inclinação. A partir desse gráfico é possível perceber, por exemplo, qual o ângulo referente ao maior valor de GZ e também qual o ângulo cuja curva intersecta o eixo das abscissas, ou seja, o ângulo em que GZ é igual a zero. Esses dois pontos são extremamente significativos na análise da estabilidade, pois mostram quais os valores de ângulos de inclinação em que a embarcação tem a capacidade de retornar à posição original. A figura 10, mostra um exemplo de curva GZ. É possível observar que o valor de GZ aumenta até determinado ângulo, onde atinge seu valor máximo, ilustrado na figura 8 como ponto 3. A partir desse ponto até o ponto em que a curva intersecta o eixo das abscissas, ponto 2 da figura 10, a embarcação ainda tem a possibilidade de retornar à posição original se a força que provoca a inclinação cessar, porém o momento de endireitamento diminui porque GZ está diminuindo. Os valores de ângulo de inclinação acima do ponto 2, possuem valores correspondentes de GZ negativos, o que significa que a estabilidade referente aos ângulos acima do ponto 2 é negativa.



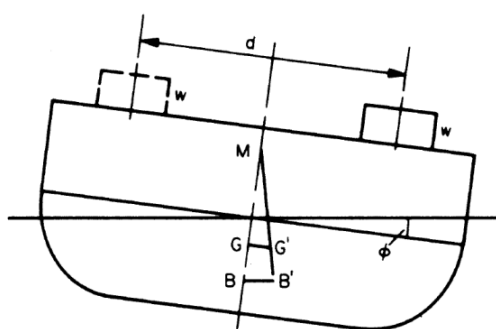
**Figura 10:** Curva GZ (Fonte: Adaptado de BARRASS, 2001)

Pelo que já foi mencionado, é possível concluir que conhecer o valor do centro de gravidade é extremamente importante para a análise da estabilidade. Na fase de projeto, é possível estimar o valor do centro de gravidade, porém, quando ela já se encontra construída, é possível calcular o valor da altura do centro de gravidade, e isto é feito através de um teste chamado de teste de inclinação.

### 3.2 TESTE DE INCLINAÇÃO

O teste de inclinação é feito através da movimentação de pesos no sentido transversal fazendo com que a embarcação incline para um bordo e depois incline para o outro bordo, com o objetivo de encontrar o valor de KG. A movimentação transversal de pesos em uma embarcação faz com que o centro de gravidade se desloque paralelamente à movimentação desse peso. Além disso, quando uma embarcação sofre uma inclinação a pequenos ângulos, o centro de carena se desloca como se estivesse formando uma trajetória circular, cujo centro do círculo é o metacentro transversal. A distância entre o centro de carena (B) e o metacentro transversal (Mt) é chamada de raio metacêntrico.

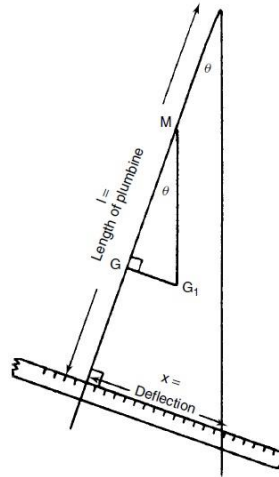
Quando um peso é movimentado à boreste, o centro de gravidade se desloca à boreste e o centro de carena também se desloca à boreste para uma análise de pequenos ângulos. A figura 11 ilustra a movimentação de peso em um teste de inclinação. É possível observar que o centro de gravidade se desloca de G para G', enquanto que o centro de carena se desloca de B para B'.



**Figura 11:** Teste de inclinação (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001)

Deseja-se conhecer o ângulo de inclinação. É possível encontrar esse ângulo através da utilização de um pêndulo e de uma régua. O comprimento do pêndulo deve ser

conhecido previamente, e através da régua, é possível encontrar a distância horizontal referente à movimentação do pêndulo (deflexão), conforme ilustrado na figura 12. Com isso, é possível encontrar o ângulo de inclinação da embarcação através da equação (4).



**Figura 12:** Deflexão do pêndulo (Fonte: BIRAN, 2001)

$$\tan\Phi = \frac{\text{deflexão do pêndulo}}{\text{comprimento do pêndulo}} \quad (4)$$

A movimentação desse peso faz com que seja criado um momento que tende a inclinar a embarcação. Por outro lado, como já foi observado, em uma embarcação com estabilidade positiva, um momento de endireitamento é gerado quando ela sofre alguma perturbação. Conforme SNAME (1988), é possível calcular o momento de endireitamento e o momento de inclinação através das equações (5) e (6) respectivamente.

$$\text{Momento de endireitamento} = \Delta * GM * \text{sen}\Phi \quad (5)$$

$$\text{Momento de inclinação} = w * d * \text{cos}\Phi \quad (6)$$

Quando o somatório desses dois momentos é igual a zero, o equilíbrio é alcançado. Conforme SNAME (1988), igualando esses momentos tem-se que:

$$\Delta * GM * \text{sen}\Phi = w * d * \text{cos}\Phi \quad (7)$$

A partir daí, é possível obter o valor da altura metacêntrica (GM) conforme a equação (8).

$$GM = w * d / (\Delta \tan \Phi) \quad (8)$$

Através do teste de inclinação, o valor de GM pode ser encontrado, porém o objetivo principal é encontrar a altura do centro de gravidade. De acordo com Barrass e Derrett (2006), pela equação 9 é possível obter uma relação entre GM e KG.

$$KM = KG + GM \quad (9)$$

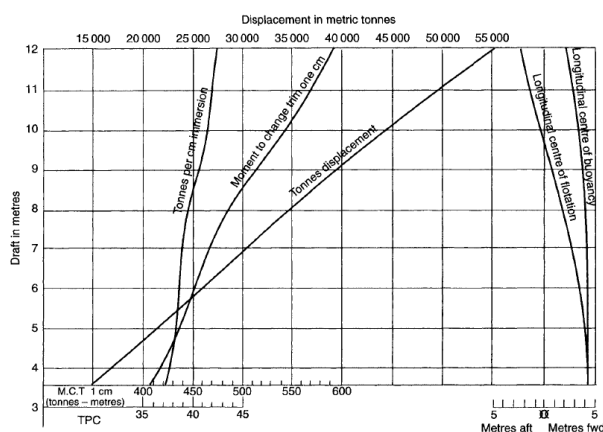
Dessa maneira, é possível concluir que:

$$KG = KM - GM \quad (10)$$

O valor de GM é obtido por meio do teste de inclinação e o valor de KM pode ser obtido através das curvas hidrostáticas. As curvas hidrostáticas mostram informações sobre as propriedades hidrostáticas de uma embarcação. Essas propriedades hidrostáticas dependem da geometria do casco que fica abaixo da linha de água.

De acordo com RAWSON; TUPPER (2001), nas curvas hidrostáticas as propriedades são mostradas de acordo com o calado e é possível obter, por exemplo, dados sobre a altura do centro de empuxo (KB), altura metacêntrica transversal (KM), deslocamento ( $\Delta$ ), momento para mudar o trim em 1 metro (MCT), toneladas por centímetro de imersão (TPC), entre outros. A figura 13 mostra um exemplo simples de curvas hidrostáticas que trazem informações sobre o deslocamento, centro de flutuação longitudinal, centro de empuxo longitudinal, momento para mudar o trim em um centímetro e toneladas por centímetro de imersão.





**Figura 13:** Exemplo de curvas hidrostáticas (Fonte: BARRASS; DERRETT, 2006)

### 3.3. MANOBRABILIDADE

Diversos testes conduzidos durante a prova de mar têm como objetivo avaliar o desempenho náutico da embarcação. De acordo com RAWSON; TUPPER (2001) é necessário que o navio seja controlável no plano horizontal, de forma que seja possível mantê-lo em determinado rumo e também realizar um giro quando desejado. Nesse sentido, é bastante importante avaliar o comportamento do navio no plano horizontal, ou seja, sua manobrabilidade. Para isso, é necessário conhecer quais são os movimentos do navio e quais são os movimentos relacionados ao plano horizontal.

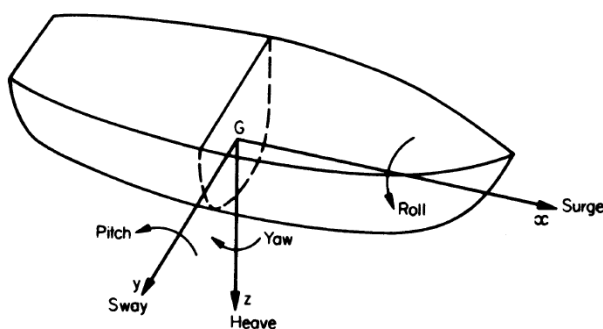
#### 3.3.1 MOVIMENTOS DO NAVIO

O movimento de um navio pode ser analisado considerando-se seis graus de liberdade, dos quais três desses estão relacionados a movimentos lineares e os outros três estão associados a movimentos angulares. Através da tabela 3, é possível observar cada um desses movimentos, conforme: o tipo (se é um movimento de translação ou rotação); o eixo a que este está relacionado; e o nome denominado para cada movimento. A figura 14 ilustra os seis tipos de movimentos. É possível perceber que os movimentos no plano horizontal são: *surge*, *sway* e *yaw*.

**Tabela 3:** Movimentos do navio

<b>Tipo de movimento</b>	<b>Eixo</b>	<b>Descrição</b>
Translação	x	<i>Surge</i>
Translação	y	<i>Sway</i>
Translação	z	<i>Heave</i>
Rotação	X	<i>Roll</i>
Rotação	Y	<i>Pitch</i>
Rotação	z	<i>Yaw</i>

Fonte: Adaptado de RAWSON; TUPPER (2001)

**Figura 14:** Movimentos do navio (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001)

Usualmente, cada velocidade e aceleração associadas a cada um desses movimentos são estabelecidas em símbolos conforme mostrado na tabela 4.

**Tabela 4:** Velocidade e aceleração

<b>Movimento</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Aceleração</b>
<b><i>Surge</i></b>	<i>u</i>	$\dot{u}$
<b><i>Sway</i></b>	<i>v</i>	$\dot{v}$
<b><i>Heave</i></b>	<i>w</i>	$\dot{w}$
<b><i>Roll</i></b>	<i>p</i>	$\dot{p}$
<b><i>Pitch</i></b>	<i>q</i>	$\dot{q}$
<b><i>Yaw</i></b>	<i>r</i>	$\dot{r}$

Fonte: Autora

Para que aconteça um movimento do navio é preciso que exista a ação de alguma força. De acordo com CRENSHAW (1975), as forças na água se apresentam como uma diferença de pressão. Considerando, por exemplo, uma embarcação que navega em águas calmas em movimento de *surge*, o fluxo de água que passa pela embarcação encontra uma geometria simétrica, e, portanto, não serão criadas forças que irão rotacionar a embarcação. Porém, quando existe a atuação de um leme a determinado ângulo, o fluxo de água encontra uma assimetria que gera uma diferença de pressão e, portanto, existirá uma força que vai criar um momento para rotacionar a embarcação. Dessa forma, o movimento de rotação no plano horizontal (*yaw*), é possibilitado pela ação de forças e momentos.

### 3.3.2 SISTEMA DE REFERÊNCIA

Para um melhor entendimento dos testes que serão propostos, é importante conhecer o sistema de referência utilizado no estudo da manobrabilidade. Basicamente, existe o sistema inercial ( $X_0, Y_0$ ), que é considerado como sendo fixo na terra, e há também o sistema que está fixo no navio e, desse modo, se move junto com ele, que é o sistema ( $X, Y$ ). Uma das variáveis que será medida durante alguns testes de mar é o ângulo de aproamento (*heading angle*), que é o ângulo formado entre o eixo  $X$  e o eixo  $X_0$  e está relacionado ao ângulo referente ao movimento de *yaw* ( $\Psi$ ). Outro ângulo bastante importante é o ângulo de ataque,  $\beta$ , (*drift angle*) que se refere ao ângulo estabelecido pelo vetor velocidade da embarcação, que é tangente à trajetória do centro de gravidade do navio, e o eixo  $X$  (SNAME, 1989).

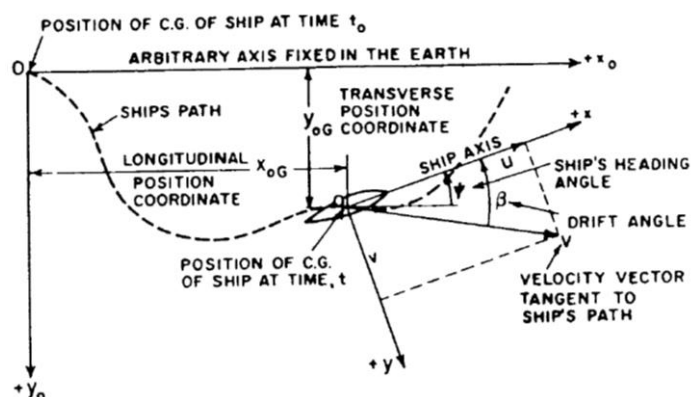


Figura 15: Sistema de referência (Fonte: SNAME, 1989)

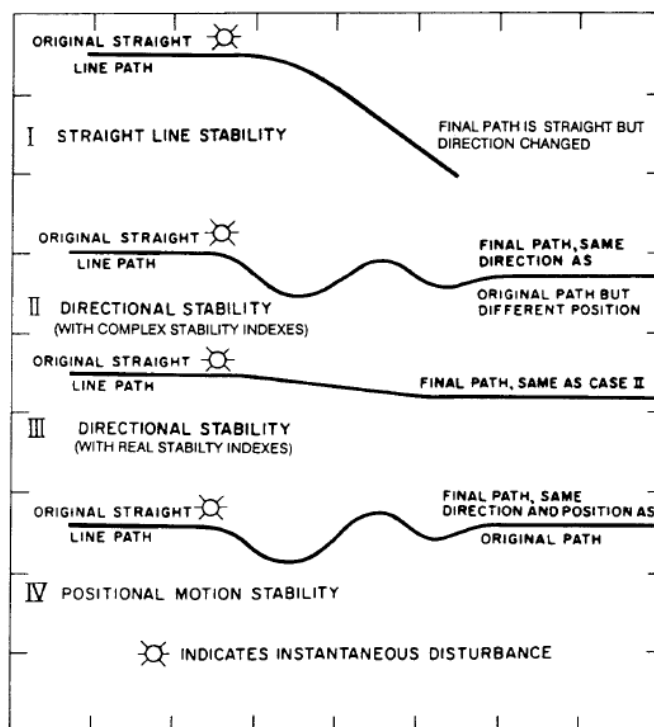
### 3.3.3 ESTABILIDADE DIRECIONAL

Nos tópicos 3.1 e 3.2 foram evidenciados alguns conceitos importantes sobre estabilidade e como é possível calcular a altura vertical do centro de gravidade, que possui bastante influência sobre a estabilidade de uma embarcação. Nesse sentido, foi mostrado que quando uma embarcação sofre uma inclinação transversal, o centro de empuxo se desloca de forma que existirá um momento que poderá ajudar a embarcação a voltar à posição original se o metacentro estiver acima do centro de gravidade.

