

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

SERGIO ROBERTO DALHA VALHE FILHO

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA EMBARCAÇÃO DE 25 PÉS COM
ABORDAGEM DE CONVÉS MODULAR PARA PESCA E RECREIO**

Joinville

2018

SERGIO ROBERTO DALHA VALHE FILHO

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA EMBARCAÇÃO DE 25 PÉS COM
ABORDAGEM DE CONVÉS MODULAR PARA PESCA E RECREIO**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Naval do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto

Joinville

2018

SERGIO ROBERTO DALHA VALHE FILHO

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA EMBARCAÇÃO DE 25 PÉS COM
ABORDAGEM DE CONVÉS MODULAR PARA PESCA E RECREIO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville, 05 de julho de 2018.

Banca Examinadora:

Dr. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto
Orientador

Prof. Luiz Eduardo Bueno Minioli
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Thiago Pontin Tancredi
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais Sergio Roberto e Maura por todo suporte, motivação e educação que me fez capaz de completar mais um ciclo da minha vida.

A minha irmã Milla, que esteve ao meu lado todo o tempo, mesmo distante, me deu força sempre que precisei.

A toda minha família, pelo apoio que me foi concedido ao longo da vida.

A minha namorada Samantha, que esteve presente praticamente todos os anos da minha graduação, por toda força, carinho e motivação.

Ao amigo da família, Esteves, engenheiro naval responsável por me apresentar o curso por qual me apaixonei, que sempre foi solícito para me ajudar em todas as dúvidas e incertezas que tive durante os 6 anos da minha formação acadêmica.

Aos meus amigos Chrystian, Diogo, Douglas, Eric, Elie, Glauber, Richard, Renan e Thálita que iniciaram essa caminhada junto a mim e os quais tive o prazer de viver os melhores dias da minha vida.

Aos meus amigos de infância, Arthur, Caio, Lucas, Kaue, Henrique, Mathias e Zé, que mesmo distantes esses anos, nunca mediram esforços para manter nossa amizade, por todas as risadas e momentos inesquecíveis que tivemos.

A toda família Zika, amizades que fiz e estarão nas minhas melhores lembranças, independente do rumo que cada um tome, fazem parte dessa minha conquista.

Ao professor orientador da minha tese, Ricardo, por compartilhar seu conhecimento e experiência do setor náutico, sempre foi solícito e me ajudou muito, principalmente nessa última etapa da graduação.

A todos os professores do CTJ, que foram responsáveis por tudo que adquiri intelectualmente durante o curso.

Ao estaleiro Bersan, que abriu as portas para que eu iniciasse minha carreira profissional e pela confiança que depositaram em mim para desenvolver o conhecimento adquirido.

RESUMO

O setor náutico constitui um mercado altamente competitivo. O aumento do acesso à informação permitiu que clientes e consumidores se tornassem mais críticos, exigindo produtos inovadores e diferenciados. Visando expandir a linha de produtos de um estaleiro e a redução dos custos de fabricação, o presente trabalho desenvolveu o projeto conceitual de uma embarcação de planeio de 25 pés. Utilizando o mesmo casco, o objetivo é tornar viável a aplicação do conceito de modularidade para criar uma arquitetura de convés adaptável para pesca e recreio. As especificações de projeto foram obtidas junto ao estaleiro, retiradas de uma embarcação de sua linha de produção, para que fosse possível a avaliação e verificação dos atributos de projeto, os quais tiveram a sequência de apresentação no trabalho estabelecida pela Matriz de Influência. Os atributos foram desenvolvidos baseando-se em normas, artigos e fontes literárias. Ao final do estudo, foi possível atender-se aos requisitos do armador, entretanto como se trata de etapa conceitual de projeto, outras etapas serão necessárias para garantir a viabilidade econômica e de desempenho geral das embarcações.

Palavras-chave: Projeto Conceitual. Embarcação de planeio. Modularidade.

ABSTRACT

The nautical sector constitutes a highly competitive market. The increase in the access to information has allowed clients and consumers to become more critical, demanding innovative and differentiated products. With the goal of expanding the product line of a shipyard and the reduction of fabrication costs, this work developed the conceptual project of a 25-foot high-speed powerboat. By using the same hull, the goal is to make viable the application of the modularity concept in order to create a deck architecture that is adaptable to fishing and leisure. The project specifications were obtained with the shipyard, taken from a powerboat of its production line, to enable the evaluation and verification of the project attributes, which had the work presentation sequence established by the Influence Matrix. The attributes were developed based on norms, articles, and literary sources. At the end of the study, it was possible to meet the amateur requirements, however, since it is the conceptual stage of the project, other stages will be necessary to ensure the economic viability and overall performance of the powerboats.

Keywords: Conceptual Project. High-Speed Powerboat. Modularity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A) <i>Hard chine</i> B) <i>Reverse chine</i> C) <i>Soft chine</i>	23
Figura 2 – Elementos do casco das embarcações de projeto	24
Figura 3 – Decomposição das forças que atuam numa embarcação de planeio.	27
Figura 4 – Espiral de Evans para as embarcações de projeto.	36
Figura 5 – A) Vista superior B) Vista lateral C) Vista frontal e D) Vista em perspectiva.	40
Figura 6 – Interfaces que compõem parte dos conveses.	41
Figura 7 – Módulos padrões que compõem a arquitetura dos conveses.	43
Figura 8 – Apresentação das interfaces que compõem a arquitetura do convés da embarcação de recreio.....	44
Figura 9 – Modelagem final do convés da embarcação de recreio vista pela popa. .	45
Figura 10 – Motor Mercury Diesel 320 HP com rabeta Bravo 3.	46
Figura 11 – Distribuição dos pesos na condição máxima de operação para embarcação de recreio.....	47
Figura 12 – Modelagem e posicionamento dos tanques de combustível e de água na embarcação.....	49
Figura 13 - Gráfico da resistência ao avanço para embarcação de recreio.	51
Figura 14 - Gráfico da potência total para embarcação de recreio.....	52
Figura 15 - Gráfico do ângulo de trim dinâmico da embarcação de recreio.	52
Figura 16 - Gráfico para verificação da ocorrência de <i>porpoising</i> para embarcação de recreio.	53
Figura 17 – Quilha (vermelho), Fundo (azul), <i>Lower topside</i> (verde), <i>Upper topside</i> (roxo), Convés (Cinza).	55
Figura 18 – Arranjo do dimensionamento dos reforçadores do casco.	62
Figura 19 – Arranjo dos reforçadores do convés.....	63
Figura 20 – Representação da posição da abertura dos pontos de alagamento.	66
Figura 21 - Curvas dos braços de momento para condição de carga LC1.....	70
Figura 22 - Curvas dos braços de momento para condição de carga LC2.....	71
Figura 23 – Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para condição de carregamento mínima da embarcação de recreio.....	72
Figura 24 -Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para a condição de carregamento de chegada da embarcação de recreio.....	73

Figura 25 – Apresentação das interfaces que compõem o projeto final do convés da embarcação de pesca	74
Figura 26 – Modelagem final da arquitetura do convés com os módulos para a embarcação de pesca vista pela popa.	75
Figura 27 – Distribuição dos pesos para condição de carregamento máximo da embarcação de pesca	77
Figura 28 - Gráfico da potência total pela velocidade da embarcação de pesca.	79
Figura 29 - Gráfico da resistência ao avanço total pela velocidade da embarcação de pesca.....	80
Figura 30 - Gráfico do ângulo de trim dinâmico pela velocidade da embarcação de pesca.....	80
Figura 31 - Gráfico do ângulo de trim crítico para <i>porpoing</i> pelo ângulo de trim dinâmico obtido.....	81
Figura 32 - Sobreposição dos gráficos de braço de restauração e emborcamento devido ao deslocamento de carga para condição LC1 da embarcação de pesca.....	86
Figura 33 - Sobreposição dos gráficos de braço de restauração e emborcamento devido ao deslocamento de carga para condição LC2 da embarcação de pesca.....	86
Figura 34 – Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para condição de carregamento mínima da embarcação de pesca	87
Figura 35 – Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para condição de carregamento de chegada da embarcação de pesca	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de Influência.	35
Tabela 2 – Metodologia de projeto.	37
Tabela 3 – Dimensões principais das embarcações de projeto.	39
Tabela 4 - Especificações do motor utilizado.	46
Tabela 5 – Resultado das avaliações dos pesos da embarcação de recreio.	47
Tabela 6 – Posição dos centros de gravidade dos pesos da embarcação de recreio.	49
Tabela 7 – Parâmetros da embarcação de recreio em equilíbrio na condição máxima de operação	50
Tabela 8 – Resultado da análise da resistência ao avanço para embarcação de recreio.	51
Tabela 9 – Diferença percentual do comprimento total pelo de linha d’água da embarcação de recreio.....	54
Tabela 10 – Diferença percentual da boca total pela de linha d’água da embarcação de recreio.	54
Tabela 11 – Espessura mínima do laminado para cada região da embarcação.	57
Tabela 12 – Plano de laminação da embarcação de recreio.....	59
Tabela 13 – Dimensões e espessura de laminação das longarinas do casco e convés.	61
Tabela 14 – Plano de laminação dos reforçadores longitudinais do casco e convés.	61
Tabela 15 – Condição de carregamento mínimo para embarcação de recreio.	65
Tabela 16 – Condição de carregamento máximo da embarcação de recreio.	65
Tabela 17 – Condição de carregamento de chegada da embarcação de recreio.	65
Tabela 18 – Coordenadas dos pontos de alagamento da entrada ar.....	67
Tabela 19 – Margem com relação à altura do ponto de alagamento de projeto e requerido.	68
Tabela 20 – Condição de carregamento LC1 para embarcação de recreio	69
Tabela 21 – Condição de carregamento LC2 para embarcação de recreio.	69
Tabela 22 – Margem entre o ângulo de banda permanente e requerido das condições de carregamento LC1 e LC2 da embarcação de recreio	71

Tabela 23 – Estimativa dos das parcelas de pesos referente a embarcação de pesca.	76
Tabela 24 – Posição dos centros de gravidade da embarcação de pesca.....	78
Tabela 25 – Parâmetros da embarcação de pesca referente a condição máxima de operação	78
Tabela 26 – Resultado da análise da resistência ao avanço para embarcação de pesca.....	79
Tabela 27 – Tabela com os ajustes feitos para obtenção das espessuras mínimas requeridas.	82
Tabela 28 – Espessuras mínimas requeridas do laminado para a embarcação de pesca.....	82
Tabela 29 – Plano de laminação para a embarcação de pesca.....	82
Tabela 30 – Condição de carregamento mínima da embarcação de pesca.....	83
Tabela 31 – Condição de carregamento máxima da embarcação de pesca.....	83
Tabela 32 – Condição de carregamento de chegada da embarcação de pesca.....	84
Tabela 33 – Condição de carregamento LC1 para a embarcação de pesca.....	85
Tabela 34 – Condição de carregamento LC2 para embarcação de pesca.....	85
Tabela 35 – Verificação da margem de diferença entre os ângulos de banda permanente e requerido para as condições de carregamento LC1 e LC2.	87

LISTA DE SÍMBOLOS

L_{OA}	Comprimento total da embarcação	[m]
B	Boca máxima	[m]
L_{chine}	Comprimento longitudinal do <i>chine</i>	[m]
B_{chine}	Comprimento transversal máximo entre cada <i>chine</i>	[m]
W_{LS}	Peso leve	[kg]
DWT_T	Peso morto total	[kg]
W_{FO}	Peso de combustível	[kg]
W_{LO}	Peso de óleo lubrificante	[kg]
W_{FW}	Peso de água	[kg]
$W_{C\&E}$	Peso da tripulação	[kg]
W_{PR}	Peso de provisões	[kg]
ν	Viscosidade cinemática	[g/(cm.s)]
V	Velocidade	[m/s]
Δ	Deslocamento	[kg]
τ	Ângulo de trim	[graus]
R_W	Resistência da geração de ondas	[N]
R_i	Arrasto resultante da inclinação na força de sustentação	[N]
R_f	Resistência de fricção	[N]
R_t	Resistência total	[N]
F_{nV}	Número de Froude volumétrico	
L_{WL}	Comprimento na linha d'água	[m]
B_{WL}	Boca na linha d'água	[m]
T_m	Calado médio	[m]
S	Área molhada	[m ²]
C_P	Coeficiente prismático	
C_b	Coeficiente de bloco	
C_m	Coeficiente de seção mestra	
C_{wp}	Coeficiente da área de flutuação	
KB	Distância entre a quilha e o centro de empuxo	[m]
BM_t	Raio metacêntrico transversal	[m]
GM_t	Altura metacêntrica transversal	[m]

β_{LCB}	Ângulo de <i>deadrise</i> na posição do LCB	[graus]
Δ_{lb}	Deslocamento	[lb]
$\rho_{\acute{a}gua} \frac{s}{f}$	Densidade da água	[slug/feet ³]
$\frac{V_{ft}}{s}$	Velocidade	[feet/s]
B_{Xft}	Boca no plano de linha d'água	[feet]
α	Ângulo de banda máximo antes do embarque de água	[deg]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL.....	15
1.1.1	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	ESTUDO DE USABILIDADE.....	16
2.1.1	Embarcação de recreio	16
2.1.2	Embarcação de pesca esportiva	17
2.2	EMBARCAÇÃO DE ESTUDO MODELO 25 PÉS.....	18
2.3	SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	19
2.3.1	Modularidade	20
2.4	ELEMENTOS FUNCIONAIS DO PROJETO DE EMBARCAÇÕES	21
2.4.1	Dimensões Principais	22
2.4.2	Geometria do Casco	22
2.4.3	Arquitetura de convés	24
2.4.4	Pesos	25
2.4.5	Centros de gravidade longitudinal e transversal	26
2.4.6	Resistência ao avanço	27
2.4.6.1	Método semi-empírico de Savitsky (caso simples).....	28
2.4.7	Estabilidade dinâmica longitudinal – porpoising	30
2.4.8	Topologia estrutural	31
2.4.9	Estabilidade Intacta	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	PROJETO CONCEITUAL	33
3.2	MATRIZ DE INFLUÊNCIA.....	34
3.3	ESPIRAL DE EVANS	35
3.4	RESUMO DA METODOLOGIA DE PROJETO	37
4	ELEMENTOS FUNCIONAIS COMUNS A AMBOS OS PROJETOS	38
4.1	REQUISITOS DO ARMADOR.....	38
4.2	DIMENSÕES PRINCIPAIS.....	38
4.3	GEOMETRIA DO CASCO	39
4.4	PLATAFORMA MODULAR DO CONVÉS	40

4.4.1	Interface padrão dos conveses	40
4.4.2	Módulos da arquitetura dos conveses.....	41
5	PRIMEIRA ITERAÇÃO DA ESPIRAL DE EVANS – EMBARCAÇÃO DE RECREIO	44
5.1	ARQUITETURA DE UNIÃO DOS MÓDULOS COM A INTERFACE.....	44
5.2	ESTIMATIVA DE PESOS	45
5.3	ESTIMATIVA DOS CENTROS.....	48
5.4	RESISTÊNCIA AO AVANÇO	50
5.5	ESTABILIDADE DINÂMICA LONGITUDINAL.....	52
5.6	TOPOLOGIA ESTRUTURAL.....	54
5.7	ESTABILIDADE INTACTA	63
5.7.1	Abertura dos pontos de alagamento	66
5.7.2	Altura dos pontos de alagamento	66
5.7.3	Teste de deslocamento de carga	68
5.7.4	Banda devido à ação de ventos	71
6	PRIMEIRA ITERAÇÃO DA ESPIRAL DE EVANS – EMBARCAÇÃO DE PESCA.....	74
6.1	ARQUITETURA DE UNIÃO DOS MÓDULOS COM A INTERFACE.....	74
6.2	ESTIMATIVA DE PESOS.....	75
6.3	ESTIMATIVA DOS CENTROS.....	77
6.4	RESISTÊNCIA AO AVANÇO	79
6.5	ESTABILIDADE DINÂMICA LONGITUDINAL.....	80
6.6	TOPOLOGIA ESTRUTURAL.....	81
6.7	ESTABILIDADE INTACTA	83
6.7.1	Abertura dos pontos de alagamento	84
6.7.2	Altura dos pontos de alagamento	84
6.7.3	Teste de deslocamento de carga	84
6.7.4	Banda devido à ação de ventos	87
7	CONCLUSÕES	89

1 INTRODUÇÃO

Com base na vasta extensão da costa brasileira, mais de sete mil quilômetros, no clima favorável e nas belas praias do nosso litoral, o Brasil ainda possui um grande potencial de crescimento do mercado náutico (COSTA VERDE MAR, 2017).

