



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

JOSIVAL FERREIRA DA SILVA JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE EMBARCAÇÃO ECOLOGICAMENTE
CORRETA PROPELIDA POR ENERGIA BIOMECÂNICA**

RECIFE

2019

JOSIVAL FERREIRA DA SILVA JUNIOR

**DESENVOLVIMENTO DE EMBARCAÇÃO ECOLOGICAMENTE
CORRETA PROPELIDA POR ENERGIA BIOMECÂNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Engenheiro Naval do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco.

Prof. orientador: Miguel Angel Celis Carbajal

RECIFE
2019

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologias e Geociências – Departamento de Engenharia Mecânica

DEMEC – CTG – UFPE

**DESENVOLVIMENTO DE EMBARCAÇÃO ECOLOGICAMENTE
CORRETA PROPELIDA POR ENERGIA BIOMECÂNICA**

Josival Ferreira da Silva Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologias e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Naval do curso de Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco.

Aprovado por:

Banca Examinadora

Prof. Miguel Angel Celis Carbajal, DsC.
Doutor/ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Orientador

Prof. Juraci Carlos de Castro Nobrega, DsC.
Doutor/ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Examinador

Prof. Cesar Augusto Salhua Moreno, DsC.
Doutor/ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Examinador

Dedico este trabalho a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, porque dEle e por Ele e para Ele são todas as coisas. A minha família por todo amor, paciência, compreensão e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Miguel Angel Celis Carbajal, pelo apoio, incentivo, orientação e dedicação ao projeto.

Aos amigos que ganhei durante a jornada do curso, principalmente a minha turma, pelo apoio e incentivo sempre.

Aos professores do curso de Engenharia Naval da UFPE que contribuíram para formação profissional e pessoal.

Agradeço especialmente ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor Petróleo e Gás (PRH-ANP-MCT), assim como a Petrobrás.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo principal desenvolver o projeto de uma plataforma tipo catamarã adaptável a uma variedade de bicicletas comuns no mercado. O intuito é gerar um transporte alternativo de energia limpa para mobilidade urbana nas grandes cidades ou também ser usada como esporte e lazer, acessível de fácil utilização, rápida montagem. Apresenta-se uma análise de estabilidade, comportamento em ondas, definição do sistema propulsivo por séries sistemáticas, sistema de transmissão de potência da bicicleta até o propulsor, um orçamento dos materiais utilizados, além de um sistema de acoplamento da bicicleta à embarcação, direção e controle. Além disso fazer uma comparação com projetos semelhantes que já estão no mercado, fazendo uma análise de viabilidade econômica, uma comparação entre o valor de projeto e o preço de venda das outras embarcações. O projeto foi elaborado seguindo as normas brasileiras aplicadas à construção de embarcações de lazer e recreio para navegação de interior.

Palavras-chave: Catamarã. Propulsão Biomecânica-Bicicleta. Onda regular.

ABSTRACT

This undergraduate thesis had as main objective, to develop the design of a catamaran type platform adaptable to a variety of bikes common in the market. The aim is to generate an alternative transportation of clean energy for urban mobility in large cities or to be used as sport and leisure. It presents a stability analysis, wave behavior, power transmission system, propulsion system and a vessel accliment system, steering and control. The project was elaborated following the Brazilian rules for the construction of leisure and recreational craft for the navigation of interiors.

Keywords: Catamaran, Biomechanical-Bicycle Propulsion, Regular Wave.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Projeto similar no mercado.	26
Figura 2 - Projeto similar no mercado.	26
Figura 3 - Projeto similar no mercado.	27
Figura 4 - Fluxograma.	28
Figura 5: Fluxograma	28
Figura 6 - Geometria dos cascos renderizada no software Rhinoceros 5.0.	31
Figura 7 - Estabilidade antes de embarcar (E) e depois de embarcar (D).	31
Figura 8 - Posição longitudinal no CB e CG.	32
Figura 9 - Onda gerada por outra embarcação.	33
Figura 10 - Onda Incidindo na embarção lateralmente.	33
Figura 11 - Cascos no cavado e pico de uma onda regular.	35
Figura 12 - Inclinação da hipótese 2.	35
Figura 13 - Curva GZ para calado de 0,20 m.	46
Figura 14 - Malha de um dos cascos usados no WAMIT.	46
Figura 15 - Vista de planta da malha utilizado no WAMIT.	47
Figura 16 - Interface do SSTAB e as características da embarcação.	47
Figura 17 - Valores das inércias SSTAB.	48
Figura 18 - Massas adicionadas em Heave, Pitch e Roll.	49
Figura 19 - Amortecimento para Heave, Pitch e Roll.	49
Figura 20 - Heave ondas incidente 90° no domínio da frequência.	50
Figura 21 - Heave ondas incidente 180° no domínio da frequência.	50
Figura 22 - Roll ondas incidente 90° no domínio da frequência.	51
Figura 23 - Roll ondas incidente 180° no domínio da frequência.	51
Figura 24 - Pitch ondas incidente 90° no domínio da frequência.	52
Figura 25 - Pitch ondas incidente 180° no domínio da frequência.	52
Figura 26 - RAO ondas em 90 ° Heave.	53
Figura 27 - RAO de Heave onda incidindo 180°.	54
Figura 28 - RAO em Roll onda incidindo 90°.	54
Figura 29 - RAO em Roll onda incidindo 180°.	55
Figura 30 - RAO em Pitch onda incidindo 90°.	55
Figura 31 - RAO em Pitch onda incidindo 180°.	56
Figura 32 - Módulo da aceleração onda incidindo lateralmente.	57

Figura 33 - Modelo 3D utilizado no Maxsurf Resistance.	58
Figura 34 - R_t da embarcação para os dois calados.....	60
Figura 35 - Esquema de Transmissão.....	62
Figura 36 - Curvas Séria B2.45. Wageningen (BERNITSAS, 1981).....	63
Figura 37 - Nasseh adaptado.	67
Figura 38 - Plataforma.	69
Figura 39 - Sistema Propulsivo.	71
Figura 40 - Sistema de governo.....	72
Figura 41 - Posições das amarras.	73
Figura 42 - Cinta Catraca.....	74
Figura 43 - Embarcação completa.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos KGs.....	19
Tabela 2 - Valores das Inércias do corpo humano.....	21
Tabela 3 - Frequências naturais de Heave, Roll e Pitch.	23
Tabela 4 - Descrição do fluxograma.....	29
Tabela 5 - Características da embarcação.....	30
Tabela 6 - Média e incertezas adaptadas de CANDOTTI.	42
Tabela 7 - Hidrostáticas para os dois calados.....	44
Tabela 8 - Diferença das Posições LCG e LCF.....	45
Tabela 9 - GMI para os dois calados.	45
Tabela 10 - Curva GZ para calado de 20 cm.	45
Tabela 11 - Frequências Naturais de Heave, Roll e Pitch.	57
Tabela 12 - Resistências ao Avanço para as duas condições de carga.	58
Tabela 13 - Rotações do Propulsor.....	62
Tabela 14 - Transferência de torque.	64
Tabela 15 - Valores das Curvas B2.45 para propulsor ideal para velocidade de 6 nós.....	65
Tabela 16 - Valores das Curvas B2.45 para Propulsor ideal e velocidade de 3 nós.....	65
Tabela 17 - Dados do Propulsor escolhido.....	65
Tabela 18 - Itens do sistema propulsivo.	70
Tabela 19 - Itens do sistema de governo.	72
Tabela 20 - Espessuras e Quantidade de Material por m2.	76
Tabela 21 - Orçamento Laminado.	76
Tabela 22 - Orçamento Material.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

- T – Período da onda
 T_p – Período de picos
 g – Aceleração da gravidade
 λ – Comprimento de onda
 L – Comprimento da embarcação
 ρ – Massa específica da água
 w – Frequência da onda
 w_n – Frequência natural do corpo
 w_r – Frequência de ressonância do corpo
 w_p – Frequência de pico
 w_e – Frequência de encontro
 I_{xx} – Momento de inércia de massa em relação ao eixo x
 I_{yy} – Momento de inércia de massa em relação ao eixo y
 I_{zz} – Momento de inércia de massa em relação ao eixo z
 $A_{i,j}$ – Coeficiente hidrodinâmico de massa adicionada
 $B_{i,j}$ – Coeficiente hidrodinâmico de amortecimento
 $C_{i,j}$ – Coeficiente de restauração hidrostática
 X_i – Força de excitação da onda (Haskind)
 ξ_i – Amplitude dos movimentos do corpo
 $S_\xi(w)$ – Espectro de ondas regulares incidentes
 $H_{1/3}$ – Altura significativa de onda
 A – Amplitude da onda
 V_s – Velocidade de serviço
 RPS – Rotações por segundo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1	MÉTODO DE SLENDER BODY	17
3.2	EQUILÍBRIO LOGITUDINAL	18
3.3	ESTABILIDADE LONGITUDINAL	18
3.4	ESTABILIDADE TRANSVERSAL.....	19
3.4.1	Pequenos Ângulos	19
3.4.2	Grandes ângulos	19
3.5	COMPORTAMENTO EM ONDAS	20
3.6	OBTENÇÃO DA MATRIZ DE INÉRCIA E PROPRIEDADES DO CORPO	20
3.7	ANÁLISE HIDRODINÂMICA	22
3.8	EQUAÇÕES DO MOVIMENTO	22
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
4.1	ESTADO DA ARTE	24
4.2	EMBARCAÇÕES SEMELHANTES	25
5	METODOLOGIA.....	28
5.1	FLUXOGRAMA	28
5.2	CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO.....	30
5.3	ESTABILIDADE ESTÁTICA	31

		12
5.4	HIPÓTESES DO COMPORTAMENTO EM ONDAS	32
5.5	ESCOLHA DO SISTEMA PROPULSIVO	36
5.5.1	Caracterização da embarcação.....	36
5.5.2	Resultados da Resistência ao Avanço	37
5.6	CÁLCULO DE VELOCIDADE E POTÊNCIA	37
5.7	DIMENSIONAMENTO DO PROPULSOR.....	37
5.8	ESCOLHA DO PROPULSOR.....	39
5.8.1	Eficiência Rotativa Relativa	40
5.8.2	Potência efetiva (EHP) na condição de máximo carregamento.	40
5.8.3	DHP na condição de máximo carregamento.	41
5.9	DETERMINAÇÃO DO TORQUE EXERCIDO PELO CICLISTA	41
6	RESULTADOS E ANÁLISES	44
6.1	ESTABILIDADE ESTÁTICA	44
6.2	COMPORTAMENTO EM ONDAS	46
6.3	SISTEMA PROPULSIVO	58
6.4	TORQUE DO CICLISTA QUE CHEGA AO PROPULSOR	64
7	SISTEMAS.....	67
7.1	DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL.....	67
7.2	PLATAFORMA	68
7.3	SISTEMA DE TRANSMISSÃO	69
7.4	SISTEMA DE GOVERNO	71
7.5	SISTEMA DE AMARRAÇÃO.....	73
7.6	EMBARCAÇÃO COMPLETA	74

		13
7.7	ESTIMATIVA DE PREÇO	76
8	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	78
	REFERÊNCIAS	79
	APÊNDICES	82

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o planeta cresce cada dia. Aquecimento global, terremotos, maremotos, tsunamis, enchentes, furacões, recordes de altas e baixas temperaturas; o mundo está um caos. Devido a isso, cresce também o número de pesquisas voltadas a tentar reverter esse quadro de instabilidade. Com o protocolo de Quioto, Ministério do Meio Ambiente (2018), essa preocupação aumentou principalmente nos países desenvolvidos e nos emergentes, onde a produção industrial gera a maioria dos gases do efeito estufa. Por isso soluções que melhorem a qualidade de vida e diminuam as emissões de gases nas metrópoles são grandes frentes de pesquisas contemporâneas.

No Brasil, a maioria da população sofre danos com a falta de planejamento do governo. Nas capitais, onde fica a maioria da população, o problema com mobilidade urbana é muito crítico, Rubim (2013). O prejuízo estimado com as horas perdidas no trajeto entre casa e trabalho por causa do trânsito chega a ordem de 300 bilhões de reais por ano, segundo estudo da Fundação Getulio Vargas, Pedroso (2018). A falta de infraestrutura e planejamento é um grande problema; as cidades estão saturadas e não há muito que mudar. Então se buscam soluções alternativas para amenizar esses danos, como ciclovias e melhora no transporte coletivo.

Nesse âmbito, cada cidade tem que ser analisada individualmente para poder encontrar soluções para seus problemas de trânsito. Pensando nisso, desenvolveu-se um projeto de uma plataforma catamarã adaptável para bicicletas, que servirá às cidades que tenham rios e canais possíveis de serem navegados, como alternativa de transporte, podendo ser usado também para esporte e lazer.

Para o desenvolvimento desse projeto, foi feita uma pesquisa de tamanho médio das bicicletas mais vendidas no mercado, distâncias entre eixos, distribuição dos pesos do ciclista ao longo dela, média de torque gerado pela pedalada, posição do centro de gravidade da junção bicicleta-ciclista, cujos dados serão usados para calcular a estabilidade, navegabilidade e o comportamento em ondas do conjunto embarcação-bicicleta-ciclista.

A embarcação será avaliada segundo a NORMAM-03 para área 1 navegação interior onde as ondas significativas são pequenas. O projeto dos cascos tem por inspiração o barco Carcará, embarcação usada pela UFPE na competição Hydro Contest 2015. Será definido um sistema de transmissão que passará as rotações da roda da bicicleta para o sistema propulsor da embarcação através de correias. Desenvolveu-se também um sistema de controle onde movimentos no guidom façam mover o leme e todo o sistema propulsor foi definido através das teorias de sistemas propulsivos.

Também como parte do projeto, foi desenvolvido um sistema prático e rápido para montagem do equipamento e para acoplar a bicicleta na plataforma.

No comportamento em ondas (seakeeping) da embarcação, analisou-se os movimentos de Heave, Roll e Pitch. E com esses dados, calcularam-se duas hipóteses que podem ocorrer na navegação da embarcação que dependem das ondas incidentes e difratadas.

Analisou-se também a estabilidade estática para garantir a segurança no momento da montagem da bicicleta e do embarque ciclista sobre o convés principal do catamarã.

2 OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é desenvolver o projeto de uma plataforma tipo catamarã propelida por energia biomecânica, adaptável a uma variedade de bicicletas comuns no mercado. O intuito é gerar um transporte alternativo de energia limpa para mobilidade urbana nas grandes cidades ou para ser usada como esporte e lazer, que seja viável economicamente e de fácil montagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MÉTODO DE SLENDER BODY

A teoria do Corpo Esbelto (Slende Body) para a resistência ao avanço gerada por formação de ondas nas embarcações em movimento foi desenvolvida tendo como base a teoria potencial, sendo esse conceito bastante usado para o cálculo da resistência ao avanço devido a ondas, utilizando a função de Green adequada para cada elemento de contorno selecionado. Também aplica-se às condições de contorno dinâmica, cinemática na superfície livre e à condição de impenetrabilidade do casco e no fundo do mar. Este método consegue determinar com precisão o campo de onda na região ao redor do casco da embarcação, Garrison (1977).

Para a aplicação deste método, a forma do casco tem que ser, obrigatoriamente, esbelta, além de assumir que o fluido em que o navio está imerso não tem viscosidade, compressibilidade e é homogêneo. Ainda é necessário assumir que o movimento do fluido é permanente e irrotacional, e as perturbações da superfície livres são pequenas, ou seja, a altura da onda é muito pequena quando comparada com seu comprimento. Esse método assume que embarcações podem ser representadas por fontes e sumidouros de Kelvin, posicionado exatamente na linha de centro da embarcação, e as condições de contorno citadas anteriormente.

A magnitude de cada fonte pode ser calculada através do declive da linha d'água utilizando a seguinte equação:

$$\sigma = \frac{-Udy}{2\pi dx} dS \quad (1)$$

Onde dy/dx é o declive da linha de água, U é a velocidade do escoamento e S é a área da superfície molhada da embarcação.

Para a aplicação deste método é necessário assumir que o comprimento de onda tem a mesma ordem de grandeza da boca da embarcação. A seguinte razão deve ser satisfeita para se obter uma boa aproximação para embarcações de alto desempenho e garantir a esbeltes do navio:

$$\frac{B}{L} = 0,05 - 0,10$$

Onde L = Comprimento da embarcação e B= Boca.

Para a embarcação estudada essa relação fica:

$$\frac{B}{L} = 0,12$$

Como a embarcação será propelida por energia biomecânica, ela não poderá ser considerada de alto desempenho, mas se encaixa nas embarcações de porte médio com uma escala menor.

Para embarcações de portes médios e grandes (Fragatas, Destroyers, Porta contêineres, etc.), a razão tem um intervalo um pouco maior, porém não sendo de grande eficiência a medição dos valores.

- Destroyers, Fragatas: $\frac{B}{L} = 0,10 - 0,12$
- Navios Porta contêineres: $\frac{B}{L} = 0,11 - 0,15$
- Navios tanques: $\frac{B}{L} = 0,16 - 0,20$

Devido às simplificações adotadas, existe uma redução na capacidade deste método analisar a resistência real ao avanço tridimensionalmente, uma vez que as simplificações reduzem a um problema bidimensional.

3.2 EQUILÍBRIO LOGITUDINAL

Para analisar se a embarcação tem equilíbrio longitudinal, temos que verificar as posições ligitudinais do centro de gravidade (LCG) e do centro de carena (LCB), esse último é a posição resultante do empuxo. Esses tem que estar próximos longitudinalmente, quanto mais próximos menos trim a embarcação terá.

3.3 ESTABILIDADE LONGITUDINAL

A estabilidade longitudinal depende do GM_1 (altura metacêntrica longitudinal) ser positivo. Esse é definido como o ponto de encontro entre as linhas de atuação da força de empuxo quando

o casco é inclinado em pequenos ângulos. Quando esse valor é positivo a embarcação ao se inclinar cria um binário restaurador com as forças de empuxo e a força peso que é aplicada no centro de gravidade da embarcação.

3.4 ESTABILIDADE TRANSVERSAL

3.4.1 Pequenos Ângulos

É considerado pequenos ângulos quando a inclinação vai até aproximadamente 8°. A embarcação tem estabilidade transversal quando o GM_t (Altura metacêntrica transversal) é positivo. Para calcular, tem-se que levar em consideração o KG da embarcação, que no caso será a altura da quilha ao centro de gravidade de todo o sistema (Embarcação + Ciclista + Bicicleta), considerando-se como aproximadamente 1,21 m.

Tabela 1 - Dados dos KGs.

	Massa (Kg)	Posição eixo Z (m)
Ciclista	75	1,5
Bicicleta	15	0,98
Embarcação	25	0,28

$$GM_t = KB + BM_t - KG \quad (2)$$

O braço de Restauração GZ é dado como $GM_t \cdot \text{Sen}\theta$.

3.4.2 Grandes ângulos

Para calcular a estabilidade estática para grandes ângulos, foi usado o Maxsurf e aplicado para condição de grandes ângulos. Para isso foram utilizados tanques para simular o centro de gravidade do conjunto utilizando as posições e as massas da Tabela 1, depois avaliamos a estabilidade.

3.5 COMPORTAMENTO EM ONDAS

O comportamento no mar é um dos pilares de qualquer projeto de corpo flutuante. É através dessa análise que determina se o projeto está adequado para o tipo de mar que ele será submetido, mostrando as respostas que ele dará às ondas que incidirem nele, de acordo com espectro de mar do lugar onde ele será fixado (Plataformas, Submersíveis) ou da rota que ele fará (Navios).

Para o estudo, primeiramente é feita uma modelagem matemática para nortear os princípios nos quais serão realizadas as análises, determina-se a equação regente do problema em questão e definem-se as condições de contorno, de forma que os resultados retornados pelos softwares utilizados sejam coerentes com o mundo real. Definido o modelo matemático, cria-se uma malha, usando a geometria da embarcação no programa de simulação numérica e são implementadas as condições de contorno.

Foi realizada a simulação numérica, com o software Wamit, seguindo as etapas de criação da geometria, geração da malha, implementação das condições de contorno e retorno dos resultados.

De posse dos resultados numéricos fornecidos pelo WAMIT, os dados são apresentados em gráficos, para melhor visualização e interpretação.

3.6 OBTENÇÃO DA MATRIZ DE INÉRCIA E PROPRIEDADES DO CORPO

Na avaliação de seakeeping da embarcação, Dados de entrada são necessários para que possa calcular as respostas as excitações das ondas, estes são: inércias de massa do corpo, centro de gravidade, massa total, calado, profundida, aproamentos e intervalos dos períodos das ondas incidentes, visto que as respostas e coeficientes hidrodinâmicos são influenciados por esses parâmetros.

