

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

YAGO PETRY BUENO

PROJETO DE UM DIQUE FLUTUANTE PARA EMBARCAÇÕES DE RECREIO

Joinville
2018

YAGO PETRY BUENO

PROJETO DE UM DIQUE FLUTUANTE PARA EMBARCAÇÕES DE RECREIO

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval no curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville

Orientador: Luiz Eduardo Bueno Minioli Eng. Esp.

Joinville
2018

YAGO PETRY BUENO

PROJETO DE UM DIQUE FLUTUANTE PARA EMBARCAÇÕES DE RECREIO

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 21 de Novembro de 2018.

Prof. Dr. Eng. Luis Fernando Peres Calil
Coordenador de Curso

Banca Examinadora:

Prof. Eng. Esp. Luiz Eduardo Bueno Minioli
Presidente/Orientador

Prof. Dr. Eng. Andrea Piga Carboni
Membro

Prof. Dr. Eng. Thiago Pontin Tancredi
Membro

RESUMO

O setor náutico brasileiro apresenta diversas limitações na infraestrutura de apoio, como a falta de vagas e os altos valores cobrados. Uma possível solução é o desenvolvimento de um produto que aumente os possíveis locais de atracação do barco. Então, neste trabalho é elaborado o projeto preliminar de um dique flutuante para embarcações de recreio de até 2500 kg. O dique flutuante, também chamado de *Boat Lift*, atua como uma garagem náutica, facilitando trabalhos de limpeza e manutenção necessários, além de auxiliar na prevenção contra corrosões. Seguindo os níveis de TRL, o projeto se deu com uma análise de produtos semelhantes e baseando-se nas características do mercado no país, foi projetado e analisado (questões estruturais e de estabilidade) um dique flutuante, com comprimento total de 5,85 m, boca de 2,50 m, estrutura fabricada com uma liga de alumínio, e flutuadores comerciais.

Palavras-chave: Dique Flutuante. Náutica. Flutuadores. Análise Estrutural. Análise de Estabilidade. TRL.

ABSTRACT

The Brazilian nautical sector presents several limitations in the support infrastructure, such as the lack of vacancies and the high values charged. Because of this, a possible solution is the development of a product that increases the possible mooring places. So, in this work the design of a floating dock for boats up to 2500 kg is elaborated. The floating dock, also called as Boat Lift, would act as a nautical garage, facilitating necessary cleaning and maintenance work, as well as helping to prevent corrosion. Following the TRL levels, it's made in the project an analysis of similar products and based on the characteristics of the market in the country, a floating dam with a total length of 5.85 meters was designed and analyzed (structural and stability issues), width of 2.50 meters, structure fabricated with an aluminum alloy, and commercial log boom.

Keywords: Floating Dock. Nautical. Boat Lift. Log Boom. Structural Analysis. Stability Analysis. TRL.

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ - Densidade

V - Volume

a - Aceleração

g - Aceleração da gravidade

m - Massa

l - Parâmetro de comprimento

v - Parâmetro de velocidade

M - Massa

L - Comprimento

T - Tempo

Fr - Número de Froude

GM – Altura metacêntrica

GZ – Braço de endireitamento

CG – Centro de gravidade

VCG – Posição vertical do centro de gravidade

LCG – Posição longitudinal do centro de gravidade

M_{emb} – Momento de embocamento

M_{end} – Momento de endireitamento

$M_{p'}$ – Momento emborcador devido ao agrupamento de passageiros no bordo para o convés considerado

P – Peso de cada passageiro

N – Número de passageiros transportados no convés considerado;

$Y_{c'}$ – Distância do centroide da área ocupada pelos passageiros agrupados no convés considerado e a linha de centro

θ – Ângulo de inclinação da embarcação.

M_V – Momento emborcador devido ao vento de través

A – Área lateral exposta ao vento

h – Distância vertical entre o centro da área lateral exposta e um ponto correspondente a metade do calado médio na condição considerada

V – Velocidade do vento

M_G – Momento emborcador devido a guinadas

V_0 – Velocidade de serviço da embarcação

Δ - Deslocamento da embarcação na condição de carregamento considerada

KG– Altura do centro de gravidade acima da quilha

H – Calado médio na condição de carregamento analisada

L – Comprimento de linha d'água na condição de carregamento analisada

$\tau_{m\acute{a}x}$ – Máxima tensão cisalhante atuante;

$\tau_{resistente}$ – Tensão de escoamento cisalhante;

σ_1 – Tensão axial direção 1;

σ_3 – Tensão axial direção 3;

σ_e – Tensão de escoamento.

τ_{xy} – Tensão cisalhante atuante;

σ_{xx} – Tensão axial direção x;

σ_{yy} – Tensão axial direção y;

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições de Carregamento da NORMAM-02	16
Tabela 2 - Parâmetros (geométricos) em escala usando a lei de <i>Froude</i>	23
Tabela 3 - Parâmetros (fluidos) em escala usando a lei de <i>Froude</i>	23
Tabela 4 - Matriz de definição de importância de cada Critério.	26
Tabela 5 - Escala Fundamental.	27
Tabela 6 - Comparação das Soluções para Critério n.....	27
Tabela 7 - Matriz Síntese Modelo de exemplo.	27
Tabela 8 - Desenvolvimento do Projeto do Dique Flutuante.....	29
Tabela 9 - Características dos concorrentes.	32
Tabela 10 - Características dimensionais dos concorrentes.....	32
Tabela 11 - Características de Operação e Material dos concorrentes.	33
Tabela 12 - Embarcações dos Estaleiros do Rio Boat Show 2018.	34
Tabela 13 - Valores mínimos e máximos das Embarcações.	35
Tabela 14 - Embarcações nos Intervalos de Comprimento.	37
Tabela 15 - Embarcações nos Intervalos de Boca.	37
Tabela 16 - Características dos flutuadores.	38
Tabela 17 - Quantidade mínima de flutuadores.....	39
Tabela 18 - Matriz de Importância dos Critérios.....	40
Tabela 19 - Peso de cada Critério para escolha do Material.	41
Tabela 20 - Matriz Comparação no Critério de Custo.....	42
Tabela 21 - Matriz de Comparação Normalizada e o Valor de Eigen no Critério de Custo.....	42
Tabela 22 - Matriz Síntese Modelo do Projeto.....	42
Tabela 23 - Informações dos Testes Computacionais da Estrutura.....	45
Tabela 24 - Características da Liga de Alumínio 6061-T6.....	47
Tabela 25-Valores de Tensão nas Peças A e C.....	48
Tabela 26 - Valores de Tensão na Peça V.....	48
Tabela 27 - Condições de Carregamento da 1ª etapa.....	51
Tabela 28 - Valores dos Testes com Boca = 2,75m.....	52
Tabela 29 - Valores dos Testes com Boca = 3,10 m.	53
Tabela 30 - Valores para Condição Barco 5, variando o CG.....	54
Tabela 31 - Tripulante em um bordo para "Barco 5".....	55
Tabela 32 - Valores obtidos para caso do Barco 1.....	56

Tabela 33 - Valores obtidos para caso do Barco 5.....	57
Tabela 34 - Dimensões do casco (Modelo e Real).....	58
Tabela 35 - Dimensões do Dique Flutuante.	60
Tabela 36 - Parâmetros em Tamanho Real e do Modelo.	63
Tabela 37 - Ângulos de Inclinação para cada Distância.	64
Tabela 38 - Ângulos de Inclinação para Pesos Variados	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dique Flutuante.....	5
Figura 2 – Porcentagem de distribuição no comprimento de lanchas.....	7
Figura 3 - Marina da Glória (Joinville) com vagas lotadas.	9
Figura 4 - Lanchas em Trapiche Particular em Florianópolis.....	9
Figura 5 - Garagem Náutica - Marina Broa.	10
Figura 6 - Ubatuba late Clube.	11
Figura 7 – Turcos (semelhante a guindaste)	12
Figura 8 - Modelo com Flutuadores da Sunstream.....	13
Figura 9 - Modelo sem Flutuadores da Sunstream.....	13
Figura 10 - Estrutura flutuante <i>multipontoon</i>	14
Figura 11 - Estabilidade Transversal.....	15
Figura 12 - Critério de Estabilidade para Área 1.....	17
Figura 13 - Modelo hierárquico.	26
Figura 14 - Valores de Comprimento em relação ao Peso.	35
Figura 15 - Valores de Boca em relação ao Peso.	36
Figura 16 - Valores de Calado em relação ao Peso.	36
Figura 17 - Valores do Ângulo V do casco em relação ao Peso.....	37
Figura 18 - Exemplo de flutuante rotomoldado.....	38
Figura 19 - Modelo de flutuador LBC-600.	39
Figura 20 - Modelo Hierárquico do Projeto.....	40
Figura 21 - Desenho da Estrutura.	44
Figura 22 - Desenho do Dique Flutuante.....	44
Figura 23 - Esquema da simulação na peça A.	46
Figura 24 - Esquema da simulação na peça C.....	46
Figura 25 - Esquema da simulação na peça V.....	47
Figura 26 - Tensões na Peça A.....	49
Figura 27 - Tensões na Peça C.	49
Figura 28 - Tensões na Peça V.....	50
Figura 29 - Localização do Ponto de Referência (Zero pt.).	51
Figura 30 - Valores de GZ para as 7 condições de análise.	53
Figura 31 - Valores de GZ para "Barco 5" variando VCG.....	54
Figura 32 - Valores de GZ obtidos com tripulantes no bordo.....	55
Figura 33 - Valores de GZ com uma pessoa se movimentando para caso Barco 1.	56

Figura 34 - Valores de GZ com uma pessoa se movimentando para caso Barco 5.	57
Figura 35 - Casco utilizado para teste.	59
Figura 36 - Vista Lateral do Casco utilizado para teste.	59
Figura 37 - Impressora 3D, modelo mk2.	60
Figura 38 - Metade de um Flutuador Impresso.	61
Figura 39 - Modelo do Dique Montado.	61
Figura 40 - Esquema de Montagem dos Testes.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	OBJETIVOS	5
1.1.1	Objetivo Geral	5
1.1.2	Objetivos Específicos	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	MERCADO NÁUTICO	7
2.1.1	Marinas	8
2.1.2	Garagens Náuticas.....	10
2.1.3	lates Clubes	10
2.2	DIQUES FLUTUANTES	11
2.3	ESTABILIDADE	13
2.3.1	Estabilidade a pequenos ângulos.....	14
2.3.2	Critérios de estabilidade da NORMAM	16
2.4	ESTRUTURA	19
2.4.1	Critérios de falha estática	19
2.5	TESTE EM MODELO	20
2.5.1	Teste de inclinação	24
2.6	CORROSÃO	24
2.7	MÉTODO AHP	25
3	METODOLOGIA	28
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	31
4.1	LEVANTAMENTO DE PRODUTOS SEMELHANTES	31
4.2	EMBARCAÇÕES DENTRO DA CAPACIDADE DE OPERAÇÃO	33
4.3	FLUTUADORES	38
4.4	MATERIAIS DA ESTRUTURA	40

4.5	PROJETO ESTRUTURAL.....	43
4.5.1	Teste computacional da estrutura.	45
4.6	ANÁLISE DA ESTABILIDADE.....	50
4.6.1	Teste computacional	50
4.6.2	Fabricação do Modelo.....	58
4.6.3	Teste no modelo.....	62
5	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A.....	71
	APÊNDICE B.....	74
	APÊNDICE C.....	75
	APÊNDICE D.....	76
	APÊNDICE E.....	80

1 INTRODUÇÃO

O setor náutico no Brasil está presente ao longo dos 7.367 km de extensão do litoral e nos lagos, rios e lagoas do interior do país. Ele é composto por cerca de 70 mil embarcações, as quais podem ser divididas em veleiros e barcos com motor (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUTORES DE BARCOS - ACOBAR, 2012).

A ACOBAR (2012) relata em seu estudo que o grupo de embarcações com motor representa cerca de 80% do total da frota, é constituído por 60% de barcos com 16 pés até 26 pés de comprimento. E, de acordo com a análise das lanchas feita neste trabalho, essa maioria das embarcações com motor têm valores de deslocamento de até 2500 kg.

O setor conta, aproximadamente, com 480 estruturas de apoio náutico (marinas, iates clubes e garagens náuticas) em todo país, que comportam em torno de 46 mil embarcações, das quais 85% são de vagas secas e 15% de vagas molhadas, ou seja, faltam vagas para o total de embarcações existentes. O excesso de demanda pode ser um dos motivos para os altos preços, sendo o preço médio de R\$28,60/pé/mês para vagas secas e R\$26,50/pé/mês para molhadas (ACOBAR, 2012).

Uma alternativa ao uso das estruturas náuticas consiste em deixar a embarcação no domicílio do proprietário, dentro ou fora d'água. Ao mantê-la em contato com a água há maiores gastos com manutenção, devido a maior necessidade de limpeza do casco e peças em aço inoxidável, maior frequência de pintura do casco, e maiores cuidados devido à eletrólise (processo corrosivo).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa para o posicionamento de embarcações de recreio quando não estão em uso, um dique flutuante (Figura 1), uma estrutura que levanta a embarcação e o serve de berço, a partir da emersão e imersão da mesma.

Figura 1 – Dique Flutuante



Fonte: Sunstream Boat Lifts (2018).

Esse tipo de produto não é inédito no mercado náutico, possuindo algumas opções no mercado, porém todas são importadas, sendo uma boa oportunidade para um projeto nacional que leve em conta as particularidades do mercado brasileiro.

Um estudo de produtos semelhantes é importante para identificar os principais fatores a serem atendidos. Do ponto de vista construtivo e de operação são importantes cálculos estrutural e de estabilidade.

O desenvolvimento seguirá os níveis de TRL (do inglês, Níveis de Prontidão Tecnológica). O objetivo é alcançar um produto que atenda aos requisitos estruturais e hidrodinâmicos, de fácil operação, com o menor custo possível.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar o projeto preliminar de um dique flutuante para embarcações de recreio, do tipo lancha até 2500 kg.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Conhecer o mercado de diques flutuantes, identificando os modelos existentes;

- Definir as dimensões e a geometria do dique flutuante;
- Desenvolver o projeto estrutural e análise hidrostática;
- Alcançar nível 5 do TRL (do inglês, Níveis de Prontidão Tecnológica).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo introduz o referencial teórico utilizado neste trabalho. São apresentadas informações sobre setor náutico no país, conceitos sobre diques flutuantes, características pertinentes ao projeto de um dique, particularmente sobre a estabilidade e estrutura. E por fim, um tópico sobre a corrosão de estruturas em ambiente marinho.

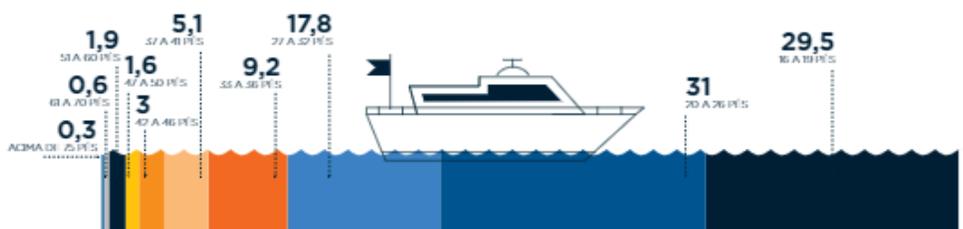
2.1 MERCADO NÁUTICO

O setor náutico abrange o conjunto de empresas, as quais vão desde a produção de embarcações, outras ligadas a manutenção e venda de peças, até os apoios náuticos (marinas, garagens náuticas e iates clubes). Sebrae (2014), afirma que a indústria do setor é uma poderosa fonte geradora de empregos e renda, fonte de inovação tecnológica, geração de divisas internacionais e de preservação do meio ambiente.

No ano de 2011, a indústria náutica mundial movimentou R\$ 83,4 bilhões, sendo composta de aproximadamente 4900 estaleiros, 200 fabricantes de motores, empregando aproximadamente 700 mil pessoas (CONSELHO INTERNACIONAL DE ASSOCIAÇÕES DA INDÚSTRIA MARINHA – ICOMIA, 2011).

São cerca de 70 mil embarcações de recreio no país, na qual são 84% lanchas e 16% veleiros. O maior grupo é formado por barcos com comprimentos maiores que 16 pés (60% deles com até 26 pés), como mostra Figura 2, e seus preços variam entre R\$ 60.000,00 e R\$ 120.000,00 (ACOBAR, 2012).

Figura 2 – Porcentagem de distribuição no comprimento de lanchas.



Fonte: ACOBAR (2012).

Há 480 estruturas de apoio náutico no país, gerando 46 mil de vagas para guardar os barcos, ou seja, um déficit de 24 mil em relação a quantidade total de embarcações. Essas vagas

estão distribuídas entre as marinas, garagens náuticas e iates clubes fazem parte dessas estruturas de apoio (ACOBAR, 2012).

2.1.1 Marinas

A maioria das marinas brasileiras são privadas, com o negócio similar a de um hotel, com o barco sendo tratado como hóspede. Oferecem para seus clientes vagas secas ou molhadas. As primeiras, cobertas em um nível ou verticalizadas até quatro níveis (empilhamento de barcos com *drystack*), dispõem ainda de doca de combustível, rampa, equipamentos de lançamento dos barcos mais sofisticados, estaleiro de serviços (ACOBAR, 2012).

Além disso, podem apresentar lojas, restaurantes, bares, lavanderia, escola de vela, base de *charter*, estacionamentos para veículos, hotelaria, residencial, alojamento e refeitório para marinheiros, e centro de eventos (ACOBAR, 2012).

Devido a questões de licenciamento, Almeida (2013) evidencia a falta de marinas em Santa Catarina, a demora na construção de novas apesar da demanda, tornando-se um gargalo no mercado de embarcações.

Além disso, são cobradas altas tarifas no aluguel de vagas. Esses altos preços, combinados com a falta de vagas, fazem com que proprietários de embarcações de todo país deixem seus barcos em poitas, trapiches particulares, em milhares de residências, nas baías abrigadas, rios, estuarinos e afins (ACOBAR, 2012).

Figura 3 - Marina da Glória (Joinville) com vagas lotadas.



Fonte: Fernandes (2011).

Figura 4 - Lanchas em Trapiche Particular em Florianópolis.



Fonte: Autor (2018)

2.1.2 Garagens Náuticas

Segundo ACOBAR (2012), garagens náuticas são pequenas estruturas, que oferecem vagas secas cobertas ou não, em galpões fechados ou abertos, para barcos com carreta própria. Suas instalações contêm rampas para os barcos, porém as vezes a praia em si já serve de rampa, um pequeno escritório com depósito, lanchonete e sanitários. Não apresentam posto de combustível próprio.

Muitas delas são apenas guarda-barcos, cuja saída e entrada das embarcações estão fortemente condicionadas ao nível da maré. Em geral, comportam poucos barcos, devido a isso, a receita não permite grandes investimentos na estrutura do local (ACOBAR, 2012).

Figura 5 - Garagem Náutica - Marina Broa.



Fonte: Broa (2018).