Devido ao aumento da renda disponível no mercado interno, houve um aumento nunca antes visto na aquisição de novas embarcações no período de 2008 a 2010. Nesse cenário, novos usuários adquiriram suas primeiras embarcações enquanto os proprietários de lanchas e veleiros investiram em *upgrades* ou compra de embarcações novas e usadas de maior porte e mais sofisticadas (FATOS E NÚMEROS ACOBAR, 2012).

Neste contexto, é fundamental que todo estaleiro que pretende se manter ativo por longos anos, tenha uma estrutura organizacional da empresa bem definida, em que haja motivação para a melhoria contínua e que seja mantido elevado padrão de qualidade. Posto isso, em se tratando de uma indústria, é essencial que haja uma avaliação do sistema produtivo afim de verificar alternativas que agreguem valor ao produto sem elevar demasiadamente o custo.

Por este motivo, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do projeto conceitual de uma embarcação de 25 pés com aplicação do conceito de modularidade para criação de convés adaptável para pesca e recreio.

Além disso, o projeto conceitual corresponde na verdade a um estudo de viabilidade do projeto (PAPANIKOLAOU, 2014), logo entende-se a necessidade de aplicação de ferramentas de metodologia iterativa a qual o projeto está associado. Como por exemplo, a utilização da Matriz de Influência assim como a Espiral de Evans.

Ainda neste contexto, entende-se por modularidade uma alternativa de produção que tem como foco o aumento da variedade de produtos, mas que sejam construídos a partir de uma interface e um conjunto de módulos padronizados (ALARCON et al., 2013).

Então, a partir disso, buscou-se realizar a modelagem das peças que compõem o convés de maneira que estes se conectem a uma interface que define o tipo de serviço da embarcação. Para que o encaixe do convés fosse possível tanto para a embarcação de recreio quanto para a de pesca, buscou-se por dividir esta região em três partes, onde as que ocupam a proa e a popa fossem padronizadas e

uma terceira na região central foi alterada para atender as necessidades cada consumidor alvo.

A ideia de aplicar o conceito de plataforma modular ao projeto de uma embarcação, partiu de um estaleiro que pretende aumentar sua linha de produtos, visando uma redução no custo de produção. Assim, o projeto foi conduzido a partir das especificações da embarcação obtidas com o fabricante e com base no desenho do seu casco.

Foram avaliados os atributos de projeto definidos na Matriz de Influência, de modo a averiguar em uma primeira estimativa, os impactos das alterações feitas no convés. Dessa forma, foi realizado estudos dos pesos e sua distribuição na embarcação, resistência ao avanço, topologia estrutural, estabilidade intacta e dinâmica.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o projeto conceitual com algumas análises preliminares de uma embarcação de planeio de 25 pés utilizando o conceito de modularidade aplicado ao convés para atender a demanda de clientes que optam por características de pesca ou recreio.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para que seja alcançado o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos devem ser atingidos.

- Definir os atributos que compõem o projeto de uma embarcação e estabelecer uma ordem a qual devem ser analisados;
- Modelar o casco a partir da tabela de cotas obtida através do molde;
- Definir os módulos e interfaces padronizadas que constituem o convés de cada embarcação;
- Analisar de forma preliminar os atributos de projeto com base em literaturas, normas e modelos empíricos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentado os assuntos que constituíram a base para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 ESTUDO DE USABILIDADE

2.1.1 Embarcação de recreio

Embarcação de esporte ou recreio é definida pela NORMAN 28/DHN, como sendo qualquer embarcação utilizada para lazer, com fins não comerciais e podem ser classificadas em três tipos:

- Miúdas: possuem comprimento menor ou igual a 5 metros ou com comprimento superior a cinco (5) metros que apresentem as seguintes características: convés aberto, convés fechado, mas sem cabine habitável e sem propulsão mecânica fixa e que, caso utilizem motor de popa, este não exceda 30 HP;
- Médio porte: possuem comprimento menor que 24 metros e maior que 5 metros;
- Grande porte: possuem comprimento maior ou igual a 24 metros ou, quando menores, arqueação bruta maior que 100.

ACOBAR (2012) apresenta que no Brasil predominam as embarcações a motor, 84% contra 16% correspondendo aos veleiros. Dentre as lanchas a motor, destacam-se as de médio porte entre 20 e 32 pés, responsáveis por aproximadamente 50% da frota nacional.

Para esta faixa de comprimento, encontram-se no mercado embarcações com opções de proa aberta, esse termo se refere as embarcações que não possuem cabine interna, ou cabinada que em sua maioria apresentam console duplo para melhor acesso das regiões da proa e da popa. Essas características são definidas durante o projeto para atender as necessidades do consumidor alvo. As embarcações de proa aberta são mais baratas comparadas a uma de mesmo modelo cabinada e são mais propícias para passeios de um dia, enquanto o modelo com cabine, geralmente possuem alguns eletrodomésticos e cama, permitindo que o proprietário pernoite na mesma.

Quanto ao tipo de motor para as embarcações de médio porte, duas são as alternativas comumente encontradas, sendo elas o de popa e de centro com rabeta. Os motores de popa são mais simples, tornando-os mais rentáveis economicamente e ocupam menos espaço comparado com os de centro. A vantagem deste é que não é necessária uma praça de máquinas grande, agregando mais espaço útil na parte interna do casco. Entretanto este tipo de motorização restringe a região da popa diminuindo uma parte de lazer importante em um barco de recreio. Esta por sua vez é a principal vantagem do motor de centro, a plataforma de popa presente na maioria dessas embarcações, fornece um ótimo espaço para entrada e saída da lancha e também é propício para instalação de churrasqueira, solários ou outro equipamento que o proprietário ache pertinente, aumentando as opções de entretenimento. Além disso, esses motores possuem modelos tanto diesel quanto gasolina, enquanto os de popa são somente a gasolina.

2.1.2 Embarcação de pesca esportiva

No ramo do turismo náutico, um segmento que tem tido destaque nos últimos anos é o mercado de pesca esportiva. De acordo com o levantamento feito pelo Sebrae (2014), o ramo movimentou cerca de 1 bilhão de reais em 2013 e praticamente dobrou o número de pessoas que praticam essa atividade como forma de lazer nos anos de 2003 há 2013. Nesse período, o número de adeptos passou de 4 milhões para 7,8 milhões. Outro dado que mostra o crescimento deste ramo é o aumento de expositores no ano de 2014 na feira Pesca Trade Show, maior feira de pesca do Brasil, com relação ao ano anterior, o evento experimentou um aumento de 50% no número de marcas que apresentaram seus produtos no evento.

A atividade de pesca esportiva está entre as mais praticadas pela população brasileira, com isso, esta modalidade apresenta um setor produtivo grande gerando cerca de 200 mil empregos diretos e indiretos, incluindo desde lojas de materiais de pesca e rede hoteleira até guias de pesca e condutores e fabricantes de embarcações. As embarcações de pesca esportiva variam desde embarcações pequenas de alumínio, mais apropriada para águas abrigadas e represas até iates de 50 pés fabricados em fibra de vidro para pesca em alto mar. Estas embarcações variam de 5 mil a 5 milhões de reais atendendo a diversas classes sociais (CLARO, 2014).

Com relação a embarcações de pesca esportiva em alto mar, estas podem apresentar diferentes características quanto ao arranjo do convés. As mais comuns possuem proa aberta e console central, desta forma é possível transitar por toda lateral da embarcação facilitando a captura e retirada do peixe. Entretanto existem também modelos com cabine e com console duplo, o que oferece além das características de uma embarcação pesqueira o conforto das embarcações de recreio, entretanto perde-se um pouco o acesso aos bordos do convés.

É comum nas embarcações de pesca em alto mar, um casco robusto para superar as diversas condições de mar, paióis para isca viva e para o pescado, além de uma infraestrutura para armazenagem dos equipamentos necessários para essa prática. Além destes itens de fábrica, atualmente existem equipamentos eletrônicos que buscam auxiliar na pescaria como os sonares, radares e motores que auxiliam o barco a manter-se estacionário através de um sistema GPS.

2.2 EMBARCAÇÃO DE ESTUDO MODELO 25 PÉS

Para o desenvolvimento deste projeto, foi utilizada uma embarcação base modelo 25 pés com proa aberta, fabricada em fibra de vidro. A empresa responsável por sua construção permitiu que fossem tomadas quaisquer medidas de seus moldes e disponibilizou as especificações da embarcação para que fosse viável a execução deste projeto, entretanto a mesma prefere que não seja divulgada sua razão social. Sempre que preciso será referenciada como empresa X.

O consumidor que procura por um modelo de barco como esse, geralmente tem como objetivo passeios em família e com amigos, seja em represas, águas abrigadas e próximo à costa com saída e retorno no mesmo dia. A lancha base para este estudo é construída para atender a este público. Essa embarcação possui como característica um casco com *chine* angulado e mais largos que a maioria desta categoria. Já na região do convés, a mesma possui ampla plataforma de popa, assentos para até 10 passageiros, banheiro, paióis em baixo dos assentos e foi projetada para navegar com motor de centro. Suas especificações e os termos utilizados serão abordados mais adiante.

O setor náutico, constitui um mercado altamente competitivo, desta forma é essencial que a empresa estabeleça um sistema de produção capaz de atender a demanda do estaleiro com máximo de excelência.

2.3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Existem diferentes sistemas de produção para cada tipo de bem ou serviço, no caso da indústria náutica a grande maioria dos estaleiros trabalham com o sistema de produção contínua ou de fluxo em linha, o qual por definição apresenta sequência linear de fluxo e trabalham com produtos padronizados (MOREIRA, 1998).

O sistema de produção mais difundido nas indústrias nos últimos anos, especificamente a automobilística, caracterizado pela sequência linear de fluxo é o Sistema Toyota e Produção (STP). Desde que foi estabelecido este paradigma e observou-se o crescimento da Toyota frente às demais montadoras durante a crise do petróleo dos anos 70, as empresas passaram a estudar e adaptaram este sistema a suas realidades. Da mesma maneira que este sistema alavancou a indústria automobilística é coerente aplicá-lo ao segmento náutico dado as semelhanças entre as cadeias produtivas. (NUNES E MENEZES, 2014).

Na última década, a Hyundai tem se destacado frente às outras montadoras conseguindo expandir seu volume de vendas mesmo nos períodos de crise. Criada em 1967, quando passou a imitar o STP em suas plantas produtivas a fábrica buscava criar seu próprio sistema de produção, mas sempre buscando inspiração no modelo Toyota. O Sistema Hyundai de Produção (SHP) foi concretizado somente no início dos anos 2000, entre diversas características positivas adotadas pela empresa pode-se ressaltar o modelo de produção modular obtendo muitos benefícios como redução de custos e melhoria da qualidade da produtividade (HERRMANN et al., 2012).

As ideias oriundas dos sistemas de produção das montadoras Toyota e Hyundai que as fizeram se destacar em suas respectivas épocas, servem de inspiração para a indústria náutica, que cada vez mais estão saindo da produção artesanal e migrando para uma produção seriada, com processos padronizados e atividades segmentadas por etapas no processo de produção (SCHIMIDT, 2016).

A produção seriada alinhada com a modularidade torna possível produzir-se em grande escalada, os módulos que compõem o produto final, o que auxilia na padronização de processos e eficiência operacional. Além disso, a grande vantagem atribuída a um produto composto por módulos é a variabilidade de configurações que o mesmo possui para atender as necessidades do cliente sem que haja grande alterações de projeto. Com isso, a modularidade destaca-se pela diferenciação de

produtos mantendo peças padrão base, conseqüentemente criando soluções eficientes de produtividade (SCHIMIDT, 2016).

2.3.1 Modularidade

O aumento do acesso à informação permitiu que clientes e consumidores se tornassem mais exigentes, exigindo que as empresas para continuarem competitivas fabricassem produtos inovadores e diferenciados. Nesse contexto percebe-se uma influência direta do cliente nas ações das empresas que buscam a melhoria contínua principalmente nos setores onde a concorrência e competitividade são mais intensas. Uma abordagem que tem se tornado cada vez mais popular é a adoção de plataformas modulares, esta consiste na produção de famílias de produtos com foco no aumento da variedade, satisfação do cliente, reduzir tempo e minimizar custos. A denominação encontrada na literatura para conceituar a abordagem de plataforma modular é a modularidade (KUBOTA et al., 2013).

A modularidade é uma estratégia para construir sistemas ou produtos complexos a partir de pequenos subsistemas que podem ser desenvolvidos individualmente, mas que funcionam como um conjunto integrado. Este conjunto é a divisão de um sistema em módulos funcionais que ligados a uma interface definem uma estrutura maior designada arquitetura. No design modular, os módulos são projetados para serem combinados e montados em diferentes produtos com o objetivo de rentabilizar o uso dos mesmos. Com isso, a padronização assume grande importância na conformidade do módulo e das suas interfaces (SILVA E MIGUEL, 2006).

Um aumento no grau de modularização pode ser considerado um princípio importante no aumento da produção e da qualidade dos produtos em geral para a indústria. Desta forma, ao invés de manter os esforços para a criação de um projeto ideal para obter um produto ótimo, a criatividade se faz necessária para projetar um produto flexível, permitindo variações que não afetem o design do produto como um todo. Entretanto, embora o design baseado em módulos seja uma maneira eficiente de reduzir custos com a produção, no início do projeto diversas etapas e decisões são tomadas evidenciando a complexidade dessa estratégia, que assim como qualquer outra, as decisões quanto ao grau de modularidade do produto impactam diretamente no custo de projeto (HENRIKSEN et al., 2017).

Os efeitos da redução de custos envolvendo a fabricação do produto, *lead time* e volume de produção devido a padronização são importantes, entretanto, outros aspectos da modularização devem ser considerados os quais impactam diretamente na receita do produto. Os módulos devem estrategicamente variar para satisfazer as necessidades do cliente, estes devem ser bem definidos e separados das partes do produto que formam a unidade comum. Assim, aumenta-se a variedade de produtos sem aumentar a complexidade interna de uma empresa. Em termos gerais, a modularidade visa o aumento da eficiência reduzindo complexidade. A estratégia modular implica na construção de uma família de produtos que leva em consideração o desenvolvimento, design, variedade, fabricação, qualidade, compra e serviços de pós-venda, ou seja, toda o ciclo de vida do produto (ALARCON et al., 2013).