Relacionando essa informação ao estudo da manobrabilidade, considerando uma perturbação no movimento de *yaw*, por exemplo, não há forças hidrostáticas que irão fazer com que a embarcação tenha a tendência de retornar ao aproamento inicial, sendo possível considerar que para este caso há um equilíbrio neutro (RAWSON; TUPPER, 2001).

Considerando que uma embarcação esteja inicialmente navegando a uma velocidade constante e seguindo em linha reta. Caso ocorra alguma perturbação como por exemplo: o vento, existem alguns possíveis casos de estabilidade considerando o caminho percorrido pelo centro de gravidade. Nessas condições, se após a ação de uma força externa a embarcação conseguir manter-se em uma linha reta apesar de a direção do movimento ter mudado, diz-se que a embarcação possui **estabilidade em linha reta**. Se após a ação da força, a embarcação conseguir voltar à direção inicial, diz-se que ela possui **estabilidade direcional**. Se depois da perturbação externa, a embarcação voltar a navegar na mesma linha em que ela estava inicialmente, é possível dizer que ela possui **estabilidade posicional** (SNAME, 1989). Através da figura 16, é possível observar esses casos de estabilidade.

É importante destacar que se não houver a ação de uma força atuante para fazer a embarcação voltar a navegar na direção inicial, como é o caso da força decorrente da utilização do leme, só é possível que a embarcação tenha estabilidade em linha reta, pois como já foi dito, para o movimento de *yaw* a embarcação não tem a tendência de voltar à posição inicial após uma perturbação. Nesse caso, a nova direção em que a embarcação vai navegar em linha reta depende da intensidade e do tempo de atuação da força externa e também quão estável ou instável direcionalmente é a embarcação (ABS, 2006).



**Figura 16:** Estabilidade direcional (Fonte: SNAME, 1989)

Alguns testes realizados durante a prova de mar têm como objetivo analisar se a embarcação possui estabilidade direcional e se não houver, é possível verificar qual é o intervalo de instabilidade, ou seja, verificar qual é o intervalo de ângulos de leme onde não é possível ter o controle da embarcação.

### 3.3.4 CAPACIDADE DE GIRO

A capacidade de rotação em *yaw* de um navio está relacionada à maneira com que a embarcação responde à ação do leme. No âmbito da manobrabilidade, um navio deve possuir a capacidade de girar de forma que esteja apto a ter uma resposta desejável em uma situação de perigo. Porém, se para um determinado navio a rotação for demasiadamente fácil, isto pode acarretar certa dificuldade para a embarcação conseguir manter um rumo. Então, em geral, é preciso promover uma manobrabilidade que seja satisfatória para atender a essas duas situações.

### 3.3.5 CAPACIDADE DE PARADA

Quando uma embarcação está em navegação é possível modificar sua velocidade utilizando um instrumento chamado *telegraph lever*, exemplificado na figura 17. Por meio deste instrumento, é possível controlar a velocidade e a direção da rotação do propulsor, se impulsionando o navio à vante ou à ré. Nesse contexto, na situação em que se deseje parar a embarcação, se o *telegraph lever* for acionado para zerar as rotações do motor, a embarcação continuará se movendo, pois devido à inércia, é preciso certo tempo até que a embarcação esteja completamente parada. Em situações de perigo, é possível reverter a direção do propulsor e acioná-lo em máxima potência à ré para que o tempo de parada seja menor. Sendo assim, para evitar acidentes, é extremamente importante conhecer as características de parada de uma embarcação, como por exemplo, saber qual é a distância que uma embarcação percorre desde a sua velocidade máxima até parar.



Figura 17: *Telegraph lever* (Fonte: NAUTICEXPO)

### 3.4 TESTES DE PROVA DE MAR

Foram mostradas algumas características importantes na manobrabilidade de uma embarcação: estabilidade direcional, capacidade de giro e capacidade de parada. A seguir estão contidos alguns testes que estão relacionadas a alguma destas características, ou seja, cada teste tem o objetivo de analisar algum desses parâmetros. Os testes descritos a seguir são: Curva de giro, Zig-zag, Espiral direto, *Pull-Out* e Parada brusca.

### 3.4.1 CURVA DE GIRO

Esse teste consiste em conduzir, inicialmente, a embarcação a uma velocidade constante e depois sem alterar a configuração dos motores, fornecer um determinado ângulo de leme com o objetivo de analisar o giro da embarcação. Para analisar as características relacionadas à habilidade de girar neste teste, é preciso medir alguns parâmetros: avanço, transferência, diâmetro tático e diâmetro de giro constante (SNAME, 1989). A figura 18 exemplifica esses parâmetros.

**Avanço:** É a distância longitudinal percorrida pelo centro de gravidade da embarcação desde o momento em que o leme é acionado até o momento em que a embarcação muda o aproamento para determinado ângulo. Geralmente essa distância é medida com relação ao aproamento de  $90^\circ$  (RAWSON; TUPPER, 2001).

**Transferência:** É a distância transversal percorrida pelo centro de gravidade da embarcação. Comumente, a transferência é medida quando a embarcação muda o seu aproamento para  $90^\circ$  (RAWSON; TUPPER, 2001).

**Diâmetro tático:** É a distância transversal percorrida pelo centro de gravidade medida no momento em que o aproamento é de  $180^\circ$  (RAWSON; TUPPER, 2001).

**Diâmetro de giro constante:** O diâmetro de giro constante é o diâmetro referente à fase estável de giro, onde as forças estão em equilíbrio.

Além desses parâmetros que são obtidos a partir deste teste, é importante destacar que durante o giro, a embarcação passa por três fases. A primeira fase começa no momento em que o leme é acionado e termina quando o leme atinge o ângulo que se deseja. Nessa etapa a força e o momento provenientes da ação do leme, fazem com que as acelerações  $\dot{v}$  e  $\dot{r}$  sejam diferentes de zero. Na segunda fase tanto as acelerações  $\dot{v}$  e  $\dot{r}$  quanto as velocidades  $v$  e  $r$  estão presentes. Um detalhe importante que acontece nessa fase é o surgimento de uma força direcionada para o centro da curva devido ao ângulo de ataque (SNAME, 1989).

Primeiramente, a embarcação se desloca de acordo com a força proveniente do leme, que no caso exemplificado na figura 18, essa força do leme é para bombordo, pois a rotação é para boreste. A força direcionada para o centro da curva aumenta de tal forma que a embarcação segue a trajetória curva para boreste. Apesar disso, no teste prático esse deslocamento inicial contrário a trajetória curva para boreste é insignificante. A terceira fase é caracterizada pelo equilíbrio de forças e, portanto é a fase onde raio de

giro é constante. Na fase estável, as acelerações  $\dot{v}$  e  $\dot{r}$  são iguais a zero, porém estão presentes as velocidades  $v$  e  $r$  (SNAME, 1989).

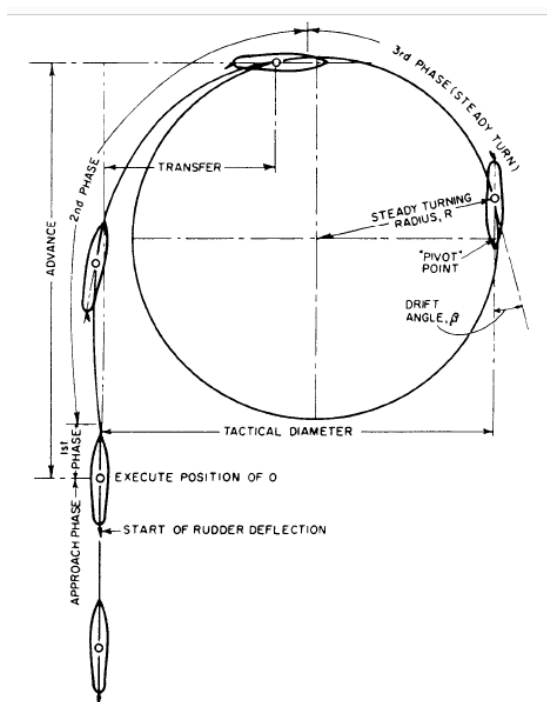


Figura 18: Curva de giro (Fonte: SNAME, 1989)

### 3.4.2 TESTE DE ZIG-ZAG

Em uma situação de colisão iminente, a habilidade de a embarcação mudar a trajetória rapidamente é bastante importante para evitar acidentes. Para isso, é preciso analisar a maneira pela qual a embarcação responde inicialmente ao acionamento do leme (RAWSON; TUPPER, 2001). Esta análise da resposta ao leme é feita através da manobra de zig-zag, chamada também de manobra de Kempf.

Esse teste é realizado da seguinte maneira: primeiramente, a embarcação é colocada em velocidade constante e navegando em linha reta. Então, o leme é acionado a determinado ângulo, de  $20^\circ$ , por exemplo. Para o leme sair da posição inicial e alcançar o ângulo requerido é necessário certo tempo. Da mesma forma, a embarcação não muda instantaneamente o seu aproamento, leva um tempo até que a embarcação atinja  $20^\circ$  de aproamento. Quando isso ocorre, o leme deve ser acionado para o lado contrário de modo a alcançar  $-20^\circ$  de ângulo. Ao invés de imediatamente mudar o aproamento para o lado oposto conforme a ação do leme, a embarcação ainda continua a aumentar o ângulo



de aproamento, até que  $\Psi$  comece a diminuir. A diferença entre o ângulo máximo atingido pelo aproamento e o ângulo máximo do leme é dita como *overshoot*.

Quando  $\Psi$  atinge  $-20^\circ$ , o procedimento de mudar o ângulo do leme deve ser repetido, porém, dessa vez para  $20^\circ$  novamente. Desse modo acontece o segundo *overshoot*. De acordo com SNAME (1989), essa metodologia pode ser repetida até a terceira, quarta ou ainda mais mudanças na configuração do leme, porém a análise do primeiro *overshoot* é a mais representativa. A figura 19 representa o teste de zig-zag de maneira gráfica.

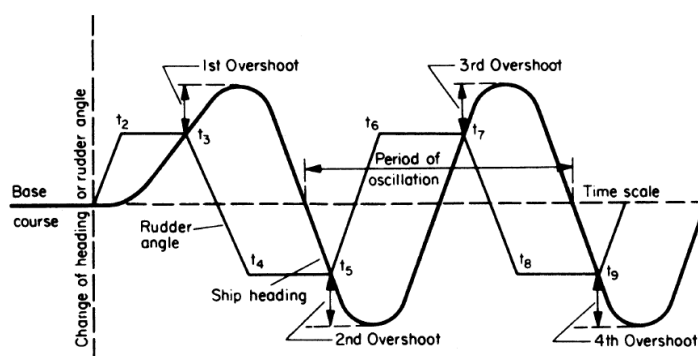


Figura 19: Teste de zig-zag (Fonte: RAWSON; TUPPER, 2001)

### 3.4.3 TESTE DE ESPIRAL DIRETO

O teste de espiral direto tem o objetivo de indicar se a embarcação é direcionalmente estável ou instável (RAWSON; TUPPER, 2001).

Para a realização do teste, inicialmente a embarcação deve estar navegando a velocidade constante e em linha reta. Então o leme é colocado a um determinado ângulo, de  $15^\circ$  a bombordo por exemplo. Como já foi dito, a embarcação leva um tempo para atingir a fase estável de giro. Quando é atingida a fase estável e, dessa forma a velocidade angular em yaw é constante, é preciso medir essa taxa de variação angular ( $r$ ).

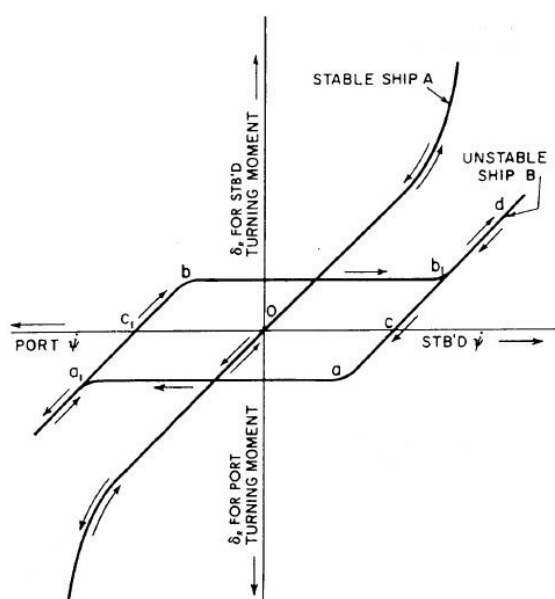
Em seguida, o ângulo de leme é modificado para um ângulo menor,  $10^\circ$  a bombordo por exemplo. É preciso aguardar novamente para que a velocidade angular atinja um valor constante e esse valor deve ser registrado. Esse procedimento é repetido sucessivamente até o leme alcançar o valor de  $15^\circ$  a boreste. Posteriormente esse processo é repetido no sentido oposto, ou seja, de  $15^\circ$  a boreste até o leme voltar para  $15^\circ$  a bombordo, que foi o primeiro ângulo de leme. A partir das informações obtidas com

referência a velocidade angular em *yaw* correspondente a cada ângulo de leme empregado no teste, é possível montar um gráfico para melhor observar o comportamento da embarcação.

