

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

MARCOS VINÍCIUS SALLES

**PROJETO CONCEITUAL/PRELIMINAR DE UMA LANCHAS DE 21 PÉS COM
ABORDAGEM BASEADA EM OTIMIZAÇÃO**

Joinville

2017

MARCOS VINÍCIUS SALLES

**PROJETO CONCEITUAL/PRELIMINAR DE UMA LANCHÃO DE 21 PÉS COM
ABORDAGEM BASEADA EM OTIMIZAÇÃO**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Naval.

Orientador: Dr. Thiago Pontin Tancredi

Joinville

2017

MARCOS VINÍCIUS SALLES

**PROJETO CONCEITUAL/PRELIMINAR DE UMA LANCHA DE 21 PÉS COM
ABORDAGEM BASEADA EM OTIMIZAÇÃO**

Esse Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Naval, e aprovado em sua forma final pela Comissão examinadora e pelo curso de Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville.

Joinville, 15 de junho de 2017

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Gerson e Maricélia (*in memoriam*), que sempre estiveram ao meu lado, principalmente durante os momentos difíceis da minha vida. Por toda a educação e por me transformarem no homem que sou hoje. Por toda a força, motivação e carinho.

A minha irmã Sabrina, por me acompanhar e me ajudar a superar algumas perdas e momentos difíceis que passamos juntos ao decorrer de nossas vidas.

A toda a minha família, aos meus avós, tios e primos que fizeram e fazem parte do meu desenvolvimento pessoal. Por toda a força, apoio, motivação e carinho.

A todos os meus amigos de infância, principalmente ao Daniel, Willian, Maikon, Natanel, Paulo e Eduardo, que após anos, continuam ao meu lado me proporcionando momentos divertidos.

À duas grandes amigas, Gabriela e Caroline, que me apoiaram, escutaram, incentivaram e me ajudaram a suportar todas as dificuldades encontradas durante a minha graduação e em vários momentos da minha vida.

Aos todos os meus amigos da faculdade, principalmente ao Murilo, Wendel, Vitor, Antônio, Ana Clara, Talyta, Fernanda, Guilherme, Leonel, Gustavo, Mateus e Gilberto, por me apoiarem, incentivarem e me ajudarem com todas as dificuldades que surgiram durante o caminho da minha graduação.

Ao meu orientador e amigo Thiago Pontin Tancredi, que me auxiliou, educou, e me orientou durante a minha graduação e na elaboração deste trabalho. Levo para minha vida e para minha carreira profissional muitos de seus conselhos e ensinamentos.

A todos os professores que contribuíram para a minha educação, desde os professores do primário aos professores da faculdade.

Aos meus colegas de trabalho, que me auxiliaram e me instruíram neste início da minha carreira profissional.

A Víqua Indústria de Plástico, que me proporcionaram uma oportunidade de estágio, permitindo que a conclusão da minha graduação.

RESUMO

As embarcações do tipo lancha atualmente dominam o mercado náutico brasileiro. Este segmento é considerado um mercado com grande potencial. Prova deste potencial pode ser observada com a continua expansão de cerca de 10% ao ano, mesmo em meio a forte crise econômica dos últimos anos. Com o objetivo de explorar este segmento, será realizado neste trabalho o projeto conceitual e preliminar de uma embarcação de recreio de 21 pés. Para tal, foi aplicada a metodologia tradicional de projeto. No projeto conceitual foram abordados os requisitos de performance e operação, enquanto no projeto preliminar foram estudados, desenvolvidos e analisados cada um dos atributos de desempenho de uma embarcação de recreio. Para tal tarefa foram realizadas duas iterações na espiral de projeto. O principal resultado apresentado é o projeto preliminar de uma embarcação de alta velocidade que incorpora aspectos associados ao desenho do casco, estimativa de resistência ao avanço, estabilidade, arranjo e projeto estrutural.

Palavras-chave: Projeto Conceitual. Projeto Preliminar. Planeio. Embarcação de Recreio. Lancha.

ABSTRACT

Speed boats command the Brazilian nautical market nowadays. This segment is considered a high potential market. A prove of this potential is the market continues expanding around 10% a year, even amid a strong economic crisis during the last years. In order to explore this segment, in this project a conceptual and preliminary design of a 21 feet recreational vessel will be executed. For that, the traditional design methodology was applied. In the conceptual design, performance and operation requirements were addressed, while in the preliminary one, each of the performance attributes of a recreational vessel were studied, developed and analyzed. For this work, two iterations in the Ship Design Spiral were run. The main result presented is the preliminary design of a speedboat vessel that incorporates aspects associated to the hull design, ship resistance estimation, stability, arrangement and structural design.

Key-words: Conceptual Design. Preliminary Design. Recreational Vessel. Motor Boat.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação entre as fases do projeto com o grau de detalhamento do mesmo.	24
Figura 2 - Espiral de Evans para o projeto em questão.	34
Figura 3 - Divisão dos Pesos a bordo na Embarcação.....	39
Figura 4 - Fator de notação da área de serviço da embarcação.	42
Figura 5 - Fator de notação do tipo de serviço da embarcação.	42
Figura 6 - Resumo das estimativas dos pesos a bordo da embarcação.....	50
Figura 7 - Representação, em porcentagem, das parcelas de pesos presentes a bordo da embarcação.	51
Figura 8 - Representação do plano de balizas de uma embarcação de planeio.	60
Figura 9 - Modelo em CAD do casco da embarcação.	61
Figura 10 - Curva SAC do modelo CAD da embarcação.....	62
Figura 11 - Representação gráfica dos parâmetros de entrada e saída da metodologia de Savitsky.	63
Figura 12 - Variação da resistência ao avanço da embarcação em função da sua velocidade e da posição do seu LCG.....	64
Figura 13 - Variação do ângulo de trim dinâmico da embarcação em função da sua velocidade e da posição do seu LCG.	65
Figura 14 - Avaliação do porpoising da embarcação em função da velocidade e da posição do LCG.	67
Figura 15 - Representação gráfica dos parâmetros de entrada e saída da planilha de Amaral (2016).	68
Figura 16 - Representação da planilha estrutural de Amaral (2016).	69
Figura 17 - Representação gráfica dos projetos estruturais 2,3 e 5.	71
Figura 18 - Arranjo das anteparas no interior do casco da embarcação.	73
Figura 19 - Fator de aceleração, f_g	74
Figura 20 - Restrições de serviço de cada tipo de embarcação.	75
Figura 21 - Fator de distribuição longitudinal.	76
Figura 22 - Variação da aceleração vertical da embarcação ao longo do seu comprimento.	78
Figura 23 - Fator do tipo de casco.	78
Figura 24 - Variação da altura significativa de onda em relação a velocidade e a aceleração vertical da embarcação.	78

Figura 25 - Fator de distribuição longitudinal da pressão de slamming.....	80
Figura 26 - Variação da pressão de slamming no fundo do casco da embarcação, ao longo do seu comprimento.	81
Figura 27 - Fator de distribuição longitudinal da pressão hidrostática em função do comprimento para diferentes valores de C_B	82
Figura 28 - Coeficiente de onda.	83
Figura 29 - Variação da pressão hidrostática, ao longo do comprimento da embarcação.	84
Figura 30 - Constantes C_2 e C_3 utilizadas para a determinação da espessura do laminado dos painéis sanduíches.	87
Figura 31 - Constante C_1 utilizada para a determinação da espessura do laminado dos painéis sanduíches.....	87
Figura 32 - Tensão de flexão máxima de projeto.	88
Figura 33 - Constante C_1 utilizadas para a determinação da espessura do laminado sólido. ..	89
Figura 34 - Constante C_3 utilizadas para a determinação da espessura do laminado sólido. ..	89
Figura 35 - Tensão de projeto que atua sobre os reforçadores.	93
Figura 36 - Massa estrutural das 5 topologias elaboradas até este momento.	97
Figura 37 - Comparação entre a primeira e a segunda estimativa dos pesos a bordo da embarcação.	102
Figura 38 - Representação, em porcentagem, das parcelas de pesos presentes a bordo da embarcação.	103
Figura 39 - Curva da estabilidade estática da embarcação para grandes ângulos.	107
Figura 40 - Embarcação com um ângulo de inclinação de 49°	108
Figura 41: Ângulo de alagamento da embarcação.....	109
Figura 42 - Resistência ao avanço e a potência efetiva da embarcação.	111
Figura 43 - Potência efetiva e instalada da embarcação.	113
Figura 44 - Redução da massa ao longo do processo de otimização.....	116
Figura 45 - Massa ótima para 6 tipos de arranjos distintos.	117
Figura 46 - Modelamento 3D final da embarcação.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos do armador.....	32
Tabela 2 - Restrições para a determinação das dimensões principais.	35
Tabela 3 - Limitações do banco de dados.	35
Tabela 4 - Resultados dos cálculos referentes ao peso estrutural da embarcação.	43
Tabela 5 - Distribuição longitudinal e transversal das parcelas de pesos a bordo da embarcação.	53
Tabela 6 - Resumo dos principais centros da embarcação.	58
Tabela 7 - Comparação entre as dimensões principais.....	61
Tabela 8 - Variações de forma da embarcação.....	70
Tabela 9 - Quantidade e posicionamento dos elementos estruturais da embarcação.	70
Tabela 10 - Propriedades dos materiais que serão utilizados na construção do casco.	72
Tabela 11 - Espessuras dos laminados das 5 topologias estruturais.....	91
Tabela 12 - Dimensões dos reforçadores transversais das 5 topologias estruturais.	94
Tabela 13 - Dimensões dos reforçadores longitudinais das 5 topologias estruturais.	95
Tabela 14 - Comparação dos coeficientes de forma entre as duas iterações.	99
Tabela 15 - Estimativa de pesos na segunda iteração de projeto.....	101
Tabela 16 - Comparação dos centros da embarcação entre as duas iterações.	103
Tabela 17 - Distribuição longitudinal das parcelas de pesos a bordo da embarcação.....	106
Tabela 18 - Eficiências propulsivas.....	111
Tabela 19 - Configuração dos 10 arranjos estruturais que apresentam as menores massas. ..	118
Tabela 20 - Espessura dos laminados do projeto estrutural ótimo.	118
Tabela 21 - Dimensões dos reforçadores transversais do projeto estrutural ótimo.	118
Tabela 22 - Dimensões dos reforçadores longitudinais do projeto estrutural ótimo.	119
Tabela 23 - Resumo das características da embarcação.	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Metodologia do projeto.....	31
Quadro 2 - Matriz de Influência do projeto.....	33

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área de carregamento de projeto	[m ²]
a	Maior lado do painel	[m]
a _{cg}	Aceleração vertical do centro de gravidade	[m/s ²]
a _v	Aceleração vertical nas diferentes posições da embarcação	[m/s ²]
A _X	Área da seção mestra	[m ²]
b	Menor lado do painel	[m]
B	Boca máxima	[m]
b _{eff}	Largura da chapa colaborante	[m]
b _i	Distância entre os reforçadores	[m]
b ₁	Largura da área de carga	[m]
BM	Raio metacêntrico	[m]
B _{WL2}	Boca na linha d'água em L/2	[m]
B _X	Boca no plano da linha d'água	[m]
B _{X,ft}	Boca no plano da linha d'água	[pés]
c ₁	Fator do momento fletor	
C _B	Coefficiente de bloco	
C _{IT}	Coefficiente de inércia transversal do plano de flutuação	
C _{Lβ}	Coefficiente de sustentação	
C _M	Coefficiente da área da seção mestra	
C _N	Número cúbico	[m ³]
C _P	Coefficiente prismático	
C _W	Coefficiente de onda	
C _{WP}	Coefficiente da área do plano de flutuação	
D	Pontal	[m]
d	Distância entre as linhas centrais dos laminados opostos de um painel sanduíche	[mm]
E	Modulo de elasticidade do laminado	[MPa]
E _S	Numeral E	
f _g	Fator de aceleração	
F _∇	Número de Froude volumétrico	
g	Aceleração da gravidade	[m/s ²]
G	Módulo de cisalhamento do laminado	[MPa]

G_f	Fator de notação da área de serviço	
GM	Altura metacêntrica	[m]
h_0	Distância vertical da linha d'água ao ponto de atuação da pressão	[m]
H_S	Altura significativa de onda	[m]
I_T	Momento de inércia transversa do plano de flutuação	[m ⁴]
KB	Altura do centro de empuxo	[m]
KG	Altura do centro de gravidade	[m]
k_h	Fator do tipo de casco	
k_l	Fator de distribuição longitudinal da pressão	
k_s	Fator de distribuição longitudinal da pressão hidrostática	
k_v	Fator de distribuição longitudinal	
l	Distância entre apoios	[m]
L	Comprimento médio	[m]
L_{AL}	Posição do centro de gravidade do peso de lastro	[m]
LCB	Centro de flutuação longitudinal	[m]
LCF	Centro longitudinal da área do plano de flutuação	[m]
L_H	Comprimento do casco	[m]
l_i	Comprimento entre pontos de inflexão entre momentos fletores nulos no reforçador	[m]
L_{OA}	Comprimento total	[m]
L_{PP}	Comprimento entre perpendiculares	[m]
L_T	Posição do centro de gravidade do tanque de combustível	[m]
L_{WL}	Comprimento no plano da linha d'água	[m]
M	Momento fletor na seção transversal do reforçador	[kN.m]
n	Número de cascos	
N_D	Número de dias	
N_P	Número de passageiros	
N_{PR}	Número de motores	
N_{WTB}	Número de anteparas estanques	
p	Maior pressão que atua sobre o painel	[kN/m ²]
p_H	Pressão hidrostática	[kPa]
P_{sl}	Pressão de <i>slamming</i> no fundo do casco	[kN/m ²]
R_{AP}	Resistência ao avanço dos apêndices	[kN]
R_{BH}	Resistência ao avanço do casco nu	[kN]

S_1	Área do plano do fundo	$[m^2]$
S_2	Área dos costados	$[m^2]$
S_3	Área do deck	$[m^2]$
S_4	Área das anteparas	$[m^2]$
S_f	Fator de notação do tipo de serviço da embarcação	
S_R	Área da superfície reduzida total	$[m^2]$
t	Espessura do laminado	$[mm]$
t_s	Espessura do laminado na região de colisão da proa	$[mm]$
T	Calado	$[m]$
TC_C	Taxa de consumo de combustível do motor	
TC_G	Centro de gravidade transversal	$[m]$
T_O	Calado a meia nau	$[m]$
VCG_i	Posição vertical de cada uma das parcelas de peso	$[m]$
V_{fts}	Velocidade máxima	$[pés/s]$
$V_{MÁX}$	Velocidade máxima	$[nós]$
W_{100}	Peso do casco em fibra de vidro	$[t]$
W_{250}	Peso molhado de todos os motores	$[t]$
W_{300}	Peso do sistema de energia elétrica	$[t]$
W_{400}	Peso dos equipamentos eletrônicos	$[t]$
W_{500}	Peso das máquinas auxiliares	$[t]$
W_{600}	Peso do <i>outfit</i>	$[t]$
W_A	Peso da água potável	$[t]$
W_C	Peso do combustível	$[t]$
W_{ENG}	Peso de cada motor	$[t]$
W_{FL}	Deslocamento carregado	$[t]$
W_i	Parcelas de peso	$[t]$
W_L	Peso de lastro	$[t]$
W_P	Peso total dos passageiros	$[t]$
x_C	Distância entre a antepara de colisão e a perpendicular de ré	$[m]$
Z	Módulo de seção do reforçador	$[m^3]$
∇	Deslocamento volumétrico	$[m^3]$
β	Ângulo de <i>deadrise</i> na popa	$[graus]$
β_{LCB}	Ângulo de <i>deadrise</i> na posição do LCB	$[graus]$

δ	Fator de deflexão do laminado	
Δ	Deslocamento	[t]
Δ_{lb}	Deslocamento	[lb]
ΔS	Autonomia da embarcação	[km]
η_A	Fator de arrasto dos apêndices	
η_T	Eficiência de transmissão	
η_E	Eficiência do eixo	
η_C	Eficiência do casco da embarcação	
η_{Pr}	Eficiência do propulsor	
η_P	Eficiência propulsiva total	
ν	Coefficiente de Poisson do laminado	
	Fração volumétrica da fibra	
ρ_C	Densidade do combustível	[t/m ³]
ρ_{fibra}	Massa específica da fibra	[kg/m ³]
$\rho_{H_2O,sp}$	Densidade da água	[slug/pés ³]
$\rho_{laminado}$	Massa específica do laminado	[kg/m ³]
ρ_{resina}	Massa específica da resina	[kg/m ³]
σ_d	Tensão de projeto	[MPa]
σ_n	Tensão máxima de projeto	[MPa]
σ_{nu}	Tensão de ruptura do laminado	[MPa]
$\tau_{Crít.}$	Ângulo de trim crítico antes da ocorrência do <i>porpoising</i>	[graus]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Objetivos	20
1.2. Estrutura do Documento.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA	22
2.1. Projeto.....	22
2.1.1. Processo Conceitual	24
2.1.2. Projeto Preliminar	25
2.2. Matriz de Influência	27
2.3. Espiral de Projeto de Evans.....	28
2.4. Determinação das Dimensões	29
2.5. Pesos	29
2.6. Centros.....	29
2.7. Sistema Propulsivo.....	29
2.8. Forma do Casco	30
2.9. Estabilidade Estática	30
2.10. Estabilidade Dinâmica.....	30
2.11. Topologia Estrutural	30
2.13. Resumo.....	31
3. DESENVOLVIMENTO: PRIMEIRA ITERAÇÃO NA ESPIRAL DE EVANS.....	32
3.1. Requisitos do Amador	32
3.3. Determinação das Dimensões Principais	34
3.4. Coeficientes de Forma	36
3.4.1. Coeficiente de Bloco.....	37
3.4.2. Coeficiente Prismático	37

3.4.3. Coeficiente da Área da Seção Mestra	38
3.4.4. Coeficiente da Área de Flutuação	38
3.5. Estimativa dos Pesos.....	39
3.5.1. Peso Estrutural	40
3.5.2. Peso do Sistema Propulsivo	43
3.5.3. Peso do Sistema de Energia Elétrica.....	44
3.5.4. Peso dos Equipamentos Eletrônicos	45
3.5.5. Peso das Máquinas Auxiliares	45
3.5.6. Peso do Outfit	46
3.5.7. Peso dos Sistemas Especiais	46
3.5.8. Peso dos Passageiros.....	47
3.5.9. Peso de Água Potável.....	47
3.5.10. Peso do Combustível.....	48
3.5.11. Peso de Lastro	49
3.5.12. Resumo das Estimativas de Pesos.....	50
3.6. Estimativa dos Centros.....	51
3.6.1. Centro de Gravidade	52
3.6.1.1. Posição Vertical do Centro de Massa	53
3.6.1.2. Posição Longitudinal do Centro de Massa.....	53
3.6.2. Centro de Flutuação	54
3.6.2.1. Posição Vertical do Centro de Empuxo	54
3.6.2.2. Posição Longitudinal do Centro de Empuxo	55
3.6.3. Centro Longitudinal do Plano de Linha d'Água.....	55
3.6.4. Raio Metacêntrico Transversal	56
3.6.5. Estabilidade Estática	57
3.6.6. Resumo dos Centros	57

3.7. Forma do Casco	58
3.7.1. Funcionamento do Programa	58
3.7.2. Obtenção do Casco através do Programa.....	60
3.8. Resistência ao Avanço	62
3.9. Estabilidade Dinâmica.....	65
3.10. Topologia Estrutural	67
3.10.1. Utilizando a Planilha Eletrônica de Amaral, 2016.....	67
3.10.2. Características do Casco da Embarcação.....	69
3.10.3. Posicionamento dos Elementos Estruturais	70
3.10.4. Propriedades dos Materiais	71
3.10.5. Posicionamento das Anteparas	72
3.10.6. Aceleração Vertical.....	74
3.10.7. Pressão de Slamming	79
3.10.8. Pressão Hidrostática.....	81
3.10.9. Painéis Sanduíches.....	85
3.10.10. Espessura do Laminado Sólido	88
3.10.11. Espessura de Proteção para Região de Colisão da Proa	90
3.10.12. Espessuras dos Laminados.....	90
3.10.13. Módulo de Seção dos Reforçadores.....	92
3.10.14. Estimativa de Massa	96
4. DESENVOLVIMENTO: SEGUNDA ITERAÇÃO NA ESPIRAL DE EVANS.....	99
4.1. Coeficientes de Forma	99
4.2. Estimativa dos Pesos.....	100
4.3. Estimativa dos Centros.....	103
4.3.1. Posição Longitudinal do Centro de Massa.....	105
4.3.2. Estabilidade Estática	106

4.4. Resistência ao Avanço	109
4.5. Otimização Estrutural.....	115
4.6. Resumo das Características	119
5. CONCLUSÃO.....	121
REFERÊNCIAS	125

1. INTRODUÇÃO

O comércio de embarcações, apesar dos seus elevados preços e da atual crise mundial, está em expansão no Brasil, e cresce a um ritmo de 10% ao ano (CATUCCI, 2016). Catucci também afirma que segundo informações disponibilizadas pela Associação Brasileira de Construtores de Barcos (ACOBAR), atualmente existem 151 estaleiros em operação no território nacional, com uma frota de aproximadamente 53 mil embarcações acima de 14 pés e construídas em fibra de vidro.

Os projetos de embarcações, independentemente do gênero, são extremamente complexos. O principal na elaboração de um projeto é satisfazer os requisitos propostos pelo armador. O projeto também precisa estar de acordo com as normas impostas pelas sociedades classificadoras, pois sem a aprovação das mesmas, não é possível a efetivação do seguro da embarcação (LAMB, 2003).

Entre as diversas dificuldades presentes em um projeto de uma embarcação, podemos citar a limitação de referências bibliográficas, a grande quantidade de variáveis e fenômenos físicos presentes no projeto; além dos conflitos presentes entre os requisitos do armador e os atributos de desempenho da embarcação. É função do projetista contornar estas dificuldades e apresentar resultados viáveis, que satisfaçam as demandas do armador da maneira mais eficiente possível.

Para a elaboração de um projeto de tamanha complexidade, é necessário o emprego de um processo racional. Tal processo adota uma metodologia, ou seja, uma sequência lógica de processos técnicas e ferramentas, que a cada iteração, requer novas análises e eventuais modificações no projeto. Esta tarefa de reanálise é repetida até que todos os requisitos desejados na embarcação sejam satisfeitos (LAMB, 2003).

Com o intuito de explorar este mercado ascendente, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um projeto de uma embarcação de recreio de 21 pés. Para tal, a embarcação aqui desenvolvida necessita alcançar os padrões das embarcações de mesmo porte presentes no mercado, mantendo assim, o nível da concorrência.

É interessante observar que, embora o Brasil seja um importante mercado, o desenvolvimento de projetos náuticos é uma atividade pouco realizada; usando, na maioria das vezes, projetos internacionais. Assim, o desenvolvimento de um procedimento de projeto que considera as características do mercado nacional, pode representar um importante diferencial competitivo para as empresas nacionais.

A definição de embarcação de recreio pode variar, dependendo do tipo de proprietário e da sua aplicação. A definição adotada neste trabalho, baseia-se em (Lloyds, 2016), e define que uma embarcação de recreio é uma embarcação adquirida por uma ou mais pessoas físicas, que tem como finalidade a prática de esportes ou lazer, seja pelo próprio proprietário da embarcação ou pelos seus familiares ou amigos.

A abordagem de projeto utilizada para a realização deste trabalho será representada pela espiral de projeto de Evans (1959). Nesse processo o projetista segue uma sequência de etapas de projeto, determinada utilizando uma matriz de influência referente aos principais atributos do projeto.

Na primeira volta na espiral de Evans, foram utilizados artigos e referências bibliográficas de autores consagrados. Tais referências apresentam diversos modelos analíticos, semi-empíricos e empíricos para a determinação dos atributos da embarcação. Para a realização destes cálculos e análises preliminares, foram utilizadas planilhas eletrônicas, no programa *Excel*, além do programa *MaxSurf*. Já para o modelamento do casco, foi utilizado o programa *Rhinoceros*.

A partir da segunda volta na espiral, já se tem um detalhamento mais apurado da embarcação a ser projetada. Com o intuito de obter-se um resultado mais próximo do projeto final, a partir desta fase, os dados obtidos na primeira volta da espiral, serão reanalisados e realimentados nas planilhas e nos programas utilizados até então. Desta maneira, os resultados começam a convergir para o projeto final.

1.1. Objetivos

Realizar o projeto conceitual de uma embarcação de recreio de 21 pés que atenda os padrões das embarcações presentes atualmente no mercado nacional.

Para atingir o objetivo geral, o trabalho também deverá atingir aos seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer uma sequência do processo de projeto;
- Realização de análises preliminares baseadas em modelos empíricos presentes na literatura;
- Modelamento da embarcação em CAD;
- Realização de análises mais precisas utilizando métodos numéricos com ferramentas especializadas.

1.2. Estrutura do Documento

O presente trabalho foi dividido em seções e subseções. A primeira seção corresponde a introdução, a qual tem como objetivo apresentar e introduzir ao leitor o conteúdo que será discutido neste trabalho.

A segunda seção corresponde a fundamentação teórica. Nesta etapa foram apresentados os fundamentos e os conceitos utilizados para dar base e sustentação a este trabalho.

A terceira seção é referente a metodologia. Neste momento são discutidos, de maneira resumida, os métodos e as ferramentas utilizadas ao longo deste trabalho.

A quarta e a quinta seção são referentes ao desenvolvimento. Nestes tópicos foram apresentados alguns conceitos teóricos, formulações, análises e resultados obtidos durante a sua confecção.

A sexta seção corresponde a conclusão, a qual tem como finalidade apresentar, de maneira resumida, as principais conclusões, discussões e resultados alcançados durante a elaboração deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA

Neste capítulo foram discutidos os fundamentos teóricos que dão subsídio ao desenvolvimento do presente trabalho. Os conceitos abordados aqui são referentes a elaboração de um projeto conceitual e preliminar de uma embarcação de maneira geral.

2.1. Projeto

A concepção de um projeto de produto, independentemente da sua natureza, é uma arte que busca unir conhecimentos físicos, científicos e práticos com o propósito de criar um produto que proporcione lucro ao fabricante e que também satisfaça as expectativas de seus clientes. Para isto é requerido imaginação, por parte dos projetistas, para a concepção de soluções originais e também a habilidade de prever como será o desempenho final do produto e os custos envolvidos em todo o processo de manufatura do mesmo (LAMB, 2003).

O projeto é uma atividade de engenharia onde realiza-se os cálculos necessários para o seu desenvolvimento; elabora-se a forma do produto, através de desenhos técnicos; define-se a sua estrutura; seleciona-se os materiais e os componentes empregados em sua confecção; realiza-se análises computacionais, através de ferramentas especializadas, para prever o seu comportamento; e caso necessário, pode-se construir protótipos ou modelos em escala reduzida para a realização de ensaios físicos (LAMB, 2003).

A tarefa fundamental em um projeto é a resolução de problemas. Para tal realiza-se uma análise global do problema a ser solucionado. O problema é então abordado em vários fragmentos menores, para os quais são desenvolvidos questionários com a finalidade de observar o problema de maneira mais detalhada. Busca-se respostas para cada uma destas perguntas, e ao obter-se todas as respostas desejadas, têm-se a solução do problema (LAMB, 2003).

O projetista normalmente depara-se com requisitos de projetos e atributos de desempenho que são conflitantes. Esses conflitos geralmente estão associados com aspectos físicos (redução de peso), econômicos (redução dos custos), social (maior segurança),

ambiental (menor impacto), entre outros. Então cabe ao mesmo resolver estes conflitos e buscar uma solução ótima¹ para o problema (LAMB, 2003).

O projeto naval tem como principal objetivo reunir os requisitos desejados pelo armador, e, a partir destes, buscam-se soluções para satisfazer tais requisitos da maneira mais econômica possível. Para tal tarefa é necessário avaliar toda a vida útil da embarcação, a qual consiste, de forma resumida, da fase de projeto, construção, operação, futuras manutenções; chegando ao descarte da embarcação (LAMB, 2003).

Embarcações são sistemas extremamente complexos que exigem uma alta capacidade de processar dados e integrar sistemas. Consequentemente tais projetos também apresentam elevada complexidade e, devido a isto, são realizados de maneira iterativa. Um exemplo disto é a seleção do sistema propulsivo que será utilizado na embarcação. Para tal é preciso determinar a potência instalada necessária para que a embarcação alcance a velocidade estipulada no projeto. Contudo, tal grandeza está diretamente relacionada com resistência ao avanço da embarcação que, consequentemente, também apresenta uma forte relação com as dimensões principais e com a forma do casco.

Tradicionalmente, um projeto deste gênero inicia-se com um estudo com embarcações semelhantes já construídas e que apresentam características similares as desejadas pelo armador. Assim, pode-se obter uma ideia inicial de como será a embarcação a ser desenvolvida. A partir desta primeira estimativa são realizadas análises e reanálises em cada etapa do projeto, de tal maneira a se alcançar o produto final desejado. Porém, vale ressaltar, que esta abordagem não se aplicada para o desenvolvimento de projetos inovadores que necessitam de soluções disruptivas em relação aos modelos vigentes.

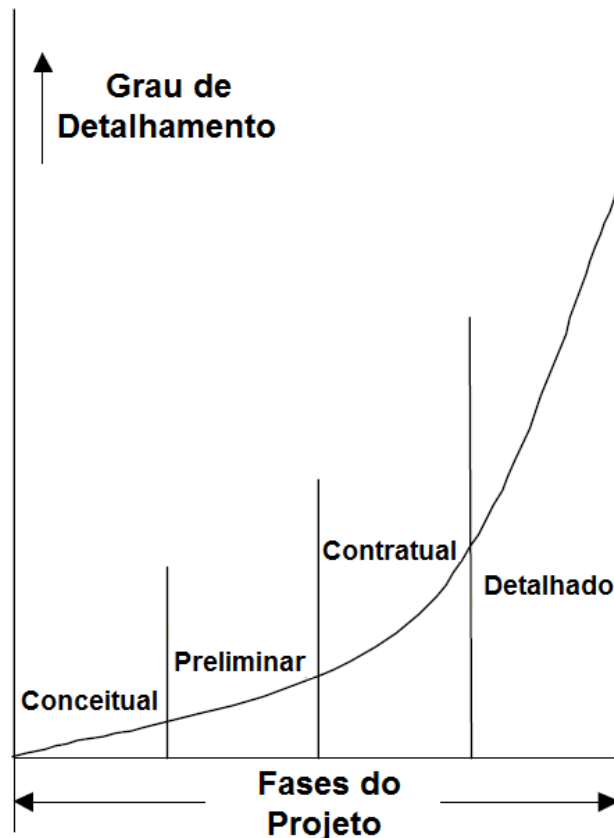
Este trabalho tem como objetivo realizar o projeto conceitual e preliminar de uma embarcação de recreio de 21 pés. Para tal será empregada uma metodologia de projeto proposta por LAMB (2003), a qual divide o processo do projeto em 4 fases distintas, sendo estas:

- Projeto Conceitual;
- Projeto Preliminar;
- Projeto Contratual;
- Projeto Detalhado.

¹ Utiliza-se aqui o termo “ótima” da forma como proposto pelo autor original. Cujo sentido se aproxima mais do conceito de “solução balanceada”.

Neste presente trabalho será realizado somente as duas primeiras etapas desta metodologia. Esta divisão, por fases de projeto, ocorre devido ao fato de que cada etapa do projeto apresenta tarefas distintas a serem realizadas. Devido a isto, pode haver diferentes equipes de engenheiros atuando em cada uma das fases de projeto. Os projetistas precisam apresentar habilidades específicas para a realização de cada uma das etapas de projeto e o número de pessoas trabalhando em cada etapa também pode variar, conforme aumente a complexidade e o detalhamento do projeto (LAMB, 2003). A Figura 1 ilustra como o grau de detalhamento do projeto aumenta conforme se avança nas etapas do projeto.

Figura 1 - Relação entre as fases do projeto com o grau de detalhamento do mesmo.



Fonte: Adaptado de LAMB (2003, p. 5-7).

2.1.1. Processo Conceitual

O projeto conceitual tem a finalidade de analisar os custos e a viabilidade do projeto em questão. Nesta etapa do projeto realiza-se a coleta das informações necessárias e o desenvolvimento da missão a ser realizada pela embarcação. Para tal, é necessário que o

armador e o projetista trabalhem em conjunto com o intuito de definir quais são os requisitos de projeto desejados e também quais são os seus principais requisitos de performance. Com estes parâmetros pré-definidos, o engenheiro busca criar uma solução que combine da melhor maneira possível todas as variáveis de projeto, obtendo, assim, a solução ótima para o problema (LAMB, 2003).

A solução ótima de uma embarcação depende da importância das características atribuídas a sua funcionalidade. Um exemplo disto são as lanchas esportivas. Este tipo de embarcação tem como objetivo alcançar altas velocidades. Então, uma solução ótima para este caso, é a elaboração uma embarcação que alcance as velocidades desejadas, mesmo que seja necessário abrir mão de outros requisitos. Já em uma lancha para lazer familiar, a solução ótima é aquela que apresente um bom conforto para a tripulação, independentemente da condição de mar na qual a mesma está navegando.

É neste ponto do projeto onde inicia-se o desenvolvimento da forma e do dimensionamento básico da embarcação. A embarcação começa a ganhar vida através de rascunhos ou desenhos simplificados. É desejável que a equipe de engenharia apresente mais de um conceito ao armador, assim fica a critério do mesmo analisar e selecionar a opção que mais lhe agrada (LAMB, 2003).

O projeto conceitual requer um número relativamente pequeno de engenheiros na sua elaboração, quando comparado com as demais etapas de projeto que apresentam um nível de detalhamento maior. Porém estes engenheiros devem ser altamente criativos e inovadores, além de criarem subsídios para que os diferentes conceitos possam ser comparados, objetivando-se definir uma solução inicial a ser refinada na fase do projeto preliminar.

2.1.2. Projeto Preliminar

Segundo LAMB (2003), a segunda fase consiste no Projeto Preliminar. Esta etapa apresenta um grau de detalhamento maior, quando comparado ao projeto conceitual, como mostrado na Figura 1. Este detalhamento mais refinado deve fornecer um volume de informações suficiente que permita ao engenheiro realizar novas análises e novas estimativas, assim possibilitando reavaliar a viabilidade técnica e econômica do projeto. Os principais objetivos desta etapa do projeto são:

- Validar os requisitos primários de performance e desenvolver os requisitos secundários;
- Estabelecer o tamanho da embarcação e a sua configuração geral;
- Selecionar os principais sistemas da embarcação;
- Quantificar a performance da embarcação;
- Reduzir ou eliminar a maioria dos problemas técnicos e os custos desnecessários;
- Refinar a estimativa dos custos referente a sua construção e operação.

A identificação e redução dos riscos presentes no projeto é outra área à qual deve ser dado ênfase nesta fase. Cabe ao grupo de engenheiros analisar e identificar os possíveis riscos presentes no projeto e quais serão seus impactos caso os mesmos sejam desprezados. Para os riscos que possam vir a comprometer o projeto é necessário que os projetistas elaborem alternativas que sejam viáveis e econômicas com o intuito de corrigir tais problemas (LAMB, 2003).

Os estudos realizados na fase anterior, no projeto conceitual, que se referem a missão da embarcação e aos requisitos de performance desejados, serão reavaliados e utilizados como ponto de partida para o projeto preliminar. Nesta etapa o foco é abordar os tópicos que apresentam maior efeito no resultado final da embarcação (LAMB, 2003). Alguns exemplos pertinentes a serem estudados nesta fase são:

- Proporções e relações do casco (L/B , B/D , entre outros);
- Forma do casco (*Chine*, ângulo de *deadrise*, entre outros);
- Arranjo geral;
- O tipo de planta propulsora (baixa, média ou alta velocidade; entre outros);
- Tamanho e posição da casaria;
- Topologia estrutural do casco;
- Capacidade de pessoas e suprimentos a bordo.

Já para os tópicos que apresentam menor impacto no projeto final, é recomendável que seja realizado um conceito base para tais assuntos, apresentando um grau de detalhamento apropriado. Assim, quando tais assuntos forem abordados numa próxima fase de projeto, estes conceitos base podem ser utilizados como um ponto de partida, e, a partir destes, podem ser geradas novas alternativas para resolver tais problemas (LAMB, 2003).