2.1.3 Iates Clubes

Em função da carência de vagas e atividades náuticas, muitos iates clubes conseguem sobreviver. Muitos fundados na década de 40, a maioria se desenvolve sem planejamento, foram ocupando os espaços conforme a necessidade e condição financeira de seus sócios, o que gera problemas no setor social e no fluxo operacional (ACOBAR, 2012).

Essas estruturas dispõem de vagas secas e/ou molhadas, doca de combustível, rampa, veleria, escola de vela, restaurante, salas de jogos, bares, lojas, área social, e estacionamento para veículos (ACOBAR, 2012).

Figura 6 - Ubatuba late Clube.



Fonte: Ilhabela (2018).

2.2 DIQUES FLUTUANTES

Segundo Gaythwaite (2004), diques flutuantes são estruturas que servem para elevar a seco embarcações, a partir da flutuação do dique, com a finalidade de construção, inspeção, manutenção e/ou reparo das mesmas. Suas dimensões variam com o tamanho da embarcação a ser elevada.

Para embarcações de recreio, o termo utilizado é *Boat Lift* (elevador de barcos, em português). No início dos anos 70, eles eram estruturas semelhantes a guindastes (Turcos) que içavam os barcos (Figura 7). Atualmente esses equipamentos foram substituídos por elevadores que suportam o barco, que podem ser divididos em dois grupos, quanto a estrutura utilizada para erguer o barco. Sendo eles com e sem flutuadores (LIFTS, 2018). Em geral, são utilizados em áreas abrigadas, como lagoas e lagos, com altura significativa de onde de 1,5 m.

Figura 7 – Turcos (semelhante a guindaste)



Fonte: Lifts (2018).

Sunstream (2006) lista as vantagens que o dique flutuante proporciona.

- Redução nos custos com manutenção;
- Prevenção contra corrosão;
- Versatilidade de docagem;
- Fácil acesso ao casco para limpeza e manutenção;
- Acesso imediato à água;
- Prevenção contra colisões da embarcação com a doca durante ondas ou mal tempo;

Como desvantagens do produto no Brasil pode-se listar:

- Processo de importação, pois não existem fabricantes nacionais;
- Custo de aquisição;
- Espaço para posicionar o dique;

Figura 8 - Modelo com Flutuadores da Sunstream.



Fonte: Sunstream (2018).

Figura 9 - Modelo sem Flutuadores da Sunstream.



Fonte: Sunstream (2018).

2.3 ESTABILIDADE

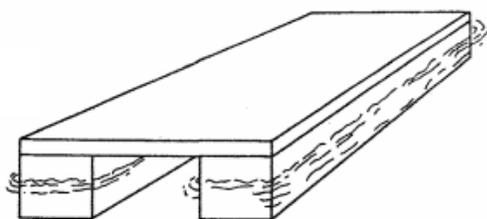
O estudo da estabilidade tem por finalidade garantir a integridade do sistema dique-embarcação, além da segurança de passageiros e cargas a bordo ou próximas ao conjunto.

De acordo com Molland (2008), o equilíbrio de um corpo flutuando em um líquido se dá quando há igualdade de intensidade da força aplicada pelo corpo no fluido com a força aplicada pelo fluido sobre o corpo, tendo direções opostas, respeitando o Princípio de Arquimedes.

Sendo a força aplicada pelo corpo igual ao seu peso (mg), concentrada no centro de massa (G), comumente conhecido como centro de gravidade. E a força aplicada pelo fluido, conhecida como empuxo (E), é a integral da pressão hidrostática atuando no volume submerso e está concentrada no centro de flutuação (B). Para o equilíbrio do corpo, essas forças devem ter mesma magnitude e estarem na mesma linha de ação, caso contrário haveria movimento (MOLLAND, 2008).

Gaythwaite (2004) cita que uma estrutura flutuante como a do dique proposto neste trabalho é analisada relacionando-a com um catamarã, apresentado na Figura 10. Com isso, foram discutidos os assuntos de estabilidade a pequenos ângulos e os critérios de estabilidade exigidos pelas Normas da Autoridade Marítima, a NORMAM.

Figura 10 - Estrutura flutuante *multipontoon*.

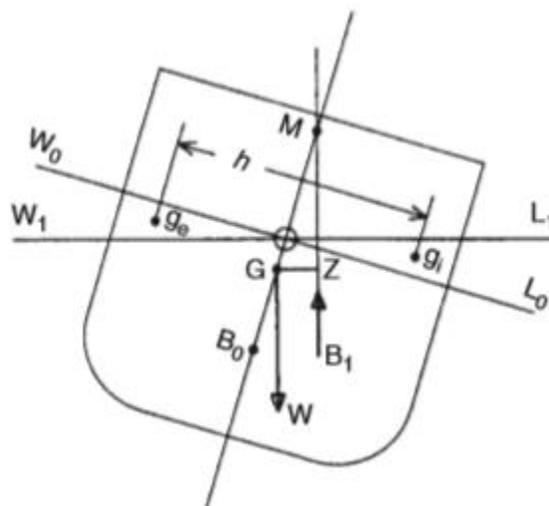


Fonte: Adaptado de Gaythwaite (2004).

2.3.1 Estabilidade a pequenos ângulos

Segundo Molland (2008), estabilidade a pequenos ângulos pode ser explicada a partir do corpo sendo inclinado por uma força externa, que depois é removida, demonstrado na Figura 11. Sendo W_0L_0 a posição inicial da linha d'água da embarcação, sem aplicação da força, e W_1L_1 a posição da linha d'água quando a embarcação é inclinada.

Figura 11 - Estabilidade Transversal



Fonte: Molland (2008).

Essa variação na inclinação não resulta em uma mudança no centro de gravidade (G), considerando que nenhum peso tem sua posição alterada, porém, o centro de flutuação varia de B_0 para B_1 , já que um volume W_0OW_1 sai da água e um volume igual entra na mesma, esse último representado por L_0OL_1 (MOLLAND, 2008).

Molland (2008) ainda explica que essa nova força de empuxo em B_1 age verticalmente e intersecta o eixo de simetria da embarcação em M, ponto chamado de metacentro, o qual é considerado fixo para pequenos ângulos de inclinação. Contudo, há um desalinhamento entre a força de empuxo e a força peso (W), ambas de mesma magnitude, essa distância é representada por GZ, e pode ser calculada pela Equação 1, sendo GM a altura metacêntrica. Onde GZ corresponde ao braço de endireitamento, e quando positivo, tende a retornar a embarcação à sua posição de equilíbrio inicial, por causa do Momento de Endireitamento presente no sistema nessa situação.

$$\text{Momento} = \Delta * GZ \quad (1)$$

$$GZ = GM * \text{sen}(\theta) \quad (2)$$

Com isso, Molland (2008) conclui que há três condições de equilíbrio possíveis para uma embarcação, são elas:

- Estável: no caso de M estar acima de G, assim, GM e GZ são positivos gerando um momento de restauração;
- Neutro: no caso de M e G coincidirem, não há momento agindo na embarcação;
- Instável: no caso de M estar abaixo de G, por consequência, GM e GZ são negativos.

2.3.2 Critérios de estabilidade da NORMAM

Para garantir a segurança das pessoas em embarcações ou estruturas flutuantes, organizações estabeleceram normas e critérios para estudo da estabilidade. Uma dessas normas é a Norma de Autoridade Marítima (NORMAM).

A NORMAM-02 (2005) estabelece normas para diversos aspectos relacionados ao escopo, de acordo com área de atuação, tipo de embarcação e transporte para abranger embarcações empregadas na navegação interior.

Na seção de estabilidade, ela exige a garantia da embarcação ser estável em diferentes condições de carregamento, as quais são situações a respeito do número de passageiros e quantidade de carga transportada, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições de Carregamento da NORMAM-02

Condição	Carga	Gêneros e Combustíveis	Passageiros	Situação
1	100%	100%	Lotação máxima	Partida
2	100%	10%	Lotação máxima	Retorno
3	0%	100%	Lotação máxima	-
4	0%	10%	Lotação máxima	-
5	100%	100%	Sem passageiros	Partida
6	100%	10%	Sem passageiros	Retorno

Fonte: Adaptado NORMAM-02 (2005).

A norma estabelece o peso do passageiro em sendo 75 kg, sua bagagem com 25 kg (podendo diminuir ou ser anulado, desde que haja justificativa válida) e estivada nos locais reservados. Sem as bagagens, os passageiros devem ser distribuídos de forma a produzir a condição mais desfavorável (NORMAM-02, 2005).

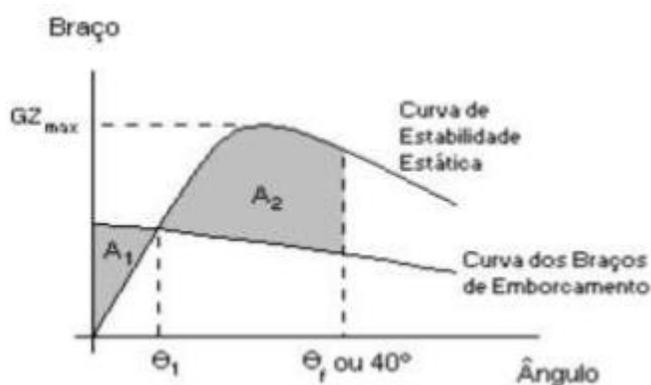
Essas condições de carregamento são usadas para gerar as Curvas de Estabilidade Estática, que contém todas as informações sobre a estabilidade de uma embarcação operando em um determinado calado ou deslocamento (MARTINS, 2010).

Para embarcações na área 1, a qual corresponde a áreas abrigadas, tais como lagoas, lagoas, baías, rios e canais, onde normalmente não sejam verificadas ondas com alturas significativas que não apresentem dificuldades ao tráfego das embarcações, e que é o proposta de atuação o dique flutuante, devem seguir os seguintes critérios de estabilidade na NORMAM:

1. O ângulo de equilíbrio estático da embarcação (θ_1), quando submetido a ação isolada do acúmulo de passageiros em um bordo, do vento, da manobra de giro ou do reboque (quando aplicável) deve ser menor ou igual ao ângulo de imersão do convés na condição de carregamento considerada ou 15° , o que for menor;
2. A área compreendida entre a curva de estabilidade estática e as curvas dos braços de emborcamento devido ao acúmulo de passageiros em um bordo, ao vento, a manobra de giro ou ao reboque (quando aplicável), até o ângulo de alagamento (θ_f) ou 40° , o que for menor, deverá ser maior ou igual que a área sob a curva dos braços de emborcamento antes da interseção com a curva de estabilidade estática;
3. A altura metacêntrica inicial (GM_0) deverá ser maior ou igual a 0,35 metros;
4. Ângulo de alagamento maior ou igual a 25° ; e
5. Braço de endireitamento máximo maior ou igual a 0,10 metros.

Alguns dos requisitos descritos podem ser identificados graficamente e são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Critério de Estabilidade para Área 1



Fonte: NORMAM-02 (2005).

A curva dos braços de emborcamento apresentada na Figura 12, é resultado da soma do braço de passageiros, vento e manobra. NORMAM (2005) define as equações para os cálculos dos momentos emborcadores devido agrupamento de passageiros em um bordo, ao vento de través, e a guinadas. Essas equações são apresentadas a seguir.

- O cálculo do momento emborcador devido ao agrupamento de passageiros em um bordo (M_{pr}) deve ser efetuado por intermédio da equação 3:

$$M_{pr} = P * N * Y_{c'} * \cos(\theta) \quad (3)$$

Onde:

M_{pr} – Momento emborcador devido ao agrupamento de passageiros no bordo para o convés considerado, em t.m;

P – Peso de cada passageiro, assumindo igual a 0,075 toneladas;

N – Número de passageiros transportados no convés considerado;

$Y_{c'}$ – Distância do centroide da área ocupada pelos passageiros agrupados no convés considerado e a linha de centro, em m; e

θ – Ângulo de inclinação da embarcação.

- O cálculo do momento emborcador devido ao vento de través (M_V) deve ser efetuado por intermédio da equação 4:

$$M_V = 5,48 * 10^{-6} * A * h * V^2 * [0,25 + 0,75 * \cos^3(\theta)] \quad (4)$$

Onde:

M_V – Momento emborcador devido ao vento de través, em t.m;

A – Área lateral exposta ao vento, em m²;

h – Distância vertical entre o centro da área lateral exposta e um ponto correspondente a metade do calado médio na condição considerada, em m;

V – Velocidade do vento, em km/h; e

θ – Ângulo de inclinação.

- O cálculo do momento emborcador devido a guinadas (M_G) deve ser efetuado por intermédio da equação 5:

$$M_G = \frac{[0,02*V_0^2*\Delta*(KG - (H/2))]}{L} \quad (5)$$

Onde:

M_G – Momento emborcador devido a guinadas, em t.m;

V_0 – Velocidade de serviço da embarcação, em m/s;

Δ - Deslocamento da embarcação na condição de carregamento considerada, em t;

KG– Altura do centro de gravidade acima da quilha, em m;

H – Calado médio na condição de carregamento analisada, em m; e

L – Comprimento de linha d'água na condição de carregamento analisada, em m.

Para o cálculo do braço de emborcamento, deve-se dividir os Momentos Emborcadores pelo deslocamento da embarcação nas condições analisadas.

2.4 ESTRUTURA

Após estudar aspectos importantes sobre estabilidade, serão apresentados alguns a respeito da parte estrutural do projeto.

Hibeller (2009) define estrutura como sendo uma conexão de partes, que deve sustentar uma carga. No projeto de uma estrutura com determinada finalidade, o engenheiro deve levar em consideração a estética, funcionalidade, restrições econômicas e ambientais, e a segurança.

Nos projetos de engenharia, faz-se necessário estudar a intensidade das tensões atuantes, para então comparar com as características de um material e definir se haverá ou não sua falha, em caso positivo, altera-se o material ou dimensões da estrutura.

2.4.1 Critérios de falha estática

Com a finalidade de determinar se haverá falha ou não do material, a partir de um estado de tensões, eles são diferentes para materiais frágeis e dúcteis. Para o primeiro, os critérios mais comuns são: Critério de Rankine ou de Coloumb, e o Critério de Mohr. Já para os dúcteis, são: Critério de Tresca e Critério de von Mises (HIBBELER, 2009).

Nesse projeto, os materiais utilizados na estrutura são dúcteis, cuja falha frequentemente acontece quando a estrutura entra em regime de escoamento, então os critérios de falha a serem utilizados são:

- Critério de Tresca (tensão da máxima tensão cisalhante):

$$\tau_{m\acute{a}x} = \tau_{resistente} \quad (6)$$

$$|\sigma_1 - \sigma_3| \leq \sigma_e \quad (7)$$

Onde:

$\tau_{m\acute{a}x}$ – Máxima tensão cisalhante atuante;

$\tau_{resistente}$ – Tensão de escoamento cisalhante;

σ_1 – Tensão axial direção 1;

σ_3 – Tensão axial direção 3;

σ_e – Tensão de escoamento.

- Critério de von Mises (teoria da máxima energia de distorção):

$$\sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \leq \sigma_e \quad (8)$$

Onde:

τ_{xy} – Tensão cisalhante atuante;

σ_{xx} – Tensão axial direção x;

σ_{yy} – Tensão axial direção y;

σ_e – Tensão de escoamento.

2.5 TESTE EM MODELO

O uso de diferentes métodos de análise é importante para a precisão das estimativas, devido às suas diferentes restrições e hipóteses. Os modelos físicos em escala tentam representar o sistema real o mais fiel possível. Para assegurar uma similaridade no comportamento do modelo para com o real, é necessário estabelecer um fator de escala (STEEN, 2012).

O resultado dos testes está diretamente ligado ao fator de escala utilizado. Segundo Bedin (2016), haverá mais precisão nos resultados com um modelo maior, porém, a estrutura física necessária para os experimentos também será maior.

Além da importância do fator de escala, o teste tem que ser acompanhado de métodos que permitam a transferência das medidas físicas no modelo para a escala real de projeto. Para isso, três condições básicas precisam ser atendidas (KIRK, 2018):

- Similaridade Geométrica;
- Similaridade Cinética;
- Similaridade Dinâmica.

Segundo Chakrabarti (1999), a **similaridade geométrica** (ou de forma) é a mais óbvia, quando se aplica um fator de escala (λ) em todas as dimensões lineares para converter o projeto para um modelo. Qualquer comprimento na escala real L_S vai ser λ vezes o comprimento correspondente no modelo L_M . De forma análoga, para as áreas utiliza-se λ^2 e para os volumes λ^3 .

$$\lambda = \frac{L_S}{L_M} \quad (9)$$

Essa razão não se aplica apenas à estrutura, como também para o ambiente entorno do projeto, o que pode dificultar a semelhança (STEEN, 2012).

Na **semelhança cinética**, as proporções entre velocidades e acelerações devem ser iguais entre real e modelo.

A **semelhança dinâmica** existe entre sistemas cinemáticos e geométricos semelhantes se a proporção de contribuição de todas as forças (pressão, gravidade, viscosidade, tensão superficial e elasticidade) no modelo e no real são iguais.

A proporção entre as forças de inércia e de gravidade que atuam sobre um fluido é definida pelo número de *Froude*, já a proporção entre as forças de inércia e viscosas é chamada de número de *Reynolds*. Sendo o primeiro, considerado melhor critério de escala em ensaio de estruturas flutuantes (CHAKRABARTI, 1999).

$$Fr^2 = \frac{\text{Força de inércia}}{\text{Força de gravidade}} = \frac{ma}{mg} = \frac{\rho Va}{\rho Vg} = \frac{\rho l^4/t^2}{\rho gl^3} = \frac{L}{MT^2} \quad (10)$$

Pelo que se define o número de *Froude*:

$$Fr^2 = \frac{v^2}{gl} \rightarrow Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}} \quad (11)$$

Onde ρ é a densidade [kg/m^3], V é volume [m^3], a é aceleração [m/s^2], g é aceleração da gravidade [m/s^2], m é a massa [kg], l é um parâmetro de comprimento [m], e v é parâmetro de velocidade [m/s].

Ao considerar a escala com o modelo de *Froude*, existe uma relação entre os parâmetros em escala real para escala do modelo. Na tabela, são apresentados os parâmetros mais comuns baseados no sistema internacional de unidades M-L-T (do inglês, Massa-Comprimento-Tempo).

Tabela 2 - Parâmetros (geométricos) em escala usando a lei de *Froude*.

Variável	Unidade	Fator de escala
--Geométrica--		
Comprimento	L	λ
Área	L^2	λ^2
Volume	L^3	λ^3
Radio de giração	L	λ
Área do Momento de inercia	L^4	λ^4
Massa do momento de inercia	ML^2	λ^5
Centro de gravidade	L	λ
--Cinemática e Dinâmica--		
Tempo	T	$\lambda^{1/2}$
Deslocamento	L	λ
Velocidade	LT^{-1}	$\lambda^{1/2}$
Aceleração	LT^{-2}	1
Velocidade Angular	T^{-1}	$\lambda^{1/2}$
Aceleração Angular	T^{-2}	λ^{-1}
Deslocamento Angular	Não*	1
Momento	MLT^{-1}	$\lambda^{7/2}$
Momento Angular	M^2LT^{-1}	$\lambda^{9/2}$
Torque	M^2LT^{-2}	λ^4
Força	M^2LT^{-2}	λ^3
Potência	M^2LT^{-3}	$\lambda^{1/2}$
--Estática--		
Rigidez	M^3LT^{-2}	λ^5
Tensão	M^1LT^{-2}	λ
Momento	M^2LT^{-2}	λ^4
Cisalhamento	MLT^{-2}	λ^3
Modulo de seção	L^3	λ^3

Fonte: Adaptado de Chakrabarti (1999).