Através da figura 20, é possível observar a diferença entre uma embarcação estável e uma embarcação instável. A embarcação estável possui uma velocidade angular constante para determinado ângulo de leme, ou seja, o comportamento de  $r$  não muda se o leme estiver indo de bombordo para boreste ou de boreste para bombordo. É possível determinar para que lado a embarcação vai realizar o giro e a velocidade angular que o giro vai ocorrer, pois há um único valor de  $r$  para cada ângulo aplicado.

Por outro lado, no caso em que uma embarcação é instável, é possível observar através da figura 20 que em um determinado intervalo, não há um valor único de  $r$  para cada ângulo de leme. Essa região de histerese indica o quão instável a embarcação é, quanto maior, maior a instabilidade (SNAME, 1989).

Pela figura 20, é possível observar, ainda, que no caso de um navio instável, o navio pode manter-se em rotação mesmo quando o leme está em  $0^\circ$ . Além disso, é possível observar que o ponto *c* representa uma situação relevante. Na situação em que o leme está indo de boreste para bombordo, assim que o ângulo de leme passa do ponto *c*, o ângulo do leme já está a bombordo, porém a embarcação gira para boreste. Outra situação importante a ser observada é que quando o ângulo do leme passa do ponto *a*, a embarcação muda bruscamente a sua rotação de boreste para bombordo (SNAME, 1989).



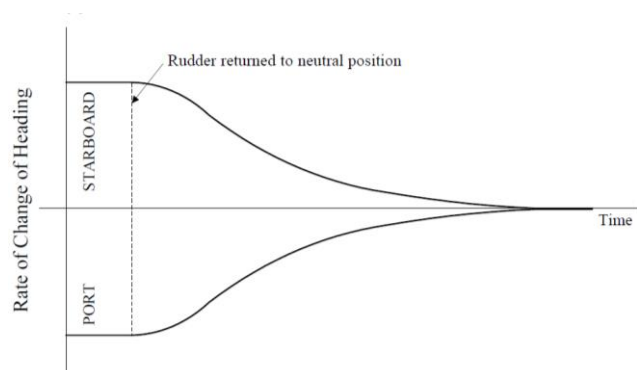
**Figura 20:** Espiral direto (Fonte: SNAME, 1989)

### 3.4.4 TESTE DE PULL-OUT

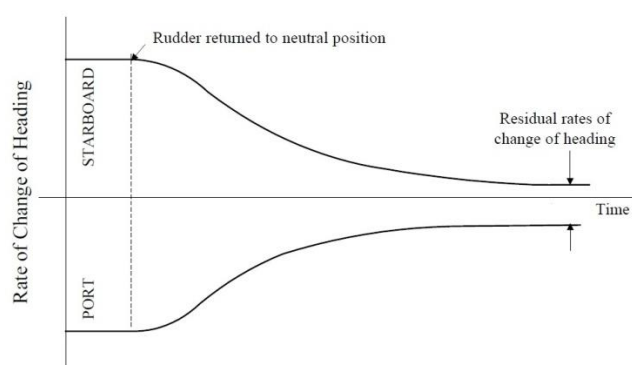
O teste de Pull-Out tem como objetivo analisar sobre a estabilidade direcional de uma embarcação (RAWSON; TUPPER, 2001). Inicialmente a embarcação deve estar navegando a velocidade constante e em linha reta. Então, o leme deve ser acionado a determinado ângulo, de  $20^\circ$ , por exemplo. Dessa forma, a embarcação vai começar a rotacionar e quando a fase estável de giro for alcançada, a velocidade em *yaw* deve ser registrada. Posteriormente, o leme deve ser acionado para voltar a  $0^\circ$ , a posição de origem. Pode acontecer que  $r$  diminua com o tempo e atinja o valor nulo, ou seja, a embarcação vai navegar em linha reta nessa situação. Porém, pode ser que quando o leme volte à posição original,  $r$  diminua com o tempo, mas não atinja um valor nulo, o que significa que a embarcação é instável e continuará girando em *yaw* apesar de o leme estar a  $0^\circ$ .

Este teste é feito com o giro realizado tanto para bombordo quanto para boreste. A figura 21 mostra o caso em que a embarcação é estável e a taxa de variação do aproamento retorna para zero. Já a figura 22, mostra o caso em que a embarcação é instável e a taxa de variação do aproamento não retorna para zero, mas se mantém em um valor fixo e a embarcação continua em rotação.

O teste de *Pull-Out* pode ser relacionado ao teste de espiral direto por meio de uma comparação simples. O gráfico do teste de espiral direto relaciona o ângulo do leme à taxa de variação do aproamento e indica um intervalo de instabilidade no caso em que a embarcação é instável. Por meio dessa indicação de faixa de instabilidade, é possível comparar o resultado do teste de espiral direto com resultado obtido no teste de *Pull-Out*. O intervalo de valores da velocidade em *yaw* que estão compreendidos entre os valores fixos de  $r$  encontrados quando o leme retorna a  $0^\circ$  tanto com relação ao giro a bombordo quanto para boreste, deve ser equivalente ao intervalo encontrado no teste de espiral direto.



**Figura 21:** *Pull-Out* - embarcação estável (Fonte: ABS, 2006)



**Figura 22:** *Pull-Out* - embarcação instável (Fonte: Adaptado de ABS, 2006)

### 3.4.5 PARADA BRUSCA

O teste de parada brusca é realizado com o objetivo de analisar a distância que a embarcação percorre em uma situação emergencial, onde se necessita de uma rápida redução de velocidade até a parada. Nesse teste, a embarcação deve estar navegando em linha reta em determinada velocidade e então o comando de máquinas a ré é acionado com toda força a ré. A importância desse teste está relacionada à capacidade de parada da embarcação que é bastante importante para evitar acidentes.

A figura 23 mostra um exemplo relacionado ao teste de parada brusca. É possível observar três importantes variáveis que são obtidas nesse teste: desvio lateral, que é a distância que a embarcação percorreu perpendicular ao movimento inicial; o avanço, que é a distância paralela ao movimento inicial percorrida pela embarcação e distância total percorrida.

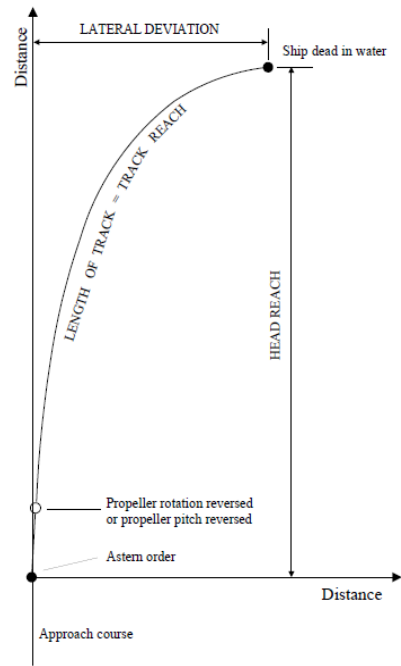


Figura 23: Teste de parada brusca (Fonte: ABS, 2006)

## 4 PROCEDIMENTOS PARA REALIZAÇÃO DOS TESTES

A embarcação que será utilizada como LEF para realização dos testes propostos neste trabalho de conclusão de curso, Ciências do Mar IV, é uma embarcação de pesquisa e de pesca e suas características principais podem ser observadas na tabela 5.



**Figura 24:** LEF em navegação (Fonte: Cortesia – INACE)

**Tabela 5:** Características principais da embarcação

<b>Característica</b>	
<b>Tipo da embarcação</b>	Pesquisa/Pesca
<b>Tipo de navegação</b>	Mar aberto
<b>Comprimento total (m)</b>	32,00
<b>Comprimento entre perpendiculares (m)</b>	29,16
<b>Boca moldada (m)</b>	7,85
<b>Pontal moldado (m)</b>	4,30
<b>Calado leve a meia nau (m)</b>	2,40
<b>Calado de borda livre a meia nau (m)</b>	2,91
<b>Velocidade de serviço (nós)</b>	10

Fonte: Autora - baseado no memorial descrito fornecido pelo (INACE)

No contexto dos testes já mencionados, de acordo com o a resolução MSC 267 (85) os navios de carga com comprimento a partir de 24 metros devem realizar o teste de inclinação, portanto de acordo com essa norma, é preciso efetuar este teste na embarcação analisada, pois seu comprimento total é de 32 metros. De acordo com a resolução MSC 137(76) da IMO, os testes de manobrabilidade regidos por essa norma devem ser realizados para embarcações com comprimento a partir de 100 metros. Apesar disso, este TCC vem sugerir alguns testes para serem realizados no LEF - Ciências do Mar IV de forma didática, ou seja, apesar de esses testes de manobra não serem obrigatoriamente necessários para essa embarcação, entende-se que para a formação

dos estudantes de graduação, a oportunidade prática de realizar esses testes através do LEF é fundamentada de maneira didática.

Com relação à manobrabilidade, os testes de curva de giro e zig-zag estão relacionados com o giro da embarcação e o de parada brusca com a capacidade de parada. Porém, é preciso analisar também quanto à estabilidade direcional da embarcação. Dessa forma, este trabalho de conclusão de curso sugere a realização do teste de espiral direto e do teste de Pull-Out, de forma a comparar os resultados encontrados através desses dois testes.

Portanto, os testes sugeridos neste TCC para serem realizados no LEF - Ciências do Mar IV, no apoio às atividades de ensino do curso de graduação em Engenharia Naval são:

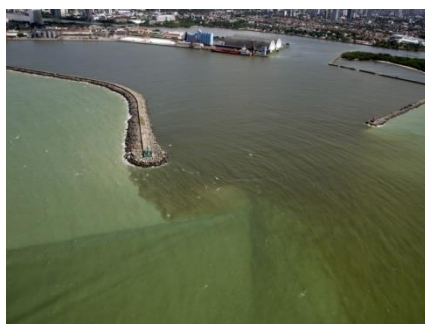
- Teste de inclinação
- Curva de giro
- Zig-zag
- Espiral direto
- Pull-Out
- Parada brusca

#### **4.1. LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS TESTES**

Para a realização do teste de inclinação, o local de teste, bem como as condições ambientais, deve possuir algumas características que favoreçam o procedimento do teste promovendo o mínimo possível de interferência de fatores externos para proporcionar um resultado mais coerente. Nesse contexto, considerando as orientações da resolução MSC 267(85) (2008), é necessário que o navio esteja em um local cuja profundidade seja suficiente para que o navio não toque no solo. Além disso, na situação em que estejam passando navios próximos ao local em que a embarcação estiver amarrada, a esteira proveniente do propulsor desses navios pode causar alguma interferência no teste. Dessa forma, a resolução MSC 267(85) (2008) orienta que o local de teste seja abrigado.

Considerando as condições propícias para a realização dos testes de manobras, a resolução MSC 137(76) (2002) determina que os testes sejam realizados em águas profundas e irrestritas, bem como, em uma condição ambiental calma. A embarcação Ciências do Mar IV ficará ancorada no Porto do Recife, que possui a capacidade de

receber embarcações de até 11,20 metros de calado (PORTO DO RECIFE). Portanto, essa capacidade é suficiente para que o teste de inclinação seja realizado no próprio Porto do Recife, já que o calado leve da embarcação a ser avaliada é de 2,4 metros e o pontal é de 4,3 metros. A figura 25 mostra os diversos berços de atracação presentes no Porto do Recife. É possível observar ainda, que esta área, compreende uma área abrigada, em concordância com a orientação da MSC 267 (85) para realização do teste de inclinação.



**Figura 25:** Vista do Porto do Recife (Fonte: PORTO DO RECIFE)



**Figura 26:** Porto do Recife - Berços de atracação (Fonte: PORTO DO RECIFE)

No contexto da realização dos testes de prova de mar, não é indicado que os testes sejam realizados nas imediações do Porto de Recife devido a grande movimentação de embarcações. Nesse sentido, sugere-se que os testes sejam realizados em locais como por exemplo: Itamaracá, Maria Farinha, Foz do Massangana ou Tamandaré, onde normalmente as condições climáticas são apropriadas à navegação.

Quanto à condição climática favorável à realização dos testes de prova de mar, a MSC 137(76) não especifica valores, apenas afirma que seja uma condição calma. Nesse

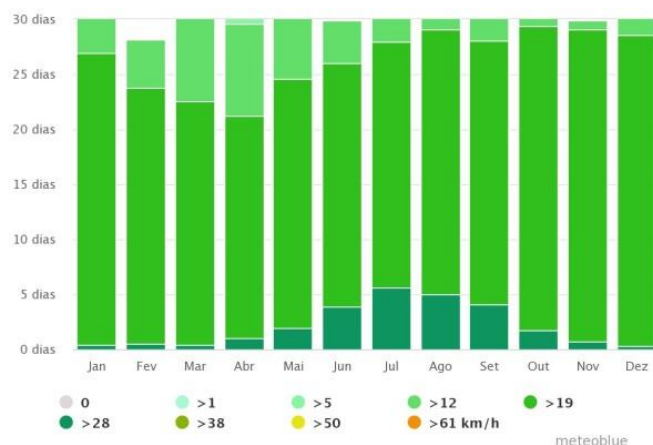


sentido, a escala Beaufort para ventos considera ventos com velocidade de até 10 nós, como sendo uma condição de vento fraco, como pode ser observado na figura 27. No contexto da cidade do Recife, a velocidade do vento alcança valores conforme mostrado na figura 28, que representa o resultado de um modelo com base em dados meteorológicos. Com base nesse modelo, é possível verificar que os ventos de maior intensidade ocorrem mais frequentemente entre os meses de Junho e Setembro, sendo adequado evitar que os testes sejam realizados nesse período do ano. Ainda com relação à velocidade do vento, a figura 29 mostra um histograma da velocidade do vento em Recife obtido através de uma dissertação de mestrado (FIGUEIREDO, 2014), que mostra dados referentes ao período de 2008 a 2011. Nesse sentido, é possível observar que ventos com intensidade entre 0,5 e 3 m/s ocorrem com maior frequência, sendo uma faixa de velocidade satisfatória para a realização dos testes.