2.2. Matriz de Influência

Este presente trabalho tem como objetivo realizar o projeto conceitual e preliminar de uma embarcação de recreio de 21 pés. Para tal, com base no objetivo deste trabalho, foi necessário abordar alguns tópicos primordiais para um bom funcionamento desta embarcação. A seguir estão listados os tópicos mais relevantes para o desenvolvimento deste projeto, sendo esses:

- Dimensões principais;
- Pesos e centros;
- Estabilidade;
- Sistema propulsivo;
- Forma do casco;
- Topologia estrutural;
- Arranjo geral;
- Estabilidade dinâmica;

A matriz de influência, também conhecida como matriz de iteração, é uma técnica de projeto que auxilia os engenheiros a formular uma estratégia e uma ordem na qual o projeto será desenvolvido. Esta ferramenta será aplicada com o intuito de sequenciar os tópicos citados anteriormente, afim de proporcionar uma ordem de projeto que convirja para o resultado final da maneira mais eficiente possível (NETO; HIGA; FURLAN, 1988).

Para a elaboração desta matriz, as funcionalidades do projeto são listadas em um dos eixos, aqui representadas pelas linhas, enquanto as entidades são listadas no outro eixo, aqui representadas pelas colunas. Deste modo ocorrerá intersecções entre cada uma das funcionalidades e cada uma das entidades do projeto. Quando tais intersecções ocorrem, é atribuído um valor que representa o grau de influência que as funcionalidades exercem sobre as entidades (NETO; HIGA; FURLAN, 1988).

Para uma melhor compreensão do funcionamento desta matriz, considere o primeiro elemento da primeira coluna da matriz de influência apresentada no Quadro 2, o qual se refere as dimensões principais, e quinto elemento da primeira linha, o qual se refere a forma do casco. A intersecção entre estes elementos está preenchida com o número 3, o que significa que as dimensões principais apresentam uma alta influência sobre a forma do casco.

A última coluna da matriz de influência apresentada no Quadro 2, é referente ao somatório, o qual demonstra uma ideia inicial de como será a sequência deste projeto. Todavia, esta sequência de projeto pode ser alterada ao decorrer deste trabalho, caso surja algum tipo de problema não considerado neste momento.

2.3. Espiral de Projeto de Evans

A espiral de Evans foi criada por J.H. Evans em 1959. Trata-se de uma representação do projeto que tem como objetivo ilustrar, através da representação gráfica de uma espiral, a sequência iterativa a qual o projeto será desenvolvido. Esta é percorrida no sentido anti-horário e é organizada de tal modo que os itens a serem estudados no projeto estão listados conforme o seu grau de importância, como determinados na matriz de influência (EVANS, 1959).

Embora a espiral de Evans descreva qual é a ordem recomendada de projeto a ser seguida, pode ocorrer ao projetista de não efetuar tal sequência fielmente. Em alguns momentos no projeto é recomendável retroceder ao invés de avançar na espiral de projeto, com o objetivo de realimentar alguma etapa anterior com dados mais atualizados. Pois assim ao se dar continuidade ao processo, as próximas etapas apresentarão resultados mais realísticos (LAMB, 2003).

Pode ocorrer, também, de o engenheiro ignorar alguma etapa do projeto e avançar para a próxima, devido à falta de informações para a realização da mesma. Quando ocorrer a falta de informação em uma determinada etapa do projeto, o projetista pode realizar uma estimativa baseado na sua experiência e conhecimento, assim pode-se dar continuidade ao projeto até que se obtenha informações suficientes para determinar tal etapa de maneira mais precisa (LAMB, 2003).

Este método apresenta uma natureza cíclica, ou seja, a evolução no seu processo ocorre em ciclos, onde cada ciclo representa uma iteração realizada no projeto. A cada volta realizada na espiral de projeto, os dados referentes a cada uma das etapas são atualizados, de modo que após um número determinado² de iterações, o projeto convirja para o resultado desejado (EVANS, 1959).

² O número de iterações até a convergência do projeto varia de acordo com o tipo de projeto, do número de requisitos, do processo de projeto e das técnicas e ferramentas utilizadas.

2.4. Determinação das Dimensões

Para a determinação das dimensões principais da embarcação, foram utilizados, inicialmente, três métodos distintos. No primeiro método foi elaborado um banco de dados de embarcações semelhantes e, a partir destes dados, foram obtidas regressões que auxiliassem na determinação das dimensões principais da embarcação.

O segundo método baseou-se no emprego de equações empíricas, sendo estas propostas por Grubisic e Begovic (2012). No terceiro método foi utilizado um algoritmo que gerou uma combinação de dimensões aleatórias, respeitando um limite especificado pelo autor.

2.5. Pesos

Para uma primeira estimativa das parcelas dos pesos presentes na embarcação, foram utilizadas equações empíricas propostas por Grubisic e Begovic (2012). Ao decorrer do projeto, algumas destas parcelas foram substituídas por dados mais precisos, devido ao maior grau de detalhamento obtido durante o desenvolvimento do projeto. A parcela referente ao peso do motor é um exemplo disto, onde esta foi obtida através da especificação do motor selecionado para o projeto.

2.6. Centros

As estimativas dos centros da embarcação, na fase inicial de projeto, foram realizadas baseadas no trabalho através de formulações empíricas presentes no trabalho de Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012). Nas etapas finais do projeto, após a obtenção do modelo CAD da embarcação, tais centros foram recalculados de maneira mais precisa através do programa *Maxsurf*.

2.7. Sistema Propulsivo

A determinação do sistema propulsivo é realizada após a obtenção da resistência ao avanço da embarcação. Para tal, foi utilizado o método proposto por Savitsky (1964). Esta tarefa foi realizada com o auxílio do programa *Maxsurf*. Após a determinação da resistência ao

avanço, realizou-se uma pesquisa dos sistemas de propulsão presentes no mercado e, então, selecionou-se uma das opções que atendesse a demanda requerida pela embarcação.

2.8. Forma do Casco

O desenho do casco da embarcação foi obtido através da técnica de transformadas paramétricas. Nesta técnica, a embarcação é modelada a partir da secção mestra, do comprimento do corpo médio paralelo e do formato dos corpos de proa e de popa; os quais são definidos por parâmetros que são ajustados para que a embarcação atenda as dimensões e coeficientes de forma exigidos para o projeto. Neste trabalho o casco foi gerado através de uma rotina do programa *Rhinoceros* especialmente desenvolvida para aplicação desta técnica.

2.9. Estabilidade Estática

Para uma primeira estimativa da estabilidade estática da embarcação, foram utilizadas equações empíricas presentes no trabalho de Grubisic e Begovic (2012). Posteriormente, após realizada a modelagem do casco da embarcação, foi possível obter informações mais precisas referentes a esta grandeza utilizando os programas *Rhinoceros* e *Maxsurf*.

2.10. Estabilidade Dinâmica

A estabilidade dinâmica da embarcação foi obtida com base nos estudos elaborados por Savitsky (1964). Porém em seu trabalho, esta análise é realizada através de gráficos, dificultando bastante a automatização do processo. Com o objetivo de contornar tal dificuldade, Nakanishi, Palhares, Andrade e Tancredi (2012) elaboraram uma regressão polinomial destes gráficos, a qual foi utilizada neste trabalho facilitando, assim, a realização desta análise.

2.11. Topologia Estrutural

Para a elaboração do projeto estrutural da embarcação, foi utilizado uma planilha eletrônica elaborada por Amaral (2016). Nesta planilha, a autora programou os tópicos referentes ao dimensionamento da topologia estrutural de embarcações rápidas, de pequeno porte e construídas em fibra de vidro. As equações presentes nesta planilha são referentes a

norma *Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft da Det Norske Veritas* (DNV, 2012).

2.12. Otimização Estrutural

Foi empregado um processo de otimização neste projeto com o propósito de diminuir a massa estrutural da embarcação. Para realizar esta otimização, foram utilizados o programa *ModeFrontier* e a planilha estrutural de Amaral (2016). Atualmente existem diversas técnicas para realizar um processo de otimização. Neste trabalho foram utilizados os algoritmos Sobol e NSGA-II, conforme detalhados na seção 4.5 deste trabalho.

2.13. Resumo

O Quadro 1 apresenta um resumo das etapas do projeto, bem como os respectivos métodos e ferramentas utilizados em cada tarefa.

Quadro 1 - Metodologia do projeto.

Etapas	Método		Ferramentas	
	1º Iteração	2º Iteração	1º Iteração	2º Iteração
Dimensões Principais	Regressões Equações Empíricas Algoritmo Aleatório	Ajustes no Software	<i>Excel</i>	<i>Excel</i> <i>Rhinoceros</i>
Arranjo	-	Desenho em Software	-	<i>Rhinoceros</i>
Pesos e Centros	Equações Empíricas	Análise do Modelo 3D	<i>Excel</i>	<i>Excel</i> <i>Rhinoceros</i> <i>MaxSurf</i>
Sistema Propulsivo	Equações Empíricas	Seleção em Catálogos	<i>Excel</i>	-
Forma do Casco	Modelamento no Software	Modelamento no Software	<i>Rhinoceros</i>	<i>Rhinoceros</i>
Estabilidade	Equações Empíricas	Cálculos em Softwares	<i>Excel</i>	<i>Excel</i> <i>MaxSurf</i>
Topologia Estrutural	Normas Planilhas Eletrônicas	Otimização	<i>Excel</i>	<i>ModeFrontier</i>

Fonte: Autor (2017).

3. DESENVOLVIMENTO: PRIMEIRA ITERAÇÃO NA ESPIRAL DE EVANS

Nesta seção será realizada a primeira iteração na espiral de Evans. Os cálculos obtidos nesta seção são, em sua grande maioria, baseados em equações empíricas presentes na literatura.

3.1. Requisitos do Amador

Atualmente existem diversos tipos de lanchas presentes no mercado. Tais embarcações podem ser utilizadas para o lazer, como barcos patrulha e de resgate, para o uso esportivo, para pesca, para transporte de pessoas, entre outras aplicações. Como discutido no capítulo 1, o comércio de embarcações de recreio continua em expansão. Com a finalidade de explorar este mercado, o presente trabalho tem como objetivo elaborar o projeto de uma lancha para lazer com um comprimento de 21 pés. Embarcações deste porte são tipicamente adquiridas por armadores de primeira viagem.

Para dar início ao projeto, primeiramente determinou-se quais são os principais requisitos de projeto desejados por um armador que está adquirindo a sua primeira lancha. Tais requisitos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos do armador.

Comprimento Total: 6,4 [m]
Velocidade Máxima: 30 [nós]
Autonomia: 120 [km]
Navegação: Águas Costeiras
Capacidade de Passageiros: 8 [dia]
Dias de Navegação: 1

Fonte: Autor (2017).

Com os requisitos do armador determinados, pode-se, então, dar início ao projeto da embarcação.

3.2. Matriz de Influência e a Espiral de Projeto

Definidos os requisitos de projeto do armador, pode-se, então, elaborar uma sequência de projeto a ser seguida para o seu desenvolvimento. Para tal finalidade foram utilizadas a matriz de influência e a espiral de Evans, conforme apresentadas no Quadro 2 e na Figura 2, respectivamente.

A matriz de influência foi preenchida com base na percepção e experiência do autor e de outros engenheiros navais, simulando um processo de tomada de decisão conhecido por “votação entre pares”, comumente utilizado por equipes multidisciplinares de projeto. A espiral de Evans representa de forma gráfica esta sequência de projeto.

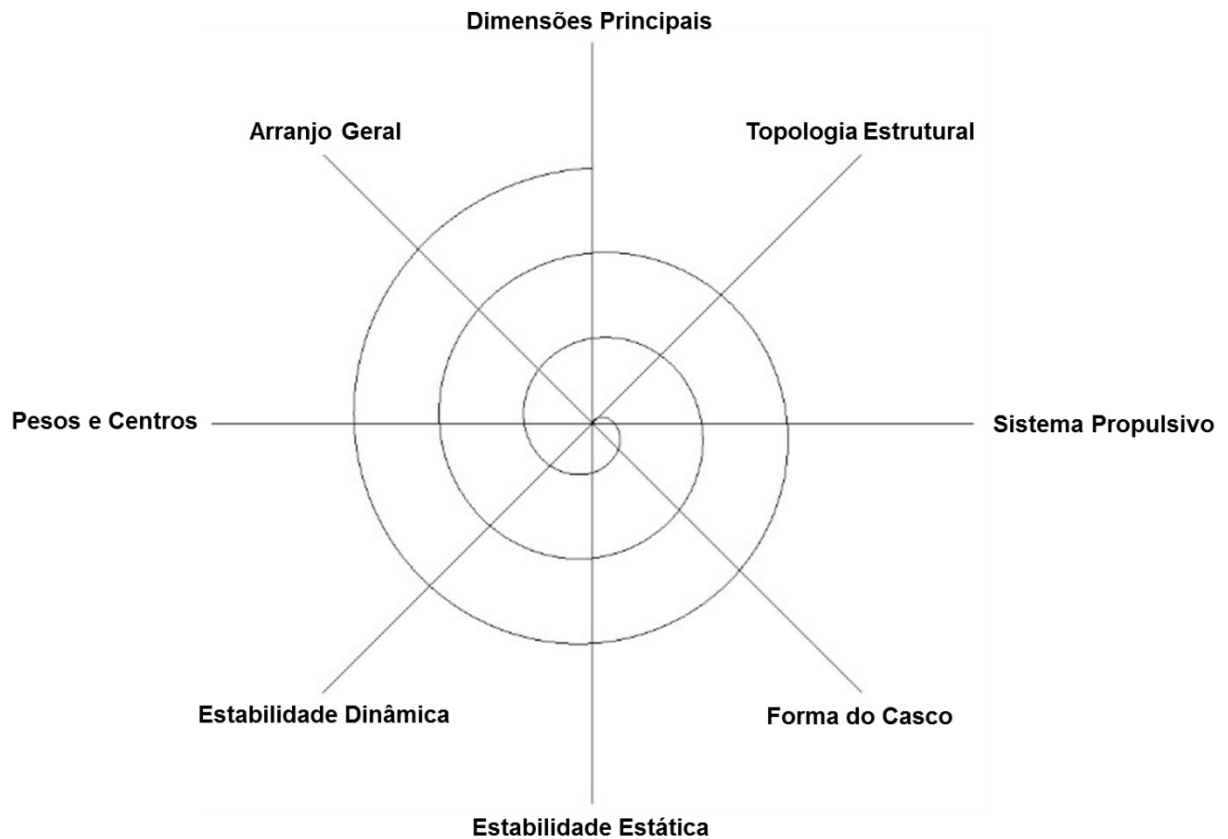
Quadro 2 - Matriz de Influência do projeto.

0	Nenhuma Influência
1	Baixa Influência
2	Média Influência
3	Alta Influência

Funcionalidades e Entidades	Dimensões Principais	Pesos e Centros	Estabilidade Estática	Sistema Propulsivo	Forma do Casco	Topologia Estrutural	Arranjo Geral	Estabilidade Dinâmica	Somatório
	Dimensões Principais	3	3	2	3	3	2	3	19
Pesos e Centros	0	3	2	0	2	3	2	12	
Estabilidade Estática	2	3	0	0	0	3	1	9	
Sistema Propulsivo	0	2	2	0	1	1	2	8	
Forma do Casco	0	2	1	1	1	1	2	8	
Topologia Estrutural	0	2	0	0	1	1	0	4	
Arranjo Geral	2	3	3	2	1	2	3	16	
Estabilidade Dinâmica	2	3	0	1	3	0	3	12	

Fonte: Autor (2017).

Figura 2 - Espiral de Evans para o projeto em questão.



Fonte: Autor (2017).

Vale ressaltar que quando ocorrer valores iguais no somatório na última coluna da matriz de influência, cabe ao projetista avaliar e determinar qual é a ordem de projeto mais adequada para o desenvolvimento do mesmo.

3.3. Determinação das Dimensões Principais

Para a determinação das dimensões principais da embarcação, foram gerados aproximadamente 6000 modelos de embarcações de 21 pés. Estas embarcações foram obtidas de três maneiras.

No primeiro modo, baseou-se em formulações empíricas presentes na literatura. As formulações utilizadas estão presentes no trabalho de Grubisic e Begovic (2012).

No segundo modo, foram utilizadas as equações obtidas através das regressões desenvolvidas pelo autor. As principais regressões estão presentes no APÊNDICE A.

No terceiro modo, foi empregado um algoritmo que gerou embarcações de maneira aleatória, respeitando certas restrições impostas pelo autor. Tais restrições foram baseadas em limitações presentes no banco de dados elaborado pelo autor e, também, em algumas restrições impostas em séries sistemáticas de embarcações de planeio presentes na literatura. As restrições utilizadas neste modo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Restrições para a determinação das dimensões principais.

	Mínimo	Máximo
L_H / L_{OA}	0,95	0,98
L_{WL} / L_H	0,85	0,90
B / L_{OA}	0,35	0,40
B_x / B	0,90	0,95
T / L_{OA}	0,05	0,15
D / T	1,40	1,65
Δ [t]	0,80	2,20
β [graus]	18,00	24,00
C_B	0,35	0,45

Fonte: Autor (2017).

A elaboração do banco de dados teve como objetivo compreender como ocorre a variação dos parâmetros geométricos de uma embarcação de recreio. Foram coletadas informações de 200 modelos de lanchas construídas em compósito de fibra de vidro. Estes dados foram coletados através de catálogos e sites de alguns fornecedores nacionais e internacionais de embarcações de recreio. A Tabela 3 apresenta os principais dados e limitações presentes neste banco de dados.

Tabela 3 - Limitações do banco de dados.

$4,87 \leq L_{OA} \text{ [m]} \leq 37,82$
$1,77 \leq B \text{ [m]} \leq 8$
$0,45 \leq T \text{ [m]} \leq 2,37$
$0,9 \leq \Delta \text{ [t]} \leq 208$
$75 \leq P \text{ [HP]} \leq 7020$
$16 \leq V_{M\acute{a}x} \text{ [n\acute{o}s]} \leq 51$
$6 \leq \beta \text{ [graus]} \leq 24$

Fonte: Autor (2017).

Realizou-se uma análise sobre todas as embarcações geradas neste momento. Foram tomados como critérios de seleção a embarcação que apresentou o menor deslocamento, uma boa estabilidade estática transversal e respeitou todas as restrições impostas na Tabela 2. Este estudo foi realizado através do emprego de equações empíricas presentes no trabalho de Grubisic e Begovic (2012). Então, após efetuada esta análise, a embarcação base selecionada para a continuação deste trabalho apresentou as seguintes dimensões principais.

- LOA igual a 6,40 [m];
- LWL igual a 5,28 [m];
- LH igual a 6,10 [m];
- B igual a 2,39 [m];
- B_X igual a 2,20 [m];
- T igual a 0,45 [m];
- D igual a 0,90[m];
- β igual a 18,00°;
- β_{LCB} igual a 20,67°;
- Δ igual a 2,19 [t];
- ∇ igual a 2,14 [m³].

Os símbolos listados anteriormente podem ser consultados na lista de símbolos deste trabalho. Todas as dimensões abordadas aqui seguem as definições proposta pela *Lloyd's* (2016).

3.4. Coeficientes de Forma

Os coeficientes de forma são parâmetros importantes para a determinação de diversos aspectos da embarcação. A literatura apresenta poucos dados e estudos referentes a tais coeficientes para embarcações rápidas e de pequeno porte.

O critério adotado para o cálculo dos coeficientes de forma será descrito nesta seção do trabalho e considera que a embarcação se encontra na condição estática e com a carga total, ou seja, considerando todo o peso morto, incluindo a tripulação.

3.4.1. Coeficiente de Bloco

O coeficiente de bloco foi obtido a partir da própria definição, conforme descrito na Equação (1).

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \times B_X \times T} \quad (1)$$

Onde:

- L_{WL} é o comprimento da embarcação no plano da linha d'água, em [m];
- B_X é a boca da embarcação no plano da linha d'água, em [m];
- T é o calado da embarcação, em [m];
- ∇ é o deslocamento volumétrico da embarcação, em [m³];
- C_B é o coeficiente de bloco da embarcação.

Portanto, utilizando a Equação (1), o coeficiente de bloco da embarcação em projeto é igual a 0,41.

3.4.2. Coeficiente Prismático

Para a determinação do coeficiente prismático, seguindo a sua definição, é necessário que se tenha conhecimento da área da seção mestra da embarcação. Tal parâmetro não foi definido até então, visto que ainda não há conhecimento da forma do casco a ser projetado.

Então, para determinar este coeficiente, foi utilizado uma formulação empírica proposta por Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012), conforme a equação a seguir.

$$C_P = 0,384 + 0,565 \times C_B \quad (2)$$

Onde:

- C_P é o coeficiente prismático da embarcação.

Então, utilizando a Equação (2), o coeficiente prismático da embarcação em projeto é igual a 0,62.

3.4.3. Coeficiente da Área da Seção Mestra

O coeficiente da seção mestra foi obtido através da própria definição, conforme a equação a seguir.

$$C_M = \frac{A_X}{B_X \times T} = \frac{C_B}{C_P} \quad (3)$$

Onde:

- A_X é a área da seção mestra da embarcação, em $[m^2]$;
- C_M é o coeficiente da área da seção mestra da embarcação.

Vale ressaltar que a veracidade deste coeficiente irá depender do quão precisa for a equação empírica utilizada para o cálculo do coeficiente prismático. Portanto, utilizando a Equação (3), o coeficiente da área da seção mestra da embarcação é igual a 0,67.

3.4.4. Coeficiente da Área de Flutuação

Para a determinação do coeficiente da área de flutuação, seguindo a sua definição, é necessário que se tenha conhecimento da área de flutuação no plano na linha d'água da embarcação. Tal parâmetro não foi definido até então, visto que ainda não se há conhecimento da forma do casco a ser projetado.

Então, para determinar tal coeficiente, foi utilizado uma formulação empírica proposta por Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012), conforme a Equação (4).

$$C_{WP} = 0,47 \times C_P + 0,467 \quad (4)$$

Onde:

- C_{WP} é o coeficiente da área do plano de flutuação da embarcação.

Portanto, utilizando a Equação (4), o coeficiente da área de flutuação da embarcação é igual a 0,76.

3.5. Estimativa dos Pesos

As estimativas das parcelas dos pesos presentes na embarcação foram obtidas a partir dos trabalhos elaborados por Grubisic (2009) e Grubisic e Begovic (2012). Os dois trabalhos, apresentam praticamente a mesma metodologia, porém o segundo trabalho contém pequenas atualizações em relação ao primeiro. O método proposto por Grubisic, para realizar a estimativa dos pesos a bordo da embarcação, teve como foco somente embarcações rápidas e de pequeno porte.

Esta metodologia foi desenvolvida a partir de 34 embarcações, com comprimento variando entre 8 a 60 metros. Vale ressaltar que a embarcação a ser desenvolvida neste trabalho apresenta 6,4 metros de comprimento. Porém este foi o único método encontrado na literatura e por este motivo foi utilizado neste trabalho. As embarcações abordadas no banco de dados de Grubisic são de diferentes tipos de serviço e, também, apresentam diferentes tipos de materiais de construção.

No presente trabalho, optou-se por dividir os pesos a bordo da embarcação em dois grupos principais, sendo estes constituídos pelo peso leve e pelo peso morto. Na Figura 3 são mostrados os diferentes grupos e subgrupos nos quais o deslocamento da embarcação pode ser dividido.

Figura 3 - Divisão dos Pesos a bordo na Embarcação.



Fonte: Autor (2017).

A estimativa do deslocamento da embarcação também foi utilizada como um dos critérios para a seleção da embarcação base. Optou-se por selecionar as embarcações que apresentassem as menores estimativas de deslocamento, pois quanto mais leve for a

embarcação, menor será a sua resistência ao avanço e, conseqüentemente, menor será o consumo de combustível da mesma.

3.5.1. Peso Estrutural

O peso estrutural do casco é baseado em uma aproximação que leva em consideração a estimativa das áreas dos planos que constituem o fundo, os costados, o deck e as anteparas da embarcação. Os pesos destas superfícies, são estimados devido a diferença de pressão de carregamento em cada área específica (GRUBISIC, 2009). As áreas destas superfícies são estimadas pelas seguintes expressões.

$$L = 0,5 \times (L_H + L_{WL}) \quad (5)$$

$$S_1 = 2,825 \times \sqrt{\nabla \times L} \quad (6)$$

$$S_2 = 1,09 \times (2 \times L + B) \times (D - T) \quad (7)$$

$$S_3 = 0,823 \times L \times B \quad (8)$$

$$S_4 = 0,6 \times N_{WTB} \times B \times D \quad (9)$$

Onde:

- L_H é o comprimento do casco da embarcação, em [m];
- L é definido como comprimento médio, em [m];
- B é a boca máxima da embarcação, em [m];
- D é o pontal da embarcação, em [m];
- N_{WTB} é o número de anteparas estanques presentes na embarcação;
- S_1 é a estimativa da área do plano do fundo da embarcação, em [m²];
- S_2 é a estimativa da área dos costados da embarcação, em [m²];
- S_3 é a estimativa da área do convés da embarcação, em [m²];
- S_4 é a estimativa da área das anteparas da embarcação, em [m²].

No projeto estrutural da embarcação foram consideradas três anteparas estanques. Uma destas anteparas está localizada na região da proa, sendo esta denominada como anteparas de colisão. Sua principal finalidade é permitir a navegabilidade da embarcação após a ocorrência de uma avaria na região da proa. As outras duas anteparas são responsáveis pela

estanqueidade da praça de máquinas da embarcação. Para a determinação da área da superfície reduzida total, Grubisic (2009) apresenta a seguinte expressão.

$$S_R = S_1 + 0,73 \times S_2 + 0,69 \times S_3 + 0,65 \times S_4 \quad (10)$$

Onde:

- S_R é a estimativa da área da superfície reduzida total da embarcação, em [m²].

A próxima etapa é a determinação do numeral E. Para tal, Grubisic e Begovic (2012) apresentaram a seguinte equação.

$$E_S = 2,75 \times S_R \times \left(0,292 + \frac{\nabla}{L_{WL}^2 - 15,8} \right) \times \left(\frac{T}{D} \right)^{0,244} \quad (11)$$

Onde:

- E_S é o denominado como Numeral E.

Assim, com todas as etapas anteriores realizadas, pode-se calcular o peso estrutural da embarcação. Grubisic e Begovic (2012) propuseram uma equação específica para embarcações construídas em fibra de vidro, mostrada na equação:

$$W_{100} = (0,0135 \times G_f \times S_f - 0,0034) \times E_S^{1,33} \quad (12)$$

Onde:

- G_f é o fator de notação da área de serviço;
- S_f é o fator de notação do tipo de serviço da embarcação;
- W_{100} é a estimativa do peso do casco em fibra de vidro da embarcação, em [t].

O fator de notação da área de serviço está relacionado com a pressão exercida no fundo da embarcação, onde tal relação é dada através do fator de pressão de projeto. Este fator pode ser obtido através da Figura 4, onde esta foi obtida através da norma *Lloyd's* (2016).

Para este trabalho foi utilizado um fator de notação da área de serviço igual a 0,75, correspondendo, assim, a categoria G2. Esta categoria aborda embarcações que atuam em águas

e tempos considerados razoáveis. A navegação deve ser realizada em águas costeiras e que apresente no máximo uma distância de refúgio de 20 milhas náuticas. A definição das demais categorias podem ser encontradas na norma citada anteriormente.

O fator de notação do tipo de serviço da embarcação está relacionado com a função a qual a embarcação exerce. Este fator pode ser obtido através da Figura 5, a qual foi obtida através da norma *Lloyd's* (2016).

Figura 4 - Fator de notação da área de serviço da embarcação.

Service area restriction notation	Factor
G1	0,6
G2	0,75
G2A	0,8
G3	0,85
G4	1,0
G5	1,2
G6	1,25

Fonte: Lloyd's (2016, p. 246).

Figura 5 - Fator de notação do tipo de serviço da embarcação.

Service type notation	Factor
Cargo (A)	1,0
Cargo (B)	1,1
Passenger	1,0
Passenger (A)	1,0
Passenger (B)	1,1
Patrol	1,2

Fonte: Lloyd's (2016, p. 246).

Para este trabalho foi utilizado um fator de notação do tipo de serviço igual a 1, correspondendo, assim, a categoria *Passenger (A)*. Esta categoria aborda as embarcações de

alta velocidade, que não carreguem mais de 450 passageiros a bordo e que não operem por mais de 4 horas seguidas, na sua velocidade de cruzeiro, a partir de um local de refúgio, quando totalmente carregada. A definição das demais categorias também podem ser encontradas na norma citada anteriormente.

Desta maneira, utilizando a Equação (12), o peso estrutural do casco da embarcação em fibra de vidro foi estimado em 0,55 toneladas. A Tabela 4 apresenta um resumo dos resultados de todos os cálculos efetuados nesta seção.

Tabela 4 - Resultados dos cálculos referentes ao peso estrutural da embarcação.

L	5,69 [m]
S₁	9,86 [m ²]
S₂	6,75 [m ²]
S₃	11,17 [m ²]
S₄	3,86 [m ²]
S_R	25,01 [m ²]
E_S	27,27
W₁₀₀	0,55 [t]

Fonte: Autor (2017).

3.5.2. Peso do Sistema Propulsivo

Grubisic (2009) separou o peso do sistema propulsivo em duas parcelas. A primeira parcela está relacionada com o peso do motor de propulsão, o qual está diretamente relacionado com a potência instalada na embarcação. Grubisic apresenta em seu trabalho, algumas equações empíricas para a determinação do peso do motor. Porém, o mesmo recomenda que tal informação seja obtida através de catálogos de fornecedores, uma vez que estes catálogos são de fácil acesso via internet e apresentam as informações reais e atualizadas do motor selecionado.

Para realizar a seleção do motor de propulsão, é necessário que se tenha conhecimento da potência instalada necessária na embarcação. Porém, nesta etapa do projeto, temos carência desta informação. Então, afim de obter uma estimativa inicial para esta parcela de peso, foi considerado como base um motor de 200 [HP] de potência da *Mercury Marine*. Esta estimativa de potência foi obtida através das embarcações semelhantes presentes no banco de dados elaborado pelo autor deste trabalho.

O motor inicialmente selecionado apresenta um peso de 0,229 toneladas. Grubisic afirma que é necessário realizar uma correção no peso do motor seco, afim de considerar os fluidos que estão presentes no seu interior. Para esta finalidade, Grubisic e Begovic (2012) propuseram a seguinte equação.

$$W_{250} = 1,07 \times N_{PR} \times W_{ENG} \quad (13)$$

Onde:

- N_{PR} é o número de motores presentes na embarcação;
- W_{ENG} é o peso de cada motor presente na embarcação, em [t];
- W_{250} é o peso molhado de todos os motores a bordo da embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (13), o peso total deste motor pode ser estimado em 0,245 toneladas.

Grubisic afirma em seu trabalho que a segunda parcela do peso do sistema propulsivo é constituída pelo peso dos propulsores, o peso do eixo de propulsão, entre outros apêndices. O mesmo apresenta algumas formulações empíricas para a obtenção destas parcelas de peso. Contudo, por se tratar de um motor de popa, a abordagem é um pouco diferente.

Neste tipo de motor não é necessário o emprego de leme, pois o próprio motor é capaz de rotacionar e fornecer empuxo na direção desejada. Outro aspecto importante a ser considerado é o eixo de propulsão, onde este é acoplado ao motor e já está contabilizado no peso do motor fornecido pelo fabricante. Contudo, devido a estas diferenças entre os motores de popa e motores de centro, a segunda parcela do sistema de propulsivo proposta por Grubisic foi desconsiderada.

3.5.3. Peso do Sistema de Energia Elétrica

O peso do sistema de energia elétrica, segundo Grubisic (2009), está diretamente relacionado com o tamanho da embarcação. Para a determinação desta parcela de peso, Grubisic propôs as seguintes equações.

$$C_N = L \times B \times D \quad (14)$$

$$W_{300} = \frac{C_N^{1,24}}{592} \quad (15)$$

Onde:

- C_N é denominado como número cúbico, em $[m^3]$;
- W_{300} é o peso do sistema de energia elétrica a bordo da embarcação, em [t].

Nesta parcela de peso, Grubisic afirma que são considerados os equipamentos mais comuns presentes no sistema elétrico a bordo de uma embarcação de pequeno porte. Portanto, utilizando a Equação (15), o peso do sistema de energia elétrica pode ser estimado em 0,04 toneladas.

3.5.4. Peso dos Equipamentos Eletrônicos

Os equipamentos eletrônicos acompanham o avanço da tecnologia e constantemente surgem novas opções no mercado. Devido a isto, Grubisic (2009) afirma que a sua regressão não é muito confiável para os equipamentos atuais, devido ao ano de fabricação das embarcações presentes em seu banco de dados. Contudo, para a determinação de uma primeira estimativa desta parcela de peso, o autor propôs a seguinte equação.

$$W_{400} = \frac{L^{2,254}}{1887} \quad (16)$$

Onde:

- W_{400} é o peso dos equipamentos eletrônicos a bordo da embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (16), o peso dos equipamentos eletrônicos pode ser estimado em 0,03 toneladas.

3.5.5. Peso das Máquinas Auxiliares

O peso do sistema de máquinas auxiliares está relacionado com o tamanho da embarcação e o tipo de serviço da mesma. Porém, é muito difícil levar em consideração, em um único modelo matemático, a variabilidade dos requisitos de projeto apresentados por cada armador. A melhor relação obtida por Grubisic (2009), para a determinação desta parcela de peso, é apresentada a seguir.

$$W_{500} = \frac{(L \times B)^{1,784}}{1295} \quad (17)$$

Onde:

- W_{500} é o peso das máquinas auxiliares abordo da embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (17), o peso das máquinas auxiliares pode ser estimado em 0,08 toneladas.

3.5.6. Peso do *Outfit*

O peso do *outfit* de uma embarcação está diretamente relacionado com os tipos de equipamentos a bordo da mesma. Devido a variabilidade dos tipos de embarcações presentes no banco de dados de Grubisic (2009), e, conseqüentemente, da grande variabilidade de equipamentos considerados nesta regressão, é bastante difícil de se obter a estimativa desta parcela de peso com uma boa precisão utilizando um único modelo matemático. Segundo o autor, a equação que apresentou a melhor aproximação para estimar o peso do *outfit* da embarcação, está apresentada a seguir.

$$W_{600} = \frac{L^{2,132}}{103} \quad (18)$$

Onde:

- W_{600} é o peso do *outfit* presente na embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (18), o peso de *outfit* pode ser estimado em 0,4 toneladas.

3.5.7. Peso dos Sistemas Especiais

Este grupo abrange todos os pesos dos equipamentos que são específicos para cada tipo de embarcação, como, por exemplo, os equipamentos de pesquisa encontrados em embarcações voltadas a pesquisa em alto-mar. Como o projeto deste trabalho é uma lancha de

6,4 metros, não há nenhum equipamento específico nesta embarcação que não esteja presente nos demais tipos de embarcações. Devido a isto, esta parcela foi desconsiderada neste trabalho.

3.5.8. Peso dos Passageiros

Para a determinação do peso dos passageiros a bordo da embarcação, foi utilizado um peso de 70 kg. Porém, tal consideração precisa ser revisada, pois a NORMAM-01/DPC (2005) considera o peso de 75 kg para cada passageiro a bordo da embarcação.

Um dos requisitos de projeto estipulado pelo armador, foi a capacidade de passageiros a bordo da mesma. O armador solicitou que a embarcação abrigasse 8 passageiros a bordo durante o dia e nenhum passageiro a bordo durante a noite. Então, esta parcela de peso pode ser determinada conforme a formulação a seguir.

$$W_P = 0,07 \times N_P \quad (19)$$

Onde:

- N_P é o número de passageiros a bordo da embarcação;
- W_P é o peso total dos passageiros a bordo da embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (19), o peso de passageiros a bordo da embarcação é igual a 0,56 toneladas.

3.5.9. Peso de Água Potável

O peso de água potável necessário para suprir o consumo básico dos passageiros a bordo da embarcação, foi baseado segundo as recomendações propostas pelo Ministério da Saúde. Este órgão afirma que o ser humano deve consumir no mínimo 2 litros de água potável por dia. Então, o peso de água potável deve ser igual ou maior ao obtido utilizando a seguinte formulação.

$$W_A = 0,002 \times N_P \times N_D \quad (20)$$

Onde:

- N_D é o número de dias que os passageiros ficarão a bordo da embarcação;
- W_A é o peso da água potável necessária na embarcação, em [t].