A tendência para uma compreensão mais abstrata da modularidade é reforçada pelo fato de que a modularização em um contexto industrial pode ser vista como reutilização de recursos de engenharia e funcionários para empresas que estão cada vez mais conscientes do conhecimento como uma vantagem competitiva. A parte importante do conhecimento da empresa é incorporado nos produtos e módulos de reutilização. O conhecimento economiza tempo e dinheiro. Não são necessariamente os módulos físicos acabados que são reutilizados para obter os benefícios. Além disso, a chamada reutilização intelectual de estágios anteriores, como a reutilização de especificações de engenharia, testes, engenharia de processos, etc., pode levar aos efeitos desejados ao desfocar a fronteira entre a gestão do conhecimento e a modularização tradicional (MELLO E MARX, 2007);

2.4 ELEMENTOS FUNCIONAIS DO PROJETO DE EMBARCAÇÕES

Os elementos funcionais do projeto de uma embarcação correspondem a todos os sistemas globais que devem ser estudados para sua construção. Embora esses elementos sejam analisados de forma separada, de maneira geral, todos possuem uma certa relação de dependência um com o outro e com isso se faz necessário analisar de maneira cautelosa todas as considerações a serem feitas, principalmente nas fases iniciais de projeto.

Neste trabalho serão analisados os elementos básicos para o projeto de uma embarcação de médio porte para uso recreativo.

2.4.1 Dimensões Principais

As dimensões principais de uma embarcação são compostas pelas medidas que irão gerar sua forma e servirão para definir os parâmetros a serem utilizados nos cálculos do projeto. No caso deste projeto, por se tratar de uma alteração no convés de uma embarcação presente no mercado, suas dimensões principais não foram alteradas e foram obtidas através das informações solicitadas ao estaleiro responsável por sua construção e por medições feitas pelo autor junto aos moldes da mesma.

2.4.2 Geometria do Casco

Existem basicamente três categorias de embarcações quanto ao seu casco, são elas: deslocante, semi-deslocante e de planeio. Embarcações de planeio, a qual é tratada no projeto, se beneficiam da força de sustentação hidrodinâmica para erguer-se parcialmente para fora da água e com isso diminuir a resistência ao avanço. Para que a embarcação plane, é necessário que se atinja um certo ângulo de incidência com relação ao escoamento da água no fundo e com a inclinação da proa para cima, é gerado a força de sustentação hidrodinâmica (POTGIETER, 2006).

Embora não seja uma regra, as embarcações de casco de planeio, compartilham de algumas características comum com relação ao casco que auxiliam na geração da força de sustentação hidrodinâmica. Os principais elementos presentes no casco dessas embarcações estão apresentados abaixo.

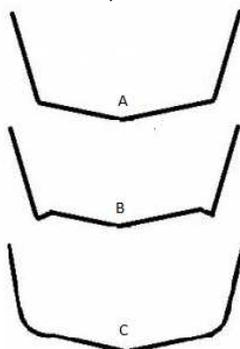
a. Chine

O *chine* é a região onde ocorre a transição do fundo para o costado do casco. Essa transição pode se dar de forma mais angular (*hard chine*), arredondado (*soft chine*) ou invertida (*reverse chine*). O *chine* mais angulado caracteriza-se por direcionar o *spray* de água para os bordos da embarcação, prevenindo que ela suba formando uma onda que aumentaria a resistência ao avanço. Quando o projetista opta por um *chine* mais arredondado a intenção é por uma navegação mais suave que este proporciona. Entretanto, cascos projetados com um *hard chine* pode alcançar uma velocidade máxima maior com relação comparado ao *soft chine* (POTGIETER, 2006).

Por último, o *chine* invertido desce na direção da superfície da água, fazendo uma curva suave na qual forma-se um túnel. Quando o barco está em movimento, a água lançada pela parte central do casco é desviada para baixo pelo *chine* invertido fazendo com que haja um aumento na força de sustentação, desta forma auxiliando a embarcação a alcançar seu regime de planeio (POTGIETER, 2006).

A Figura 1 apresenta uma ilustração dos tipos de *chine* mencionados.

Figura 1 – A) *Hard chine* B) *Reverse chine* C) *Soft chine*.



Fonte: BoatingBC (2003).

b. Deadrise

Deadrise é o ângulo formado entre o fundo do casco e o plano horizontal visto de proa ou de popa. Uma correta combinação de *deadrise* contribui para a estabilidade direcional, navegação e redução do arrasto assim que a embarcação começa a planar. A escolha do ângulo “V”, como é chamado, deve levar em conta principalmente a região de navegação, em águas mais tranquilas um ângulo mais aberto (fundo mais chato) é mais aconselhável, enquanto para regiões de mar aberto, longe da costa é mais seguro para altas velocidades um casco com ângulo mais profundo, onde a embarcação cortará melhor as ondas e permitirá uma navegação mais macia (POTGIETER, 2006).

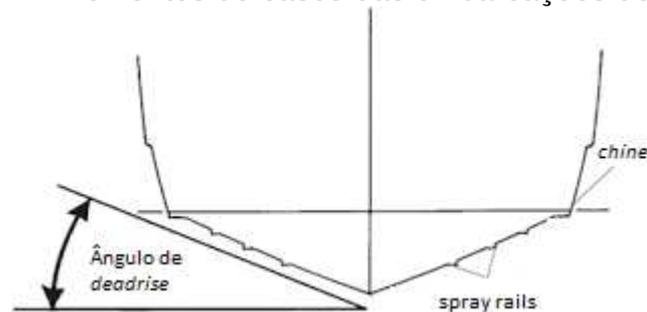
c. Spray rails

Os *spray rails* podem ser considerados apêndices integrados ao molde do casco que são dispostos de maneira longitudinal no fundo. Eles promovem uma sustentação adicional para as embarcações de alta velocidade, são geralmente

triangulares com uma das faces paralelas à superfície da água. Não existe uma regra geral que define a extensão ou quantidade correta de *spray rails*, cabe ao projetista estudar e analisar a influência que eles irão ter sobre o desempenho da embarcação (POTGIETER, 2006).

Sendo assim, na Figura 2 são apresentados os elementos descritos que compõem o casco das embarcações de projeto.

Figura 2 – Elementos do casco das embarcações de projeto



Fonte: Adaptado de Ausfish (2010).

As embarcações de projeto dispõem desses três elementos. Para a modelagem do casco, foi elaborada uma tabela de cotas através dos pontos coletados pelo autor a partir de seu molde.

2.4.3 Arquitetura de convés

A arquitetura do convés foi desenvolvida baseada nos princípios de modularidade estudados para o desenvolvimento deste trabalho. Buscou-se realizar a modelagem das peças que compõem o convés de tal forma que houvesse um padrão que fosse capaz de conectar-se tanto para o modelo de embarcação de recreio quanto para a de pesca.

Os módulos que são instalados à interface do convés de projeto foram modelados inspirados nas peças que atualmente são utilizadas na embarcação de base.

2.4.4 Pesos

A estimativa de pesos é um tópico essencial para o projeto de embarcações, pois a partir dele é possível obter o valor do deslocamento máximo o qual é utilizado na maioria dos cálculos dos atributos de projeto.

A princípio os cálculos são simples, baseia-se na somatória de todos os pesos individuais dos elementos que compõem uma embarcação. Entretanto, durante as fases iniciais, se não forem feitas as considerações necessárias tem-se um trabalho dispendioso devido as iterações que caracterizam o projeto de uma embarcação.

Durante o projeto conceitual, a falta de informações é evidente, com isso, para se obter uma estimativa mais precisa do peso total, existem algumas alternativas encontradas em livros e artigos disponíveis os quais apresentam equações para cada grupo de pesos. De maneira geral, os pesos de uma embarcação são divididos em peso leve (W_{LS}), Equação 1 e peso morto (DWT_T), Equação 2.

$$W_{LS} = W_S + W_M + W_O + W_{margin} \quad (1)$$

Onde:

W_S - Peso estrutural;

W_M - Peso de maquinário;

W_O - Peso de outfit;

W_{margin} - Peso de margem.

$$DWT_T = DWT_C + W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{C\&E} + W_{PR} \quad (2)$$

Onde:

DWT_C - Peso de carga;

W_{FO} - Peso de combustível;

W_{LO} - Peso de óleo lubrificante;

W_{FW} - Peso de água doce;

$W_{C\&E}$ - Peso da tripulação;

W_{PR} - Peso de provisões.

As somas de todas essas parcelas correspondem ao deslocamento máximo de operação de uma embarcação, conforme Equação 3.

$$\Delta = W_{LS} + DWT_T \quad (3)$$

A subdivisão dos pesos detalhada acima é apresentada na literatura por Watson (1998), baseada em navios de grande porte para fins comerciais. Em se tratando de uma embarcação de recreio, algumas parcelas podem ser desconsideradas como o peso de carga, visto que a embarcação não possui este fim e o de óleo lubrificante, pois os motores utilizados são muito menores comparados aos de um navio e não necessitam de quantidades significativas de óleo lubrificante.

A partir dessas considerações, o deslocamento total de uma embarcação de recreio de médio porte pode ser obtido pela Equação 4.

$$\Delta = W_S + W_M + W_O + W_{\text{margin}} + W_{FO} + W_{FW} + W_{C\&E} + W_{PR} \quad (4)$$

As definições dos pesos das embarcações de projeto foram determinadas considerando as parcelas apresentadas por Watson (1998). As parcelas relacionadas ao peso leve sem motor, tanques de água e combustível, motorização e quantidade de passageiros máxima foram obtidas junto ao estaleiro. As demais parcelas foram determinadas com bases em referências literárias e artigos relacionados ao assunto.

2.4.5 Centros de gravidade longitudinal e transversal

Os centros de gravidade são estimados a partir da definição das parcelas referentes aos pesos. Neste projeto foi utilizado principalmente a modelagem da embarcação para encontrar o centro de massa de algumas parcelas, enquanto as que não poderiam ser obtidas dessa maneira, como o caso da parcela de peso de provisões e equipamentos especiais para a embarcação de pesca, foi considerado posicionados na meia-nau e numa altura correspondente ao pontal da embarcação.

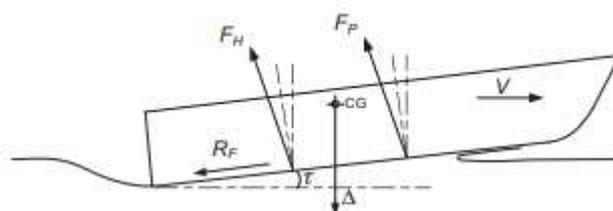
2.4.6 Resistência ao avanço

O cálculo da resistência ao avanço é o atributo de projeto que indicará a potência necessária à embarcação para toda faixa de velocidade requerida. A partir dessas informações é possível selecionar o motor para a embarcação, fazendo as devidas considerações com relação as perdas até o hélice. Para a estimativa da resistência ao avanço nas fases iniciais de projeto, uma ferramenta poderosa são as equações empíricas desenvolvidas ao longo dos anos. No caso das embarcações de planeio, Daniel Savitsky (1964) elaborou diversos estudos sobre a hidrodinâmica de superfícies planas tendo inclusive implementado seu próprio modelo de resistência ao avanço para cascos de planeio prismáticos, o qual será utilizado neste projeto e será descrito nesta seção.

De modo geral, a resistência ao avanço de qualquer veículo aquático é composta pela soma das parcelas referentes a pressão (ondas e viscosa) e fricção. A primeira parte refere-se as forças normais atuantes enquanto a segunda ocorre devido as forças tangenciais de cisalhamento no casco da embarcação. No caso dos cascos de planeio, existem duas forças normais que atuam durante seu deslocamento, uma devido ao volume de água deslocado (hidrostática) e outra pela dinâmica do movimento do fluido com a movimentação da embarcação (sustentação) (MOLLAND, 2011).

A Figura 3 mostra uma embarcação em movimento e as forças atuantes sobre ela.

Figura 3 – Decomposição das forças que atuam numa embarcação de planeio.



Fonte: Molland (2011).

Onde:

F_h - Força hidrostática

F_p - Força dinâmica de sustentação

R_f - Resistência friccional

Δ - Deslocamento

τ - Trim dinâmico

V - Velocidade

Observando a figura, percebe-se que as duas forças responsáveis por compor as parcelas da resistência ao avanço devido a pressão são a hidrostática e de sustentação. De acordo com Molland (2011), isso resulta em duas componentes distintas de resistência, que somadas a resistência friccional obtém a resistência total ao avanço de uma embarcação de planeio, como indica a Equação 5.

$$R_t = R_w + R_i + R_f \quad (5)$$

Onde:

R_w - Resistência da geração de ondas

R_i - Arrasto resultante da inclinação da força de sustentação

R_f - Resistência de fricção

R_t - Resistência total

2.4.6.1 Método semi-empírico de Savitsky (caso simples)

Em sua publicação *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, Savitsky (1964) desenvolveu equações para forças de arrasto e sustentação hidrodinâmica em embarcações de planeio. Tais equações foram baseadas em um amplo banco de dados gerado por ensaios de resistência ao avanço de cascos prismáticos no qual o ângulo de trim, *deadrise*, Lm, e L/B foram variados sistematicamente (HAMIDON et al., 2010).

Essas formulações servem como meio para estimar a resistência ao avanço. Os parâmetros de entrada deste modelo são: Velocidade (V), Boca máxima (B), Volume deslocado (∇), Froude volumétrico, obtido através da Equação 6, Froude transversal (Equação 7) e Coeficiente de sustentação de placa plana (Equação 8).

$$F_{nV} = \frac{V}{\sqrt{g * \nabla^{1/3}}} \quad (6)$$

$$C_v = \frac{V}{\sqrt{g * B}} \quad (7)$$

$$C_{Lo} = \frac{2 * g * \nabla}{V^2 * B^2} \quad (8)$$

Para determinar o ângulo de trim de equilíbrio, a Equação 9 deve ser utilizada.

$$C_{Lo} = \frac{\tau^{1,1} (0,0120 * \sqrt{\lambda} + (0,0055 * \lambda^{5/2}))}{C_v^2} \quad (9)$$

Onde:

τ - Ângulo de trim (deg)

λ - Razão L_m/B

L_m - Comprimento da quilha dividido pelo chine na linha d'água

g - Aceleração da gravidade (m/s²)

O coeficiente de sustentação para determinado ângulo de *deadrise* é apresentado na Equação 10.

$$C_{L\beta} = C_{Lo} - 0,0065 * \beta * C_{Lo}^{0,6} \quad (10)$$

Onde:

β - Ângulo de *deadrise* medido na metade do comprimento do *chine*.

Definidos os valores de C_v e considerando que todas as forças atuam no centro de gravidade da embarcação, sendo essa a condição de equilíbrio descrita por Koelbel (1963) (SAVITSKY, 1964) e que Savitsky chama de caso simples, então a partir do gráfico apresentado no Anexo A, é possível obter respectivos valores de $C_{Lo}/\tau^{1,1}$ e λ . A partir desses valores encontrados, os valores de L_m e τ são

determinados. A condição de planeio da embarcação se dá quando $L_{wl}/B \geq \lambda$. Dada essa condição, a resistência total da embarcação pode ser determinada pela Equação 11 (HAMIDON et al., 2010).

$$R_t = W * \tan \tau + \left(\frac{1}{2} * \rho * V^2 * \lambda * B^2 * C_{FO} \right) / (\cos \tau * \sec \beta) \quad (11)$$

Onde:

W - Deslocamento

C_{FO} - Coeficiente de fricção de acordo com a ITTC 1957 em função do número de Reynolds relativo a boca (Equação 12).

$$R_{nb} = V_1 * \lambda * B / \nu \quad (12)$$

Onde:

$$V_1 = V \left(1 - \frac{0,0120 * \tau^{1,1}}{\sqrt{\lambda * \cos \tau}} \right) \quad (13)$$

Neste caso, V_1 é a velocidade média no fundo do casco, a qual é menor que a velocidade de avanço da embarcação, isso se deve ao fato da pressão no fundo ser maior.

Importante considerar que este modelo empírico foi desenvolvido para cascos prismáticos, sem variação de *deadrise*, sem a presença de apêndices e para velocidades de planeio totalmente desenvolvido por isso este método é caracterizado como caso simples, entretanto, para uma primeira estimativa em um projeto conceitual essa aproximação pode ser considerada satisfatória.