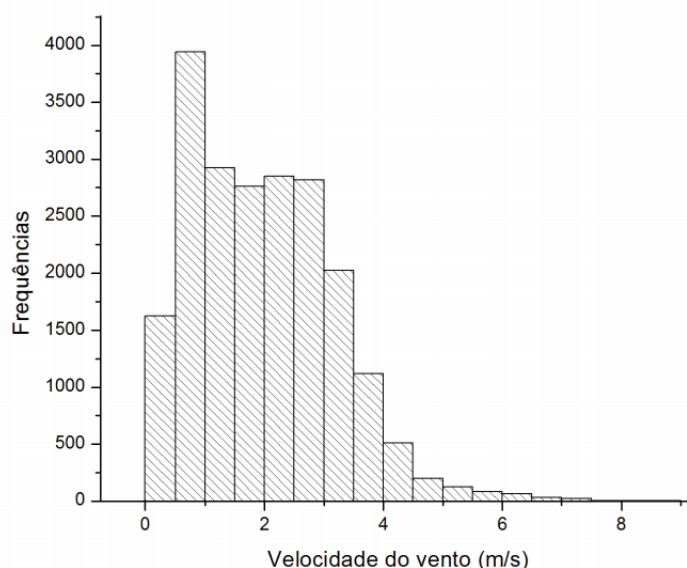
Para planejar a data da realização dos testes, é indicado analisar a previsão meteorológica e, além disso, é possível verificar a velocidade do vento na realização dos testes, pois, de acordo com INACE (2017), a embarcação possui um anemômetro.

Código	Intensidade (nós)	Descrição	Descrição (Inglês)
0	< 1	Calmaria	Calm
1	1 – 3	Bafagem	Light Air
2	4 – 6	Aragem	Light Breeze
3	7 – 10	Fraco	Gentle Breeze
4	11 – 16	Moderado	Moderate Breeze
5	17 – 21	Fresco	Fresh Breeze
6	22 – 27	Muito Fresco	Strong Breeze
7	28 – 33	Forte	Near Gale
8	34 – 40	Muito Forte	Gale
9	41 – 47	Duro	Severe Gale
10	48 – 55	Muito Duro	Storm
11	56 – 63	Tempestuoso	Violent Storm
12	> 63	Furacão	Hurricane

**Figura 27:** Escala Beaufort de ventos (Fonte: MARINHA DO BRASIL)



**Figura 28:** Modelo de velocidade de vento no Recife (Fonte: METEOBLUE)



**Figura 29:** Histograma da velocidade do vento em Recife (Fonte: FIGUEIRÊDO, 2014)

## 4.2 EQUIPAMENTOS DE NAVEGAÇÃO A SEREM UTILIZADOS

Para realizar os testes de prova de mar propostos, é necessário a utilização de alguns equipamentos de navegação para a coleta de dados. De acordo com o memorial descritivo do estaleiro INACE, a embarcação Ciências do Mar possui equipamentos de navegação, dentre eles estão: bússola giroscópica, radar, GPS, sistema de identificação automática (AIS), indicador de ângulo do leme, odômetro, entre outros (INACE, 2017).

Conforme já citado nos capítulos de testes propostos, é possível resumir que os parâmetros que serão observados nos testes de prova de mar são:

- Taxa de giro (*rate of turn*)
- Ângulo de leme
- Distância longitudinal percorrida
- Distância transversal percorrida
- Ângulo de aproamento (*heading*)
- Velocidade (*speed over ground*)
- Percurso realizado pela embarcação

#### 4.2.1 BÚSSOLA GIROSCÓPICA

A bússola giroscópica presente na embarcação estudada é a FURUNO SC-110. A agulha giroscópica é o instrumento comumente utilizado para obter informações sobre o rumo, embora também exista outro instrumento, a agulha magnética, que possui a mesma finalidade, porém para atender a ocasiões emergenciais (MIGUENS, 2019). De acordo com o fabricante, essa bússola funciona via satélite e pode fornecer informações como: velocidade com relação ao solo (SOG), curso com relação ao solo (COG), posicionamento GPS e taxa de giro (ROT).



Figura 30: Bússola giroscópica (Fonte: FURUNO)

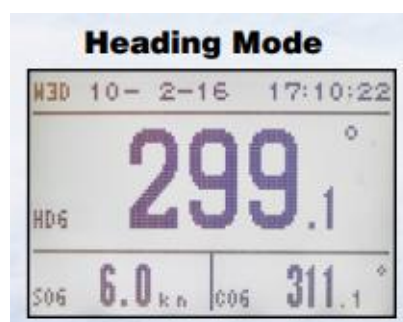
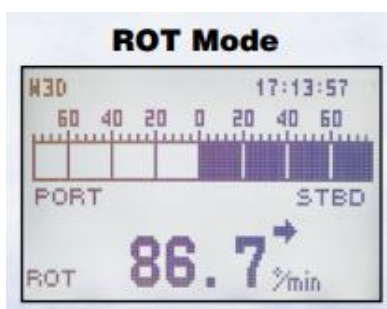
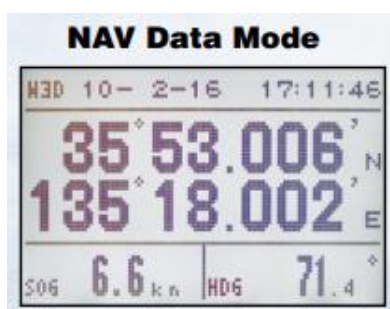


Figura 31: Display da bússola giroscópica - modo aproamento (Fonte: FURUNO)



**Figura 32:** Display da bússola giroscópica – modo taxa de giro (Fonte: FURUNO)



**Figura 33:** Display da bússola giroscópica – modo navegação (Fonte: FURUNO)

#### 4.2.2 GPS

O GPS contido na embarcação é o FURUNO GP 170. Este equipamento possui a possibilidade de mostrar cartas eletrônicas (INACE, 2017). O GPS é um equipamento bastante importante na navegação e através dele, é possível conhecer a posição onde a embarcação se encontra através de coordenadas geográficas e também é possível traçar rotas para o destino que se deseja. Para o teste de mar, o GPS será utilizado para obter o gráfico do percurso feito pela embarcação conforme recurso do equipamento disponível, função que será utilizada no teste de curva de giro, por exemplo. A figura 34 mostra o equipamento e a figura 35 mostra a visualização da tela no modo *plotter*.



Figura 34: GPS FURUNO GP 170 (Fonte: FURUNO)

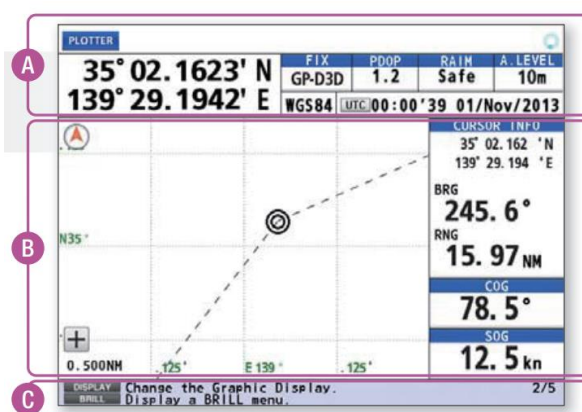


Figura 35: Display do GPS – modo *plotter* (Fonte: FURUNO)

#### 4.2.3 ODÔMETRO DOPPLER

O odômetro presente na embarcação é o FURUNO DS-80. Este equipamento é utilizado para medir a velocidade da embarcação com relação ao solo e ele realiza a medição através efeito Doppler, i.e. quando uma fonte de vibração está em movimento com relação ao observador a frequência percebida da onda sofre uma alteração (MIGUENS, 2019).

Para isso, no casco de um navio que utiliza um odômetro Doppler existe uma fonte que emite uma frequência e um receptor que capta a frequência refletiva através do solo. No caso em que o navio está em movimento com relação ao solo, haverá uma diferença entre a frequência emitida e a recebida, que é proporcional à velocidade. Além disso, é possível encontrar a distância percorrida através de uma integração eletrônica da velocidade (MIGUENS, 2019).



Figura 36: Odômetro Doppler (Fonte: FURUNO)

#### 4.2.4 ECOSSONDA

A ecossonda disponível na embarcação é a FURUNO FE-800. De acordo com o fabricante, este equipamento mostra a profundidade abaixo do navio tanto na proa quanto na popa, o que é importante para verificar se a profundidade do mar em determinado local é suficiente para não causar danos a embarcação e também verificar se a profundidade é considerada como sendo águas profundas para evitar a interferência nos testes de prova de mar devido ao efeito de águas rasas.



Figura 37: Ecossonda (Fonte: FURUNO)

### 4.3 PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE INCLINAÇÃO

Para realizar o teste de inclinação no local sugerido e nas condições ambientais desejáveis, é preciso utilizar alguns equipamentos bem como alguns instrumentos de medição. As informações sobre os equipamentos e instruções básicas para o teste seguem as instruções contidas na resolução MSC 267(85) da IMO.

#### • PESOS A SEREM UTILIZADOS NO TESTE DE INCLINAÇÃO

De acordo com o que já foi mencionado, BERTHEUSSEN KAROLIUS; VASSALOS, (2018) orientam que o ângulo máximo de inclinação no teste seja de 2°. Isto é uma informação importante para se estimar o peso necessário para o teste de forma que a embarcação não incline mais que 2°. Primeiramente, é necessário estimar o centro de gravidade do casco. De acordo com KUPRAS (1971, apud PARSONS, 2003), é possível estimar o KG do casco para embarcações com comprimento de até 120 metros conforme a equação (11).

$$KG_{estimado} = 0,01D(46,6 + 0,135(0,81 - Cb) \left( \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right) + 0,008D \left( \frac{L}{B} - 6,5 \right) \quad (1)$$

Utilizando as informações sobre as características da embarcação mostradas na tabela 5 e do coeficiente de bloco presente nas propriedades hidrostáticas no anexo A, é possível obter, através da equação (11), que o KG estimado é **2,0474** metros.

O valor de KMt também pode ser obtido através das propriedades hidrostáticas do Anexo A, somando-se os valores de KB e BMt. Dessa forma obtém-se que KMt é **4,19** metros. Sabendo-se o valor de KMt e o valor estimado de KG, é possível estimar o GMt pela diferença entre esses dois valores. Dessa forma, obtém-se que o valor estimado de GMt é **2,1426** metros.

Através do valor estimado do GMt, é possível utilizar a equação (8) para sugerir o peso para o teste de inclinação. A distância de movimentação dos pesos será adotada como sendo 6,5 metros, retirando-se uma margem do valor da boca da embarcação mostrado na tabela 5. O deslocamento referente ao calado leve, também foi obtido através dos dados da INACE, mostrado na tabela 5. Dessa forma, é possível estimar qual

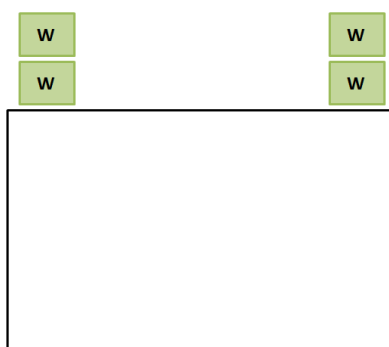
o peso necessário para inclinar a embarcação em 2° utilizando os dados mostrados na tabela 6 na equação (8).

**Tabela 6:** Dados utilizados para encontrar o peso

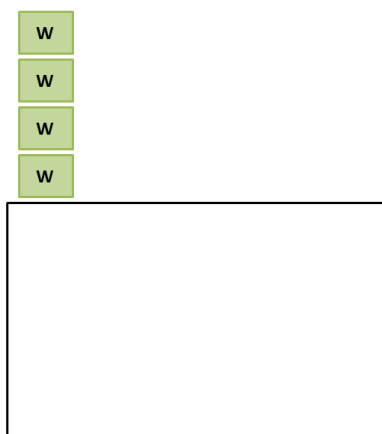
Parâmetro	Valor
Deslocamento leve (kg)	221700
Ângulo máximo de inclinação (°)	2
Distância de movimentação dos pesos (m)	6,5
GMt estimado (m)	2,1426

Fonte: Autora

Nessas condições, a massa máxima a ser utilizada no teste é de 2551,98 Kg. Conforme ilustrado nas figuras 38 e 39, a condição máxima de inclinação é quando dois pesos são movimentados para um mesmo bordo. Isso significa que esse valor de massa deve ser dividido por 2, obtendo-se que o valor individual é de 1275,99 Kg.



**Figura 38:** Configuração inicial (Fonte: Autora)



**Figura 39:** Condição máxima de inclinação (Fonte: Autora)



Porém a capacidade de carga do guindaste disponível é de 750 Kg. Utilizando, por exemplo, o valor individual dos pesos como tendo 700 Kg, encontra-se através da mesma equação (8), que o ângulo de inclinação é  $1,0975^\circ$ , o que está dentro do limite indicado e se adéqua à capacidade do equipamento disponível.