Foi considerado que a embarcação irá navegar somente por um dia corrido, em acordo com os requisitos de projeto impostos pelo armador. Portanto, utilizando a Equação (20), o peso mínimo de água potável a bordo da embarcação é igual a 0,02 toneladas.

Esta aproximação de peso precisa ser revisada, visto que tal estimativa não leva em consideração um volume de água reserva, caso a embarcação fique à deriva a espera de socorro. Analisando o banco de dados elaborado pelo autor, nota-se que a maioria dos fornecedores considera 3,8 litros de água por pessoa.

Também não foi considerado a parcela de água doce que é utilizada para atividades de higiene básica da pessoa, como lavar as mãos e o rosto por exemplo. Tal parcela de peso também precisa ser reanalisada e considerada numa etapa posterior do projeto.

3.5.10. Peso do Combustível

Para a determinação da quantidade de combustível necessária a bordo da embarcação, é necessário primeiramente definir a sua autonomia de navegação e a taxa de consumo de combustível do motor utilizado no seu sistema de propulsão. A autonomia desta embarcação será de 120 quilômetros, conforme estabelecido pelo armador.

Em relação a taxa de consumo de combustível, o fabricante do primeiro motor selecionado não apresentou tal informação em seu catálogo. Então, para suprir esta carência de informação, foi realizada uma pesquisa de outros motores presentes no mercado, considerando que estes também apresentassem uma potência de 200 [HP]. Nesta pesquisa, encontrou-se um motor com as características citadas anteriormente, o qual apresenta uma taxa de consumo de combustível igual a $62,4 \left[\frac{L}{h} \right]$, operando a 5500 [RPM].

A densidade do diesel marítimo, segundo Farah (2012), é de 876,8 [kg/m³] para o tipo DMA³ e 896,8 [kg/m³] para o tipo DMB⁴. Como não há conhecimento do tipo de diesel que será utilizado no motor final da embarcação, foi considerado nos cálculos da estimativa do peso

³ Diesel DMA: Combustível destilado médio, essencialmente isento de resíduos.

⁴ Diesel DMB: Combustível predominantemente composto de destilados médios podendo conter pequenas quantidades de óleos de processo de refino.

do combustível o diesel tipo DBM, visto que este a maior massa específica entre as duas opções de combustível consideradas. A velocidade máxima da embarcação foi um dos requisitos de projeto determinados pelo armador, estipulada em 30 nós. Então, utilizando a Equação (21), pode-se obter o peso mínimo de combustível a bordo da embarcação.

$$W_C = \frac{5,4 \times 10^{-4} \times \rho_C \times TC_C \times \Delta S}{V_{MÁX}} \quad (21)$$

Onde:

- ρ_C é a densidade do combustível utilizado no motor de propulsão, em [t/m³];
- TC_C é a taxa de consumo de combustível do motor, em [L/h];
- ΔS é a autonomia da embarcação, em [km];
- $V_{MÁX}$ é a velocidade máxima da embarcação, em [nós];
- W_C é o peso do combustível a bordo da embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (21), o peso mínimo de combustível a bordo da embarcação pode ser estimado como 0,12 toneladas.

3.5.11. Peso de Lastro

O lastro tem como principal objetivo ajustar o LCG da embarcação para a posição determinada no projeto. Será considerado como o peso de lastro, nesta etapa do projeto, a diferença do deslocamento carregado recorrente entre a estimativa inicial do deslocamento da embarcação e a estimativa obtida utilizando a metodologia de Grubisic, conforme a Equação (23). Vale ressaltar que para embarcações deste gênero normalmente é utilizado lastro sólido.

$$W_{FL} = \sum W_i \quad (22)$$

$$W_L = |W_{FL} - \Delta| \quad (23)$$

Onde:

- W_i é cada uma das parcelas de peso abordadas nesta seção, em [t];
- W_{FL} é o deslocamento carregado da embarcação, em [t];
- Δ é a estimativa inicial do deslocamento da embarcação, em [t];

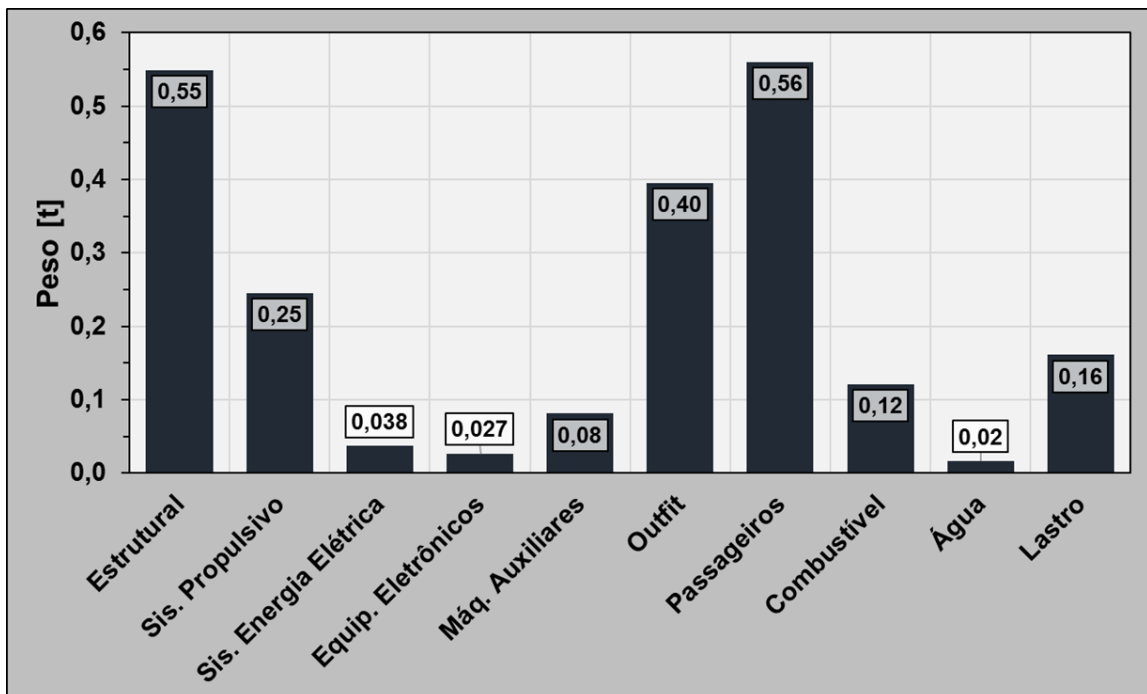
- W_L é o peso de lastro presente na embarcação, em [t].

Portanto, utilizando a Equação (23), o peso de lastro presente na embarcação é igual a 0,16 toneladas.

3.5.12. Resumo das Estimativas de Pesos

As Figuras 6 e 7 apresentam um resumo das parcelas de pesos a bordo da embarcação.

Figura 6 - Resumo das estimativas dos pesos a bordo da embarcação.

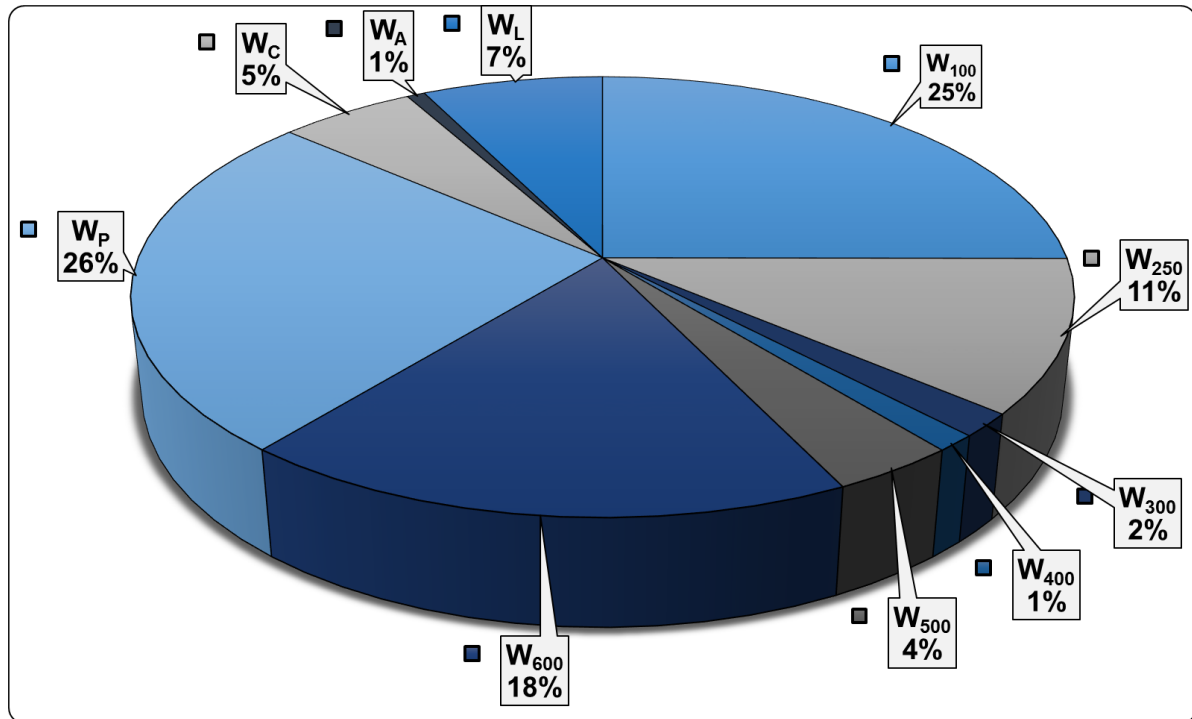


Fonte: Autor (2017).

Analisando a Figura 7, nota-se que o peso de *outfit* está muito elevado, correspondendo a 18% do peso total da embarcação. Uma possível explicação para esta discrepância pode estar relacionada com a formulação proposta por Grubisic, a qual pode não ser adequada para embarcações do porte deste projeto. Uma segunda explicação para este problema pode estar relacionada com os diferentes tipos de embarcações utilizadas para a elaboração desta equação. Como Grubisic elaborou uma única regressão para diferentes tipos de embarcações, os *outfits* presentes nas embarcações empregadas para outros tipos serviços, podem apresentar uma forte

influência na equação final obtida pelo autor. As demais parcelas de pesos estão coerentes com o esperado.

Figura 7 - Representação, em porcentagem, das parcelas de pesos presentes a bordo da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

3.6. Estimativa dos Centros

Para realização de uma primeira análise da estabilidade estática da embarcação, é necessário que se tenha conhecimento de alguns parâmetros geométricos da mesma. A análise mais importante a ser considerada nesta etapa de projeto, é a avaliação estática transversal, pois esta garante que a embarcação não emborcará ao ser colocada na água. Para realizar esta verificação, basta que a condição a seguir seja satisfeita.

$$GM = KB + BM - KG > 0 \quad (24)$$

Onde:

- GM é denominado como altura metacêntrica, em [m];
- KB é denominado como altura do centro de empuxo, em [m];

- BM é denominado como raio metacêntrico, em [m];
- KG é denominado como altura do centro de gravidade, em [m].

Todos os parâmetros apresentados na Equação (24) são centros de massa ou parâmetros geométricos da embarcação. Como nesta fase do projeto ainda não há conhecimento da distribuição de pesos a bordo ou da forma do seu casco, estes parâmetros foram obtidos de maneira aproximada ou através de equações empíricas conforme descrito nas seções a seguir.

3.6.1. Centro de Gravidade

A determinação do centro de gravidade da embarcação, na fase preliminar do projeto, é bastante complicada, devido à ausência de informações sobre a forma do casco, o arranjo interno e a distribuição de pesos a bordo da embarcação. Então, com o intuito de realizar uma primeira estimativa destes parâmetros, KG e LCG, foi realizada uma aproximação bastante simples e conservadora, baseada no trabalho de Simões e Andrade (2010).

A Tabela 5 apresenta como será realizado a distribuição de peso de cada uma das parcelas, mencionadas na seção 4.4, a bordo da embarcação. A aproximação da distribuição de peso transversal será realizada em relação a linha da quilha da embarcação e a distribuição de peso longitudinal será realizada em relação ao seu espelho de popa.

A Tabela 5 apresenta dois parâmetros que ainda não foram mencionados até esta etapa do projeto. Segundo Simões e Andrade (2010), os limites propostos por esses autores, para estes parâmetros, foram baseados em uma análise de embarcações semelhantes. Tais faixas limitantes, são explicitadas a seguir.

$$0,15 \times L_H < L_T < 0,35 \times L_H$$

$$0,20 \times L_H < L_{AL} < 0,60 \times L_H$$

Onde:

- L_T é a posição do centro de gravidade do tanque de combustível, presente na embarcação, medido em relação ao espelho de popa, em [m];
- L_{AL} é a posição do centro de gravidade do peso de lastro, presentes na embarcação, medido em relação ao espelho de popa, em [m].

Tabela 5 - Distribuição longitudinal e transversal das parcelas de pesos a bordo da embarcação.

Pesos	LCG [m]	VCG [m]
Estrutural (W_{100})	$0,45 \times L_H$	$0,75 \times D$
Sis. Propulsivo (W_{250})	-0,15	$T + 0,3$
Sis. Energia Elétrica (W_{300})	$0,5 \times L_H$	$0,25 \times D$
Equip. Eletrônicos (W_{400})	$0,5 \times L_H$	D
Máq. Auxiliares (W_{500})	$0,4 \times L_H$	D
Outfit (W_{600})	$0,4 \times L_H$	D
Água (W_A)	L_T	$0,25 \times D$
Combustível (W_C)	L_T	$0,25 \times D$
Lastro (W_{AL})	L_{AL}	$0,2 \times D$
Passageiros (W_P)	$0,5 \times L_H$	$D + 1$

Fonte: Adaptado de Simões e Andrade (2010).

3.6.1.1. Posição Vertical do Centro de Massa

Este parâmetro é de fundamental importância para a realizar a verificação da estabilidade estática da embarcação. Então, seguindo a aproximação da distribuição de peso proposta na Tabela 5, em relação ao pontal da embarcação, e utilizando a Equação (25), pode se obter uma primeira estimativa do centro de gravidade vertical da embarcação.

$$KG = \frac{\sum W_i \times VCG_i}{\Delta} \quad (25)$$

Onde:

- VCG_i é a posição vertical, em relação a linha da quilha da embarcação, da respectiva parcela de peso considerada, em [m].

Portanto, utilizando a Equação (25), o centro de gravidade vertical (KG) da embarcação foi estimado em 0,98 m, medido em relação a linha da quilha.

3.6.1.2. Posição Longitudinal do Centro de Massa

Este parâmetro apresenta uma grande influência na resistência ao avanço e na estabilidade dinâmica da embarcação. Porém, nesta etapa do projeto, será considerado que o

centro de gravidade longitudinal da embarcação está posicionado a 2,44 metros ($0,4 \times L_H$) medido em relação ao espelho de popa. Esta aproximação está dentro dos limites proposto pelo no trabalho de Savitsky (1964).

O objetivo neste momento do trabalho é realizar uma estimativa preliminar do posicionamento dos tanques de combustível e de água potável e do lastro presentes na embarcação, mantendo, assim, o seu LCG fixo. Após realizar a avaliação da estabilidade dinâmica da embarcação, conforme descrito na seção 4.9, o centro de gravidade longitudinal foi realocado, com o objetivo de diminuir a resistência ao avanço da embarcação, mantendo-a dinamicamente estável.

Então, seguindo a aproximação da distribuição de peso proposta na Tabela 5, obteve-se que a posição do centro de gravidade do lastro e dos tanques de combustível e de água potável estão, respectivamente, a 3,70 metros; 2,05 metros; e 2,14 metros medidos em relação ao espelho de popa.

3.6.2. Centro de Flutuação

Para a determinação do centro de flutuação transversal e longitudinal da embarcação, é necessário que se tenha conhecimento da forma do casco e da distribuição do seu volume deslocado, ao longo do seu comprimento. Porém, nesta etapa do projeto, temos carência destas informações. Então, com o intuito de obter uma primeira estimativa destes parâmetros, KB e LCB, foram utilizadas equações empíricas presentes na literatura.

3.6.2.1. Posição Vertical do Centro de Empuxo

Este parâmetro é de fundamental importância para a verificação da estabilidade estática da embarcação. Para uma primeira estimativa do centro de flutuação transversal da embarcação, foi utilizada a fórmula de Pappel modificada, presente no trabalho de Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012), mostrada na equação a seguir.

$$KB = 0,961 \times T \times \left(1,048 - \frac{C_B}{C_B + C_{WP}} \right) \quad (26)$$

Portanto, utilizando a Equação (26), o centro de flutuação vertical da embarcação está localizado a 0,30 metros em relação a quilha.

3.6.2.2. Posição Longitudinal do Centro de Empuxo

Este parâmetro apresenta uma grande influência no comportamento dinâmico da embarcação. Contudo, para a obtenção do centro de flutuação longitudinal da mesma, é necessário que se conheça a forma do seu casco e a distribuição do volume deslocado ao longo do comprimento. Como nesta etapa de projeto estas informações não estão disponíveis, foi utilizado uma equação empírica proposta por Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012), para a obtenção de uma estimativa inicial deste parâmetro. Tal equação é mostrada a seguir.

$$\frac{LCB}{L_H} = \frac{63,21 - 28,44 \times C_P}{100} \quad (27)$$

Onde:

- LCB é o centro de flutuação longitudinal da embarcação, em relação ao seu espelho de popa, em [m].

Portanto, utilizando a Equação (27), o centro de flutuação longitudinal da embarcação está localizado a 2,79 metros, medido em relação ao espelho de popa.

3.6.3. Centro Longitudinal do Plano de Linha d'Água

Para a determinação do centro longitudinal do plano de linha d'água da embarcação, é necessário que se conheça a geometria deste plano. Porém, nesta etapa do projeto, ainda não há conhecimento da forma do casco da embarcação e, conseqüentemente, não há conhecimento da forma deste plano. Então, com o objetivo de obter uma primeira estimativa deste parâmetro, foi utilizada uma equação empírica proposta por Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012), conforme mostrada a seguir.

$$LCF = LCB \times \frac{(100 + (24,19 - 0,396 \times LCB))}{100} \quad (28)$$

Onde:

- LCF é o centro longitudinal do plano de linha d'água da embarcação da embarcação, medido em relação ao espelho de popa, em [m].

Portanto, utilizando a Equação (28), o centro longitudinal do plano de linha d'água da embarcação da embarcação está localizado a 2,96 metros, em relação ao espelho de popa da mesma.

3.6.4. Raio Metacêntrico Transversal

Este parâmetro é de fundamental importância para a realizar a verificação da estabilidade estática da embarcação. Para a determinação do raio metacêntrico transversal, é necessário que se tenha conhecimento do momento de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação. Porém tal grandeza só pode ser determinada após a obtenção da forma do casco da embarcação.

Então, com intuito de obter uma estimativa deste parâmetro, foi utilizada uma equação proposta por Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012). Primeiramente é necessário determinar o coeficiente de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação, conforme mostrada na equação a seguir.

$$C_{IT} = 1,316 \times C_{WP} - 0,394 \quad (29)$$

Onde:

- C_{IT} é o coeficiente de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação.

Este coeficiente tem como finalidade corrigir o momento de inércia transversal da área do plano de linha d'água, considerando que este seja um retângulo formado pelas dimensões de B_X e L_{WL} . Esta correção objetiva considerar o formato real deste plano, pois sabe-se que sua forma não é um simples retângulo. Então, utilizando a Equação (29), o valor do coeficiente de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação pode ser estimado em 0,60.

Com o C_{IT} determinado, como descrito anteriormente, pode-se obter o momento de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação. Para tal finalidade foi utilizada a seguinte equação.

$$I_T = \frac{C_{IT} \times L_{WL} \times B_X^3}{12} \quad (30)$$

Onde:

- I_T é o momento de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação, em $[m^4]$.

Portanto, utilizando a Equação (30), o valor do momento de inércia transversal da área do plano de linha d'água da embarcação é estimado em $2,81 [m^4]$.

Após a obtenção dos dois parâmetros citados anteriormente, podemos, então, determinar o raio metacêntrico transversal da embarcação, a partir da sua definição, conforme a equação a seguir.

$$BM = \frac{I_T}{\nabla} \quad (31)$$

Portanto, utilizando a Equação (31), o raio metacêntrico pode ser estimado em $1,32$ metros.

3.6.5. Estabilidade Estática

Como mencionado no começo deste capítulo, a verificação da estabilidade estática garante que a embarcação não emborcará ao ser colocada na água. Todas as variáveis necessárias para realizar tal análise, foram obtidas conforme explicado nas seções anteriores. Então, através da Equação (24), verificou-se que a embarcação está estável e apresenta uma altura metacêntrica igual a $0,64$ metros. A avaliação da estabilidade estática da embarcação, também foi utilizado como critério de seleção da embarcação base.

3.6.6. Resumo dos Centros

A Tabela 6 apresenta um resumo dos centros geométricos e de massa obtidos na primeira iteração do projeto da embarcação.

Tabela 6 - Resumo dos principais centros da embarcação.

Centros	Primeira Iteração
KG	0,98 [m]
LCG	2,44 [m]
KB	0,30 [m]
LCB	2,79 [m]
LCF	2,96 [m]
BM	1,32 [m]
GM	0,64 [m]

Fonte: Autor (2017).

3.7. Forma do Casco

O desenho do casco da embarcação foi obtido através da técnica de transformadas paramétricas. Nesta técnica, a embarcação é modelada a partir da secção mestra, do comprimento do corpo médio paralelo e do formato dos corpos de proa e de popa; os quais são definidos por parâmetros que foram ajustados para que a embarcação atenda as dimensões e coeficientes de forma exigidos para o projeto. Por fim, o programa gera, de maneira automática, o plano de linhas do casco da embarcação por meio da interpolação dos corpos de proa, popa e da meia nau.

3.7.1. Funcionamento do Programa

O algoritmo implementado no programa é baseado na técnica de desenho de casco denominada como curvas paramétricas. Nesta metodologia, são definidos 4 conjuntos de curvas, sendo estas a curva das áreas seccionais, a curva da quilha, a curva do plano da linhas d'água e as curvas das balizas.

A curva de áreas seccionais corresponde a área submersa de cada baliza da embarcação ao longo do seu comprimento. Esta curva apresenta cinco propriedades que devem ser satisfeitas, como explícito a seguir.

$$\int_0^{L_{WL}} sac(x).dx = \nabla \quad (32)$$

$$\frac{\int_0^{L_{WL}} x.sac(x).dx}{\nabla} = LCB \quad (33)$$

$$sac(x = 0) = \text{Área Submersa do Espelho de Popa} \quad (34)$$

$$\frac{\int_0^{L_{WL}} sac(x).dx}{L_{WL}.B_X.T} = C_B \quad (35)$$

$$\frac{máx.sac(x)}{B_X.T} = C_M \quad (36)$$

A segunda curva desta metodologia é denominada como curvas da linha d'água. Esta curva representa como ocorre a variação da boca da embarcação ao longo do seu comprimento. Tal curva também apresenta algumas propriedades que devem ser satisfeitas, como explícito a seguir.

$$\int_0^{L_{WL}} \frac{B(x).dx}{2} = \frac{A_{WL}}{2} \quad (37)$$

$$\frac{\int_0^{L_{WL}} \frac{B(x).x.dx}{2}}{\frac{A_{WL}}{2}} = LCF \quad (38)$$

$$2. \int_0^{L_{WL}} \frac{\frac{B(x).dx}{2}}{L_{WL}.B_X} = C_{WP} \quad (39)$$

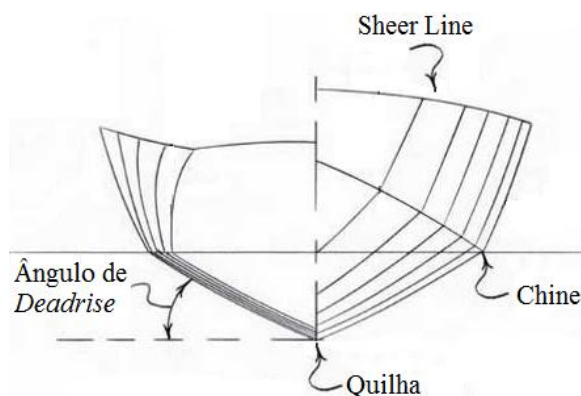
A terceira curva desta metodologia é denominada como curva da quilha. Esta curva representa como ocorre a variação do calado ao longo do seu comprimento. Esta curva não apresenta propriedades diretas que precisam ser satisfeitas. Porém, a sua configuração está diretamente relacionada com as curvas das balizas. É recomendado que a curva seja elaborada em paralelo com as curvas das balizas, pois a área de cada baliza depende do calado da embarcação na sua respectiva posição.

As últimas curvas desta metodologia são denominadas como curvas das balizas. Estas representam o perfil de cada baliza da embarcação em um determinado comprimento da mesma. Para o desenho deste perfil, é necessário escolher alguns pontos chaves do perfil de casco a ser projetado. No caso de uma embarcação de planeio, uma alternativa plausível para o desenho das balizas, é considerar os pontos que formam o ângulo de *deadrise*, o *chine* e o ângulo de *chine* com a *sheer line* em cada seção. As curvas da baliza devem respeitar a uma única condição, como explícito a seguir.

$$A = sac(x) \quad (40)$$

A Figura 8 mostra um plano de balizas típico de uma embarcação de planeio. Através desta figura, nota-se como ocorre a variação da linha do *chine*, da *sheer line* e do ângulo de *deadrise* ao longo do comprimento da embarcação.

Figura 8 - Representação do plano de balizas de uma embarcação de planeio.



Fonte: Adaptado de BoatU.S. (2011). Acessado em 05/06/2017.

3.7.2. Obtenção do Casco através do Programa

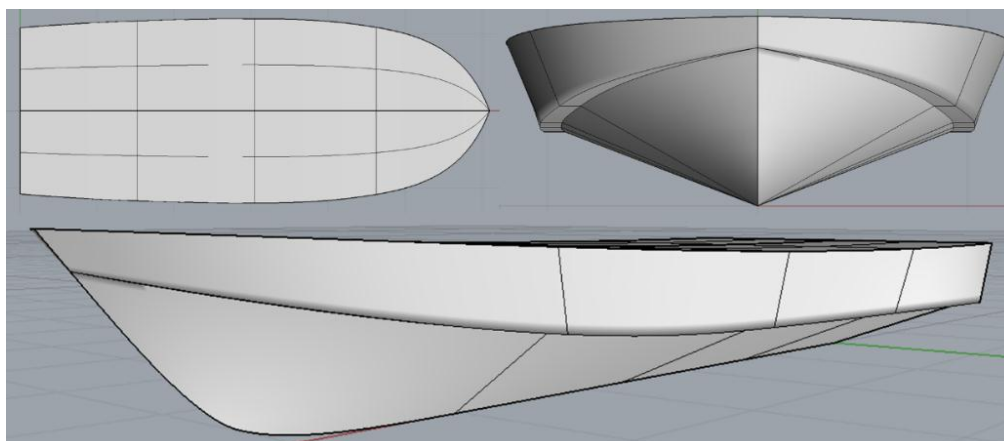
A ferramenta utilizada para a obtenção do desenho do casco da embarcação foi o *Rhinoceros*, por meio do plug-in chamado Orca. Tal plug-in foi desenvolvido com foco na área naval e apresenta diversas ferramentas, as quais são utilizadas para obtenção dos desenhos de cascos de embarcações, para avaliações de estabilidade e de arrasto, entre outras finalidades. A partir das dimensões principais da embarcação e com o emprego do programa, obteve-se o modelo de casco apresentado na Figura 9.

A Tabela 7 apresenta uma breve comparação entre a primeira estimativa das dimensões principais de projeto e as dimensões do modelo obtido através do programa.

O comprimento na linha d'água da embarcação é um parâmetro bastante difícil de ser estimado com precisão nas primeiras etapas do projeto. Esta dimensão apresentou um aumento de 8,24% em relação a primeira estimativa realizada. Devido a esta alteração, outras características da embarcação, as quais possuem uma forte relação com este parâmetro, também foram alteradas.

Outros dois parâmetros que apresentaram uma alteração significativa no modelo, foram os ângulos de *deadrise* na popa e na posição do LCB da embarcação. Estes parâmetros apresentam uma relação direta com a resistência ao avanço da embarcação e com a estabilidade dinâmica da mesma.

Figura 9 - Modelo em CAD do casco da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

Tabela 7 - Comparação entre as dimensões principais.

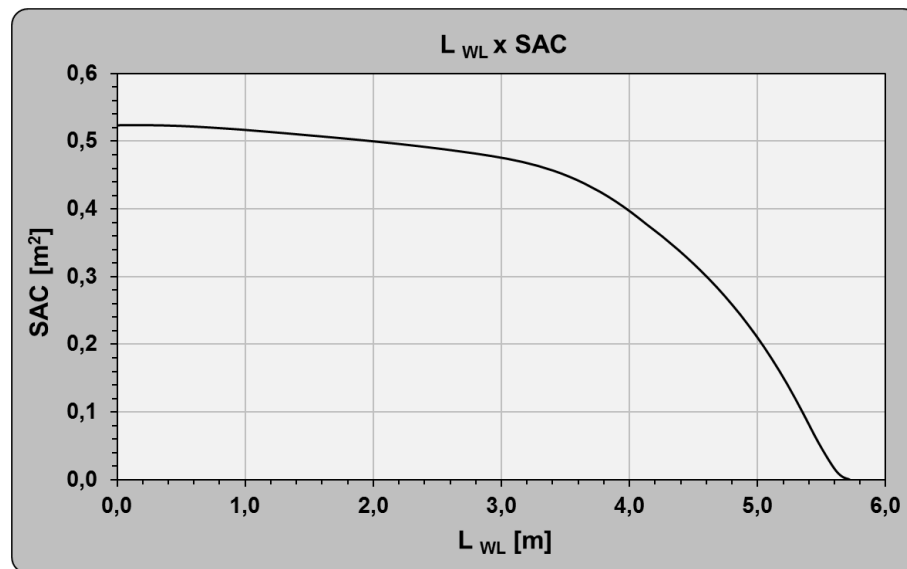
	Primeira Estimativa	Modelo Obtido no Software	Diferença
L_{OA} [m]	6,40	6,40	0,00%
L_{WL} [m]	5,28	5,72	8,24%
L_H [m]	6,10	6,10	0,00%
B [m]	2,39	2,39	0,00%
B_x [m]	2,20	2,12	3,50%
T [m]	0,45	0,45	0,00%
D [m]	0,90	0,90	0,00%
β [graus]	18,00	21,00	16,67%
β_{LCB} [graus]	20,67	23,10	11,76%
Δ [t]	2,190	2,405	9,82%
∇ [m ³]	2,140	2,346	9,63%

Fonte: Autor (2017).

O deslocamento do modelo da embarcação também apresentou uma variação significativa em relação a sua primeira estimativa. Isto ocorreu devido as alterações nas dimensões do L_{WL} e B_x , visto que tais parâmetros estão diretamente relacionados com o deslocamento da embarcação.

A Figura 10 apresenta a curva de área seccional da embarcação modelada, onde esta foi obtida através do programa *Maxsurf*. Para a obtenção desta curva, foi necessário importar o modelo CAD elaborado no programa *Rhinoceros* para o programa *MaxSurf*. Então, através deste último programa, foi possível obter curva SAC da embarcação. Esta curva está orientada no sentido da popa para a proa da embarcação.

Figura 10 - Curva SAC do modelo CAD da embarcação



Fonte: Autor (2017).

3.8. Resistência ao Avanço

Para a determinação do sistema de propulsão da embarcação, é necessário, primeiramente, avaliar a resistência ao avanço de seu casco. Há presente na literatura diversos estudos com esta finalidade. Uma das metodologias mais conceituadas para realizar a estimativa da resistência ao avanço de uma embarcação de planeio, é o método proposto por Savitsky (1964).

No estudo elaborado por Savitsky foram utilizados modelos de embarcações prismáticos. Estes modelos apresentavam um ângulo de *deadrise* constante e uma boca constante para toda a sua área de planeio molhada. O autor também optou por utilizar a boca da embarcação como dimensão principal na sua metodologia, pois esta permanece quase constante quando a embarcação se encontra em regime de planeio, a contrário do comprimento molhado que reduz de valor conforme a embarcação atinge velocidades maiores.

Além dos testes realizados pelo próprio Savitsky, este autor utilizou dados coletados de outros trabalhos semelhantes ao seu, elaborando, assim, uma metodologia que utiliza equações empíricas para a determinação da sustentação hidrodinâmica, resistência ao avanço, área molhada, centro de pressão e os limites de estabilidade de planeio devido ao *porpoising* em função da velocidade, ângulo de trim, ângulo de *deadrise* e do deslocamento da embarcação.

Por ser uma metodologia bastante conceituada, como citado anteriormente, este método está programado em diversas ferramentas voltadas para área naval. Neste trabalho, o casco modelado conforme descrito na seção 4.6, foi importado para o programa *MaxSurf*. Neste programa, realizou-se um estudo para analisar o comportamento da resistência ao avanço e do ângulo de trim dinâmico da embarcação com a variação da posição do seu LCG, mantendo todas as demais propriedades da embarcação constantes. Estas análises são mostradas nas Figuras 12 e 13.

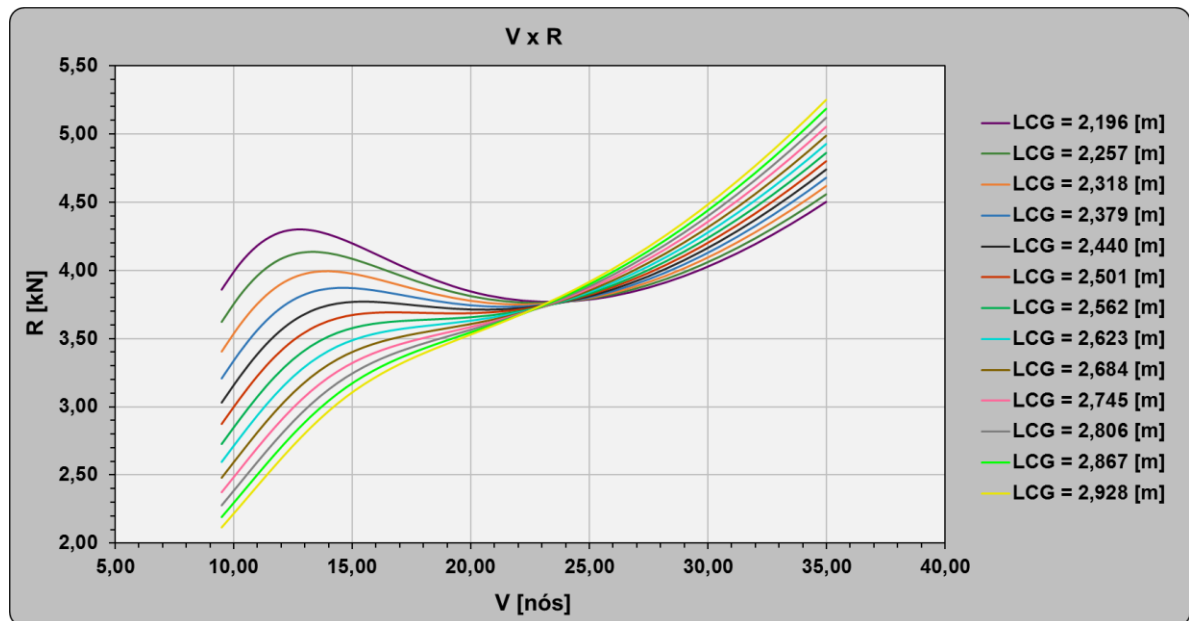
Analisando a Figura 12, nota-se que para velocidades inferiores a aproximadamente 23 nós, quanto mais a ré se encontra o LCG da embarcação, maior é a resistência ao avanço da mesma. Este fato ocorre devido aos elevados ângulos de trim dinâmico que a embarcação apresenta nesta faixa de velocidade, conforme ilustrado na Figura 13. Devido a isto, ocorre uma elevada imersão do casco na região da popa da embarcação, antes do seu regime de planeio, acarretando, assim, em uma maior resistência ao avanço.

Figura 11 - Representação gráfica dos parâmetros de entrada e saída da metodologia de Savitsky.



Fonte: Autor (2017).