2.4.7 Estabilidade dinâmica longitudinal – *porpoising*

O estudo da estabilidade dinâmica será avaliado com relação aos movimentos longitudinais de *pitch* e *heave* em águas calmas conforme a velocidade de avanço aumenta. Esse fenômeno recebe o nome de *porpoising* e a sua verificação é fundamental no projeto de uma embarcação de planeio.

As amplitudes das oscilações dos movimentos de *pitch* e *heave*, muitas vezes podem se manter estáveis, entretanto em algumas situações, tais amplitudes podem ser grandes suficiente podendo causar danos na estrutura da embarcação e afundamento da proa. (THALLES GIANGIARULO, 2018)

Neste trabalho o fenômeno de *porpoising* será avaliado considerando os estudos elaborados por Daniel Savitsky (1964), entretanto o mesmo apresenta a verificação dessa instabilidade através de gráficos, tornando este trabalho dispendioso. Nakanishi, Palhares, Andrade e Tancredi (2012) elaboraram uma regressão polinomial dos gráficos elaborados por Savitsky (1964) e a partir dessas regressões foi feito a avaliação de *porpoising* neste projeto.

2.4.8 Topologia estrutural

O projeto estrutural da embarcação foi realizado com base no livro “*The Elements of Boat Strength*” de Dave Gerr (2000). Esta obra, como o autor a descreve, foi desenvolvida para ser uma referência de aplicação prática, com equações de matemática básica, mas que fornece um dimensionamento estrutural confiável. Embora este método seja baseado em um método expeito para definição da topologia estrutural, Dave Gerr (2000) garante a confiabilidade das suas formulações pois segundo ele, as obteve através de uma análise estrutural de engenharia de embarcações de sucesso.

Importante frisar que este método de dimensionamento estrutural é válido somente para algumas categorias de embarcações. O autor recomenda a aplicação de suas formulações para embarcações entre 3 e 37 metros de comprimento, motorizadas ou à vela, com casco de deslocamento ou planeio, velocidade máxima até 40 nós e construídas em fibra de vidro, madeira, alumínio ou aço, o que abrange todas as especificações desejadas para este projeto.

2.4.9 Estabilidade Intacta

A estabilidade de uma embarcação é a habilidade que a mesma possui de resistir aos momentos de emborcamento que afetam seu estado de equilíbrio. Esses momentos são geralmente induzidos pela ação do vento, ondas e movimentação dos

passageiros, principalmente em embarcações de transporte de pessoas. A avaliação da estabilidade é fundamental para verificar o comportamento da embarcação a diferentes perturbações.

Neste projeto foi adotado os critérios apresentados pela norma ISO 12217-1 *Small Craft – Stability and buoyancy assessment and categorization*, na qual especifica métodos para avaliação da estabilidade com relação ao eixo longitudinal.

3 METODOLOGIA

3.1 PROJETO CONCEITUAL

O projeto de embarcações, tradicionalmente é dividida em quatro fases principais denominadas: projeto conceitual; projeto preliminar; projeto contratual e desenvolvimento de projeto. Na fase conceitual é realizado um estudo de viabilidade do projeto sendo definido o conceito geral da embarcação e as primeiras estimativas gerais. Durante a fase preliminar é definido a geometria final além de todos os parâmetros do produto, estas duas fases iniciais de projeto formam a base do projeto. Por fim, o projeto contratual e o seu desenvolvimento devem conter os elementos que definem as características gerais da embarcação, anexado ao contrato de construção e o detalhe do projeto a todos os níveis respectivamente (PAPANIKOLAU, 2014). Neste trabalho será desenvolvido a primeira etapa de projeto, ou seja, a fase conceitual.

O projeto conceitual é a fase inicial do processo de projeto de um produto e exige a aplicação da inteligência. O uso do computador é imprescindível para que haja a integração com as demais fases de projeto, nesse panorama a fase de projeto conceitual deve ser sistematizada, organizada e sequenciada, possibilitando o uso de um sistema computacional integrado (ALMEIDA, 2000). A fase conceitual é onde tem início o projeto para o desenvolvimento das formas e dimensões da embarcação. Este estágio envolve a transformação dos requisitos do armador em uma configuração inicial de projeto, com algumas características principais definidas e normalmente resulta em rascunhos e desenhos parcialmente ou totalmente dimensionados, podendo conter uma ou mais alternativas de projeto. (GALE, 2003)

O estágio conceitual do projeto como citado anteriormente, corresponde no estudo de viabilidade do projeto, com isso deve ser feito a estimativa das dimensões principais como comprimento, boca, pontal, calado, coeficiente de bloco, propulsão, etc. Embora normalmente a solução mais econômica não necessariamente é alcançada nesta fase, soluções alternativas cumprindo os requisitos do armador devem ser avaliadas para garantir a viabilidade do projeto (PAPANIKOLAOU, 2014). Devido à complexidade de tomadas de decisões durante o projeto conceitual a equipe responsável deve criar uma estratégia para obter o melhor produto final possível, desta forma faz-se o uso de uma metodologia de projeto e métodos que definirão as

ferramentas para desenvolver essa estratégia. Este trabalho utilizou como estratégia a Espiral de Evans auxiliada pelos elementos de síntese e análise da matriz de influência.

3.2 MATRIZ DE INFLUÊNCIA

A matriz de influência é composta pelos elementos funcionais que por sua vez representam as partes do objeto. Os elementos são distribuídos nas linhas e nas colunas da matriz onde nas linhas estão representados os elementos que influenciam enquanto nas colunas os que são influenciados. Dado que este trabalho tem como objetivo o projeto de uma embarcação com duas propostas de convés, desta forma os elementos funcionais que constituem o produto são:

- Dimensões principais;
- Geometria do casco;
- Resistência ao avanço;
- Estabilidade intacta;
- Estabilidade dinâmica;
- Pesos;
- Centros;
- Topologia estrutural;
- Arquitetura do convés.

Definido os elementos funcionais e atribuindo pesos da relação de influência entre eles, a matriz de influência (Tabela 1) foi estabelecida identificando as prioridades para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 1 – Matriz de Influência.

	Geometria do casco	Resistência ao avanço	Estabilidade	Pesos	Arquitetura do convés	Topologia estrutural	Dimensões principais	Centros de gravidade	Estabilidade dinâmica	Total
Geometria do casco		3	3	1	1	3	3	2	3	19
Resistência ao avanço	1		3	2	0	1	1	2	3	13
Estabilidade	2	1		1	1	0	1	2	3	11
Pesos	2	3	3		1	2	0	3	3	17
Arquitetura do convés	3	0	3	3		2	3	3	0	17
Topologia estrutural	1	0	2	3	1		0	3	1	11
Dimensões principais	3	2	3	3	3	2		1	2	19
Centros de gravidade	0	3	3	3	0	2	0		3	14
Estabilidade dinâmica	3	3	3	1	0	1	1	1		13

Fonte: Autor (2018).

Os pesos atribuídos a cada elemento variam de zero a 3, sendo zero influência nenhuma e 3 muita influência, 1 e 2 representam pouco e média influência respectivamente. Desta forma, faz-se um somatório dos valores obtidos nas linhas e a referente ao total sugere qual elemento deve ser desenvolvido primeiro, ou seja, uma ordem de importância.

A escolha pela matriz de influência para compor a metodologia de projeto se deu pelo fato de poder avaliar de forma quantitativa a importância de cada elemento, essa sequência é fundamental para compor a Espiral de Evans, estratégia muito utilizada para o projeto de embarcações e que se faz de forma iterativa onde os elementos são desenvolvidos cada um em uma sequência do mais influente ao menos influente.

3.3 ESPIRAL DE EVANS

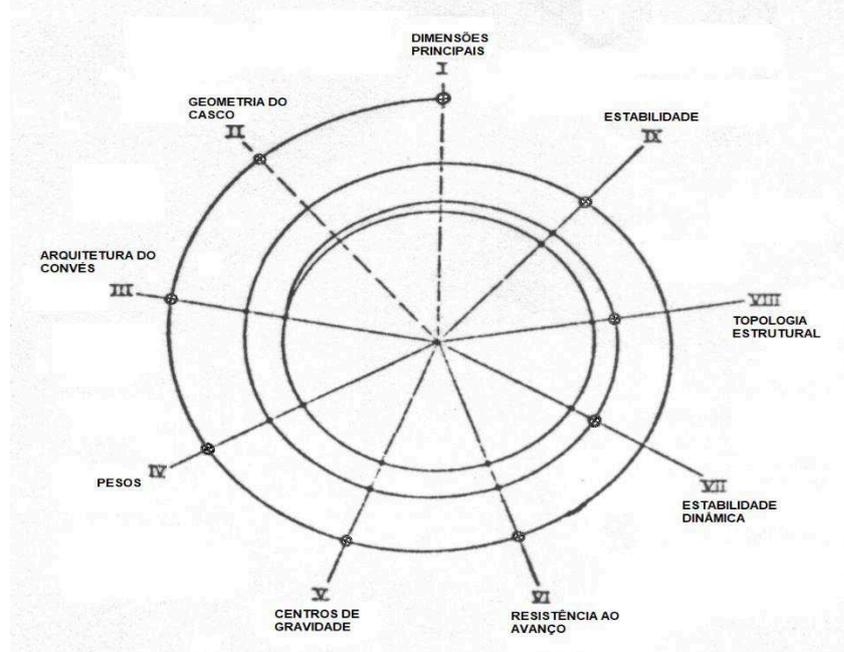
J.H. Evans (1959) foi responsável por visualizar através de uma espiral todo o processo de desenvolvimento do projeto de um navio. A Espiral de Evans, como é conhecida, consiste de uma representação gráfica em forma de espiral, linhas transversais percorrem o gráfico representando os elementos funcionais do projeto. O

ponto inicial da espiral consiste dos requisitos do armador, percorrendo-a no sentido anti-horário, tem-se a sequência a ser analisada dos elementos para o desenvolvimento do projeto. O objetivo da espiral é, em teoria, diminuir o tempo de planejamento do projeto, visto que se organizada de maneira correta, as iterações entre os elementos se complementam e as informações para o passo seguinte quase sempre será obtida pelo elemento anterior (EVANS, 1959).

Entretanto, na prática, de acordo com Gale (2003), o processo não obedece a sequência predeterminada. Isso ocorre, pois em muitos casos, conforme a experiência do projetista e os problemas que surgem no meio do processo, é preferível optar por pular e voltar para outras etapas, uma vez que esta escolha ajude a ganhar tempo. De fato, é praticamente inevitável que em algum momento alguma informação necessária esteja omissa, isto ocorre geralmente no início do projeto, mas tende a diminuir à medida que o mesmo é desenvolvido com mais detalhes, ou seja, conforme mais voltas são dadas na espiral.

Na Figura 4 está apresentado a Espiral de Evans das embarcações de projeto obtida a partir da Matriz de Influência.

Figura 4 – Espiral de Evans para as embarcações de projeto.



Fonte: Adaptado de *Basic Design Concepts* (EVANS, 1959).

3.4 RESUMO DA METODOLOGIA DE PROJETO

Na Tabela 2 estão apresentados os atributos de projeto desenvolvidos neste trabalho, assim como os métodos e ferramentas empregados em cada um.

Tabela 2 – Metodologia de projeto.

Etapa	Métodos	Ferramentas
Dimensões principais	Análise embarcação base	Planilha Excel
Geometria do casco	Medições no molde	Trena, linha de Nylon, prumo e fita crepe
Resistência ao avanço	Equações empíricas	<i>Rhinoceros</i> e Orca 3D
Estabilidade intacta	Norma	<i>Maxsurf Stability</i> e Planilha Excel
Estabilidade dinâmica	Equações empíricas	Orca 3D e Planilha Excel
Pesos	Análise embarcação base e Equações empíricas	Planilha Excel
Centros	Análise do modelo 3D	<i>Rhinoceros</i>
Topologia estrutural	Expedito	Planilha Excel e <i>Rhinoceros</i>
Arquitetura do convés	Análise embarcação base	<i>Rhinoceros</i>

Fonte: Autor (2018).

4 ELEMENTOS FUNCIONAIS COMUNS A AMBOS OS PROJETOS

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento dos elementos funcionais que devem ser desenvolvidos da melhor maneira a atender os requisitos do armador.

4.1 REQUISITOS DO ARMADOR

De maneira geral, poucas são as configurações possíveis para se alterar em uma lancha de 25 pés, modelo proa aberta, desta forma o que geralmente pesa na hora da escolha do cliente por uma ou outra marca normalmente é o preço. Partindo da falta de elementos diferenciais que pudessem ser implementados na embarcação e manter seu preço competitivo no mercado, a empresa X sugeriu que fosse realizado um estudo sobre a viabilidade de aumentar a linha de produtos através do projeto de um convés modular.

Os requisitos determinados pela empresa são:

1. Manter as mesmas dimensões principais e o mesmo casco da embarcação de referência;
2. Padronizar a maioria dos elementos para serem utilizados nas duas embarcações;
3. Velocidade máxima de 40 nós;
4. Navegação em águas costeiras;
5. Capacidade para 10 passageiros.

4.2 DIMENSÕES PRINCIPAIS

As dimensões principais das embarcações de projeto foram obtidas tomando como base a de embarcação de referência mencionada na Seção 2.4.1, dessa forma a Tabela 3 apresenta as dimensões principais e seus respectivos valores, onde ângulo V da popa (*deadrise*) e o peso leve sem motor foram informações disponibilizadas pela empresa, enquanto L_{OA} , boca (B) e as dimensões do *chine* foram obtidas a partir do molde através da medição elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Dimensões principais das embarcações de projeto.

Dimensões principais	
L_{OA} (m)	7,56
Boca (m)	2,46
<i>Deadrise</i> (graus)	19
L_{chine} (m)	5,63
B_{chine} (m)	1,03

Fonte: Autor (2018).

4.3 GEOMETRIA DO CASCO

Dado que este projeto consiste da alteração somente do convés, o casco será o mesmo para ambos os projetos e foi obtido pelas medições feitas no molde da embarcação de base. Com o uso de algumas ferramentas como trena, fio de *Nylon*, prumo e fita crepe, foi possível medir e referenciar os pontos colhidos. A partir dos pontos foi construída a tabela de cotas do casco e posterior modelagem via programa *Rhinoceros*.

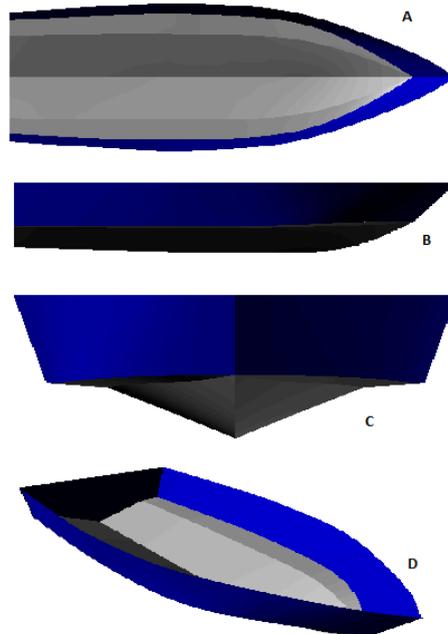
O passo a passo para a obtenção dos pontos está detalhado a seguir.

- 1) Escolher qual a distância das balizas;
- 2) Traçar linha no plano diametral na parte mais alta do casco, partindo do espelho de popa até o bico de proa. Essa linha tem como objetivo auxiliar na aquisição da meia-boca;
- 3) Para cada baliza foram coletados quatro pontos com exceção das mais a vante onde já havia terminado o *chine* ou onde o mesmo não continha uma superfície reta, somente a transição. Os quatro pontos foram:
 - Meia-boca;
 - Linha do *chine* mais externa;
 - Linha do *chine* interna;
 - Quilha.