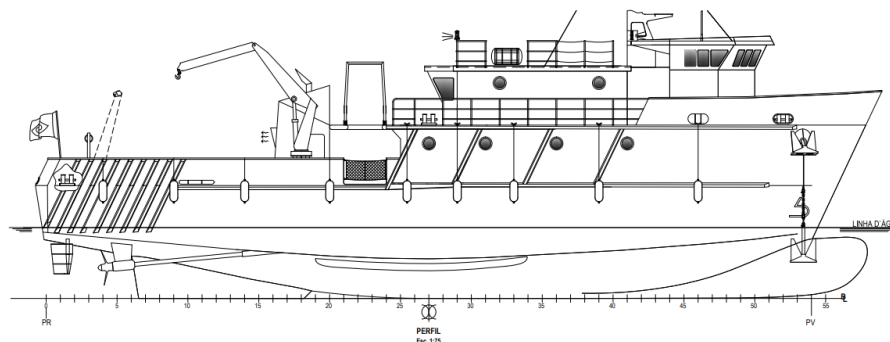
#### **4.3.1 ITENS NECESSÁRIOS À REALIZAÇÃO DO TESTE DE INCLINAÇÃO**

- 4 Pesos de 700 kg
- 2 Pêndulos de 5 metros de comprimento
- 2 Réguas de 30 centímetros de comprimento
- 2 Lápis
- 1 Termômetro
- 1 Hidrômetro
- 1 Guindaste
- 2 Cubas preenchidas com óleo viscoso
- 2 Estruturas para fixar os pêndulos

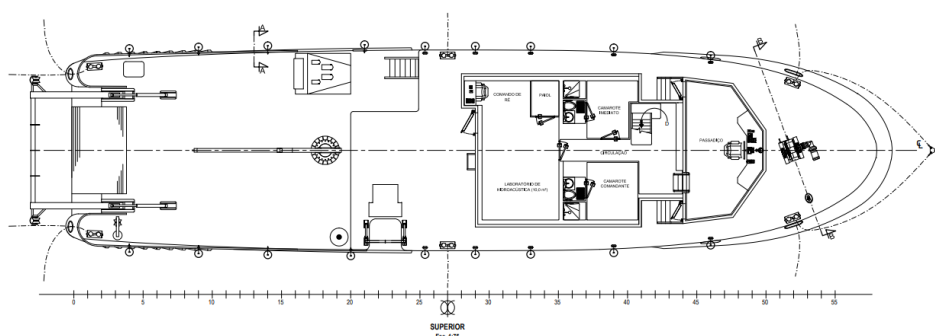
#### **• PREPARAÇÃO PARA O TESTE**

Antes do experimento é preciso adicionar na embarcação os pesos que serão utilizados no teste. É indicado que os pesos tenham um formato cujo centro de gravidade seja facilmente identificado. Em cada peso deve ser marcado um número de 1 a 4 e além, disso, deve-se registrar nos pesos a informação referente a sua massa (MSC267(85) (2008)).

De acordo com o memorial descritivo do estaleiro, a embarcação contém um guindaste telescópico com capacidade máxima de carga de 750 kg e alcance máximo de 10 metros. As figuras 40 e 41 mostram a vista de perfil e a vista superior da embarcação, respectivamente. Levando em consideração o alcance do guindaste, o espaço disponível e, além disso, para evitar que a embarcação tenha um trim excessivo por conta da adição de pesos, estes devem ser colocados de modo a ficar o mais próximo possível da meiana, sendo dois pesos em cada bordo da embarcação.

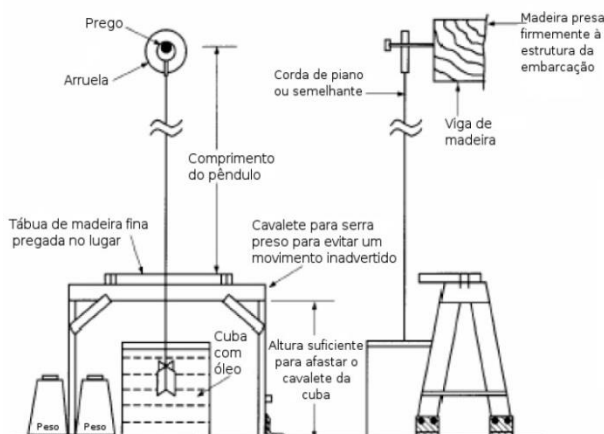


**Figura 40:** Vista de perfil da embarcação (Fonte: INACE, 2015)



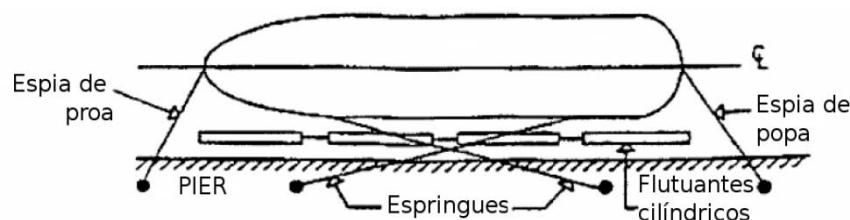
**Figura 41:** Vista superior da embarcação (Fonte: INACE, 2015)

Previamente os dois pêndulos devem ser instalados na embarcação. A resolução MSC 267(85) (2008) da IMO sugere uma instalação conforme mostrado na figura 42, em que é utilizado um prego fixado a uma madeira diretamente fixada na estrutura do navio. Uma arruela é apoiada no prego e a corda do pêndulo é conectada à arruela. Outra informação bastante relevante é a utilização de uma cuba cuja função é armazenar um óleo viscoso de forma a amortecer as oscilações do pêndulo e assim favorecer a leitura da deflexão do pêndulo que é feita através da régua. Dessa maneira, deve ser marcado com o auxílio de um lápis onde o pêndulo defletiu. Para evitar erros nas medições, é indicado que seja colocado um cavalete para proteger a instalação do vento.



**Figura 42:** Configuração da instalação do pêndulo (Fonte: MSC267(85) (2008))

A MSC 267 (85) (2008) indica que a embarcação deve ser amarrada, porém deve possuir a capacidade de inclinar sem restrições. Além disto, esta resolução da IMO sugere que sejam colocadas duas espias, uma na proa e outra na popa, e, além disso, dois espringues caso a embarcação esteja amarrada apenas por um bordo conforme mostrado na figura 43.



**Figura 43:** Amarração da embarcação (Fonte: MSC267(85) (2008))

Com relação aos tanques, a MSC 267(85) orienta que estes estejam vazios ou totalmente preenchidos. Dessa forma, evita-se o efeito de superfície livre que gera um momento devido a esse efeito e que interfere no teste. Assim sendo, é indicado que os tanques estejam vazios. Se não houver possibilidade de esvaziar todos os tanques, é possível completá-los, porém este peso extra deve ser corrigido posteriormente nos cálculos.

Depois de instalar os pêndulos e acomodar os pesos sobre a embarcação, mas ainda um pouco antes de começar o teste, é preciso realizar algumas medições. A água onde será realizado o teste deve ter a sua temperatura e densidade medidas. Nesse contexto, será utilizado um termômetro e um hidrômetro para efetuar as medições.

Conhecer o valor da densidade da água é uma informação bastante importante, pois a densidade da água interfere no volume de água deslocada pela embarcação e, conseqüentemente no calado.

Nesse contexto, é necessário obter a informação do calado, que deve ser medido tanto a vante quanto a ré de modo a verificar o trim da embarcação e desse modo obter o calado médio através da equação (12). Além disso, deve-se verificar o calado nos dois bordos da embarcação de forma a verificar o ângulo de banda da embarcação. Porém, espera-se que a embarcação não tenha ângulo de banda. A velocidade e direção do vento também devem ser registradas através do anemômetro.

$$T_{\text{médio}} = \frac{T_{\text{vante}} + T_{\text{ré}}}{2} \quad (12)$$

Para sintetizar, é possível utilizar a tabela 7 para anotar os parâmetros encontrados. Estes dados devem ser obtidos antes da movimentação dos pesos.

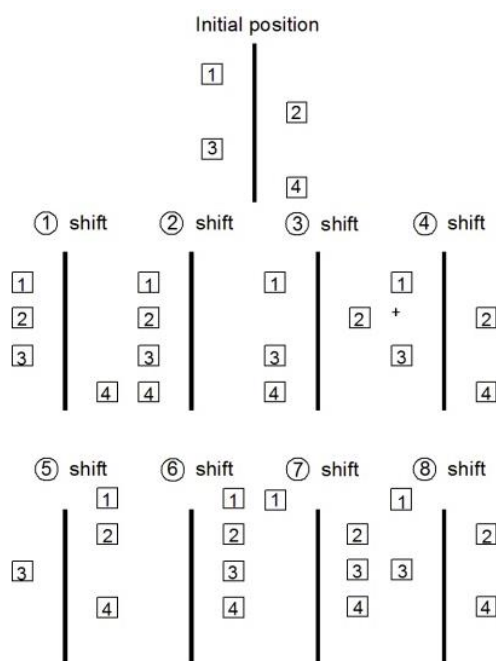
**Tabela 7:** Parâmetros a serem tomados antes do teste de inclinação

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
<b>Velocidade do vento (nós)</b>	
<b>Direção do vento (º)</b>	
<b>Densidade da água (kg/m<sup>3</sup>)</b>	
<b>Temperatura da água (ºC)</b>	
<b>Calado a vante – Bombordo (m)</b>	
<b>Calado a vante – Boreste (m)</b>	
<b>Calado a ré – Bombordo (m)</b>	
<b>Calado a ré – Boreste (m)</b>	
<b>Calado médio (m)</b>	
<b>Trim (m)</b>	

Fonte: Autora

## • PROCEDIMENTO DURANTE O TESTE

A bordo do navio devem estar o mínimo necessário de pessoas. A movimentação dos pesos durante um teste de inclinação é feita da seguinte maneira: os pesos originalmente estão divididos em dois pesos em cada bordo. O teste tem ao todo oito movimentações de peso. A figura 44 ilustra como é feita essa movimentação. No início do teste, conforme a figura 44, os pesos 1 e 3 estão em um bordo e os pesos 2 e 4 estão no outro bordo. A primeira movimentação consiste em transportar um peso para o bordo oposto, que no caso é o peso 3. Nessa movimentação o navio já irá apresentar uma inclinação para bombordo, pois os pesos estão distribuídos de maneira desigual. Na segunda movimentação é transportado o peso 4, aumentando ainda mais a inclinação a bombordo da embarcação. Nesse estágio os pesos começam ser movimentados um a um para boreste. A figura 44 mostra que os pesos são um a um transportados para boreste sendo primeiramente o peso 2, em seguida o peso 4, depois o peso 1 e finalmente o peso 3. A partir daí, os pesos 1 e em seguida o peso 3 voltam à posição original à bombordo e a embarcação tem os pesos distribuídos igualmente entre os bordos.



**Figura 44:** Movimentação de pesos - teste de inclinação (Fonte: DNV, 2015)

A cada movimentação de peso deve ser medida e registrada a deflexão de cada pêndulo. Com isso, é possível montar uma tabela simples como exemplificada através da tabela 8, relacionando: a movimentação, o peso, a distância, momento de adorno, momento de adorno,

momento total de adorno, a deflexão, a tangente efetiva, tangente relativa e a altura metacêntrica.

**Tabela 8:** Cálculo do GMt

Nº	Peso (kg)	Distância (m)	Momento (kg.m)	$\Sigma$ Momento (kg.m)	Deflexão (m)	Tangente Efetiva	Tangente Relativa	GMt (m)
1	700	-6,5	-4550	-4550				
2	700	-6,5	-4550	-9100				
3	700	6,5	4550	-4550				
4	700	6,5	4550	0				
5	700	6,5	4550	4550				
6	700	6,5	4550	9100				
7	700	-6,5	-4550	4550				
8	700	-6,5	-4550	0				

**Fonte:** Autora com base no *software Delftship*

A deflexão deve ser preenchida com os dados obtidos no teste, valor obtido através da régua. A tangente é encontrada através da equação (4). A tangente efetiva refere-se ao ângulo real de inclinação da embarcação, ou seja, é a tangente obtida pela leitura da régua. Por outro lado, a tangente relativa está relacionada a quanto a embarcação inclinou devido à movimentação de um único peso, ou seja, é obtida pela diferença entre as tangentes efetivas subsequentes. Por exemplo: na primeira movimentação de peso, espera-se que a tangente relativa tenha valor igual à tangente efetiva, considerando que não haja inclinação inicial da embarcação. Já na segunda movimentação de peso, a tangente relativa é a diferença entre a tangente efetiva medida na segunda e na primeira movimentação, e assim sucessivamente.

O GMt é encontrado utilizando a equação (8), em que o deslocamento pode ser obtido através das propriedades hidrostáticas da embarcação por meio do *software Maxsurf Hydrostatics*, colocando os seguintes valores de entrada no *software*: o calado médio, densidade e o trim, obtidos nas medições iniciais. Esse é o deslocamento considerando os pesos extras que não fazem parte do peso leve, que inclui os 4 pesos adicionados para o teste de inclinação, os pêndulos instalados, as pessoas, etc. Para preencher o valor de GMt encontrado no teste de inclinação, na tabela 8, utiliza-se a

equação (8), onde a massa a ser utilizada é o valor único da massa do peso, e a tangente a ser utilizada na equação é a relativa, que refere-se à movimentação de um único peso.