Figura 12 - Variação da resistência ao avanço da embarcação em função da sua velocidade e da posição do seu LCG.



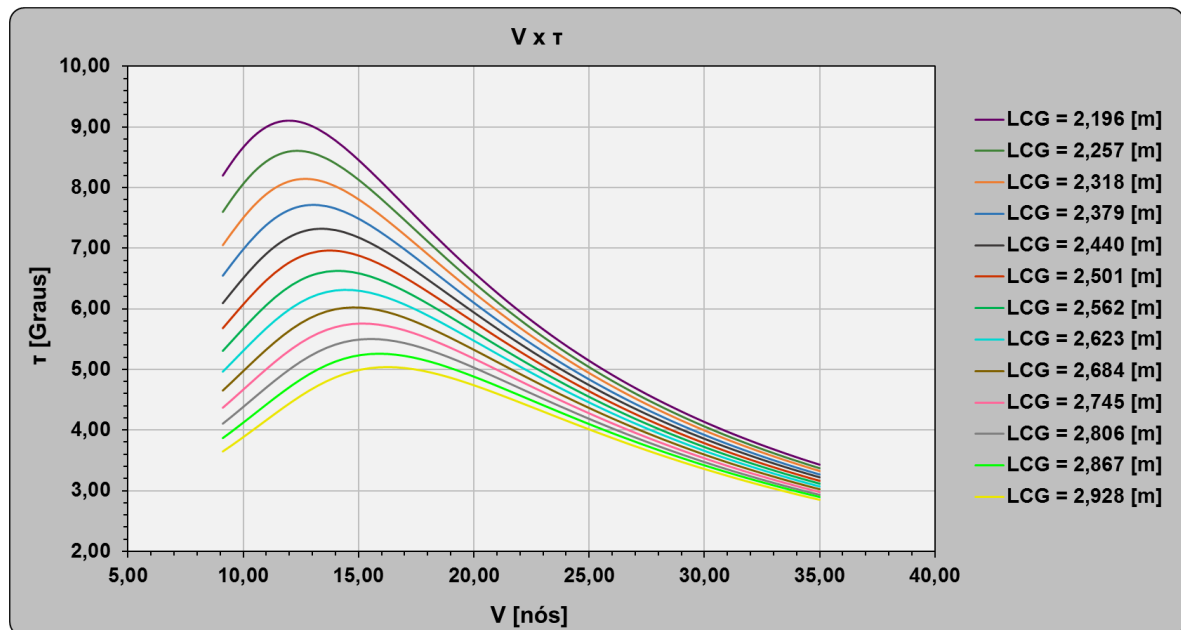
Fonte: Autor (2017).

Para as velocidades acima de 23 nós, a embarcação se encontra no regime de planeio totalmente desenvolvido. Neste caso, quanto mais avante se encontra o LCG da embarcação, maior será a sua resistência ao avanço, devido aos menores ângulos de trim dinâmico que a embarcação apresenta nesta faixa de velocidade. Esta redução no ângulo de trim dinâmico, quando a embarcação se encontra em equilíbrio dinâmico, acarreta em uma maior área molhada da embarcação durante a sua navegação, que, conseqüentemente, aumenta a parcela da resistência friccional que atua sobre o casco.

Vale ressaltar que nas análises realizadas anteriormente, foi somente considerada a resistência ao avanço do casco nu da embarcação. As parcelas da resistência ao avanço referentes aos apêndices foram consideradas na seção 5.4 deste trabalho.

A determinação da posição do LCG e do ângulo de *deadrise* da embarcação, não dependem somente da análise da resistência ao avanço. Outro fator importante a ser considerado na definição destes parâmetros é a estabilidade dinâmica da embarcação.

Figura 13 - Variação do ângulo de trim dinâmico da embarcação em função da sua velocidade e da posição do seu LCG.



Fonte: Autor (2017).

3.9. Estabilidade Dinâmica

Uma das formas mais comuns de instabilidade dinâmica que ocorre em uma embarcação de planeio é o *porpoising*. Este fenômeno consiste no acoplamento de oscilações nos movimentos de *pitch* e *heave* da embarcação em águas calmas. Estas oscilações podem ser divergentes em sua amplitude, acarretando na perda de controle da embarcação, em danos estruturais e ferimentos aos tripulantes a bordo da mesma (SAVITSKY, 1964).

Há presente na literatura alguns estudos referentes a este fenômeno, onde estes afirmam que o *porpoising* é influenciado por alguns parâmetros da embarcação, como, por exemplo, o seu deslocamento, a posição do centro de gravidade, e alguns parâmetros do casco como a boca e o ângulo de *deadrise* (SAVITSKY, 1964).

Savitsky (1964) apresentou em seu trabalho, em forma gráfica, um método para a verificação do limite da estabilidade dinâmica longitudinal da embarcação. Com o intuito de automatizar o procedimento proposto por este autor, Nakanishi, Palhares, Andrade e Tancredi (2012) elaboraram uma regressão polinomial dos gráficos proposto por Savitsky, conforme explícito a seguir.

$$\tau_{Crít.} = -1,7181 + 11,3419 \times \sqrt{\frac{C_{L\beta}}{2}} + 82,3869 \times \frac{C_{L\beta}}{2} + 0,1896 \times \beta_{LCB} - 0,0016 \times \beta_{LCB}^2 - 0,3125 \times \beta_{LCB} \times \sqrt{\frac{C_{L\beta}}{2}} \quad (41)$$

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta_{lb}}{0,5 \times \rho_{H_2O,sp} \times V_{fts}^2 \times B_{X,ft}^2} \quad (42)$$

Onde:

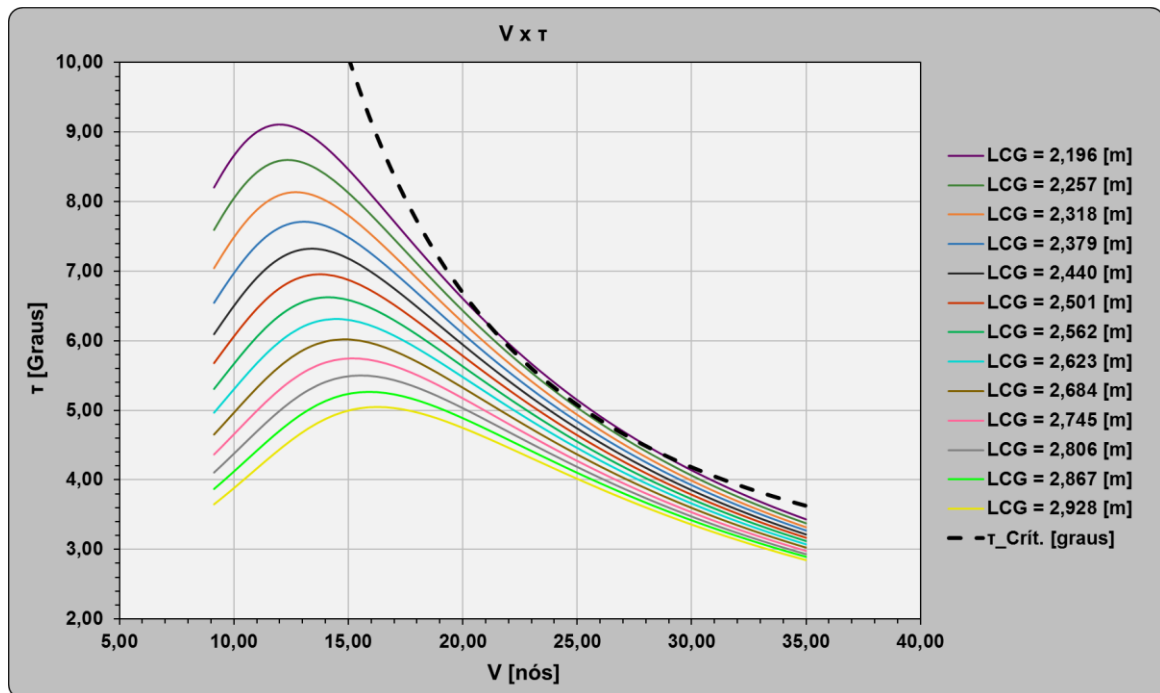
- $\tau_{Crít.}$ é o ângulo de trim crítico antes da ocorrência do *porpoising*, em [graus];
- $C_{L\beta}$ é o coeficiente de sustentação;
- β_{LCB} é o ângulo de *deadrise* na posição do LCB da embarcação, em [graus];
- Δ_{lb} é o deslocamento da embarcação, em [lb];
- V_{fts} é a velocidade da embarcação, em [pés/s];
- $B_{X,ft}$ é a boca da embarcação no plano da linha d'água, em [pés];
- $\rho_{H_2O,sp}$ é a densidade da água, em [slug/pés³].

A Equação (41) foi implementada junto a Figura 13, com o intuito de observar para quais posições do LCG a embarcação apresenta ou não *porpoising*, conforme mostrado na Figura 14.

As curvas do ângulo de trim dinâmico da embarcação que correspondem as posições do LCG de 2,196 metros e 2,257 metros, em relação ao espelho de popa, apresentam ou estão próximas de apresentar *porpoising*. Contudo, as demais situações apresentam uma estabilidade dinâmica estável.

Vale ressaltar que o LCB da embarcação está posicionado a 2,364 metros avante do espelho de popa. Devido a isto, foi considerado que a posição do LCG da embarcação está situada a 2,318 metros em relação a mesma referência. Tal decisão foi adotada com o objetivo de obter um arranjo que apresentasse uma baixa resistência ao avanço, um pequeno trim de popa e uma boa estabilidade dinâmica. O trim de popa presente nesta embarcação, devido a este arranjo, é de 0,265 graus. Tal parâmetro foi obtido através do programa *Rhinoceros*.

Figura 14 - Avaliação do porpoising da embarcação em função da velocidade e da posição do LCG.



Fonte: Autor (2017).

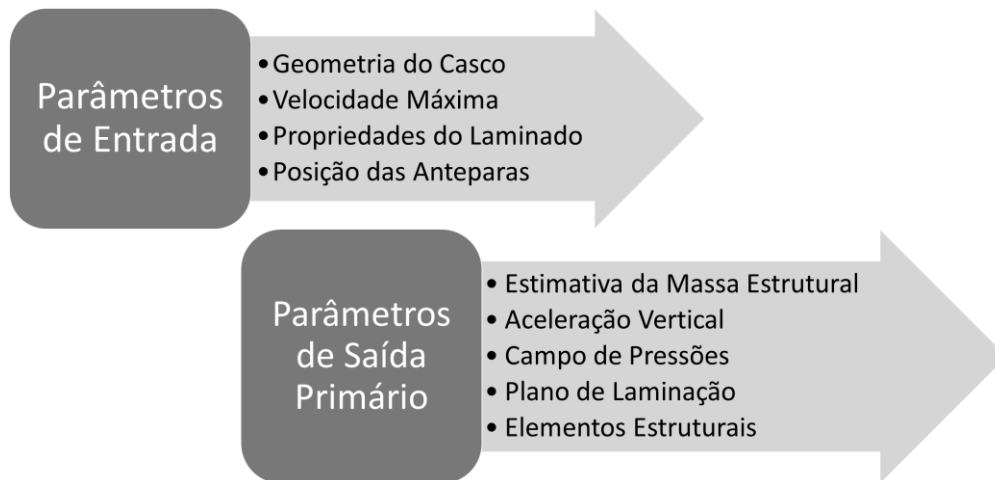
3.10. Topologia Estrutural

O projeto da topologia estrutural desta embarcação foi realizado com base no trabalho proposto por Amaral (2016). Esta autora realizou em seu trabalho o projeto estrutural de uma embarcação de recreio de 12,4 metros de comprimento, sendo esta construída em fibra de vidro. Para a elaboração deste projeto estrutural, a autora programou, em uma planilha eletrônica, os equacionamentos propostos pela norma *Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft da Det Norske Veritas* (DNV, 2012). Tal planilha foi disponibilizada e utilizada neste trabalho.

3.10.1. Utilizando a Planilha Eletrônica de Amaral, 2016

Como mencionado no início deste capítulo, para a concepção do projeto da topologia estrutural desta embarcação, foi utilizada a planilha eletrônica elaborada por Amaral (2016). Nesta planilha foram programados todos os esforços atuante no casco da embarcação, acelerações verticais, entre outros parâmetros, como apresentados ao decorrer desta seção.

Figura 15 - Representação gráfica dos parâmetros de entrada e saída da planilha de Amaral (2016).



Fonte: Autor (2017).

A Figura 16 ilustra a planilha eletrônica utilizada na confecção do projeto estrutural deste trabalho. Esta planilha foi elaborada por Amaral (2016) e está explicada com maiores detalhes em seu trabalho. As células em roxo são os dados de entradas, ou seja, as variáveis que podem ser alteradas. As células em amarelo são as restrições imposta pela norma e restrições de viabilidade geométrica dos arranjos. As células em verde são valores fixos, os quais são determinados pelo projetista. A célula em rosa é o objetivo do projeto.

A posição de cada uma das anteparas foi fixada, conforme explicado na seção 4.10.13 deste trabalho. O número de reforçadores longitudinais e o espaçamento entre cavernas são as variáveis a serem analisadas no projeto estrutural. O tamanho dos últimos painéis antes das anteparas e a quantidade de cavernas entre anteparas foram tomadas como restrições de projeto. Foi estipulado um tamanho mínimo de 0,4 metros para cada painel estrutural. A minimização da massa estrutural da embarcação foi assumida como o objetivo da otimização. O processo de otimização realizado neste trabalho é idêntico ao realizado no trabalho de Amaral (2016).

Para compreender a influência dos parâmetros envolvidos no dimensionamento estrutural de uma embarcação construída em fibra de vidro, foram elaboradas 5 topologias estruturais distintas. Estas topologias apresentam diferentes números de longarinas, diferentes números de cavernas, diferentes posicionamentos das anteparas, entre outras variações. Este primeiro estudo paramétrico foi realizado manualmente, sem o emprego de nenhum código de otimização.

Figura 16 - Representação da planilha estrutural de Amaral (2016).

Dados - otimização				
Número de longarinas (2, 4, 6)		2		
Número de escoas (0, 1)		0		
Painel	Caverna/Antepara - Posição longitudinal [m]	Comprimento do painel [m]		
Grupo 1	1	-	0	0
	2	17ª caverna (popa)	0	0,57
	3	16ª caverna	0,57	0,43
Grupo 2	4	3ª (antepara casa de máquinas)	1,00	0
	5	15ª caverna	1	1,60
	6	14ª caverna	2,60	0
	7	13ª caverna	2,60	0,40
Grupo 3	8	2ª (antepara casa de máquinas)	3,00	0
	9	12ª caverna	3	0
	10	11ª caverna	3	0
	11	10ª caverna	3	0
	12	9ª caverna	3	0
	13	8ª caverna	3	0
	14	7ª caverna	3	1,05
	15	6ª caverna	4,05	0
	16	5ª caverna	4,05	0
	17	4ª caverna	4,05	0
	18	3ª caverna	4,05	0
	19	2ª caverna	4,05	0
	20	1ª caverna	4,05	1,35
21	1ª (proa) antepara de colisão	5,40	0,32	

Cálculo massa [kg]	436,73
Nº de cavernas grupo 1	1
Nº de cavernas grupo 2	1
Nº de cavernas grupo 3	1

Legenda	
	Dado de entrada
	Restrição
	Objetivo
	Valor fixo

Fonte: Amaral (2016, p. 41).

3.10.2. Características do Casco da Embarcação

Na elaboração da topologia estrutural da embarcação, é necessário considerar a variação geométrica do casco ao longo do seu comprimento. Com o intuito de obter os dados referentes a estas variações, foi utilizado o programa *Rhinoceros*, no qual o casco da embarcação foi modelado. As principais características de forma a serem consideradas aqui, são as variações referentes a boca, ao ângulo de *deadrise* e a altura do *chine* da embarcação, onde estas estão apresentadas na Tabela 8. A coluna referente a posição longitudinal da embarcação, utiliza como referência o L_{PP} do casco.

Tabela 8 - Variações de forma da embarcação.

Posição Longitudinal	Ângulo de <i>Deadrise</i>	Altura do Chine à Linha d'Água	Boca
[m]	[graus]	[m]	[m]
0 x L _{pp}	0,00	21,00	2,15
0,1 x L _{pp}	0,57	21,18	2,24
0,2 x L _{pp}	1,14	21,54	2,30
0,3 x L _{pp}	1,71	21,97	2,34
0,4 x L _{pp}	2,29	22,45	2,37
0,5 x L _{pp}	2,86	23,04	2,39
0,6 x L _{pp}	3,43	24,05	2,38
0,7 x L _{pp}	4,00	27,97	2,32
0,8 x L _{pp}	4,57	34,65	2,18
0,9 x L _{pp}	5,14	44,03	1,91
1 x L _{pp}	5,72	38,82	1,23

Fonte: Autor (2017).

3.10.3. Posicionamento dos Elementos Estruturais

Na planilha elaborada por Amaral (2016), o posicionamento das cavernas, anteparas e o número de reforçadores longitudinais foram utilizados como dados de entrada para a elaboração da topologia estrutural da embarcação. As configurações estruturais dos 5 modelos preliminares elaborados pelo autor, estão apresentadas na Tabela 9. Nesta tabela, a posição das anteparas e das cavernas são fornecidas em relação ao espelho de popa da embarcação. Amaral (2016) considerou em seu trabalho um espaçamento mínimo entre reforçadores transversais igual a 0,4 metros. Neste projeto foi utilizada a mesma proposição imposta por Amaral.

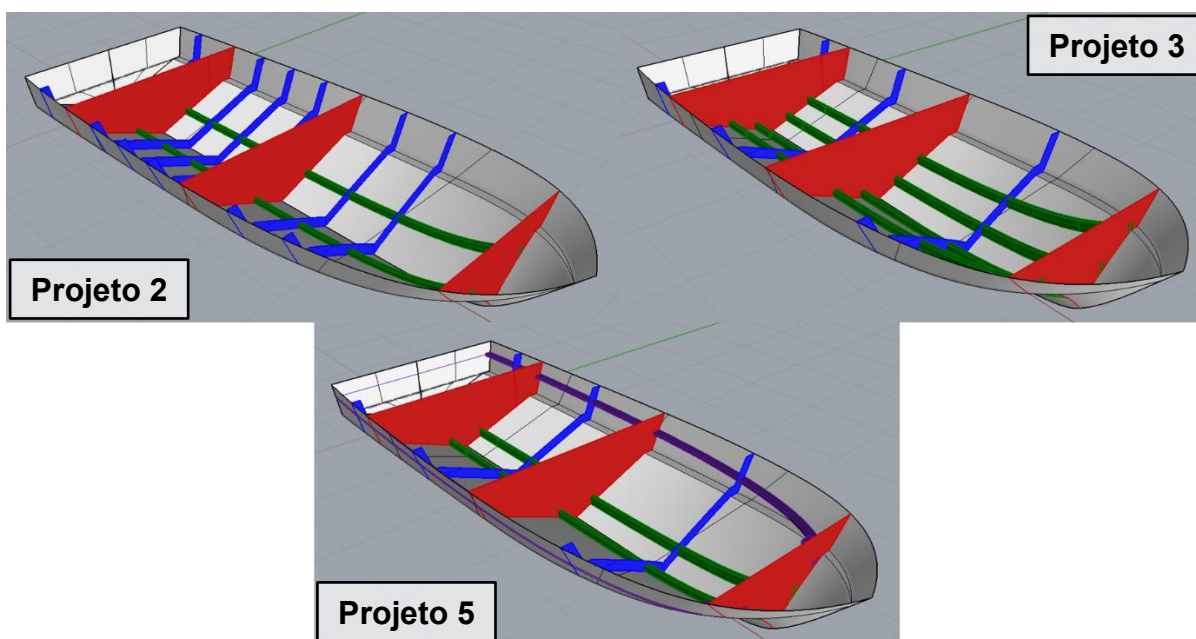
Tabela 9 - Quantidade e posicionamento dos elementos estruturais da embarcação.

	Posição das Anteparas	Posição das Cavernas	Número de Escoas	Número de Longarinas
	[m]	[m]		
Projeto 1	1; 3; 5,4	0,6; 2; 4,2	0	2
Projeto 2	1; 3; 5,4	0,4; 1,5; 2; 2,5; 3,6; 4,2	0	2
Projeto 3	1; 3; 5,4	0,6; 2; 4,2	0	4
Projeto 4	1; 3; 5,4	0,5; 1,5; 2; 2,5; 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5	0	2
Projeto 5	1; 3; 5,4	0,6; 2; 4,2	1	2

Fonte: Autor (2017).

A posição dos reforçadores transversais apresentadas na Tabela 9, são dadas em relação ao espelho de popa da embarcação. As duas primeiras anteparas são responsáveis pela estanqueidade da praça de máquinas da embarcação e a terceira é a antepara de colisão. A Figura 17 mostra uma representação gráfica dos projetos estruturais 2, 3 e 5.

Figura 17 - Representação gráfica dos projetos estruturais 2,3 e 5.



Fonte: Autor (2017).

3.10.4. Propriedades dos Materiais

As considerações empregadas na elaboração da topologia estrutural desta embarcação são as mesmas utilizadas no trabalho de Amaral (2016). Tais considerações utilizam o compósito de fibra de vidro com resina poliéster na construção do casco. O costado e as anteparas possuem núcleo leve de espuma de PVC, o fundo e os reforçadores são feitos de laminação sólida (exceto nos reforçadores na região da praça de máquinas, onde foi utilizado um núcleo de madeira balsa para a fixação dos motores).

Segundo Nasseh (2007), os processos de laminação manual e *spray up* podem alcançar uma fração volumétrica de até 40% e 25% respectivamente. Foi considerado o emprego do processo de laminação manual para a construção do casco, pois este apresenta uma fração volumétrica maior, uma melhor resistência mecânica e é um processo mais econômico, quando comparado ao processo de laminação por *spray up*. Na elaboração dos cálculos referentes ao

projeto estrutural, utilizou-se uma fração volumétrica para o laminado de 35%. Tal hipótese considera que os laminadores apresentam uma boa habilidade do processo de laminação, porém não alcançam o limite máximo estipulado por Nasseh (2007).

A Tabela 10 apresenta as propriedades dos materiais utilizados na construção desta embarcação. Tais dados foram retirados do trabalho de Amaral (2016), onde a autora afirma que estes foram obtidos através da norma DNV (2012), de fornecedores e em algumas referências bibliográficas.

Tabela 10 - Propriedades dos materiais que serão utilizados na construção do casco.

Material	Massa específica [kg/m ³]	Módulo de elasticidade [MPa]	Módulo de cisalhamento [MPa]	Coefficiente de poisson	Tensão de ruptura [MPa]
Fibra de vidro	2540,00	73000,00	30000,00	0,18	2500
Resina de poliéster	1200,00	3000,00	1140,00	0,32	80
Espuma de PVC (cross linked)	80,00	80,00**	23,00	0,32	1,15**
Madeira balsa	155,00	4098,93**	165,96	0,30	13,50

Fonte: Amaral (2016, p. 46).

Notas: **Com relação à compressão.

3.10.5. Posicionamento das Anteparas

A norma exige que o casco da embarcação seja dividido em compartimentos estanques, conforme o seu tipo de serviço. A embarcação deve apresentar no mínimo três anteparas transversais e estanques: a antepara de colisão e as anteparas que delimitam o início e o fim da praça de máquinas. É recomendado que tais anteparas se estendam do fundo do casco até o convés, mantendo, assim, a estanqueidade dos compartimentos.

A posição das anteparas responsáveis pela estanqueidade da praça de máquinas é uma variável de projeto, pois a praça de máquinas compõe uma parcela significativa do peso a bordo da embarcação. Devido a isto, é necessário posiciona-las de tal maneira que o centro de gravidade da embarcação fique de acordo com o estipulado no projeto. Para o atual projeto, foi determinado que estas anteparas estejam alocadas a 1 e 3 metros avante do espelho de popa da embarcação.

Já o posicionamento da antepara de colisão, é definido pela norma conforme a equação a seguir.

$$x_c \text{ (mínimo)} = 0,05 \times L_{WL} \quad (57)$$

$$x_c \text{ (máximo)} = 3 + 0,05 \times L_{WL} \quad (58)$$

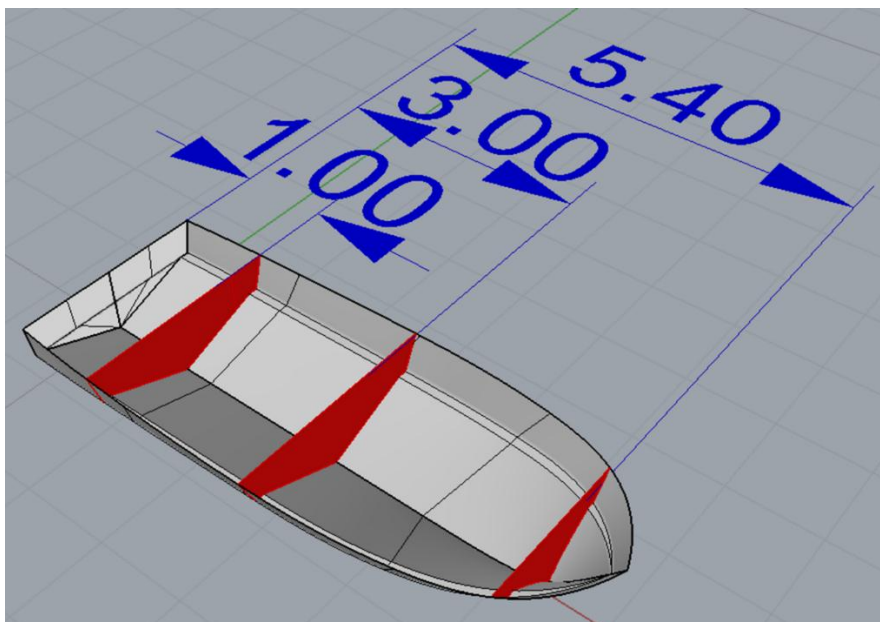
Onde:

- x_c é a distância (mínima ou máxima) entre a antepara de colisão e a perpendicular de ré da embarcação, em [m].

Foi considerado neste projeto que a antepara de colisão está alocada a 5,4 metros avante do espelho de popa da embarcação. Esta posição corresponde a aproximadamente 95% do seu L_{PP} . A Figura 18 mostra o posicionamento das anteparas no interior do casco da embarcação.

Caso seja necessário o emprego de mais anteparas ao longo do comprimento da embarcação, cabe ao projetista estrutural determinar as suas posições. Estas anteparas adicionais podem apresentar algum tipo de abertura, como portas por exemplo. Porém, a norma recomenda utilizar o mínimo de aberturas possíveis nestas anteparas, com o intuito de manter a embarcação o mais seguro possível contra a infiltração de água no interior do casco.

Figura 18 - Arranjo das anteparas no interior do casco da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

3.10.6. Aceleração Vertical

A aceleração vertical da embarcação apresenta uma relação direta com a pressão de *slamming* e, conseqüentemente, com o projeto estrutural. Vale ressaltar que a aceleração vertical e a pressão de *slamming* são duas grandezas diretamente proporcionais, e quanto maior forem tais grandezas, mais reforçado e pesado deverá ser o casco da embarcação.

De acordo com a norma DNV (2012), a aceleração vertical de projeto do centro de gravidade da embarcação deve ser determinada pelo construtor. Porém, tal grandeza deve ser maior ou igual a obtida através da seguinte formulação.

$$a_{cg} = \frac{v}{\sqrt{L_{PP}}} \times \frac{3,2}{L_{PP}^{0,76}} \times f_g \times g \quad (43)$$

Onde:

- L_{PP} é o comprimento entre perpendiculares da embarcação, em [m];
- g é a aceleração da gravidade, sendo esta igual a 9,81 [m/s²];
- f_g é o fator de aceleração, onde este depende do tipo de serviço da embarcação e da restrição de área de serviço, conforme mostrado na Figura 19;
- a_{cg} aceleração vertical do centro de gravidade da embarcação, em [m/s²].

Figura 19 - Fator de aceleração, f_g .

Type and service notation	Service area restriction notation					
	R0	R1	R2	R3	R4	R5-R6
Passenger	1) ¹⁾	1	1	1	1	0.5
Car ferry	1) ¹⁾	1	1	1	1	0.5
Cargo	4	3	2	1	1	0.5
Patrol	7	5	3	1	1	0.5
Yacht	1	1	1	1	1	0.5

1) Service area restriction **R0** is not available for class notations **Passenger** and **Car Ferry**.

Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.1, seq.2, p.12).

Contudo, vale ressaltar que a norma também afirma que a aceleração vertical da embarcação deve ser de no mínimo 1g para as embarcações referentes as categorias R0 à R4 e de no mínimo 0,5g para as categorias R5 e R6. Caso o resultado obtido através da Equação (43) seja menor que a condição imposta anteriormente, este valor mínimo deve ser utilizado.

As classificações referentes as categorias R0 à R6 são definidas pela própria norma, conforme a restrição de serviço de cada tipo de embarcação. Tais definições estão presentes na Figura 20.

Figura 20 - Restrições de serviço de cada tipo de embarcação.

<i>Condition</i>	<i>Notation</i>	<i>Winter</i>	<i>Summer</i>	<i>Tropical</i>
Ocean	None	1)	1)	1)
Ocean	R0	300	1)	1)
Ocean	R1	100	300	300
Offshore	R2	50	100	250
Coastal	R3	20	50	100
Inshore	R4	5	10	20
Inland	R5	1	2	5
Sheltered	R6	0.2	0.3	0.5

Fonte: DNV (2012; Pt.1, cap.1, seq.2, p.12).

A restrição de serviço de cada tipo de embarcação está relacionada com a máxima distância em que a mesma se encontra em relação ao um porto ou de uma região de ancoragem segura e, também, está relacionada com as diferentes estações climáticas que ocorrem durante o ano. Esta última dependência mencionada, contabiliza as diferentes condições de mar que ocorrem devido as alterações climáticas. Como esta norma da DNV foi criada na Europa, neste continente as condições de mar variam muito devido as baixas temperaturas, o que não ocorre no Brasil por exemplo.

A embarcação deste trabalho se enquadra na notação R4, referente ao *Inshore*. Foi determinado como requisito de projeto pelo armador, que a navegação deve ser realizada em águas costeiras e que apresente no máximo uma distância de refúgio de 20 milhas náuticas.

Em relação ao tipo de serviço, foi considerado que a embarcação deste trabalho se enquadra na classificação *passenger*. A norma afirma que esta definição é aplicável somente para embarcações que transportem 12 pessoas ou mais. Porém, como não há nenhuma outra definição que considera um número inferior de passageiros, sendo que estes não possuem treinamento específico para condições de emergências, optou-se por utilizar esta definição. As demais considerações impostas para esta classificação são idênticas as mencionadas na seção 4.4.1.

Após a determinação de todos os parâmetros mencionados anteriormente, pode-se, então, obter a aceleração vertical do centro de gravidade da embarcação. Utilizando a Equação

(43), tal grandeza apresentou uma magnitude de 25,04 [m/s²]. Este resultado é maior que a condição mínima imposta pela norma, sendo mantido para a realização do projeto estrutural.

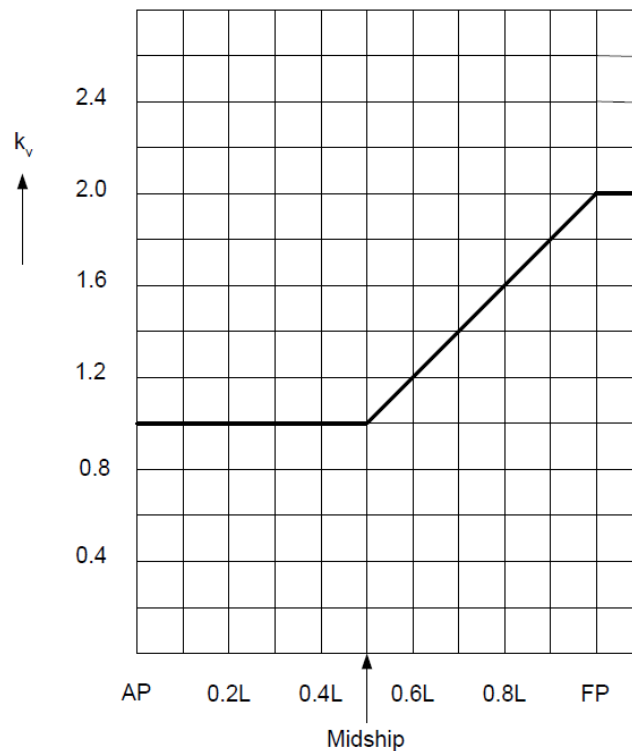
Para a determinação da aceleração vertical ao longo do comprimento da embarcação, a norma propõe a seguinte formulação:

$$a_v = k_v \times a_{CG} \quad (44)$$

Onde:

- k_v é o fator de distribuição longitudinal, definido conforme a Figura 21;
- a_v é a aceleração vertical nas diferentes posições da embarcação, em [m/s²].

Figura 21 - Fator de distribuição longitudinal.



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.1, seq.2, p.13).

A Figura 22 foi obtida utilizando a Equação (44), a qual descreve a variação da aceleração vertical da embarcação ao longo do seu comprimento.

Analisando a Figura 22, nota-se que a aceleração vertical começa a aumentar a partir da posição de aproximadamente 2,8 metros medidos a partir do espelho de popa. Isto ocorre, pois, a partir desta região, a embarcação começa a emergir, devido ao regime de planeio. As

oscilações que surgem devido aos movimentos de emersão e imersão da proa da embarcação acarretam no aumento da aceleração vertical nesta região.

A norma também apresenta uma relação entre três grandezas muito importantes para a determinação da topologia estrutural da embarcação, sendo estas a aceleração vertical do centro de gravidade, a velocidade máxima da embarcação; além da altura de onda significativa do mar no qual a mesma irá navegar. Tal relação é apresentada de duas maneiras distintas, conforme mostrado nas equações a seguir.

- Para $\frac{V}{\sqrt{L_{PP}}} \geq 3$

$$a_{CG} = \frac{k_h \times g}{1650} \times \left(\frac{H_S}{B_{WL2}} + 0,084 \right) \times (50 - \beta_{CG}) \times \left(\frac{V}{\sqrt{L_{PP}}} \right)^2 \times \frac{L_{PP} \times B_{WL2}^2}{\Delta} \quad (45)$$

- Para $\frac{V}{\sqrt{L_{PP}}} < 3$

$$a_{CG} = 6 \times \frac{H_S}{L_{PP}} \times \left(0,85 + 0,35 \times \frac{V}{\sqrt{L_{PP}}} \right) \times g \quad (46)$$

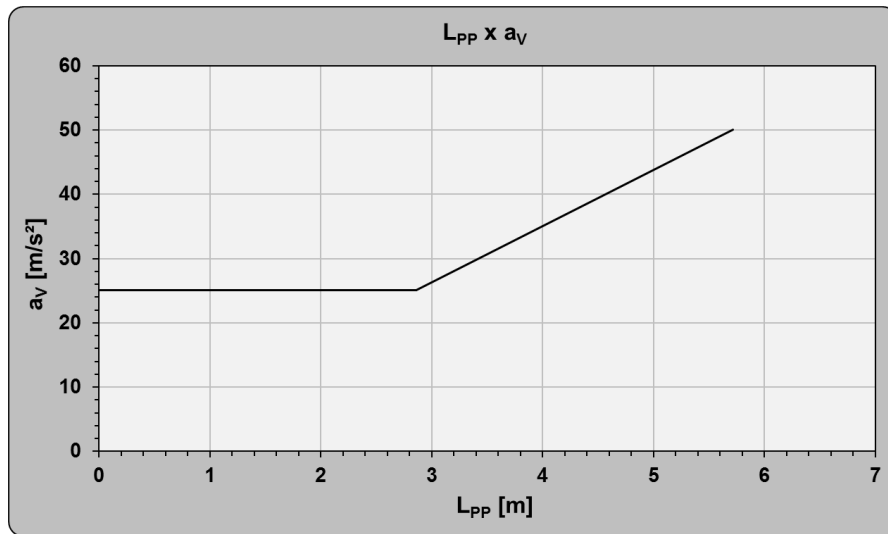
Onde:

- k_h é o fator do tipo de casco, definido conforme a Figura 23;
- H_S é a altura significativa de onda, em [m];
- B_{WL2} é a boca na linha d'água da embarcação em $L/2$, em [m].