Tabela 3 - Parâmetros (fluidos) em escala usando a lei de *Froude*.

Variável	Unidade	Fator de escala
--Mecânica de ondas--		
Comprimento de onda	L	λ
Período da Onda	T	$\lambda^{1/2}$
Altura da Onda	L	λ
Celeridade	LT^{-1}	$\lambda^{1/2}$
Elevação da onda	L	λ
Pressão da onda	$ML^{-1}T^{-2}$	λ
--Estabilidade--		
Deslocamento (volume)	L^3	λ
Período natural	T	$\lambda^{1/2}$
Metacentro	L	λ
Centro de flutuação	L	λ^3
Volume leve	L^3	λ^3
--Propriedades dos Materiais--		
Densidade	MLT^{-3}	1
Modulo de elasticidade	$ML^{-1}T^{-2}$	λ
Modulo de rigidez	$ML^{-1}T^{-2}$	λ

Fonte: Adaptado de Chakrabarti (1999).

2.5.1 Teste de inclinação

Neste item será apresentado um procedimento para determinar a altura metacêntrica inicial (GM_0) do sistema, que consiste em movimentar uma carga a bordo, de peso conhecido (w), perpendicularmente na linha de centro do sistema a uma distância (d) registrada, provocando um ângulo de banda (θ) em relação a posição inicial (MARTINS, 2010).

A partir desse ângulo, chega-se no valor de GM utilizando as equações a seguir.

$$M_{emb} = w * d * \cos(\theta) \quad (12)$$

$$M_{end} = \Delta * GM * \text{sen}(\theta) \quad (13)$$

Em sendo, M_{emb} o momento de emborcamento, M_{end} o momento de endireitamento. Igualando os dois momentos, considera-se que o sistema estará em equilíbrio, e então o valor de GM é determinado experimentalmente.

$$GM = \frac{w*d}{\Delta*\tan(\theta)} \quad (14)$$

O teste ainda pode determinar o KG do sistema, ao determinar os valores de KB e BM a partir da geometria submersa inicial.

$$KG = KB + BM - GM \quad (15)$$

2.6 CORROSÃO

Um dos benefícios do uso do *Boat Lift* é a prevenção contra a corrosão sofrida pelas embarcações quando em contato de longa duração com o ambiente marinho (SUNSTREAM, 2006).

A corrosão é definida como a alteração das propriedades do material devido à uma ação química ou eletroquímica do meio ao qual ele está inserido, em união ou não a esforços mecânicos. Essa modificação, geralmente, ocorre de forma espontânea, cuja consequência é

uma constante transformação que diminui a durabilidade e o desempenho, sendo assim, o material deixa de satisfazer os propósitos a que foram projetados (GENTIL, 1996).

No meio marinho, muitos fatores intensificam a corrosão, dentre eles estão a salinidade e o pH da água, gases dissolvidos, depósitos calcários, temperatura, profundidade e velocidade na qual o material está atuando, incrustações e a resistividade da água (PHULL; ABDULLAHI, 2010).

O meio aquoso em uma estrutura metálica facilita a eletrólise, cuja definição pode ser dada como a degradação da superfície do metal, submetido pelo meio a atuar como ânodo (GENTIL, 1996). A água do mar é um eletrólito (solução que permite a passagem de elétrons) por excelência, devido a quantidade de sais presentes em sua composição (FREITAS JUNIOR, 2017).

O processo de corrosão se dá quando dois metais estão na mesma solução eletrolítica e uma corrente é introduzida na mesma, o que tem grande ocorrência em marinas devido a concentração de barcos atracados (GOUK, 2018). O ânodo é consumido pela oxidação, perdendo massa, e afetando as propriedades mecânicas do sistema estrutural que ele está contido (GENTIL, 1996).

Outro fator corrosivo é a bioincrustação, como já mencionado, que corresponde a toda matéria viva que adere a superfícies em contato com ambiente marítimo, mais frequente em superfícies estacionárias. Esses organismos podem ser divididos em microincrustação (bactérias, diatomáceas e substâncias viscosas por elas produzidas), também chamado de biofilme, ou macroincrustação, organismos multicelulares como: cracas, moluscos, ostras e algas marinhas (PHULL; ABDULLAHI, 2010).

Como consequência da bioincrustação, têm-se o aumento de peso e rugosidade superficial do casco, com isso, aumento na resistência ao avanço da embarcação e no consumo de combustível da mesma. Além de causar danos no gel coat provocando seu empelotamento, processo também conhecido como osmose (YEBRA; KIIL; DAM-JOHANSEN, 2004).

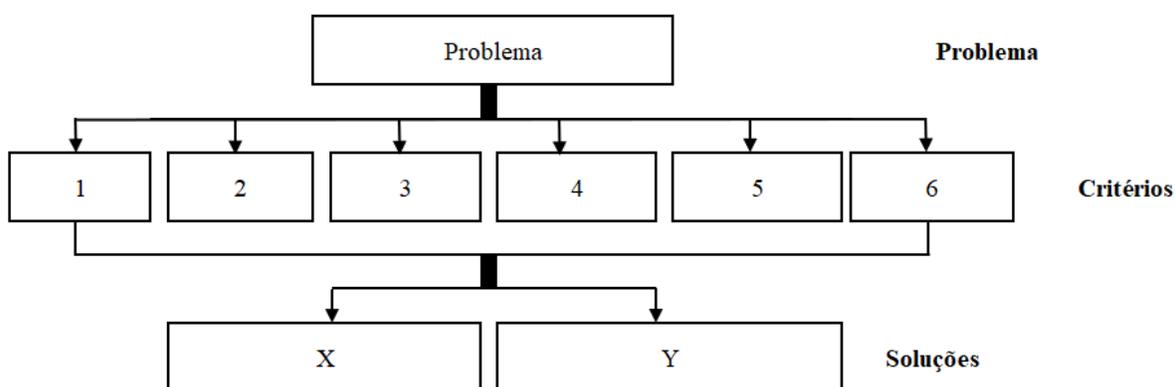
2.7 MÉTODO AHP

O Método AHP (do inglês, Método da Análise Hierárquica) é um processo racional para modelar um problema, representando e quantificando as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferências (pesos). O resultado é um modelo que permite analisar várias alternativas e as compará-las rapidamente, por isso conhecido como um método de decisão e para justificar a decisão (PEREYRA-ROJAS, 2017).

Há cinco etapas nesse método, sendo elas:

- Modelo hierárquico de Problema-Critérios-Soluções, apresentado na Figura 13;
- Definir as prioridades (pesos) de cada critério, com uma matriz de importância linha por coluna, preenchida com os valores da escala fundamental, definida na Tabela 5 - Escala fundamental.;
- Comparar as soluções em cada critério, utilizando a mesma escala de valores a partir de uma análise qualitativa, discriminado na Tabela 6 - Comparação das soluções para critério n.;
- Fazer a Síntese do Modelo, ao combinar o peso de cada critério com o peso da solução, e somar todos produtos de cada solução;
- Tomar uma decisão com base na Síntese do Modelo.

Figura 13 - Modelo hierárquico.



Fonte: Adaptado de Pereyra-Rojas (2017).

Tabela 4 - Matriz de definição de importância de cada critério.

	1	2	3	4	5	6
1	1					
2		1				
3			1			
4				1		
5					1	
6						1

Fonte: Adaptado de Pereyra-Rojas (2017).

Tabela 5 - Escala fundamental.

Escala Fundamental (Linha x Coluna)	
Extremamente menos importante	1/9
Muito fortemente menos importante	1/7
Fortemente menos importante	1/5
Moderadamente menos importante	1/3
Importância igual	1
Moderadamente mais importante	3
Fortemente mais importante	5
Muito fortemente mais importante	7
Extremamente mais importante	9

Fonte: Adaptado de Pereyra-Rojas (2017).

Tabela 6 - Comparação das soluções para critério n.

Critério n	X	Y
X	1	
Y		1

Fonte: Adaptado de Pereyra-Rojas (2017).

As matrizes de definição de importância e comparação entre as soluções são normalizadas. Em seguida, é feita a soma dos valores de uma mesma linha e esse é dividido pelo número de colunas. Por fim, esse valor, também chamado de Valor de Eigen, é considerado como o peso do critério ou solução que é inserido na matriz de Síntese do Modelo.

Tabela 7 - Matriz síntese modelo de exemplo.

	1	2	3	4	5	6	Soma
X	0,1						0,03
Y	0,4						0,12
Pesos	0,3						

Fonte: Adaptado de Pereyra-Rojas (2017).

3 METODOLOGIA

Apresentada a fundamentação teórica para os processos e métodos utilizados no desenvolvimento desse trabalho, agora será descrita a metodologia utilizada, que condiz com o processo de projeto, as técnicas e ferramentas utilizadas em cada uma das tarefas.

A metodologia foi acompanhada de uma verificação do estágio em que o projeto se encontra, para isso, foi utilizada a ferramenta TRL (*Technology Readiness Levels*), ou Níveis de Prontidão Tecnológica, apresentada pela NASA (do inglês, Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço), que de acordo com Mankins (1995) serve como uma medição sistemática que auxilia na avaliação da maturidade de uma tecnologia particular e a comparação da prontidão entre diferentes tipos de tecnologia.

A Tabela 8 lista os TRL's que compoem o projeto mostrando o desenvolvimento e as etapas do processo.

Tabela 8 - Desenvolvimento do Projeto do Dique Flutuante.

NÍVEL DE MATURIDADE				
TRL	DESCRIÇÃO	ATIVIDADE	OBJETO (FOCO)	DIQUE FLUTUANTE
1	Princípios básicos observados e reportados (O que já foi feito, observado e definido)	Levantamento bibliográfico	Comportamento, características e propriedades essenciais	Estudo dos concorrentes Estudo dos fornecedores
2	Formulação de conceitos tecnológicos e/ou de aplicação	Levantamento bibliográfico e simulações	Princípios físicos da aplicação	Simulação de operação
3	Estabelecimento de função crítica de forma analítica ou experimental e/ou prova de conceito	Verificação das premissas do TRL 2	Funções críticas dos componentes individuais	Teste de funcionalidade
4	Validação funcional dos componentes em ambiente de laboratório	Validação; Levantamento; Simulação.	Funcionalidades básicas da tecnologia; Requisitos gerais para aplicação final.	Desenvolvimento do modelo em escala
5	Validação das funções críticas dos componentes em ambientes relevantes	Validação	Funcionalidades básicas da tecnologia; Requisitos gerais para aplicação final.	Teste com embarcação modelo (DUNA)
6	Demonstração de funções críticas do protótipo em ambiente relevante	Simulação; Demonstração	Desempenho da tecnologia e viabilidade de fabricação	Produção do protótipo piloto em escala demonstrativa e simulação
7	Demonstração de protótipo do sistema em ambiente operacional	Demonstração	Cumprimento dos requisitos operacionais e especificações	Produção do protótipo piloto em escala real e avaliação do seu desempenho
8	Sistema qualificado e finalizado	Qualificação	Finalizar projeto	Qualificação do produto final pelo órgão responsável
9	Sistema operando e comprovado em todo os aspectos de sua missão operacional	Comercialização	Vender o produto	Comercialização

Fonte: Autor (2018).

São 3 fases de projeto, representada pelas cores da Tabela 8, a primeira é de desenvolvimento de um conceito do produto, a próxima é a validação desse conceito em escala. E a última trata-se da fabricação do produto, testes em escala real e a comercialização.

Como parte do TRL 1, o desenvolvimento se inicia com o levantamento de produtos semelhantes, para melhor entendimento das características relevantes a serem consideradas no projeto, na qual foi feita por meio da pesquisa nos sites de fabricantes e troca de correspondência eletrônica com os mesmos.

A partir desses dados, o TRL 2 começa com o desenvolvimento do conceito do produto e definição de alguns requisitos de projeto. Em sequência, um levantamento das embarcações que estão dentro da capacidade do dique foi realizado, para então definir algumas dimensões do produto. Nessa fase é feita a seleção dos flutuadores de um fornecedor.

Na etapa seguinte, o material para fabricação é determinado como consequência da realização de uma matriz AHP. Com isso, definiu-se as dimensões da estrutura, que foi modelada com auxílio do software *Solidworks*.

Finalizada a modelagem do produto, a TRL 3 começa com as análises estruturais e de estabilidade, utilizando o método de elementos finitos implementado no *Abaqus* e simulação do cálculo de estabilidade no *Maxsurf Stability*, respectivamente. Os dados provenientes desses estudos foram comparados com critérios de falha estrutural e a NORMAM-02 como validação do produto. Em caso de não concordância com esses parâmetros, uma nova iteração será realizada.

Terminada a etapa de testes computacionais, um modelo em escala reduzida foi construído com uma impressora 3D (TRL 4), e testes de estabilidade realizados utilizando um casco construído para participar do Desafio Universitário de Nautidesign (DUNA), com auxílio do programa Arduino IDE na captação dos dados.

Ao validar a estabilidade do modelo, o presente trabalho se encerra no TRL 5.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo, as etapas descritas na metodologia serão apresentadas, de forma a realizar o projetopreliminar de um dique flutuante.

Ao fim das etapas, é fundamental atender os requisitos do cliente:

- Versatilidade no local de atracação;
- Baixo Custo (orçamento limitado);
- Capacidade de atender embarcações de até 2500kg de deslocamento;
- Utilização em água doce e salgada;

O ambiente de utilização vai influenciar na escolha dos materiais a serem utilizados, devido a questões como corrosão e manutenção.

O peso e as dimensões da embarcação que será colocada no dique interfere nas dimensões necessárias do produto, além de determinar a abrangência de mercado que o dique alcançará. Por fim, o local de atracação afeta as dimensões (tamanho de uma vaga molhada em marinas) e o modo de operação, no uso de bombas de porão ou *Boat lifts* apenas estruturais que limitariam a atracação a pontos próximos de trapiches, já o uso de flutuadores permite colocar o sistema dique/barco em poitas.

4.1 LEVANTAMENTO DE PRODUTOS SEMELHANTES

Analisar os produtos já existentes no mercado é fundamental para melhor entendimento, compreendendo as características de cada um, as possibilidades de diferenciação, e com isso, enxergar pontos de possível evolução.

Assim, foram pesquisadas sete fabricantes de *boat lifts*, com um total de doze diferentes modelos. Os atributos analisados foram: método de elevação, preço, capacidade de elevação, número de flutuadores, profundidade de operação, dimensões, velocidade de operação, sistema de acionamento e materiais utilizados na fabricação.

Foram encontradas apenas empresas de fora do Brasil, o que limitou o estudo à informações dos endereços eletrônicos das empresas e troca de *e-mails* com as mesmas, porém revela que há espaço no mercado nacional para o produto, caso seu preço e qualidade final seja competitivo.

Observa-se na Tabela 9, que o método mais utilizado de elevação é o uso flutuadores, os quais são preenchidos e esvaziados de água a partir de uma bomba (Tabela 11). Os materiais utilizados são predominantemente o alumínio e o aço galvanizado. Em geral, os modelos precisam de uma doca ou píer para fixação, com exceção do Floatlift 6012 e o High and Dry. Todos têm uma caixa de controle, que funcionam com uma chave ou controle remoto. E ajuste da distância entre as barras que apoiam a embarcação.

Tabela 9 - Características dos concorrentes.

Item	Modelo	Empresa	País	Método	Preço (USD)*	Capacidade de elevação (kg)	Tanques
1	Floatlift - FL6012	Sunstream	EUA	Flutuadores	\$ 15.000,00	2722	4
2	Sunlift - SL6012AR			Estrutura	NI	2722	Inexistente
3	Harborhoist	Hydrohoist	EUA	Flutuadores	\$ 13.249,00	2993	6
4	Ultralift 2			Flutuadores	\$ 7.931,00	2993	2
5	Ultralift 2			Flutuadores	NI	2993	3
6	UL2 Front Mount			Flutuadores	\$ 7.452,00	2993	2
7	Cruising - M320	Airberth	Austrália	Flutuadores	\$ 15.000,00	3200	2
8	High and Dry	High and Dry	África do Sul	Flutuadores	\$ 18.000,00	3200	2
9	L-arm RH 7210	Rhinolift	EUA	Flutuadores	NI	3200	2
10	SW 7212			Flutuadores	NI	3200	3
11	RH 4068-21FM			Flutuadores	NI	3200	2
12	6000	Bottomsup	EUA	Flutuadores	NI	2772	2
13	6K	Noprofile	EUA	Estrutura	\$ 34.400,00	2772	Inexistente

NI = não informado

*valor sem taxas de frete e importação

Fonte: Autor (2018).

Tabela 10 - Características dimensionais dos concorrentes.

Item	Modelo	Profundidade de operação (m)	Comprimento lift (m)	Boca lift (m)	Peso lift (kg)	Velocidade imersão (s)	Boca Barco (m)
1	Floatlift - FL6012	Calado + 0,31	6,1	3,16	590	18	2,6
2	Sunlift - SL6012AR	0,43	3,81	3,04	297	35	NI
3	Harborhoist	Calado + 0,61	5,13	Ajustável	NI	NI	Ajustável
4	Ultralift 2	1,5	4,37	NI	NI	NI	NI
5	Ultralift 2	1,22	4,37	NI	NI	NI	NI
6	UL2 Front Mount	2,38	Customizado	Customizado	NI	NI	NI
7	Cruising - M320	NI	NI	NI	NI	NI	NI
8	High and Dry	1,3	6	Varia	NI	180-480	NI
9	L-arm RH 7210	1,37	4,87	NI	NI	NI	NI
10	SW 7212	Calado + 0,56	5,48	NI	NI	NI	NI
11	RH 4068-21FM	1,37	6,4	NI	NI	NI	NI
12	6000	NI	NI	NI	NI	NI	NI
13	6K	NI	9,14	4,26	NI	1.37/min	NI

NI = não informado

Fonte: Autor (2018).

Tabela 11 - Características de Operação e Material dos concorrentes.

Item	Modelo	Operação		Material
1	Floatlift - FL6012	Controle remoto	Bomba hidráulica	Aluminio
2	Sunlift - SL6012AR	Controle remoto	NI	Aluminio
3	Harborhoist	Caixa de controle - 3 botões	Bomba de ar	Aluminio
4	Ultralift 2	Caixa de controle - Chave + botão	Bomba de ar	Aço galv.
5	Ultralift 2	Caixa de controle - Chave + botão	Bomba de ar	Aço galv.
6	UL2 Front Mount	Caixa de controle - Chave + botão	Bomba de ar	Aço galv.
7	Cruising - M320	Caixa de controle portatil	Bomba de ar	NI
8	High and Dry	Blower box	Bomba de ar	Fibra de vidro
9	L-arm RH 7210	Rhino Control Unit	NI	Aço galv.
10	SW 7212	Rhino Control Unit	NI	Aço galv.
11	RH 4068-21FM	Rhino Control Unit	NI	Aço galv.
12	6000	NI	NI	Aluminio
13	6K	Unidade de controle	Cabo	Aluminio

NI = não informado

Fonte: Autor (2018).