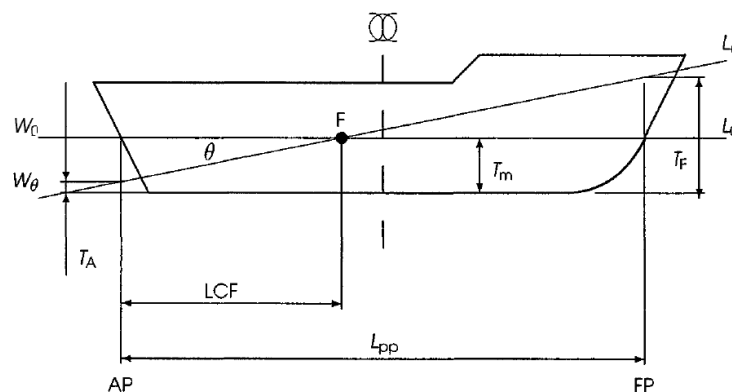
Após preencher essa tabela, a altura metacêntrica considerando as medições do pêndulo 1,  $GMt_1$ , é obtida através da média dos 8 resultados obtidos de  $GMt$ . Da mesma forma, deve ser preenchida outra tabela semelhante e deve ser encontrado o valor de  $GMt_2$  com os dados obtidos por meio do pêndulo 2. O resultado do  $GMt$  deve ser a média entre esses dois valores, conforme a equação (13).

$$GMt = \frac{GMt1 + GMt2}{2} \quad (13)$$

O valor do  $KMt$  é uma propriedade hidrostática e pode ser obtido da mesma forma que o valor do deslocamento, através do *Maxsurf Hydrostatics*, considerando as condições de calado, trim e densidade medidas. A partir desses dois valores, de  $GMt$  e  $KMt$ , é possível encontrar o valor de  $KG$  conforme equação (10), subtraindo o valor do  $GMt$  encontrado no teste de inclinação do valor do  $KMt$  obtido através do *software*.

Além disso, é possível também obter o valor da cota longitudinal do centro de gravidade (LCG) através do teste de inclinação. De acordo com BIRAN (2003), é possível encontrar o ângulo de trim através da equação (14) e é possível encontrar uma relação entre  $KG$  e  $LCG$  através da equação (15).

$$\tan\theta = \frac{Tf - Ta}{Lpp} \quad (14)$$



**Figura 45:** Ângulo de trim (Fonte: BIRAN, 2003)

$$LCG + (KG - KB) * \tan\theta = LCB \quad (15)$$

A localização do centro de empuxo depende da forma do casco e pode ser obtida através do *Maxsurf Hydrostatics*, conforme as medições de calado e trim iniciais. Substituindo a equação (14) na (15), e isolando LCG, é possível encontrar que:

$$LCG = LCB - (KG - KB) * \frac{Tf - Ta}{Lpp} \quad (16)$$

Os valores de KG e LCG encontrados referem-se ao navio com a adição dos pesos referentes ao teste, portanto, deve ser realizada uma correção para encontrar o KG e o LCG da embarcação leve. Para isso, é preciso conhecer os pesos que não fazem parte do peso leve que nesse caso serão considerados: as pessoas que estão a bordo, os pesos aplicados para inclinação, o peso da instalação dos pêndulos e o peso referente às cubas cheias de óleo viscoso. Além de conhecer a massa de cada um desses itens, é necessário conhecer a localização do centro de gravidade de cada um, isto é, as cotas longitudinais (LCG), vertical (KG) e transversal (TCG).

Dessa forma é possível obter o peso equivalente à soma de todos esses pesos extras considerados e também obter a localização do centro de gravidade referente à ação desses pesos. Para obter o peso extra é preciso apenas realizar a soma de todos os pesos extras considerados, conforme equação (17). O LCG, KG e o TCG, referente à ação dos pesos extras, são obtidos conforme as equações (18), (19) e (20).

$$P_{extra} = \sum_{i=1}^n (Pesos_i) \quad (17)$$

$$LCG_{extra} = \frac{\sum_{i=1}^n (Pesos_i * LCG_i)}{\sum_{i=1}^n (Pesos_i)} \quad (18)$$

$$KG_{extra} = \frac{\sum_{i=1}^n (Pesos_i * KG_i)}{\sum_{i=1}^n (Pesos_i)} \quad (19)$$

$$TCG_{extra} = \frac{\sum_{i=1}^n (Pesos_i * TCG_i)}{\sum_{i=1}^n (Pesos_i)} \quad (20)$$



Depois disso, conhecendo o valor total dos pesos extras ( $P_{\text{extras}}$ ) e a localização do seu centro de gravidade, é possível realizar a correção para encontrar o KG da embarcação leve, assim como o LCG, o TCG e o deslocamento leve obtidos a partir do teste de inclinação. O procedimento de correção pode ser feito subtraindo o efeito dos pesos extras. A equação (21) representa a obtenção do deslocamento leve da embarcação ( $\Delta_{\text{leve}}$ ) e o valor do deslocamento ( $\Delta$ ) é o valor encontrado pelas propriedades hidrostáticas do *Maxsurf Hydrostatics* para a condição carregada com os pesos extras. As equações (22), (23) e (24) representam os cálculos para obtenção da localização do centro de gravidade na condição leve.

$$\Delta_{\text{leve}} = \Delta - P_{\text{extras}} \quad (21)$$

$$LCG_{\text{leve}} = \frac{\Delta * LCG - P_{\text{extra}} * LCG_{\text{extra}}}{\Delta - P_{\text{extra}}} \quad (22)$$

$$KG_{\text{leve}} = \frac{\Delta * KG - P_{\text{extra}} * KG_{\text{extra}}}{\Delta - P_{\text{extra}}} \quad (23)$$

$$TCG_{\text{leve}} = \frac{\Delta * TCG - P_{\text{extra}} * TCG_{\text{extra}}}{\Delta - P_{\text{extra}}} \quad (24)$$

### 4.3 PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE CURVA DE GIRO

Conforme a resolução 137(76) da IMO, a velocidade a ser empregada na embarcação para a realização dos testes de prova de mar indicados por esta norma é de no mínimo 90% da velocidade referente a 85% da potência máxima do motor. De acordo com as informações do estaleiro construtor presentes na tabela 5, a velocidade de serviço é de 10 nós. Dessa forma, sugere-se que os testes de prova de mar sejam realizados nessa velocidade. Contudo, se ao configurar o motor a 85% de potência e o valor correspondente a 90% da velocidade medida for maior que 10 nós, esse novo valor de velocidade deve ser adotado para estar em conformidade com as normas da IMO.

Nos testes de prova de mar, os equipamentos de navegação são bastante relevantes para coleta de dados e posterior análise. No teste de curva de giro, a embarcação deve estar inicialmente a uma velocidade de 10 nós navegando em linha reta. De acordo com a resolução MSC137(76) da IMO, o leme deve ser posicionado a 35° ou o máximo ângulo permitido considerando a velocidade. Ainda conforme a MSC137(76), essa manobra deve ser realizada tanto para bombordo quanto para boreste. Para uma melhor visualização dos parâmetros a serem analisados (diâmetro tático, transferência e avanço), indica-se que seja feito um giro de 360°.

Para este teste, é necessário verificar e coletar os dados conforme mostrado na tabela 9.

**Tabela 9:** Variáveis a serem medidas no teste de Curva de Giro

<b>Variáveis a serem medidas</b>	<b>Equipamento a ser utilizado</b>
<b>Velocidade</b>	Odômetro Doppler
<b>Ângulo de leme</b>	Indicador de ângulo de leme
<b>Taxa de giro</b>	Bússola giroscópica
<b>Posição</b>	GPS

Fonte: Autora

#### **4.4. PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE ZIG-ZAG**

No teste de zig-zag a embarcação deve estar inicialmente navegando em linha reta a uma velocidade de 10 nós. Esse teste comumente é realizado considerando o ângulo de leme como sendo 10° ou 20°. Para o teste sugerido, o ângulo de leme deve ser acionado a 10°. Neste teste, é realizado um gráfico sobre o ângulo do leme com relação ao tempo e o aproamento da embarcação no tempo. Para isso, é preciso medir: velocidade, ângulo de leme, aproamento e tempo.

Supondo que o leme seja acionado inicialmente em 10° a bombordo, quando o aproamento atingir o valor de 10° a bombordo, se igualando ao ângulo de leme, o leme deve ser acionado para o lado oposto, 10° a boreste. Porém o aproamento ainda irá aumentar à bombordo até que comece a reduzir e posteriormente ir no sentido de boreste. A diferença entre o aproamento máximo alcançado a bombordo e o ângulo de leme máximo (10°) é o primeiro *overshoot* e deve ser medida e é identificada graficamente.

Da mesma forma, quando o aproamento atinge  $10^\circ$  a boreste, se igualando ao ângulo de leme, o leme deve ser acionado em  $10^\circ$  a bombordo enquanto que o ângulo de aproamento continua a aumentar a boreste. A diferença entre o ângulo máximo alcançado a boreste e o ângulo de leme máximo a boreste ( $10^\circ$ ) representa o segundo *overshoot* e também deve ser medido.

**Tabela 10:** Variáveis a serem medidas no teste de Zig-zag

<b>Variáveis a serem medidas</b>	<b>Equipamento a ser utilizado</b>
<b>Velocidade</b>	Odômetro Doppler
<b>Ângulo de leme</b>	Indicador de ângulo de leme
<b>Taxa de giro</b>	Bússola giroscópica
<b>Tempo</b>	Cronômetro

Fonte: Autora

#### **4.5. PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE ESPIRAL DIRETO**

De acordo com SNAME (1989), a embarcação deve estar inicialmente a uma velocidade constante, que neste caso é 10 nós, e em linha reta. O leme deve ser acionado a  $15^\circ$ , a boreste, por exemplo, e deve-se observar o indicador da taxa de giro de forma que atinja um valor constante por 1 minuto. Então o leme é reduzido em  $5^\circ$  e é necessário aguardar novamente até que a taxa de giro assuma um valor constante por alguns minutos (SNAME, 1989).

Esse procedimento deve ser repetido de maneira semelhante para cada ângulo correspondente ao intervalo de  $5^\circ$  entre os ângulos até obter o valor da taxa de giro referente ao ângulo de leme de  $15^\circ$  no sentido oposto ao inicial, ou seja, a bombordo. Depois disso, o procedimento deve ser realizado no sentido oposto, partindo desse ponto em  $15^\circ$  de ângulo de leme a bombordo até que o leme alcance  $15^\circ$  a boreste, que é o ângulo inicial.

Para cada ângulo de leme acionado, deve ser medida a taxa de giro constante que foi observada para os dois sentidos, tanto na ida partindo de boreste para bombordo, quanto no sentido oposto de bombordo para boreste.

Os parâmetros obtidos através desse teste são os valores referentes à taxa de giro constante de acordo com cada ângulo de leme. O gráfico correspondente a esses valores representa uma indicação quanto à estabilidade direcional da embarcação (SNAME, 1989).

Tabela 11: Variáveis a serem medidas no teste de Espiral Direto

<b>Variáveis a serem medidas</b>	<b>Equipamento a ser utilizado</b>
<b>Velocidade</b>	Odômetro Doppler
<b>Ângulo de leme</b>	Indicador de ângulo de leme
<b>Taxa de giro</b>	Bússola giroscópica
<b>Tempo</b>	Cronômetro

Fonte: Autora

#### 4.6 PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE PULL-OUT

No teste de Pull-Out, a embarcação deve estar navegando a velocidade de teste de 10 nós, em linha reta. Então, o leme deve ser posicionado a 20° a boreste por exemplo. Deve-se observar o indicador da taxa de giro até que esse valor se estabilize se tornando constante e esse valor é então registrado. A partir disso, o leme deve ser acionado a 0° e deve-se observar o decaimento da taxa de giro em função do tempo. Sugere-se que seja feita uma anotação do valor a cada intervalo de tempo fixo de alguns segundos, como 3 segundos, por exemplo, e que esses valores sejam colocados em um gráfico relacionando a taxa de giro em função do tempo até que a taxa de giro se torne constante novamente, mas dessa vez referente à 0°. Da mesma maneira, esse procedimento deve ser repetido considerando inicialmente o leme a 20° a bombordo.

Tabela 12: Variáveis a serem medidas no teste de *Pull-Out*

<b>Variáveis a serem medidas</b>	<b>Equipamento a ser utilizado</b>
<b>Velocidade</b>	Odômetro Doppler
<b>Ângulo de leme</b>	Indicador de ângulo de leme
<b>Taxa de giro</b>	Bússola giroscópica
<b>Tempo</b>	Cronômetro

Fonte: Autora

#### 4.7. PROCEDIMENTOS PARA O TESTE DE PARADA BRUSCA

A embarcação deve estar navegando em linha reta a uma velocidade de 10 nós. Então, o comando de máquinas a ré com força total deve ser acionado através do

equipamento chamado de *telegraph lever*. A partir disso, a embarcação começa a reduzir sua velocidade e deve-se estar atento ao momento em que a velocidade for nula, que é quando o teste é completado. A partir das informações de posição obtidas no GPS, é possível observar qual a distância total percorrida e as coordenadas finais e iniciais, e assim, obter o desvio lateral e o avanço.

**Tabela 13:** Variáveis a serem medidas no teste de Parada Brusca

<b>Variáveis a serem medidas</b>	<b>Equipamento a ser utilizado</b>
<b>Velocidade</b>	Odômetro Doppler
<b>Posição</b>	GPS

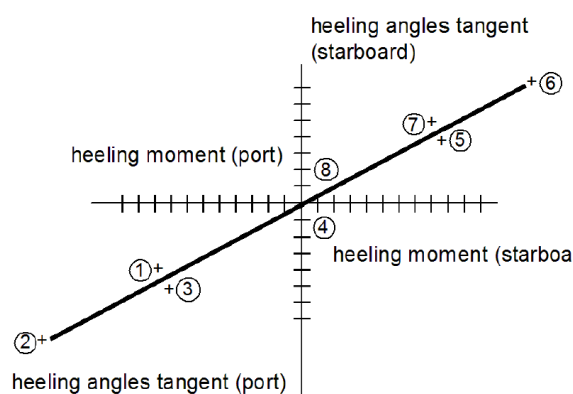
Fonte: Autora

## 5. RESULTADOS ESPERADOS

O objetivo deste trabalho é sugerir atividades a serem realizadas no LEF - Ciências do Mar IV no contexto do curso de Engenharia Naval, bem como indicar o procedimento necessário à realização das atividades propostas. Dessa forma, não foram obtidos resultados através da realização dos testes, já que a realização dos mesmos não faz parte do propósito deste trabalho de conclusão de curso. Apesar disso, é possível indicar os resultados que se espera obter em cada um dos testes sugeridos.