A velocidade máxima da embarcação e a sua aceleração vertical, já foram determinados no decorrer deste trabalho. Então, conhecidos estes parâmetros, é possível obter a altura significativa de onda, através das Equações (45) e (46), na qual a embarcação pode navegar em cada uma das velocidades consideradas; cujos resultados são mostrados na Figura 24.

Nota-se através da Figura 24 que a altura de onda e a velocidade da embarcação são grandezas inversamente proporcionais. Isto ocorre pois, para velocidades mais baixas, a embarcação encontra-se no regime deslocante de navegação. Nesta condição uma grande parcela do casco está imersa na água, permitindo, assim, que a navegação seja realizada em uma condição de mar que apresente ondas mais elevadas.

Figura 22 - Variação da aceleração vertical da embarcação ao longo do seu comprimento.



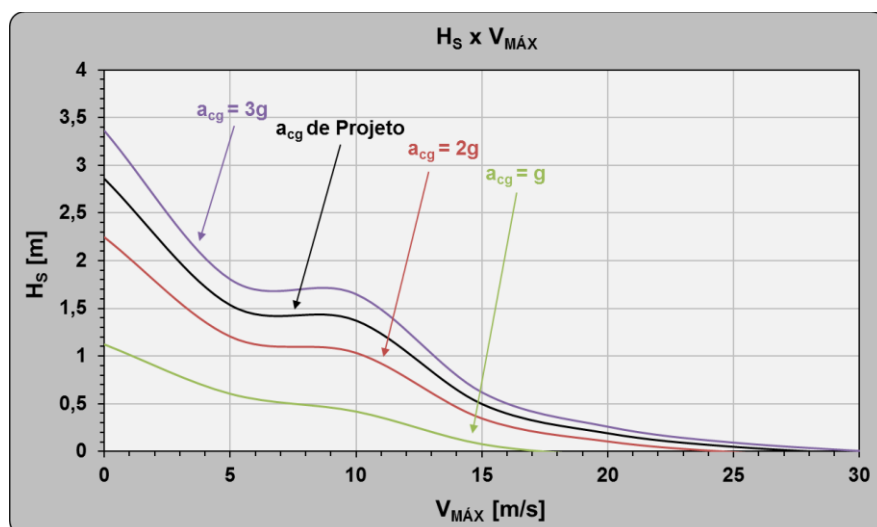
Fonte: Autor (2017).

Figura 23 - Fator do tipo de casco.

Hull type	k_h
Monohull, Catamaran	1.0
Wave Piercer	0.9
SES, ACV	0.8
Foil assisted hull (see 206)	0.7
SWATH (see 206)	0.7

Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.1, seq.2, p.12).

Figura 24 - Variação da altura significativa de onda em relação a velocidade e a aceleração vertical da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

Para as velocidades mais elevadas, a embarcação encontra-se no regime de planeio de navegação. Neste caso, a condição de mar é um dos fatores primordiais para que a embarcação desenvolva o planeio e navegue com uma boa estabilidade dinâmica. Para alcançar este objetivo, é necessário que o mar esteja calmo e sem ondas. Devido aos fatos relatados aqui, pode-se compreender o porquê a altura de onda permitida decresce com o aumento da velocidade da embarcação, conforme mostrado na Figura 24.

Por último, nota-se que a altura significativa de onda é diretamente proporcional a aceleração vertical da embarcação. Vale ressaltar que a aceleração vertical é fornecida por norma, pois tais acelerações não podem vir a prejudicar a saúde dos tripulantes a bordo da embarcação.

3.10.7. Pressão de *Slamming*

A pressão de *slamming* é resultado do impacto entre o casco da embarcação e o fluido, que ocorre quando a embarcação está se movimentando. Este fenômeno acarreta em constantes emersões das regiões da proa ou da popa da embarcação e, conseqüentemente, quando tais regiões vêm a imergir, surge um forte impacto entre o casco da embarcação e a água. Este impacto causa um carregamento sobre o casco da embarcação, sendo tal esforço denominado como pressão de *slamming*.

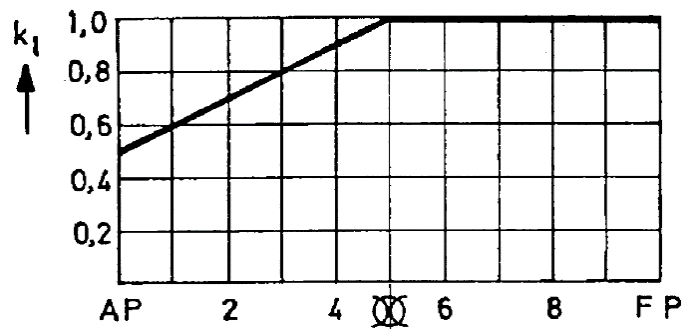
Para a realização do projeto estrutural da embarcação, é de fundamental importância que se conheça a magnitude da pressão de *slamming*, visto que esta é um dos principais carregamentos que atuam sobre a estrutura do casco. Para determinar a magnitude desta grandeza, a norma DNV (2012) apresenta a seguinte formulação:

$$P_{sl} = 1,3 \times k_l \times \left(\frac{\Delta}{n \times A} \right)^{0,3} \times T_O^{0,7} \times \left(\frac{50 - \beta_X}{50 - \beta_{CG}} \right) \times a_{CG} \quad (47)$$

Onde:

- k_l é o fator de distribuição longitudinal da pressão, definido pela Figura 25;
- n é o número de cascos;
- A é a área de carregamento de projeto para o elemento considerado, em [m²];
- T_O é o calado a meia nau da embarcação em condições normais de operação e considerando na sua velocidade de serviço, em [m];
- P_{sl} é a pressão de *slamming* no fundo do casco da embarcação, em [kN/m²].

Figura 25 - Fator de distribuição longitudinal da pressão de slamming.



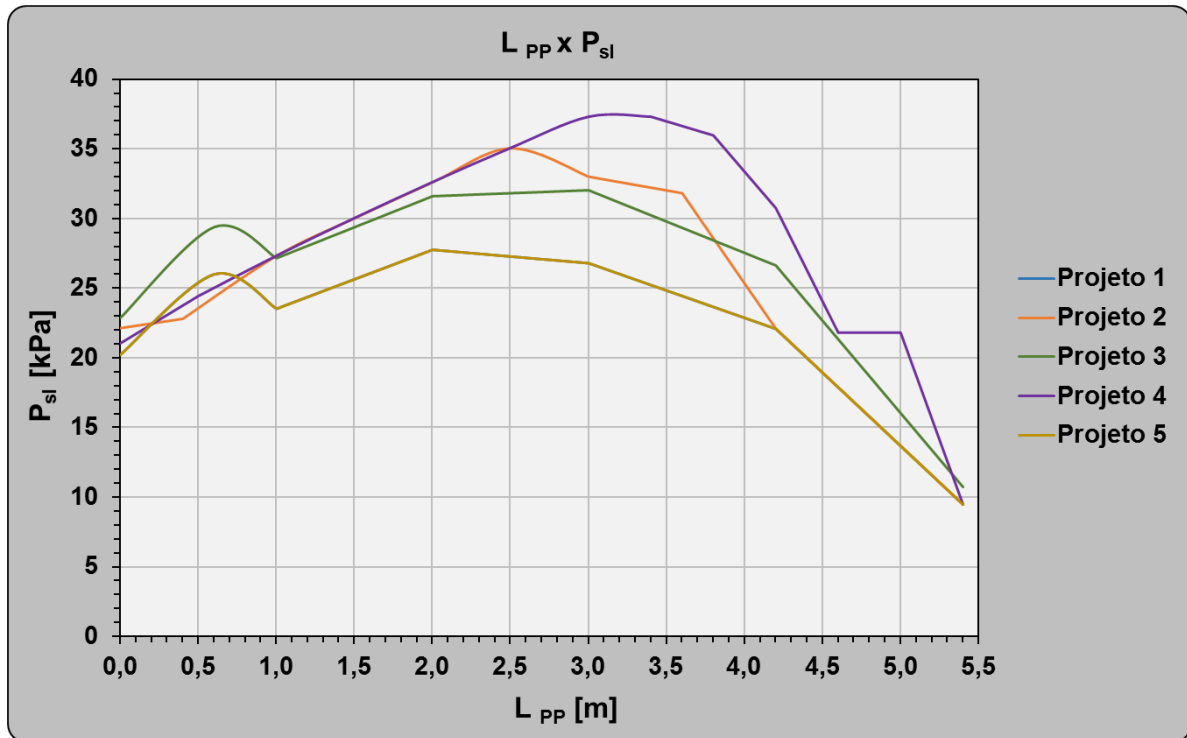
Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.1, seq.2, p.15).

A pressão de *slamming* que atua no fundo do casco da embarcação é diferente para cada um dos cinco projetos estruturais elaborados pelo autor. Esta grandeza está relacionada com a área do painel considerado em cada uma das topologias estruturais. Os tamanhos destes painéis dependem das distâncias entre cavernas presentes na estrutura do casco da embarcação, onde tais espaçamentos foram utilizados como variáveis de entrada na planilha de Amaral (2016).

Analisando a Figura 26, nota-se que o projeto estrutural 4 apresentou a maior pressão de *slamming*, sendo esta de aproximadamente 38 [kPa]. Este projeto é o que apresentou o maior número de reforçadores transversais, conforme demonstrado na Tabela 9. Devido a isto, as dimensões dos seus painéis são menores, acarretando, assim, em uma maior pressão de *slamming*.

As topologias estruturais 1, 3 e 5 apresentaram a mesma quantidade de reforçadores transversais, os quais estão igualmente alocados em cada um destes arranjos. Estes projetos se diferenciam pela quantidade de reforçadores longitudinais, conforme apresentado na Tabela 9. Entre os três arranjos mencionados, o projeto estrutural 3 é o que apresentou a maior pressão de *slamming*, sendo esta de aproximadamente 32 [kPa]. Este arranjo foi o que exibiu o maior número de reforçadores longitudinais, com um total de 4 longarinas. Devido a isto, as dimensões dos painéis que compõe a sua estrutura são menores, devido aos menores espaçamentos transversais entre os reforçadores, acarretando, assim, em maiores pressões de *slamming*.

Figura 26 - Variação da pressão de slamming no fundo do casco da embarcação, ao longo do seu comprimento.



Fonte: Autor (2017).

Os projetos estruturais 1 e 5 apresentam arranjos bastante similares, diferenciando-se somente na quantidade de escoas. O projeto 1 não apresenta escoas na sua constituição, enquanto, o projeto 5, apresenta uma escoa na região do convés. A presença desta escoa no arranjo estrutural não teve nenhuma influência sobre o comportamento da pressão de *slamming* que atua no fundo do casco da embarcação. Isto pode ser comprovado através da Figura 26, onde as curvas de pressão referentes a estes dois arranjos são coincidentes.

3.10.8. Pressão Hidrostática

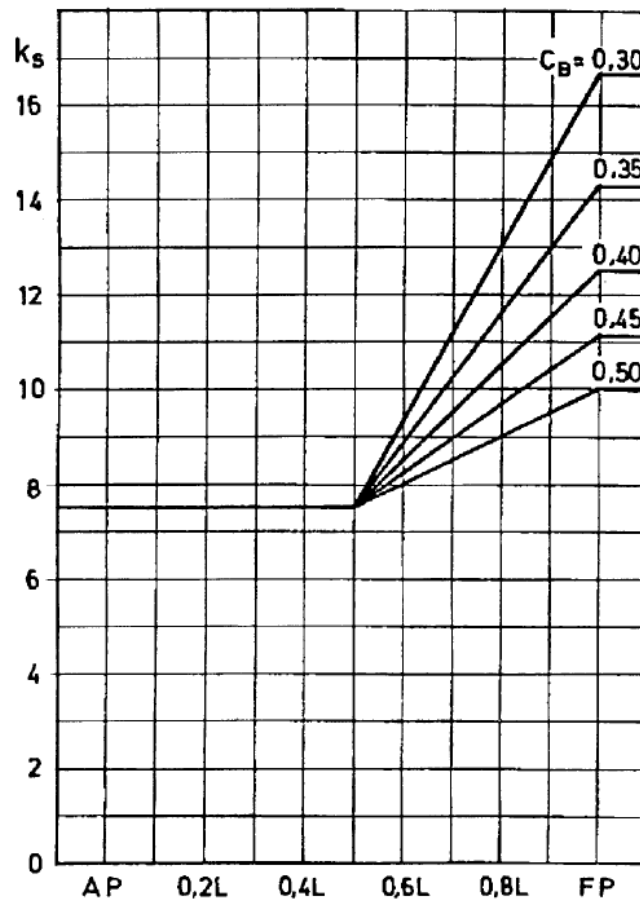
A norma apresenta duas formulações distintas para a determinação da pressão hidrostática que atua sobre o casco da embarcação. A primeira formulação considera o ponto de aplicação da pressão abaixo da linha d'água de projeto, sendo esta causada pela imersão do casco no fluido. Esta grandeza pode ser determinada conforme a seguinte equação:

$$p_{HB} = 10 \times h_0 + \left(k_S - 1,5 \times \frac{h_0}{T} \right) \times C_W \quad (48)$$

Onde:

- h_0 é a distância vertical da linha d'água no calado de projeto ao ponto de atuação da pressão, em [m];
- k_s é o fator de distribuição longitudinal da pressão hidrostática, definido conforme a Figura 27;
- C_w é o coeficiente de onda, definido conforme a Figura 28;
- p_{HB} é a pressão hidrostática, com o seu ponto de aplicação abaixo da linha d'água de projeto, em [kPa].

Figura 27 - Fator de distribuição longitudinal da pressão hidrostática em função do comprimento para diferentes valores de C_B .



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.1, seq.2, p.19).

A segunda formulação considera o ponto de aplicação da pressão acima da linha d'água de projeto, sendo que neste caso, a pressão é esta causada pelo peso da superestrutura e pelos carregamentos de alguns componentes do peso morto que estão presentes sobre o convés da embarcação. Vale ressaltar que a embarcação deste projeto não apresenta superestrutura,

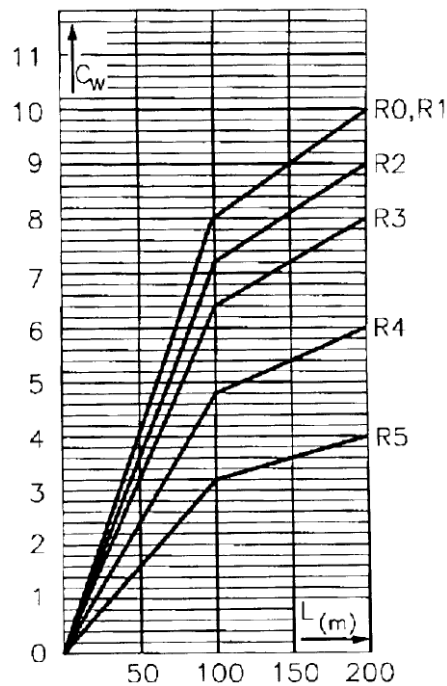
então, ao utilizar a Equação (49), o resultado obtido para o cálculo da pressão hidrostática atuando acima da linha d'água de projeto está um pouco superestimado. Contudo, a magnitude desta grandeza pode ser determinada conforme a equação a seguir.

$$p_{HA} = a \times k_S \times (C_W - 0,67 \times h_0) \quad (49)$$

Onde:

- $a = 1$, para o costado e a borda livre sobre o deck da embarcação
 $= 0,8$, para a superfície do convés;
- p_{HA} é a pressão hidrostática, com o seu ponto de aplicação acima da linha d'água de projeto, em [kPa].

Figura 28 - Coeficiente de onda.



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.1, seq.2, p.11).

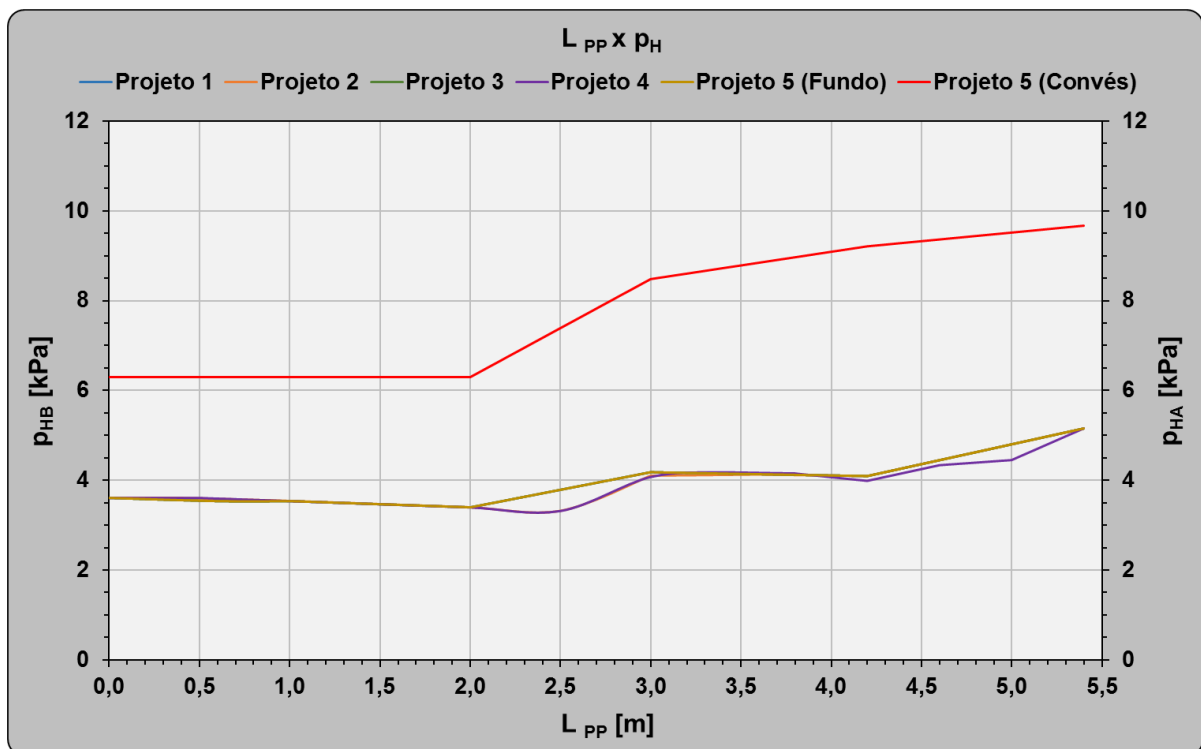
A Figura 29 apresenta a variação da pressão hidrostática ao longo do comprimento da embarcação. Vale ressaltar que o eixo das ordenadas para a curva em vermelho, referente ao Projeto 5 (Convés), é o da direita, o qual representa a p_{HA} . Para as demais curvas o eixo das ordenadas é representado pelo eixo da esquerda, o qual representa a p_{HB} .

Como já mencionando anteriormente, os projetos estruturais 1, 3 e 5 são bastante semelhantes. Nota-se através da Figura 29 que as curvas das pressões hidrostáticas referentes a estes três projetos são coincidentes. Então, conclui-se que o número de longarinas e escoas presentes em suas topologias não influenciam na determinação da pressão hidrostática, visto que a única diferença entre estes três arranjos são os reforçadores longitudinais.

Outro fato interessante que pode ser observado, é a baixa diferença na pressão hidrostática entre os cinco arranjos considerados. Isto ocorre, pois, este parâmetro está diretamente relacionado com as características geométricas da embarcação e não com o seu arranjo estrutural. O principal parâmetro que influencia nesta grandeza é o calado da embarcação.

A maior magnitude da pressão hidrostática que atua abaixo da linha d'água da embarcação, apresentada na Figura 29, foi de aproximadamente 5 [kPa], a qual corresponde a somente 13% da maior pressão de *slamming* obtida na Figura 26.

Figura 29 - Variação da pressão hidrostática, ao longo do comprimento da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

O único arranjo que apresentou pressão hidrostática acima da linha d'água foi o projeto 5. Esta topologia foi a única que apresentou uma escoa em sua constituição. Nota-se que a maior

pressão hidrostática que atua no convés deste arranjo é de aproximadamente 10 [kPa], sendo esta duas vezes maior do que a pressão hidrostática máxima que atua no fundo do casco. Isto ocorre, pois, nesta região, não há reforçadores transversais para compartilhar os esforços, acarretando, assim, em uma maior solicitação destes reforçadores longitudinais.

De acordo com a norma, o ponto de aplicação da pressão deve ser considerado no ponto médio dos reforçadores transversais para chapas e no ponto médio do vão livre para longarinas.

3.10.9. Painéis Sanduíches

O painel sanduíche é um material composto formado por um núcleo e duas placas delgadas em ambas as faces deste núcleo. A principal função das faces é promover resistência a tração e compressão, quando a estrutura está submetida a algum carregamento. O núcleo tem como objetivo elevar a rigidez à flexão da estrutura, sem proporcionar o aumento excessivo do seu peso.

Em uma embarcação construída em compósito de fibra de vidro, as faces do painel sanduíche são constituídas de um laminado composto por manta, tecido e resina. Pode ocorrer deste laminado apresentar diferentes tipos de manta e tecido, com a finalidade de suprir alguma demanda específica do armador. Em relação a resina utilizada na impregnação do laminado, há disponível no mercado alguns tipos comerciais de resina. Cada tipo de resina apresenta um conjunto de características específicas, então, cabe ao construtor selecionar a melhor resina para atender às necessidades do seu cliente.

Em relação ao núcleo do painel sanduíche, na prática, são utilizados diversos tipos de materiais, na construção da estrutura de uma única embarcação. Isto ocorre devido ao fato de que há uma vasta gama de materiais com este propósito, e cada um destes materiais apresenta um conjunto de características específicas. Cabe ao construtor selecionar o melhor material para o núcleo em cada região da embarcação, conforme a rigidez necessária para suportar a distribuição do carregamento que atua sobre o seu casco. Alguns exemplos de materiais utilizados como núcleos são as espumas de PVC, espuma de poliuretano, espuma de poliestireno, compensado naval, entre outros.

A norma apresenta uma formulação para a determinação da espessura do laminado das faces dos painéis sanduíches, conforme descrito pela Equação (50).

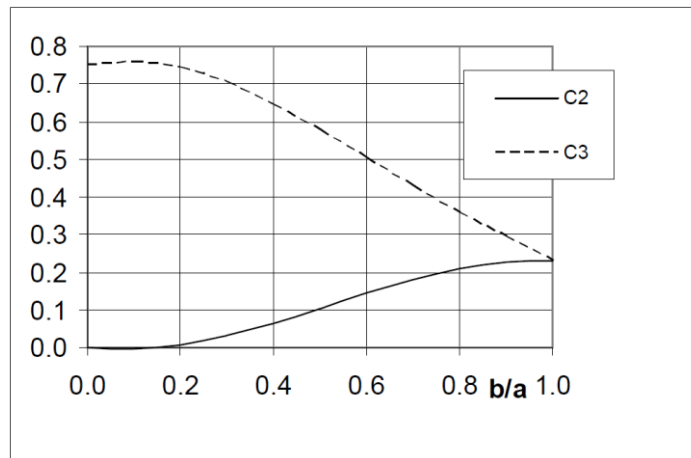
$$t = \frac{160 \times p \times b^2 \times C_N \times C_1}{\sigma_n \times d} \quad (50)$$

Onde:

- $C_N = C_2 + \nu \times C_3$ para tensões paralelas ao maior lado da unidade do laminado
 $C_N = C_3 + \nu \times C_2$ para tensões paralelas ao menor lado da unidade do laminado;
- C_1 , C_2 e C_3 são constantes que dependem da relação entre o menor e o maior lado do painel. Estas podem ser obtidas através das Figuras 30 e 31;
- ν é o coeficiente de Poisson do compósito do laminado;
- p é a maior pressão que atua sobre o painel, em [kN/m²];
- b é o menor lado do painel, em [m];
- a é o maior lado do painel, em [m];
- d é a distância entre as linhas centrais dos laminados opostos de um painel sanduíche, em [mm];
- σ_n é a tensão máxima de projeto, em [MPa]. Esta tensão deve considerar as especificações apresentadas na Figura 32;
- σ_{nu} é a tensão de ruptura do laminado, em [MPa];
- t é a espessura do laminado, em [mm].

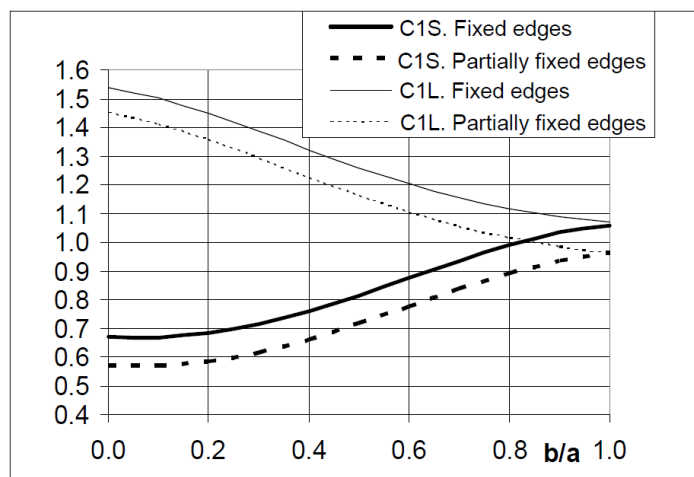
A norma apresenta uma gramatura mínima de 2400 [g/m²] para a laminação dos painéis sanduíches. Então, para alcançar este valor mínimo proposto pela norma, foi utilizado a consideração proposta por Amaral (2016), onde a autora utilizou uma espessura mínima de 3 milímetros para o laminado.

Figura 30 - Constantes C2 e C3 utilizadas para a determinação da espessura do laminado dos painéis sanduíches.



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.4, seq.5, p.28).

Figura 31 - Constante C1 utilizada para a determinação da espessura do laminado dos painéis sanduíches.



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.4, seq.5, p.28).

Figura 32 - Tensão de flexão máxima de projeto.

<i>Structural member</i>	σ_n
Bottom panels exposed to sea pressure	$0.3 \sigma_{nu}$
Bottom panels exposed to slamming loads	$0.3 \sigma_{nu}$
Remaining bottom and inner bottom	$0.3 \sigma_{nu}$
Side structures	$0.3 \sigma_{nu}$
Deck structures	$0.3 \sigma_{nu}$
Bulkhead structures	$0.3 \sigma_{nu}$
Superstructures	$0.3 \sigma_{nu}$
Deckhouses	$0.3 \sigma_{nu}$
All structures exposed to long time static loads	$0.20 \sigma_{nu}$

Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.4, seq.5, p.31).

3.10.10. Espessura do Laminado Sólido

O laminado sólido está presente em algumas partes da embarcação, como, por exemplo, no fundo do casco. A norma apresenta duas formulações para a determinação da espessura deste laminado, conforme descrito nas Equações (51) e (52). Para este parâmetro foi considerado a maior espessura encontrada entre as duas equações.

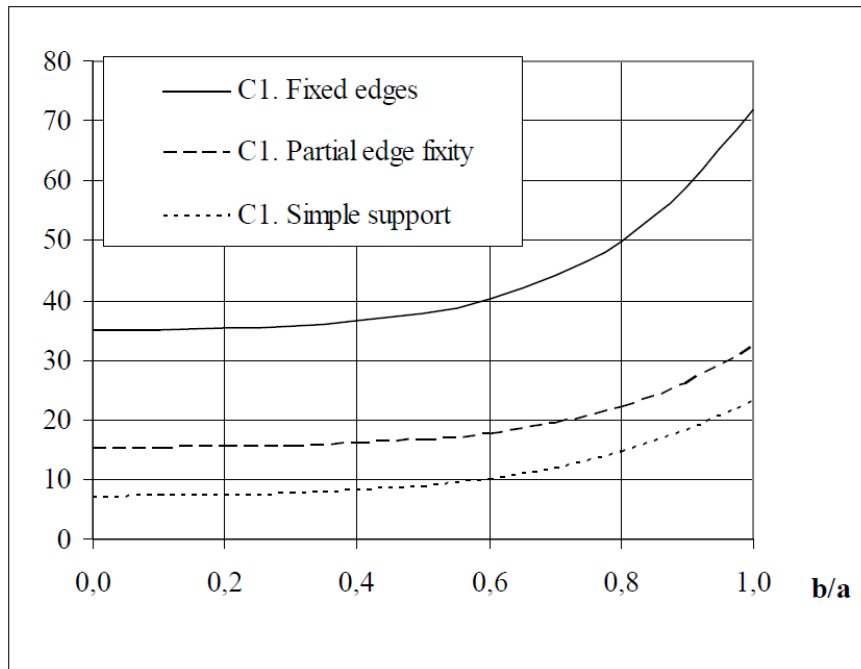
$$t = \left(\frac{1000 \times C_3 \times p \times b^2}{\sigma_n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (51)$$

$$t = \left(\frac{10^9 \times b^4 \times p}{\delta \times E \times C_1} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (52)$$

Onde:

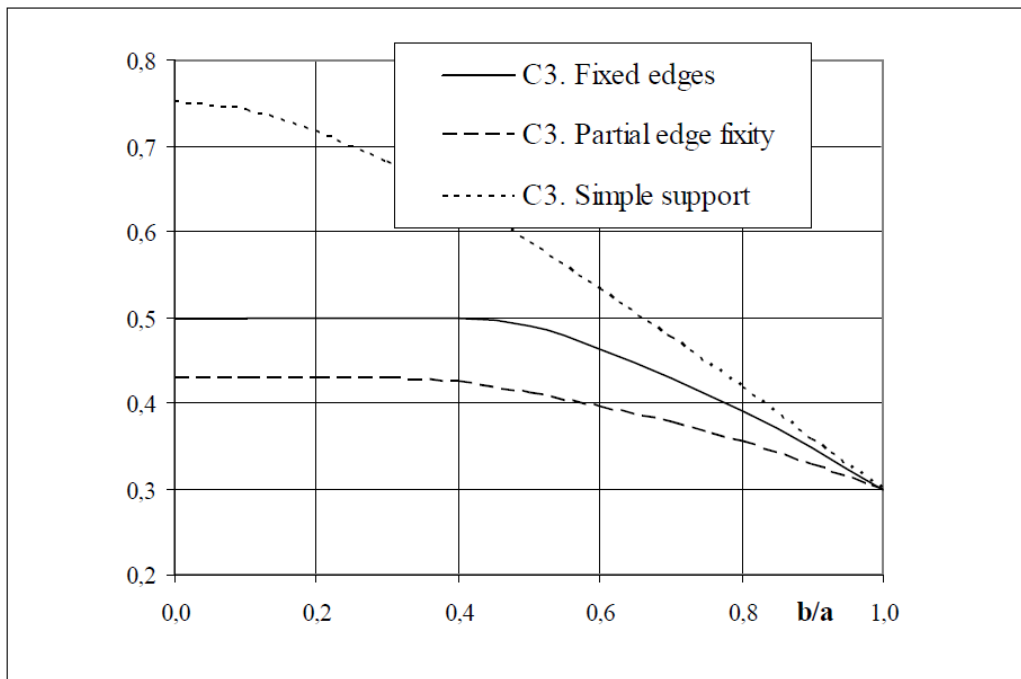
- C_1 e C_3 são constantes definidas através das Figuras 33 e 34;
- E é o módulo de elasticidade do laminado, em [MPa];
- δ é o fator de deflexão do laminado;
- t é a espessura do laminado, em [mm].

Figura 33 - Constante C1 utilizadas para a determinação da espessura do laminado sólido.



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.4, seq.6, p.33).

Figura 34 - Constante C3 utilizadas para a determinação da espessura do laminado sólido.



Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.4, seq.6, p.34).

3.10.11. Espessura de Proteção para Região de Colisão da Proa

A proa é a região da embarcação que está submetida aos maiores carregamentos, devido, principalmente, aos impactos causados devido ao *slamming*. Além disto, caso ocorra uma colisão durante a navegação da embarcação, a probabilidade da proa ser atingida no incidente é muito alta.

Por estes motivos, a proa deve apresentar uma laminação reforçada, com o intuito de assegurar que o casco absorverá estes esforços sem que ocorra alguma ruptura ou avaria em sua estrutura. Com este objetivo, a norma apresenta uma formulação específica para o cálculo da espessura do laminado na região da proa, mostrada na equação a seguir.

$$t_s = \frac{7+(0,1 \times V)^{1,5}}{\sqrt{\frac{\sigma_{nu}}{160}}} \quad (53)$$

Onde:

- t_s é a espessura do laminado na região de colisão da proa, em [mm].

Ainda de acordo com a norma (DNV, 2012), o dimensionamento estrutural para embarcações menores de 50 metros de comprimento pode ser realizado considerando somente a análise local da estrutura. Na análise global, a qual considera a embarcação como uma viga navio, as tensões são de baixas magnitudes, visto que o baixo comprimento resulta em momentos fletores de baixa intensidade. Assim, como a embarcação deste projeto apresenta um comprimento total de 6,4 metros, não foi considerado neste trabalho a análise global da estrutura.

3.10.12. Espessuras dos Laminados

Algumas formulações utilizadas ao decorrer da seção 4.10, apresentam certas variáveis que não foram detalhadas neste trabalho. Contudo, uma explicação mais apurada destas variáveis e sobre a elaboração de um projeto estrutural de uma embarcação de recreio construída em compósito de fibra de vidro pode ser encontrada em (AMARAL, 2016).

A Tabela 11 apresenta as espessuras dos laminados de cada uma das 5 topologias estruturais elaboradas ao decorrer da seção 4.10. Vale ressaltar que o primeiro painel

considerado é o da região mais a ré da embarcação e, conforme a numeração do painel aumenta, mais avante este se encontra em relação ao espelho de popa da embarcação.

As anteparas precisam ser mais rígidas que o casco. Então, admite-se que estas apresentam uma espessura igual ou superior a maior espessura do casco.

Tabela 11 - Espessuras dos laminados das 5 topologias estruturais.

Painel	Projeto 1		Projeto 2		Projeto 3		Projeto 4		Projeto 5	
	Fundo [mm]	Costado [mm]	Fundo [mm]	Costado [mm]	Fundo [mm]	Costado [mm]	Fundo [mm]	Costado [mm]	Fundo [mm]	Costado [mm]
1	5,88	3,00	4,75	3,00	4,45	3,00	5,43	3,00	5,88	3,00
2	4,99	3,00	6,05	3,00	4,40	3,00	5,63	3,00	4,99	3,00
3	7,05	3,00	5,90	3,00	4,97	3,00	5,90	3,00	7,05	3,00
4	7,65	3,00	6,10	3,00	5,39	3,00	6,10	3,00	7,65	3,00
5	7,84	3,00	6,27	3,00	5,54	3,00	6,27	3,00	7,84	3,00
6	7,27	3,00	6,42	3,00	5,14	3,00	6,42	3,00	7,27	3,00
7	3,10	3,00	7,01	3,00	2,80	3,00	5,52	3,00	3,10	3,00
8	-	-	6,93	3,00	-	-	5,52	3,00	-	-
9	-	-	7,27	3,00	-	-	5,47	3,00	-	-
10	-	-	3,10	3,00	-	-	5,24	3,00	-	-
11	-	-	-	-	-	-	4,74	3,00	-	-
12	-	-	-	-	-	-	4,74	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	3,10	-	-	-

Fonte: Autor (2017).

Analisando a Tabela 11, nota-se que as espessuras referentes ao laminado do costado do casco de todas as topologias estruturais são iguais a 3 milímetros, sendo esta a espessura mínima recomendada pela norma. Esta recomendação foi utilizada, pois, ao efetuar-se os cálculos da espessura do laminado desta região do casco através da Equação (50), constatou-se que os resultados foram menores que o mínimo requerido pela norma.

Em relação a espessura do laminado na região do fundo do casco da embarcação, foram realizadas duas análises distintas. Primeiramente, analisou-se os projetos estruturais 1, 3 e 5, os quais apresentam um arranjo estrutural bastante semelhante. O projeto 3 apresentou as menores espessuras de laminado, devido ao fato de que este arranjo é constituído por um maior número de longarinas, conforme mostrado na Tabela 9.

Na segunda análise, foram comparados os projetos estruturais 2 e 4, os quais apresentam o maior número de cavernas. O projeto 4 apresentou as menores espessuras de laminado entre a antepara de colisão e a antepara avante da praça de máquina da embarcação, pois, nesta região, este projeto apresenta um número maior de cavernas.