Os preços apresentados na Tabela 9, demonstram que o requisito do cliente de um custo igual a R\$20.000,00 faria o projeto competitivo no mercado nacional, em função da conversão da moeda (US\$1,00 = R\$3,76; no momento da realização desse trabalho) e das taxas adicionais de frete e importação.

4.2 EMBARCAÇÕES DENTRO DA CAPACIDADE DE OPERAÇÃO

Após analisar o mercado, entender as características dos diferentes modelos e verificar que não há concorrentes nacionais, são indicadores de relevância da execução desse projeto.

Então, o passo seguinte foi fazer um estudo das embarcações que poderiam utilizar o dique. Para isso, foram analisadas as embarcações de estaleiros nacionais e internacionais que expuseram no Rio Boat Show 2018 (Tabela 12). Ou seja, verificou-se as características dos barcos de até 2500 kg.

Tabela 12 - Embarcações dos Estaleiros do Rio Boat Show 2018.

Estaleiro	Barcos com até 2500kg
Manga	2
Evolve	2
Triton	3
Ventura Marine	4
Fibrafort	8
Royal Mariner	1
Sea Gold	1
Mestra Boats	1
Coral	6
Arthmarine	1
FS Yachts	3
Boreas Boats	1
Máxima Yachts	1
NX	3
NHD	2
Fibrasmar	1
Total:	40

Fonte: Autor (2018)

Como pode ser visto, 40 embarcações têm o peso leve dentro da capacidade de elevação do produto. Desses barcos, diversas características foram levantadas, como as dimensões principais, peso leve e ângulo de *deadrise* das embarcações. Para o cálculo do peso total da embarcação, somou-se ao peso leve informado pelos fabricantes, o peso em combustível e em água doce, a partir dos volumes dos tanques de cada embarcação, além do peso do motor de cada.

Outro resultado do levantamento foram as potências mínimas e máximas possíveis para cada barco, considerou-se dois pesos totais, um máximo e um mínimo, pois os estaleiros pesquisados comercializam as embarcações com várias possibilidades de motorização.

$$P_{total,máximo} = P_{leve} + P_{água} + P_{combustível} + P_{motor,máximo} \quad (16)$$

$$P_{total,mínimo} = P_{leve} + P_{água} + P_{combustível} + P_{motor,mínimo} \quad (17)$$

Os dados de todas as embarcações estão no APÊNDICE A: **Informações das embarcações estudadas**. Na Tabela 13 estão os valores mínimos e máximos de cada característica, excluído aqueles que os pesos totais deram acima de 2500 kg. O volume de tanque de água estão no intervalo de 50 e 200 litros, do tanque de combustível observa-se valores entre 120 e 330 litros, e a potência de motorização variam entre 90 e 220 hp.

Para melhor visualização desses dados, eles foram colocados em gráficos, apresentados nas Figura 14 aFigura 17), relacionando as dimensões com o peso, traçando uma linha limite no valor igual a 2500 kg.

Tabela 13 - Valores mínimos e máximos das Embarcações.

	Valor mínimo	Valor máximo
L (m)	4,86	8,41
B (m)	1,9	2,72
T (m)	0,28	0,75
Âng. V popa(°)	14°	21°
Peso Total mín.(kg)	612,42	2500,00
Peso Total máx.(kg)	636,42	2500,00

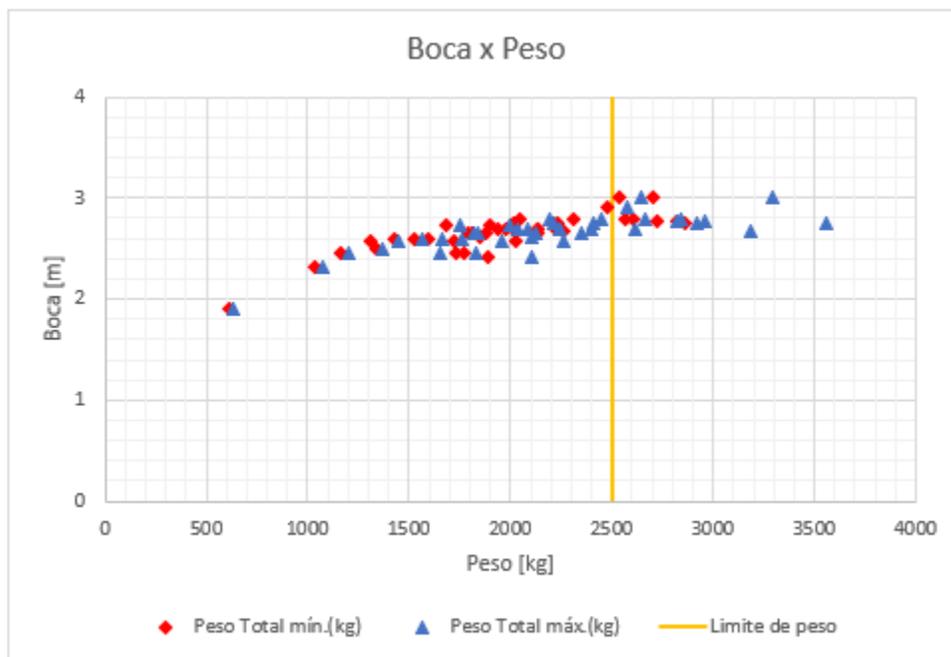
Fonte: Autor (2018).

Figura 14 - Valores de Comprimento em relação ao Peso.



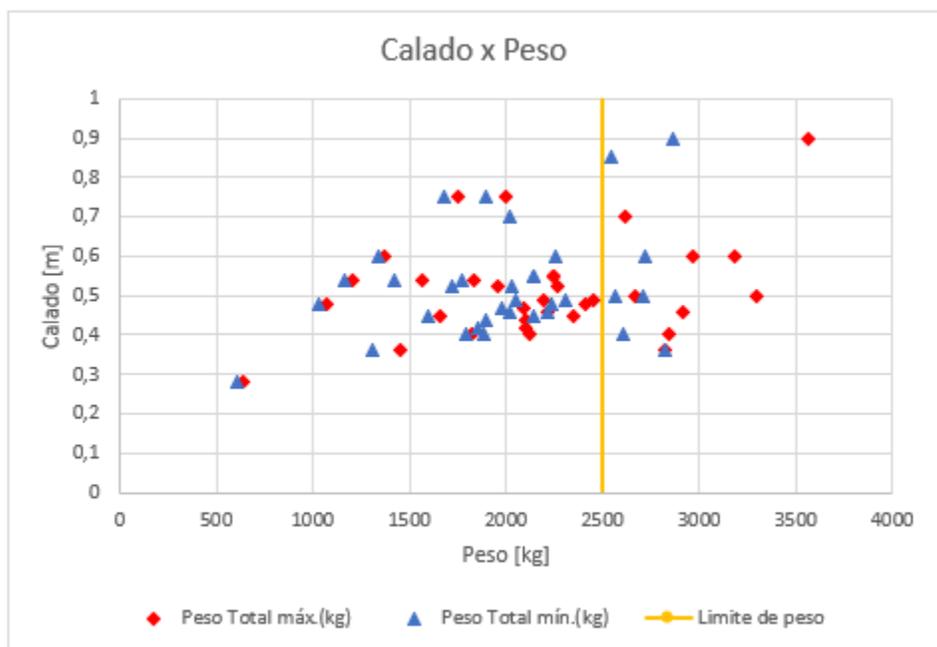
Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Valores de Boca em relação ao Peso.



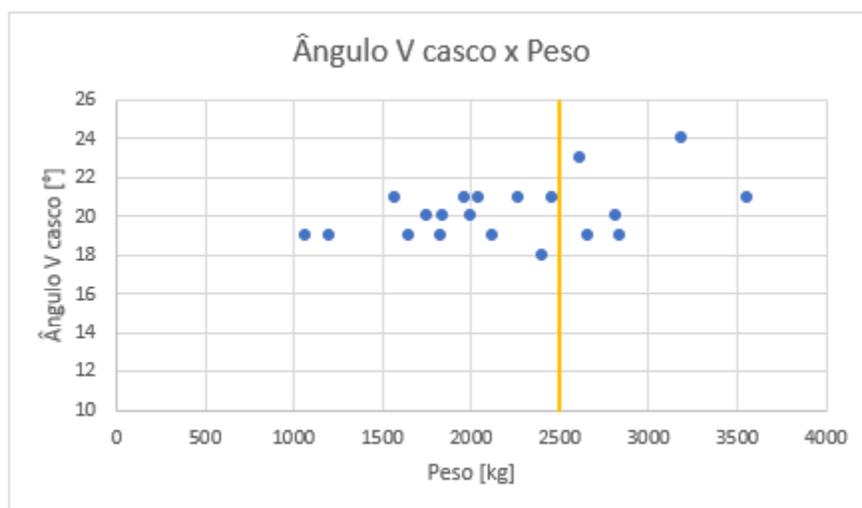
Fonte: Autor (2018).

Figura 16 - Valores de Calado em relação ao Peso.



Fonte: Autor (2018).

Figura 17 - Valores do Ângulo V do casco em relação ao Peso.



Fonte: Autor (2018).

Nessa análise, constatou-se que sete embarcações ultrapassam a 2500 kg, em ambos pesos totais. Fez-se também um estudo sobre o comprimento e boca das embarcações, a respeito do número de barcos dentro de um intervalo das dimensões, apresentado na Tabela 14 e Tabela 15.

Tabela 14 - Embarcações nos Intervalos de Comprimento.

Comprimento	Quantidade	Porcentagem
<7	4	10%
<7,5	13	33%
<8	21	53%
<8,5	30	75%

Fonte: Autor (2018).

Tabela 15 - Embarcações nos Intervalos de Boca.

Boca	Quantidade	Porcentagem
<2,25	1	3%
<2,5	7	18%
<2,75	31	78%

Fonte: Autor (2018).

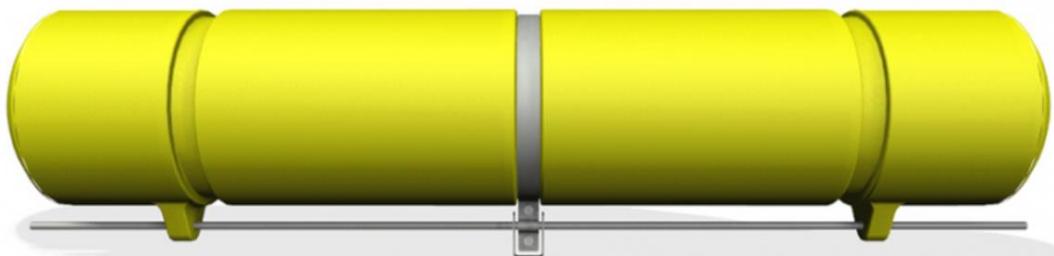
Assim, pode-se concluir que grande parte dos barcos que poderão ser colocados no dique tem até 8,41 metros de comprimento e 2,72 metros de boca. O calado não ultrapassa 0,75

metros e o ângulo V do casco tem limite de 21° . Essas informações serão utilizadas na determinação das dimensões do produto.

4.3 FLUTUADORES

A utilização de flutuadores para o funcionamento do produto aumenta as opções de locais de uso do dique, por isso foi escolhido essa opção em detrimento de uma estrutura fixa. Visando a fabricação do *boat lift*, foi feito o contato com um fabricante de rotomoldados para sinalização náutica e flutuantes (Figura 18) da região norte do Estado de Santa Catarina.

Figura 18 - Exemplo de flutuante rotomoldado.



Fonte: Sinaliza Águas (2018)

A empresa cedeu as informações sobre seus produtos, apresentadas na Tabela 16. Os valores de calado apresentados são no caso do flutuador completamente imerso.

Tabela 16 - Características dos flutuadores.

Modelo	Comprimento [m]	Diâmetro maior [m]	Diâmetro menor [m]	Calado	Espessura de parede [m]	Volume interno [m ³]	Peso [kg]
LBC-380	1,95	0,38	0,38	0,38	0,007	0,22	16,2
LBC-470	1,95	0,47	0,47	0,47	0,007	0,33	20,2
LBC-600	1,95	0,6	0,6	0,6	0,007	0,55	26,2
PLC-600	1,95	0,6	0,44	0,44	0,007	0,44	25,1

Fonte: Sinaliza Águas (2018)

Para determinar uma quantidade mínima de flutuadores (Tabela 17), somou-se o peso de uma embarcação (2500 kg), com uma estimativa inicial do peso da estrutura (500kg) e um

tripulante a bordo (75kg), esse resultado foi dividido pela reserva de flutuação de cada modelo (Equação 17). Ao estabelecer uma razão entre reserva de flutuação e o comprimento de uma linha (quantidade de flutuadores que ficariam em cada lado da estrutura), chegou-se ao modelo que será levado adiante no projeto, o LBC-600 (Figura 20), este sendo o de maior razão.

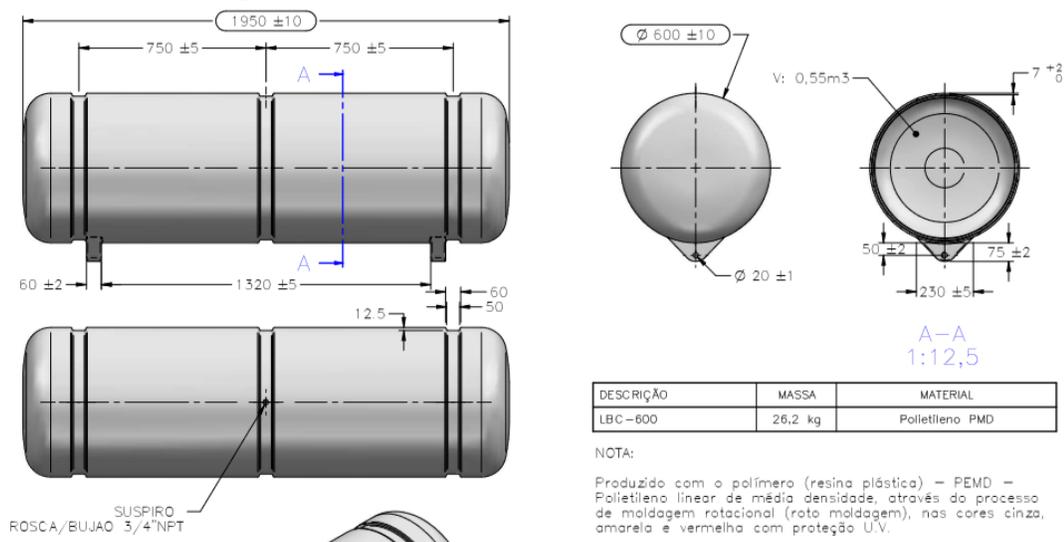
$$\text{Reserva de flutuação} = \text{Volume} * \text{densidade da água} - \text{Peso do flutuador} \quad (18)$$

Tabela 17 - Quantidade mínima de flutuadores.

Modelo	Reserva de Flutuabilidade	Número de flutuadores	Comprimento de linha	Reserva / Comprimento
LBC-380	204,95	14	13,65	15,01
LBC-470	318,11	10	9,75	32,63
LBC-600	525,15	6	5,85	89,77
PLC-600	388,41	8	7,8	49,80

Fonte: Autor (2018).

Figura 19 - Modelo de flutuador LBC-600.



Fonte: Sinaliza Águas (2018)

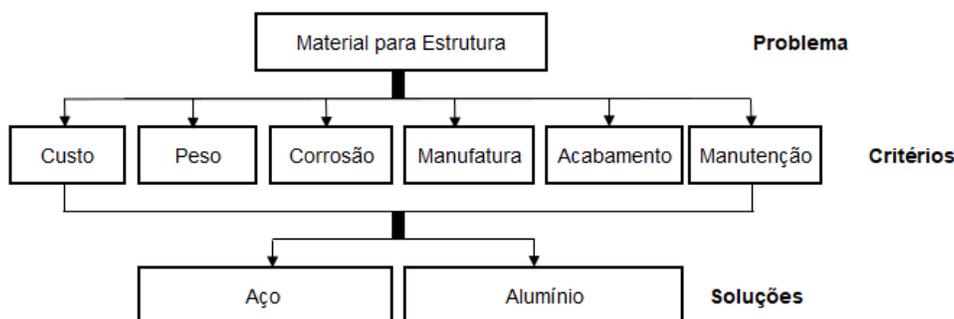
4.4 MATERIAIS DA ESTRUTURA

Dimensões preliminares e flutuadores definidos, faz-se necessário escolher o material que será feita a estrutura, para assim realizar os testes estruturais.

Como visto na Seção 4.1, os produtos concorrentes são feitos de aço galvanizado ou alumínio. Analisando possíveis fornecedores destes materiais na região, foi percebida semelhante disponibilidade entre eles, portanto, a escolha do material será feita a partir do Método AHP (Seção 2.7).

Inicialmente, modelo hierárquico é definido (Figura 20 - Modelo Hierárquico do Projeto.). Com o problema sendo qual material escolher para a estrutura do dique, os critérios adotados para análise são: Custo, Peso, Corrosão, Manufatura, Acabamento, e a Manutenção que o material exigiria.

Figura 20 - Modelo Hierárquico do Projeto.



Fonte: Autor (2018).

A etapa seguinte é estabelecer a importância de cada critério para o projeto específico do trabalho, determinou-se então os pesos dos critérios, a partir da matriz apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 - Matriz de Importância dos Critérios.

	Custo	Peso	Corrosão	Manufatura	Acabamento	Manutenção
Custo	1	3	1/5	1/3	5	1/3
Peso	1/3	1	1/5	1/5	3	1/5
Corrosão	5	5	1	3	9	3
Manufatura	3	5	1/3	1	7	3
Acabamento	1/5	1/3	1/9	1/7	1	1/5
Manutenção	3	5	1/3	1/3	5	1

Fonte: Autor (2018).

Ao seguir os procedimentos já descritos nesse trabalho, o peso de cada critério ficou definido como apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Peso de cada Critério para escolha do Material.

Critérios	AHP
Custo	0,101
Peso	0,056
Corrosão	0,401
Manufatura	0,245
Acabamento	0,029
Manutenção	0,169

Fonte: Autor (2018).

O próximo passo do método é comparar as alternativas de materiais com relação a cada critério. Os valores de importância colocados nas matrizes são devido à análise da característica de cada opção naquele determinado quesito.

Quanto ao custo, o aço é melhor, já que o preço do seu quilo é de aproximadamente R\$6,00, já o quilo do alumínio custaria em torno de R\$22,00. Comparação apresentada na Tabela 20 e Tabela 21.

Na influência do peso estrutural de cada material, o alumínio tem uma densidade menor que o aço, $2,70 \text{ g/cm}^3$ e $7,00 \text{ g/cm}^3$, respectivamente, vantagem para o alumínio pois quanto mais pesada a estrutura, menos capacidade de flutuação ou maior a quantidade de flutuadores necessários.