Para o modelo em questão, calcularam-se os centroides e inércias dos cascos, plataforma, bicicleta e ciclista. Os três primeiros consideraram-se estáticos, mas o ciclista estará sempre se movimentando, tanto para manobrar como para pedalar. Por isso, no caso do ciclista, foi feita uma aproximação. Essas Inércias foram calculadas separadamente e depois transladadas com teorema dos eixos paralelos para o eixo do plano diametral com origem em z, no plano de flutuação. Para a inércia do casco foi utilizado o SSTAB; para a plataforma e bicicleta foram calculadas aproximações seguindo o peso dos materiais aplicados nelas, já para o ciclista foram

usados valores calculados por Erdmann em seu artigo no qual é avaliada a inércia do corpo humano Tabela 2, com 66 homens com idade média de 33,2 anos e peso médio de 75,5 Kg (ERDMANN, 1999). Todas essas inércias de massa foram transladadas para o plano de flutuação usando o teorema dos eixos paralelos.

Tabela 2 - Valores das Inércias do corpo humano.

Inercias	Posição Ereta (Kg. m²)	Posição Agachado (Kg.m²)
Eixo X	13,00	4,42
Eixo Y	11,64	4,29
Eixo Z	1,28	1,25

O SSTAB foi utilizado para facilitar o cálculo das inércias do casco, visto que calculá-las analiticamente para esses tipos de geometrias é um trabalho bastante pesado. Abaixo segue a metodologia dos cálculos dessas inércias:

Matriz de Inércias,

$$MI = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde:

$$I_{xx} = \iiint (y^2 + z^2)\rho dv$$

$$I_{xy} = \iiint (xy)\rho dv$$

$$I_{yy} = \iiint (x^2 + z^2)\rho dv$$

$$I_{xz} = \iiint (xz)\rho dv$$

$$I_{zz} = \iiint (x^2 + y^2)\rho dv$$

$$I_{yz} = \iiint (yz)\rho dv$$

As três primeiras integrais são os momentos de inércias com relação aos eixos x, y e z, respectivamente, e as outras são os produtos de inércia. O software discretiza o corpo em pequenos volumes (dv), calcula essas integrais e depois faz um somatório dos resultados.

3.7 ANÁLISE HIDRODINÂMICA

A partir dos dados de saída do WAMIT, analisam-se os coeficientes de massa adicionada, de amortecimento, as respostas do sistema ao movimento em *heave*, pitch, roll, (RAO's) e da fase.

Os resultados são apresentados graficamente considerando ondas incidentes de 90° e 180°, ou seja, ondas pela lateral e proa. As frequências para as quais são realizadas as análises são derivadas da relação entre o período e a frequência.

As entradas no programa são as matrizes de inércias e de massa, a qual esta foi calculada pelo calado de projeto e as inércias no próprio SSTAB, como dito anteriormente. Os resultados são apresentados no domínio da frequência em forma de gráficos feitos no Excel, de acordo com os resultados do WAMIT.

3.8 EQUAÇÕES DO MOVIMENTO

Usando a teoria linear de ondas no regime de difração, as forças induzidas pelo fluido $F_f(t)$ podem ser aproximadas por:

$$F_f(t) = F_s(t) + F_R(t) + F_H(t) \quad (4)$$

Onde $F_s(t)$, $F_R(t)$ e $F_H(t)$ são as forças de excitação, radiação e hidrostática, respectivamente.

Como o objetivo é calcular a aceleração em um ponto do sistema, a embarcação é avaliada para os seis graus de liberdade. As equações desses dois movimentos seguem abaixo variando $i= 1,2,3$ para as forças e $j= 4, 5, 6$ para os momentos:

$$(m + m_{ii})\ddot{y} + B_{ii}\dot{y} + C_{ii}y = F_i(t) \quad (5)$$

$$(I + m_{jj})\ddot{\theta} + B_{jj}\dot{\theta} + C_{jj}\theta = M_j(t) \quad (6)$$

A primeira etapa para montar as equações, é a escolha da onda incidente, ou seja, o ângulo de aproamento. Esse foi de 90 graus, onde a onda incide lateralmente.

Após essa escolha, analisou-se a resposta dela para cada grau de liberdade. Outra etapa necessária foi definir a frequência angular, analisa-se a de ressonância, pois se a embarcação tiver sua frequência natural coincidindo com a frequência do movimento das ondas, pode amplificar demasiado o movimento.

Tabela 3 - Frequências naturais de Heave, Roll e Pitch.

HEAVE	ROLL	PITCH
$\omega_{n,3} = \sqrt{\frac{C_{33}}{m + A_{33}}}$	$\omega_{n,4} = \sqrt{\frac{C_{44}}{I_{xx} + A_{44}}}$	$\omega_{n,5} = \sqrt{\frac{C_{55}}{I_{yy} + A_{55}}}$

$$\omega_{n,i} - w = 0 \quad (7)$$

Segundo Fossen (2011):

$$C_{33} = \rho g A w L \quad (8)$$

$$C_{44} = \rho g \nabla G M T \quad (9)$$

$$C_{55} = \rho g \nabla G M L \quad (10)$$

Com essas equações e com auxílio de uma tabela no Excel, pôde-se encontrar o momento em que a frequência natural se iguala a frequência angular de análise. Para isso, usou-se a equação (7). Quando os valores intercambiaram entre valores positivos e negativos, interpolaram-se para satisfazer a condição da equação. Na prática as frequências não são realmente iguais, mas acontece a ressonância para a diferença de valores próximos a zero.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ESTADO DA ARTE

As grandes cidades brasileiras têm muitos problemas com mobilidade urbana principalmente com o grande crescimento do número de automóveis nos últimos anos. Em 2012 foi aprovada a lei n.12.587/2012, que cria a Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU).

Segundo Associação (2012), conforme citado por Rubim (2013,p. 58), “As diretrizes são claras e podem ser bem resumidas em uma frase: é preciso incentivar os deslocamentos por meios de transporte não motorizados e os coletivos e desestimular os individuais motorizados”.

Soluções que melhorem a mobilidade urbana é lei aqui no Brasil, o projeto se adequa bem, pois é uma embarcação não motorizado, além disso ela usará uma malha pouco explorada no país, os rios e lagos.

Historicamente o Brasil tem uma falha grande nos investimentos em mobilidade urbana, segundo Rubim, et al., “a alocação de recursos federais em mobilidade não é constante, grandiosa ou mesmo bem distribuída”. Exemplo disso é que entre 2006 e 2010 apenas 4 % dos municípios brasileiros receberam recursos federais para esse setor.

Nos anos seguintes os investimentos aumentaram muito chegando a mais de R\$ 90 Bilhões, devido aos projetos de melhorar as infraestruturas para os recebimentos da Copa do mundo de futebol em 2014 e as Olimpíadas do Rio em 2016.

Quanto melhor forem os transportes coletivos, menos pessoas usaram os transportes individuais, mas de acordo com Vasconcellos (2012b), conforme citado por Rubim (2013, p. 61), “A relação entre os subsídios e incentivos dados ao transporte individual e ao coletivo é da ordem de oito para um, ou seja, para cada R\$ 8,00 concedidos ao transporte individual, R\$ 1,00 é direcionado ao transporte coletivo”, enquanto a proporção continuar assim, dificilmente a população priorizara o uso do transporte coletivo, ainda segundo Rubim (2013,p.61), “Essa tendência do governo parece ignorar que, nos grandes centros urbanos, somente 35% das viagens urbanas motorizadas são realizadas por esse meio, contra 64% realizadas por ônibus e metrô, IPEA (2011, p.17).”.

Estima-se que 80% do leito carroçável seja ocupado por carros, isso ocorre porque durante o tráfego os veículos não ocupam apenas sua área, mas precisam estar distantes uns dos outros para andar com mais segurança e quanto maior a velocidade, maior a distancia que eles

tem que ficar um do outro, logo mais espaço das vias eles vão ocupar. O problema não é só com o trânsito, há também o prejuízo ambiental que no final reflete na saúde da população.

Segundo Rubim (2013, p. 63) , “O crescimento das emissões é agravado, ainda, pelo aumento do consumo da gasolina em detrimento ao consumo do álcool. Apenas para que se tenha uma ideia, nos anos 2010 e 2011 houve uma queda de 35%, ou quase seis bilhões de litros, nas vendas de etanol.”

De acordo com o estado de S. Paulo, citado em Rubim (2013, p. 64),

A expansão dos biocombustíveis seria responsável por uma redução de 79 a 89 milhões de toneladas de gás carbônico lançadas na atmosfera até 2020, numa contribuição de 9 a 8% da meta total de corte das emissões a que o Governo se comprometeu em 2009. [...] Além disso, documento publicado pelo Ministério do Meio Ambiente, no ano passado, estima que a emissão de gás carbônico por veículos crescerá, até 2020, a uma média de 4,7% ao ano, por conta do aumento da frota de veículos no País.

O incentivo do governo ao transporte individual movido a combustíveis fósseis, além do aumento no trânsito, causa o prejuízo ambiental fazendo como que cresça muito as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa no planeta. Devido a isso, o projeto diverge dessas energias não renováveis, através do uso da energia biomecânica.

Segundo Fitriady et al. (2017), catamarã é uma embarcação de múltiplos cascos, que consiste em dois cascos esbeltos ligados, na maioria das vezes, por um convés. Ela apresenta algumas vantagens comparadas com monocasco, tanto na viabilidade do projeto como na operação da embarcação. Com uma área de deck principal cerca de 20 a 40% maior que em um monocasco, ainda assim tem melhor estabilidade em estados de mar morderados. Outra característica é uma menor resistência ao avanço (Rt). A desvantagem está em relação à navegabilidade, pois por ter cascos estreitos sofrem com os movimentos relativos de Heave e Pitch, sendo assim necessária uma análise do projeto para esses movimentos.

4.2 EMBARCAÇÕES SEMELHANTES

A ideia de fazer esse projeto surgiu para dar uma aplicação à embarcação usada na competição, mas como infelizmente teve um acidente no transporte de volta ao Brasil e ela foi avariada, não pôde assim ser mais usada. Seria um projeto totalmente novo: uma plataforma adaptável à maioria das bicicletas do mercado e com fácil montagem, todavia depois de pesquisar encontraram-se alguns projetos parecidos.

Alguns projetos semelhantes no mercado são: *Manta5 Hydrofoil bike*, um projeto Neozanlades, de fato é uma bicicleta aquática que tem hidrofólios e uma bateria 400W para auxiliar

no funcionamento; *Shuttle bike*, projeto de uma empresa Italiana SBK Enginering que se assemelha mais ao projeto, pois ele transforma uma bicicleta comum em uma aquática e *Schiller Bike*, que também é uma bicicleta aquática em essência. Existem também alguns outros no mercado.

Figura 1 - Projeto similar no mercado.



Fonte: Schiller Bike

Figura 2 - Projeto similar no mercado.



Fonte: ShuttleBike

Figura 3 - Projeto similar no mercado.



Fonte: Manta5

Foi avaliado o comportamento da embarcação proposta neste projeto em águas calmas usando um software Maxsurf e WAMIT, a partir da geometria do casco, distribuição dos pesos (caratamarã, bicicleta e ciclista) e das inércias. Gerou-se uma malha do casco num programa de simulação numérica MeshGenerator (MG), avaliou-se o comportamento nos graus de liberdade da embarcação heave, roll e pitch. Foi dado um tratamento nos dados de saída para melhor visualizá-los e, através deles, concluir se a geometria do casco é ideal para o objetivo da embarcação, além de estudar a possibilidade de o ciclista cair devido as respostas do catamarã as ondas incidentes.

5 METODOLOGIA

5.1 FLUXOGRAMA

Primordialmente, faz-se um fluxograma conforme a Figura 4, para um melhor andamento do projeto, com intuito de acompanhar a sequências e as etapas de trabalho, seguindo o procedimento de Síntese-Análise-Avaliação[8], em cada Descrição do fluxograma do projeto (DFP) é avaliado os critérios em que o projeto pode passar de fase.

Figura 4 - Fluxograma.

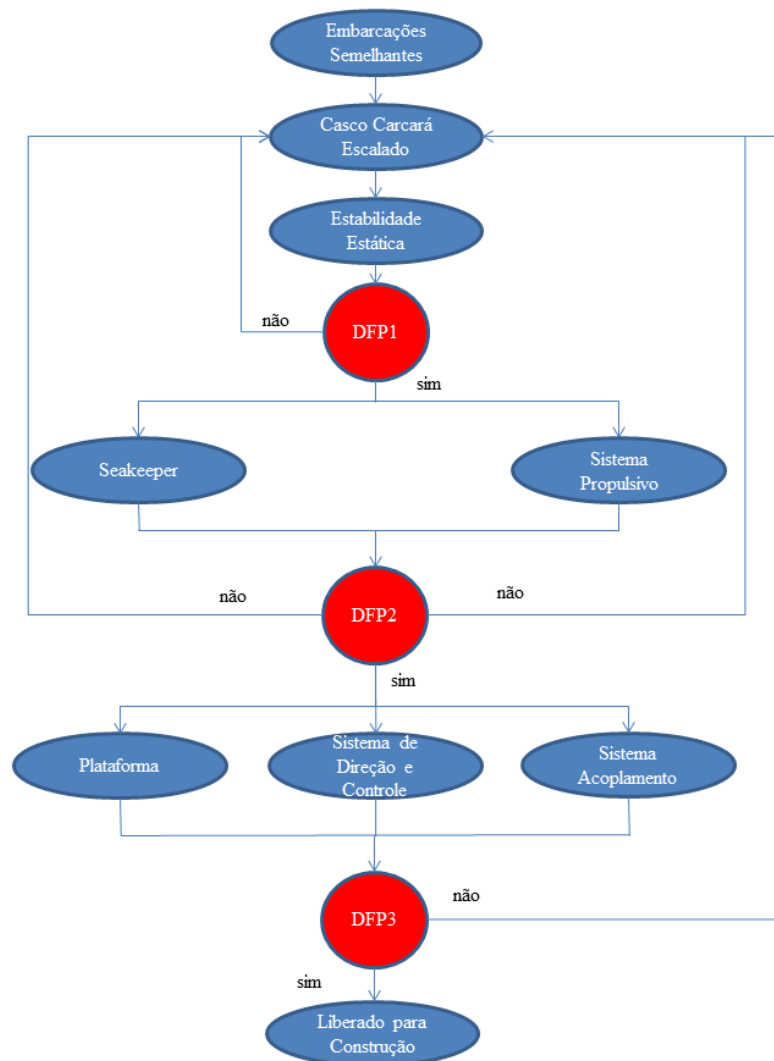


Figura 5: Fluxograma

O fluxograma representa as influências de cada fase com relação a outra, na Tabela 4 é detalhado cada parâmetro da avaliação e a análise que foi abordada para definir se passa pelos critérios.

Tabela 4 - Descrição do fluxograma.

Fase do Projeto	Parâmetro Avaliado	Análise
Embarcações Semelhantes	Projeto ser inédito	Se existe embarcações semelhantes no mercado e se existe estudos para essas.
Estabilidade Estática	DFP 1: Avaliar se a embarcação tem estabilidade Estática.	Verificar se a embarcação tem estabilidade longitudinal e transversal, para saber se o ciclista pode embarcar com segurança.
Seakeeper	DFP 2: Avaliar as respostas da embarcação a onda incidente.	Verificar o valor da aceleração causada pelos movimentos da embarcação quando ondas incidindo lateralmente a atigem fazendo o ciclista receber um impulso. Calcular o comprimento de onda que faz a embarcação inclinar podendo causar o emborcamento.
Sistema Propulsivo	DFP 2: Avaliar o sistema propulsivo.	Verificar se o ciclista tem força suficiente para vencer a resistência ao avanço da embarcação e se é possível definir um sistema propulsivo.
Suportes	DFP 3: Avaliar plataforma, sistema de fixação, direção e controle.	Verificar a possível criação de suportes, para bicicleta, o meio de fixa-la na embarcação, um sistema para o ciclista direcionar o barco e uma plataforma que deixem os cascos estanques.
Final	Esta etapa define se a embarcação é viável para construção	Verificar se o projeto poderá atender ao propósito do projeto.

5.2 CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO

Para fazer as análises de projeto, precisou-se da geometria dos cascos, a qual foi feita inspirada no projeto Carcará, embarcação usada na competição HydrosContest de 2015, que representou o Brasil na competição de embarcações de alto desempenho, e que também serviu de inspiração para temas de outros trabalhos de conclusão de curso. A geometria da embarcação é simples, pois ela é inspirada em um modelo acadêmico que foi projetada para uma fácil construção seguindo o conceito de *Design for production*, vide SIVINI (2016). Assim cada casco é formado apenas por cinco superfícies sem muitas curvaturas. Na Tabela 5, tem-se as características da embarcação e do Carcará, o calado de projeto da embarcação ficou 170 mm, gerando um deslocamento de aproximadamente 112 kg, valor satisfatório para o objetivo do projeto na condição de mínimo carregamento. Na Figura 5 apresentam-se as vistas da geometria que foram avaliadas nos softwares *Maxsurf* e *WAMIT*.

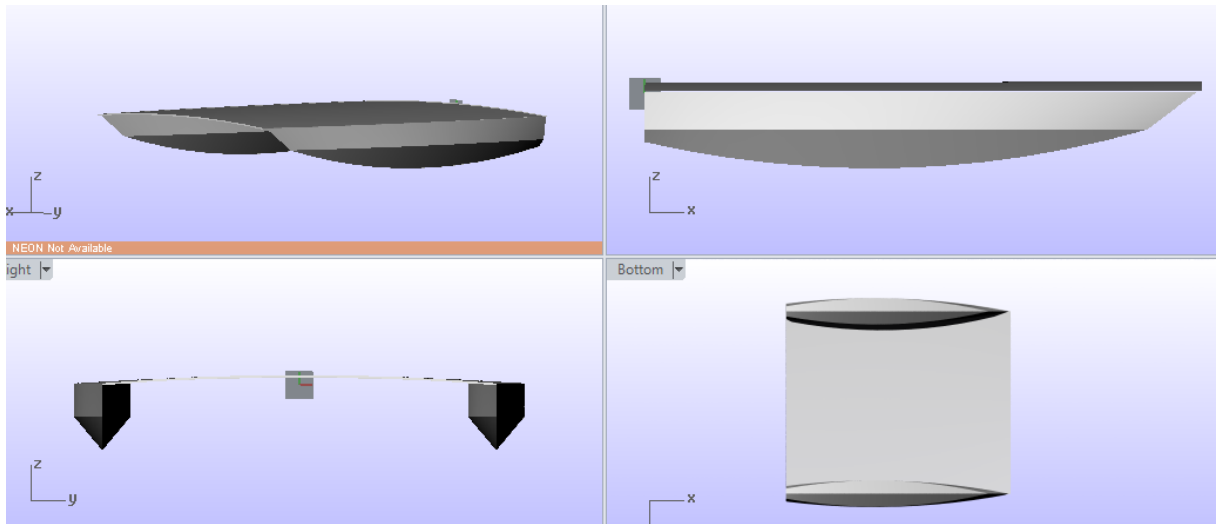
Tabela 5 - Características da embarcação.

	Características			
	Embarcação		Carcará	
Comprimento=	2,50	m	2,20	m
Boca=	2,34	m	2,05	m
Pontal=	0,35	m	0,31	m
Boca _{monocasco} =	0,29	m	0,26	m

Os cascos permaneceram com a mesma idéia do Carcará, pois esses cascos já tinham sido otimizados na fase do projeto da embarcação, não obstante as características principais sofreram algumas alterações, com o intuito da embarcação suportar o deslocamento necessário do projeto. A plataforma de ligação entre os cascos é completamente diferente do Carcará. Ela foi projetada para ser feita com molde, funcionando como convéns de fechamento dos cascos deixando-os completamente estanques, assim resolvendo um problema enfrentado pela embarcação que a inspirou, que durante a competição sofreu bastante com entrada de água nos cascos por não serem completamente fechados. Com o desenho dos cascos usando os pacotes do software *Maxsurf*, avaliou-se a resistência ao avanço para definir o sistema propulsivo, a estabilidade transversal variando as distâncias entre os casco para definir o tamanho da plataforma, pois quanto maior essa distância, maior a estabilidade, em contra partida quanto maior essa distância entre os cascos mais pesada a plataforma fica e a estabilidade longitudinal com o objetivo de melhor posicionar os suportes para a bicicleta.