A tabela de cotas está apresentada no Apêndice A.

Com posse dos pontos para criar a geometria do casco, os mesmos foram importados para o programa *Rhinoceros*, a partir deles foi construído as balizas e em seguida modelado as superfícies correspondentes, apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – A) Vista superior B) Vista lateral C) Vista frontal e D) Vista em perspectiva.



Fonte: Autor (2018).

4.4 PLATAFORMA MODULAR DO CONVÉS

Como apresentado na Seção 2.3.1, um produto modular tem como objetivo a integração entre módulos de forma a criar diferentes produtos. Dessa forma, o primeiro passo consiste em criar uma interface de convés padrão, comum para ambos os modelos. Depois de obter a base dos produtos a continuidade do projeto se dá pela modelagem dos módulos que serão inseridos a interface. Posto isso, os módulos foram desenhados para serem utilizados nos dois produtos embora em lugares diferentes, de maneira a atender os requisitos impostos em cada embarcação.

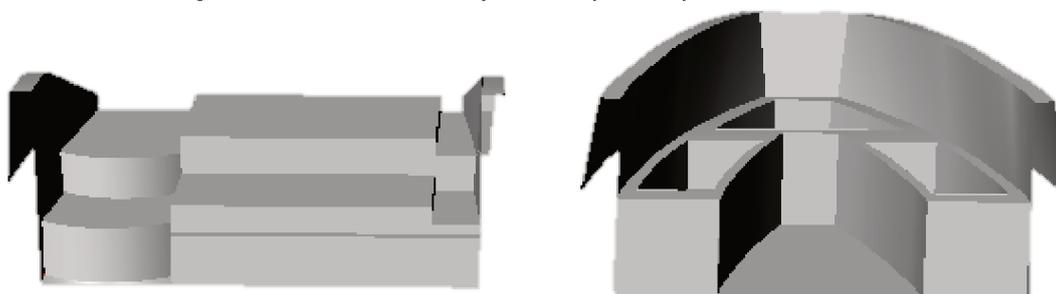
4.4.1 Interface padrão dos conveses

A interface padrão para os modelos teve como princípio a percepção sobre as regiões do convés que poderiam ser utilizadas em ambas as embarcações sem alterar

suas características. Lembrando que se tratando de uma lancha de 25 pés de proa aberta, as configurações alteram muito pouco e com isso pode-se dividir o convés em três regiões. A primeira diz respeito a parte da popa, onde estão incluídas a plataforma, o acesso para o convés da embarcação e a tampa do cofre do motor. A segunda região é referente a meia nau, esta é a que mais pode receber alterações, visto que nela encontram-se o painel de comando, banheiro, pia e assentos, analisando a embarcação base. A última região, já na parte da proa, as opções de alterações possíveis são mínimas e geralmente é reservada para assentos com compartimentos abaixo dos mesmos destinados ao armazenamento das provisões.

A partir dessa análise foi gerado no programa *Rhinoceros* uma interface padrão dos modelos e foi decidido que nas regiões de popa e proa ambos os modelos terão a mesma configuração, mas as caixas de proa para a embarcação de pesca serão reservadas para armazenamento do pescado e iscas. As modelagens estão apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Interfaces que compõem parte dos conveses.



Fonte: Autor (2018).

4.4.2 Módulos da arquitetura dos conveses

A partir das interfaces elaboradas na seção anterior, a continuidade do projeto se dá pela modelagem dos módulos que irão constituir a arquitetura completa dos conveses. Durante esta etapa deve ser avaliado quais elementos devem conter em cada uma das embarcações. O indispensável para qualquer uma delas seria o painel de comando, peça que vai logo à frente do piloto onde deve ser instalado a caixa de direção, os medidores referentes a velocidade, trim, rotação do motor, nível de combustível, ou seja, tudo que o piloto precisa saber sobre a embarcação durante a

navegação. Outro elemento importante e que pode ser instalado sem problemas em uma embarcação desse comprimento é o banheiro.

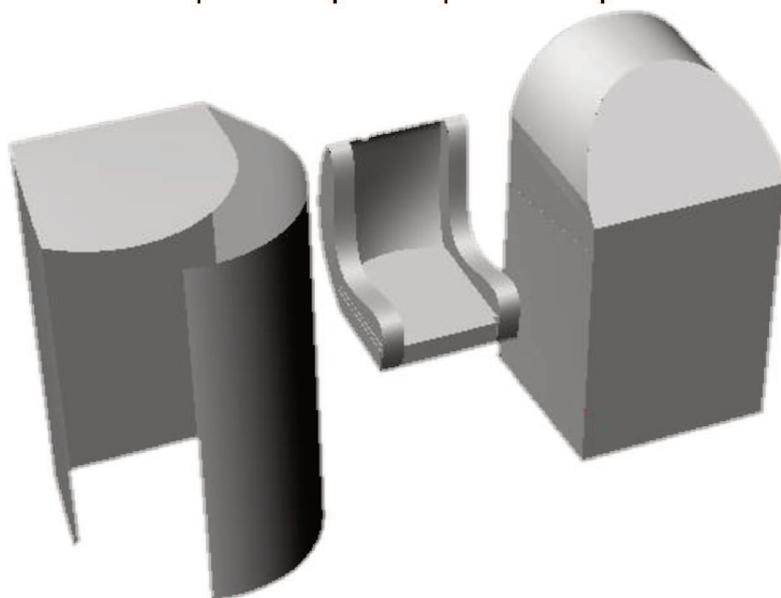
A melhor maneira para posicionar os módulos é a partir da análise das embarcações destinadas para cada finalidade. Como apresentado na Seção 2.1.2, as embarcações de pesca em sua maioria possuem o painel de comando localizado na região central da embarcação, enquanto nas de recreio sua posição é afastada do centro, mais precisamente em um dos bordos. A posição do painel está relacionada com o espaço útil do convés, seu posicionamento pode melhorar a circulação nas regiões de interesse do barco. Esta ideia também pode ser aplicada na escolha da posição do banheiro. Visto isso, foi decidido posicionar para a embarcação de pesca o painel no centro, enquanto na de lazer a boreste.

Em ambos os casos, é imprescindível o assento para o piloto. Nas embarcações com comando central é desejável que este esteja lado a lado com o copiloto, de forma a manter livre o acesso aos bordos da embarcação. Para a embarcação de lazer, um dos assentos de passageiros é posicionado no bordo oposto ao do piloto para liberar a área central. Esses bancos geralmente possuem uma base feita em laminado de fibra de vidro para que posteriormente seja feito o estofamento.

Assim, têm-se os três elementos que serão empregados nos dois modelos de embarcações (painel de comando, banheiro e base de estofamento dos assentos). A partir disso, foi desenvolvido um modelo para cada elemento de maneira que suas formas possam ser conectadas nos dois conveses sem que haja nenhuma modificação das peças.

A Figura 7 apresenta a modelagem desses elementos, onde da esquerda para a direita corresponde ao painel, banheiro e base dos assentos, respectivamente.

Figura 7 – Módulos padrões que compõem a arquitetura dos conveses.



Fonte: Autor (2018).

5 PRIMEIRA ITERAÇÃO DA ESPIRAL DE EVANS – EMBARCAÇÃO DE RECREIO

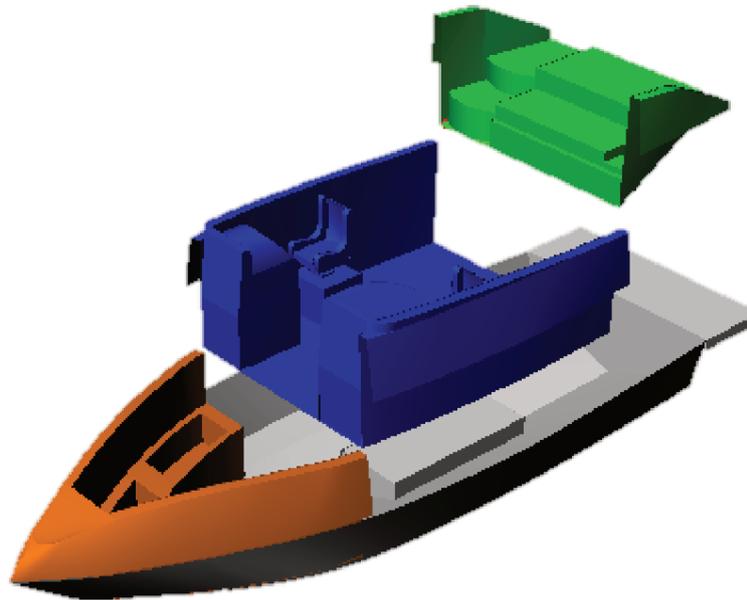
Neste capítulo será desenvolvido as análises da primeira iteração da Espiral de Evans para o projeto da embarcação de recreio.

5.1 ARQUITETURA DE UNIÃO DOS MÓDULOS COM A INTERFACE

Definidos os módulos básicos que serão incorporados a interface central da arquitetura do convés na Seção 4.4.2, foi feito a modelagem dessa, onde a mesma deve conter um ressalto para fixação dos para-brisas. Outra escolha foi de instalar encostos para os bancos laterais de proa, os quais devem ser apoiados no banheiro e no painel respectivamente.

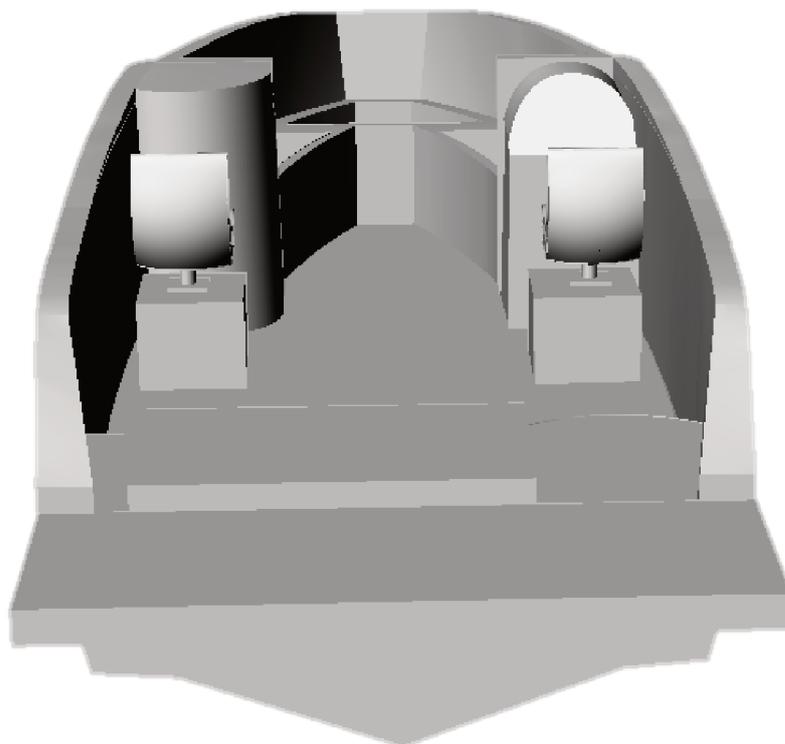
Desta forma, a Figura 8 apresenta as interfaces do convés e a Figura 9 a construção final depois da união.

Figura 8 – Apresentação das interfaces que compõem a arquitetura do convés da embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

Figura 9 – Modelagem final do convés da embarcação de recreio vista pela popa.



Fonte: Autor (2018).

5.2 ESTIMATIVA DE PESOS

A estimativa de pesos para o projeto levou em consideração os materiais que atualmente é utilizado no estaleiro e das informações que o mesmo disponibilizou. De acordo com o estaleiro, a embarcação possui peso leve sem motor no total de 1280 kg e a capacidade dos tanques de água e combustível são de 60 e 220 litros respectivamente. A capacidade de pessoas a bordo requeridas pelo armador é de 10 passageiros e o peso do motor foi obtido, tendo como referência o que é aconselhado pelo fabricante como sendo a máxima potência permitida, um motor de centro com rabeta de 320 HP.

O motor selecionado foi o modelo da Mercury Diesel 320 HP com rabeta e hélice Bravo 3, apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Motor Mercury Diesel 320 HP com rabeta Bravo 3.



Fonte: Mercury (2018).

A Tabela 4 apresenta as especificações do motor obtidas a partir do site da Mercury.

Tabela 4 - Especificações do motor utilizado.

Potência [hp]	320
Peso motor + bravo 3 [kg]	588
Comprimento [mm]	773
Largura [mm]	1077
Altura [mm]	790

Fonte: Autor (2018).

O peso referente a cada passageiro foi determinado utilizando com base o que determina a norma ISO 12217-1, igual a 75 quilogramas por passageiro, a qual será utilizada para a avaliação da estabilidade na seção correspondente.

Sendo assim, a parcela restante para compor o peso total da embarcação é referente a de provisões. A Tabela 5, a seguir apresenta os valores obtidos para cada parcela, indicando as considerações feitas, enquanto a Figura 11 a porcentagem com relação ao deslocamento total.

Tabela 5 – Resultado das avaliações dos pesos da embarcação de recreio.

Parcela	Quantidade	Consideração	Valor	Unidade
Peso leve sem motor	1,00	Embarcação base	1280,00	kg
Maquinário	1,00	Motor + Rabeta + Hélice	588,00	kg
Combustível	220 litros	Densidade = 850 kg/m ³	187,00	kg
Água	60 litros	Densidade = 1000 kg/m ³	60,00	kg
Passageiros	10,00	75 kg por passageiro	750,00	kg
Provisões	10,00	10 kg por passageiro/dia	100,00	kg
Total			2965,00	kg

Fonte: Autor (2018).

Figura 11 – Distribuição dos pesos na condição máxima de operação para embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

A parcela referente ao peso leve sem motor, como mencionado, foi considerada como sendo o mesmo valor disponibilizado pelo estaleiro da embarcação base. Embora é sabido que esse valor provavelmente não será exatamente igual, foi feita essa consideração pois as modelagens foram feitas sempre tomando como base a embarcação real. Dessa forma, foi considerado válida essa abordagem levando em conta que se trata da embarcação semelhante e seria uma boa estimativa inicial para a primeira volta da Espiral de Evans de um projeto conceitual.

Em uma segunda volta, deve ser feito uma análise mais específica, levando em conta a topologia estrutural da embarcação a fim de obter resultados mais precisos.

5.3 ESTIMATIVA DOS CENTROS

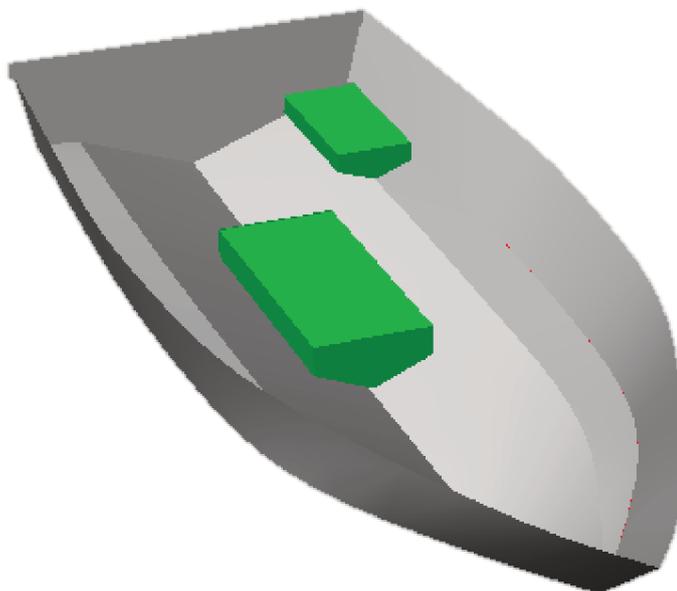
A partir da tabela de pesos que compõem o deslocamento máximo, os mesmos podem ser distribuídos em seus respectivos lugares. Sabendo o centro de massa de cada peso é possível calcular o centro longitudinal e vertical de gravidade da embarcação. Esses dois parâmetros são fundamentais para o projeto, uma vez que se trata de um casco de planeio, os pesos devem ser distribuídos cautelosamente para garantir segurança, desempenho e conforto aos passageiros.