3.10.13. Módulo de Seção dos Reforçadores

Os reforçadores longitudinais e transversais são elementos de extrema importância na constituição da topologia estrutural de uma embarcação. Para o dimensionamento de tais elementos, é necessário determinar o mínimo módulo de seção requerido, com a finalidade de garantir que estes reforçadores sejam capazes de suportar as cargas as quais estão submetidos. O módulo de seção de um reforçador é obtido através da sua própria definição, conforme a equação a seguir.

$$Z = \frac{M}{\sigma_d} \quad (54)$$

Onde:

- M é o momento fletor na seção transversal do reforçador, em [kN.m];
- σ_d é a tensão de projeto, definido conforme a Figura 35, em [MPa];
- σ_u é a tensão de ruptura do laminado, em [MPa];
- Z é o módulo de seção do reforçador, em [m³].

A norma apresenta uma formulação para a determinação do momento fletor que atua sobre os reforçadores, conforme descrito na equação a seguir.

$$M = \frac{p \times b_1 \times l^2}{c_1} \quad (55)$$

Onde:

- b_1 é a largura da área de carga, em [m];
- l é a distância entre apoios, em [m];
- c_1 é o fator do momento fletor (igual a 12 se for analisado no engaste do reforçador);

Figura 35 - Tensão de projeto que atua sobre os reforçadores.

<i>Structural element</i>	<i>Design stress σ_d</i>
Stiffener	$0.3 \sigma_u$
Web frames	$0.3 \sigma_u$
Girders	$0.3 \sigma_u$
$\sigma_u =$ ultimate laminate strength (tensile or compressive)	

Fonte: DNV (2012; Pt.3, cap.4, seq.7, p.38).

Para realizar a seleção dos reforçadores, é necessário considerar a largura da sua chapa colaborante. A norma apresenta uma formulação para a determinação deste parâmetro, conforme explícito a seguir.

$$b_{eff} = \frac{b_i}{1 + 3,3 \times \frac{E}{G} \times \left(\frac{b_i}{2 \times l_i}\right)^2} \quad (56)$$

Onde:

- E é o módulo de elasticidade do laminado na direção da viga, em [MPa];
- G é o módulo de cisalhamento do laminado, em [MPa];
- l_i é o comprimento entre os pontos de inflexão entre momentos fletores nulos no reforçador, em [m]. Este parâmetro é igual a 58% do comprimento do reforçador, se for considerado que o mesmo está engastado em ambas de suas extremidades;
- b_i é a distância entre os reforçadores, em [m];
- b_{eff} é a largura da chapa colaborante, em [m].

A norma recomenda que os reforçadores longitudinais sejam contínuos ao longo do comprimento do casco da embarcação. Para tal, é necessário realizar alguns recortes nos reforçadores transversais, com o objetivo de manter esta continuidade.

As Tabelas 12 e 13, apresentam as principais características dos reforçadores transversais e longitudinais, respectivamente, utilizados na elaboração das 5 topologias estruturais.

Tabela 12 - Dimensões dos reforçadores transversais das 5 topologias estruturais.

	Cavernas (Popa - Proa)	Largura da Chapa Colaborante b_{eff} [m]	Dimensões do Reforçador			Módulo de Seção	
			Altura	Largura	Espessura	Requerido	Calculado
			h [m]	b [m]	t [m]	[m ³]	[m ³]
Projeto 1	6	0,128	0,07	0,042	0,02	4,34E-05	2,18E-04
	5		Antepara a Ré da Praça de Máquinas				
	4	0,085	0,07	0,042	0,02	1,09E-04	2,18E-04
	3		Antepara Avante da Praça de Máquinas				
	2	0,082	0,07	0,042	0,02	1,70E-04	2,18E-04
1		Antepara de Colisão da Proa					
Projeto 2	9	0,128	0,07	0,042	0,02	4,75E-05	1,84E-04
	8		Antepara a Ré da Praça de Máquinas				
	7	0,141	0,07	0,042	0,02	6,75E-05	1,84E-04
	6	0,141	0,07	0,042	0,02	7,35E-05	1,84E-04
	5	0,145	0,07	0,042	0,02	8,28E-05	1,84E-04
	4		Antepara Avante da Praça de Máquinas				
	3	0,136	0,07	0,042	0,02	1,05E-04	1,84E-04
	2	0,103	0,07	0,042	0,02	1,50E-04	1,84E-04
1		Antepara de Colisão da Proa					
Projeto 3	6	0,128	0,07	0,042	0,02	4,90E-05	1,89E-04
	5		Antepara a Ré da Praça de Máquinas				
	4	0,085	0,07	0,042	0,02	1,26E-04	1,89E-04
	3		Antepara Avante da Praça de Máquinas				
	2	0,082	0,08	0,048	0,02	2,03E-04	2,37E-04
1		Antepara de Colisão da Proa					
Projeto 4	12	0,128	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	11		Antepara a Ré da Praça de Máquinas				
	10	0,128	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	9	0,141	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	8	0,145	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	7		Antepara Avante da Praça de Máquinas				
	6	0,158	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	5	0,159	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	4	0,158	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	3	0,154	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	2	0,142	0,07	0,042	0,02	1,85E-04	1,85E-04
	1		Antepara de Colisão da Proa				
Projeto 5	6	0,128	0,07	0,042	0,02		2,18E-04
	5		Antepara a Ré da Praça de Máquinas				
	4	0,085	0,07	0,042	0,02	1,63E-04	2,18E-04
	3		Antepara Avante da Praça de Máquinas				
	2	0,082	0,07	0,042	0,02	1,63E-04	2,18E-04
1		Antepara de Colisão da Proa					

Fonte: Autor (2017).

Tabela 13 - Dimensões dos reforçadores longitudinais das 5 topologias estruturais.

Painél	Largura da Chapa Colaborante		Dimensões do Reforçador			Módulo de Seção	
	b_{eff}	h	b	t	Requerido	Calculado	
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m ³]	[m ³]	
Projeto 1	1	0,364	0,07	0,042	0,02	6,13E-05	2,18E-04
	2	0,316	0,07	0,042	0,02	6,05E-05	2,18E-04
	3	0,369	0,07	0,042	0,02	7,42E-05	2,18E-04
	4	0,374	0,07	0,042	0,02	9,36E-05	2,18E-04
	5	0,376	0,07	0,042	0,02	9,01E-05	2,18E-04
	6	0,373	0,07	0,042	0,02	7,22E-05	2,18E-04
	7	0,271	0,07	0,042	0,02	1,68E-05	2,18E-04
Projeto 2	1	0,316	0,07	0,042	0,02	4,98E-05	1,84E-04
	2	0,364	0,07	0,042	0,02	7,15E-05	1,84E-04
	3	0,354	0,07	0,042	0,02	7,76E-05	1,84E-04
	4	0,354	0,07	0,042	0,02	8,45E-05	1,84E-04
	5	0,354	0,07	0,042	0,02	9,17E-05	1,84E-04
	6	0,354	0,07	0,042	0,02	1,00E-04	1,84E-04
	7	0,376	0,07	0,042	0,02	1,11E-04	1,84E-04
	8	0,375	0,07	0,042	0,02	1,07E-04	1,84E-04
	9	0,373	0,07	0,042	0,02	7,22E-05	1,84E-04
	10	0,271	0,07	0,042	0,02	1,68E-05	1,84E-04
Projeto 3	1	0,296	0,07	0,042	0,02	4,61E-05	1,89E-04
	2	0,303	0,07	0,042	0,02	6,38E-05	1,89E-04
	3	0,303	0,07	0,042	0,02	5,70E-05	1,89E-04
	4	0,312	0,07	0,042	0,02	7,10E-05	1,89E-04
	5	0,316	0,07	0,042	0,02	7,18E-05	1,89E-04
	6	0,310	0,07	0,042	0,02	5,80E-05	1,89E-04
	7	0,271	0,07	0,042	0,02	1,90E-05	1,89E-04
Projeto 4	1	0,354	0,07	0,042	0,02	1,01E-04	1,85E-04
	2	0,354	0,07	0,042	0,02	1,25E-04	1,85E-04
	3	0,354	0,07	0,042	0,02	1,44E-04	1,85E-04
	4	0,354	0,07	0,042	0,02	1,56E-04	1,85E-04
	5	0,316	0,07	0,042	0,02	1,46E-04	1,85E-04
	6	0,316	0,07	0,042	0,02	1,43E-04	1,85E-04
	7	0,316	0,07	0,042	0,02	1,38E-04	1,85E-04
	8	0,316	0,07	0,042	0,02	1,18E-04	1,85E-04
	9	0,316	0,07	0,042	0,02	8,35E-05	1,85E-04
	10	0,316	0,07	0,042	0,02	8,35E-05	1,85E-04
	11	0,271	0,07	0,042	0,02	2,86E-05	1,85E-04
Projeto 5	1	0,364	0,07	0,042	0,02	1,04E-04	2,18E-04
	2	0,316	0,07	0,042	0,02	9,28E-05	2,18E-04
	3	0,369	0,07	0,042	0,02	1,26E-04	2,18E-04
	4	0,374	0,07	0,042	0,02	1,48E-04	2,18E-04
	5	0,376	0,07	0,042	0,02	1,53E-04	2,18E-04
	6	0,373	0,07	0,042	0,02	1,23E-04	2,18E-04
	7	0,252	0,07	0,042	0,02	2,67E-05	2,18E-04

Fonte: Autor (2017).

Foram realizadas duas análises referentes a Tabela 12. A primeira análise teve como foco os projetos estruturais 2 e 4, sendo estes arranjos os que apresentam o maior número de reforçadores transversais. Constatou-se que quanto maior o número de painéis presentes na topologia estrutural da embarcação, menores são os momentos fletores que atuam sobre os mesmos. Isto ocorre, pois, para estas situações, os painéis estruturais apresentaram dimensões menores, sendo, assim, menos solicitados devido aos esforços de flexão. Por serem menos solicitados, os reforçadores transversais que limitam estes painéis não precisam ser tão rígidos, e, conseqüentemente, apresentam menores valores para o seu módulo de seção.

O projeto estrutural 3 apresenta quatro longarinas, sendo este o arranjo com o maior número de reforçadores longitudinais em sua constituição. Devido a este reforço adicional proporcionado por estas longarinas, os reforçadores transversais não precisam ser tão rígidos, e, devido a isto, o módulo de seção destes reforçadores são menores que aqueles presentes nos projetos 1 e 5.

3.10.14. Estimativa de Massa

Para realizar a estimativa da massa estrutural da embarcação, Amaral (2016) implementou em sua planilha eletrônica um algoritmo que utiliza a área total do casco e o volume dos elementos estruturais que o constitui, conforme mostrado no ANEXO A. As espessuras dos laminados dos painéis estruturais foram determinadas ao decorrer do capítulo 4 deste trabalho. A última informação necessária para a obtenção da massa estrutural da embarcação, é a massa específica do laminado, a qual pode ser obtida através da equação a seguir.

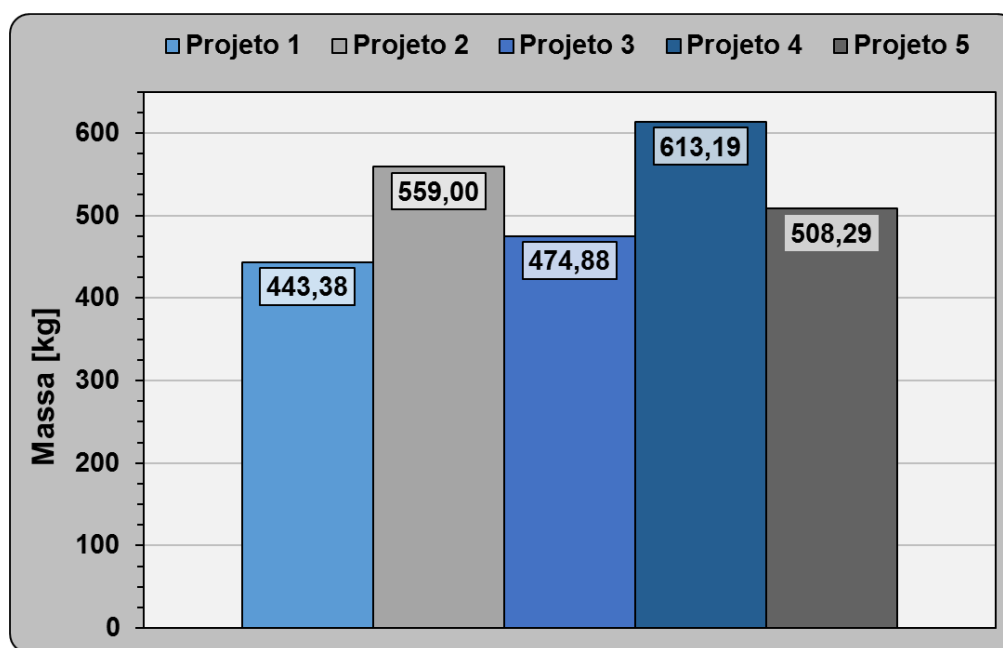
$$\rho_{laminado} = \rho_{fibra} \times v + \rho_{resina} \times (1 - v) \quad (57)$$

Onde:

- ρ_{fibra} é a massa específica da fibra, em [kg/m³];
- v é a fração volumétrica da fibra;
- ρ_{resina} é a massa específica da resina, em [kg/m³];
- $\rho_{laminado}$ é a massa específica do laminado, em [kg/m³].

Os dados referentes as massas específicas da fibra de vidro e da resina estão presentes na Tabela 10. A fração volumétrica da fibra foi determinada na seção 4.10.4, sendo esta igual a 35%. Com todas as informações necessárias disponíveis, foi possível estimar a massa estrutural de cada uma das 5 topologias estruturais elaboradas até este momento. Tais estimativas estão apresentadas na Figura 36.

Figura 36 - Massa estrutural das 5 topologias elaboradas até este momento.



Fonte: Autor (2017).

Analisando a Figura 36, nota-se que o projeto 1 é o que exibiu a menor massa estrutural, com 0,443 toneladas. Considerando todos os reforçadores transversais e longitudinais presentes na topologia estrutural da embarcação, este projeto foi o que apresentou o menor número de reforçadores.

O *slamming* é uma carga de impacto, a qual precisa ser absorvida e dissipada pela estrutura da embarcação. Para isto, é necessário que esta estrutura seja capaz de defletir, assim, possibilitando a dissipação desta energia na região de tenacidade elástica do material. Por este motivo, os arranjos que apresentam um maior painel estrutural, ou seja, uma menor quantidade de reforçadores, são os mais resistentes, pois o vão livre existente entre os reforçadores transversais permite que o material se deforme absorvendo esta energia de impacto.

Os projetos 2 e 4 foram os que apresentaram as maiores massas estruturais, sendo estas iguais a 0,559 e 0,613 toneladas, respectivamente. Considerando todos os reforçadores

transversais e longitudinais presentes na topologia estrutural destas embarcações, estes projetos foram os que apresentaram o maior número de reforçadores.

O projeto 5 foi o único que considerou uma escoa na sua topologia estrutural. Contudo, este projeto apresentou um reforçador longitudinal a menos que o projeto 3. Apesar desta peculiaridade, o projeto 5 foi o que apresentou a maior massa estrutural entre estes dois arranjos. Isto ocorreu, pois, este projeto apresentou espessuras de laminados maiores do que o projeto 3, conforme apresentado na Tabela 11.

4. DESENVOLVIMENTO: SEGUNDA ITERAÇÃO NA ESPIRAL DE EVANS

Nesta seção foi realizada a segunda iteração na espiral de Evans. Neste momento, as análises foram realizadas sobre a forma do casco modelado. Também foram realizadas comparações entre os resultados obtidos na primeira iteração com os resultados obtidos nesta iteração.

4.1. Coeficientes de Forma

A Tabela 14 apresenta uma comparação entre os coeficientes de forma obtidos na primeira estimativa da embarcação e no modelo obtido através do programa.

Tabela 14 - Comparação dos coeficientes de forma entre as duas iterações.

	Primeira Estimativa	Modelo no Software	Diferença
C_B	0,41	0,43	4,65%
C_P	0,62	0,78	20,92%
C_M	0,67	0,56	19,43%
C_{WP}	0,76	0,85	10,90%

Fonte: Autor (2017).

Analisando a Tabela 14, nota-se que há uma diferença significativa entre as duas iterações referentes aos coeficientes de forma da embarcação. Por se tratar de uma nova iteração de projeto, as dimensões da embarcação sofreram alguns ajustes de acordo com a modelagem do casco, as quais tiveram como objetivo satisfazer e melhorar os requisitos de performance da embarcação, como, por exemplo, a resistência ao avanço, estabilidade estática e dinâmica.

Uma segunda explicação são os tipos de embarcações utilizadas por Begovic na elaboração das suas equações. Esta autora utilizou em seu trabalho diferentes tipos de embarcações pequenas, como, por exemplo, lanchas, embarcações de pesca, embarcações militares, entre outras. Devido a influência de cada tipo de embarcação presente na regressão

obtida pela autora, as equações obtidas pela mesma podem não representar fielmente as lanchas que apresentam um casco com forma em “V”.

Uma terceira possibilidade é que a embarcação projetada neste trabalho esteja fora dos padrões presentes no mercado, devido à falta de experiência do projetista. Outra explicação é a inviabilidade de obter os coeficientes de formas desejados com as dimensões principais da embarcação modelada, pois todas as tentativas de se obter um melhor ajuste dos parâmetros em relação a aqueles propostos na primeira fase do projeto resultaram em cascos anômalos

4.2. Estimativa dos Pesos

Nesta nova estimativa dos pesos presentes na embarcação foi utilizada a mesma metodologia utilizada na seção 4.4 deste trabalho. Porém, nesta etapa do projeto, as equações utilizadas para este propósito foram alimentadas com as dimensões aferidas diretamente no modelo CAD que representa a embarcação em projeto. Contudo, vale ressaltar que algumas destas parcelas foram obtidas de uma maneira distinta a apresentada por Grubisic e Begovic (2012), conforme explicado ao decorrer desta seção.

O peso estrutural do casco da embarcação foi obtido de duas maneiras distintas. No primeiro modo, foi empregada a metodologia de Grubisic e Begovic (2012), a qual resultou em um peso estrutural de 0,52 toneladas. No segundo modo, foi utilizada a planilha elaborada por Amaral (2016), como descrito na seção 4.10 deste trabalho. Neste último caso, foi considerado somente o projeto estrutural que apresentou o menor peso, sendo este igual a 0,44 toneladas. Como esta última estimativa apresenta o menor peso estrutural, a mesma foi utilizada para a continuação das demais análises efetuadas no capítulo 5 deste trabalho.

Após obtida a potência instalada necessária a bordo da embarcação, conforme descrito na seção 5.4 deste trabalho, realizou-se, através de catálogos de fornecedores, a seleção do motor que foi utilizado nesta embarcação. O motor selecionado apresentou um peso seco total de 0,27 toneladas. Para maiores informações referentes a este motor, pode-se consultar o ANEXO B, o qual apresenta o catalogo do mesmo.

A taxa de consumo de combustível deste motor é de 62,4 [L/h]. Para a determinação da parcela de peso do combustível a bordo da embarcação, foi utilizada, novamente, a Equação (21), assumindo as mesmas hipóteses utilizada na seção 4.4.10 deste trabalho. Porém, neste momento do projeto, considerou-se uma reserva adicional de 15% a mais de combustível a bordo da embarcação. Este combustível extra, tem como objetivo, garantir uma margem de

segurança caso o motor não esteja funcionando nas suas condições ideais de operação, acarretando, assim, numa taxa de consumo maior do que a estipulada pelo fabricante. Então, o peso total de combustível a bordo da embarcação é de 0,14 toneladas.

A nova estimativa do peso de lastro foi descrita na seção 4.3.1, e equivale a 0,09 toneladas. Esta estimativa de peso é 44,1% menor a obtida na primeira iteração do projeto. A Tabela 15 mostra cada uma das parcelas de pesos obtidas nesta iteração.

Tabela 15 - Estimativa de pesos na segunda iteração de projeto.

Parcelas	Pesos [t]
Estrutural (W_{100})	0,44
Sis. Propulsivo (W_{250})	0,29
Sis. Energia Elétrica (W_{300})	0,04
Equip. Eletrônicos (W_{400})	0,03
Máq. Auxiliares (W_{500})	0,09
Outfit (W_{600})	0,43
Água (W_A)	0,02
Combustível (W_C)	0,14
Lastro (W_{AL})	0,09
Passageiros (W_P)	0,56

Fonte: Autor (2017).

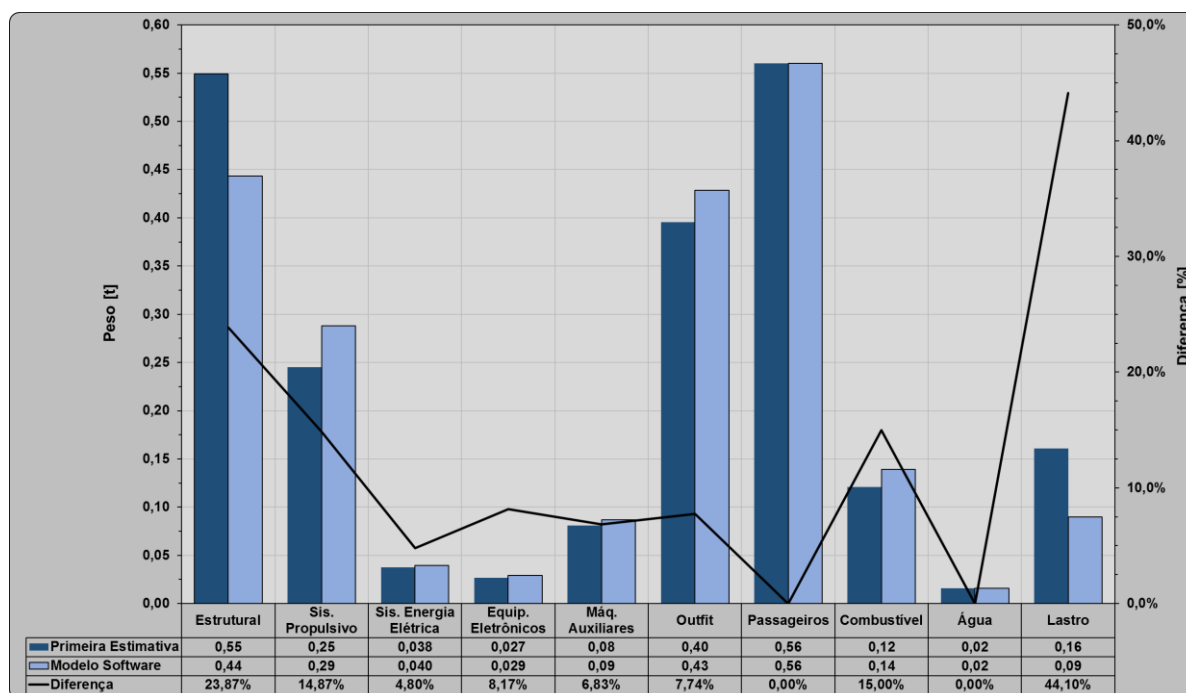
Nota-se na Tabela 15 que a nova estimativa do deslocamento da embarcação é menor que a apresentada na primeira iteração do projeto e no modelo 3D, a qual equivale a 2,12 toneladas. Isto ocorreu devido à redução significativa da nova estimativa do peso estrutural e do peso de lastro. Vale ressaltar, novamente, que a estimativa de água potável e do peso dos passageiros precisam ser revisadas, conforme mencionado nas seções 3.5.8 e 3.5.9.

A Figura 37 apresenta um comparativo entre a primeira e a segunda estimativa dos pesos a bordo da embarcação.

Analisando a Figura 37, nota-se que há algumas diferenças significativas entre as duas estimativas de pesos realizadas até este momento. O peso do casco (W_{100}) apresentou uma diferença de 23,87% entre as duas iterações do projeto. A variação presente neste parâmetro, está relacionada com as diferentes metodologias utilizadas para a sua obtenção. A metodologia proposta por Amaral (2016), para a determinação desta grandeza, permite ao projetista elaborar diferentes arranjos estruturais visando diminuir a massa estrutural da embarcação. Então, devido a esta vasta gama de possibilidades presente nesta metodologia, foi possível obter um

arranjo estrutural mais leve do que o obtido através da metodologia de Grubisic e Begovic (2012), acarretando, assim, nesta grande diferença entre as duas estimativas.

Figura 37 - Comparação entre a primeira e a segunda estimativa dos pesos a bordo da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

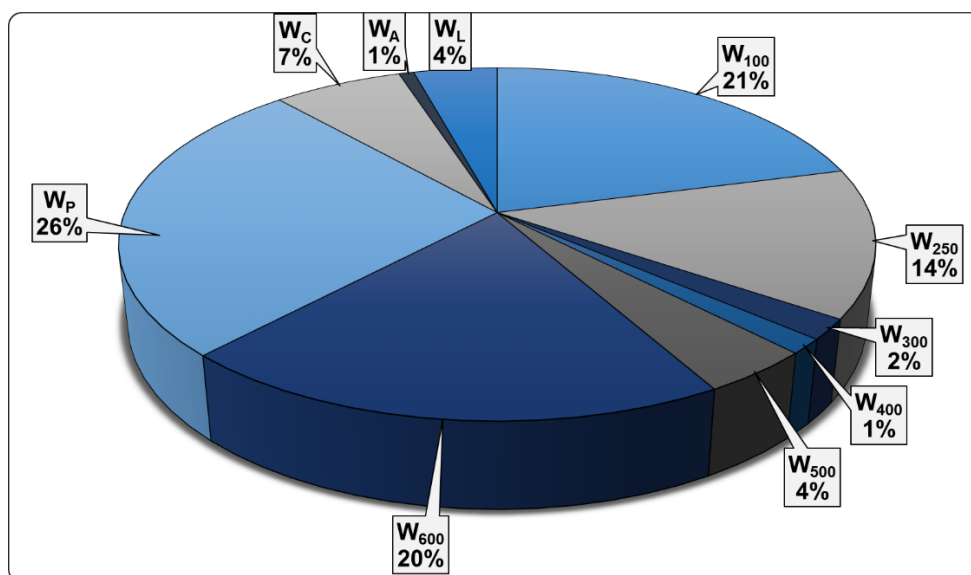
O peso do sistema propulsivo (W_{250}) apresentou uma diferença de 14,87% entre as duas iterações do projeto. Isto ocorreu, pois, o segundo motor selecionado para atender a demanda de potência instalada necessária a bordo da embarcação é mais pesado em relação ao primeiro. Ambos os motores utilizados nas duas iterações do projeto, apresentavam a mesma potência, porém, o catálogo do segundo motor, exibiu um grau de detalhamento maior sobre as suas características. As informações presentes no catálogo deste motor são bastante relevantes, permitindo, assim, realizar a estimativa de combustível necessária para atender a autonomia de navegação estipulada pelo armador.

O peso de combustível (W_C) apresentou uma diferença de 15% entre as duas iterações do projeto. Isto ocorreu, pois, na segunda estimativa deste parâmetro, optou-se por acrescentar mais de combustível nos tanques da embarcação, conforme descrito no início desta seção.

O peso de lastro (W_L) apresentou uma diferença de 44,10% entre as duas iterações do projeto. A redução desta parcela de peso está atribuída ao novo posicionamento do peso de lastro, conforme discutido na seção 4.3.1.

Analisando a Figura 38, nota-se que o peso de *outfit* está elevado, correspondendo a 20% do peso total da embarcação. Algumas explicações para esta discrepância foram discutidas na seção 4.4.12 deste trabalho. As demais parcelas de pesos estão coerentes com o esperado.

Figura 38 - Representação, em porcentagem, das parcelas de pesos presentes a bordo da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

4.3. Estimativa dos Centros

A Tabela 16 apresenta uma breve comparação entre os centros obtidos na primeira estimativa da embarcação e os centros obtidos no modelo através do programa.

Tabela 16 - Comparação dos centros da embarcação entre as duas iterações.

Centros	Primeira Estimativa	Modelo no Software	Diferença
	[m]	[m]	
KG	0,98	0,91	7,69%
LCG	2,44	2,32	5,26%
KB	0,301	0,303	0,66%
LCB	2,79	2,36	18,02%
LCF	2,96	2,49	18,78%
BM	1,32	1,46	9,34%
GM	0,64	0,85	24,53%

Fonte: Autor (2017).

Analisando a Tabela 16, nota-se que a maioria dos resultados apresentaram uma diferença menor do que 10% na comparação entre as duas iterações. Todavia, há três parâmetros que apresentaram uma diferença maior do que 10%, sendo estes o LCB, LCF e GM.

Na primeira iteração, o centro de flutuação longitudinal da embarcação foi obtido através da Equação (27), a qual possui como variável o coeficiente prismático. Este coeficiente de forma também apresentou uma diferença significativa entre as duas iterações, conforme relatado na Tabela 14. Utilizando o valor do coeficiente prismático medido a partir do modelo 3D do casco da embarcação na Equação (27), obteve-se um valor de LCB igual a 2,50 metros, sendo este mais próximo ao obtido a partir do modelo 3D do casco, apresentando uma diferença de apenas 5,75%. Com isto, pode-se constatar que a Equação (27) apresenta resultados coerentes com aqueles medidos a partir do modelo 3D do casco, desde que o valor do coeficiente prismático (C_p) seja estimado com precisão.

O centro longitudinal da área do plano de linha d'água da embarcação, foi obtido, na primeira iteração do projeto, através da Equação (28). Esta formulação apresenta como variável o LCB da embarcação. Como mencionado anteriormente, o LCB apresentou uma leve discrepância entre as duas iterações. Então, devido a este fato, o LCF também apresentou uma discrepância entre as duas iterações. No entanto, ao se utilizar o valor do LCB aferido no modelo CAD na Equação (28), obteve-se um valor de LCF igual a 2,55 metros, apresentando uma diferença de apenas 2,33%. Com isto, pode-se constatar que a Equação (28) apresenta resultados coerentes com aqueles observados no casco modelado em CAD, desde que o valor do LCB seja estimado com precisão.

Os dois parâmetros citados anteriormente, LCB e LCF, estão diretamente relacionados com a forma do casco da embarcação. Vale relatar que o modelo da embarcação apresenta um maior volume deslocado na região entre a popa e a meia-nau. Isto faz com que o LCB da embarcação esteja a ré da sua meia-nau. Já em relação ao seu plano de linha d'água, a região entre a popa e a meia nau da embarcação apresenta uma maior concentração de área, deslocando, também, o LCF da embarcação para a região a ré da meia-nau.

A altura metacêntrica (GM) é o terceiro parâmetro que apresentou uma diferença significativa entre as duas iterações do projeto da embarcação. Isto ocorreu, devido ao fato de que houve um acúmulo das diferenças presentes nas determinações dos parâmetros de KB, BM e KG entre as duas iterações do projeto.

No entanto é muito importante relatar que as variações de valores observadas entre as iterações de projeto são perfeitamente compatíveis com o processo sequencial e iterativo de

projeto naval descrito na fundamentação teórica desde trabalho. A cada iteração os valores são modificados a luz de novas análises e considerações. O importante é que a cada iteração a variação dos valores seja cada vez menor, fazendo com que a solução convirja de maneira a atender aos requisitos do projeto.

4.3.1. Posição Longitudinal do Centro de Massa

Para alocar o centro de gravidade da embarcação na posição de 2,32 metros avante do espelho de popa, é necessário determinar a distribuição de massa no interior da embarcação. Para tal, foram consideradas as parcelas de pesos apresentadas na Tabela 15. Vale ressaltar que o peso de lastro presente nesta tabela foi estimado nessa seção.

Para a determinação do centro de gravidade de cada uma das parcelas de pesos a bordo da embarcação, foi utilizada a aproximação apresentada na Tabela 5. Porém, entre as aproximações apresentadas nesta tabela, três destas foram alteradas neste momento do trabalho. A primeira alteração é referente ao LCG do peso do combustível. Optou-se por alocar o combustível utilizado pelo motor de propulsão no espaço disponível entre o espelho de popa e a antepara a ré da praça de máquinas da embarcação. Tal consideração teve como objetivo posicionar o combustível o mais próximo possível do motor. Deste modo, o sistema de bombeamento utilizado nesta embarcação para bombear o combustível até o seu motor é simples e barato.

A segunda alteração é referente ao LCG do peso da água de consumo dos passageiros. Optou-se por utilizar um galão de água mineral de 20 litros, semelhante aos vendidos para casas e escritórios. Para que todos os passageiros tenham fácil acesso a água, a mesma foi posicionada na região a meia-nau da embarcação.

A terceira consideração é referente ao peso e ao LCG do lastro necessária a bordo da embarcação. Primeiramente, realizou-se uma análise para verificar onde está alocado o centro de gravidade da embarcação considerando a ausência de lastro. Tal hipótese resultou em um posicionamento do seu LCG a 2,20 metros avante do espelho de popa.

Na seção 4.9 deste trabalho, foi determinado que o LCG da embarcação deve estar posicionado a 2,32 metros avante do espelho de popa, garantindo, assim, que a mesma apresente uma boa estabilidade dinâmica e uma baixa resistência ao avanço. Então, com o objetivo de corrigir a posição do LCG da embarcação, foi necessário o emprego de lastro. Sabe-se que quanto mais avante estiver alocado o LCG desta grandeza, menor é a quantidade de lastro

necessário para realizar esta correção. Com isto em mente, buscou-se alocar o peso de lastro na região da proa da embarcação. A Tabela 17 apresenta as parcelas de pesos presentes a bordo da embarcação e os seus respectivos centros de gravidade.

Tabela 17 - Distribuição longitudinal das parcelas de pesos a bordo da embarcação.

	Pesos	LCG
	[t]	[m]
W₁₀₀	0,44	2,75
W₂₅₀	0,29	-0,15
W₃₀₀	0,04	3,05
W₄₀₀	0,03	3,05
W₅₀₀	0,09	2,44
W₆₀₀	0,43	2,44
W_P	0,56	3,05
W_C	0,14	0,50
W_A	0,02	3,05
W_L	0,09	5,00
W_{FL}	2,12	2,32

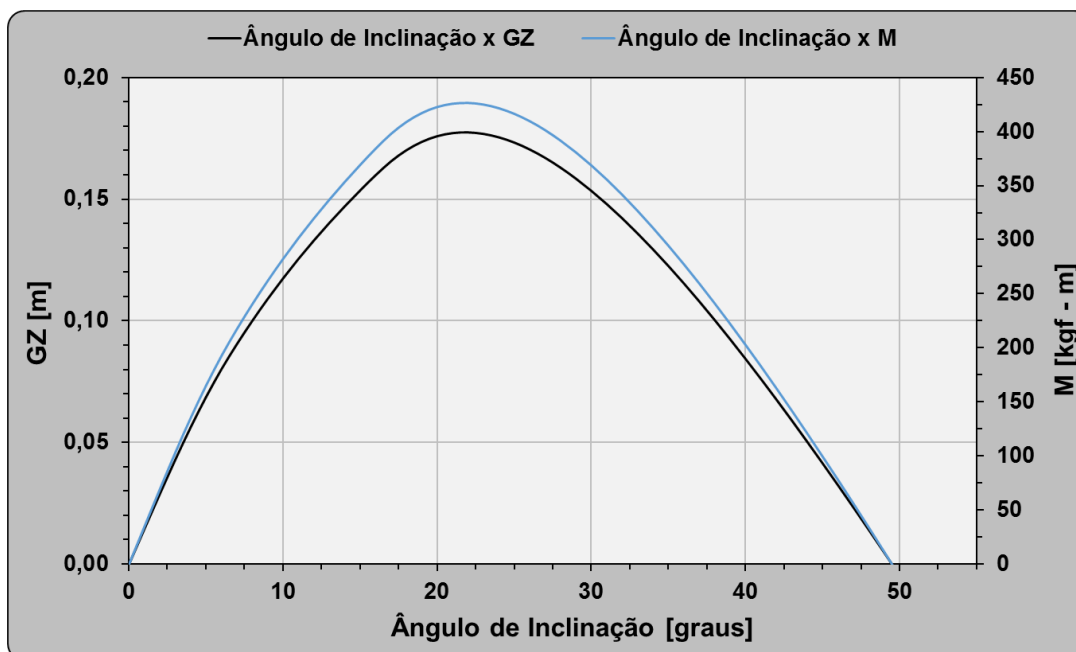
Fonte: Autor (2017).

Analisando a Tabela 17, nota-se que ao posicionar o centro de gravidade do lastro a 5 metros avante do espelho de popa da embarcação, foi necessário somente 0,09 toneladas para realizar a correção no seu LCG. Esta nova estimativa é 44,1% menor quando comparada a estimativa de 0,16 tonelada apresentada na Figura 6.