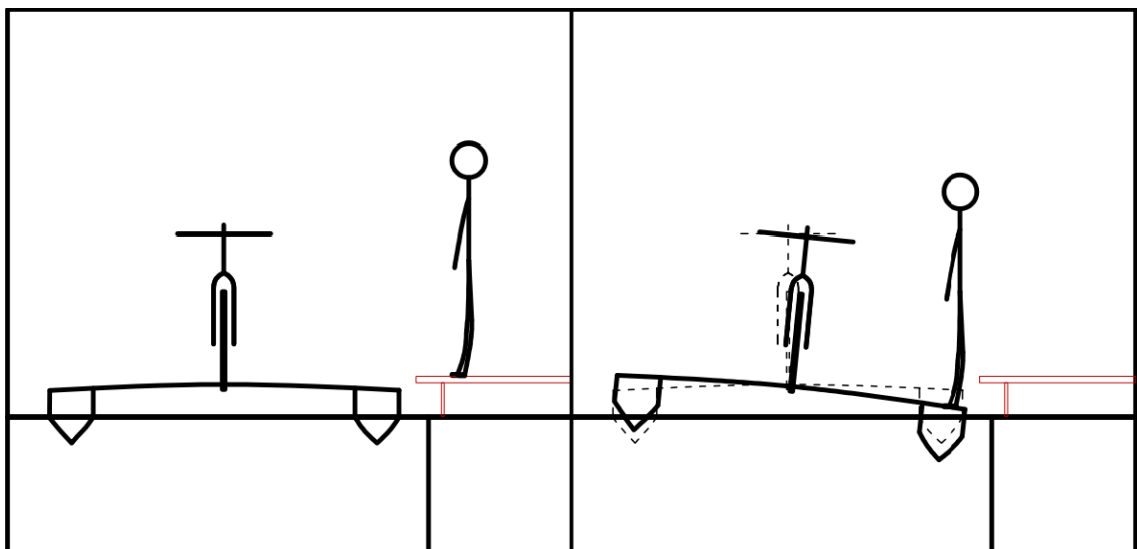
Usando bicicletas com rodas de aro 26 pol. Que são as mais comuns no mercado, projetaram-se as distâncias entre eixos que atendessem ao maior número delas. Também se calculou o centro de gravidade do conjunto bicicleta-ciclista [19]. Com esses dois dados e o centro de gravidade da embarcação, definiu-se a posição de encaixe entre a bicicleta e a embarcação.

Figura 6 - Geometria dos cascos renderizada no software Rhinoceros 5.0.



5.3 ESTABILIDADE ESTÁTICA

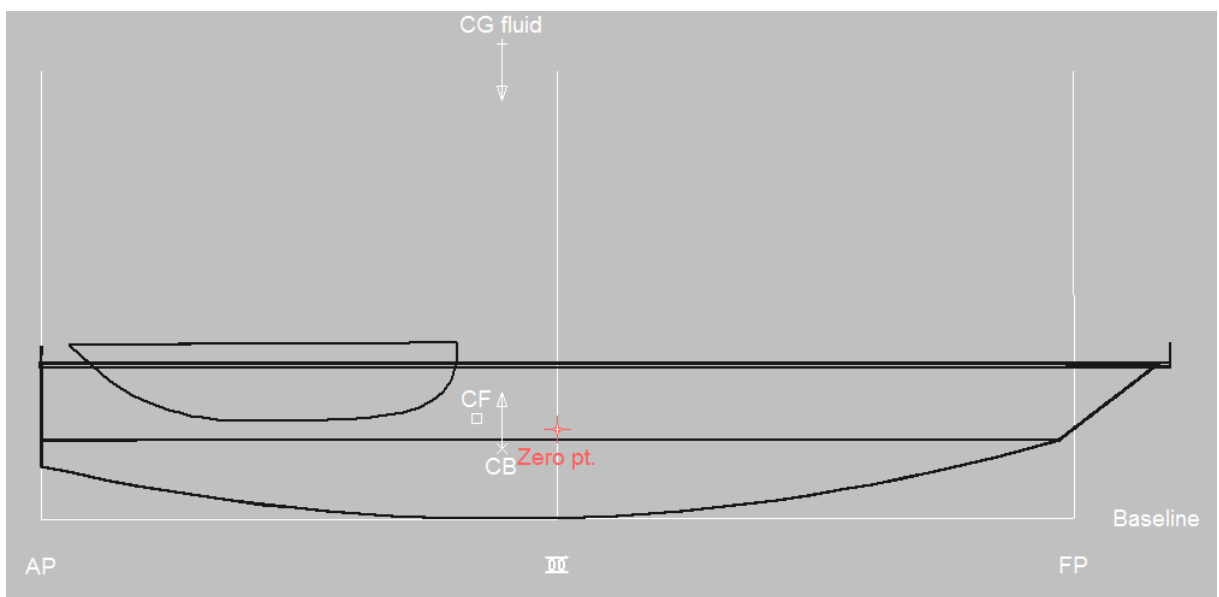
Figura 7 - Estabilidade antes de embarcar (E) e depois de embarcar (D).



A estabilidade estática foi avaliada para duas condições de calado, simulando o peso para uma pessoa que tenha uma média de 75,0 Kg e para uma pessoa com um pouco mais de

100,0 Kg, tendo isso como uma carga máxima. Já o resto do conjunto (bicicleta+embarcação) foi avaliado com aproximadamente 35,0 Kg. Esse peso foi estimado pensando em uma embarcação construída em série, logo a produção em série dos cascos e da plataforma poderão ser feitas em fibra de vidro ou de carbono. Sendo assim, serão necessários dois moldes, esse forma de construção é mais rápida e produz uma embarcação mais leves, já que que a espessura fica mais uniforme, diferente do Carcará que, segundo Sivini (2016), tem 22 Kg, peso da plataforma mais cascos.

Figura 8 - Posição longitudinal no CB e CG.



5.4 HIPÓTESES DO COMPORTAMENTO EM ONDAS

A análise do comportamento em ondas teve como objetivo analisar duas hipóteses que podem ocorrer quando a embarcação estiver navegando causando riscos de queda para seu ocupante. Elas são:

Hipótese 1

Ondas geradas por outras embarcações atingindo lateralmente a embarcação fazendo o ocupante sofrer um impulso repentino o fazendo cair caso não suporte. Com os dados da resposta do da embarcação quando excitado por ondas regulares, *Response Amplitud operator* (RAO), para todos os graus de liberdade em ondas incidindo 90°, calcula-se o módulo da aceleração em um ponto do conjunto (ciclista+bicicleta+embarcação), o ponto que interessa é o

centro de gravidade do ciclista, porque queremos saber a força que ele receberá quando a embarcação responder a onda incidindo lateralmente.

Figura 9 - Onda gerada por outra embarcação.

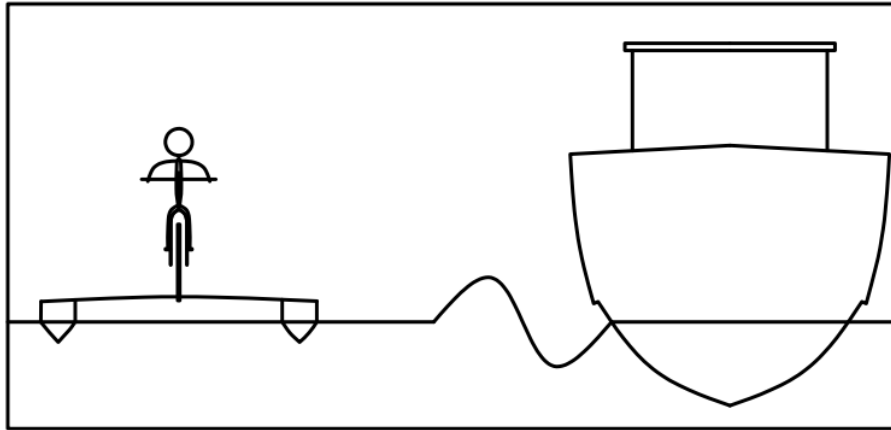
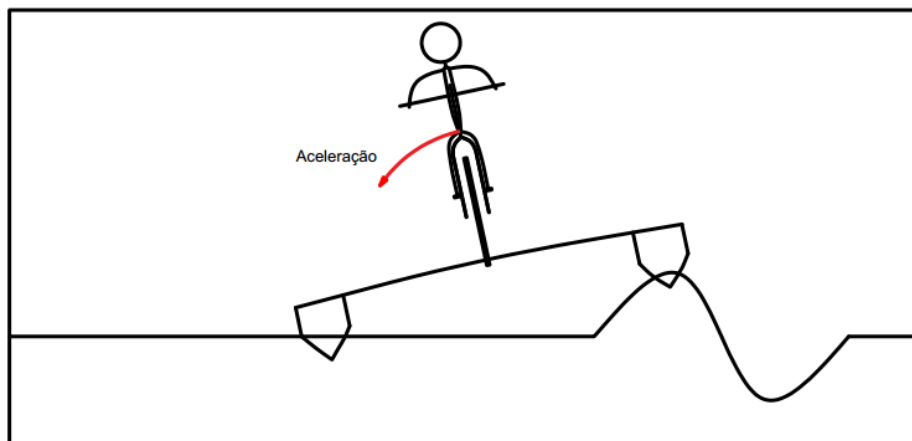


Figura 10 - Onda Incidindo na embarção lateralmente.



Para analisar a hipótese, necessita-se saber as acelerações absolutas em todos os graus de liberdade no centro de gravidade do ciclista. Para isso precisa-se da matriz de transformação:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\psi & \theta \\ \psi & 1 & -\phi \\ -\theta & \phi & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix}$$

Essa matriz de transformação passa do sistema de coordenadas fixo na embarcação (x_b, y_b, z_b), para um sistema de coordenadas de translação inercial. Assim é possível calcular a aceleração de um ponto qualquer da embarcação em função dos graus de liberdade surge, sway, heave, roll, pitch e yaw. As acelerações são representadas conforme a equação x, y, z, ψ, θ e

ϕ , obtidas conforme as segundas derivadas das equações de deslocamento conforme (JOURNÉ, 1999):

$$\begin{aligned} x_p &= x - y_b \cdot \psi + z_b \cdot \theta & (11) \\ &= x_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{xp\zeta}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= y + x_b \cdot \psi - z_b \cdot \phi & (12) \\ &= y_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{yp\zeta}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z_p &= z - x_b \cdot \theta + y_b \cdot \phi & (13) \\ &= z_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{zp\zeta}) \end{aligned}$$

Derivando duas vezes com relação ao tempo chega-se as equações das acelerações.

A aceleração longitudinal é dada por:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_p &= \ddot{x} - y_b \cdot \ddot{\psi} + y_b \cdot \ddot{\theta} - g \cdot \theta & (14) \\ &= -\omega_e^2 \cdot x_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{xp\zeta}) - g \cdot \theta_a \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{\theta\zeta}) \\ &= \ddot{x}_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{\ddot{x}_p\zeta}) \end{aligned}$$

A aceleração lateral é dada por:

$$\begin{aligned} \ddot{y}_p &= \ddot{y} + x_b \cdot \ddot{\psi} - z_b \cdot \ddot{\phi} + g \cdot \phi & (15) \\ &= -\omega_e^2 \cdot y_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{yp\zeta}) + g \cdot \phi_a \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{\phi\zeta}) \\ &= \ddot{y}_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{\ddot{y}_p\zeta}) \end{aligned}$$

A aceleração vertical é dada por:

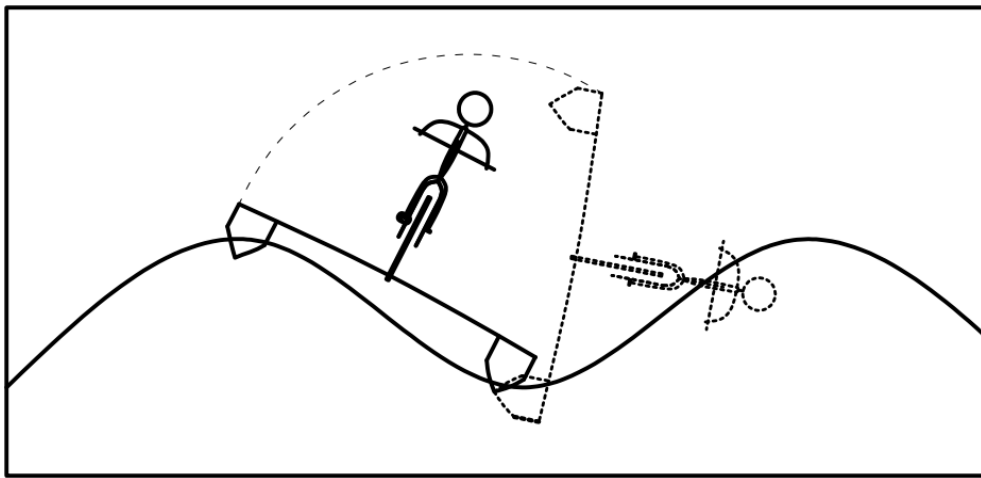
$$\begin{aligned} \ddot{z}_p &= \ddot{z} - x_b \cdot \ddot{\theta} + y_b \cdot \ddot{\phi} & (16) \\ &= -\omega_e^2 \cdot z_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{zp\zeta}) \\ &= \ddot{z}_{pa} \cdot \cos(\omega_e t + \varepsilon_{\ddot{z}_p\zeta}) \end{aligned}$$

As três equações são igualadas a uma equação harmônica, desmembra-se a equação em termos de senos e cossenos e então encontra-se aceleração e defasagem de cada movimento. Depois disso calcula-se o módulo da aceleração.

Hipótese 2

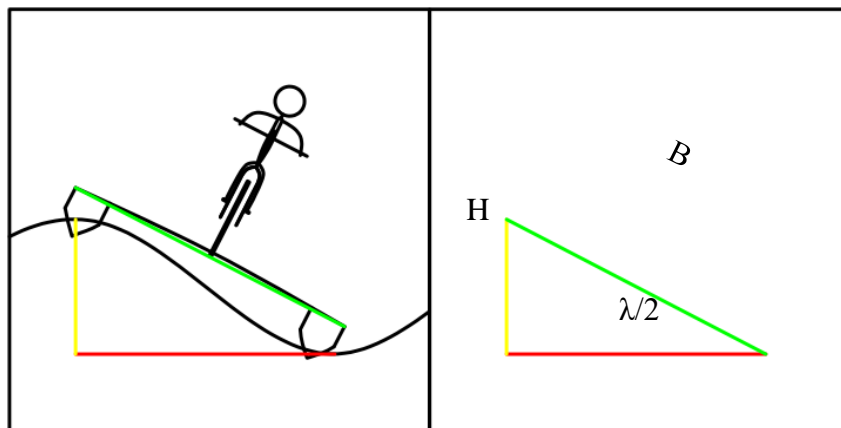
A onda incidindo lateralmente atinge a embarcação de tal forma que um casco fica na crista e o outro no cavado fazendo a embarcação atingir a maior inclinação. Para isso calcula-se o período dessa onda e assumi-se uma onda de amplitude 0,5 m para exemplificar.

Figura 11 - Cascos no cavado e pico de uma onda regular.



Calcula-se o comprimento de onda aproximando a altura da onda, a boca da embarcação e meio comprimento de onda conforme a seguinte figura:

Figura 12 - Inclinação da hipótese 2.



Então para a encontrar o comprimento de onda (λ) usa-se a seguinte equação:

$$\lambda = 2 \cdot \sqrt{B^2 + H^2}$$

Onde:

H= Altura da onda;

B= Boca da embarcação;

E para encontrar a frequência (ω), usa-se a relação de dispersão para águas profundas equação (17):

$$\omega^2 = k \cdot g \quad (17)$$

Como o número de onda $k = 2\pi / \lambda$ a equação fica:

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda} \cdot g}$$

5.5 ESCOLHA DO SISTEMA PROPULSIVO

5.5.1 Caracterização da embarcação

A Resistência ao avanço da embarcação será calculada para duas condições que foram definidas como Peso Leve e Carga Máxima, usando as normas brasileiras que regem esse tipo de embarcação.

A regra para esse tipo de embarcação é a NORMAM-03/DPC (Normas da Autoridade Marítima para amadores, embarcações de esportes e/ou recreio e para cadastramento e funcionamento das marinas, clubes e entidades desportivas náuticas). Segundo ela, a embarcação do projeto é considerada como miúda exigindo apenas uso de colete classe V.

5.5.2 Resultados da Resistência ao Avanço

Os valores para a resistência ao avanço foram feitas no software *Maxsurf Resistance*, utilizando o método Slender Body, Molland, 19th ITTC. Esses Métodos são os mais adequados para catamarãs. Antes de submeter a geometria ao cálculo de resistência utilizou-se a plataforma Modeler do próprio Maxsurf para definir o tipo de embarcação, no caso do projeto catamarã e as distâncias dos monocascos a linha central. Foram feitas as resistências para as duas condições calados de 17,0 cm e calado de 20,0 cm.

5.6 CÁLCULO DE VELOCIDADE E POTÊNCIA

Para calcular a velocidade de serviço, no caso do projeto seria muito variável, pois o motor da embarcação é o próprio ciclista. Definiu-se então a velocidade média de 6 nós, apenas para ter um parâmetro para o cálculo do propulsor. Não é uma velocidade grande aproximadamente 11,0 Km/h, mas se torna significativa comparada à velocidade média de deslocamentos nas grandes cidades, onde as velocidades médias em alguns trechos ficam em certos momentos menos da metade disso, Paula (2016).

Os valores calculados no MAXSURF consideram o casco nú, mas para uma aproximação da realidade pode-se considerar um aumento percentual por apêndices e outro por formação de ondas que, segundo Lewis, EV. (PNA Resistance) fica entre 5-6% e para ondas aproximadamente 7,5 %.

Para o EHP, temos:

$$EHP = Vs \cdot Rt$$

5.7 DIMENSIONAMENTO DO PROPULSOR

Para o dimensionamento do propulsor, o diâmetro máximo é limitado pela proximidade da superfície livre.

Para calcular o coeficiente de esteira, foi usado a fórmulação de Taylor (1933). Conforme a equação (18).

$$\omega = 1,7489Cb^2 - 1,8612 Cb + 0,7272 \quad (18)$$

Onde:

C_b = Coeficiente de Bloco da Embarcação;

Para o cálculo do coeficiente de dedução de empuxo t , usa-se a equação (19). Esse coeficiente considera as mudanças de características do escoamento na popa devido ao propulsor, alterando assim a resistência ao avanço.

$$t = \omega \left[1,57 - 2,3 \frac{C_b}{C_{wp}} + 1,5C_b \right] \quad (19)$$

C_{wp} = Coeficiente do plano de linha de água;

Agora se pode encontrar o empuxo necessário para conseguir a velocidade de serviço com a seguinte equação:

$$T = \frac{R_t}{1 - t} \quad (20)$$

Onde,

R_t = Resistência Total

Calcula-se a eficiência do casco com a equação (21).

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - \omega} \quad (21)$$

Para o cálculo da velocidade de avanço, que é a velocidade com que a água chega ao propulsor, usou-se a equação (22):

$$V_a = V(1 - \omega) \quad (22)$$

5.8 ESCOLHA DO PROPULSOR

Para a escolha do propulsor, utilizou-se o método de séries sistemáticas, usando as *Séries B de Wageningen*, Bernitsas (1981). As principais características dessas hélices são:

- 1- Possuir distribuição radial do passo constante;
- 2- Distribuição Radial do Rake linear mínima de 15°;
- 3- Contorno largo da pá junto a extremidade;
- 4- (“Skew”) Pequeno deslocamento circunferencial.

Para realização da Série B podem ser variados os seguintes parâmetros:

- 1- Número de pás 2 – 7.
- 2- Razão da área expandida 0,3 – 1,05.
- 3- Razão passo- diâmetro 0,5 – 1,4.

Em cada caso existe um diagrama com as curvas para os seguintes coeficientes (D, Kt, Kq, η , Ae/Ao), com as curvas características dos diagramas de águas livres, para diferentes razões entre passo-diâmetro (P/D).

Hélices com menor números de pás têm melhor eficiência e maior diâmetro ótimo, exceto se esse número não corresponder a um múltiplo de cilindros do motor, podendo acontecer ressonância.

Os hélices com 3 ou 4 pás são usados geralmente quando a embarcação possui dois propulsores. Para navios de 1 propulsor são usados 5,6 e 7 pás que geram mais torque.

Adotou-se $z = 2$ (número de pás), que geralmente acompanham esses tipos de embarcação leves e velozes.

Utilizou-se a equação a seguir desenvolvida por Keller para calcular a relação de área mínima, a fim de evitar os efeitos de cavitação.

$$\left(\frac{Ad}{AO}\right)_{\min} = \frac{(1,3 + 0,3Z) \cdot T_{\max}}{(1025H + 10100)D^2} + k \quad (23)$$

Onde:

Z = número de pás;

H = Altura Submersa do Hélice com relação à Linha de água;

T = Empuxo;

D = Diâmetro do Hélice;

K= Coeficiente que varia de acordo com material do hélice e tipo de propulsão.

Com a série escolhida, será calculado o torque médio que chega ao propulsor através do cálculo de transmissão do torque do pedal da bicicleta até o eixo do hélice, com esse, variam-se os o (J) coeficiente de avanço, para diferentes relações passo/diâmetro, obtendo assim, os valores de (Kt) coeficiente de empuxo, (Kq) coeficiente de torque e (n) eficiência do propulsor.

5.8.1 Eficiência Rotativa Relativa

Para o cálculo da eficiência rotativa relativa utilizou-se a equação conforme [24], como mostra a seguir:

$$\eta_{rr} = 0,9722 - 0,05908 * \frac{A_d}{A_0} + 0,07424 * (C_p - 0,0225 * LCB) \quad (24)$$

Onde:

Ad= Área desenvolvida.

A₀ = Área de disco.

C_p = Coeficiente Prismático.