No ambiente marinho, o aço sofre corrosão mais rapidamente, com isso, precisaria de mais acabamentos (pintura e galvanização). Portanto, o emprego do alumínio é mais vantajoso para esses parâmetros. Além disso, a manutenção que uma estrutura em aço galvanizado demanda, seria mais frequente que uma de alumínio necessitaria, assim sendo, o segundo, é considerado superior nesse quesito

Já na manufatura, há um maior número de empresas que trabalham com aço na região norte de Santa Catarina, conseqüentemente, o alumínio tem menor peso.

Tabela 20 - Matriz Comparação no Critério de Custo.

Custo	Aço	Alumínio
Aço	1,00	7,00
Alumínio	0,14	1,00
Soma:	1,14	8,00

Fonte: Autor (2018).

Tabela 21 - Matriz de Comparação Normalizada e o Valor de Eigen no Critério de Custo.

Matriz Normalizada			Valor Eigen
	Aço	Alumínio	
Aço	0,88	0,88	0,88
Alumínio	0,13	0,13	0,13

Fonte: Autor (2018).

Analogamente à comparação do custo de cada material, o processo foi feito para todos os critérios e está apresentado no APÊNDICE B: **Matrizes Comparação para os critérios da análise do material.**

Por fim, esses pesos de cada critério e os valores de Eigen de cada material foram colocados na matriz de Síntese Modelo, e enfim, conseguimos o valor da prioridade geral (Soma). Como observa-se na Tabela 22, a partir das considerações feitas nesse capítulo, o alumínio é a melhor opção para o projeto.

Tabela 22 - Matriz Síntese Modelo do Projeto.

Material	Custo	Peso	Corrosão	Manufatura	Acabamento	Manutenção	Soma
Aço	0,875	0,167	0,125	0,750	0,125	0,333	0,392
Aluminio	0,125	0,833	0,875	0,250	0,875	0,667	0,609
Pesos	0,101	0,056	0,401	0,245	0,029	0,169	

Fonte: Autor (2018).

4.5 PROJETO ESTRUTURAL

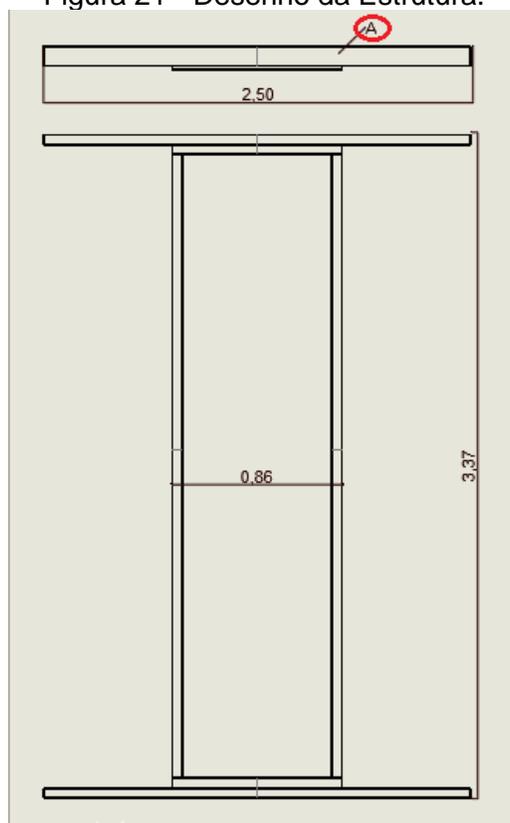
O projeto da estrutura do dique inicia com a modelagem no SolidWorks, levando em consideração as dimensões dos barcos (Seção 4.2), a dimensão de uma vaga molhada numa marina, que tem boca de 6 m geralmente, e o modelo de flutuador utilizado, o projeto inicial é apresentado na Figura 21 (Vista Frontal e de Topo) e Figura 22 (Vista lateral e Frontal).

Para concepção do conceito, buscou-se a simplicidade, com duas barras transversais para apoio das linhas de flutuadores e duas longitudinais ligando-as, que servem também para suportar a peça V. Essa última apoia a embarcação em conjunto com outras duas barras na longitudinas, formando o berço para o barco.

O comprimento total é definido pelo número mínimo de flutuadores necessários para flutuar um barco de 2500 kg, como foram divididos em duas filas de três, resulta em 5,85 metros de comprimento. A boca do dique determinada após uma análise da estabilidade do produto. Já o ângulo da estrutura V do berço, foi definido a partir de uma margem colocada no valor do ângulo máximo das embarcações estudadas.

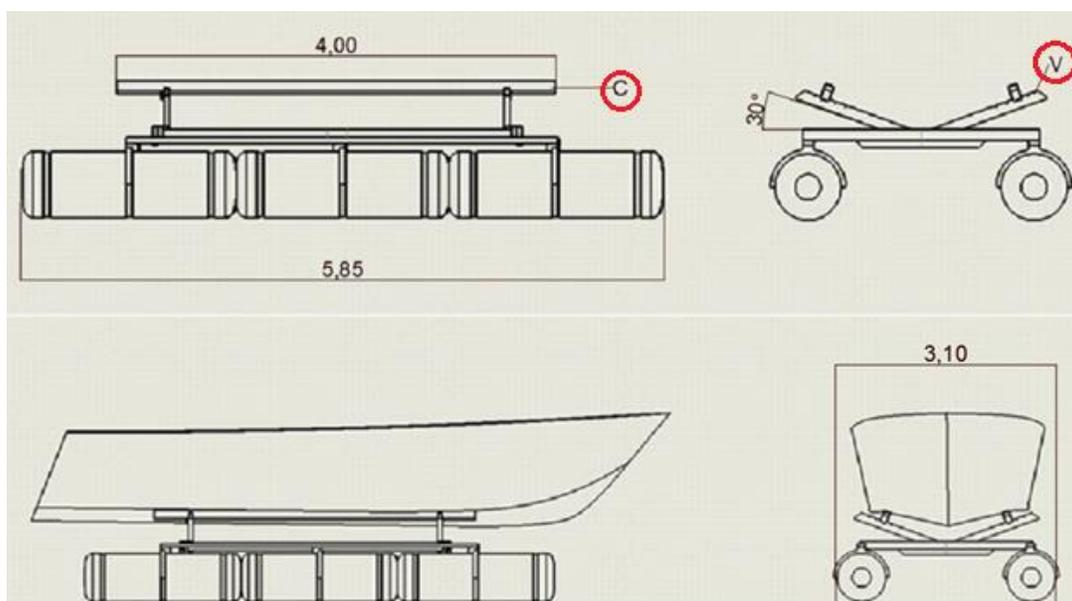
O comprimento da estrutura na Figura 21 é 3,37 m devido a distância necessária para apoiar os flutuadores.

Figura 21 - Desenho da Estrutura.



Fonte: Autor (2018).

Figura 22 - Desenho do Dique Flutuante.



Fonte: Autor (2018).

Definida a estrutura do dique flutuante, fez-se uma análise das tensões atuantes em três partes do sistema, nas peças A (contida na Figura 21), C e V (contidas na Figura 22). Essas foram as peças analisadas por compreender-se que elas sustentarão mais as cargas devido ao peso da embarcação e o empuxo nos flutuadores.

4.5.1 Teste computacional da estrutura.

Para o cálculo das tensões atuantes nas peças, foi utilizado o software Abaqus, versão acadêmica, o que limita o número de nós a 1000, com isso, foi necessário analisar as peças separadas. As vigas têm espessura de $\frac{1}{4}$ de polegada. As condições de cada teste estão explicitadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Informações dos Testes Computacionais da Estrutura.

Peça	Comprimento Analisado	Forças Atuantes	Condições de Contorno	Tamanho da Malha [mm]
A	Total	Empuxo dos Flutuadores (Força concentrada em 4 pontos - 2 em cada extremidade)	Pinada na região conectada à peça	50
C	Metade	Peso do Barco (Força Distribuída)	Pinada na região conectada à peça V e Condição de Simetria na outra	50
V	Metade	Peso do Barco (Força Concentrada em 2 pontos)	Condição de Simetria em uma extremidade e Pinada na região de contato com Peça	25

Fonte: Autor (2018).

Nas figuras abaixo pode-se observar como foram feitas as simulações em cada peça. Na Figura 23, é apresentado os pontos de aplicação da força de empuxo dos flutuadores em azul, já em vermelho representa a região em que a condição de contorno de deslocamento igual a zero foi aplicada nos nós.

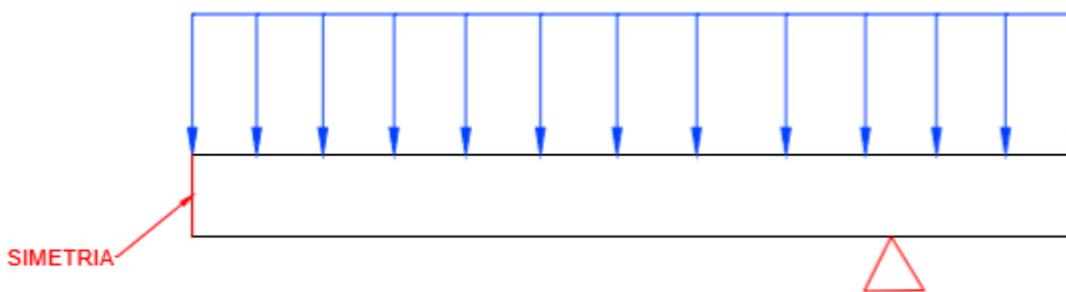
Figura 23 - Esquema da simulação na peça A.



Fonte: Autor (2018).

A Figura 24 mostra a simulação da peça C, na qual a força exercida pelo peso do barco foi distribuída ao longo do comprimento, em uma extremidade foi designada uma condição de simetria e o triângulo em vermelho representa o deslocamento restrito nos nós daquele ponto.

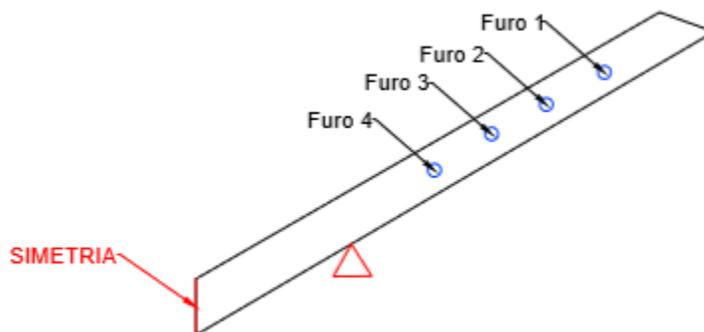
Figura 24 - Esquema da simulação na peça C.



Fonte: Autor (2018).

Já a Figura 25 apresenta os quatro furos da peça V, nos quais a força do peso da embarcação foi aplicada em análises separadas, assim como a anterior, há a condição de simetria em uma extremidade e os nós tiveram deslocamento igual a zero na região do triângulo em vermelho.

Figura 25 - Esquema da simulação na peça V.



Fonte: Autor (2018).

O material considerado é uma liga de alumínio (6061-T6), que tem suas características apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 - Características da Liga de Alumínio 6061-T6.

Alumínio (6061-T6)		
Tensão escoamento	255	Mpa
Coef. de poisson	0,35	
Módulo de elasticidade	68,9	Gpa

Fonte: Hibeller (2009).

Em nenhuma das análises, os resultados apresentaram uma intensidade de tensão maior que a tensão de escoamento do material, como mostra as Tabela 26. Nessa tabela são apresentados os valores das tensões na peça V, como existem 4 posições da barra do berço, fez-se os cálculos para essas 4 situações.

Tabela 25-Valores de Tensão nas Peças A e C.

Tensão	A	C
Mises (Mpa)	141,3	107,3
	129,9	160,4
Tresca (Mpa)	146,2	113,9
	134,4	151,6

Fonte: Autor (2018).

Tabela 26 - Valores de Tensão na Peça V.

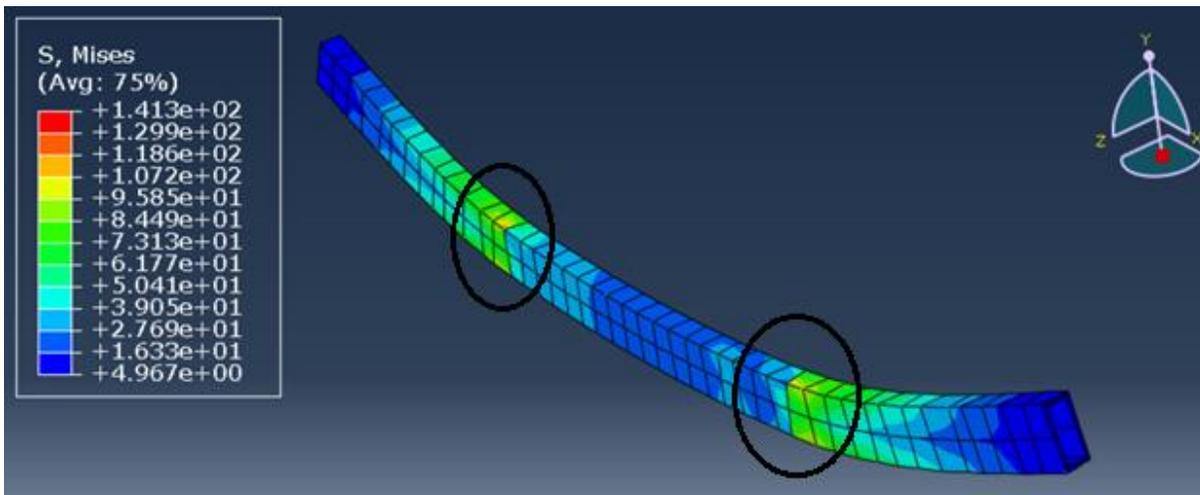
Tensão	Local	Furo 1	Furo 2	Furo 3	Furo 4
Mises (Mpa)	Topo	36,61	30,74	22,48	17,64
	Fundo	48,23	40,96	33,7	26,45
Tresca (Mpa)	Topo	37	29,96	24,43	17,1
	Fundo	48,69	35,93	29,31	22,79

Fonte: Autor (2018).

O ponto crítico de análise da tensão na peça A foi na região próxima a união dela com uma barra perpendicular, regiões destacadas na Figura 26.

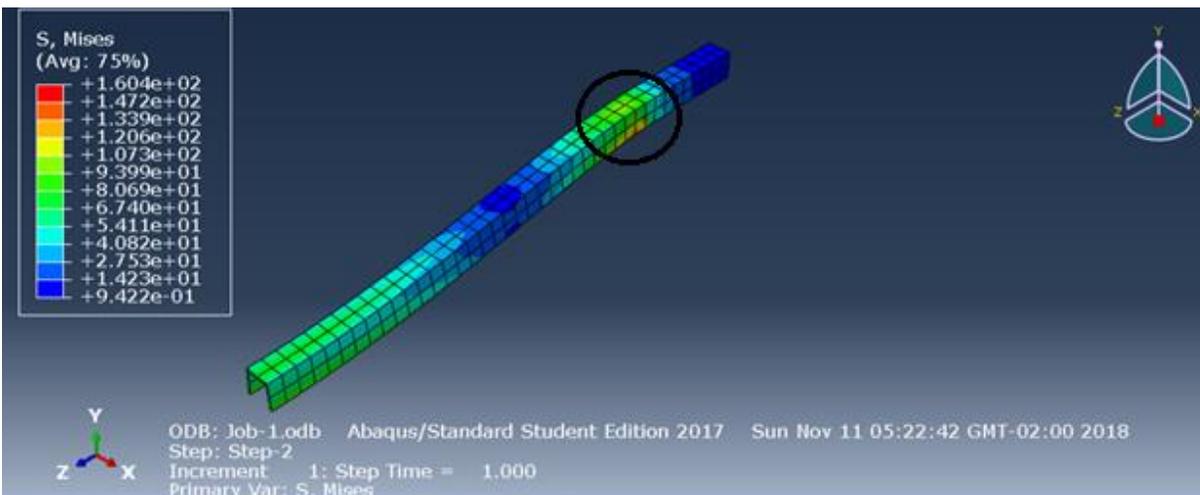
Na peça C, esse ponto foi na conexão com a peça V (Figura 28), após definir como será feita esse encaixe, deve-se fazer uma análise de tensões mais detalhada. Já a Figura 27 mostra a região destacada a crítica da peça, sendo esta a área de contato da peça V com uma barra de apoio.

Figura 26 - Tensões na Peça A.



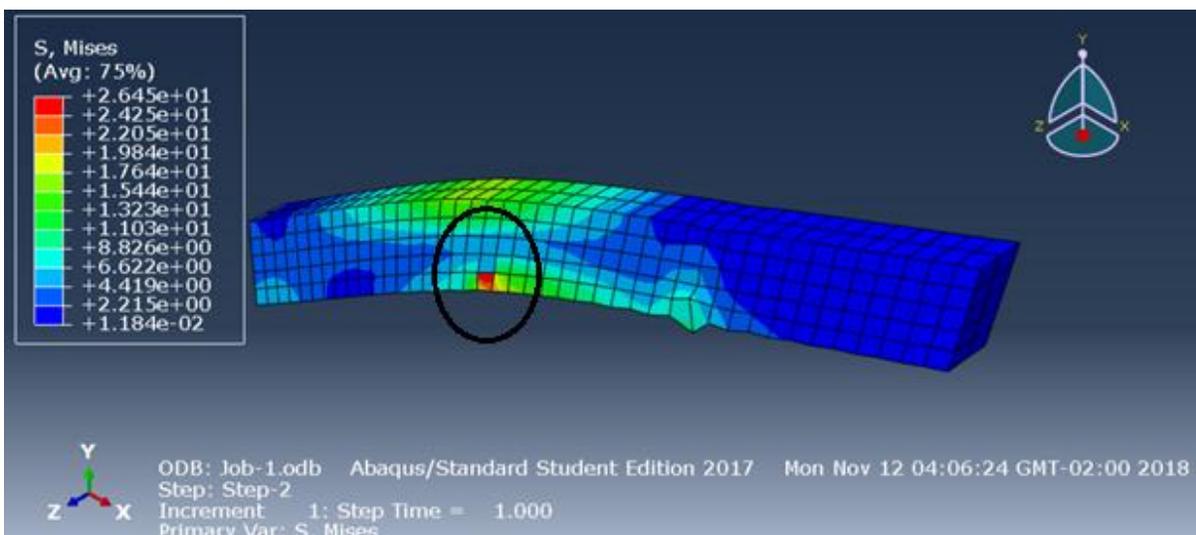
Fonte: Autor (2018).

Figura 27 - Tensões na Peça C.



Fonte: Autor (2018).

Figura 28 - Tensões na Peça V.



Fonte: Autor (2018).