Por se tratar de um projeto conceitual, onde as informações quanto a distribuição de peso de cada parcela é estimada, a mesma deve ser feita de maneira conservadora. Contudo, alguns centros foram obtidos utilizando-se uma ferramenta do programa *Rhinoceros* que identifica o centro de massa da superfície. O centro de massa é representado pelo programa fornecendo tanto a resultante longitudinal quanto vertical das superfícies selecionadas.

Desta maneira, para representar cada um dos passageiros, foi utilizado superfícies quadradas idênticas, posicionadas em seus respectivos assentos. Considerou-se as provisões dispostas nos paióis de proa, enquanto os centros correspondentes ao peso leve foram encontrados selecionando-se todas as superfícies do casco e convés.

Por fim, o motor selecionado foi considerado como sendo uma caixa com as dimensões apresentadas anteriormente e para os tanques de água e combustível os mesmos foram modelados nas mesmas dimensões dos que são fabricados na embarcação base do projeto. Para todos esses elementos foi estimado o centro de massa através do programa *Rhinoceros*, selecionando todas as superfícies que os compõem.

Figura 12 – Modelagem e posicionamento dos tanques de combustível e de água na embarcação.



Fonte: Autor (2018)

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos dos centros longitudinais e verticais de cada parcela da estimativa de pesos.

Tabela 6 – Posição dos centros de gravidade dos pesos da embarcação de recreio.

	LCG [m]	VCG [m]
Peso leve	2,64	0,48
Peso motor	0,39	0,40
Passageiros	2,56	0,98
Provisões	4,55	0,75
Combustível	2,16	0,21
Água	0,69	0,45
Total	2,17	0,58

Fonte: Autor (2018).

Definido os valores das parcelas de peso e seus respectivos centros, utilizando o programa *Maxsurf Stability*, foi obtido alguns parâmetros da embarcação que servirão de entrada para os cálculos de resistência ao avanço e topologia estrutural, além de outros que mesmo não sendo essenciais para o desenvolvimento desta primeira volta, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros da embarcação de recreio em equilíbrio na condição máxima de operação

L_{WL}	5,65	m
B_{WL}	2,2	m
T_m	0,46	m
Ângulo de trim	2,1	graus
S	12,2	m ²
C_p	0,70	
C_b	0,43	
C_m	0,67	
C_{wp}	0,82	
KB	0,32	m
BM_t	1,18	m
GM_t	0,95	m

Fonte: Autor (2018).

5.4 RESISTÊNCIA AO AVANÇO

Para realizar a estimativa da resistência ao avanço, foi utilizado a modelagem do casco no programa *Rhinoceros* e os cálculos obtidos através da extensão *Orca 3D*.

Esta extensão realiza o cálculo numérico da resistência ao avanço de casco nu baseado no modelo empírico de Savitsky (Seção 2.4.6) mas com algumas melhorias, como a consideração da variação do ângulo de *deadrise* ao longo do casco e a influência dos *spray rails*. Essa abordagem de Savitsky é empregada pelo programa para velocidades de planeio completamente desenvolvido, antes dessa condição o modelo utilizado é o desenvolvido por Blount e Fox (1976), essa abordagem, segundo a desenvolvedora da extensão, caracteriza de maneira mais precisa a resistência ao avanço da embarcação para o regime de pré-planeio.

Visto isso, em posse dos parâmetros de entrada necessários para realização dos cálculos, o primeiro passo é definir as condições de projeto exigidas pelo programa, onde deve ser informado o deslocamento da embarcação e os respectivos valores de LCG e VCG. Feito isso, na aba referente a análise são solicitados outros parâmetros como a posição longitudinal e vertical do propulsor e o ângulo que o mesmo faz com a linha de base. Entretanto foi considerado que o mesmo atua na mesma direção do CG, da mesma forma que foi apresentado o modelo semi-empírico para o caso simples (sub-seção 2.4.6.1).

Os demais parâmetros de entrada se referem a faixa de velocidades desejadas para análise, além das margens e eficiência do sistema propulsivo. De

acordo com a desenvolvedora do programa, tipicamente a eficiência do sistema propulsivo varia de 50% a 65% e como estimativa inicial sugere uma margem de 0 a 30%. Pensando de maneira conservadora, decidiu-se por considerar o maior valor de margem e a mínima eficiência para esta primeira estimativa.

Dessa forma, com todos os parâmetros selecionados é possível executar o programa considerando uma velocidade máxima de 40 nós, requisito este, advindo do armador. A Tabela 8 apresenta os valores obtidos de resistência, potência total e trim dinâmico para a velocidade máxima selecionada e para a velocidade onde o valor de resistência foi mínimo.

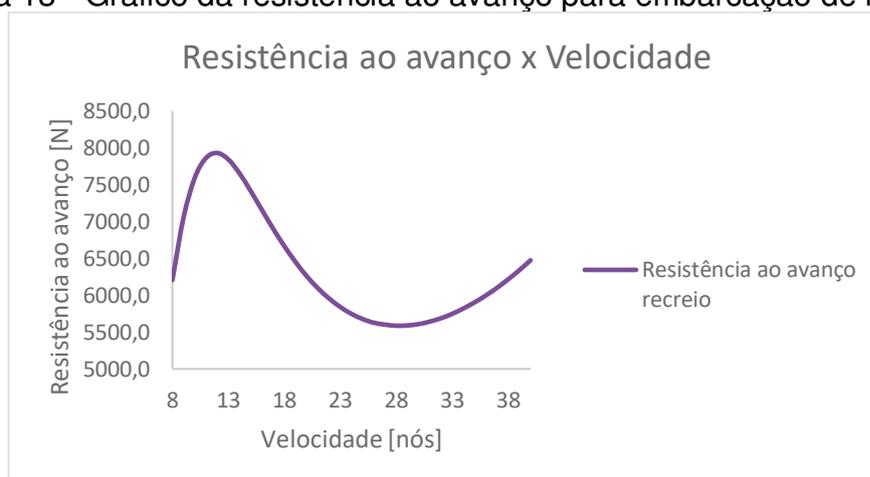
Tabela 8 – Resultado da análise da resistência ao avanço para embarcação de recreio.

Velocidade [nós]	Resistência [N]	Potência [kW]	trim [deg]
28	5586,0	160,9	4,7
40	6473,6	266,4	2,9

Fonte: Autor (2018).

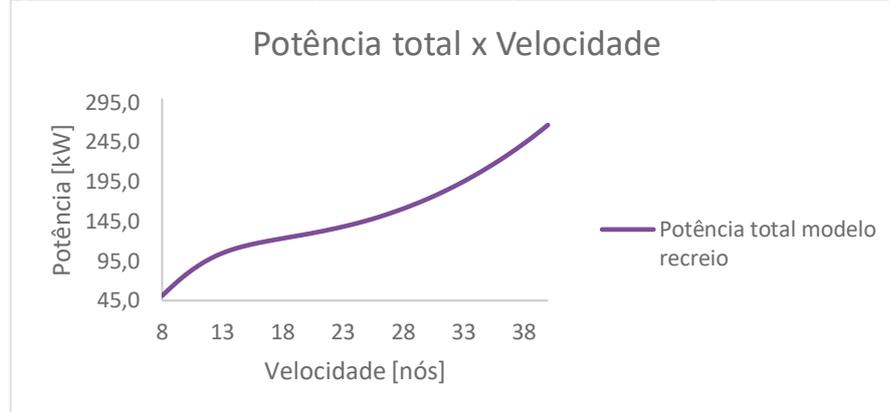
As Figuras 13,14 e 15 apresentam os gráficos das três grandezas mencionadas.

Figura 13 - Gráfico da resistência ao avanço para embarcação de recreio.



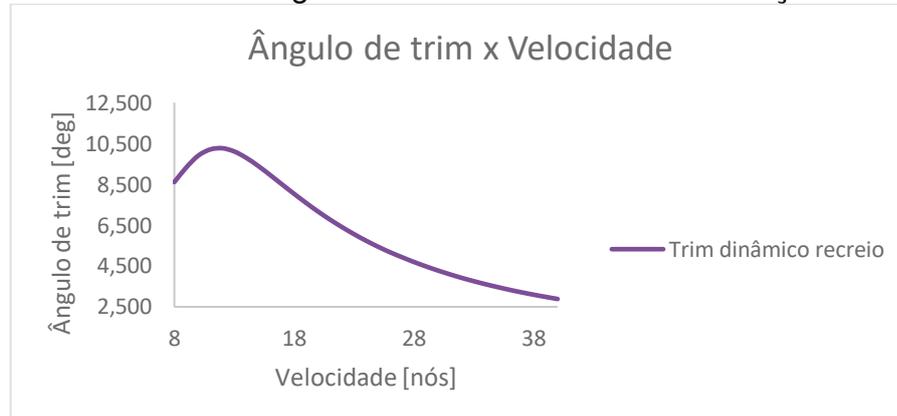
Fonte: Autor (2018).

Figura 14 - Gráfico da potência total para embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Gráfico do ângulo de trim dinâmico da embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

5.5 ESTABILIDADE DINÂMICA LONGITUDINAL

A avaliação da estabilidade dinâmica longitudinal é fundamental para verificar o comportamento da embarcação durante sua navegação. Esse fenômeno conhecido como *porpoising* é peculiar às embarcações de planeio de alta velocidade, dessa forma se faz essencial seu estudo nesse projeto.

Savitisky (1964), em sua publicação *Hydrodynamic Design of Planing Hulls*, apresenta graficamente os resultados obtidos por Day e Haag (1952), os quais conduziram uma série de testes para determinar os limites de *porpoising* para cascos com ângulo de *deadrise* constantes. O propósito desses testes era fornecer aos projetistas navais informações úteis sobre o início da ocorrência de *porpoising* em

termos das variáveis trim, velocidade, deslocamento e ângulo de *deadrise* (SAVITSKY, 1964).

Entretanto, nesta publicação de Savitsky, o mesmo apresenta o gráfico referente a somente três ângulos de *deadrise*, desta forma, a verificação de *porpoising* para este projeto foi baseado na regressão polinomial apresentada por Nakanishi et al., (2012) obtida através dos gráficos apresentados por Savitsky (1964). Na Equação 14 está apresentada a regressão polinomial.

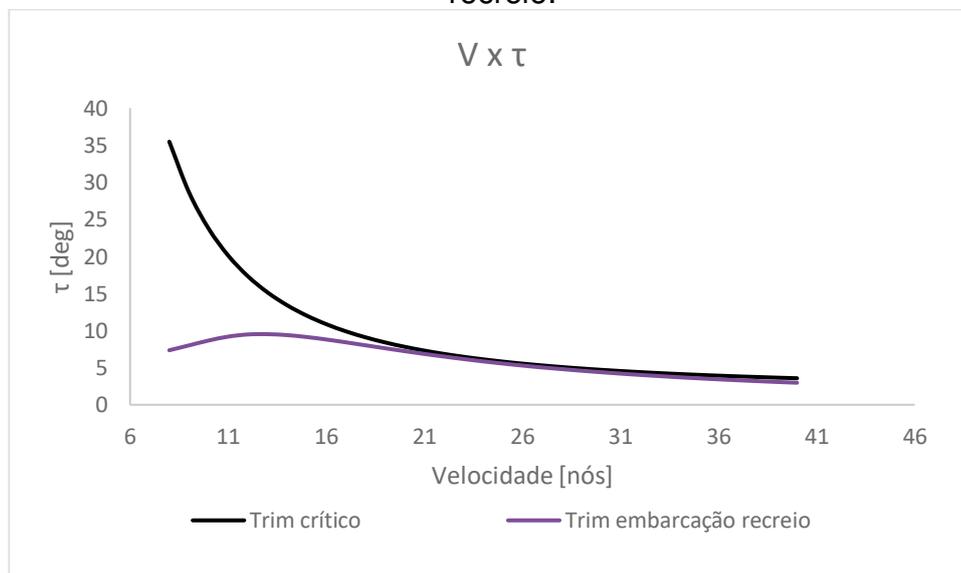
$$\begin{aligned} \tau_{crítico} = & -1,7181 + 11,3419 * \sqrt{\frac{C_{L\beta}}{2}} + 82,3869 * \frac{C_{L\beta}}{2} + 0,1896 * \beta_{LCB} - 0,0016 \\ & * \beta_{LCB}^2 - 0,3125 * \beta_{LCB} * \sqrt{\frac{C_{L\beta}}{2}} \end{aligned} \quad (14)$$

Onde:

$$C_{L\beta} = \frac{\Delta_{lb}}{0,5 * \rho_{\acute{a}gua} * V_{ft/s}^2 * B_{Xft}^2} \quad (15)$$

A Figura 16 indica que os valores de trim dinâmico obtidos na análise da resistência ao avanço não ultrapassaram o limite crítico.

Figura 16 - Gráfico para verificação da ocorrência de *porpoising* para embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

5.6 TOPOLOGIA ESTRUTURAL

De acordo com a literatura de Gerr (2000), a primeira etapa para o desenvolvimento da topologia estrutural é determinar as espessuras mínimas que o laminado final deve possuir. Para determinar o valor dessas espessuras, é utilizado um número base chamado pelo autor de “Scantling Number” (S_n), conforme a Equação 16.

$$S_n = \frac{L_{OA} * B * D}{28,32} \quad (16)$$

Importante ressaltar, que a Equação 16 é utilizada para medidas no SI.

O autor sugere que sejam avaliadas necessidades de correções dos valores de L_{OA} e B, relacionando-se essas dimensões com seus equivalentes no plano de linha d’água. Para o ajuste do comprimento, se o total for 8% maior que o comprimento na linha d’água, L_{OA} deve ser substituído pela média entre esses dois valores. O mesmo deve ser feito para a boca da embarcação, só que nesse caso o ajuste só deve ser feito se a boca máxima for 12% maior que a do plano de linha d’água.

A Tabela 9 apresenta a diferença percentual dos valores de comprimento enquanto a Tabela 10 os valores de boca.

Tabela 9 – Diferença percentual do comprimento total pelo de linha d’água da embarcação de recreio.

L_{OA}	6,26	m
L_{WL}	5,7	m
Diferença	9,3	%

Fonte: Autor (2018).

Tabela 10 – Diferença percentual da boca total pela de linha d’água da embarcação de recreio.

B	2,46	m
B_{WL}	2,2	m
Diferença	11,8	%

Fonte: Autor (2018).

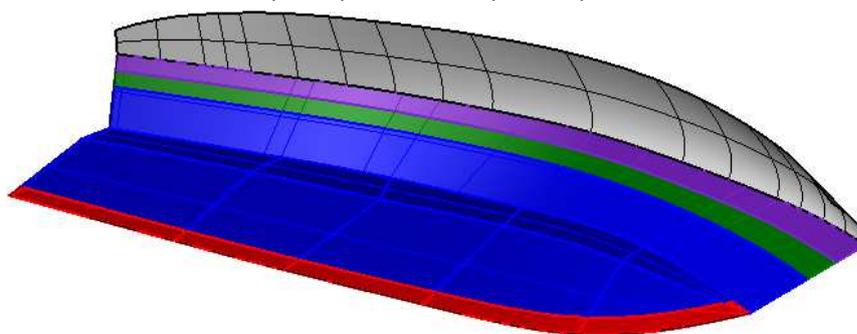
Nesse caso, o ajuste nas variáveis dos cálculos dar-se-á somente para a o comprimento. A média dessas duas dimensões resulta em 5,97 metros.