5.8.2 Potência efetiva (EHP) na condição de máximo carregamento.

A potência efetiva fornecida pelo hélice é calculada segundo:

$$EHP = DHP \cdot \eta_0 \cdot \eta_m \cdot \eta_{rr} \quad (25)$$

Onde,

DHP = Potência entregue ao Hélice.

5.8.3 DHP na condição de máximo carregamento.

Calcula-se a potência entregue requerida ($DHP_{requerida}$) com a seguinte equação.

$$DHP_{req.} = \frac{EHP_{req.}}{\eta_0} \quad (26)$$

η_0 = eficiência do hélice.

A potência entregue ao hélice, foi calculada com a seguinte equação.

$$DHP = 2. \pi. Q. N \quad (27)$$

Onde:

Q = torque do hélice (N.m);

N = velocidade de rotação do hélice (RPS).

5.9 DETERMINAÇÃO DO TORQUE EXERCIDO PELO CICLISTA

Para determinar o torque exercido pelo ciclista é preciso compreender as forças interativas aplicadas ao selim, guidão e pedal. Nesse projeto o que mais importa é a força exercida no pedal, pois essa determina o torque aproximado, que calculada as perdas chega ao propulsor. Muitos estudos têm sido desenvolvidos com propósito de medir a melhor forma para uma força máxima sobre os pedais, usou-se como base o seguinte estudo retirar esses dados.

O teste feito com 8 ciclistas todos com mais de 3 anos de prática em ciclismo e que faziam parte da elite de ciclistas do Rio Grande do Sul. Resultou-se a média de força efetiva deles. Como o ciclismo é um esporte de resistência e não de força pode-se considerar que a força exercida pelos ciclistas em questão, não está muito distante da força exercida por ciclistas do dia-a-dia, Candotti (2003). Logo, podem-se tomar os resultados como válidos. Seguindo os dados da Tabela 6.

Tabela 6 - Média e incertezas adaptadas de CANDOTTI.

Frequência de giro	FR(N)	FE (N)	IE (%)
60 rpm	428 ± 80	410 ± 78	38 ± 17
90 rpm	369 ± 80	299 ± 95	15 ± 09

Onde:

FR= Força resultante;

FE= Força Efetiva;

IE = Índice de Efetividade.

Esse índice de efetividade mostra o aproveitamento da força exercida no pedal que não é perdida, mas sim que se transforma em movimento.

A Tabela 6 acima mostra as forças aplicadas pelos ciclistas, para o torque é necessário o braço dessa força que é dado pelo pedivela.

“Nas pedivelas para ciclismo (speed) as medidas encontradas são: 165, 167.5, 170, 172.5, 175, 177.5 ou 180 mm. Na maioria das Mountain Bikes as medidas são 170 ou 175 mm” (ESCOLA DE BICICLETA, 08/12/2016).

Esse torque foi medido em ciclistas profissionais, então se pode considerar que um ser humano comum renda 70 % de um atleta, ele não precisará de muito esforço para mover a embarcação.

Com esses dados do torque, usa-se a média desse valor 71,75 N.m para calcular o torque que chega ao propulsor através do sistema de transmissão. Para calcular o torque que chega ao propulsor faz-se necessário calcular a transferência de torques. É sabido que a velocidade linear é igual para as duas engrenagens no ponto de contato entre elas. A diferença fica na velocidade angular logo tem-se:

$$V = \omega \cdot R \quad (28)$$

Então, como V_1 é igual a V_2 no ponto de contato, tem-se a igualdade:

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2$$

$$\omega_1 = \omega_2 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (i)$$

A potência pode ser calculada como $P = \text{Força} \times \text{Velocidade}$, para o movimento circular tem-se:

$$P = \tau \cdot \omega \quad (29)$$

Onde:

$\tau = \text{torque}$.

$\omega = \text{velocidade angular}$.

Como a potência é a mesma nas duas engrenagens a equação segue:

$$\tau_2 \cdot \omega_2 = \tau_1 \cdot \omega_1 \quad (\text{ii})$$

Substituindo (i) em e (ii):

$$\tau_2 \cdot \omega_2 = \tau_1 \cdot \omega_2 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$\tau_2 = \tau_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Seguindo esse procedimento calcula-se o torque que sai do ciclista e chega ao propulsor.

Durante essa transferência o torque passará por um sistema de engrenagens parafuso sem fim com relação de 5:1 muito comum pra esse tipo de engrenagens e com eficiência maior que 95 %, e no fim antes de chegar ao propulsor passa por um sistema de engrenagens cônicas, Almacinha (2002).

Há outro parâmetro com relação a esse torque médio, porque a maioria das bicicletas do mercado já tem incluso seu próprio sistema de redução, sendo assim, o ciclista pode variar as marchas da bicicleta de tal forma que possa conseguir se mover com a embarcação mais confortavelmente de acordo com seus limites de forças exercidos diretamente nos pedais.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 ESTABILIDADE ESTÁTICA

As hidrostáticas calculadas no Maxsurf para os dois calados 17 e 20 cm, estão de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 - Hidrostáticas para os dois calados.

HIDROSTÁTICAS		
Displacement t	0,1114	0,1423
Volume (displaced)	0,064	0,093
Draft Amidships	0,170	0,200
Immersed depth	0,170	0,200
WL Length	2,258	2,311
Beam max extents on WL	2,330	2,339
Wetted Area	1,442	1,743
Max sect. Área	0,048	0,066
Waterpl. Area	0,926	0,985
Prismatic coeff. (Cp)	0,583	0,610
Block coeff. (Cb)	0,071	0,086
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,122	0,141
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,176	0,182
LCB length	1,026	1,032
LCF length	1,036	1,047
LCB %	45,454	44,645
LCF %	45,892	45,327
KB	0,121	0,141
KG fluid	0,046	0,046
BMt	15,288	11,162
BML	4,188	3,236
GMt corrected	15,363	11,258
GML	4,263	3,331
KMt	15,409	11,303
KML	4,309	3,377
Volume (displaced)	0,002	0,003
Draft Amidships	0,019	0,019
Immersed depth	0,0000	0,0000

Com os dados da Tabela 8, podemos ver que a diferença de posição longitudinal tanto para 0,17 m como para 0,20 m é menos de 2 cm:

Tabela 8 - Diferença das Posições LCG e LCF.

Calado (m)	LCG (m)	LCB (m)	LCG-LCF (m)
0,17	1,036	1,026	0,010
0,20	1,047	1,032	0,015

A partir da Tabela 8 com as posições dessas forças resultantes e a Figura 7, pode-se concluir que a embarcação tem equilíbrio longitudinal.

Para a estabilidade longitudinal, conforme a Tabela 9, o GM_L é positivo para os dois casos de calado.

Tabela 9 - GMI para os dois calados.

Calado (m)	GM_L (m)
0,17	4,26
0,20	3,33

Conclui-se assim que a embarcação tem estabilidade longitudinal.

Para a estabilidade Transversal para pequenos ângulos, usando a condição mais crítica, onde o calado é de 20 cm, segundo a Tabela 7, temos:

$$GM_t = 11,26 \text{ m}$$

Como o GM_T ficou maior que zero, pode-se concluir que a embarcação é estável transversalmente para pequenos ângulos.

A estabilidade transversal para grandes ângulos foi calculada no Maxsurf conforme a Tabela 10.

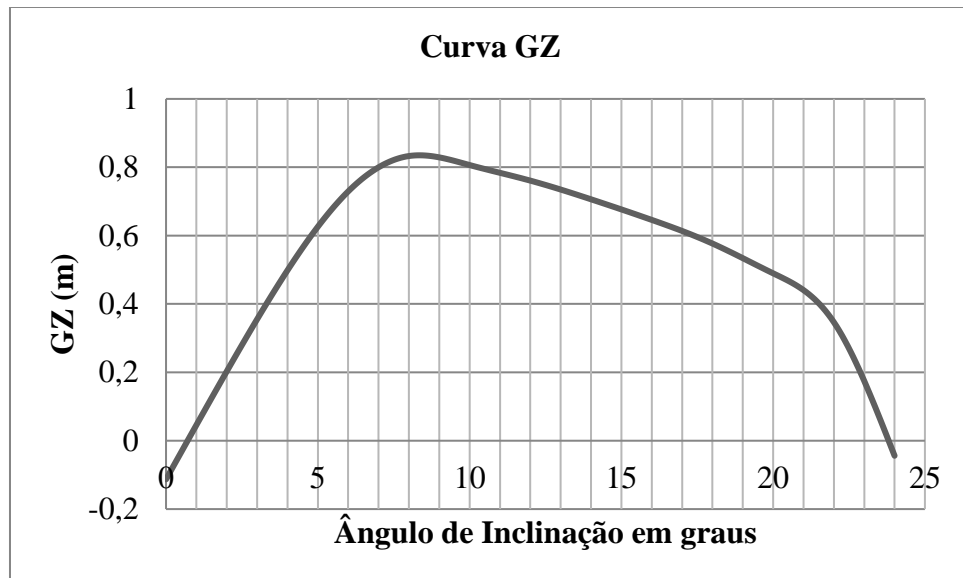
Tabela 10 - Curva GZ para calado de 20 cm.

Ângulo	0	4°	8°	12°	14°
GZ m	0,001	0,552	0,828	0,703	-0,165

O ângulo máximo de estabilidade estática transversal fica um pouco abaixo de 14°, valor relativamente baixo em relação a outras embarcações. Isso aconteceu porque o ciclista representa o maior peso do sistema, fazendo com que o centro de gravidade do sistema se desloque

verticalmente para cima do convés. Esse fato é avaliado com as respostas da embarcação no domínio da frequência de onda excitando o sistema.

Figura 13 - Curva GZ para calado de 0,20 m.



Conclui-se que a embarcação é estável para grandes ângulos até 24° , que é o ângulo até onde a embarcação tem restauração.

6.2 COMPORTAMENTO EM ONDAS

Malha criada para ser avaliada no WAMIT.

Figura 14 - Malha de um dos cascos usados no WAMIT.

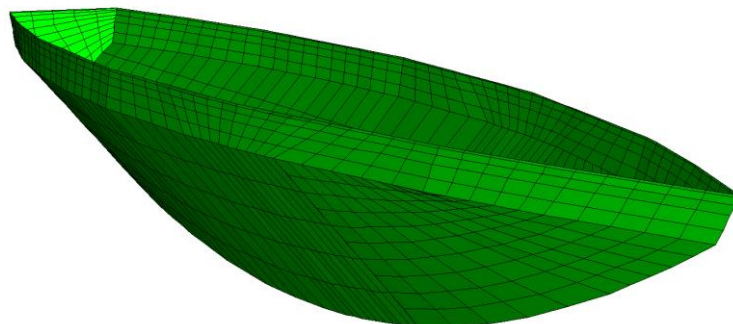


Figura 15 - Vista de planta da malha utilizado no WAMIT.

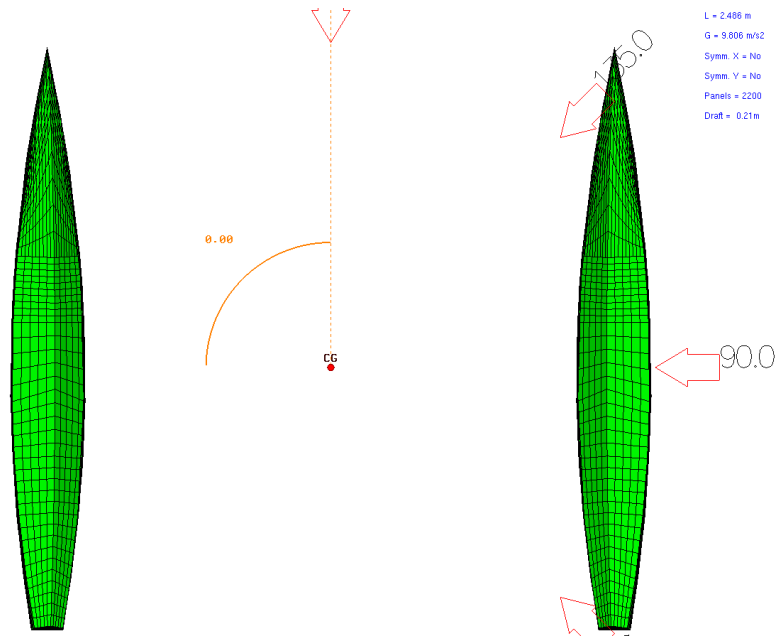


Figura 16 - Interface do SSTAB e as características da embarcação.

Sstab 3.64.1 (Beta 3) I:\MATERIAS UPPE\GRADUAÇÃO\ME 632 - Hidrodinâmica do Navio 3\projeto\2016-2\linha 12.Josival\12.sst MG original (Intact Cases:Condition_1)

File Edit Properties Analysis View Help

BR Tecgraf

Equilibrium successfully computed!

XY XZ YZ ZY 1:1

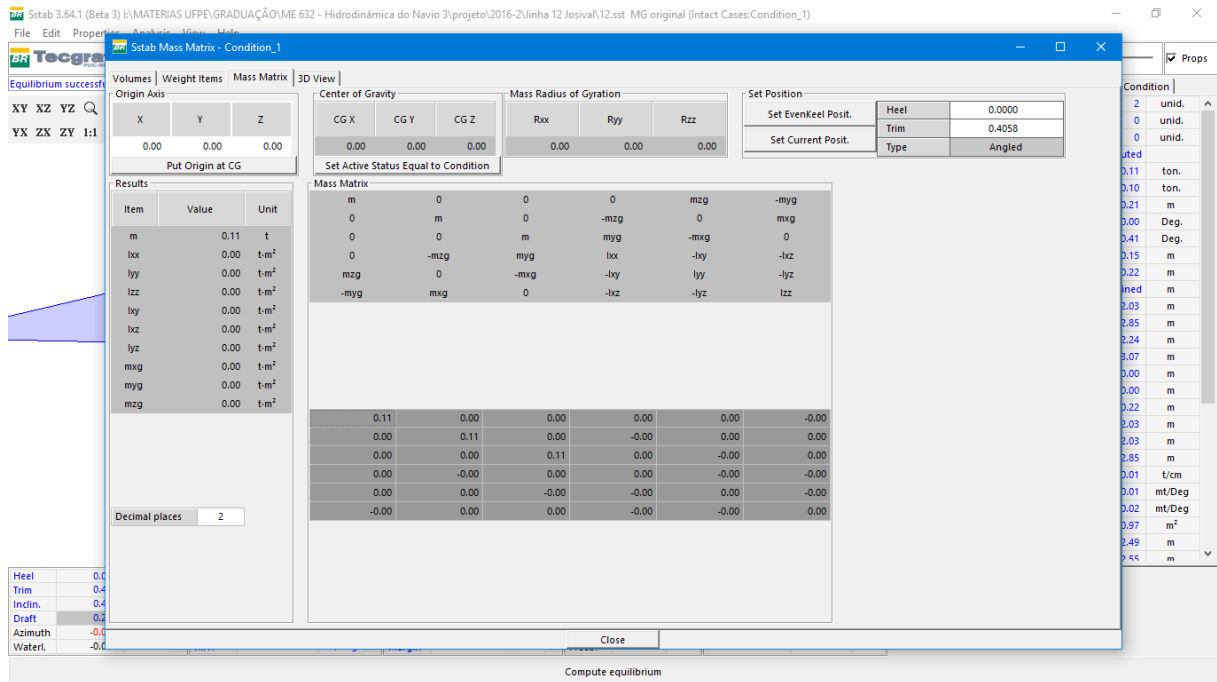
Summary | Volume | Weight | Condition

Number of Volumes	2	unid.
Flooded Volumes	0	unid.
Damaged Volumes	0	unid.
Equilibrium	Computed	
Weight	0.11	ton.
Displacement	0.10	ton.
Reference Draft	0.21	m
Heel	0.00	Deg.
Trim	0.41	Deg.
KB	0.15	m
KG	0.22	m
KGmax (design)	Not defined	m
Transv. GM	12.03	m
Longit. GM	2.85	m
Transv. KM	12.24	m
Longit. KM	3.07	m
Transv. Free Surf.	0.00	m
Longit. Free Surf.	0.00	m
Corrected KG	0.22	m
KG Margin	12.03	m
Correct.Transv.GM	12.03	m
Correct.Longit.GM	2.85	m
TPC	0.01	t/cm
MT1	0.01	mt/Deg
MH1	0.02	mt/Deg
Waterline Area	0.97	m ²
Length (LBP)	2.49	m
Breadth (BMidst)	> <<	m

Heel	0.000	Deg.	Displ.	0.10	t	Weight	0.11	t	Diff.	0.000	%	DF 0		m
Trim	0.406	Deg.	LCB	0.00	m	LCG	0.00	m	GZl	-0.000	m	Draft_1	0.21	m
Inclin.	0.406	Deg.	TCB	-0.00	m	TCG	0.00	m	GZt	0.000	m			m
Draft	0.213	m	VCB	0.15	m	VCG	0.22	m	GMI	2.854	m			m
Azimuth	-0.000	Deg.	TPC	0.01	t/cm	KGmax	Not defined	m	GMt	12.027	m			m
Waterl.	-0.001	m	MH1	0.02	mt/Deg	Margin	12.03	m	Freeb.	0.122	m			m

Compute equilibrium

Figura 17 - Valores das inércias SSTAB.



Abaixo seguem os resultados da avaliação da embarção no WAMIT, esses dados saem do programa em forma numérica, ao plotar os dados gerou os seguintes gráficos usados para calcular a hipótese 1.

Figura 18 - Massas adicionadas em Heave, Pitch e Roll.

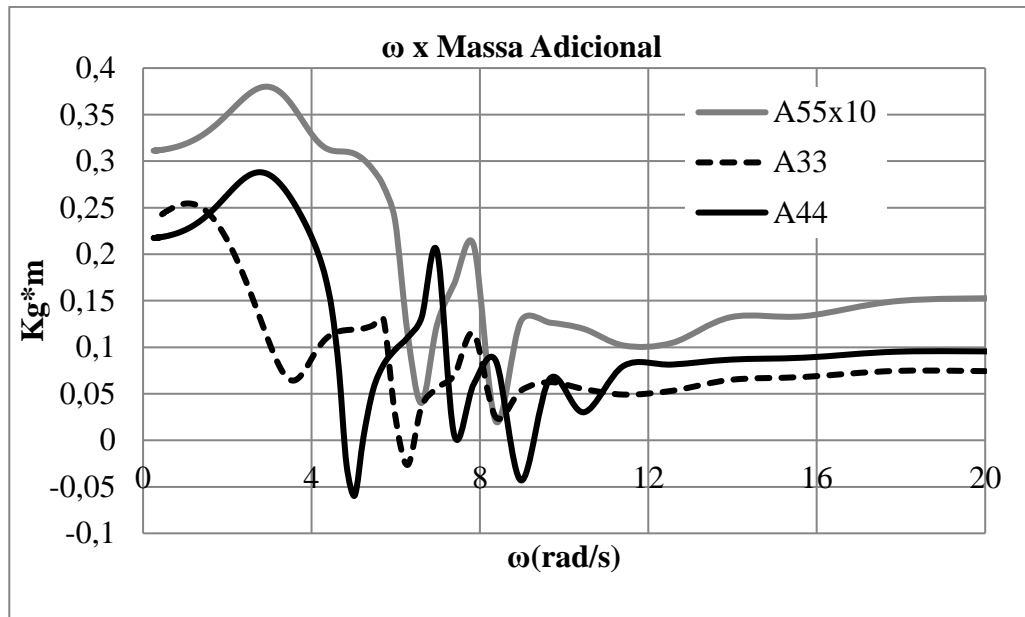
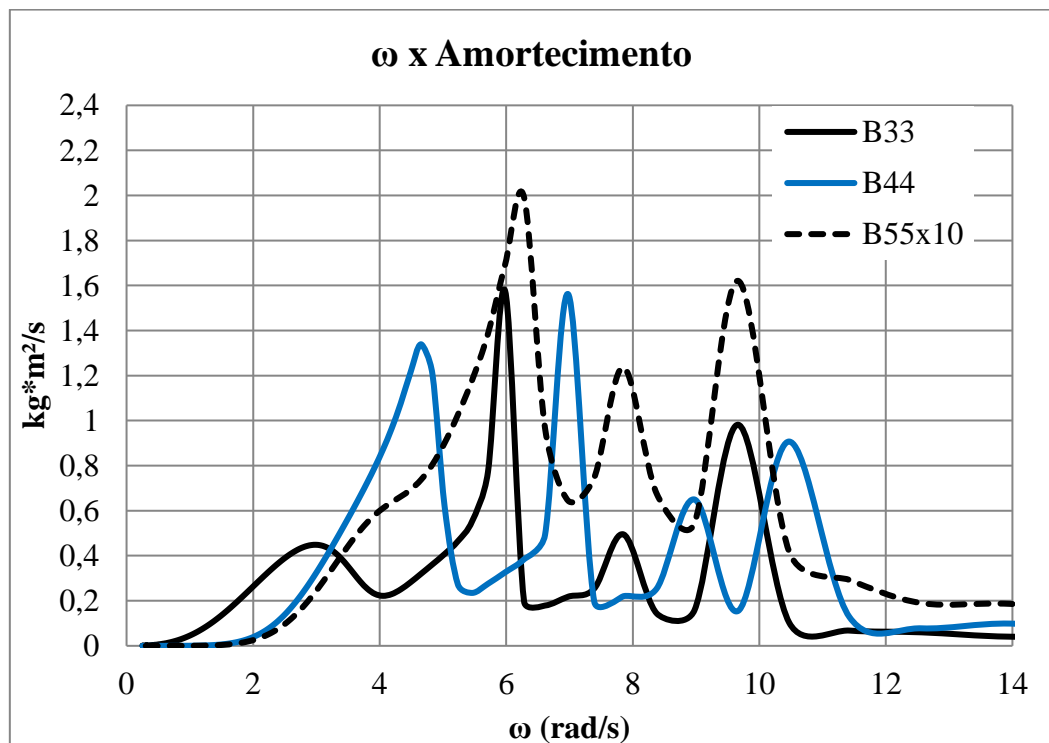


Figura 19 - Amortecimento para Heave, Pitch e Roll.