4.3.2. Estabilidade Estática

Após realizada a modelagem do casco da embarcação no programa *Rhinoceros*, foi possível obter, através da análise numérica, a curva de estabilidade estática da embarcação para grandes ângulos, mostrada na Figura 39. Esta curva foi obtida considerando o deslocamento da embarcação igual a 2,12 toneladas; o LCG igual a 2,32 metros, medidos em relação ao espelho de popa; o KG igual a 0,91 metros, em relação a linha da quilha; e uma de inclinação transversal inicial igual a zero graus.

Figura 39 - Curva da estabilidade estática da embarcação para grandes ângulos.



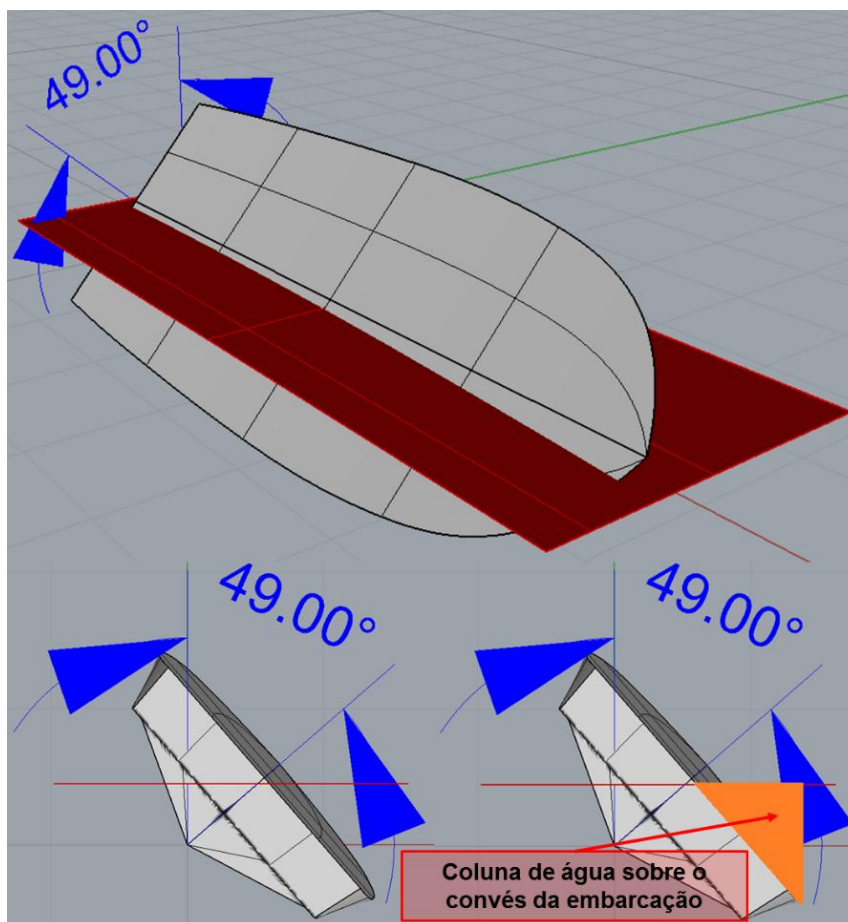
Fonte: Autor (2017).

Analisando a Figura 39, nota-se que a embarcação irá emborcar quando o seu ângulo de inclinação for maior do que 49 graus, pois, a partir deste ângulo, o seu braço de restauração (GZ) se torna negativo.

O maior valor para o braço de restauração da embarcação é de 0,175 metros, o qual ocorre para um ângulo de inclinação igual a 22,5 graus. Em relação ao momento de restauração, o maior valor observado é de 425 [kgf.m], o qual ocorre, também, para um ângulo de inclinação de 22,5 graus. Na Figura 40 é mostrada a embarcação considerando um ângulo de inclinação de 49 graus.

Na Figura 40, o plano horizontal em vermelho representa o plano da linha d'água; enquanto a coluna em laranja representa a coluna de água sobre o convés da embarcação, quando a mesma se encontra inclinada com um ângulo de 49 graus. O peso da coluna da água sobre o convés da embarcação juntamente com os pesos a bordo, geram um momento de emborcamento superior ao seu momento de restauração, acarretando, assim, no emborcamento da embarcação.

Figura 40 - Embarcação com um ângulo de inclinação de 49°.

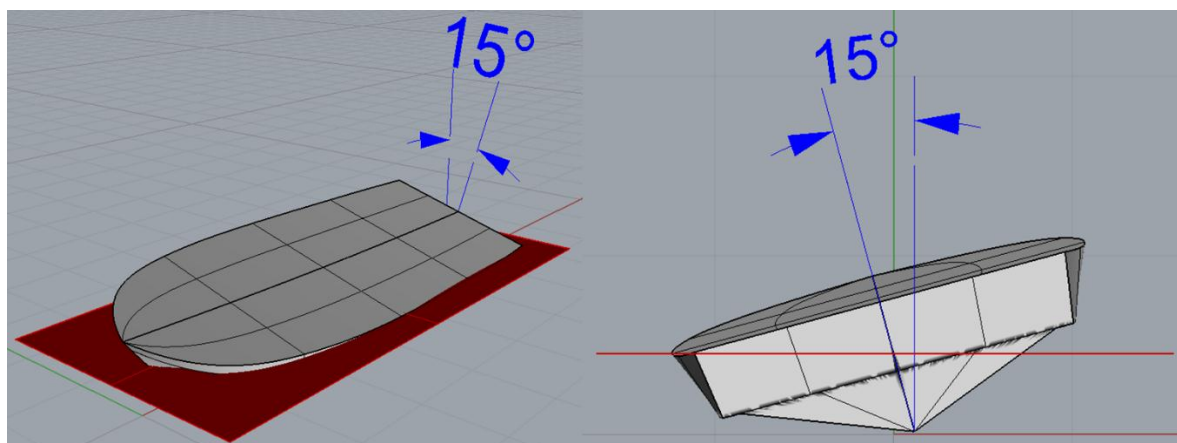


Fonte: Autor (2017).

Nota-se na Figura 39 que o braço e o momento de restauração da embarcação começam a diminuir para um ângulo de emborcamento superior a 22,5 graus. Isto ocorre, pois, a partir deste ângulo ocorre a diminuição do desalinhamento das linhas de ação do peso e do empuxo da embarcação.

O embarque de água no convés neste tipo de embarcação é um problema bastante grave, pois é nessa região que se encontram todos os tripulantes. Então, devido a isto, é importante determinar o ângulo de alagamento da embarcação, o qual corresponde ao ângulo máximo de *roll* que a embarcação pode adquirir antes que comece a entrar água no convés. A embarcação deste projeto apresenta um ângulo de alagamento de aproximadamente 15°, conforme mostrado na Figura 41.

Figura 41: Ângulo de alagamento da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

4.4. Resistência ao Avanço

A resistência ao avanço do casco nu da embarcação, considerando diferentes valores de LCG, foi determinada na seção 4.8 deste trabalho. Na seção atual, foi adicionada a parcela da resistência ao avanço referente aos apêndices presentes na embarcação. Para tal finalidade, foi utilizado o trabalho elaborado por Blount e Fox (1976), onde estes autores apresentaram uma metodologia empírica baseada em um conjunto de dados de embarcações de planeio com dois propulsores.

Vale ressaltar que a embarcação deste trabalho utiliza um motor de popa, o que acarreta na ausência de alguns apêndices tratados por Blount e Fox (1976), como, por exemplo o leme e o eixo de propulsão. Então, devido a estas ausências, espera-se que os resultados obtidos através deste método sejam conservadores.

Outro fator a ser considerado é que esta metodologia foi baseada em embarcações que apresentam dois propulsores. Com o intuito de corrigir este problema, o resultado obtido através deste método foi dividido por dois, com a finalidade de compensar o fato de que a embarcação deste trabalho apresenta somente um propulsor. A seguir, são apresentadas as equações propostas por Blount e Fox.

$$F_{\nabla} = \frac{v}{\sqrt{g \times \nabla^{1/3}}} \quad (58)$$

$$\eta_A = \frac{1}{0,005 \times F_{\nabla}^2 + 1,05} \quad (59)$$

$$R_{AP} = R_{BH} \times \left(\frac{1}{\eta_A} - 1 \right) \quad (60)$$

Onde:

- F_V é o número de Froude volumétrico⁵;
- η_A é o fator de arrasto dos apêndices;
- R_{BH} é a resistência ao avanço do casco nu da embarcação, em [kN];
- R_{AP} é a resistência ao avanço dos apêndices presentes na embarcação, em [kN].

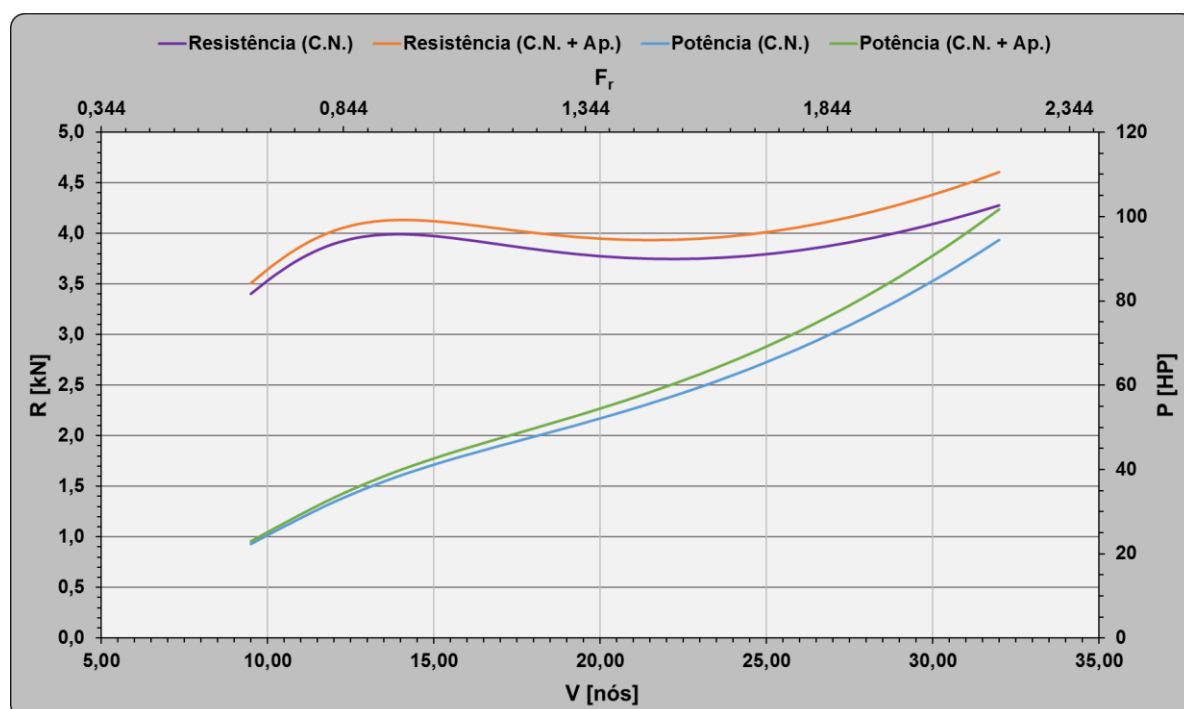
A Figura 42 apresenta o comportamento da resistência ao avanço e da potência efetiva da embarcação em relação a velocidade (e ao número de Froude) em que navega. Tais grandezas foram obtidas considerando, primeiramente, somente o casco nu da embarcação e, posteriormente, foi adicionada a parcela de arrasto referente aos apêndices existentes no casco. Vale ressaltar que as curvas desta figura foram obtidas considerando que o LCG da embarcação está posicionado a 2,32 metros avante do espelho de popa.

Para obter a potência instalada necessária a bordo da embarcação, deve-se considerar as perdas de eficiência propulsiva, como, por exemplo, a perda devido ao sistema de transmissão, a eficiência do casco e a eficiência do propulsor. Porém, estes dados são bastantes difíceis de se obter, devido a questões de reserva de mercado dos fabricantes.

Com o intuito de superar este problema, foi realizada uma estimativa baseada em uma recomendação apresentada no plug-in Orca do programa *Rhinoceros*. Este plug-in foi desenvolvido pela empresa *HydroComp*, a qual é bastante renomada no mercado de programas com enfoque na área naval. O manual deste programa apresenta os principais limitantes das parcelas referentes a eficiência propulsiva de uma embarcação de planeio, as quais estão apresentadas na Tabela 18.

⁵ No estudo de embarcações de planeio é comumente utilizado o número de Froude volumétrico ao invés do convencional. Este adimensional é preferível pois utiliza a raiz cúbica do deslocamento hidrostático da embarcação como dado de entrada, sendo este um parâmetro fixo. Já o número de Froude convencional utiliza o L_{WL} da embarcação como dado de entrada, o qual apresenta grandes variações para diferentes velocidades.

Figura 42 - Resistência ao avanço e a potência efetiva da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

Tabela 18 - Eficiências propulsivas.

	Eficiências			Perda de Energia
	Mínimo	Médio	Máximo	
Transmissão	96,0%	97,0%	98,0%	Perda de energia devido ao atrito entre as engrenagens
Eixo	97,0%	97,5%	98,0%	Perda de energia devido a torção no eixo
Casco	90,0%	95,0%	100,0%	Diferentes campos de pressões ao redor do casco
Propulsor	50,0%	60,0%	70,0%	Perdas hidrodinâmicas devido ao meio fluido
Total	41,9%	53,9%	67,2%	

Fonte: *HydroComp* (2008).

A eficiência relacionada ao eixo, leva em consideração a perda de energia devido a torção presente no mesmo. A eficiência do casco está relacionada com os diferentes campos de pressões presentes ao seu redor. A eficiência do propulsor está relacionada com as perdas hidrodinâmicas devido ao meio fluido. A eficiência propulsiva total do sistema de propulsão da embarcação, pode ser obtida através da Equação (62).

$$\eta_P = \eta_T \times \eta_E \times \eta_C \times \eta_{Pr} \quad (61)$$

Onde:

- η_T é a eficiência de transmissão;
- η_E é a eficiência do eixo;
- η_C é a eficiência do casco da embarcação;
- η_{Pr} é a eficiência do propulsor;
- η_P é a eficiência propulsiva total.

Considerando as eficiências propulsivas apresentadas na Tabela 18, foram realizadas três análises distintas sobre a potência instalada na embarcação em projeto.

Na primeira análise, foi considerado o produto entre as menores eficiências propulsivas presentes na Tabela 18, resultando em 41,9%. Neste caso, é necessário que haja uma potência instalada de 220 [HP] a bordo da embarcação.

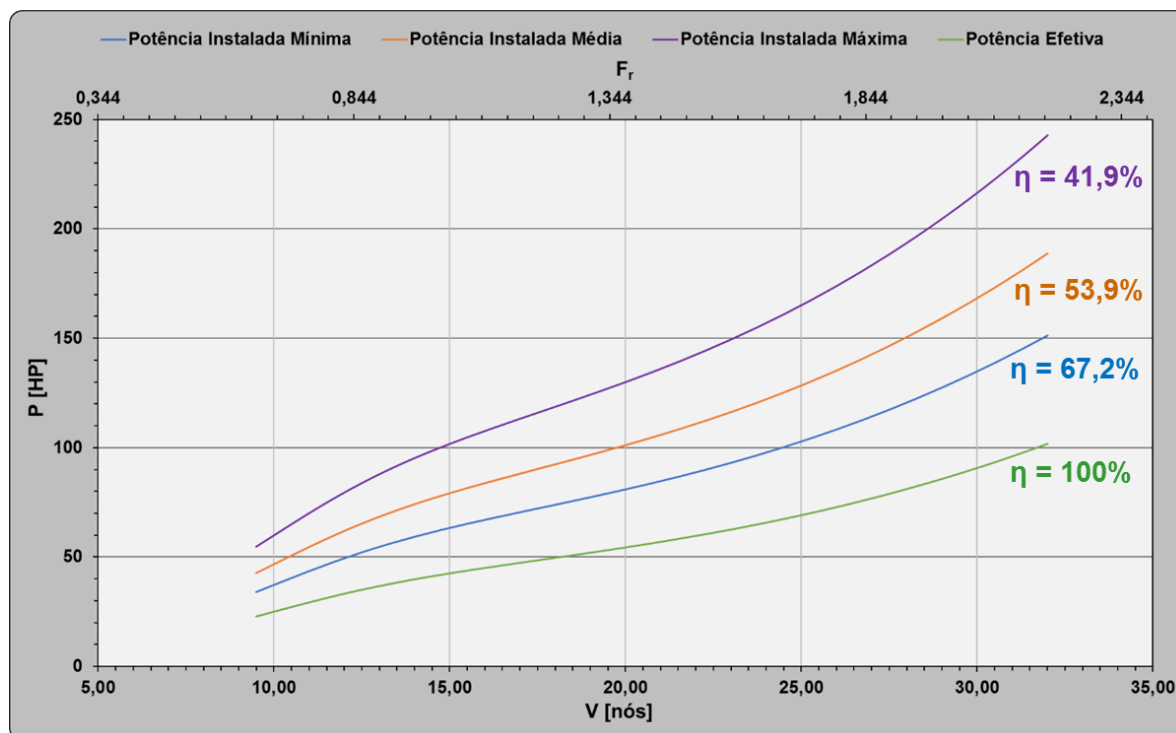
Na segunda análise, foi considerado o produto entre as eficiências propulsivas médias presentes na Tabela 18, sendo esta igual a 53,9%. Neste caso, é necessário que haja uma potência instalada de 170 [HP] a bordo da embarcação.

Na terceira análise, foi considerado o produto entre as maiores eficiências propulsivas presentes na Tabela 18, sendo esta igual a 67,2%; resultando em uma potência instalada de 135 [HP] a bordo da embarcação. A Figura 44 apresenta, de maneira gráfica, as três análises realizadas anteriormente.

A fim de selecionar os componentes que compõem a instalação propulsora da embarcação, foi realizada uma pesquisa, através de catálogos de fornecedores, dos propulsores usualmente utilizados em embarcações de planeio. Porém, devido a questões de reserva de mercado, não foi possível encontrar dados referentes a eficiência destes propulsores. Então, para realizar a seleção do motor de propulsão da embarcação, foi utilizada a eficiência propulsiva obtida através do produto entre os valores médios de cada uma das parcelas das eficiências presentes na Tabela 18, assim, resultando numa eficiência total de 53,9%.

Considerando esta eficiência propulsiva, é necessário utilizar um motor que apresente no mínimo 170 [HP] de potência, permitindo que a embarcação navegue a uma velocidade de 30 nós. Foi selecionado o motor Yamaha F200/FL200 CETX, o qual apresenta uma potência de 200 [HP], cuja uma ilustração é mostrada no ANEXO B.

Figura 43 - Potência efetiva e instalada da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

Optou-se por selecionar um motor um pouco mais potente do que o necessário, com o intuito de trabalhar com uma margem de segurança, caso a estimativa da potência instalada esteja um pouco subestimada. Este motor apresenta uma potência de 200 [HP], peso seco de 269 [kg], opera numa faixa de rotação entre 5000 a 6000 [RPM], recomenda a utilização de hélices de aço inoxidável e apresenta um consumo de combustível de 62,4 [L/h] operando a 5500 [RPM].

Para realizar a seleção do propulsor, utilizou-se um seletor de hélices para motores de popa presente no site da *Mercury Marine*.⁶ Esta ferramenta consiste em 5 etapas, onde em cada uma destas etapas, o cliente precisa fornecer algumas informações referentes a sua embarcação.

Na etapa 1, é solicitado qual o tipo de embarcação que o consumidor possui. Nesta etapa foi selecionada a opção “lancha”.

Na etapa 2, é requisitado a meta de desempenho requerida pelo cliente. Nesta etapa foi selecionada a opção “Bom desempenho geral”.

⁶ O autor tem ciência de que esse não é um procedimento usual de integração casco-hélice. No entanto, o uso de hélices da série B neste tipo de embarcação/sistema propulsivo, também não corresponde à realidade. Assim, na ausência de outro procedimento, adotou-se o uso da solução comercial conforme descrito nesta secção.

Na etapa 3, o seletor requer algumas informações referentes ao motor utilizado na embarcação. Nesta etapa foi selecionado como fabricante a Yamaha; o tipo de motor é o fora de bordo; o ano do motor é 2012; o número de motores é igual a 1; a família de motores é a V6 4-Stroke; o motor é o F200 4-Stroke; e o motorista/caixa de ferramentas é o Yamaha 200-250 hp 4S 2.0 Ratio.

A etapa 4 consiste em informar qual o parâmetro será utilizado para realizar a seleção do propulsor. Para tal finalidade, a ferramenta apresenta três opções, sendo estas: Desempenho, a qual requer algumas informações relacionadas a rotação e o passo do propulsor e a velocidade máxima da embarcação; Pesos, a qual requer informações relacionadas ao deslocamento estático da embarcação; Comprimento, a qual necessita somente do comprimento da embarcação. Optou-se nesta etapa pela opção referente aos pesos.

Uma vez escolhido a opção referente aos pesos, na etapa 5 é necessário informar a ferramenta alguns dados referentes aos pesos a bordo da embarcação. O primeiro dado solicitado foi referente ao peso do barco sem o motor, sendo este igual a 1,83 toneladas. O segundo dado solicitado foi referente ao peso dos passageiros e bagagens a bordo da embarcação, sendo este igual a 600 [kg]. O terceiro dado solicitado é referente a capacidade de combustível a bordo da embarcação, sendo este igual a 135 litros.

Após fornecida todas as informações requisitadas pelo seletor de hélices, o mesmo apresentou 11 tipos de propulsores que podem ser utilizados junto ao motor de popa desta embarcação, os quais estão mostrados no ANEXO C. Entre os hélices recomendados, buscou-se aquele cuja funcionalidade se adequava melhor ao projeto. Então, o propulsor escolhido foi o *HighFive* da Série Elite.

Esse hélice é recomendado para barcos pequenos com unidade de tração de popa V6. É empregado, normalmente, em lanchas que apresentam um formato de casco em V. A seguir, estão listadas algumas características deste propulsor.

- Utilizado em motores de popa que apresentam uma potência de 135 [HP] ou superior a esta;
- É feita de aço inoxidável;
- Apresenta um número de pás igual a 5;
- A sua rotação é no sentido horário;

Foi selecionado um propulsor que apresenta um diâmetro de 34 centímetros para esta embarcação, pois, o mesmo precisa permanecer imerso mesmo quando a embarcação está com pouco peso a bordo. Caso o propulsor venha a emergir, é necessário compensar o calado da embarcação com lastro, até que o propulsor volte a ficar imerso.

4.5. Otimização Estrutural

O projeto estrutural de uma embarcação apresenta alguns parâmetros que são de fundamental importância para a definição do arranjo final. Na topologia estrutural de uma embarcação de planeio, o espaçamento entre cavernas e entre anteparas; além da quantidade de reforçadores longitudinais utilizados na estrutura são as principais variáveis de projeto a serem determinadas. Através deste conjunto de parâmetros, é possível elaborar infinitos arranjos estruturais que sejam viáveis para uma mesma embarcação.

O arranjo estrutural de uma embarcação afeta diretamente o peso do casco. Com o objetivo de diminuir este peso, foi empregada uma técnica de otimização que buscou a combinação dos parâmetros de entrada que resultem no arranjo estrutural de menor massa e que atende a norma considerada.

Para realizar a otimização, foi utilizado o programa *ModeFrontier*, o qual apresenta uma ferramenta que permite a sua interação junto ao programa Excel. Então, utilizando esta ferramenta, foi possível realizar a integração entre a planilha de Amaral (2016) e o *ModeFrontier*.

O algoritmo utilizado para a geração dos indivíduos no processo de otimização foi o Sobol. Este algoritmo imita o comportamento da sequência aleatória, a qual têm como objetivo gerar uma amostragem uniforme dentro do espaço de projeto. Contudo, a sequência utilizada neste algoritmo é denominada como sequência quase-aleatória. Esta denominação é contraditória com a natureza deste tipo de sequência, pois não há nada de aleatório nesse algoritmo. Na geração das amostras, o algoritmo evita ao máximo que estas sejam iguais, com o objetivo de abranger uma gama maior de possibilidades de combinações entre as variáveis (ModeFrontier, 2013). No processo de otimização, foram gerados 50 indivíduos distintos, sendo os 5 primeiros idênticos aos apresentados na seção 4.10.3 e os demais indivíduos foram gerados utilizando a técnica SOBOL.

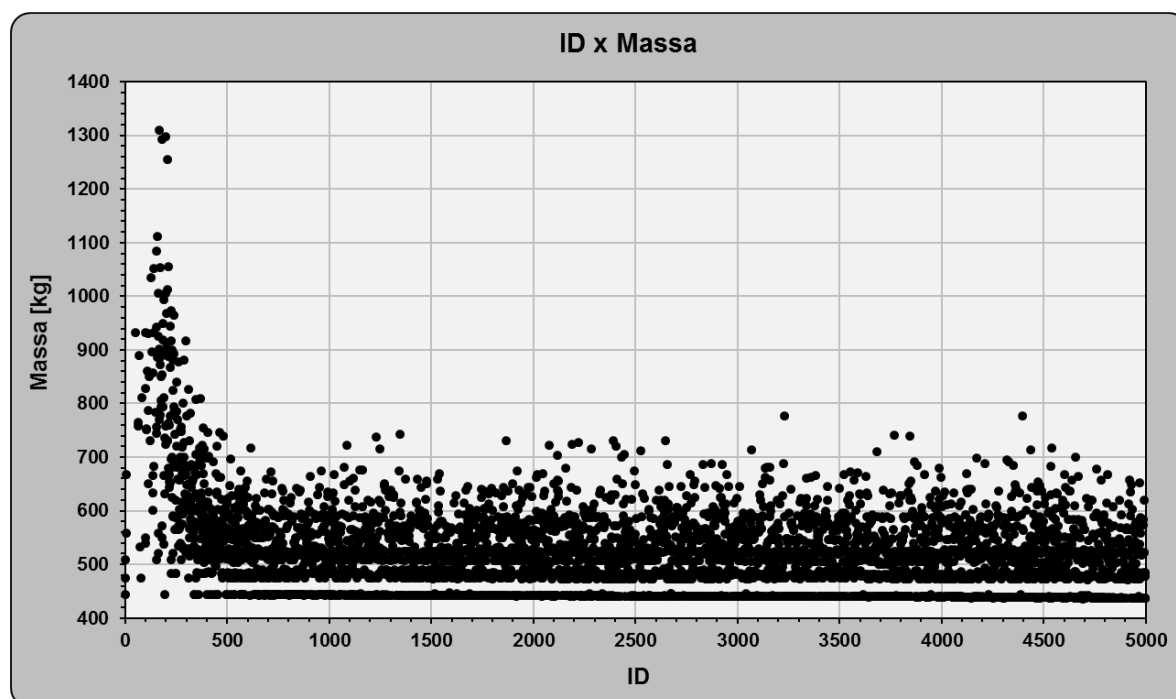
O *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) é um algoritmo evolutivo multiobjectivo, o qual utiliza um processo de seleção não denominada. Neste algoritmo uma

população inicial de indivíduos é criada, onde cada um destes indivíduos se reproduz dando origem a novos indivíduos. Por sua vez, um novo ciclo de reprodução inicia-se, e estes novos indivíduos dão origem a outros indivíduos. Este processo de reprodução se repete “n” vezes, e, a cada ciclo de reprodução, os indivíduos gerados tendem a apresentar uma melhor solução para o problema em questão (Whitley, 1994). No processo de otimização, foram consideradas 100 gerações da população inicial, totalizando, assim, a análise de aproximadamente 5000 arranjos estruturais distintos para a embarcação.

A Figura 45 apresenta como ocorre a redução da massa ao longo do processo de otimização realizado pelo autor. A Figura 46 apresenta a massa ótima para 6 tipos de arranjos estruturais distintos.

Analisando a Figura 45, nota-se que o processo de otimização começou a convergir para o projeto estrutural final, o qual apresenta a menor massa, a partir do indivíduo de número 320 aproximadamente. Alguns arranjos estruturais apresentaram uma massa superior a 1 tonelada. Isto comprova que para uma mesma embarcação, a configuração do seu arranjo estrutural pode impactar num aumento absurdo no peso do seu casco, o qual pode alcançar magnitudes superiores a 4 vezes o seu peso ótimo.

Figura 44 - Redução da massa ao longo do processo de otimização.



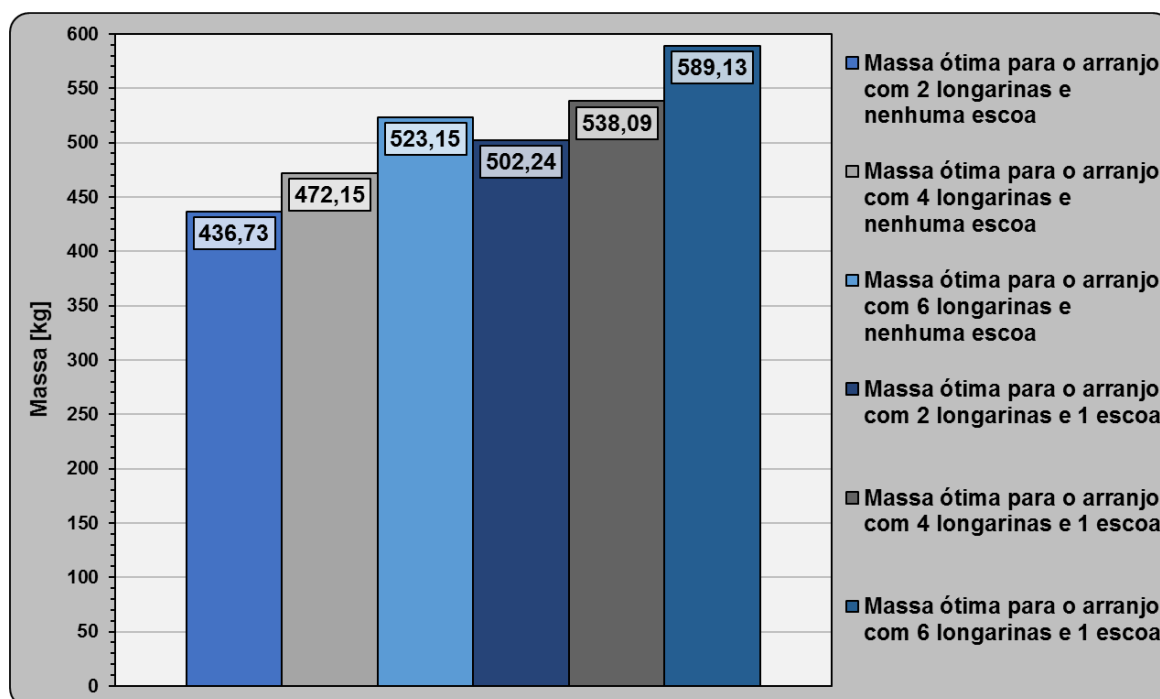
Fonte: Autor (2017).

Analisando a Figura 45, nota-se que o arranjo estrutural ótimo é constituído por 2 longarinas e nenhuma escoa. Este arranjo apresenta uma massa de 436,73 quilogramas e um total de 6 reforçadores transversais, sendo estes compostos por 3 anteparas estanques e 3 cavernas. A maior diferença presente entre os arranjos ilustrados na Figura 46 é de 152,4 quilogramas. O arranjo mais pesado presente nesta figura é constituído por 6 longarinas, 1 escoa, 3 anteparas estanques e 3 cavernas e apresenta uma massa de 589,13 quilogramas.

Analisando a Tabela 19, nota-se que algumas topologias estruturais apresentam a mesma configuração e o mesmo peso. Isto corre, pois, a diferença existente entre estes arranjos ocorre a partir da terceira casa decimal, a qual não foi demonstrada nesta tabela. Outro aspecto importante a ser observado é a convergência da massa estrutural ótima para o valor de 436,73 quilogramas.

A Tabela 20 apresenta as espessuras dos laminados presentes no projeto estrutural ótimo e as Tabelas 21 e 22 apresentam as principais características dos reforçadores transversais e longitudinais, respectivamente, utilizados neste mesmo arranjo estrutural.

Figura 45 - Massa ótima para 6 tipos de arranjos distintos.



Fonte: Autor (2017).

A Tabela 19 apresenta a configuração dos 10 arranjos estruturais que apresentaram as menores massas.

Tabela 19 - Configuração dos 10 arranjos estruturais que apresentam as menores massas.

ID	Posição das Anteparas [m]	Posição das Cavernas [m]	Número de Escoas	Número de Longarinas	Massa Estrutural [kg]
4792	1; 3; 5,4	0,57; 2,6; 4,05	0	2	436,73
4999	1; 3; 5,4	0,57; 2,6; 4,06	0	2	436,75
4847	1; 3; 5,4	0,57; 2,57; 4	0	2	436,86
4985	1; 3; 5,4	0,56; 2,57; 4	0	2	436,88
4980	1; 3; 5,4	0,56; 2,56; 4	0	2	436,89
4480	1; 3; 5,4	0,56; 2,56; 4	0	2	436,89
4937	1; 3; 5,4	0,56; 2,56; 4	0	2	436,89
4973	1; 3; 5,4	0,56; 2,56; 4	0	2	436,89
4763	1; 3; 5,4	0,56; 2,56; 4	0	2	436,89
4927	1; 3; 5,4	0,56; 2,56; 4	0	2	436,89

Fonte: Autor (2017).

Tabela 20 - Espessura dos laminados do projeto estrutural ótimo.

Painel	Posição [m]	Fundo [mm]	Costado [mm]
1	0,00	5,75	3,00
2	0,57	5,25	3,00
3	1,00	7,14	3,00
4	2,60	5,53	3,00
5	3,00	7,83	3,00
6	4,05	7,24	3,00
7	5,40	2,87	3,00

Fonte: Autor (2017).

Tabela 21 - Dimensões dos reforçadores transversais do projeto estrutural ótimo.

Cavernas (Popa - Proa)	Largura da Chapa Colaborante	Dimensões do Reforçador			Módulo de Seção	
	b_{eff}	Altura	Largura	Espessura	Requerido	Calculado
	[m]	h [m]	b [m]	t [m]	[m ³]	[m ³]
6	0,128	0,07	0,042	0,02	4,34E-05	2,18E-04
5		Antepara a Ré da Praça de Máquinas				
4	0,085	0,07	0,042	0,02	1,09E-04	2,18E-04
3		Antepara Avante da Praça de Máquinas				
2	0,082	0,07	0,042	0,02	1,70E-04	2,18E-04
1		Antepara de Colisão da Proa				

Fonte: Autor (2017).

Tabela 22 - Dimensões dos reforçadores longitudinais do projeto estrutural ótimo.

Painél	Largura da Chapa Colaborante	Dimensões do Reforçador			Módulo de Seção	
	b_{eff} [m]	Altura h [m]	Largura b [m]	Espessura t [m]	Requerido [m ³]	Calculado [m ³]
1	0,364	0,07	0,042	0,02	6,20E-05	2,18E-04
2	0,330	0,07	0,042	0,02	6,47E-05	2,18E-04
3	0,369	0,07	0,042	0,02	7,17E-05	2,18E-04
4	0,315	0,07	0,042	0,02	8,56E-05	2,18E-04
5	0,376	0,07	0,042	0,02	9,37E-05	2,18E-04
6	0,373	0,07	0,042	0,02	6,98E-05	2,18E-04
7	0,252	0,07	0,042	0,02	1,57E-05	2,18E-04

Fonte: Autor (2017).