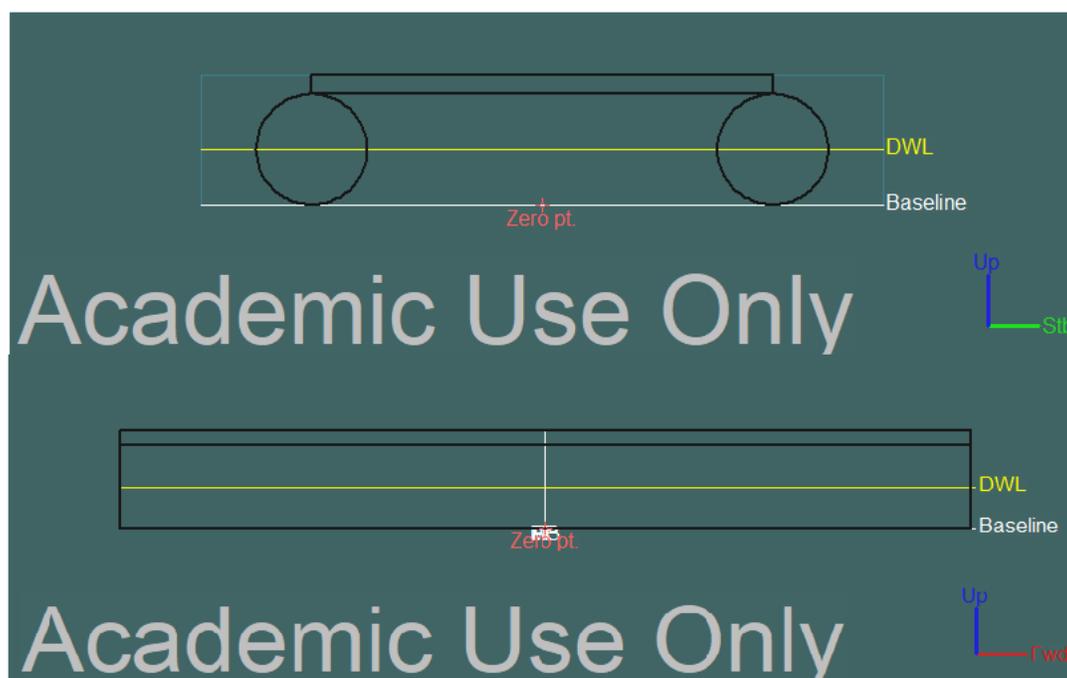
4.6 ANÁLISE DA ESTABILIDADE

Outra característica analisada do produto é a estabilidade do dique. Primeiramente, o estudo foi feito com auxílio do programa Maxsurf Modeler para modelar a estrutura, e o Maxsurf Stability para as análises. Posteriormente, um modelo foi construído, o qual utilizou-se em um experimento com o objetivo de verificar a inclinação do sistema a partir do deslocamento de pesos ao longo na embarcação.

4.6.1 Teste computacional

Os testes computacionais foram realizados em quatro partes, em todas o valor LCG do barco coincide com o do dique. Sendo o ponto de referência à meia nau e na linha de centro, como mostra Figura 29.

Figura 29 - Localização do Ponto de Referência (Zero pt.).



Fonte: Autor (2018).

Na primeira etapa, foram variados os pesos das embarcações para um mesmo valor de VCG, como mostra a Tabela 27. Para todas as condições, o peso da estrutura foi adicionado a peso do barco, cujo valor é de 311,00 kg e um CG de 0,512, valor calculada com a tabela do Apêndice C Sendo assim, a condição “Vazio” considera apenas o peso do produto.

Tabela 27 - Condições de Carregamento da 1ª etapa.

Condição	Peso Barco [kg]	VCG Barco [m]
Vazio	0	0
Barco 1	650	0,3
Barco 2	1162	0,3
Barco 3	1680	0,3
Barco 4	2193	0,3
Barco 5	2481	0,3
Barco 6	2724	0,3

Fonte: Autor (2018).

O primeiro conceito do produto, apresentava uma distância entre os flutuadores de 2,15 m, isso para obter uma boca igual à maioria das lanchas pesquisadas (Tabela 15). Como mostra a Tabela 28, o conjunto não passou nos critérios de estabilidade da NORMAM na condição Barco 5, estando abaixo do ângulo de emborcamento mínimo.

Tabela 28 - Valores dos Testes com Boca = 2,75m.

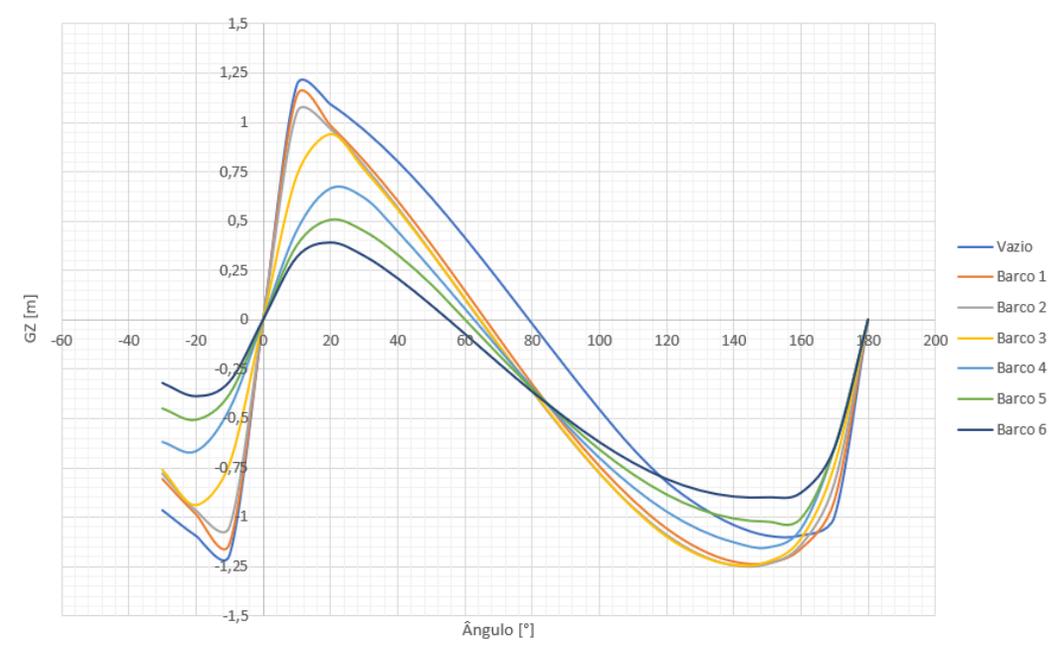
Condição	GZ,máx. [m]	Ângulo Gz,máx. [°]	GM0 [m]	Ângulo emborcamento [°]
Vazio	1,08	12,70	18,81	77,55
Barco 1	1,01	12,70	7,63	62,98
Barco 2	0,87	14,50	5,05	60,88
Barco 3	0,59	13,60	3,54	53,24
Barco 4	0,28	11,80	2,44	34,35
Barco 5	0,14	10,00	1,88	23,33
Barco 6	0,05	8,60	1,37	14,16

Fonte: Autor (2018).

Então, duas soluções foram cogitadas: aumentar número de flutuadores ou aumentar a distância entre eles. Como a primeira, ocasionaria em um maior custo com flutuador e material, fez-se antes os testes com uma distância de 2,5 m entre os flutuadores, com isso, a distância entre os centros dos flutuadores corresponde a maior boca dos barcos pesquisados.

A curva do braço de endireitamento (GZ) pelo ângulo de inclinação é mostrada na Figura 30.

Figura 30 - Valores de GZ para as 7 condições de análise.



Fonte: Autor (2018).

Em todas as condições, o conjunto passou nos critérios da NORMAM-02 que não consideram momentos emborcadores. Os valores são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 - Valores dos Testes com Boca = 3,10 m.

Condição	GZ,máx. [m]	Ângulo Gz,máx. [°]	GMO [m]	Ângulo emborcamento [°]
Vazio	1,26	12,70	25,27	77,55
Barco 1	1,19	12,70	10,40	62,98
Barco 2	1,12	12,70	6,98	64,45
Barco 3	0,94	19,10	4,95	64,61
Barco 4	0,68	22,70	3,49	62,82
Barco 5	0,51	20,90	2,74	60,11
Barco 6	0,39	18,20	2,05	54,96

Fonte: Autor (2018).

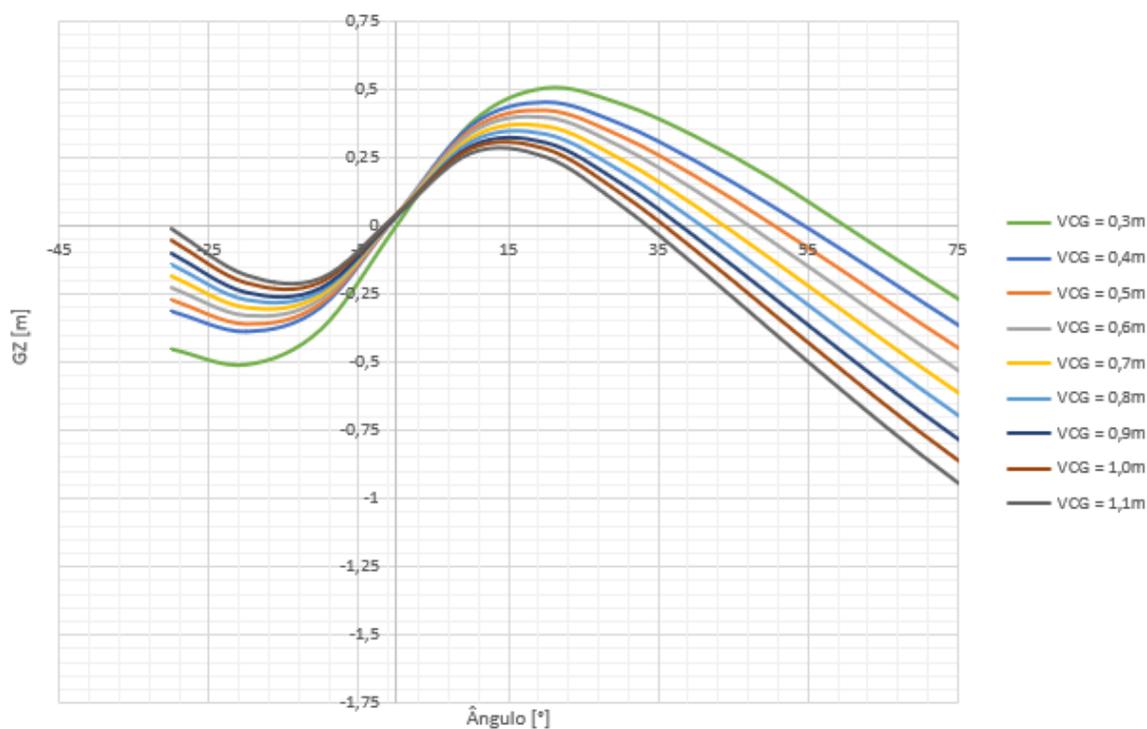
Como condição “Barco 5” é aquela que representa o limite máximo da capacidade do produto, foi analisado a influência da variação do VCG do barco na estabilidade do conjunto. A Tabela 30 apresenta os valores de cada carregamento.

Tabela 30 - Valores para Condição Barco 5, variando o CG.

VCG Barco [m]	GZ,máx. [m]	Ângulo Gz,máx. [°]	GM0 [m]	Ângulo emborcamento [°]
0,3	0,51	20,90	2,74	60,11
0,4	0,455	19,1	2,366	54,476
0,5	0,428	18,2	2,281	50,607
0,6	0,402	17,3	2,195	47,032
0,7	0,377	16,4	2,109	43,782
0,8	0,353	16,4	2,023	40,837
0,9	0,33	15,5	1,938	38,07
1	0,308	14,5	1,852	35,55
1,1	0,286	14,5	1,766	33,3

Fonte: Autor (2018).

Figura 31 - Valores de GZ para "Barco 5" variando VCG.



Fonte: Autor (2018).

Como esperado, a Figura 31, mostra que com aumento do CG, os valores de GZ, GM_0 , o ângulo de GZ máximo e o de emborcamento diminuem, mas em todos os casos, os critérios

de estabilidade que não consideram a ação do vento ou toda tripulação em um bordo foram atendidos.

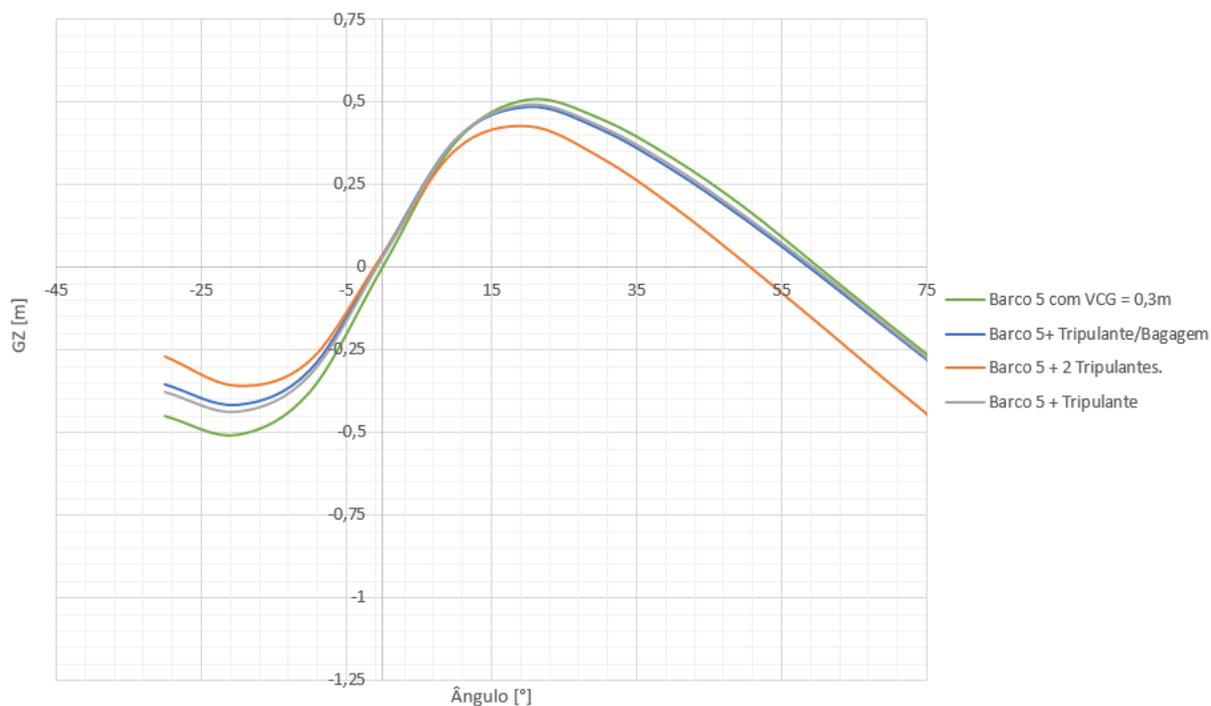
A terceira análise, considera um tripulante no bordo do barco, em adição ao carregamento "Barco 5". As condições de carregamento são explicitadas na Tabela 31. Não foi feito estudo para o número total de passageiros, pois será seguida a mesma indicação dos concorrentes, de que apenas uma pessoa poderá estar no barco, quando ele estiver elevado pelo dique.

Tabela 31 - Tripulante em um bordo para "Barco 5".

Condição	Peso adicionado [kg]	VCG do peso [m]
Tripulante	75	1,5
Tripulante + Bagagem	100	1,5
2 Tripulantes	150	1,5

Fonte: Autor (2018).

Figura 32 - Valores de GZ obtidos com tripulantes no bordo.



Fonte: Autor (2018).

Como nas análises anteriores, o projeto passou nos critérios da norma que não considera a ação do vento.

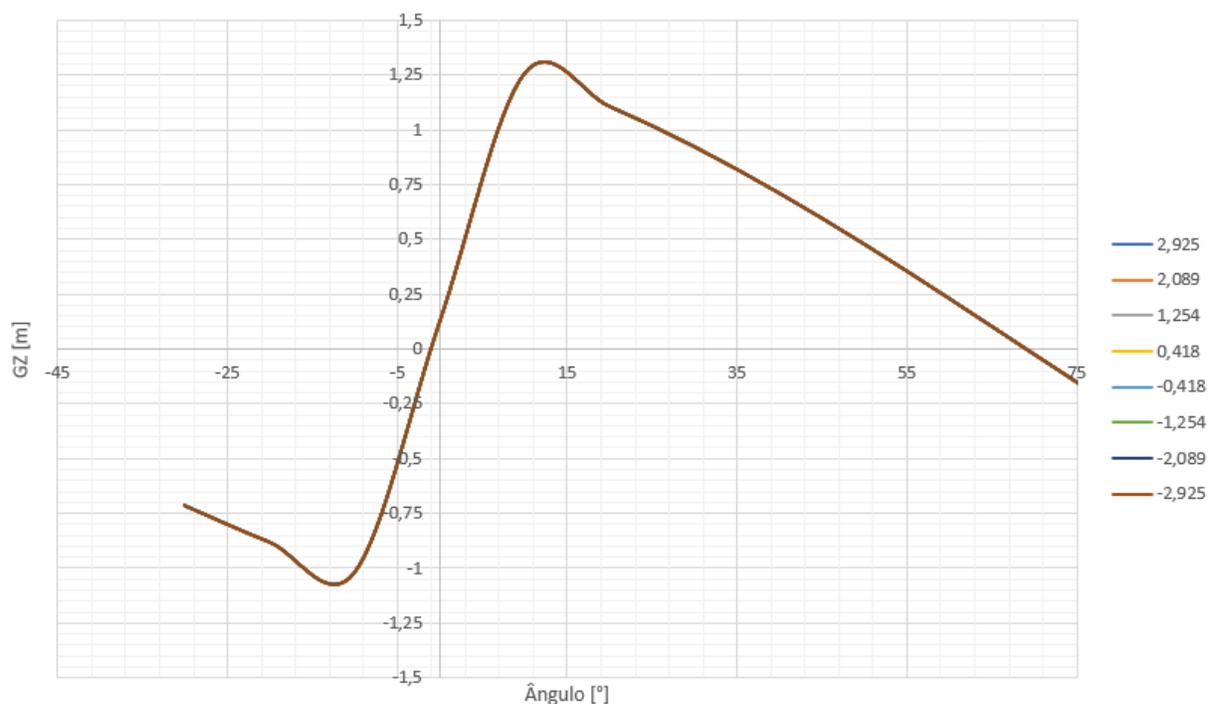
Uma última série de cálculos foi realizada, simulando a situação de uma pessoa caminhando em cima dos flutuadores para trabalho de reparo ou limpeza da embarcação. Foram analisados dois casos, um na condição do Barco 1 e outra no Barco 5. Sendo a Tabela 32 e Figura 33 para o carregamento do Barco 1, e a Tabela 33 e Figura 34 para o carregamento do Barco 5.

Tabela 32 - Valores obtidos para caso do Barco 1.

Condição	GZ,máx. [m]	Ângulo Gz,máx. [°]	GM0 [m]	Ângulo emborcamento [°]
2,925	1,31	12,70	9,56	68,94
2,089	1,31	12,70	9,56	68,94
1,254	1,31	12,70	9,56	68,94
0,418	1,31	12,70	9,56	68,94
-0,418	1,31	12,70	9,56	68,94
-1,254	1,31	12,70	9,56	68,94
-2,089	1,31	12,70	9,56	68,94
-2,925	1,31	12,70	9,56	68,94

Fonte: Autor (2018).