Nota-se nos gráficos de massa adicional e amortecimento uma tendência de curva característica desses movimentos, o que distingue no caso são essas variações de picos e cavados que parecem sem sentido, mas são resultados das interações entre os cascos da embarcação os quais irradiam ondas que influenciam no movimento do outro.

Figura 20 - Heave ondas incidente 90° no domínio da frequência.

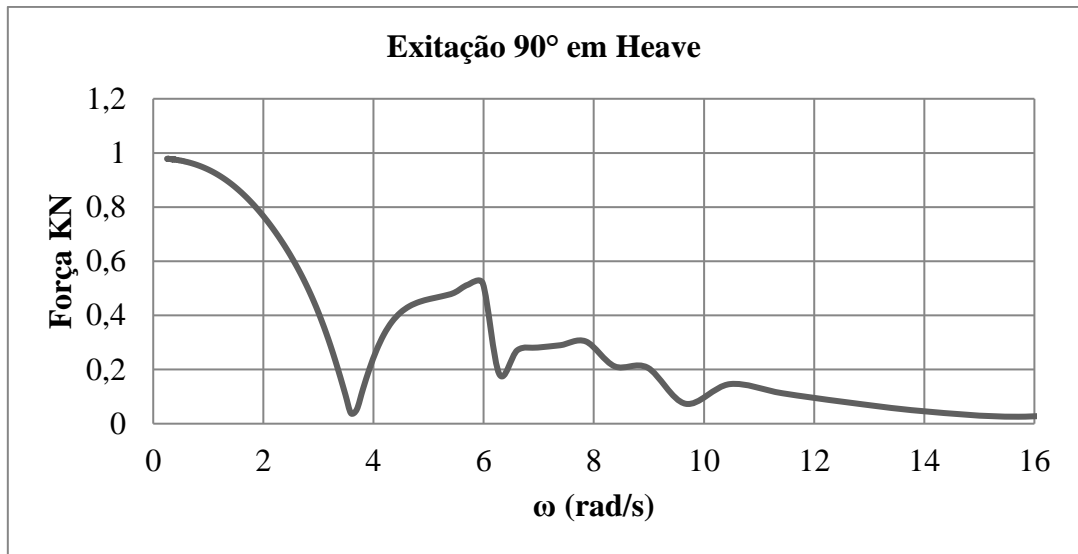


Figura 21 - Heave ondas incidente 180° no domínio da frequência.

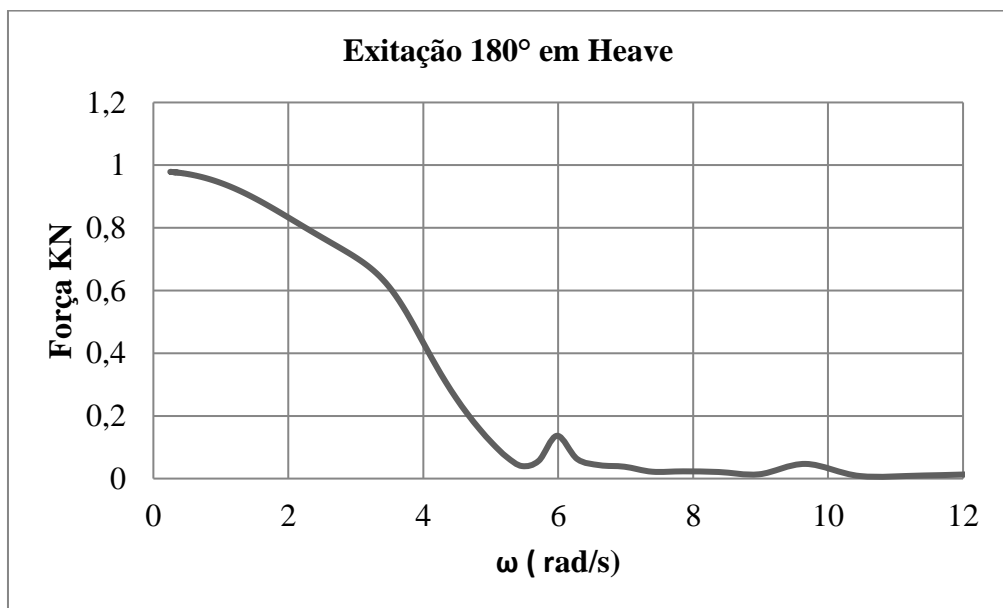


Figura 22 - Roll ondas incidente 90° no domínio da frequência.

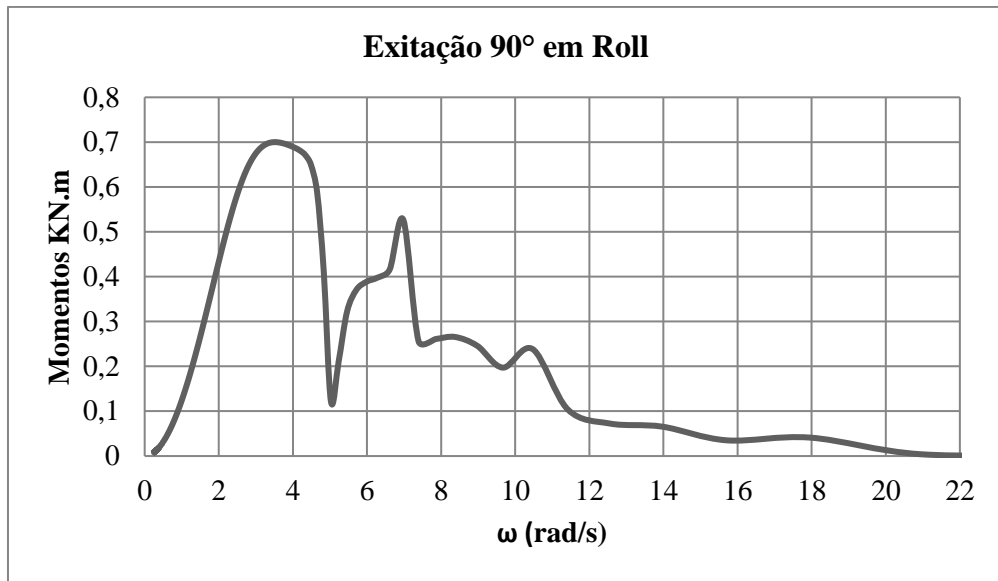


Figura 23 - Roll ondas incidente 180° no domínio da frequência.

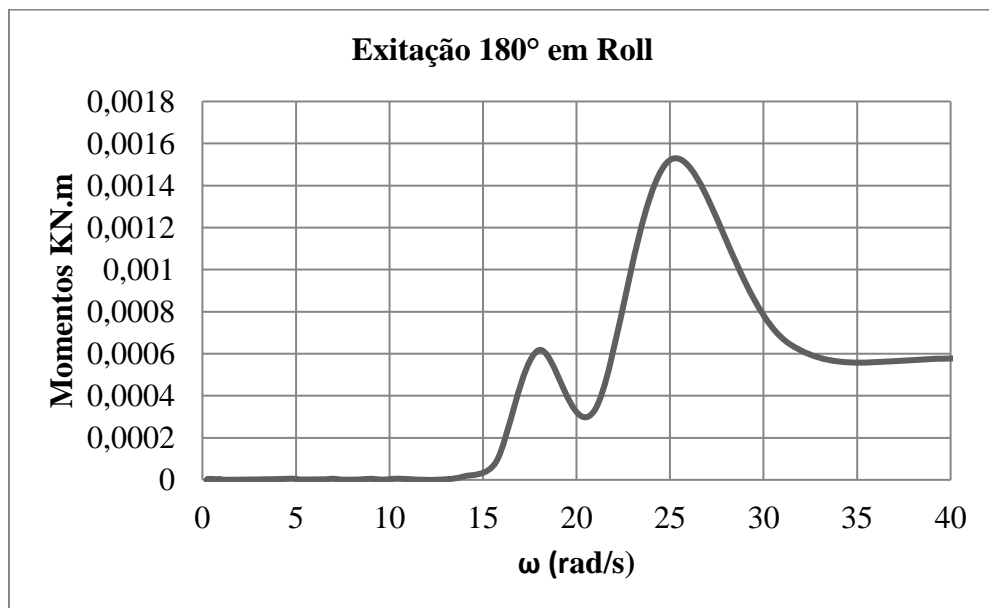


Figura 24 - Pitch ondas incidente 90° no domínio da frequência.

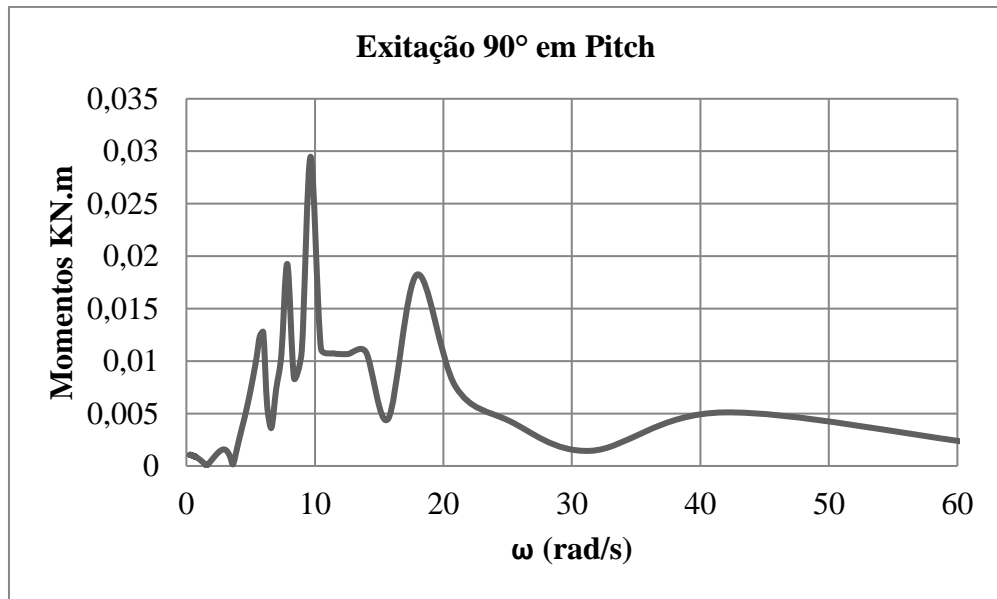
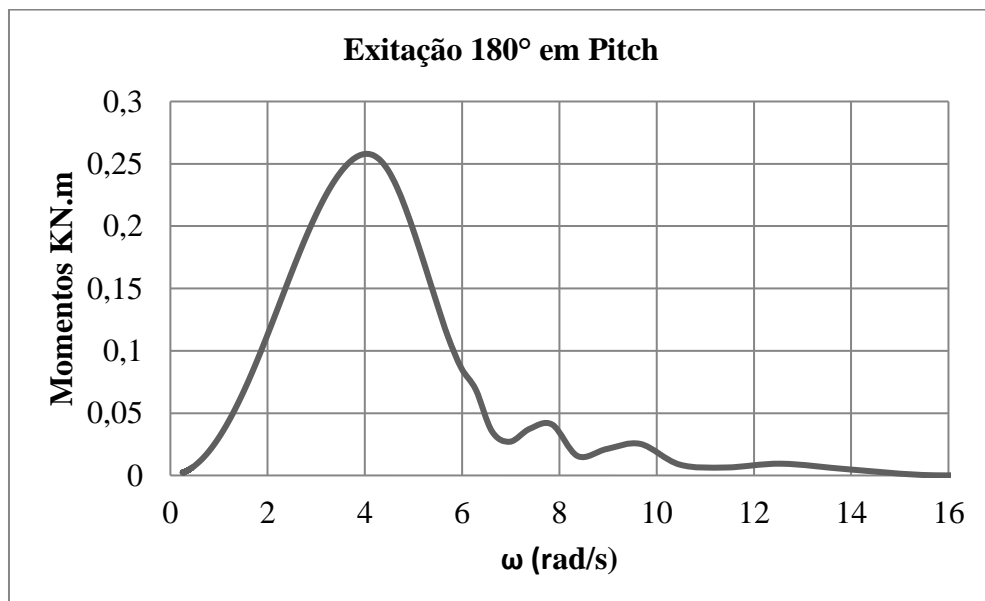


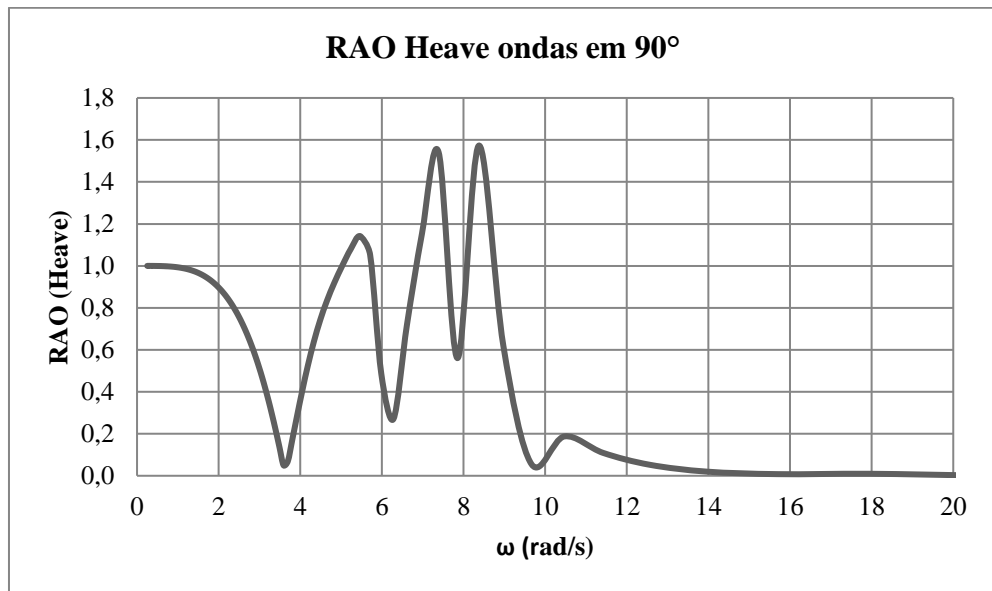
Figura 25 - Pitch ondas incidente 180° no domínio da frequência.



Tanto nos gráficos de força em heave como os de momentos em Roll e Pitch, pode-se notar a tendência de uma curva com decaimento e características desses movimentos, no entanto o mesmo que aconteceu com as massas adicionais e o amortecimento, existe uma oscilação variando as forças e momentos com pequenas variações nas frequências logo após atingir os valores mínimos, causando alguns picos e cavados. No momento em pitch para ondas transversais os valores dos momentos são pequenos e essa variação pode ser explicada pela difração das ondas entre os cascos, ou seja, a onda contorna o primeiro casco e só depois atinge o outro.

Conclui-se que aconteceu o mesmo caso, que nas ondas irradiadas (massa adicional e Amortecimento), em que um casco influencia no movimento do outro causando essas variações nas forças e nos momentos.

Figura 26 - RAO ondas em 90 ° Heave.



Os três picos que aparecem na Figura 25 são nas seguintes frênuências:

RAO	ω (rad/s)
1,14	5,46
1,54	7,39
1,57	8,38

Figura 27 - RAO de Heave onda incidindo 180°.

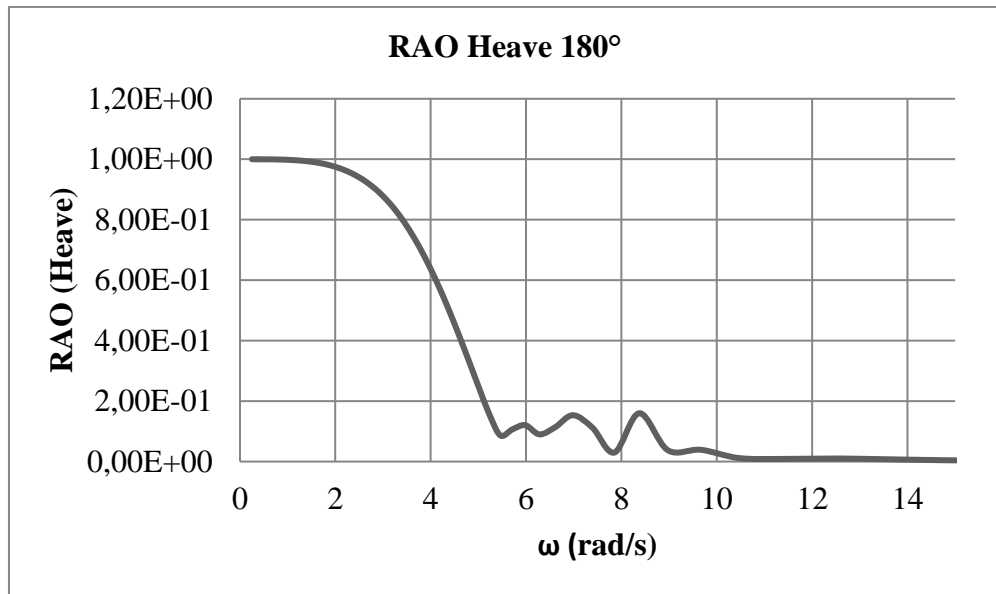
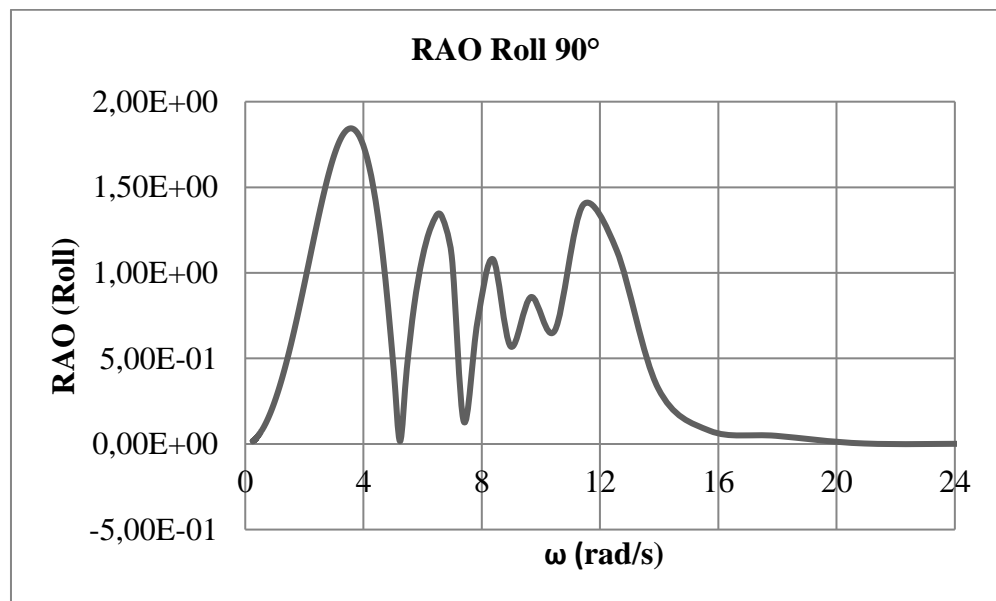


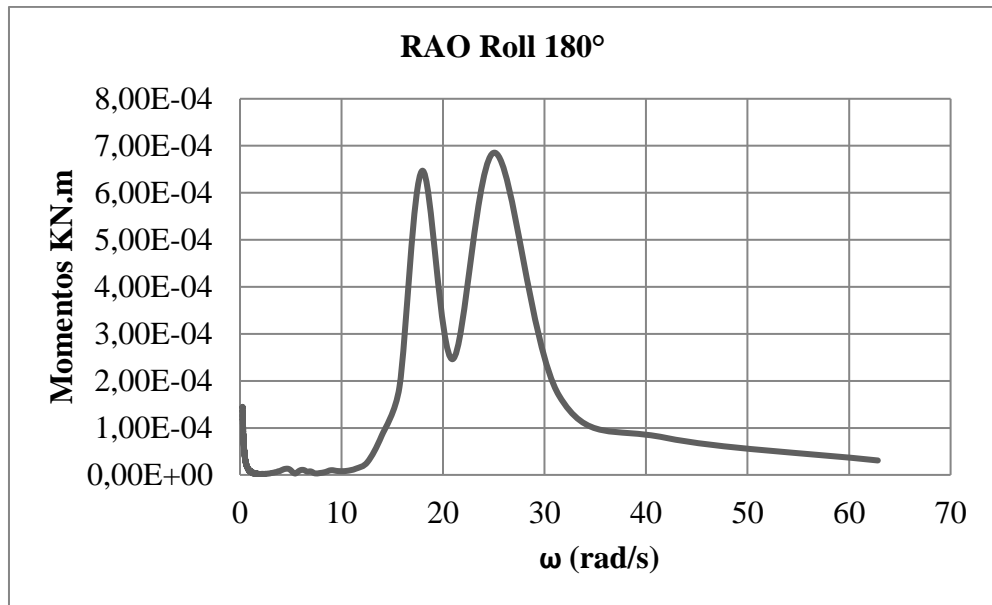
Figura 28 - RAO em Roll onda incidindo 90°.