4.6. Resumo das Características

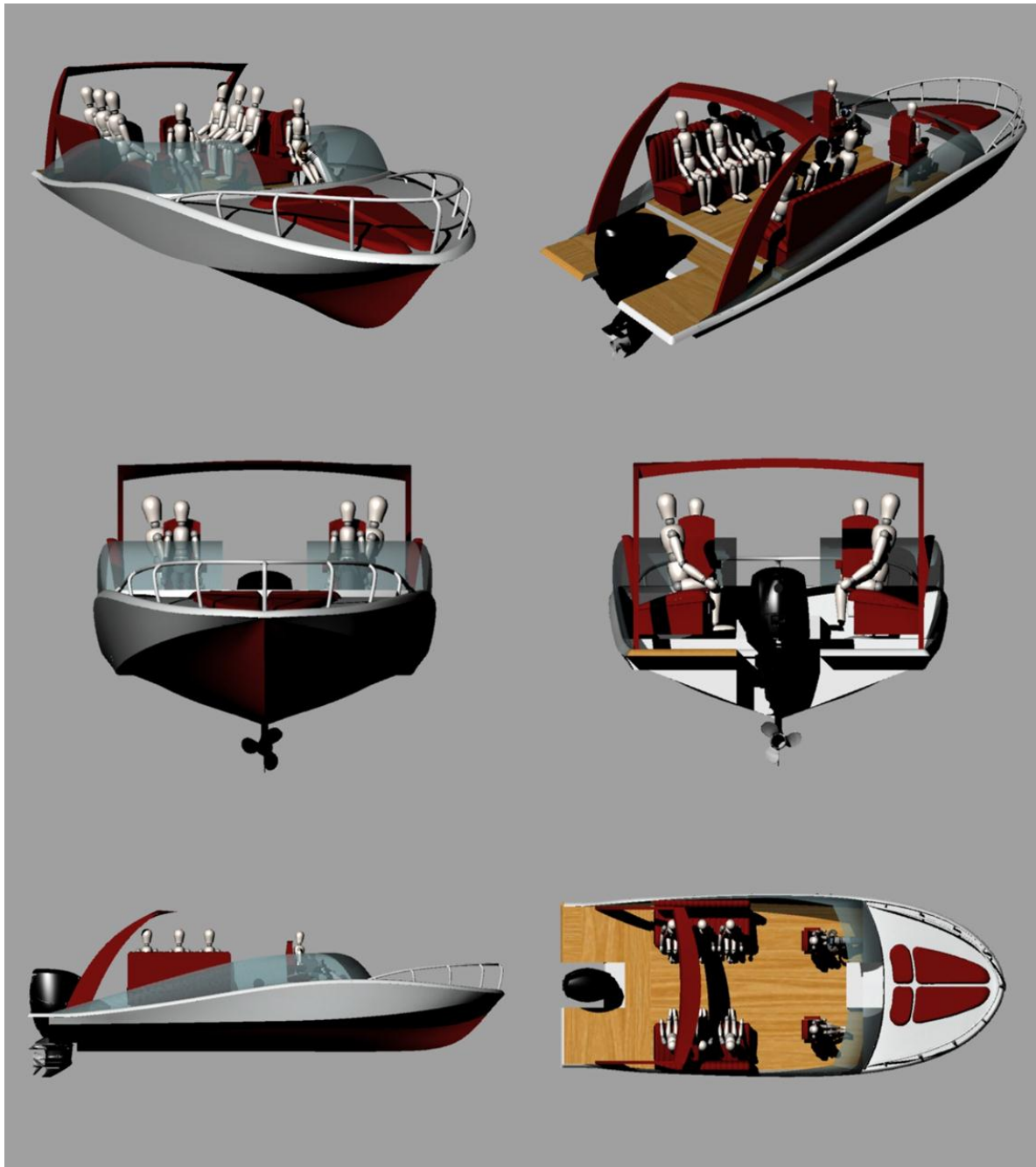
Nesta seção é apresentada, de forma resumida, as principais características da embarcação após o término da segunda iteração na espiral de projeto e o modelamento 3D final.

Tabela 23 - Resumo das características da embarcação.

Dimensões Principais	Coefficientes de Forma	Centros	Estabilidade		Pesos
L_{OA} : 6,40 [m]	C_B : 0,43 C_P : 0,78 C_M : 0,56 C_{WP} : 0,85	KG : 0,91 [m]	Dinâmica: Estável		W_{100} : 0,44 [t]
L_{WL} : 5,72 [m]		LCG : 2,32 [m]			W_{250} : 0,29 [t]
L_H : 6,10 [m]		KB : 0,30 [m]	Estática		W_{300} : 0,04 [t]
B : 2,39 [m]		LCB : 2,36 [m]	Ângulo de Alagamento	15 [graus]	W_{400} : 0,03 [t]
B_X : 2,12 [m]		LCF : 2,49 [m]	Ângulo de Emborcamento	49 [graus]	W_{500} : 0,09 [t]
T : 0,45 [m]		BM : 1,46 [m]			W_{600} : 0,43 [t]
D : 0,90 [m]		GM : 0,85 [m]			W_P : 0,56 [t]
β : 21,00 [graus]		TCG : 0,00 [m]			W_C : 0,14 [t]
β_{LCB} : 23,10 [graus]			Motorização		W_A : 0,02 [t]
Δ : 2,12 [t]			200 [HP]		W_L : 0,09 [t]
∇ : 2,07 [m ³]					

Fonte: Autor (2017).

Figura 46 - Modelamento 3D final da embarcação.



Fonte: Autor (2017).

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um procedimento para a elaboração do projeto preliminar de uma embarcação de recreio de alta velocidade de 21 pés.

O trabalho iniciou com a discussão dos requisitos do projeto. A seguir, em cada uma das seções, foram descritas as metodologias utilizadas para a determinação dos atributos avaliados neste projeto. Realizou-se, também, uma otimização estrutural com o objetivo de diminuir a massa do casco da embarcação. Para tal finalidade, foram utilizados os algoritmos Sobol e NSGA-II.

As primeiras etapas do projeto de uma embarcação, independentemente do tipo, são baseadas em modelos descritos na literatura e construídos a partir da análise de embarcações semelhantes. Tais estudos são, em sua grande maioria, de natureza empírica. Porém, para embarcações de planeio de pequeno porte, há uma grande escassez deste tipo de bibliografia, devido ao baixo valor agregado deste tipo de embarcação, quando comparado aos navios mercantes de grande porte.

Para a determinação das dimensões principais, relatou-se que alguns destes parâmetros, como por exemplo a boca e o calado, seguem uma certa tendência, a qual, normalmente, pode ser associada ao comprimento total da embarcação. Tais tendências estão apresentadas no APÊNDICE A.

Já os demais parâmetros, como por exemplo o pontal e a boca na linha d'água, são dados bastantes restritos pelos fabricantes deste tipo de embarcação. Devido a esta limitação de dados, não foi possível elaborar um estudo para verificar se estes parâmetros seguem algum tipo de tendência. Outra dificuldade encontrada, na determinação das dimensões principais, foi a inviabilidade de obter um conjunto de dimensões que atendam, de forma ótima, todos os requisitos de performance. Um exemplo disto é a relação direta existente entre o centro de gravidade da embarcação, a estabilidade dinâmica e a resistência ao avanço. O LCG da embarcação é posicionado de tal modo que proporcione uma boa estabilidade dinâmica a mesma. Porém, ao fazer isto, abre-se mão, de certa forma, de buscar uma resistência ao avanço ótima, visto que este requisito de performance também depende do LCG.

Em relação aos coeficientes de forma da embarcação, ocorreu uma certa dificuldade para a determinação dos mesmos. O primeiro problema encontrado é que tais dados não são fornecidos pelos fabricantes das embarcações. Estes coeficientes, quando relacionados a embarcações de pequeno porte, são instáveis, pois os mesmos variam constantemente devido a variação do peso morto a bordo. Devido a estas e outras dificuldades encontradas nesta etapa do projeto, ocorreu uma variação significativa entre os coeficientes de forma obtidos entre as duas iterações realizadas neste trabalho.

Na obtenção da estimativa das parcelas de pesos, notou-se algumas incoerências na metodologia de Grubisic e Begovic (2012), a qual foi utilizada neste trabalho. Entre estas inconsistências, a mais significativa foi a parcela de peso referente ao *outfit* presente na embarcação. Esta grandeza correspondeu a 18% do peso total da embarcação, sendo este um resultado muito elevado.

Em relação a obtenção da estimativa dos centros da embarcação, a metodologia proposta por Begovic (1998 apud GRUBISIC e BEGOVIC, 2012) provou ser bastante eficaz para esta finalidade. Os resultados obtidos através desta metodologia foram bastante próximos aos observados no modelo CAD da embarcação.

Finalizada a definição do casco, foi realizada uma análise referente a curva de estabilidade transversal da embarcação. Relatou-se, através desta curva, que a embarcação apresenta um ângulo de emborcamento de aproximadamente 49° e um ângulo de alagamento de 15°. Esta baixa estabilidade transversal já era esperada, pois, não é típico de embarcações com casco em formato em “V” apresentar uma elevada estabilidade transversal (LARSSON; ELIASSON, 2000).

Para a determinação da resistência ao avanço da embarcação, foi necessário levar em consideração as três parcelas de arrasto mais significativas que atuam sobre a mesma, sendo estas compostas pelo arrasto do casco nu, pelo arrasto dos apêndices e a uma parcela de arrasto denominada como *whisker spray*. Esta última não foi abordada neste trabalho, porém, para maiores detalhes, pode-se consultar o trabalho de Savitsky, DeLorme e Datla (2007). Notou-se que a posição do LCG da embarcação afeta diretamente a sua resistência ao avanço. Então, devido a isto, buscou-se posicionar o LCG da embarcação de tal modo que satisfizesse os critérios de estabilidade dinâmica e, simultaneamente, que apresentasse a menor resistência ao avanço possível.

Uma certa dificuldade ocorreu na etapa da integração casco-hélice-motor da embarcação. O principal motivo para tal, foi a escassez de informações necessárias para este

propósito. Os trabalhos presentes na literatura que apresentam uma metodologia com esta finalidade, são bastante restritos e, devido a isto, o autor deste trabalho não conseguiu acesso a nenhuma destas referências. Também não foi possível encontrar as informações referentes as taxas de perdas de eficiências do sistema propulsivo. E por último, vale relatar que também não foi possível encontrar nenhum gráfico referente as regiões de operações dos motores de popa utilizados neste tipo de embarcação. Assim essa etapa foi realizada com o auxílio de uma ferramenta online disponibilizada pelo fabricante escolhido.

O posicionamento do centro de gravidade da embarcação também apresenta uma forte relação com a estabilidade dinâmica. Então, é necessário posicioná-lo de tal maneira que a embarcação apresente, simultaneamente, uma boa estabilidade dinâmica longitudinal, um leve ângulo de trim de popa e uma baixa resistência ao avanço. Este trim de popa é desejado em embarcações com formato de casco em “V”, pois, com esta angulação, a embarcação entra no seu regime de planeio mais rapidamente.

Na elaboração da topologia estrutural da embarcação, relatou-se uma variação significativa da massa do seu casco, quando comparados diferentes configurações de arranjos estruturais. Os projetos que apresentaram as menores massas, foram os que exibiram o menor número de reforçadores transversais e longitudinais, que, conseqüentemente, acarretaram no aumento do tamanho dos painéis estruturais. Outro fator que implica bastante no peso do casco da embarcação, é o tipo de técnica de laminação utilizada na fabricação do casco.

Por último, realizou-se uma otimização no projeto estrutural da embarcação. Esta otimização teve como objetivo reduzir a massa do casco. Para tal, utilizou-se os algoritmos Sobol e NSGA-II presentes no software *ModeFrontier*. Esta otimização acarretou numa redução de massa de aproximadamente 19,3%, quando comparado com a estimativa realizada através do trabalho Grubisic e Begovic (2012).

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se realizar mais algumas iterações no processo de projeto realizado neste trabalho. Tais iterações são necessárias, pois, com a diminuição da massa do casco da embarcação, através do processo de otimização, alterou-se, também, algumas de suas características. Tais alterações afetam, diretamente, à resistência ao avanço, à estabilidade dinâmica, à estabilidade transversal, entre outros tópicos abordados neste trabalho.

Além disso, recomenda-se que seja feita uma análise referente a estabilidade dinâmica transversal da embarcação. Lewandowski (1996) aborda este tema com maiores detalhes em seu trabalho. O estudo realizado por este autor levou em consideração as embarcações que

apresentam um formato de casco em “V”, que podem apresentar oscilações no seu ângulo de *roll*, devido as diferenças de pressões presentes em ambos os bordos.

Uma segunda otimização interessante que pode ser realizada neste trabalho, é referente ao posicionamento do centro de gravidade. Tal otimização teria como objetivo alocar o LCG da embarcação de tal modo que a sua distribuição do seu peso acarrete na menor resistência ao avanço possível. Porém, vale ressaltar, que o posicionamento do LCG, também, deve garantir a estabilidade dinâmica da embarcação.

No projeto de embarcações, há algumas simulações computacionais que são interessantes de serem realizadas. Entre estas, estão as simulações referentes a hidrodinâmica do casco da embarcação, a qual tem como objetivo estudar o efeito do fluido sobre o seu casco; as simulações referentes aos esforços mecânicos que atuam sobre o casco da embarcação, avalia as regiões do casco que estão sendo mais solicitadas, assim, permitindo analisar se há ou não a necessidade do emprego de algum tipo de reforço naquela região; além das simulações citadas anteriormente, há mais algumas simulações interessantes que podem ser realizadas, como, por exemplo, simulações referentes a estabilidade da embarcação, redução de massa, entre outras.

Em um projeto de uma embarcação, há uma vasta possibilidade de trabalhos futuros que podem ser realizados. Cabe aos interessados se aprofundarem em algum dos tópicos abordados no projeto e verificar as possibilidades de melhorias e estudos que podem ser realizados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Janaína Ribas de. **Otimização Do Projeto Estrutural De Embarcações De Alta Velocidade Produzidas Em Material Compósito**. 2016. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Engenharia Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 23., 2010, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: IPEN, 2010.

BECKER, Chris (Ed.). **Want to Know How a Boat Will Perform?** 2011. Disponível em: <<http://www.boatus.com/seaworthy/magazine/2011/april/perform.asp>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

BEGOVIC, Ermina. **Hydromechanical Module in the Multi-Criteria Design Model of Fast Ships**. 1998. 1 v. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura Naval, Engenharia Mecânica, University Of Zagreb, Zagreb, 1998.

BLOUNT, D. L.; FOX, D. L. Small-Craft Power Prediction. **Marine Technology**, 13, 1976.

CATUCCI, A. **SC reúne mercado milionário de iates de luxo e estaleiros internacionais: Iates de SC podem passar de R\$ 20 milhões pendendo da customização. 'Mercado náutico brasileiro vem evoluindo', diz CEO de marca italiana**. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/sc-que-da-certo/noticia/2016/08/sc-reune-mercado-milionario-de-iates-de-luxo-e-estaleiros-internacionais.html>>. Acesso em: 27.ago.2016.

CELANO, T. The Prediction of Porpoising Inception for Modern Planing Craft. **SNAME Transactions**, Vol. 106, 1998.

CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 24., 2012, Rio de Janeiro. **Procedimento de otimização aplicado ao projeto de embarcações de planeio**. Rio de Janeiro: 2012. 15 p.

DET NORSKE VERITAS (DNV). **Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft**. 2012. Disponível em: <<https://rules.dnvgl.com/servicedocuments/dnv>>. Acesso em: 04.abr.2017.

EVANS, J. H. Basic design concepts. **Journal of the American Society for Naval Engineers**, v. 71, n. 4, p. 671-678, 1959.

Farah, M. A. **Petróleo e seus derivados**. LTC, 2012.

FELICIANO NETO, Acácio, FURLAN, José Davi e HIGA, Wilson. **Engenharia da informação: metodologia, técnicas e ferramentas**. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

GRUBISIC, I. Realiability of Weight Prediction in the Small Craft Concept Design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH-PERFORMANCE MARINE VEHICLES, 6., 2009, Naples. **Proceedings... .** Naples: Comitato Organizzatore Hiper 08, 2009. p. 215 - 226. Disponível em: <http://data.hiper-conf.info/Hiper2008_Naples.pdf>. Acesso em: 06.mar.2017.

GRUBISIC I.; BEGOVIC E., SUSTAINABLE MARITIME TRANSPORTATION AND EXPLOITATION OF SEA RESOURCES, 2012, Londres. **Reliability of attribute prediction in small craft concept design**. Londres: Rizzuto & Guedes, 2012. 10 p.

Hadler, J. B. e Hubble, E. Nadine.. **Prediction of the Power Performance of the Series 62 Planing Hull Forms**. *SNAME Transactions*. 1971, Vol. 79.

Hadler, J. B.. **The Prediction of Power Performance on Planing Craft**. *Trans. SNAME*. 1966, Vol. 74.

LAMB, T et al. **Ship Design and Construction**. 2. ed. United States of America: Sheridan Books, 2003.

LARSSON, Lars; ELIASSON, Rolf (Ed.). **Principles of Yacht Design**. 2. ed. International Marine, 2000. 352 p.

LEWANDOWSKI, E. M. *Maneuverability of High-Speed Power Boats*. Power Boat Symposium, SNAME 1993.

LLOYD'S REGISTER GROUP LIMITED. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Londres: Lloyd's Register Group Limited Registered Office, 2016. 1112 p.

NAKANISHI, H. C.; ANDRADE, B. L. R.; TANCREDI, T. P.; PALHARES, F. L. Procedimento de otimização aplicado ao projeto de embarcações de planeio. **in: SOBENA 2012 – 24º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore**, Rio de Janeiro, 2012.

NASSEH, J. **Barcos: Métodos Avançados de Construção em Composites**. [s.n.] Rio de Janeiro: Divisão de Engenharia e Marketing da empresa Barracuda Advanced Composites, 2007.

NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA. **NORMAM 01/DPC**: Normas da autoridade marinha para embarcações empregadas na navegação em mar aberto. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2005. 565 p.

Savitsky, D.; Delorme, M. F. e Datla, R. **Inclusion of Whisker Spray Drag in Performance Prediction Method for High-Speed Planing Hulls**. *Marine Technology*, 44, 2007.

Savitsky, D. e Brown, P. W. **Procedures for Hydrodynamic Evaluation of Planing Hulls in Smooth and Rough Water**. *Marine Technology*, 13, 1976.

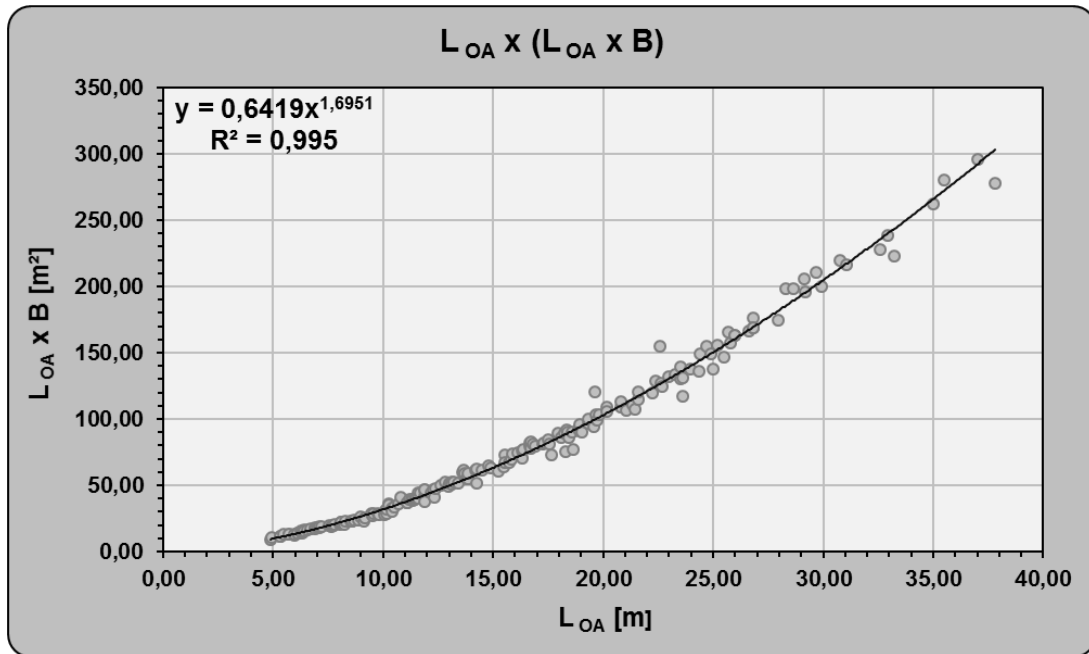
Savitsky, D. **Hydrodynamic Design of Planing Hulls**. *Marine Technology*, 1964.

SIMÕES, F. A. C.; ANDRADE, B. L. R. Modelo de Síntese e Otimização para o Projeto Preliminar de Embarcações de Planeio. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 23., 2010, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro: IPEN, 2010.

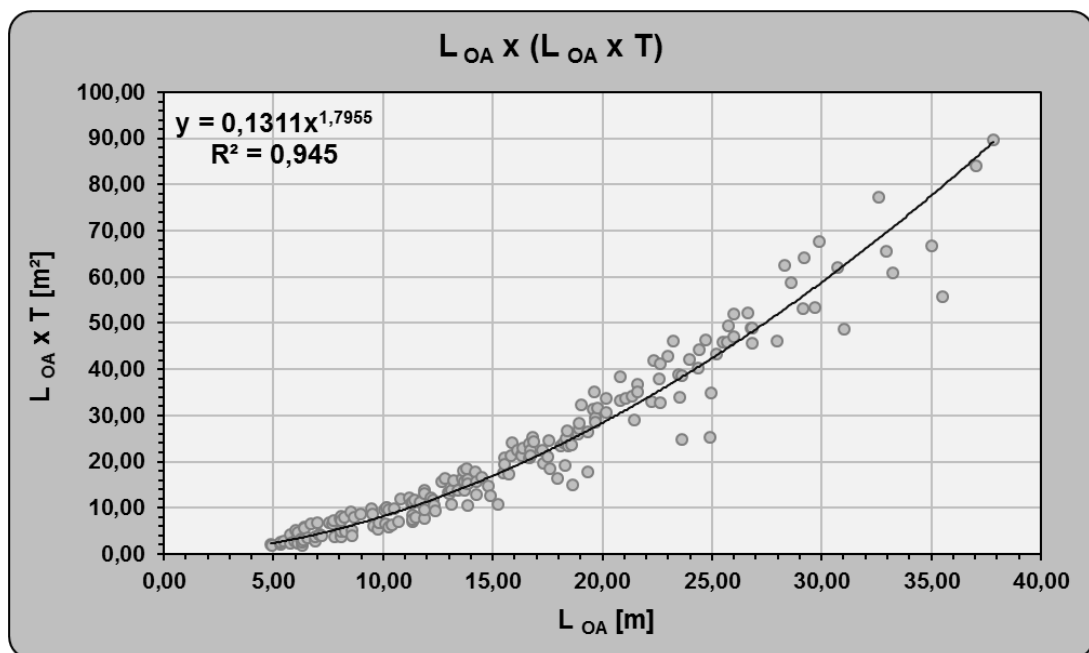
VICTOR MACIEL. **Saiba qual é a quantidade de água recomendada para evitar a desidratação.** 2015. Disponível em: <<http://www.blog.saude.gov.br/index.php/35272-saiba-qual-e-a-quantidade-de-agua-recomendada-para-evitar-a-desidracao>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

WHITLEY, D. A Genetic Algorithm tutorial. **Statistics and Computing**. Fort Collins, p. 65-85. 1984. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00175354>>. Acesso em: 05.mai.2017.

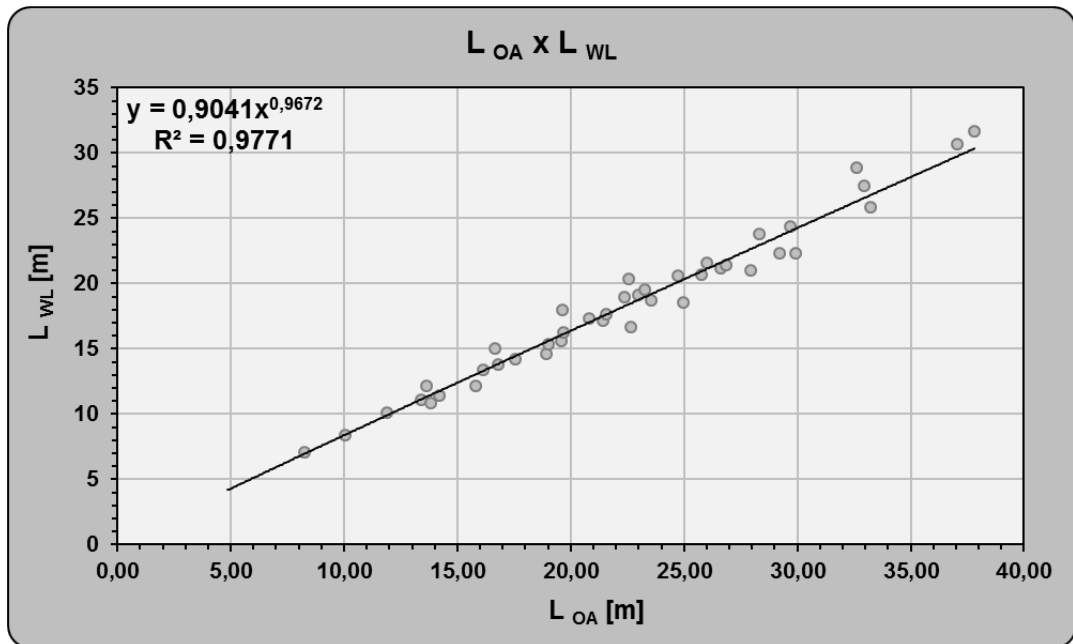
APÊNDICE A – Principais regressões obtidas do banco de dados.

Figura A 1: Relação entre L_{OA} e B.

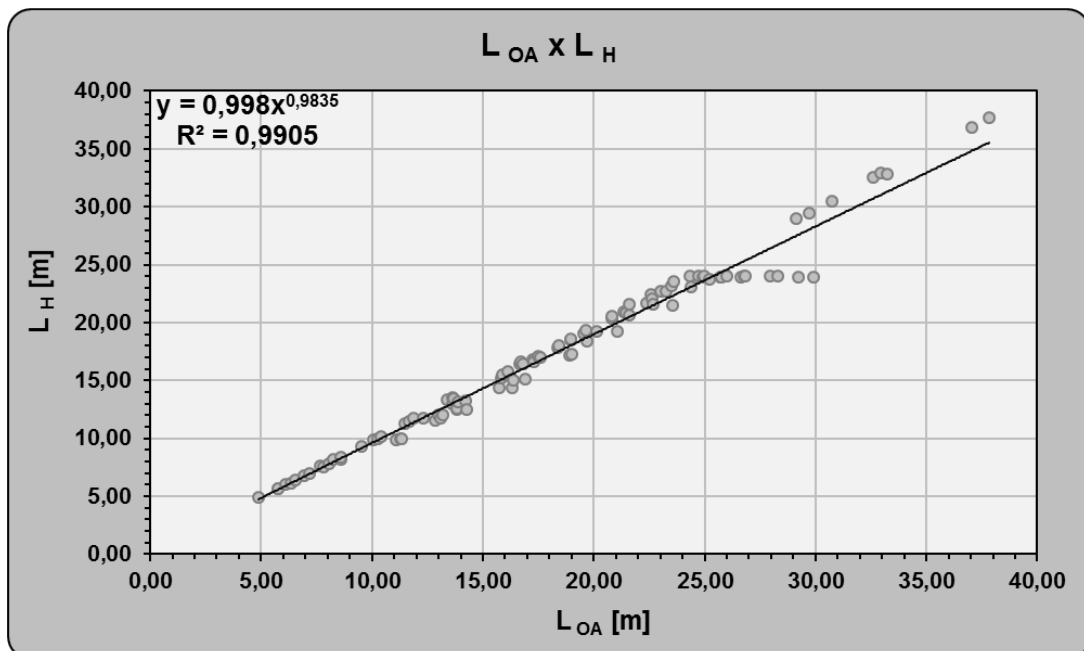
Fonte: Autor (2017).

Figura A 2 - Relação entre L_{OA} e T.

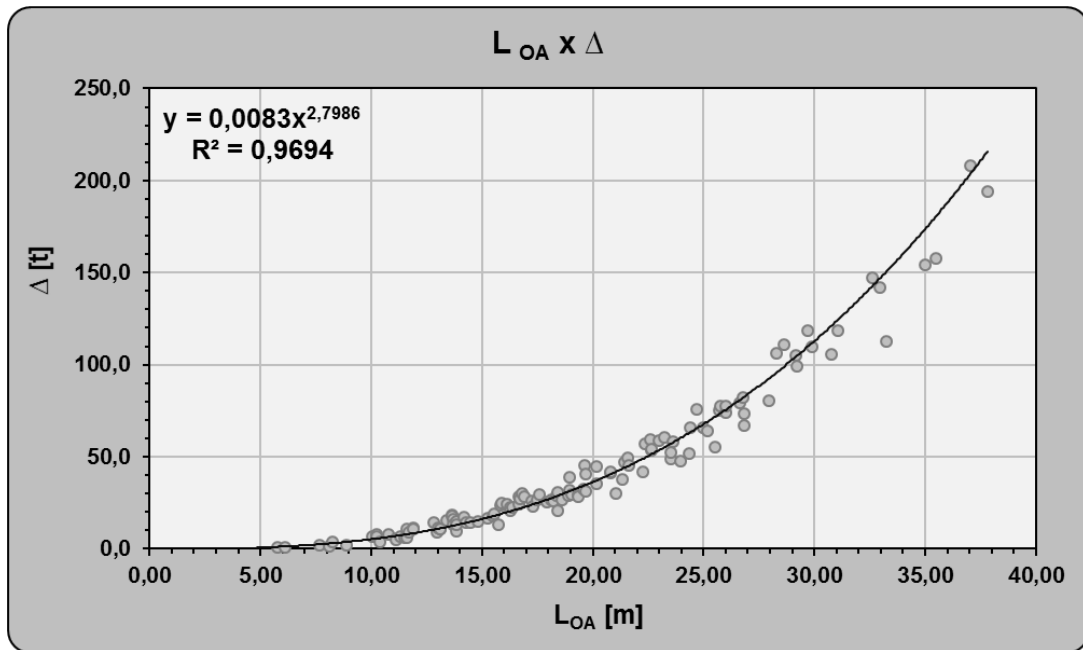
Fonte: Autor (2017).

Figura A 3 - Relação entre L_{OA} e L_{WL} .

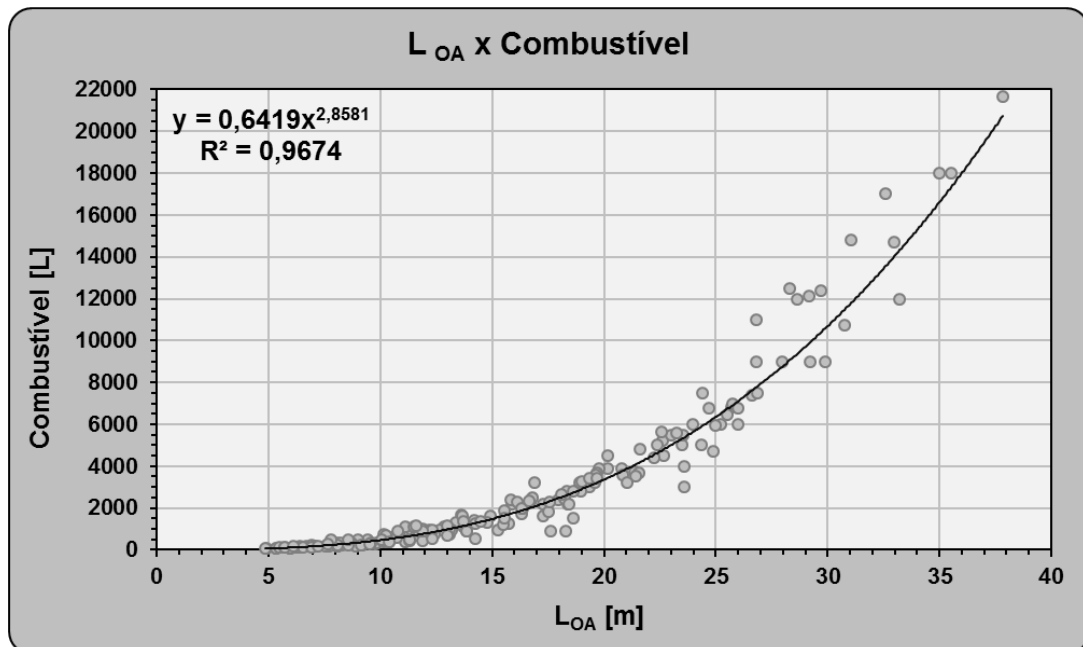
Fonte: Autor (2017).

Figura A 4 - Relação entre L_{OA} e L_H .

Fonte: Autor (2017).

Figura A 5 - Relação entre L_{OA} e o deslocamento.

Fonte: Autor (2017).

Figura A 6 - Relação entre L_{OA} e a capacidade de combustível.

Fonte: Autor (2017).

ANEXO A – Estimativa simplificada da massa da embarcação.


Quadro A 1 - Equacionamento para cálculo da massa dos elementos estruturais.

Elemento estrutural	Cálculo da massa
Painel do fundo	$(\text{Largura} \times \text{comprimento} \times \text{espessura})_{\text{painel}} \times \text{massa específica}_{\text{laminado}}$
Laminado do painel do costado	$(\text{espessura interna} + \text{espessura externa})_{\text{laminado}} \times (\text{altura} \times \text{comprimento})_{\text{painel}} \times \text{massa específica}_{\text{laminado}}$
Núcleo do painel do costado	$\text{espessura}_{\text{núcleo}} \times (\text{altura} \times \text{comprimento})_{\text{painel}} \times \text{massa específica}_{\text{núcleo}}$
Caverna	$(2 \times \text{altura} \times \text{espessura} + \text{largura} \times \text{espessura})_{\text{caverna}} \times (\text{altura}_{\text{costado}} + B/\cos\beta) \times \text{massa específica}_{\text{laminado}}$
Reforçador longitudinal por painel	$(2 \times \text{altura} \times \text{espessura} + \text{largura} \times \text{espessura})_{\text{ref.long}} \times \text{comprimento}_{\text{painel}} \times \text{massa específica}_{\text{laminado}}$
Núcleo reforçador por painel da praça de máquinas	$(\text{altura} \times \text{largura})_{\text{núcleo}} \times \text{comprimento}_{\text{painel}} \times \text{massa específica}_{\text{núcleo}}$

Fonte: Amaral (2016).

ANEXO B – Informações referentes ao motor da embarcação.

Figura B 1 - Catálogo do motor utilizado na embarcação.

F200 / FL200 CETX 	
Tipo de motor	
Altura da rabeta (mn/pol)	S: S: -
Altura da rabeta (mn/pol)	L: L: -
Altura da rabeta (mn/pol)	X: X: 643/25,3
Peso (Kg)	S: S: -
Peso (Kg)	L: L: -
Peso (Kg)	X: X: 269
Nº de cilindros	60° V6
Capacidade volumétrica	3352
Potência (Kw/Hp)	147.1/200
Faixa máxima de rotação (rpm)	5000/6000
Taxa de compressão	9.9
Sistema de indução de combustível	EFI
Tipo de Comando	
Sistema de indução de ar	DOHC
Ignição	Micro computador TCI
Sistema de operação	Caixa de comando
Lubrificação	Cárter úmido
Sistema de Partida	Elétrico
Sistema de inclinação	PTT
Navegação em águas de pouca profundidade	STD
Alternador	45A
Retificador com regulagem de voltagem	STD
Proteção partida engatada	Na caixa de comando
Sensor de temperatura	STD
Proteção de rotação excessiva	STD
Velocímetro	Digital multifunção
Tacômetro	Digital multifunção
Indicador de Power Trim	No tacômetro digital
Hélice	Aço inoxidável
Consumo Máximo	62.4 l/h - 5500rpm
Tanque de gasolina (1)	-
Cilindrada	
Corrente do alternador na mínima rotação	
Sistema de injeção de combustível	
Sistema de ignição	
Relação da transmissão	
Peso seco com rabeta mais curta	

Fonte: Yamaha, (Acesso em 01/jun/2017).

Disponível em: <<http://www.yamaha-nautica.com.br/Produto/MotorDePopa/Galeria/F200---FL200-CETX>>

Figura B 2 – Foto do motor utilizado na embarcação.



Fonte: Yamaha, (Acesso em 01/jun/2017).

Disponível em: <<http://www.yamaha-nautica.com.br/Produto/MotorDePopa/Galeria/F200---FL200-CETX>>

ANEXO C – Propulsores

Figura C 1 - Propulsores recomendados pelo seletor de helices da Mercury.



Fonte: Mercury, (Acesso em 01/jun/2017).

Disponível em: < <https://www.mercurymarine.com/pt/br/#propellers-nav>>.