Figura 33 - Valores de GZ com uma pessoa se movimentando para caso Barco 1.



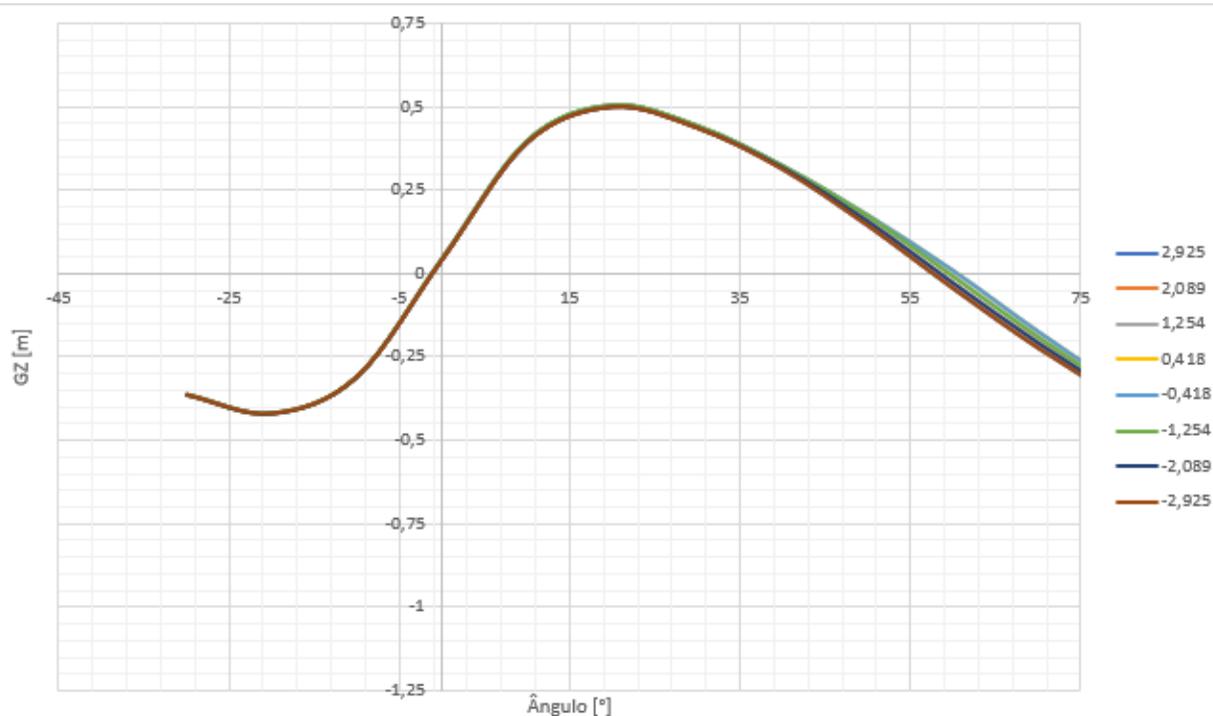
Fonte: Autor (2018).

Tabela 33 - Valores obtidos para caso do Barco 5.

Distância da Pessoa para meia nau	GZ,máx. [m]	Ângulo Gz,máx. [°]	GM0 [m]	Ângulo emborcamento [°]
2,925	0,50	20,00	2,42	57,66
2,089	0,50	20,00	2,45	58,48
1,254	0,50	20,00	2,47	59,38
0,418	0,50	20,00	2,48	60,33
-0,418	0,50	20,00	2,48	60,33
-1,254	0,50	20,00	2,47	59,38
-2,089	0,50	20,00	2,45	58,48
-2,925	0,50	20,00	2,42	57,66

Fonte: Autor (2018).

Figura 34 - Valores de GZ com uma pessoa se movimentando para caso Barco 5.



Fonte: Autor (2018).

Nas duas situações, o dique atende aos critérios da norma. Assim, o projeto pode prosseguir para o TRL 4 (fabricação e testes em modelo).

4.6.2 Fabricação do Modelo.

Depois do confirmado os critérios de estabilidade para as condições que se pretende usar o dique, foi feito um modelo do produto para análise da estabilidade.

Para fabricação do modelo de algum produto, usou-se o fator de escala (λ) para manter uma similaridade geométrica. No caso desse projeto, a determinação do fator de escala foi feita a partir da relação do comprimento de um casco modelo já existente (Figura 35 e Figura 36) com uma das embarcações estudadas, a qual está no limite máximo de capacidade do produto. A Tabela 34 Tabela 34 - Dimensões do casco (Modelo e Real). apresenta as dimensões principais do casco.

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m} = \frac{8,4}{0,99} = 8,489 \quad (19)$$

Tabela 34 - Dimensões do casco (Modelo e Real).

Dimensão	Modelo	Real
Comprimento [m]	0,99	8,40
Boca [m]	0,32	2,72
Pontal [m]	0,2	1,70

Fonte: Autor (2018).

Figura 35 - Casco utilizado para teste.



Fonte: Autor (2018).

Figura 36 - Vista Lateral do Casco utilizado para teste.



Fonte: Autor (2018).

Para definir as medidas do modelo do dique flutuante, o caminho foi inverso, as medidas do modelo foram alcançadas depois de relacionar λ com as dimensões reais.

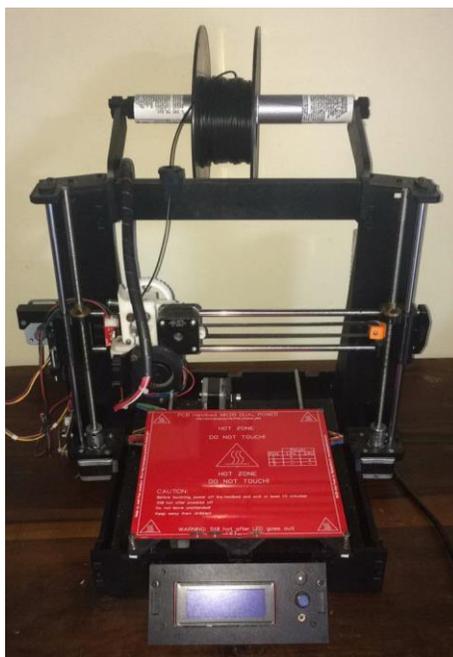
Tabela 35 - Dimensões do Dique Flutuante.

Item	Dimensão	Real	Modelo
Estrutura	Comprimento [m]	3,37	0,40
	Boca [m]	2,16	0,25
Flutuadores	Diâmetro [m]	0,60	0,07
	Comprimento [m]	1,95	0,23

Fonte: Autor (2018).

Após definir as dimensões, foi necessário adequar as peças do dique para o tamanho da mesa da Impressora 3D, cujas dimensões são 200x187x180 mm (comprimento x largura x altura), modelo mk2 (Figura 37).

Figura 37 - Impressora 3D, modelo mk2.



Fonte: Autor (2018).

Por conta da limitação do curso de impressão, todas as peças acima de 180 mm deveriam ser divididas, por exemplo, os flutuadores foram separados em 2 partes, sendo adicionada uma aba para posterior união, como mostra a Figura 38.

Figura 38 - Metade de um Flutuador Impresso.



Fonte: Autor (2018).

As peças foram impressas em plástico polilático (PLA), e o peso de cada uma foi medido, para posterior adequação do peso e centro de gravidade do conjunto em relação ao produto em escala real. Assim, o modelo pode ser construído, tendo sua forma final representado pela Figura 39.

Figura 39 - Modelo do Dique Montado.



Fonte: Autor (2018).

4.6.3 Teste no modelo

O teste realizado tinha o objetivo de determinar se uma pessoa de 75kg, poderia estar na embarcação durante o acionamento dos flutuadores. Para tal fim, um peso foi deslocado para bombordo, a partir de 7,5 cm da linha de centro, a cada 2 cm, chegando à 13 distâncias diferentes. Seguindo a ideia de um teste de inclinação, explicado na seção 2.5.1.

Na Tabela 36 têm-se a relação entre o real e o empregado no modelo, para chegar num valor próximo do CG (Centro de Gravidade), além do peso do casco (1,5 kg) e do dique (1,0 kg) em escala, foram colocados 10 pesos, distribuídos ao longo do barco para reproduzir a situação de funcionamento em capacidade máxima. Para uma maior segurança do produto, foi considerado uma embarcação com peso de 2700 kg.

Como calibragem do experimento, todos os componentes tiveram seus pesos medidos, o casco passou por um teste de inclinação que indicou a posição do seu centro de gravidade.

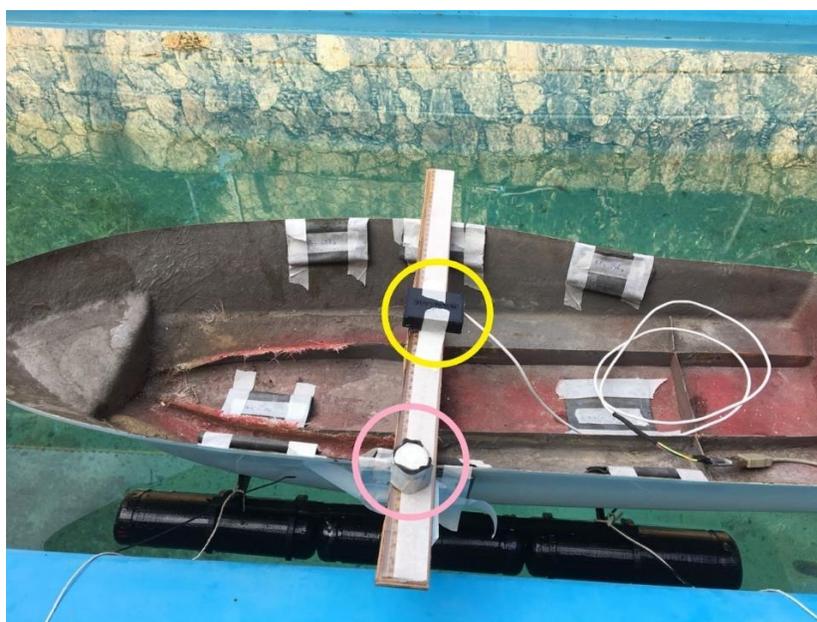
Tabela 36 - Parâmetros em Tamanho Real e do Modelo.

Parâmetro	Real	Modelo	
Peso Barco	2700	4,41	kg
Peso Estrutura	311,24	0,51	kg
Peso deslocado	75	0,12	kg
Distância entre cada teste	0,17	0,02	m
VCG	0,95	0,11	m
LCB (a partir do centro da de estrutura)	0,00	0,00	m
LCG (a partir do centro da de estrutura)	0,00	0,00	m
Deslocamento	1553	2,54	kg

Fonte: Autor (2018).

A fim de coletar o ângulo de inclinação do conjunto nos testes, um Arduino foi colocado na linha de centro transversal e acima do CG, como destacado em amarelo na Figura 40, a cada 0,5 s o sensor media o ângulo de inclinação.

Figura 40 - Esquema de Montagem dos Testes.



Fonte: Autor (2018).

Para cada distância, foram realizadas quatro medições, ou seja, o peso (destacado em rosa na foto acima) foi colocado e retirado da régua quatro vezes, para diminuir possíveis erros de medição. A média dos ângulos para esse primeiro teste estão apresentados na Tabela 37.

Quando verificado uma perturbação no experimento (ação do vento ou erro do agente), a medição foi desconsiderada, e uma nova repetição foi feita. A distância de 17,5 cm representa o bordo da embarcação.

Tabela 37 - Ângulos de Inclinação para cada Distância.

Distância para linha de centro [cm]	θ [°]	Desvio Padrão
31,5	6,94	0,35
29,5	6,32	0,21
27,5	6,05	0,43
25,5	5,66	0,15
23,5	5,02	0,27
21,5	4,18	0,22
19,5	3,99	0,35
17,5	3,61	0,39
15,5	3,46	0,45
13,5	3,06	0,33
11,5	2,56	0,35
9,5	2,33	0,29
7,5	1,82	0,24

Fonte: Autor (2018).

Visto uma baixa inclinação e nenhum emborcamento nesse primeiro teste, repetiu-se os testes para quatro diferentes distâncias, com três novos pesos, a fim de encontrar um momento suficiente para falha de flutuação. O procedimento de medição foi semelhante ao primeiro teste, com divergência apenas no peso deslocado e no número de distâncias, como demonstra a Tabela 38.

Tabela 38 - Ângulos de Inclinação para Pesos Variados

Distância para linha de centro [cm]	149,15 g	174,04g	201,23g
17,5	4,72	4,76	5,68
21,5	5,42	6,65	6,74
25,5	6,09	7,39	8,72
29,5	6,84	8,67	Falha

Fonte: Autor (2018).

Nessa segunda parte do experimento, chegou-se a um ponto de falha, ou seja, houve perda de estabilidade. Extrapolando os valores, o erro ocorreu com um peso de 122,71 kg, em uma região fora do barco e do dique, por isso, acredita-se que o projeto pode ser continuado.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que no presente trabalho foram apresentadas as análises para elaboração do projeto de um dique flutuante, alcançando o nível 5 de maturidade do produto.

Os requisitos do cliente foram extraídos após uma conversa com a empresa contratante do projeto, e um estudo das características de produtos semelhantes já presentes no mercado. Nessa análise de mercado, observou-se uma grande oportunidade de negócio, já que não há produtos nacionais no mercado, e o setor náutico carece de vagas em estruturas de apoio. Além do produto atingir embarcações de até 26 pés, o que representa 60% do mercado de lanchas do país.

As dimensões principais foram determinadas a partir das características das embarcações as quais o dique teria capacidade de erguer, do tamanho dos flutuadores escolhidos, e da análise da estabilidade.

Na análise computacional, o conceito apresentado do produto passou nos critérios de estabilidade propostos pela NORMAM-02, àqueles que não consideram ação do vento e nem guinadas.

Nos testes das barras que compõem a estrutura, analisou-se três peças, aquelas julgadas que sofreriam mais carga do peso da embarcação e empuxo dos flutuadores. A tensão de escoamento do material não foi ultrapassada, portanto, a liga de alumínio pode ser utilizada na fabricação.

Para confecção de um modelo, houve dificuldade em dividir as partes da estrutura, sem que pudesse afetar a montagem e a flutuação. Assim como em posicionar os pesos de forma que o centro de gravidade do modelo fosse similar ao real.

Porém, esse é um trabalho acadêmico, e, portanto, tinha um limite de tempo para ser realizado, sendo necessário executar alguns outros estudos antes de prosseguir nos Níveis de Prontidão Tecnológica, como:

- Determinar o modo como a estrutura será movimentada, ou seja, o sistema de acionamento do dique;
- Definir as conexões das barras, e então estudar o comportamento das mesmas ao sofrer cargas devido ao peso da embarcação e empuxo;
- Reavaliar a flutuação e estabilidade estática, adicionando ao estudo a ação dos ventos;

- Otimizar o projeto estrutural com fim de reduzir o peso da estrutura;
- Fazer uma análise financeira mais detalhada do projeto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jacson. Santa Catarina sofre com a falta de vagas em garagens náuticas e marinas. **Diário Catarinense**. Florianópolis, p. 1-1. 05 nov. 2013. Disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2013/11/santa-catarina-sofre-com-a-falta-de-vagas-em-garagens-nauticas-e-marinhas-4324305.html>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUTORES DE BARCOS. Indústria náutica brasileira: **fatos e números**. Rio de Janeiro: Sebrae, 2012.

BEDIN, Ricardo. **Ensaio Simplificado De Resistência Ao Avanço Do Modelo Em Escala Reduzida Do Catamarã Da Equipe Babitonga**. 2016. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

BROA, Marina. **Garagem Náutica**. Disponível em: <<http://marinabroa.com.br/garagem-nautica/>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

CHAKRABARTI, Subrata K. Modeling Laws in Ocean Engineering. In: HERBICH, John B. **Developments in Offshore Engineering: Wave Phenomena and Offshore Topics**. Houston: Gulf Publishing Company, 1999. p. 2951-334. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=fay-jVNpQfwC&pg=PP11&lpg=PP11&dq=%E2%80%9CModeling%C2%A0Laws%C2%A0in%C2%A0Ocean%C2%A0Engineering%E2%80%9D&source=bl&ots=h3sPS3_OJB&sig=m0XwNyeKwFRsBrlNccJxgiEi9ys&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKEwjfdmZrcTeAhUCWpAKHU1yAzEQ6AEwAnoECACQAQ#v=onepage&q=%E2%80%9CModeling%C2%A0Laws%C2%A0in%C2%A0Ocean%C2%A0Engineering%E2%80%9D&f=false>. Acesso em: 08 nov. 18.

CONSELHO INTERNACIONAL DE ASSOCIAÇÕES DA INDÚSTRIA MARINHA. **Recreational Boating Industry Statistics 2011**. Londres: ICOMIA, 2011.

FERNANDES, Cláudio. Já faltam vagas para os barcos [...] - Leia mais em <https://ndonline.com.br/joinville/noticias/ja-faltam-vagas-para-os-barcos>. **Notícias do Dia**. Joinville, p. 7-7. 19 fev. 2011. Disponível em: <<https://ndonline.com.br/joinville/noticias/ja-faltam-vagas-para-os-barcos>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

FREITAS JUNIOR, José de. **Corrosão**. Curitiba: Ufpr, 2017. Color. Disponível em: <<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/e/ef/Corrosao.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

GAYTHWAITE, John W.. **Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring, and Repair of Vessels**. Nova Iorque: van Nostrand Reinhold, 2004. Disponível em:

<<https://construcaoereparacaonaval.files.wordpress.com/2017/07/design-of-marine-facilities-for-the-berthing-mooring-and-repair-of-vessels.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

GOUK, Wallace. **Port Credit Marine Surveys: AC DC ELECTROLYSIS MYTHOLOGY**. Disponível em: <[http://www.pcmarinesurveys.com/AC DC electrolysis.htm](http://www.pcmarinesurveys.com/AC%20DC%20electrolysis.htm)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

HIBBELER, R C. **Resistência dos Materiais**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

ILHABELA, Yacht Clube. **Ubatiba Iate Clube**. Disponível em: <<https://www.yci.com.br/o-clube/conveniados/ubatuba-iate-clube/>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

LIFTS, IIMM Quality Boat. **History of Boat Lifts**. Disponível em: <<https://www.iqboatlifts.com/history/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MANKINS, John C. **Technology Readiness Levels – A white paper**. NASA, 1995.

MARTINS, Marcelo Ramos. **PNV2341 - Hidrostática e Estabilidade**. São Paulo: EPUSP, 2010. 154 p.

MOLLAND, Anthony F. **The maritime engineering reference book: A guide to ship design, construction and operation**. Eua: Elsevier, 2008.

PEREYRA-ROJAS, M. Understanding the Analytic Hierarchy Process. In: PEREYRA-ROJAS, M. **Practical Decision Making: An introduction to the Analytic Hierarchy Process**. Nova Iorque: Springer, 2017. p. 7-22. Disponível em: <https://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783319338606-c2.pdf?SGWID=0-0-45-1585878-p179965167>. Acesso em: 20 ago. 2018.