Na Figura 27 aparecem quatro picos nas seguintes frênuências:

RAO	ω (rad/s)
1,84	3,59
1,34	6,61
1,08	8,38
1,4	11,42

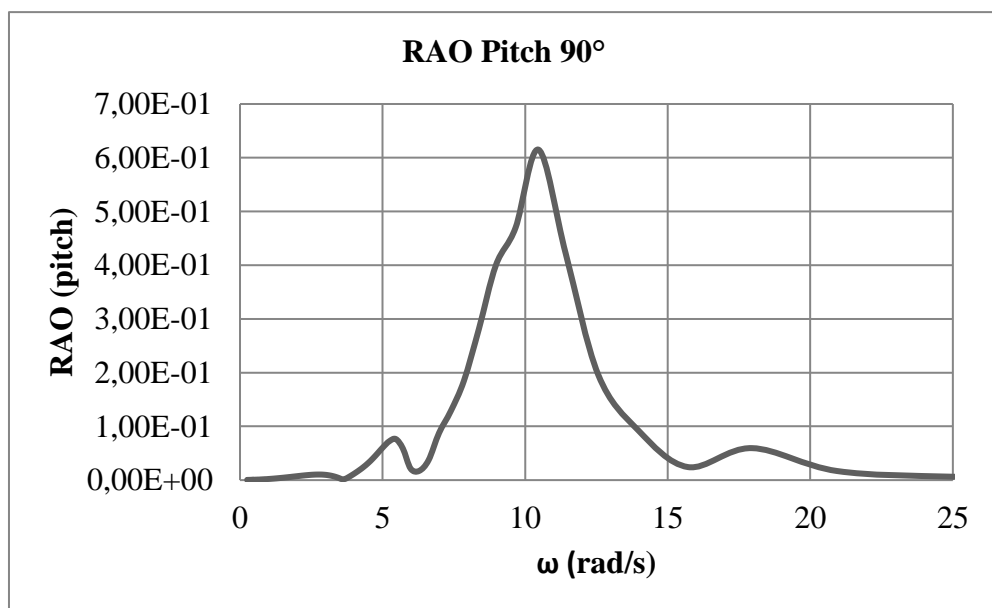
Figura 29 - RAO em Roll onda incidindo 180°.



Na Figura 28 aparecem dois picos nas seguintes frênuências:

RAO	ω (rad/s)
$6,47 \times 10^{-4}$	17,95
$6,85 \times 10^{-4}$	25,13

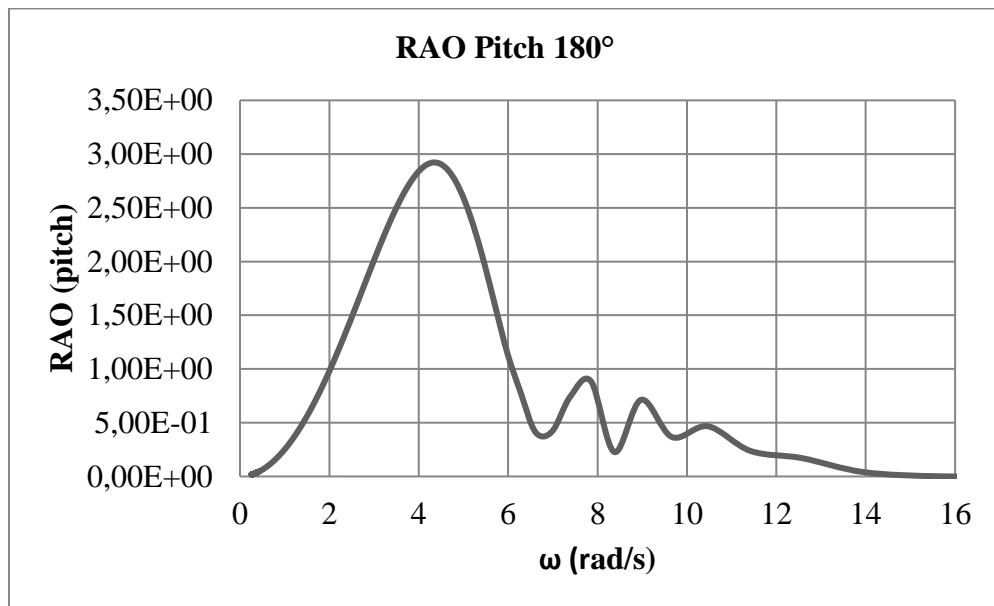
Figura 30 - RAO em Pitch onda incidindo 90°.



O pico da figura se encontra na frequência:

RAO	ω (rad/s)
$6,15 \times 10^{-1}$	10,47

Figura 31 - RAO em Pitch onda incidindo 180°.



O pico mais expressivo da Figura 30 fica na frequência:

RAO	ω (rad/s)
2,92	4,33

Para uma melhor visualização dos resultados, foi necessário, em determinados momentos, multiplicar os valores de algumas variáveis por 10 ou por 100, a fim de apresentá-las com escala parecida.

Como esperado por se tratar de um catamarã, nos gráficos do RAO em Roll a resposta é bem baixa comparada aos outros movimentos, pois pela geometria cada casco funciona em relação ao outro com uma enorme restauração. As respostas em Pitch e Heave são maiores nas ondas que incidem pela proa, enquanto que as forças e momentos são muito irregulares com vários picos os quais evidenciam a característica da embarcação cujos movimentos são amplificados para várias frequências (FITRIADHY, 2017).

As frequências naturais de cada movimento foram calculadas e ficaram segundo a Tabela 11.

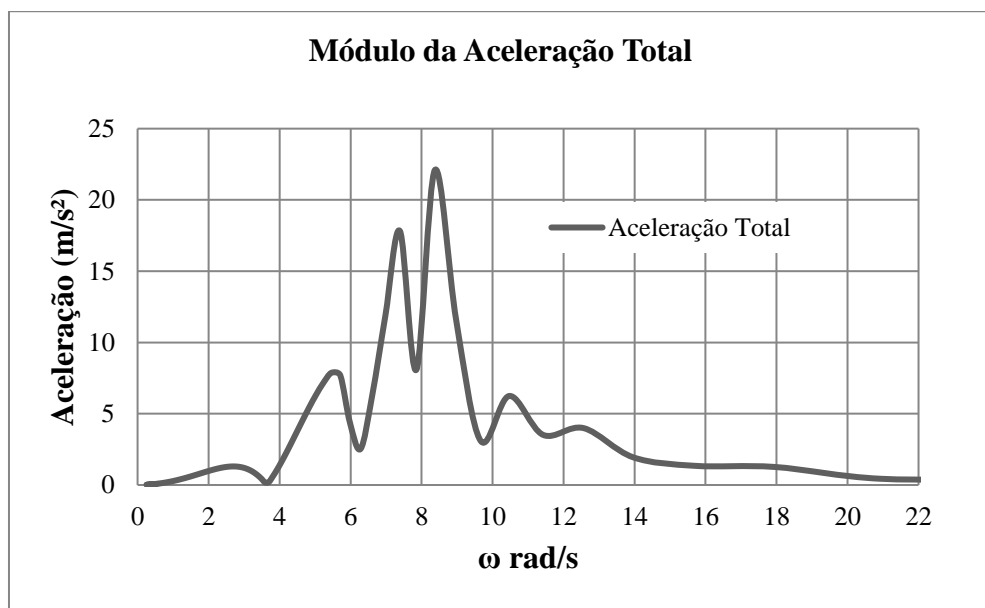
Tabela 11 - Frequências Naturais de Heave, Roll e Pitch.

Movimento	T_p (s)	ω_n (rad/s)
Heave	0,74	8,51
Roll	5,25	1,20
Pitch	14,92	0,42

Em alguns movimentos como em roll um dos picos de altas frequências coincidem com a frequência natural de Heave que é de 8,51, então é possível que os movimentos acoplados se intensificaram.

O comportamento em ondas como já falado, foi analisado para simular duas hipóteses. A primeira é para saber a aceleração que o ciclista pode ser submetido quando uma onda atinge a embarcação lateralmente. Logo, o módulo da aceleração calculada segundo o procedimento para uma onda de 0,2 m gerada por outra embarcação ficou:

Figura 32 - Módulo da aceleração onda incidindo lateralmente.



O pico da aceleração é 22,0 m/s² ocorre quando a frequência é de 8,38 rad/s, usando a equação (22) o valor do comprimento de onda fica 0,878 m. Essa aceleração parece alta, mas depende do tempo que ela vai agir sobre o corpo do ciclista. O período para essa onda é 0,75 s, então o impulso não é tão grande, além disso, essa aceleração fica um pouco mais de 2G, ou seja, duas vezes a aceleração da gravidade isso não é tão grande comparado a alguns esportes que chegam a ter acelerações de até 5G, Redbull (2018), a maioria dos ciclistas podem suporta essa força caso aconteça esse evento.

Na hipótese 2, saber qual onda pode deixar a embarcação mais inclinada, com um casco no pico e o outro no cavado, logo o comprimento de onda ficou:

$$\lambda = 4,6 \text{ m}$$

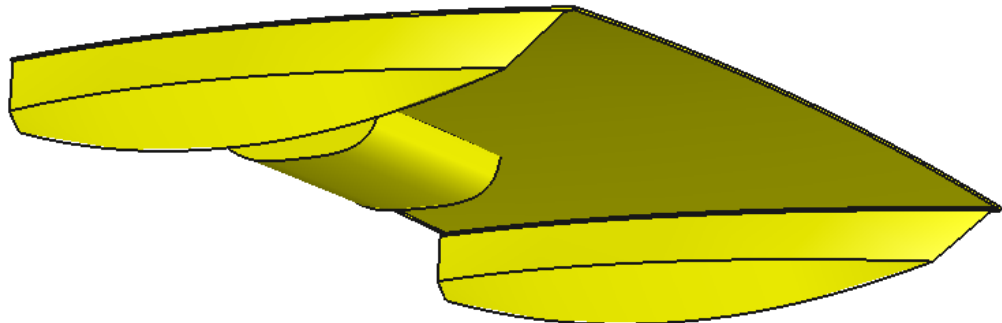
E para encontrar a frequência ω , usou-se a relação de dispersão para águas profundas equação (17). Dando:

$$\omega = 3,66 \text{ rad/s}$$

6.3 SISTEMA PROPULSIVO

A geometria usada para calcular a Resistência ao avanço na seguinte figura:

Figura 33 - Modelo 3D utilizado no Maxsurf Resistance.



Ao selecionar o método, Slander Body, Molland, 19th ITTC foi necessário apenas escolher a faixa de velocidades as quais se quer avaliar a resistência ao avanço. A tabela 12 e o gráfico Figura 33, que seguem apresentam os resultados gerados pelo software para velocidades de 0,5 até 19,5 nós.

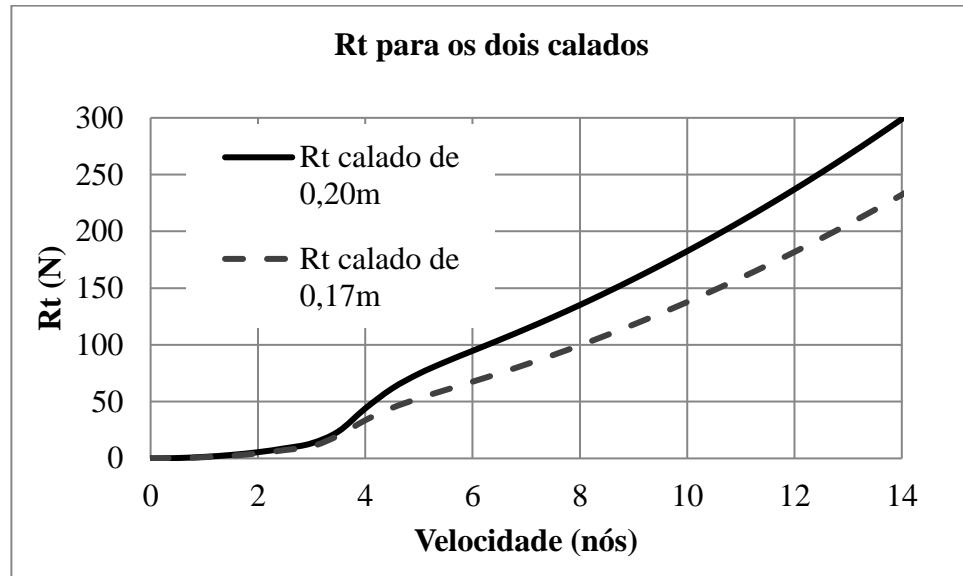
Tabela 12 - Resistências ao Avanço para as duas condições de carga.

Velocidade (nós)	Rt para calados (N)		Potência (w) para Calados	
	0,17 m	0,20 m	0,17 m	0,20 m
0,5	0,31	0,42	0,08	0,11
1	2,09	3,69	1,08	1,9
1,5	3,99	6,68	3,08	5,15
2	6,03	10,05	6,2	10,34

2,5	9,12	13,69	11,73	17,6
3	12,42	19,15	19,17	29,55
3,5	19,82	26,99	35,69	48,59
4	31,36	44,65	64,52	91,87
4,5	41,05	60,59	95,04	140,26
5	48,85	72,68	125,65	186,94
5,5	55,87	82,67	158,09	233,91
6	62,81	91,99	193,87	283,95
6,5	69,97	101,45	233,98	339,23
7	77,55	111,23	279,27	400,55
7,5	85,5	121,51	329,9	468,84
8	93,86	132,33	386,27	544,61
8,5	102,68	143,65	448,99	628,15
9	111,89	155,48	518,04	719,87
9,5	121,48	167,81	593,71	820,15
10	131,48	180,69	676,41	929,53
10,5	141,92	194,08	766,59	1048,37
11	152,72	207,89	864,25	1176,45
11,5	163,98	222,39	970,1	1315,66
12	175,59	237,24	1083,95	1464,55
12,5	187,66	252,71	1206,74	1625,1
13	200,12	268,7	1338,39	1797,04
13,5	213,05	285,21	1479,61	1980,81
14	226,31	302,25	1629,93	2176,9
14,5	240,06	319,8	1790,75	2385,56
15	254,28	338,01	1962,21	2608,32
15,5	268,88	356,71	2144,04	2844,37
16	283,86	375,94	2336,51	3094,39
16,5	299,31	395,67	2540,64	3358,54
17	315,26	416,05	2757,14	3638,59
17,5	331,64	437,04	2985,65	3934,55
18	348,38	458,55	3226,03	4246,18
18,5	365,57	480,55	3479,17	4573,55

19	383,24	503,14	3746	4917,94
19,5	401,35	526,37	4026,18	5280,41

Figura 34 - R_t da embarcação para os dois calados.



Constata-se pelos gráficos que, no método de Slender Body, só quando a velocidade chegar perto dos 3,5 nós, a curva de resistência começará a estabilizar. Como visto na teoria desse método, ele calcula com melhor eficiência embarcações de alto desempenho. Essa velocidade de 3,5 nós é aproximadamente 6,5 km/h, equivalente a uma corrida em baixa velocidade de um ser humano normal.

No caso do projeto como a velocidade pode variar dependendo do tipo de bicicleta e do biótipo do ciclista o sistema propulsivo foi calculado para uma velocidade de 6 nós.

Os Cálculos do coeficiente de esteira e propulsão.

Para calcular o coeficiente de esteira, foi usado a fórmulação de Taylor (1933). Conforme a equação (18).

Onde:

$$C_b = 0,34$$

Substituindo na equação temos:

$$\omega = 0,297$$

Para o cálculo do coeficiente de dedução de empuxo, usa-se a equação (19). Esse coeficiente considera as mudanças de características do escoamento na popa devido ao propulsor, alterando assim a resistência ao avanço.

$$C_{wp} = 0,61$$

Substituindo na equação temos:

$$t = 0,24$$

Agora se pode encontrar o empuxo necessário para conseguir a velocidade de serviço com a equação (20):

$$R_t = 94,76 \text{ N}$$

Substituindo na Equação (20), tem-se:

$$T = 124,7 \text{ N}$$

E também a eficiência do casco com a equação (21).

Substituindo os valores, tem-se:

$$\eta_H = 1,081$$

Para o cálculo da velocidade de avanço, que é a velocidade com que a água chega ao propulsor, usou-se a equação (22):

Logo,

$$V_a = 4,22 \text{ nós} = 2,17 \text{ m/s}$$

No Dimensionamento do propulsor utilizando o desenho do projeto, um diâmetro máximo aproximado poderia ser de até 0,3 m, mas adotou-se um diâmetro de 0,10m, esse valor foi escolhido, pois atendeu os critérios de limitação do projeto, além de que, diâmetros dessa magnitude são mais baratos e fáceis de encontrar no mercado.

A transmissão da rotação da roda da bicicleta até o propulsor foi calculada usando tamanhos médios das rodas em bicicletas nas quais se adotou aro 26, o mais encontrado para bicicletas de engrenagens comuns no mercado. Adotado esse aro, segundo o projeto para cada rotação da roda da bicicleta o propulsor rotaciona 2,64 vezes. Também foi feito um ranger do

número de voltas por segundo, variando a velocidade linear da bicicleta entre 15-45 Km/h, fazendo com que O RPS varie entre 5,28 e 16,1. Ver tabela 13.

Figura 35 - Esquema de Transmissão.



Tabela 13 - Rotações do Propulsor.

Velocidades			
Km/h	m/s	RPS Roda	RPS Propulsor
15	4,2	2,0	5,28
45	12,5	6,1	16,1

O cálculo de Keller, segundo a equação (23), Tem-se:

$Z = 2$ pás;

$H = 0,21$ m;

$T = 124,7$ N = 12,71 Kgf;

$D = 0,10$ m;

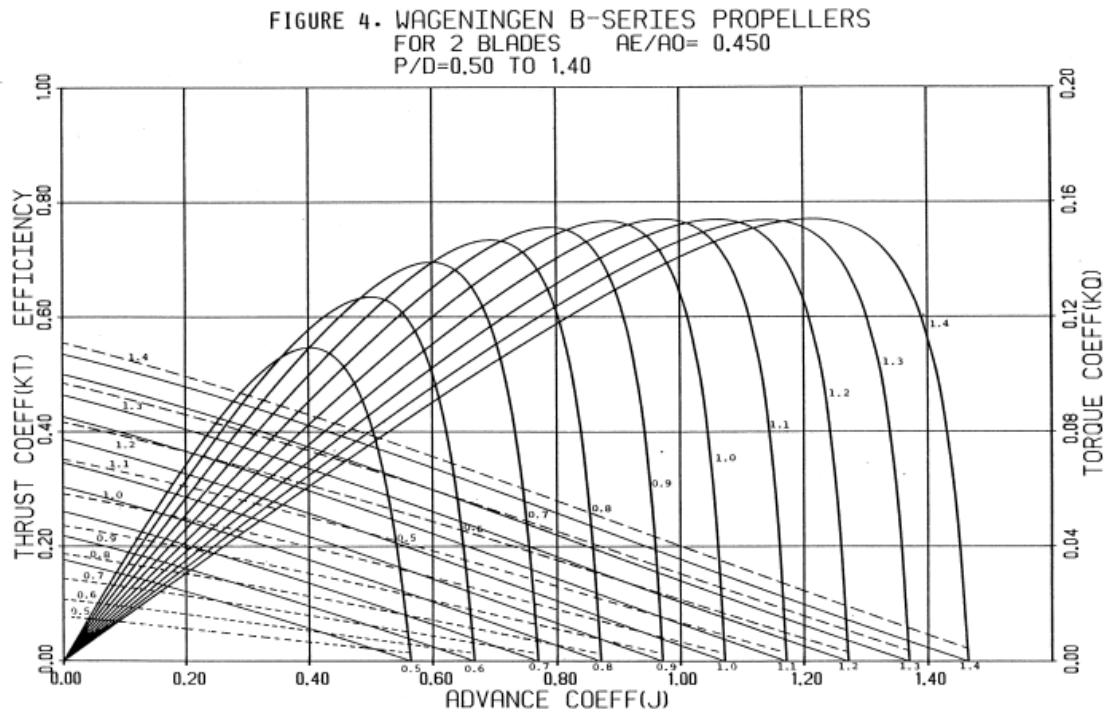
$K = 0,2$ (embarcação com hélice de bronze).