### 5.1 TESTE DE INCLINAÇÃO

No teste de inclinação espera-se encontrar o centro de gravidade da embarcação na condição leve, através das coordenadas vertical, longitudinal e transversal. Além disso, espera-se também obter o deslocamento leve da embarcação. Para verificar sobre a coerência dos resultados, é importante desenhar um gráfico dos valores do momento total e da tangente do ângulo encontrado, para cada movimentação de peso conforme a figura 46.



**Figura 46:** Gráfico resultante do teste de inclinação (Fonte: DNV, 2015)

Para que exista um momento de endireitamento, ajudando a embarcação a voltar a posição inicial após uma perturbação, o valor da altura metacêntrica deve ser positivo, ou seja, o centro de gravidade encontrado através do teste de inclinação deve estar abaixo do metacentro. De acordo com a NORMAM01, o valor de GMt deve ser igual ou maior que 0,15 metros considerando embarcações de carga ou passageiros.

**Tabela 14:** Critério - Teste de inclinação

<b>Parâmetro</b>	<b>Critério</b>
<b>GMt</b>	$GM \geq 0,15$

Fonte: Autora

## 5.2 TESTE DE CURVA DE GIRO

Espera-se, através do teste de curva de giro, obter o percurso da embarcação e assim verificar a capacidade de giro do navio. De acordo com os critérios presentes na resolução MSC 137(76) da IMO, é necessário verificar o avanço e o diâmetro tático obtidos no teste e compará-los com relação ao comprimento compreendido entre as perpendiculares de proa e popa conforme tabela 15.

**Tabela 15:** Critérios – Curva de Giro

<b>Parâmetro</b>	<b>Critério</b>
<b>Avanço</b>	$\leq 4,5 * L_{pp}$
<b>Diâmetro tático</b>	$\leq 5 * L_{pp}$

Fonte: Autora

## 5.3 TESTE DE ZIG-ZAG

Os parâmetros para análise obtidos através do teste de zig-zag são o primeiro e o segundo *overshoots*. Conforme as regras presentes na MSC 167(76) da IMO, é possível comparar os valores obtidos com os critérios, de acordo com a razão entre o comprimento entre perpendiculares e a velocidade de teste.

Tabela 16: Critérios – Zig-Zag

Parâmetro	Critério
1º overshoot	$\leq 10^\circ$ , se $L_{pp}/V < 10$ s
	$\leq 20^\circ$ , se $L_{pp}/V \geq 30$ s
	$\leq (5+1/2(L/V))^0$ , se $10 \leq L_{pp}/V < 30$ s
2º overshoot	$\leq 25^\circ$ , se $L_{pp}/V < 10$ s
	$\leq 40^\circ$ , se $L_{pp}/V \geq 30$ s
	$\leq (17,5+0,75(L/V))^0$ , se $10 \leq L_{pp}/V < 30$ s

Fonte: Autora com base nas informações da IMO

#### 5.4 TESTE DE ESPIRAL DIRETO

A resolução MSC 137(76) da IMO não especifica nenhum critério para analisar se a embarcação passou nesse teste, mas a realização desse teste é necessária para verificar sobre a estabilidade ou instabilidade direcional da embarcação. Espera-se, através desse teste, obter um gráfico relacionando a taxa de giro ao ângulo de leme, nos dois sentidos de rotação do leme, tanto indo de boreste para bombordo quando de bombordo para boreste, de forma a avaliar se a taxa de giro para um mesmo ângulo de leme é igual. Se isso acontecer, conclui-se que a embarcação é direcionalmente estável, o que é a situação desejada, caso contrário, verifica-se o tamanho da faixa de instabilidade contida no *loop hysteresis*, dessa forma, é possível obter uma indicação do intervalo de ângulo de leme onde não é possível ter um controle preciso da embarcação.

#### 5.5 TESTE DE PULL-OUT

Da mesma forma que o teste de espiral direto, a resolução MSC 137(76) não determina um critério em que seja possível comparar um parâmetro encontrado no teste a um valor específico. Porém, através do teste de Pull-Out, é possível ter uma indicação da estabilidade ou instabilidade direcional do navio, sendo possível efetuar uma comparação entre o resultado encontrado no teste de espiral direto e os resultados obtidos através do teste de espiral direto. Se, ao retornar ao ângulo de  $0^\circ$ , a taxa de giro estável for nula, conclui-se que a embarcação é direcionalmente estável. Porém, se a embarcação, ainda continuar com velocidade angular em yaw mesmo quando a taxa de giro estabilizar, isso



significa que a embarcação é instável direcionalmente. Os resultados são obtidos tanto com o leme retornando a 0° de boreste quanto de bombordo. A faixa de instabilidade obtida nesse teste deve ser semelhante à faixa de instabilidade obtida no teste de espiral direto, sendo importante verificar essa comparação para avaliar a coerência dos resultados.

## 5.6 TESTE DE PARADA BRUSCA

Na conclusão do teste de parada brusca, é esperado que sejam encontrados os seguintes valores: distância total percorrida, avanço e o desvio lateral. Contudo, o parâmetro utilizado para avaliar se a embarcação foi aprovada nesse teste é o caminho total percorrido pela embarcação, com base na resolução MSC 137(76), mostrado na tabela 17.

**Tabela 17:** Critério – Teste de Parada Brusca

<b>Parâmetro</b>	<b>Critério</b>
<b>Distância percorrida</b>	$\leq 15 * L_{pp}$

Fonte: Autora

## 6. CONCLUSÕES

Os testes propostos para serem realizados pelos alunos do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco estão inseridos no âmbito das provas de mar e cais, as quais fazem parte da área de atuação de um engenheiro naval. Esses testes contemplaram três diferentes áreas de estudo: hidrodinâmica, arquitetura naval e navegação. Dessas, a área de hidrodinâmica e de arquitetura naval fazem parte da grade curricular do curso e são essenciais na formação de engenheiros navais. O estudo de equipamentos de navegação faz parte de uma disciplina eletiva do curso, que se chama navegação, porém, é bastante importante que um engenheiro naval tenha familiaridade com os equipamentos de navegação que compõem uma embarcação. Além de englobar diferentes áreas de estudo, este trabalho de conclusão de curso apresentou a descrição dos procedimentos de cada teste, considerando: os equipamentos de navegação que a embarcação possui, a capacidade máxima do guindaste hidráulico, o peso para o teste de inclinação conforme o deslocamento, as características de operação da embarcação, ou seja, considerando o contexto da embarcação Ciências do Mar IV.

De uma forma geral, o procedimento dos testes descritos neste trabalho de conclusão de curso, tem uma finalidade didática, para que possam ser inseridos no contexto do ensino, porém é possível aplicá-los em situações reais. No teste de inclinação, por exemplo, considera-se que todos os tanques da embarcação estejam vazios quando da realização do teste, porém, é possível que em algumas situações não seja viável esvaziar todos os tanques, sendo necessário efetuar alguma correção devido ao efeito de superfície livre. No caso da embarcação em questão, esta já possui guindaste, mas existem casos onde é preciso utilizar um guindaste que não faz parte do peso leve da embarcação, sendo necessário fazer uma correção devido à adição de peso extra.

No contexto da realização de atividades considerando a embarcação Ciências do Mar IV, como sugestão de trabalhos futuros, estão as seguintes temáticas: i) realização dos testes propostos em diferentes condições de calado para verificar a influência do calado na manobrabilidade; ii) previsão das características de manobrabilidade da embarcação Ciências do Mar IV a partir de métodos computacionais e a comparação entre os resultados obtidos computacionalmente e dos testes realizados na prova de mar; iii) realização dos testes de prova de mar em um modelo em escala reduzida para posterior comparação com os resultados obtidos nos testes da embarcação em escala

real; iv) realização do teste de inclinação em um modelo em escala reduzida para posterior comparação dos resultados obtidos através da embarcação em escala real; v) realização do planejamento de manutenção da embarcação para que as atividades possam ser realizadas de modo seguro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS). **Guide for Vessel Maneuverability**. p.1-111, 2006.

AKPO, B.D. et al. Educação e formação em engenharia de petróleo: a importância das atividades práticas em laboratório para a formação do engenheiro. **Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**., p.9, 2019.

ASCOM-UFPE. Com gestão da UFPE, Embarcação Ciências do Mar IV será usada para atividades de ensino e pesquisa no NE. **Agência de Notícias**, Recife, 29 de dez. de 2019. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/agencia/noticias/-/asset\\_publisher/VQX2pzmP0mP4/content/com-gestao-da-ufpe-embarcacao-ciencias-do-mar-iv-sera-usada-para-atividades-de-ensino-e-pesquisa-no-nordeste/40615](https://www.ufpe.br/agencia/noticias/-/asset_publisher/VQX2pzmP0mP4/content/com-gestao-da-ufpe-embarcacao-ciencias-do-mar-iv-sera-usada-para-atividades-de-ensino-e-pesquisa-no-nordeste/40615)>. Acessado em: 22 de jul. de 2020.

BARRASS, B.; DERRETT, D. R. **Ship Stability for Masters and Mates**. Sixth Edition. Butterworth-Heinemann, 2006.

BARRASS, C.B. **Ship stability: notes and examples**. Third Edition. Butterworth-Heinemann, 2001.

BERTHEUSSEN KAROLIUS, K.; VASSALOS, D. Tearing down the wall – The inclining experiment. **Ocean Engineering**, v. 148, n. October 2017, p. 442–475, 2018.

BIRAN, A. B. **Ship Hydrostatics and Stability**. Butterworth-Heinemann, 2003.

CARVALHO, A. C. B. D. DE; PORTO, A. J. V.; BELHOT, R. V. Aprendizagem significativa no ensino de engenharia. **Production**, v. 11, n. 1, p. 81–90, 2001.

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL. Instalações da Naval. Disponível em <<https://www.ufpe.br/coord-naval/instalacoes>>. Acessado em: 20 ago. 2020.

CRENSHAW, R.S. **Naval Shiphandling**. Fourth Edition. Naval Institute Press, 1975.

DET NORSKE VERITAS (DNV). Rules for classification: Inland navigation vessels, Part 7: Fleet in service, Chapter 2: Inclining test and light weight check. December, 2015.

DOPPLER SPEED LOG: MODEL DS-80. Furuno. Disponível em: <<https://www.furuno.com/files/Brochure/160/upload/ds-80.pdf>>. Acessado em: 22 jul. 2020.

DUMAN, S.; BAL, S. A quick-responding technique for parameters of turning maneuver. **Ocean Engineering**, v. 179, n. February, p. 189–201, 2019.

FIGUEIRÊDO, B.C.L. DE. **Análise multifractal da velocidade do vento em Pernambuco**. 2014. 76 f. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Departamento de Estatística e Informática , Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

GERMANISCHER LLOYD (GL(CLASS)). **Guidelines for Sea Trials of Motor Vessels**, 2012.

GLOBAL POSITIONING SYSTEM: MODEL GP-170. Furuno. Disponível em: <[https://www.furuno.com/files/Brochure/239/upload/GP-170\\_E.pdf](https://www.furuno.com/files/Brochure/239/upload/GP-170_E.pdf)>. Acessado em: 22 jul. 2020.

INDÚSTRIA NAVAL DO CEARÁ (INACE). **Arranjo e desenho do sistema de amarração e fundeio**, 2015.

INDÚSTRIA NAVAL DO CEARÁ (INACE). **Documentos**. Revisão Geral, 2017.

INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE (ITTC). Captive Model Test. **Manoeuvring Committee of the 28th ITTC**, p. 1–26, 2017.

INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE (ITTC). Full Scale Manoeuvring Trials. **Manoeuvring Committee of the 28th ITTC**, p. 1–18, 2017.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **Resolução MSC. 137(76)**. p.1-8, 2002.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). **Resolução MSC. 267(85)**. p.1-95, 2008.

KAM, C. C. S. Expanded format shows better response consistency than Likert-scale format in the measurement of optimism. **Personality and Individual Differences**, v. 152, n. September 2019, p. 109606, 2020.

MARINHA DO BRASIL. Centro de hidrografia da marinha. Disponível em: <[https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u2035/escala\\_beaufort.pdf](https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u2035/escala_beaufort.pdf)>. Acessado em: 22 de jul. de 2020.

MARTINS, D.D.D. et al. A importância do laboratório de sistemas eletrônicos para o desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa e extensão. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, p.8, 2019.

METEOBLUE. Clima Recife. Disponível em: <[https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/recife\\_brasil\\_3390760](https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/climatemodelled/recife_brasil_3390760)>. Acessado em: 22 de jul. de 2020.

MIGUENS, A. P. **Navegação: A Ciência e a Arte - Volume I**. 1ª Revisão Atualizada. Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2019.

NAUTICEXPO. Manete de comando para motor NORISYS 4 LT4. Disponível em: <<https://www.nauticexpo.com/pt/prod/noris-group-gmbh/product-36035-503035.html>>. Acessado em: 22 jul. 2020.

NAVIGATIONAL ECHO SOUNDER: MODEL FE-800. Furuno. Disponível em: <<https://www.furuno.com/files/Brochure/238/upload/fe-800.pdf>>. Acessado em: 22 jul. 2020.

PARSONS, M.G. **Parametric Design**. Ship Design and Construction. Chapter 11, edited by LAMB, T. The Society of Naval Architects and Marine Engineer, 2003.

PEKELMAN, H.; GONÇALVES MELLO JR, A. A Importância Dos Laboratórios No Ensino

De Engenharia Mecânica. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, p. 9, 2004.

RAWSON. K.J.; TUPPER, E.C. **Basic Ship Theory - Vol.I e Vol.II**. Butterworth-Heinemann, 2001.

SATELLITE COMPASS: MODEL SC-110. Furuno. Disponível em: <<https://www.furuno.com/files/Brochure/154/upload/sc110.pdf>>. Acessado em: 22 jul. 2020.

SILVA, F. J. R. DA et al. a Importância Do Laboratório De Energias Alternativas Da Universidade Federal Do Ceará No Desenvolvimento De Pesquisas E Formação De Engenheiros. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, p. 10, 2018.