Antes de apresentar os cálculos das espessuras devem-se definir as regiões que o autor divide a embarcação, visto que cada uma é tratada individualmente. As regiões analisadas são:

- Fundo do casco – Região estendida da altura BLH (Equação 6) até a quilha;
- *Lower topsides* – Compreende essa região como sendo a metade inferior da distância entre BLH até a linha onde termina o casco;
- *Upper topsides (UTS)* – Complementar do *Lower topsides*;
- Quilha – Região inferior do casco no plano diametral;
- Convés – Parte superior da embarcação a qual é unida ao casco.

A Figura 17 ilustra essas regiões no casco de projeto.

Figura 17 – Quilha (vermelho), Fundo (azul), *Lower topside* (verde), *Upper topside* (roxo), Convés (Cinza).



Fonte: Autor (2018).

BLH é a altura acima da linha d'água a qual inicia o *Lower topsides* e é derivada da Equação 17.

$$BLH[cm] = 13,71 * Sn^{0,38} \quad (17)$$

Definida as regiões da embarcação que serão analisadas no plano de laminação, o autor utiliza um valor fixo que servirá de referência para as demais espessuras. Esse valor refere-se a espessura do “*Lower Topsides (LTS)*”, Equação 18, derivado do Sn.

$$LTS[mm] = 6,35 * \sqrt[3]{Sn} \quad (18)$$

A partir desse valor, as demais espessuras são obtidas pelas equações 19 a 22.

$$Fundo\ do\ casco = 1,15 * LTS \quad (19)$$

$$UTS = 0,85 * LTS \quad (20)$$

$$Convés = 0,85 * LTS \quad (21)$$

$$Quilha = 1,5 * LTS \quad (22)$$

As espessuras calculadas podem ser utilizadas em embarcações até 10 nós, no entanto, para maiores velocidades, é necessário ajustar a espessura da região entre o BLH até a quilha em 1% para cada nó somado. A embarcação é projetada para chegar até 40 nós, logo, deve-se aumentar 30% dos valores obtidos.

Além disso, é necessário realizar um novo ajuste nas espessuras devido ao deslocamento, conforme Equação 23.

$$Aumento(\%) = 0,89 + \left(\frac{D/L}{2500} \right) \quad (23)$$

Onde:

$$\frac{D}{L} = \frac{\frac{\Delta}{1267}}{\left(\frac{L_{WL}}{328} \right)^3} \quad (24)$$

O valor do aumento da espessura devido ao deslocamento foi de 7% para embarcação de recreio.

Das regiões mencionadas, o convés e o fundo são lugares que servirão como base para montagem de algumas peças e estarão sujeitas a uma solicitação de carga maior que as demais áreas. Um exemplo é o piso do convés que irá suportar o peso dos passageiros ou a região mais a ré do fundo onde será posicionado o motor da embarcação.

Visto isso, o autor recomenda um aumento de 25% na espessura do convés e 10% do fundo dessas regiões consideradas críticas. Para o convés, foi considerado crítico as áreas onde os passageiros podem transitar e os assentos, enquanto para fundo do casco foi determinado que a região da praça de máquinas receberia este incremento na espessura.

Outro incremento adotado e mencionado pelo autor em seu livro é com relação ao tipo de serviço da embarcação. Este recomenda um aumento de 5% a 10% na espessura em todas as regiões para embarcações do tipo recreio e pesca. Neste caso, foi escolhido o valor máximo visando um dimensionamento mais conservador.

Admitindo todas as recomendações, os cálculos finais das espessuras mínimas requeridas do laminado para cada região da embarcação estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Espessura mínima do laminado para cada região da embarcação.

Fundo área crítica	10,9	mm
Fundo	9,9	mm
Quilha	13	mm
<i>Lower topside</i>	6,7	mm
<i>Upper topside</i>	5,7	mm
Convés	5,7	mm
Convés áreas críticas	7,1	mm

Fonte: Autor (2018)

Definida as espessuras, a próxima etapa é realizar o plano de laminação, o qual consiste em determinar a quantidade de tecido *woven roving* e manta em fibra de vidro que serão laminados com resina poliéster. O método de laminação considerado para o processo de fabricação é a laminação manual, o mesmo empregado atualmente pelo estaleiro onde a embarcação é construída.

O plano de laminação é a etapa do processo de dimensionamento estrutural que determinará a quantidade de material que deve ser empregado em cada região dos moldes que compõem a embarcação. A quantidade de material refere-se a quantas camadas de tecido *woven roving* e manta de fibra de vidro são necessárias para alcançar o valor mínimo requerido de espessura final.

Para o projeto de ambas as embarcações, foi escolhido o material de reforço Biply, produzido pela OwensCorning. Este material é composto pelo tecido *woven roving* costurado a uma camada de manta de fibra de vidro, dessa forma é possível produzir peças com mais rapidez, pois duas camadas são laminadas simultaneamente. Dessa forma, o produto escolhido, especificado pelo fabricante pelo código WR0800/S450, possui gramatura do tecido biaxial, de 800 g/m² e manta 450 g/m², resultando em um total de 1250 g/m².

Para este plano de laminação, utilizando o procedimento de Gerr (2000), onde para um reforço combinado de tecido e manta de fibra e vidro com gramatura de 814 g/m² e 457,5 g/m² respectivamente, laminados com resina poliéster a uma proporção de 35% de vidro no peso final, obtém-se uma espessura de 2,26 milímetros em cada camada.

Outra questão que deve ser considerada durante a laminação de uma embarcação é a qualidade superficial do filme de *gel-coat*. O autor aponta em sua obra que caso o tecido seja laminado na primeira camada, é possível que este fique aparente sobre o filme de *gel-coat*, com isso, o mesmo recomenda que as duas primeiras camadas do laminado sejam compostas somente por manta. Dessa forma, em todas as regiões da embarcação, após a aplicação do *gel-coat*, devem ser laminadas duas camadas de manta e em seguida o reforço combinado.

Feita essas considerações, a Tabela 11 apresenta o plano de laminação para a embarcação de recreio, onde o valor de espessura se refere somente ao obtido com o *Biply*, visto que este é quem constitui o reforço estrutural.

Tabela 12 – Plano de laminação da embarcação de recreio.

Região	Camadas de material	Espessura	Unidade
Fundo áreas críticas	2 Mantas 450 + 5 WR0800/S450	11,3	mm
Fundo	2 Mantas 450 + 5 WR0800/S450	11,3	mm
Quilha	2 Mantas 450 + 6 WR0800/S450	13,56	mm
<i>Lower topside</i>	2 Mantas 450 + 3 WR0800/S450	6,78	mm
<i>Upper topside</i>	2 Mantas 450 + 3 WR0800/S450	6,78	mm
Convés	2 Mantas 450 + 3 WR0800/S450	6,78	mm
Convés áreas críticas	2 Mantas 450 + 4 WR0800/S450	9,04	mm

Fonte: Autor (2018).

Além da determinação das espessuras apresentadas acima, a topologia estrutural envolve o dimensionamento dos reforçadores, os quais são responsáveis por suportar as cargas que a embarcação estará sujeita durante sua vida-útil. Esses reforçadores devem ser dispostos tanto no sentido longitudinal quanto transversal, visando suportar os esforços de momento fletor e torção respectivamente. Um dimensionamento e arranjo correto desses reforçadores são fundamentais para garantir a segurança dos passageiros e prolongar a vida-útil da embarcação.

Gerr (2000) define que toda embarcação construída em fibra de vidro, para usar seu método expedito de dimensionamento, deve valer-se de cinco longarinas contínuas em cada bordo do casco da embarcação, espaçadas de maneira equidistantes. No convés essa distância deve ser de no máximo 80 centímetros.

Tomando como base um dos bordos da embarcação, serão dois reforçadores entre a quilha e o *chine* além de outros dois entre o *chine* e o final do casco. O último reforçador deve ser posicionado no *chine* ou outra opção é reforçá-lo aumentando a espessura do laminado.

Os reforçadores em embarcações de fibra de vidro podem ser feitos de um núcleo inercial e posteriormente laminados na região determinada, ou podem ser produzidos com auxílio de uma forma ou molde e posteriormente serem fixados no casco. O segundo, embora mais utilizado, não é visto por Gerr (2000) como uma boa opção principalmente por serem ocos e dessa forma, propícias ao acúmulo de água.

Os núcleos normalmente são compostos por espuma rígida de PVC ou madeira balsa, entretanto para o local onde será fixado o motor da embarcação, pelo menos um terço da altura na parte superior do reforçador, deve ser composto de madeira sólida. Para este projeto optou-se por seguir com as recomendações de Dave Gerr (2000) e utilizar reforçadores compostos por núcleos inerciais.

A literatura de referência apresenta as formulações para determinar a altura e largura de cada longarina, assim como a espessura mínima de laminação para união ao casco ou convés. No caso do fundo da embarcação, através da Equação 25 é obtido ambas as dimensões dos reforços longitudinais e a Equação 26 a espessura mínima requerida para sua união ao casco.

$$H_{lf} = 78,7 * S_n^{0,3} \quad (25)$$

$$t_{hlf} = 4,6 * S_n^{0,4} * \% \text{ ajuste de velocidade} * \% \text{ ajuste de deslocamento} \quad (26)$$

É importante ressaltar, que o dimensionamento dos reforçadores deverá ser o mesmo para ambas as embarcações de projeto, uma vez que os cálculos dependem somente de informações referentes às dimensões principais da embarcação, sendo essas iguais para as duas de acordo com os requisitos do armador.

Para as longarinas que servirão de base para a montagem do motor (t_{lfm}), a largura permanece a mesma, enquanto a altura será 1,5 vezes H_{lf} e a espessura de laminação 1,4 vezes a espessura t_{hlf} .

Com relação às longarinas do costado e convés as Equações 27, 28 e 29, representam a largura, altura e espessura mínima do laminado, respectivamente.

$$L_{lcc} = 79,2 * S_n^{0,28} \quad (27)$$

$$H_{lcc} = \frac{79,2 * S_n^{0,28}}{2} \quad (28)$$

$$t_{lcc} = 0,17 * S_n^{0,38} \quad (29)$$

Por fim, para completar a estrutura que compõe todos os reforçadores longitudinais, resta dimensionar a espessura do *chine* reforçado (t_{chine}). O autor determina que esta espessura deve ser 1,35 vezes a espessura mínima requerida para a região do fundo da embarcação. A Tabela 13 apresenta os valores calculados para o dimensionamento das longarinas e as espessuras mínimas requeridas para laminação.

Tabela 13 – Dimensões e espessura de laminação das longarinas do casco e convés.

H_{lf}	71,8	mm
H_{lfm}	107,7	mm
L_{lcc}	72,7	mm
H_{lcc}	36,3	mm
t_{lf}	5,7	mm
t_{lfm}	7,9	mm
t_{lcc}	3,8	mm
t_{chine}	13,6	mm

Fonte: Autor (2018).

Utilizando o mesmo material de laminação do casco e convés, e considerando a mesma proporção de vidro/resina feito anteriormente, a Tabela 14 apresenta as quantidades de camadas necessárias para alcançar o valor de espessura requerido.

Tabela 14 – Plano de laminação dos reforçadores longitudinais do casco e convés.

Reforçador	Camadas de material	Espessura	Unidade
Longarina do fundo	3 WR0800/S450	6,8	mm
Longarina base do motor	4 WR0800/S450	9,0	mm
Longarina costado e convés	2 WR0800/S450	4,5	mm
<i>Chine</i> reforçado	6 WR0800/S450	13,6	mm

Fonte: Autor (2018).

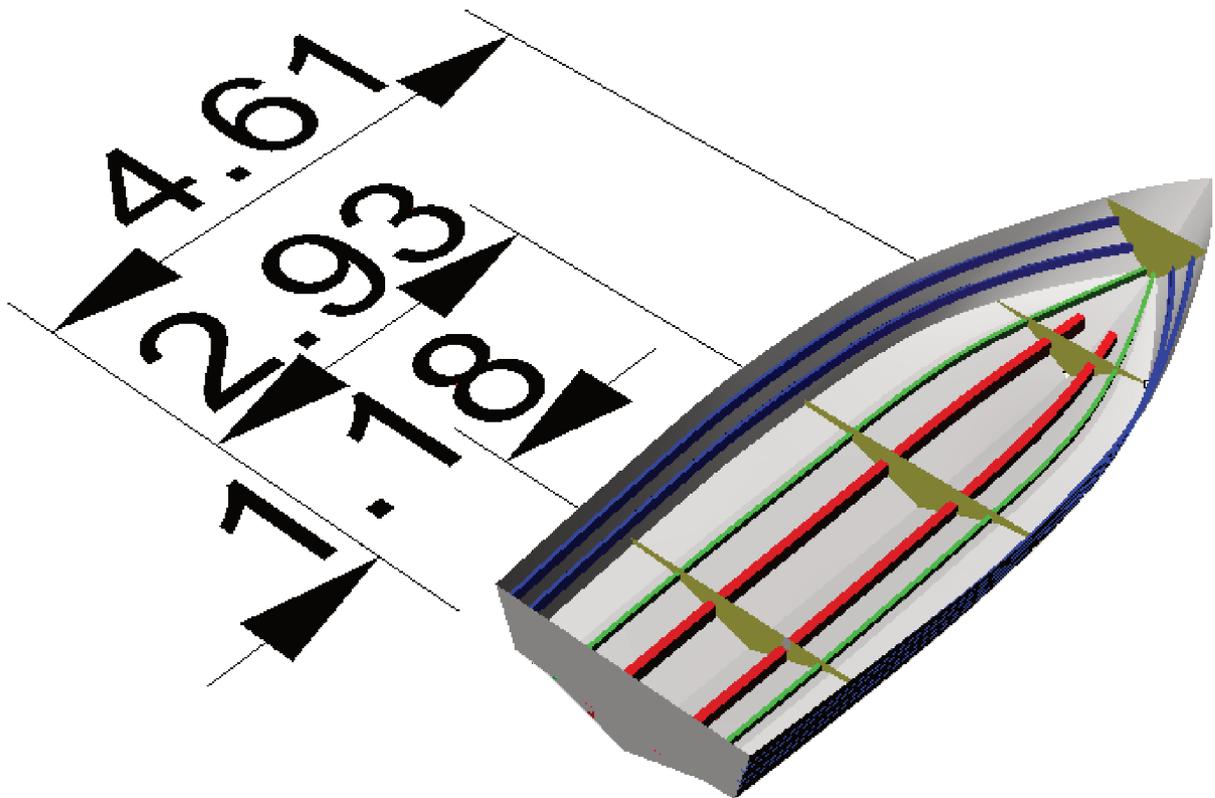
Após o dimensionamento das longarinas, a próxima etapa do dimensionamento estrutural é composta pelos reforçadores transversais. Esses reforços podem ser tanto anteparas quanto um sistema de cavernas. Na obra de referência, o autor permite que o projetista faça a escolha por qualquer um dos sistemas, dessa forma, pela praticidade de construção, foi decidido por utilizar anteparas fabricadas em compensado naval para compor os reforçadores transversais da embarcação.