Substituindo os valores na equação, tem-se aproximadamente:

$$\left(\frac{Ad}{A0}\right)_{\min} = 0,432$$

Com esse valor para relação de área mínima para evitar cavitação, escolheu-se então uma relação mínima de 0,45, com isso, foi selecionada a série B2.45, onde o 2 significa o número de pás e o 45 a relação de áreas. Essa série atende aos requisitos de evitar a cavitação do hélice. A seguir como mostra a Figura 35, tem-se a curva da série escolhida.

Figura 36 - Curvas Série B2.45. Wageningen (BERNITSAS, 1981).



Para o cálculo da eficiência rotativa relativa utilizou-se a equação (24):

Onde:

$$C_p = 0,61.$$

$$LCB = 1,032 \text{ m.}$$

$$A_d/A_0 = 0,45.$$

Substituindo na equação tem-se:

$$\eta_{rr} = 0,998$$

A resistência ao avanço e a potência Requerida para a condição de carga máxima, ficaram.

$$R_t = 94,76 \text{ N;}$$

$$\mathbf{EHP = 292,46 W};$$

Usando os apêndices os valores mais próximos da realidade ficaram:

$$R_t = 106,1 \text{ N};$$

E para o EHP, temos:

$$EHP = V_s \cdot R_t$$

$$EHP = 327,5 \text{ W}$$

6.4 TORQUE DO CICLISTA QUE CHEGA AO PROPULSOR

Adotou-se 175mm para o pedivela e a força efetiva para 60 rpm que fica entre 332 e 488 N considerando o desvio padrão, com isso o torque fica entre:

$$\mathbf{Torque = (58,1; 85,4) \text{ N.m}}$$

Tabela 14 - Transferência de torque.

Transferência de torque		
Itens	R(m)	Torque (N.m)
pedivela	0,17	71,75
Coroa	0,07	71,75
Catraca	0,04	41
Roda	0,33	41
Rolamento	0,025	3,2
Parafuso S/ fim	5:1	3,2
Engrenagem	1:5	16,0
Propulsor	-	16,0

O torque é iniciado com a força do ciclista sobre o pedal, esse passa o torque para coroa, e fazendo os cálculos conforme as equações (28) e (29), o torque chega a rosca sem fim dando ao propulsor 16,0 N.m, ela é ligada ao propulsor com engrenagem cônica de 45° permanecendo a mesma rotação da rosca.

Usando a série B2.45 seguindo o procedimento. Buscou-se o propulsor que consiga o empuxo requerido, com uma faixa de torques próximos ao que sai do propulsor que dê a melhor eficiência possível. A relação que atendeu melhor esse método foi a $P/D=0,8$. Pode-se ver os valores na Tabela 15, 16 e as características do propulsor escolhido na Tabela 17.

Tabela 15 - Valores das Curvas B2.45 para propulsor ideal para velocidade de 6 nós.

Dados Curvas B.2.45 para P/D = 0,8								
J	Kt	10*Kq	η	N (rps)	N(rpm)	Treq (N)	Q(N.M)	T(N)
0,10	0,28	0,34	12,87%	308,6664	18519,98	124,7	32,4675	2624,635
0,20	0,24	0,30	25,56%	154,3332	9259,992	124,7	29,01399	2329,971
0,30	0,21	0,27	37,95%	102,8888	6173,328	124,7	25,34753	2014,749
0,40	0,18	0,23	49,79%	77,1666	4629,996	124,7	21,51107	1682,532
0,50	0,14	0,18	60,63%	61,73328	3703,997	124,7	17,54758	1336,886
0,60	0,10	0,14	69,42%	51,4444	3086,664	124,7	13,50002	981,3736
0,70	0,07	0,10	73,34%	44,0952	2645,712	124,7	9,411369	619,5589
0,80	0,03	0,06	60,98%	38,5833	2314,998	124,7	5,324575	255,0059

Tabela 16 - Valores das Curvas B2.45 para Propulsor ideal e velocidade de 3 nós.

Dados Curvas B.2.45 para P/D = 0,8								
J	Kt	10*Kq	η	N (rps)	N(rpm)	Treq (N)	Q(N.M)	T(N)
0,10	0,28	0,34	12,87%	154,3332	9259,992	124,7	8,116876	656,1589
0,20	0,24	0,30	25,56%	77,1666	4629,996	124,7	7,253499	582,4928
0,30	0,21	0,27	37,95%	51,4444	3086,664	124,7	6,336882	503,6872
0,40	0,18	0,23	49,79%	38,5833	2314,998	124,7	5,377767	420,6331
0,50	0,14	0,18	60,63%	30,86664	1851,998	124,7	4,386895	334,2215
0,60	0,10	0,14	69,42%	25,7222	1543,332	124,7	3,375006	245,3434
0,70	0,07	0,10	73,34%	22,0476	1322,856	124,7	2,352842	154,8897
0,80	0,03	0,06	60,98%	19,29165	1157,499	124,7	1,331144	63,75148

Tabela 17 - Dados do Propulsor escolhido.

Dados do Propulsor	
D=	0,10 m
AE/A0=	0,45

Z=	2
P/D=	0,8

O valor de torque médio de 16,0 N.m definido pela média dos ciclistas é apenas um parâmetro, como pode-se notar com um torque bem menor já se obtém o empuxo necessário para a velocidade proposta segundo as tabelas 15 e 16, além disso as bicicletas já funcionam com reduções, assim pode-se concluir que o propulsor definido está de acordo com o objetivo.

7 SISTEMAS

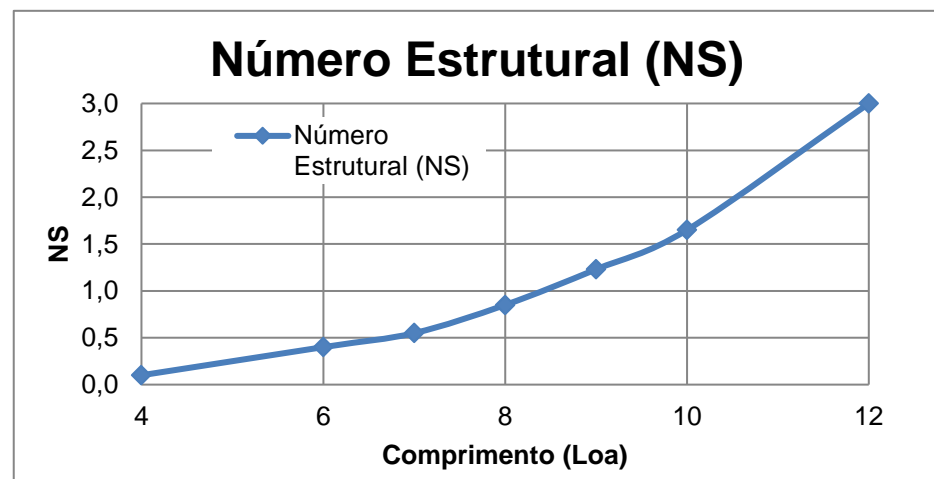
7.1 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Para dimensionar estrutura de embarcações desse porte o método mais comum entre os construtores é anotar o que funciona e passar adiante. Mesmo isso não tendo sentido no campo da engenharia, é certo que a maioria dos construtores usa experiências anteriores para determinar a estrutura e espessura de cada área que o barco terá, Nasseh (2007).

Uma falha técnica nesse modo de construção é que tanto os materiais como os métodos de construção evoluem, e o que funcionou bem em uma determinada circunstância não funcione na outra. Um exemplo clássico: construtores usam grande quantidade de material para laminar um barco, que não apresentará problemas, então eles mantem a mesma conduta para construir outros barcos maiores ou menores, adicionando ou removendo camadas. Isso traz alguns inconvenientes, pois o barco pode apresentar peso excessivo, alto consumo de combustível e baixo desempenho; tornando a construção antieconômica. A outra face é ter barcos sublaminados com muitos problemas estruturais e de manutenção, com tricas e custo para garantir a qualidade, em ambos os casos são procedimentos negativos, Nasseh (2007).

Diferente de outros projetos onde utiliza-se regras de classificadoras para projetar e dimensionar cada item de uma embarcação, não existem regras claras para o projeto proposto, logo usou-se as recomendações descritas por Nasseh (2007). Onde ele propõe as espessuras de cada área da embarcação e número de reforços dela de acordo com um número NS.

Figura 37 - Nasseh adaptado.



A embarcação tem apenas 2,5 m, então o número NS fica aproximadamente 0,1. Com esse número existem diagramas que recomendam: espessura do costado abaixo e acima da linha d'água, espessura do fundo e espessura da quilha. Também a outros gráficos na mesma literatura para definição dos reforços transversais e longitudinais. Então as espessuras e reforços seguem na tabela abaixo:

Características	Valor Utilizado
Espessura do Costado	5 mm
Espessura do Fundo	5 mm
Espessura da Quilha	6 mm
Espessura da Plataforma	4 mm
Altura da Quilha	180 mm
Reforços Longitudinais de Cada Casco	2
Reforços Transversais de Cada Casco	3
Anteparas de Cada Casco	2
Reforços Longitudinais Plataforma	2
Reforços Transversais Plataforma	3
Reforços ao redor do sistema de Propulsão	1
Reforços ao redor do sistema de Governo	1

7.2 PLATAFORMA

A plataforma, assim como os cascos será feita com molde, ela fechará os cascos deixando eles estanques, fixando-os com parafusos e borrachas para evitar a entrada de água. A carenagem que protege o sistema propulsivo também será fixada a essa plataforma por parafusos. Para fixação de cada casco serão feitos três furos na plataforma que passaram três roscas já fixadas no plano diametral dos cascos e serão rosqueadas com borracha de vedação, arruelas e porcas. Da mesma forma para prender a carenagem, nesse caso serão colocados 4 fixações com esses sistema de porca, arruela e borracha de vedação.

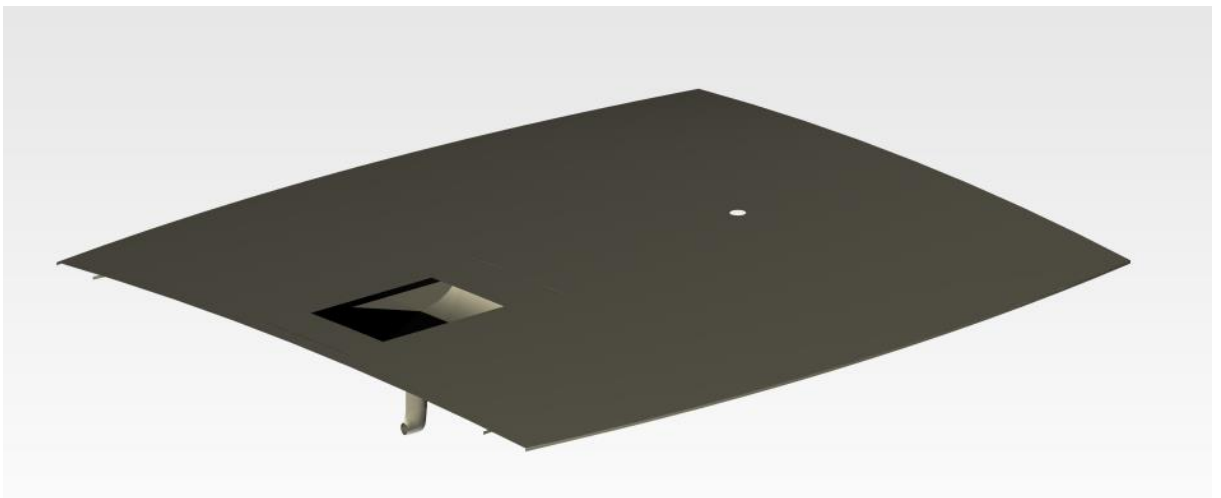
Essa forma de montagem é para facilitar as manutenções, deixando fácil a demontagem e acesso total tanto a parte interna do casco como o sistema de transmissão.

A plataforma é uma parte fundamental da embarcação tem que ser calculada para suportar a carga do ciclista mais bicicleta, para isso calculou-se a carga máxima estática que ela

tem que suportar e adicionou um coeficiente de segurança de 2 devido as cargas dinâmicas, não foi definida o tipo de estrutura, pois a inúmeras configurações, então foi calculado apenas a carga que a plataforma tem que suportar.

A plataforma definida com o laminado 4 mm, fica com o peso de aproximadamente 9,0 kg somando a carga centralizada de 120 kg (Bicicleta + Ciclista). A carga máxima fica com 1265,5 N e o momento máximo de 1297,1 N.m calculados para o eixo central da embarcação, usando o coeficiente de segurança, a plataforma terá que ser estruturada para suportar 2581,0 N de carga e suportar um momento máximo de 2594,2 N.m. Essa carga e esse momento foi calculado usando a plataforma como uma viga bi-apoiada. Com um uma distância de 2,05 m entre os apoios, que são a distancias entre os eixos centrais de cada casco.

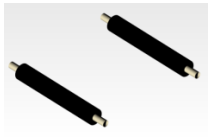
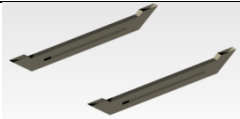

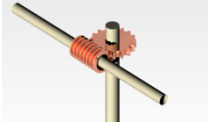
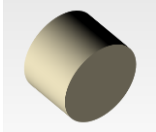

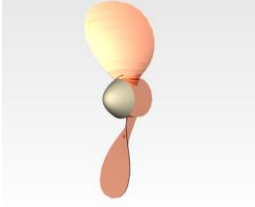
Figura 38 - Plataforma.



7.3 SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão foi feito um modelo simplificado, o ciclista será a força motriz, transmitirá forças aos pedais, esses fazem a transmissão por correntes para a roda traseira, nesse ponto entra sistema propulsivo do projeto que transmite o torque da roda até o propulsor. Que contém:

Tabela 18 - Itens do sistema propulsivo.

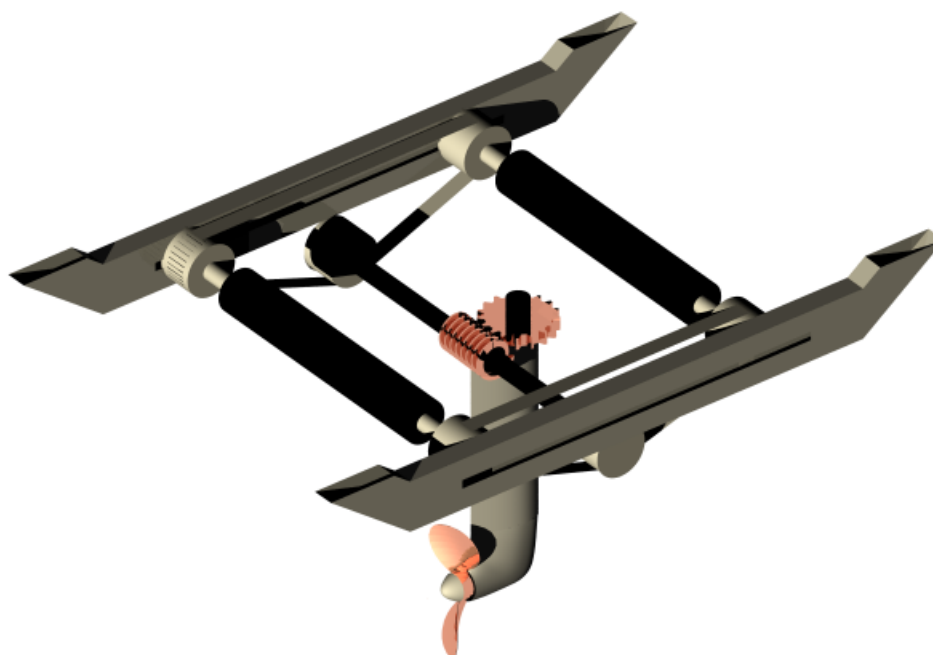
Nome do Item	Quantidade	Material	Detalhes	Item
Tubos com eixo concêntrico	2	Borracha	Diâmetro: 2 pol Comprimento: 30 cm	
Suporte	2	Alumínio	-	
Correias	2	Borracha	-	
Sistema Coroa parafuso s/ fim	1 de cada + eixo	Liga metálica	Redução 5:1	
Engrenagem das correias	6	Polimero	Diâmetro 2 pol.	
Eixos	2	Liga metálica	Tem engrenagens cônicas em 90 °	
Hélice	1	Bronze	Diâmetro de 10 cm e 2 pás	

A roda traseira da bicicleta ficará apoiada em dois cilindros, onde transmite sua rotação para eles, os quais estão apoiados nos suportes que tem uma abertura horizontal deixando livre para ajustar as distâncias dos eixos, assim podendo receber as diferentes bicicletas. Cada cilindro é um tubo circular de forma a diminuir o peso do conjunto, com rolamentos em suas extremidades permitindo rotacionar livremente em seu eixo, no seu centro passa um eixo fixado a estrutura dos cascos, o qual é ligado a plataforma da embarcação por parafusos. Ele sustenta tanto o peso da carga (ciclista + bicicleta) como o peso do sistema propulsivo. Logo os cilindros conseguem captar as rotações da roda mesmo estando fixos. O terceiro cilindro capta a rotação dos outros dois através das correias que estão nas extremidades de cada um deles.

Esse terceiro cilindro além de ter os mesmos elementos que os outros dois, ou seja, os rolamentos e o eixo faz conexão com uma engrenagem no seu centro, a qual está ligada a uma rosca sem fim, fixada no eixo do propulsor, com essa transmissão a rotação da roda chega ao hélice do propulsor.

A Figura 39 apresenta como fica o sistema propulsivo, no anexo IV encontra-se o desenho detalhado do mesmo.

Figura 39 - Sistema Propulsivo.



O sistema de ligação entre o parafuso sem fim e a engrenagem tem um sistema de isolamento lubrificado para evitar a entrada de água, assim como uma vedação no hélice. O sistema de engrenagem tem uma eficiência altíssima passando de 95 %, Almacinha (2002). Por isso foi o escolhido para o projeto, esse sistema faz com que na transmissão da roda para o sistema propulsivo não tenha uma perda significativa de energia.

7.4 SISTEMA DE GOVERNO

O sistema de governo consiste em três polias com rolamentos, ligadas por um cabo de aço, ver Figura 40, onde a polia 3 fixa-se o pneu dianteiro da bicicleta, o guidom da bicicleta funciona como o timão da embarcação. A polia 2 funciona para corrigir o movimento, pois se deixasse a ligação direta para a polia de suporte do leme o movimento de direção ficaria inverso,

ou seja, ao virar o guidom para bombordo a embarcação iria para estibordo e vice-versa, logo essa polia intermediária deixa o sistema de governo em concordância com a direção escolhida pelo ciclista. A polia **1** mais a esquerda é ligada ao suporte do leme. Para maiores detalhes do cálculo do leme vide Anexo II.

Tabela 19 - Itens do sistema de governo.



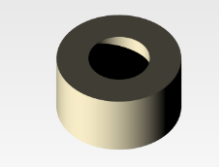
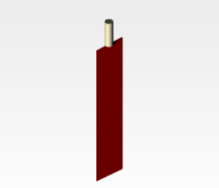
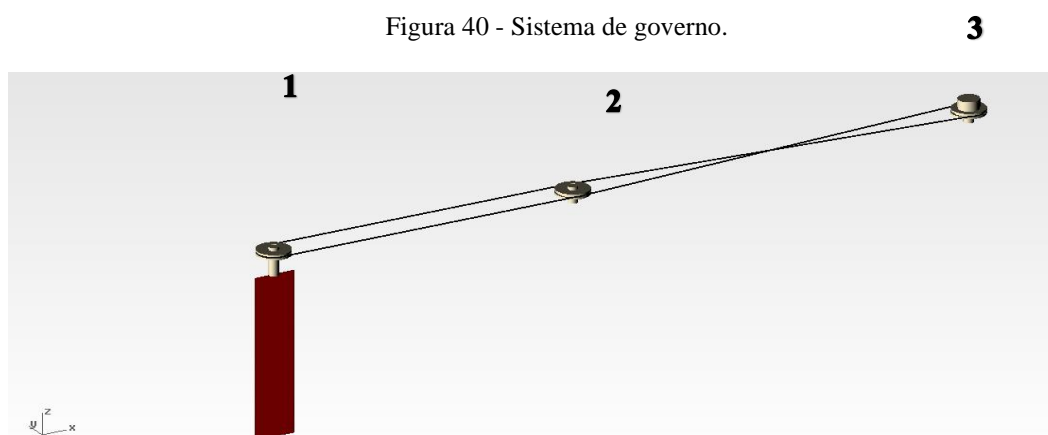
Nome do Item	Quantidade	Material	Detalhes	Item
Polias	3	Polimero	Diâmetro: 2 pol	
Cabo de aço	1	Aço	Comprimento 3,9 m	
Rolamentos	3	Aço	-	
Leme	1	-	Área de 0,085 m ²	

Figura 40 - Sistema de governo.