PHULL, B.; ABDULLAHI, A. A. **Marine Corrosion**. Washington: Elsevier, 2010.

SEBRAE (Santa Catarina) (Org.). **Estudo Setorial Náutico do Litoral Catarinense**. Florianópolis: Governo Estado de Santa Catarina, 2014. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/393d3e203c23b3d975f3cae415488454/\\$File/5747.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/393d3e203c23b3d975f3cae415488454/$File/5747.pdf)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

STEEN, S. **Experimental Methods in Marine Hydrodynamics – TMR7**. Trondheim: Universidade de Ciência e Tecnologia da Noruega 2012.

SUNSTREAM BOAT LIFTS (Estados Unidos da América). **Sunstream Boat Lifts:** Floatlift. Disponível em: <<http://sunstreamcorp.com/project/floatlift-premium-free-floating-hydraulic-boat-lift/>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

SUNSTREAM. **Sunstream Boat Lifts.** Kent: Sunstream Corporation, 2006.

YEBRA, D. M.; KILL, S.; DAM-JOHANSEN, K. Antifouling technology: past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 50, n. 2, p. 75-104, jul. 2004.

APÊNDICE A: Informações das embarcações estudadas.

Estaleiro	Modelo	L (m)	B (m)	T (m)	Peso Leve (kg)	Âng. V casco (°)
Magna	260C	7,8	2,72	0,75	1240	20
	278C	8,41	2,72	0,75	1300	20
Evolve	265	7,9	2,7	0,7	1400	23
	270C	8,1	2,68	0,6	1650	24
Triton	295	9	2,75	0,9	2100	21
	275i	8,7	2,7	NI	1700	18
	250 Cab	7,75	2,6	0,45	1000	NI
Ventura Marine	V265	8,02	2,69	0,47	1400	NI
	V230 6II	7,36	2,57	0,36	900	NI
	V250	7,86	2,59	NI	1100	NI
	V270	8,25	2,65	0,4	1200	NI
Fibrafort	272 GTC	7,82	2,78	0,49	1800	NI
	265	7,82	2,78	0,49	1800	21
	255 GTO	7,25	2,57	0,525	1300	21
	255 GTC	7,25	2,57	0,525	1605	21
	240	7	2,59	0,54	950	21
	230	6,77	2,45	0,54	1315	19
	215	6,4	2,45	0,54	850	19
	210	6,17	2,32	0,48	750	19
Royal Mariner	270 Cabin	8,2	2,7	NI	1300	21
Sea Gold	255	7,85	2,65	NI	1200	20
Mestra Boats	228	6,8	2,45	NI	1150	19
Coral	16	4,86	1,9	0,28	350	NI
	31 C	9,5	2,75	0,48	1700	NI
	33A	10,13	3	0,5	1900	NI
	30A	9,16	2,75	0,46	1600	NI
	27	8,3	2,75	0,46	1400	NI
	24	7,31	2,62	0,42	1300	NI
Arthmarine	Arth 255	7,55	2,42	0,44	1300	NI
FS Yatchs	265 Element	8,1	2,65	0,45	1600	NI
	290 Wide	8,8	2,76	0,6	2000	NI
	230 Scappare	7,1	2,5	0,6	900	NI
Boreas Boats	Tempest 270	9,05	2,76	0,36	1880	20
Máxima yatchs	Max 250 FR	7,3	2,9	NI	1750	NI
NX	NX 250	7,5	2,65	0,4	1400	19
	NX 270	8,2	2,78	0,5	1800	19
	NX 280	8,6	2,78	0,4	1980	19
NHD	270 Open	8,35	2,7	0,55	1400	NI
	280 Legacy	8,35	2,7	0,55	1400	NI
Fibrasmar	Vision 320	9,7	3	0,85	1926	NI

Estaleiro	Modelo	Tanque Comb. (L)	Tanque Água (L)	Potência mín. (hp)	Potência máx. (hp)
Magna	260C	192	70	150	250
	278C	192	70	220	300
Evolve	265	200	90	220	425
	270C	350	90	200	530
Triton	295	235	115	360	532
	275i	200	100	160	320
	250 Cab	190	70	220	300
Ventura Marine	V265	215	55	250	350
	V230 6II	200	35	150	250
	V250	200	35	200	300
	V270	200	60	220	320
Fibrafort	272 GTC			165	320
	265	240	55	165	320
	255 GTO	200	28	200	300
	255 GTC	200	28	200	300
	240	200	55	150	225
	230	140	55	220	250
	215	140	28	90	150
	210	100	28	75	150
Royal Mariner	270 Cabin	210	100	220	300
Sea Gold	255	200	80	220	320
Mestra Boats	228	192	60	220	260
Coral	16	60	40	75	90
	31 C	250	100	200	320
	33A	250	230	225	450
	30A	250	150	170	430
	27	250	150	170	350
	24	250	130	150	300
Arthmarine	Arth 255	225	150	165	300
FS Yatchs	265 Element	220	100	170	320
	290 Wide	250	150	220	320
	230 Scappare	150	60	170	250
Boreas Boats	Tempest 270	350	180	270	320
Máxima yatchs	Max 250 FR	200	200	220	300
NX	NX 250	200	90	200	320
	NX 270	330	120	220	320
	Nx 280	330	120	200	320
NHD	270 Open	320	120	250	350
	280 Legacy	320	120	250	350
Fibrasmar	Vision 320	200	100	250	350

Estaleiro	Modelo	Peso sem motor (kg)	Peso motor mín.(kg)	Peso Total mín.(kg)	Peso motor máx.(kg)	Peso Total máx.(kg)
Magna	260C	1474,544	206	1680,544	278	1752,544
	278C	1534,544	360	1894,544	460	1994,544
Evolve	265	1661,4	360	2021,4	952	2613,4
	270C	2039,95	220	2259,95	1145	3184,95
Triton	295	2416,395	449	2865,395	1145	3561,395
	275i	1971,4	250	2221,4	430	2401,4
	250 Cab	1232,83	360	1592,83	430	1662,83
Ventura Marine	V265	1639,255	343	1982,255	449	2088,255
	V230 6II	1106,4	206	1312,4	343	1449,4
	V250	1306,4	220	1526,4	460	1766,4
	V270	1431,4	360	1791,4	393	1824,4
Fibrafort	272 GTC	1800	250	2050	393	2193
	265	2060,68	250	2310,68	393	2453,68
	255 GTO	1499,4	220	1719,4	460	1959,4
	255 GTC	1804,4	220	2024,4	460	2264,4
	240	1176,4	250	1426,4	393	1569,4
	230	1489,98	278	1767,98	343	1832,98
	215	997,98	165	1162,98	206	1203,98
	210	863,7	171	1034,7	206	1069,7
Royal Mariner	270 Cabin	1579,97	360	1939,97	460	2039,97
Sea Gold	255	1451,4	360	1811,4	393	1844,4
Mestra Boats	228	1374,544	360	1734,544	278	1652,544
Coral	16	441,42	171	612,42	195	636,42
	31 C	2014,25	220	2234,25	393	2407,25
	33A	2344,25	360	2704,25	952	3296,25
	30A	1964,25	250	2214,25	952	2916,25
	27	1764,25	250	2014,25	449	2213,25
	24	1644,25	206	1850,25	460	2104,25
Arthmarine	Arth 255	1642,825	250	1892,825	460	2102,825
FS Yatchs	265 Element	1888,54	250	2138,54	460	2348,54
	290 Wide	2364,25	360	2724,25	60	2424,25
	230 Scappare	1088,55	250	1338,55	278	1366,55
Boreas Boats	Tempest 270	2359,95	460	2819,95	460	2819,95
Máxima yatchs	Max 250 FR	2121,4	360	2481,4	460	2581,4
NX	NX 250	1661,4	220	1881,4	460	2121,4
	NX 270	2202,81	360	2562,81	460	2662,81
	Nx 280	2382,81	220	2602,81	460	2842,81
NHD	270 Open	1794,24	343	2137,24	449	2243,24
	280 Legacy	1794,24	343	2137,24	449	2243,24
Fibrasmar	Vision 320	2197,4	343	2540,4	449	2646,4

APÊNDICE B: Matrizes Comparação para os critérios da análise do material

Custo	Aço	Alumínio	
Aço	1,00	7,00	
Alumínio	0,14	1,00	
Soma:	1,14	8,00	
Matriz Normalizada			
	Aço	Alumínio	Valor Eigen
Aço	0,88	0,88	0,88
Alumínio	0,13	0,13	0,13

Manufatura	Aço	Alumínio	
Aço	1,00	3,00	
Alumínio	0,33	1,00	
Soma	1,33	4,00	
Matriz Normalizada			
	Aço	Alumínio	Valor Eigen
Aço	0,75	0,75	0,75
Alumínio	0,25	0,25	0,25

Peso	Aço	Alumínio	
Aço	1,00	0,20	
Alumínio	5,00	1,00	
Soma	6,00	1,20	
Matriz Normalizada			
	Aço	Alumínio	Valor Eigen
Aço	0,17	0,17	0,17
Alumínio	0,83	0,83	0,83

Acabamento	Aço	Alumínio	
Aço	1,00	0,14	
Alumínio	7,00	1,00	
Soma	8,00	1,14	
Matriz Normalizada			
	Aço	Alumínio	Valor Eigen
Aço	0,13	0,13	0,13
Alumínio	0,88	0,88	0,88

Corrosão	Aço	Alumínio	
Aço	1,00	0,14	
Alumínio	7,00	1,00	
Soma	8,00	1,14	
Matriz Normalizada			
	Aço	Alumínio	Valor Eigen
Aço	0,13	0,13	0,13
Alumínio	0,88	0,88	0,88

Manutenção	Aço	Alumínio	
Aço	1,00	0,50	
Alumínio	2,00	1,00	
Soma	3,00	1,50	
Matriz Normalizada			
	Aço	Alumínio	Valor Eigen
Aço	0,33	0,33	0,33
Alumínio	0,67	0,67	0,67

APÊNDICE C: Determinação da Posição do CG do Dique

Berço furo 4							
Peça	X (m):	Y (m):	Z (m):	Massa (Kg):	Braço X (Kg.m):	Braço Y (Kg.m):	Braço Z (Kg.m):
Estrutura 1-R	0,025	0,000	0,650	11,11	0,278	0,000	7,223
Estrutura 1-V	3,345	0,000	0,650	11,11	37,171	0,000	7,223
Estrutura 1.A-R	0,025	0,000	0,565	4,81	0,120	0,000	2,719
Estrutura 1.A-V	3,345	0,000	0,565	4,81	16,095	0,000	2,719
Estrutura 2-R	0,075	0,000	0,600	5,08	0,381	0,000	3,045
Estrutura 2-V	3,295	0,000	0,600	5,08	16,722	0,000	3,045
Estrutura 3-BB	1,685	-0,405	0,600	16,31	27,480	-6,605	9,785
Estrutura 3-BE	1,685	0,405	0,600	16,31	27,480	6,605	9,785
Apoio V-R/BB	0,125	-0,405	0,600	0,11	0,013	-0,043	0,064
Apoio V-V/BB	0,125	-0,405	0,600	0,11	0,013	-0,043	0,064
Apoio V-R/BE	0,125	0,405	0,600	0,11	0,013	0,043	0,064
Apoio V-V/BE	0,125	0,405	0,600	0,11	0,013	0,043	0,064
Berço BB	1,685	-0,828	0,600	21,18	35,695	-17,545	12,710
Berço BE	1,685	0,828	0,600	21,18	35,695	17,545	12,710
Encaixe berço R/BB	0,125	-0,405	0,600	0,39	0,049	-0,158	0,234
Encaixe berço V/BB	3,245	-0,405	0,600	0,39	1,265	-0,158	0,234
Encaixe berço R/BE	0,125	0,405	0,600	0,39	0,049	0,158	0,234
Encaixe berço V/BE	3,245	0,405	0,600	0,39	1,265	0,158	0,234
Diagonal R	0,825	0	0,6	5,39	4,450	0,000	3,236
Diagonal V	2,545	0	0,6	5,39	13,727	0,000	3,236
Flutuadores BB	1,685	-1,08	0,249	78,60	132,441	-84,888	19,540
Flutuadores BE	1,685	1,08	0,249	78,60	132,441	84,888	19,540
Perna V-R/BB	0,125	-0,579	0,808	6,07	0,759	-3,517	4,906
Perna V-V/BB	3,245	-0,579	0,808	6,07	19,699	-3,517	4,906
Perna V-R/BE	0,125	0,579	0,808	6,07	0,759	3,517	4,906
Perna V-V/BE	3,245	0,579	0,808	6,07	19,699	3,517	4,906
Caixa	0	1,08	2,1	0,00	0	0	0
Soma=				311,24	523,77	0,00	137,33
					1,683	0,000	0,441
					LCG [m]	TCG [m]	VCG [m]

APÊNDICE D: Programa do Arduino.

```

//Carrega a biblioteca Wire
#include<Wire.h>

//Endereco I2C do MPU6050
const int MPU=0x68;
//Variaveis para armazenar valores dos sensores
int AcX,AcY,AcZ,AcXm,AcYm,AcZm;
int
AcX0,AcY0,AcZ0,AcX1,AcY1,AcZ1,AcX2,AcY2,AcZ2,AcX3,AcY3,AcZ3,AcX4,AcY4,AcZ4,AcX5,AcY5,Ac
Z5,AcX6,AcY6,AcZ6,AcX7,AcY7,AcZ7,AcX8,AcY8,AcZ8,AcX9,AcY9,AcZ9,AcX10,AcY10,AcZ10,AcX11,A
cY11,AcZ11,AcX12,AcY12,AcZ12;
int
AcX13,AcY13,AcZ13,AcX14,AcY14,AcZ14,AcX15,AcY15,AcZ15,AcX16,AcY16,AcZ16,AcX17,AcY17,AcZ
17,AcX18,AcY18,AcZ18,AcX19,AcY19,AcZ19,AcX20,AcY20,AcZ20,AcX21,AcY21,AcZ21,AcX22,AcY22,
AcZ22,AcX23,AcY23,AcZ23,AcX24,AcY24,AcZ24;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B);

  //Inicializa o MPU-6050
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);
}
void loop()
{
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x3B); // starting with register 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
  Wire.endTransmission(false);
  //Solicita os dados do sensor
  Wire.requestFrom(MPU,14,true);
  //Armazena o valor dos sensores nas variaveis correspondentes
  AcX=Wire.read()<<8|Wire.read()/100; //0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
  AcY=Wire.read()<<8|Wire.read()/100; //0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
  AcZ=Wire.read()<<8|Wire.read()/100; //0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
}

```

$AcX0 = AcX;$
 $AcX1 = AcX0;$
 $AcX2 = AcX1;$
 $AcX3 = AcX2;$
 $AcX4 = AcX3;$
 $AcX5 = AcX4;$
 $AcX6 = AcX5;$
 $AcX7 = AcX6;$
 $AcX8 = AcX7;$
 $AcX9 = AcX8;$
 $AcX10 = AcX9;$
 $AcX11 = AcX10;$
 $AcX12 = AcX11;$
 $AcX13 = AcX12;$
 $AcX14 = AcX13;$
 $AcX15 = AcX14;$
 $AcX16 = AcX15;$
 $AcX17 = AcX16;$
 $AcX18 = AcX17;$
 $AcX19 = AcX18;$
 $AcX20 = AcX19;$
 $AcX21 = AcX20;$
 $AcX22 = AcX21;$
 $AcX23 = AcX22;$

$$\begin{aligned}
 &AcXm \\
 &(AcX0+AcX1+AcX2+AcX3+AcX4+AcX5+AcX6+AcX7+AcX8+AcX9+AcX10+AcX11+AcX12+AcX13+AcX14+ \\
 &4+AcX15+AcX16+AcX17+AcX18+AcX19+AcX20+AcX21+AcX22+AcX23)/24;
 \end{aligned}
 =$$

$AcY0 = AcY;$
 $AcY1 = AcY0;$
 $AcY2 = AcY1;$
 $AcY3 = AcY2;$
 $AcY4 = AcY3;$
 $AcY5 = AcY4;$
 $AcY6 = AcY5;$
 $AcY7 = AcY6;$
 $AcY8 = AcY7;$
 $AcY9 = AcY8;$
 $AcY10 = AcY9;$

$AcY11 = AcY10;$
 $AcY12 = AcY11;$
 $AcY13 = AcY12;$
 $AcY14 = AcY13;$
 $AcY15 = AcY14;$
 $AcY16 = AcY15;$
 $AcY17 = AcY16;$
 $AcY18 = AcY17;$
 $AcY19 = AcY18;$
 $AcY20 = AcY19;$
 $AcY21 = AcY20;$
 $AcY22 = AcY21;$
 $AcY23 = AcY22;$

$AcYm =$
 $(AcY0+AcY1+AcY2+AcY3+AcY4+AcY5+AcY6+AcY7+AcY8+AcY9+AcY10+AcY11+AcY12+AcY13+AcY14+AcY15+AcY16+AcY17+AcY18+AcY19+AcY20+AcY21+AcY22+AcY23)/24;$

$AcZ0 = AcZ;$
 $AcZ1 = AcZ0;$
 $AcZ2 = AcZ1;$
 $AcZ3 = AcZ2;$
 $AcZ4 = AcZ3;$
 $AcZ5 = AcZ4;$
 $AcZ6 = AcZ5;$
 $AcZ7 = AcZ6;$
 $AcZ8 = AcZ7;$
 $AcZ9 = AcZ8;$
 $AcZ10 = AcZ9;$
 $AcZ11 = AcZ10;$
 $AcZ12 = AcZ11;$
 $AcZ13 = AcZ12;$
 $AcZ14 = AcZ13;$
 $AcZ15 = AcZ14;$
 $AcZ16 = AcZ15;$
 $AcZ17 = AcZ16;$
 $AcZ18 = AcZ17;$
 $AcZ19 = AcZ18;$
 $AcZ20 = AcZ19;$
 $AcZ21 = AcZ20;$

```
AcZ22 = AcZ21;
```

```
AcZ23 = AcZ22;
```

```

AcZm
(AcZ0+AcZ1+AcZ2+AcZ3+AcZ4+AcZ5+AcZ6+AcZ7+AcZ8+AcZ9+AcZ10+AcZ11+AcZ12+AcZ13+AcZ14
+AcZ15+AcZ16+AcZ17+AcZ18+AcZ19+AcZ20+AcZ21+AcZ22+AcZ23)/24;
=
```

```

//Envia valor X do acelerometro para a serial e o LCD
Serial.print("AcX = "); Serial.print(AcXm);
```

```

//Envia valor Y do acelerometro para a serial e o LCD
Serial.print(" | AcY = "); Serial.print(AcYm);
```

```

//Envia valor Z do acelerometro para a serial e o LCD
Serial.print(" | AcZ = "); Serial.println(AcZm);
```

```

//Aguarda 300 ms e reinicia o processo
```

```
delay(100);
```

```
}
```

APÊNDICE E: Projeto em 3D