SHIP STRUCTURE COMMITTEE (SSC). **Guide for Ship Structural Inspections**, 1990.

SODRÉ, M.F.D.M; MORANDINI, S.B. Formação profissional do engenheiro naval e oceânico da escola politécnica da UFRJ: percepção dos egressos. **Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, p.10, 2018.

PORTO DO RECIFE. Cais, Pátios, Armazéns e Silos. Disponível em: <[http://www.portodorecife.pe.gov.br/cais\\_patios\\_armazens\\_silos.php](http://www.portodorecife.pe.gov.br/cais_patios_armazens_silos.php)>. Acessado em: 22 de jul. de 2020)

PORTO DO RECIFE. Condições de Navegação. Disponível em: <[http://www.portodorecife.pe.gov.br/condicoes\\_navegacao.php](http://www.portodorecife.pe.gov.br/condicoes_navegacao.php)>. Acessado em: 01 de jun. de 2020.

The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME). **Principles of Naval Architecture – Volume I – Stability and Strength**. Second Revision, 1988.

The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME). **Principles of Naval Architecture – Volume III – Motions in Waves and Controllability**. Second Revision, 1989.

WIKIMEDIA. File: Types-of-stability.svg. 2018. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types-of-stability.svg>. Acessado em: 22 jul. 2020.



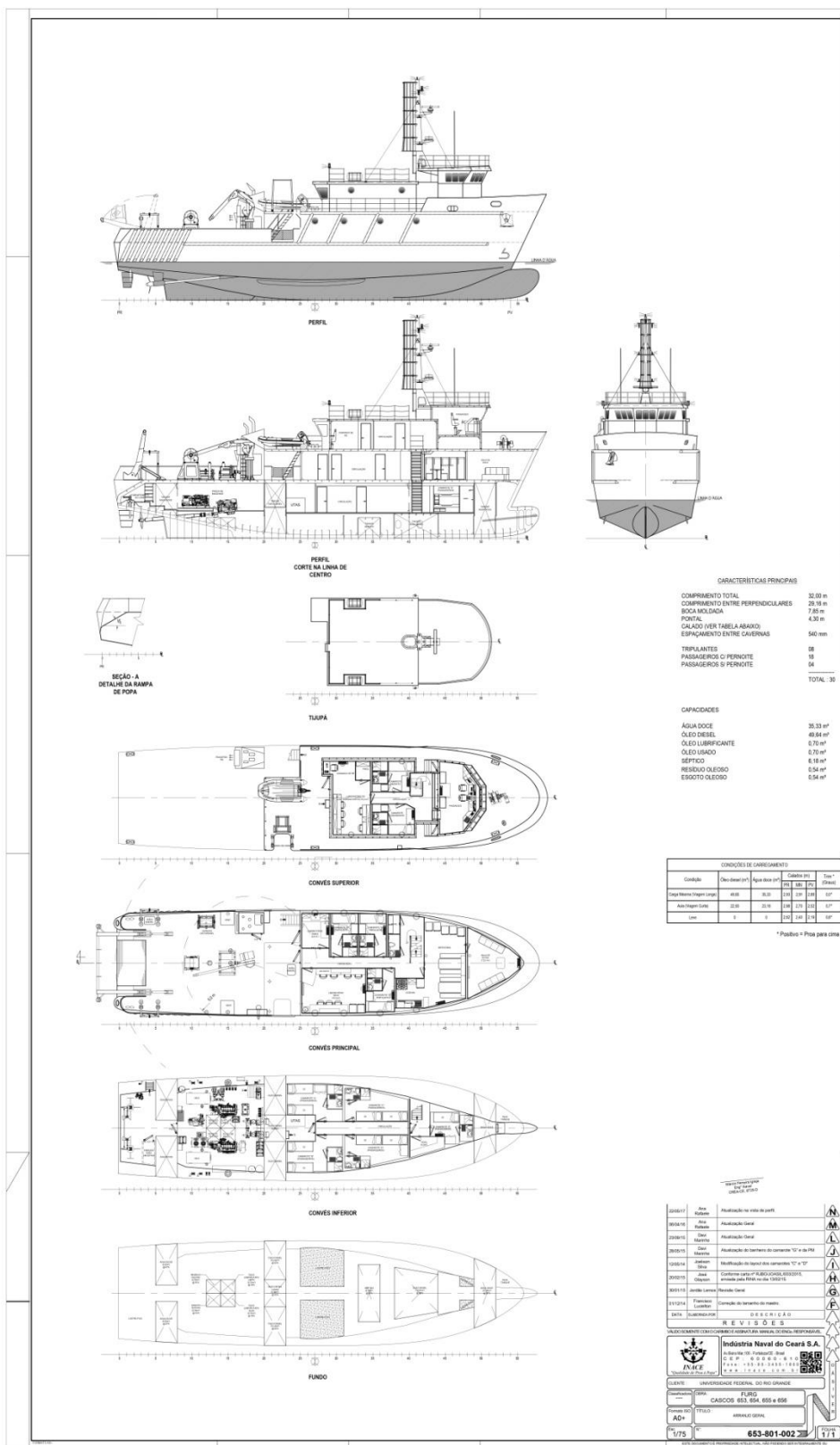
## ANEXO A: DADOS HIDROSTÁTICOS CONSIDERANDO TRIM=0

T (m)	Vol (m3)	Δ (t)	WSA (m2)	Coeficientes				LCB (m)	LCF (m)	VCB (m)	BMt (m)	TPC (t/cm)	MTc (t.m)
				Cp	Cb	Cm	Cwp						
2,20	177,4	181,8	219	0,575	0,367	0,639	0,713	1,14	-0,93	1,47	2,77	1,6	2,64
2,25	185,3	189,9	224,3	0,577	0,372	0,646	0,719	1,05	-1,11	1,51	2,72	1,63	2,73
2,30	193,3	198,1	229,5	0,585	0,381	0,652	0,731	0,95	-1,28	1,54	2,68	1,65	2,81
2,35	201,4	206,4	234,2	0,622	0,408	0,658	0,78	0,86	-1,39	1,57	2,63	1,68	2,89
2,40	209,6	214,8	238,5	0,626	0,415	0,663	0,788	0,77	-1,46	1,6	2,59	1,7	2,99
2,45	218	223,4	242,6	0,631	0,421	0,668	0,794	0,68	-1,50	1,63	2,54	1,72	3,06
2,50	226,3	232	246,3	0,635	0,427	0,673	0,798	0,6	-1,51	1,66	2,49	1,73	3,12
2,55	234,8	240,7	249,8	0,639	0,433	0,678	0,8	0,53	-1,50	1,7	2,44	1,74	3,16
2,60	243,3	249,4	253,2	0,643	0,438	0,683	0,803	0,45	-1,48	1,73	2,38	1,76	3,19
2,65	252	258,3	256,6	0,647	0,444	0,687	0,805	0,39	-1,46	1,76	2,34	1,77	3,23
2,70	260,6	267,1	260,1	0,65	0,449	0,691	0,807	0,33	-1,44	1,79	2,29	1,78	3,26
2,75	269,3	276	261,8	0,654	0,454	0,695	0,809	0,27	-1,43	1,82	2,25	1,79	3,3
2,80	278	285	265	0,657	0,458	0,699	0,812	0,22	-1,41	1,85	2,21	1,8	3,34
2,85	286,8	294	268,4	0,66	0,463	0,702	0,813	0,17	-1,37	1,88	2,17	1,81	3,36
2,90	295,7	303,1	271,7	0,663	0,467	0,706	0,815	0,12	-1,35	1,91	2,14	1,82	3,4
2,95	304,6	312,2	274,9	0,666	0,472	0,709	0,817	0,08	-1,33	1,94	2,1	1,83	3,43
3,00	313,6	321,4	278,2	0,669	0,476	0,712	0,819	0,04	-1,31	1,97	2,07	1,84	3,47
3,05	322,5	330,6	281,5	0,672	0,48	0,715	0,821	0	-1,29	2	2,04	1,85	3,5
3,10	331,6	339,9	284,8	0,675	0,484	0,718	0,824	-0,03	-1,27	2,03	2,02	1,87	3,54
3,15	340,8	349,3	288	0,677	0,487	0,72	0,825	-0,07	-1,24	2,06	1,99	1,88	3,57
3,20	350	358,7	291,2	0,68	0,491	0,723	0,827	-0,10	-1,22	2,09	1,96	1,89	3,61
3,25	359,1	368,1	294,7	0,682	0,494	0,726	0,828	-0,12	-1,18	2,11	1,94	1,9	3,63
3,30	368,4	377,6	298,4	0,684	0,498	0,728	0,828	-0,15	-1,13	2,14	1,92	1,9	3,64
3,35	377,8	387,2	301,9	0,687	0,501	0,73	0,83	-0,17	-1,10	2,17	1,9	1,91	3,67
3,40	387,1	396,8	305,4	0,689	0,504	0,733	0,831	-0,20	-1,06	2,2	1,88	1,92	3,69
3,45	396,5	406,4	309,1	0,691	0,507	0,735	0,831	-0,22	-1,01	2,23	1,86	1,93	3,71
3,50	406	416,1	312,6	0,693	0,51	0,737	0,832	-0,23	-0,98	2,26	1,84	1,94	3,73
3,55	415,4	425,8	316,2	0,695	0,513	0,739	0,833	-0,25	-0,94	2,29	1,82	1,95	3,76
3,60	424,9	435,5	320	0,697	0,515	0,741	0,834	-0,27	-0,90	2,32	1,81	1,96	3,78
3,65	434,4	445,3	323,6	0,699	0,518	0,742	0,835	-0,28	-0,86	2,35	1,79	1,97	3,8
3,70	444,1	455,2	327,2	0,7	0,521	0,744	0,836	-0,29	-0,83	2,37	1,78	1,97	3,83
3,75	453,8	465,1	331	0,702	0,523	0,746	0,836	-0,30	-0,78	2,4	1,76	1,98	3,85
3,80	463,4	475	334,7	0,704	0,525	0,747	0,838	-0,31	-0,75	2,43	1,75	1,99	3,88
3,85	473,2	485	338,5	0,705	0,528	0,749	0,838	-0,32	-0,70	2,46	1,74	2	3,9
3,90	482,9	495	342,2	0,707	0,53	0,75	0,839	-0,33	-0,67	2,49	1,73	2,01	3,93
3,95	492,8	505,1	345,8	0,708	0,532	0,752	0,84	-0,33	-0,63	2,52	1,71	2,02	3,96
4,00	502,6	515,2	349,7	0,71	0,534	0,753	0,841	-0,34	-0,59	2,55	1,7	2,03	3,98
4,05	512,5	525,3	353,4	0,711	0,536	0,754	0,842	-0,34	-0,55	2,58	1,69	2,04	4,01
4,10	522,4	535,5	357,1	0,713	0,538	0,756	0,843	-0,35	-0,52	2,6	1,68	2,05	4,04

4,15	532,5	545,8	361,1	0,714	0,54	0,757	0,844	-0,35	-0,47	2,63	1,68	2,05	4,06
4,20	542,5	556,1	364,8	0,715	0,542	0,758	0,845	-0,35	-0,44	2,66	1,67	2,06	4,09
4,25	552,6	566,4	368,8	0,717	0,543	0,759	0,845	-0,35	-0,40	2,69	1,66	2,07	4,12
4,30	562,7	576,8	373	0,718	0,545	0,76	0,845	-0,35	-0,34	2,72	1,65	2,08	4,13

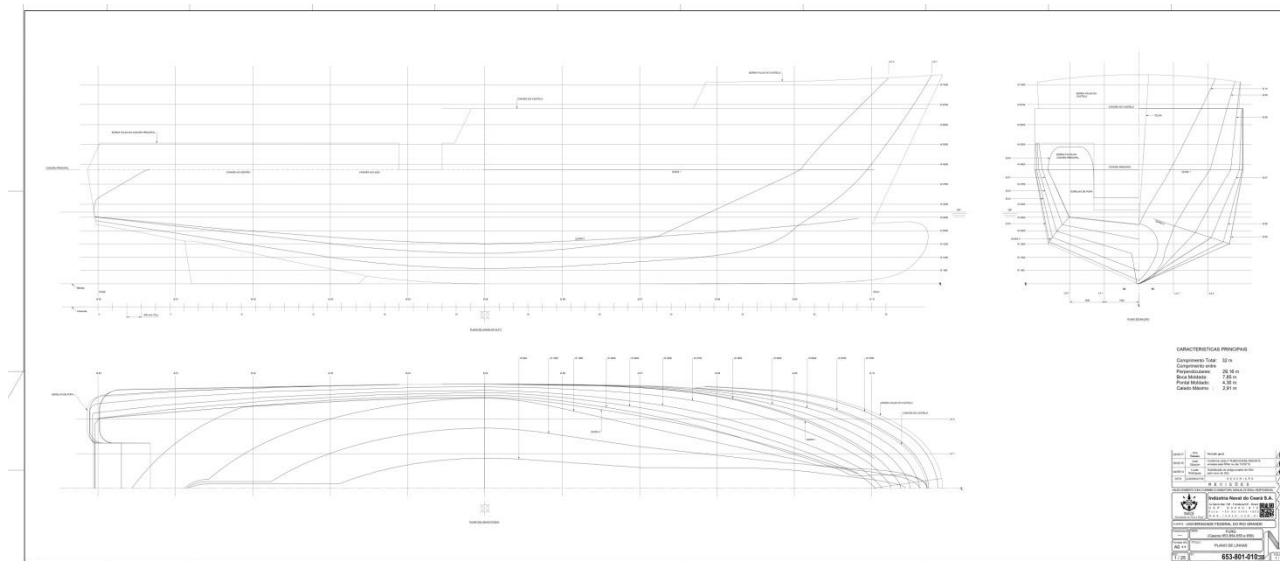
Fonte: INACE (2017)

ANEXO B: ARRANJO GERAL



Fonte: INACE (2017)

## ANEXO C: PLANO DE LINHAS



Fonte: INACE (2017)