7.5 SISTEMA DE AMARRAÇÃO

O sistema de amarras foi pensado para ser um dispositivo de rápida montagem, então foram escolhidas cintas catracas, ver Figura 41, muito comuns no mercado. São três. Uma fica ligada a roda dianteira fixando-a ao sistema de direção e as outras duas estão em duas colunas (tubos) fixos a plataforma, onde ficam presas ao quadro para dar equilíbrio a bicicleta na embarcação.

Figura 41 - Posições das amarras.

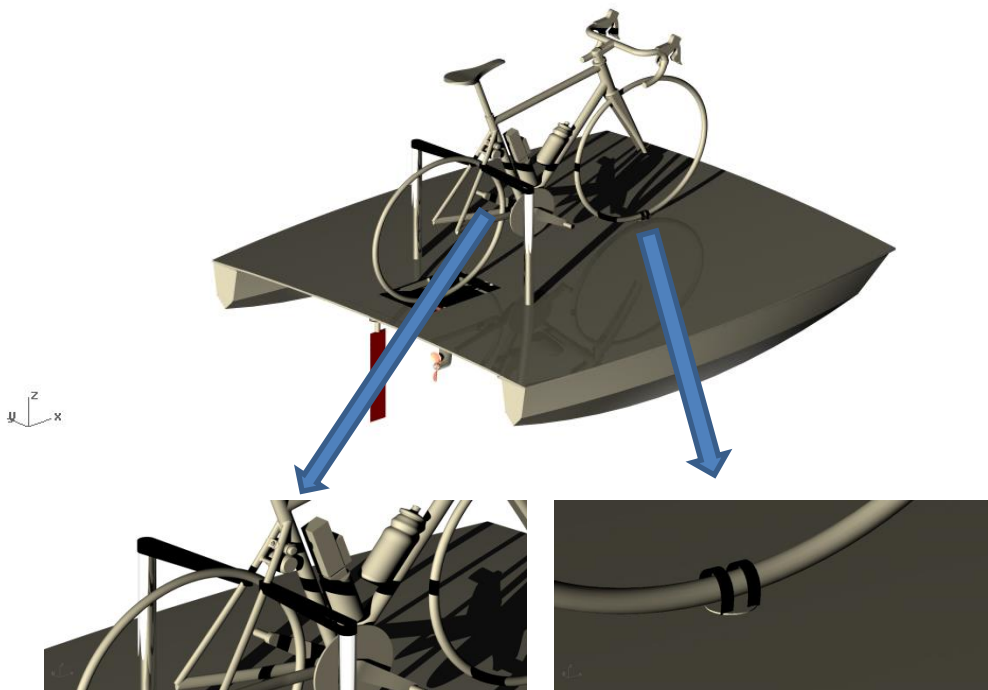


Figura 42 - Cinta Catraca.

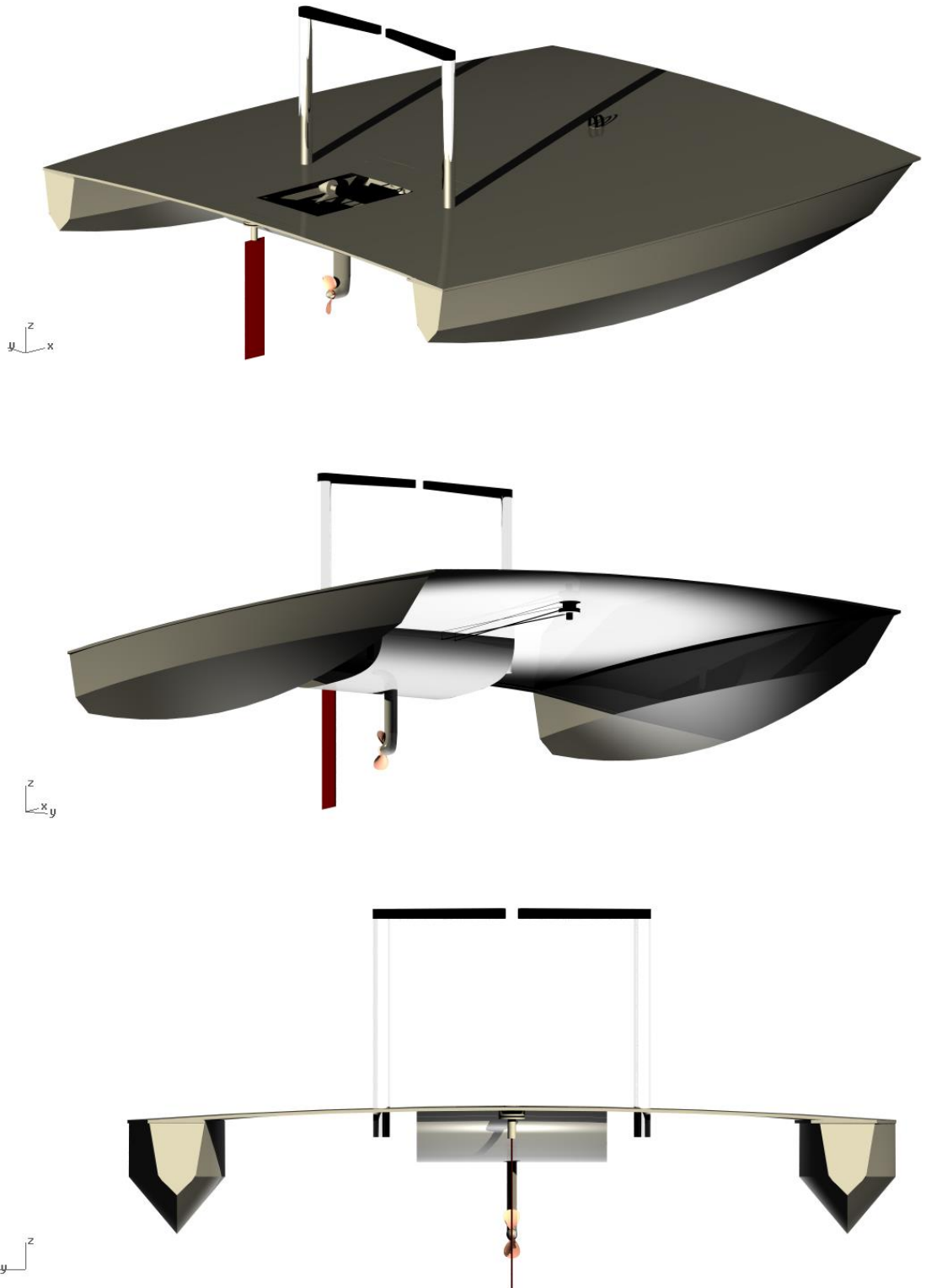


Fonte: BWF LONAS

7.6 EMBARCAÇÃO COMPLETA

A embarcação fica completa ao unir os sistemas definidos anteriormente, nas seguintes figuras pode se notar a carenagem estanque do sistema propulsivo, ela foi pensada para evitar o contato das engrenagens com a água, a fim de diminuir o desgaste das peças. Na figura 43 podemos ver o projeto completo.

Figura 43 - Embarcação completa.



7.7 ESTIMATIVA DE PREÇO

Para estimar o valor aproximado do custo dos materiais do projeto, foi feito um orçamento e do valor total vamos acrescentar uma margem de 20 %, esses valor dará uma idéia do real custo, todavia como o objetivo é produzir em série esse valor poderá ser consideravelmente diminuído.

Composição do Laminado:

Tabela 20 - Espessuras e Quantidade de Material por m2.

Material	Densidade (g/m²)	Espesura (mm)
Gel coat	500	1
Manta 450	450	Manta+Resina = 1
Resina para Manta 450	550	

Para o laminado foi definido 4 mm, então para uma forma genérica para alcançar essa espessura, usou-se um laminado com 4 camadas de manta e uma de Gel coat. Com isso obteve-se um valor aproximado do material necessário. Segundo a TexiGlass essas 4 mantas podem ser substituídas por um único tecido de 600g/m² com as mesmas propriedades mecânicas, reduzindo o peso total do laminado em 70 %. Adicionou-se 20 % a mais para uma margem de segurança, a representação segue a tabela abaixo:

Áreas de Laminado:

Tabela 21 - Orçamento Laminado.

Objetos	Área (m²)	Gel Coat(g)	Laminado 450 (g)	Valor (R\$)
Plataforma	5,6	2800	5600	
Cascos	3,2	1600	3200	
Carenagem Propulsor	0,82	410	820	
Total	9,62	4810	9620	450,00
Massa Total	14430 g	14,43 Kg		
Com Tecido 600	4329 g	4,33 kg		

Material:

Tabela 22 - Orçamento Material.

Objeto	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Cinta Catraca	4	10,00	40,00
Kit Mancais com eixo	3	60,00	180,00
Perfil de Alumínio	4	25,00	100,00
Conexão perfil	10	4,00	40,00
Roldanas	3	9,00	27,00
Polia Alumínio	2	17,00	34,00
Rosca Sem Fim	1	18,00	18,00
Cabo de Aço	1	5,00	5,00
Valor Total (R\$)			404,00

O valor total ficou R\$ 854,00 adicionando 20 % ficou 1024,80. Ainda segundo a Texi-Glass para fazer o mesmo laminado em fibra de carbono o valor triplica e o peso cai para 30 % do peso total.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O projeto está definido, poderá atender a uma margem grande de diferentes bicicletas e de biótipos distintos de ciclistas.

Segundo o projeto da embarcação Carcará, ela foi estimada em menos de dois mil reais e como o intuito do projeto é construir a embarcação em série utilizando moldes para as peças em fibra de vidro o custo ficará menor que o estimado que foi de R\$ 1024,00 . Ainda se comparar o projeto com as embarcações similares do mercado citadas nesse relatório, onde a de menor custo é vendida por € 1300,00 Euros que equivalem na cotação atual aproximadamente R\$ 5460,00, o custo fica menos de 1/3 desse valor, com isso podemos notar que a construção da embarcação é viável economicamente.

A embarcação foi aferida para situações de emborcamento, tanto por ondas como no embarque e para as duas hipóteses ela teve um desempenho que atende as necessidades.

A velocidade estimada para serviço ficou em aproximadamente 11Km/h, mas ela pode variar de acordo com a velocidade que o ciclista quiser impor, logo ela atende ao critério de uso para mobilidade urbana já que tem uma velocidade média razoável e sua malha viável não possui restrições ao trânsito, a embarcação ficou com um calado pequeno, isso também ajuda pois não precisa de uma lamina de água grande com 0,5 metros ela navega com segurança.

Outro ponto positivo é que ela atende a idéia principal da PNMU que é incentivar os transportes não motorizados, sendo assim, o projeto tem uma excelente proposta para projetos de mobilidade urbana.

As sugestões para trabalhos futuros seriam melhorar o sistema de transmissão, usar outras alternativas de energia limpa para auxiliar o ciclista e melhorar a autonomia da embarcação. Aumentar o tamanho da embarcação sendo possível aumentar a carga e até utilizar mais de um ciclista para ser a força motriz. Incrementar alguma motorização auxiliar para o caso de alguma avaria no sistema propulsivo.

Projetar algum sistema de hidrofólios a fim de diminuir a resistência ao avanço e aumentar a velocidade média da embarcação e com isso afirmar mais ainda como uma alternativa de mobilidade urbana.

Projetar a estrutura e o laminado da embarcação, para obter o menor custo dos materiais, estimar configurações estruturais e testar possibilidades de laminados de distintas matérias para redução de peso.

Outro ponto para projetos futuros é o estudo dos terminais, projetando a melhor forma de embarque e desembarque e o sistema de atracação.

REFERÊNCIAS

- A.Fitriadhy, N.S Razali and N. AqiahMansor, ” *Seakeeping performance of a rounded hull catamaran in Waves Using CFD approach*”, **JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING AND SCIENCES**, Malaysia, 2017, ISSN 2289-4659, pp 2601-2614.
- ALMACINHA, José António. **Redutor de parafuso sem-fim / roda de coroa**. Secção de Desenho Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.
- BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica vetorial para engenheiros-estática**. AMGH Editora, 2012.
- Bentley Systems. **Maxsurf resistance: User Manual**. 2012
- NORMAM 03**- Marinha do Brasil. 2003.
- BWF LONAS. **Cinta catraca**. Disponível em: <http://www.bwflonas.com.br/cinta-amarracao-carga-catraca>. Acesso em 5 de julho de 2018.
- CANDOTTI, C. T. et al. Análise da Pedalada de Ciclistas de Elite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 10, 2003, Ouro Preto. **Anais...** BELO HORIZONTE, 2003. V. 1.
- CELIS, M. **Instalações propulsoras**. Anotações pessoais de aulas ministradas. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica. Pernambuco, Recife, 2015.
- CAVALLARI, Guilherme. **Manual de Mountain Bike e Ciclismo. Conceitos, equipamentos e Técnicas**. Ed. KALAPALO, Barueri, 2012.
- CROSS, N. (ed.), **Developments in Design Methodology**, John Wiley & Sons, p. 357.1984.
- ELIASSON, Rolf; LARSSON, Lars; ORYCH, Michal. **Principles of yacht design**. A&C Black, 2014.
- ERDMANN, Włodzimierz. **Geometry and Inertia of the human body**. University School of Physical Education, Poland 1999.
- ESCOLA DE BICICLETA. **A bicicleta-Geometria e medidas das peças da bicicleta**. Disponível em: < <http://www.escoladebicicleta.com.br/geometriaII.html>>. Acesso em 8 dezembro 2016.
- FOSSEN, Thor I. **Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control**. John Wiley & Sons, 2011.
- GARRISON, Clarence Jimmy. **Application of Slender Body Theory in ship hydrodynamics at high-Froude Number**. California, 1977.

GILAT, Amos; SUBRAMANIAM, Vish. **Métodos numéricos para engenheiros e cientistas: uma introdução com aplicações usando o MATLAB**. Bookman Editora, 2009.

LEWIS, EV. **Principles of naval architecture** – Second Revision. VOL. II New Jersey.1988.

Manta5. Disponível em: <<https://manta5.com/>>. Acesso em 8 de Julho de 2018.

MASSIE, W. W.; JOURNÉE, J. M.J. **Offshore hydromechanics**. Delft University of Technology: Delft, The Netherlands, 2001.

MILHEIRO, Vitor. **Análise biomecânica da posição do ciclista na bicicleta**. Instituto Politécnico de Santarém, Portugal 2015.

MMA. **Protocolo de Quioto**. Disponível em :<<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>>. Acesso em: 28 de junho de 2018.

M.M. Bernitsas, D. Ray, P. Kinley. **Kt, Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers**. Department of Naval Architecture and Marine Engineering College of Engineering the University of Michigan Ann Arbor, Michigan, 1981.

NASSEH, Jorge. **Manual de construção de barcos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Booklook,2004.

NASSEH, Jorge. **Barcos: métodos avançados de construção em compósitos**. Rio de Janeiro, RJ:2007.

OORTMERSSEN, GV. **A power prediction method and its application for small ships**. 1973.

PAULA, Marilene et al. “Mobilidade urbana no Brasil: desafios e alternativas” Fundação Heinrich Boll Brasil, Rio de Janeiro, 2016.

PEDROSO, Rodrigo. **Brasil perde 300 bilhões ao ano com trânsito nas grandes cidades**. . Disponível em: <<http://www.valor.com.br/brasil/3707238/brasil-perde-r-300-bilhoes-ao-ano-com-transito-nas-grandes-cidades>>. Acesso em 27 de junho de 2018.

REDBULL. **Formula 1 x motoGP o duelo definitivo**. Disponível em:< <https://www.redbull.com/br-pt/f%C3%B3rmula-1-x-motogp-o-duelo-definitivo>> . Acesso 26 de julho 2018.

ROMACO. Eficiência de Correias. Disponível em: <<http://www.romaco.com.br/technews/eficiencia-energetica-atraves-da-transmissao-por-correias/>>. Acesso 4 de julho 2018.

RUBIM, Barbara et al. “ *O plano de Mobilidade Urbana e o futuro das cidades*”. **Estudos Avançados**, São Paulo, p. 55-66, Out. 2013.

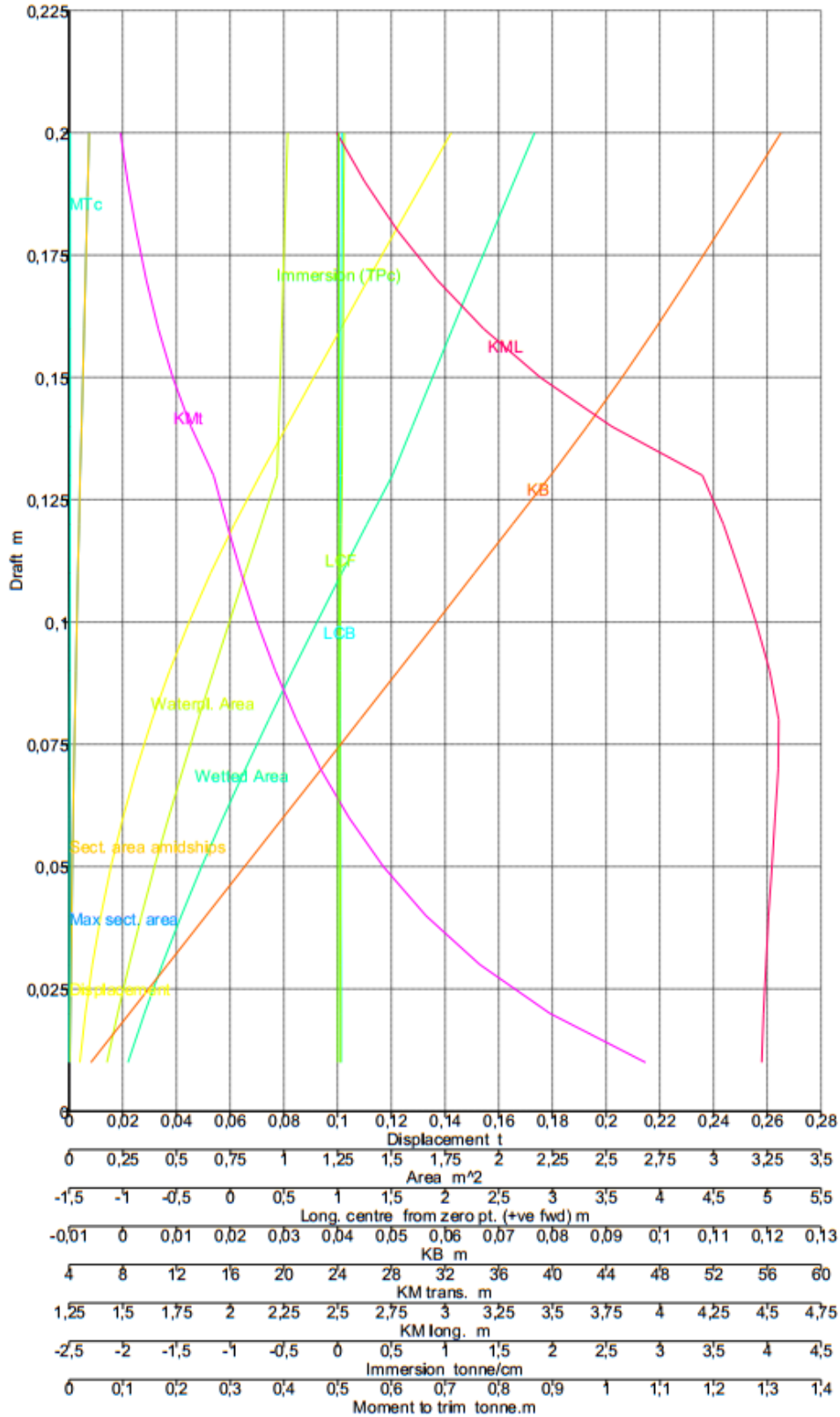
SCHILLER BIKE. Disponível em: < <https://schillerbikes.com/waterbikes/>>. Acesso em 7 de julho de 2018.

SHUTTLEBIKE. Disponível em: <<https://www.shuttlebike.com/en/negozio/kit-shuttle-bike/kit-evo-2->>. Acesso em 7 de julho de 2018.

SIVINI, Rafael de Castro Silva. **Projeto, Planejamento e Construção de embarcação de alto desempenho baseados nos conceitos do Design for Production**. 2016. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Naval)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

ANEXOS

ANEXO I - Curvas Hidrostáticas



ANEXO II - Definição do Leme

Para calcular a área do leme usou-se a fórmula que define o leme da classificadora Det Norske Veritas (DNV), Segundo a DNV:

$$A_{leme} = \frac{T \times L}{100} \left[1 + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right]$$

Onde:

$$T = 0,20 \text{ m};$$

$$L = 2,5 \text{ m};$$

$$B = 2,0 \text{ m};$$

Logo,

$$A_{leme} = 0,085 \text{ m}^2$$

ANEXO III - Plano de Linhas

ANEXO IV - Sistema Propulsor