A quantidade de anteparas é determinada através da Equação 30.

$$N^{\circ} \text{ de anteparas} = 1,15 * L_{OA}^{0,7} \quad (30)$$

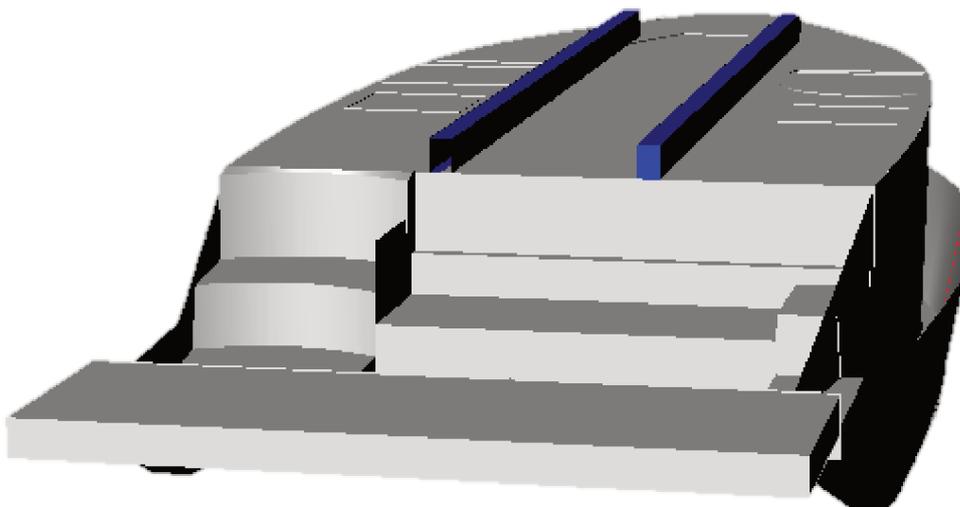
Esta equação resultou no total de 4 (quatro) anteparas, sendo que a anteparada de colisão deve estar entre 10% a 25% do comprimento total em relação a proa. A disposição das anteparas ao longo do casco, segundo o autor, devem ser espaçadas mais ou menos na mesma distância, sendo conveniente posicionar uma na região da roda de proa, local que estará constantemente sujeito a maiores impactos. Com isso, a Figura 18 apresenta a disposição final de todos os reforçadores no casco da embarcação e a distância das anteparas em relação a popa e a Figura 19 o arranjo dos reforçadores no convés.

Figura 18 – Arranjo do dimensionamento dos reforçadores do casco.



Fonte: Autor (2018).

Figura 19 – Arranjo dos reforçadores do convés.



Fonte: Autor (2018).

Com relação à laminação da antepara, o autor especifica através da Equação 31, o peso do laminado por metro quadrado, sendo que este não deve ser composto somente por manta e pela Equação 32 a espessura da madeira do reforço transversal.

$$\frac{g}{m^2} = 746 * S_n^{0,3} \quad (31)$$

$$t_{antepara} = 11,43 * S_n^{0,3} \quad (32)$$

A Equação 31 resultou em uma gramatura de 680,5 g/m², logo uma camada do material Biplly é suficiente para atender este requisito, enquanto através da Equação 32 obteve-se uma espessura mínima do núcleo de 10,4 mm.

5.7 ESTABILIDADE INTACTA

O estudo da estabilidade foi conduzido baseado nos critérios definidos pela ISO 12217-1 *Small Craft – Stability and buoyancy assessment and categorization*. Essa norma pode ser aplicada para embarcações a motor com comprimento total igual ou superior a 6 metros. Para dar início as verificações, primeiramente a embarcação deve ser enquadrada em alguma das categorias definidas pela norma referente a altura significativa de onda e velocidade do vento da região que a mesma é projetada para navegar.

De acordo com os requisitos do armador, as embarcações de projeto devem navegar em águas costeiras, o que de acordo com o Decreto Nº 5300/2004 a zona costeira brasileira possui uma faixa marítima que se estende por doze milhas náuticas medido a partir da média da água mais baixa da maré.

A fim de obter as informações quanto as alturas significativas de onda para a costa brasileira, recorreu-se ao artigo "*Wind wave climate along Brazilian coast using a spectral partitioning algorithm*" (CARVALHO E INNOCENTINI, 2011), o qual foi baseado no modelo de ondas oceânicas *WAVEWATCH III (WW3)*. De acordo com este estudo, as alturas significativas de onda variaram entre 0,75 a 2 metros entre os estados do Amapá até o Rio Grande do Sul.

A partir dessa informação, foi estabelecido que a embarcação de projeto deve atender aos requisitos necessários à categoria C da norma ISO 12217-1. Essa categoria contempla as embarcações destinadas a navegarem em águas interiores, estuários e águas costeiras em condições meteorológicas moderadas com altura significativa de onda até 2 metros e força de vento constante equivalente a escala 6 ou menos de Beaufort.

Para embarcações enquadradas na categoria C, as seguintes análises devem ser conduzidas:

- Abertura dos pontos de alagamento;
- Altura das aberturas dos pontos de alagamento;
- Teste de deslocamento de carga;
- Banda devido a ação de vento;
- Detecção e retirada de água.

Entretanto o último tópico da lista não será abordado nesse projeto, pois se refere a um teste que deve ser conduzido com a embarcação já construída.

Antes de iniciar as análises necessárias para a categoria da embarcação, será apresentado as condições de carga definidas pela norma e que serão avaliadas no decorrer deste capítulo. São definidas três condições de carregamento: mínima de operação (mMO), máxima de operação (mLDC) e operação de chegada (mLA). As Tabelas 15, 16 e 17 apresentam essas condições de carregamento.

Tabela 15 – Condição de carregamento mínimo para embarcação de recreio.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,64	0	0,48
Motor	1	588	588	0,39	0	0,4
Tripulantes	1	75	75	2,56	0	1
Provisões	1	10	10	4,55	0	0,75
Combustível	0%	187	0	2,171	-0,001	0,037
Água	0%	60	0	0,691	-0,685	0,336
Total			1953	1,969	0	0,477

Fonte: Autor (2018).

Tabela 16 – Condição de carregamento máximo da embarcação de recreio.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,64	0	0,48
Motor	1	588	588	0,39	0	0,4
Tripulantes	10	75	750	2,56	0	1
Provisões	10	10	100	4,55	0	0,75
Combustível	100%	187	187	2,158	0	0,216
Água	100%	60	60	0,691	-0,685	0,447
Total			2965	2,169	-0,013	0,588

Fonte: Autor (2018).

Tabela 17 – Condição de carregamento de chegada da embarcação de recreio.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,64	0	0,48
Motor	1	588	588	0,39	0	0,4
Tripulantes	10	75	750	2,56	0	0,98
Provisões	10	10	100	5,5	0	0,75
Combustível	15%	187	28,05	2,158	-0,001	0,101
Água	15%	60	9	0,691	-0,685	0,447
Total			2655,05	2,186	-0,002	0,582

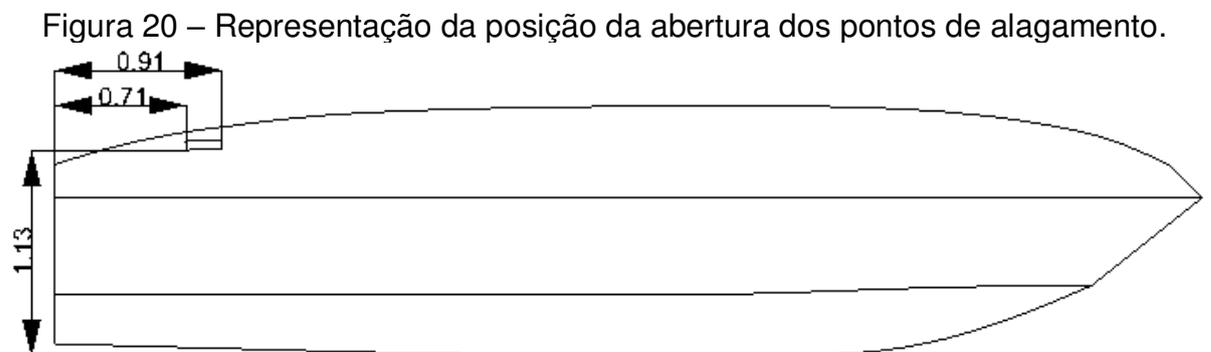
Fonte: Autor (2018).

5.7.1 Abertura dos pontos de alagamento

Os pontos de alagamento são todas as aberturas no casco e convés por onde pode haver embarque de água tais como, escotilhas, vigias e entradas de ar. A análise desses pontos é essencial para garantir um nível apropriado de estanqueidade, para isso deve-se analisar a altura dessas aberturas com relação ao nível da água na condição máxima de carregamento, pois no caso de adernar esta condição seria crítica devido ao maior calado.

No caso das embarcações de projeto, as mesmas possuem somente um ponto de alagamento em cada bordo referente a entrada de ar para ventilação da praça de máquinas. Segundo a norma ISO 12217-1, no caso das entradas de ar necessárias para ventilação, como estas não possuem equipamentos para evitar entrada de água, as mesmas devem estar a no mínimo 0,2 metros acima da linha d'água e cumprir os requisitos de estanqueidade nível 3 de acordo com a ISO 12216, isto implica em fornecer proteção contra *sprays* de água.

A Figura 20 apresenta a altura e a distância com relação a popa dos pontos de alagamento referentes à entrada de ar para ventilação da praça de máquinas.



Fonte: Autor (2018).

5.7.2 Altura dos pontos de alagamento

Esta análise consiste em demonstrar se existe uma quantidade suficiente de margem para a altura dos pontos de embarque de água da embarcação, com relação ao plano de linha d'água, na condição de carregamento máximo de operação. De acordo com a norma ISO 12217-1, a altura mínima requerida para embarcações pertencentes a categoria C é obtida pela Equação 33.

$$h_{D(R)} = H_1 * F_1 * F_2 * F_3 * F_4 * F_5 \quad (33)$$

Onde:

$$H_1 = \frac{L_H}{15} \quad (34)$$

$F_1 = 1$ para embarcações de proa aberta

$$F_2 = 1 + \frac{x_D}{L_H} * \left(\frac{\sqrt{\alpha}}{75 * L_H} - 0,4 \right) \quad (35)$$

α = Área total de todas as aberturas combinadas em mm²

$F_3 = 1$ quando a abertura não é uma saída de água

$$F_4 = \sqrt[3]{\frac{10 * mLDC}{1025 * B^2 * L_H}} \quad (36)$$

$F_5 = 0,8$ para embarcações da categoria C de proa aberta.

Para realizar este teste foi importado para o programa *Maxsurf Stability* a modelagem da embarcação e informado ao mesmo as respectivas coordenadas dos pontos de alagamento, tanto o requerido quanto o de projeto. Como a abertura de alagamento está paralela a linha d'água e possui forma retangular, foram adotados dois pontos, um em cada extremidade, na parte inferior, para realizar esta análise.

A Tabela 18 apresenta os pontos analisados e a Tabela 19 a verificação do critério da norma.

Tabela 18 – Coordenadas dos pontos de alagamento da entrada ar.

Ponto de alagamento	Posição X	Posição Y	Posição Z
Entrada de ar início	0,717	1,13	1,13

Entrada de ar fim	0,91	1,13	1,13
-------------------	------	------	------

Fonte: Autor (2018).

Tabela 19 – Margem com relação à altura do ponto de alagamento de projeto e requerido.

$h_{D(R)}$	0,30	m
h_D	0,563	m
Margem	53,3	%

Fonte: Autor (2018).

O valor obtido pela equação 33 foi de 0,25, entretanto a norma exige que a altura dos pontos de alagamento para categoria C não deve ser menor que 0,3, dessa forma, este último valor foi tomado como referência.

5.7.3 Teste de deslocamento de carga

O teste de deslocamento de carga consiste em avaliar se a embarcação dispõe de estabilidade suficiente para a movimentação dos passageiros pelo convés em relação ao eixo longitudinal. Este teste visa evitar que haja inundação da embarcação devido ao ângulo de banda causado por esta movimentação.

A norma ISO 12217-1 apresenta dois modelos para realizar os cálculos, um simplificado e outro completo, entretanto foi decidido pelo primeiro, pois a mesma indica que seja o que oferece maiores margens de segurança.

Visto isso, através da Equação 37 é obtido o ângulo máximo de banda devido a movimentação dos passageiros, o qual servirá de base para análise da embarcação quando sujeita a esta ação.

$$\varphi_{O(R)} = 11,5 + \frac{(24 - L_H)^3}{520} \quad (37)$$

Os testes devem ser conduzidos para a condição máxima de carregamento, onde dois casos serão avaliados, um onde a carga da tripulação estará concentrada a 75% do comprimento total da embarcação com relação a sua extremidade mais a ré (LC1), e outra a 25% do comprimento total com o mesmo referencial (LC2). O VCG

deve ser calculado onde a centro de massa de cada passageiro esteja na altura do assento destinado a cada um somado 0,1 metro. Para este teste exclusivamente a massa de cada passageiro deve ser 85 kg. As Tabelas 20 e 21 apresentam os valores de peso e centros de massa para cada condição analisada.

Tabela 20 – Condição de carregamento LC1 para embarcação de recreio

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,64	0	0,48
Motor	1	588	588	0,39	0	0,40
Tripulantes	10	85	850	5,20	0	0,98
Provisões	10	10	100	5,50	0	0,75
Combustível	100%	185,8	185,8	2,16	0	0,22
Água	100%	57,3	57,3	0,69	-0,69	0,45
Total			3061,1	2,95	-0,01	0,60

Fonte: Autor (2018).

Tabela 21 – Condição de carregamento LC2 para embarcação de recreio.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,64	0	0,48
Motor	1	588	588	0,39	0	0,40
Tripulantes	10	85	850	1,74	0	0,98
Provisões	10	10	100	5,50	0	0,75
Combustível	100%	185,8	185,8	2,16	0	0,22
Água	100%	57,3	57,3	0,69	-0,69	0,45
Total			3061,1	1,98	-0,01	0,60

Fonte: Autor (2018)

Dado as condições de carregamento a serem analisadas, para encontrar o ângulo de banda permanente devido a movimentação dos passageiros, deve ser plotado no mesmo gráfico a curva de estabilidade estática e a curva de momento de emborcamento dada essa movimentação.

A norma define a Equação 38 como sendo a curva que descreve o momento de embarcamento.

$$M_p = 961 * CL * \left(\frac{Bc}{2} - 0,2 \right) * \cos \varphi \quad (38)$$

Onde:

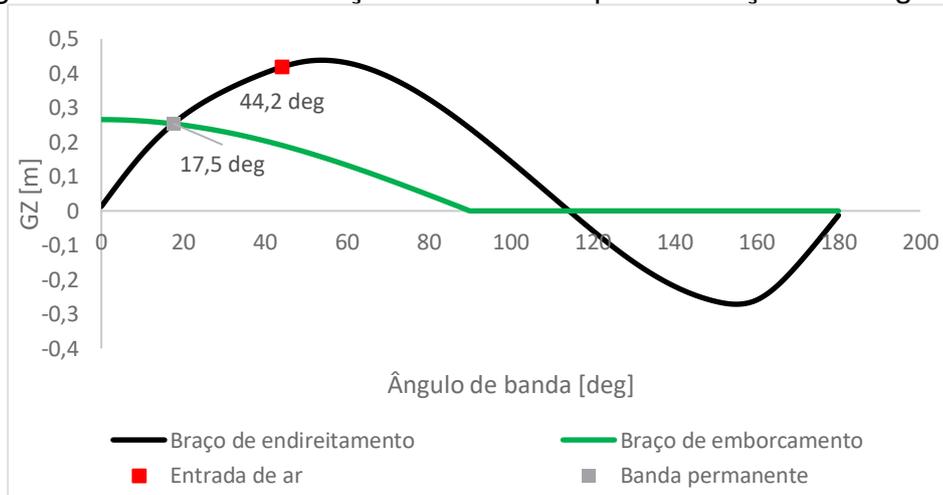
CL – Limite máximo de passageiros

Bc – Largura máxima da região do convés onde pode haver movimentação dos passageiros.

Os gráficos foram obtidos através do programa *Maxsurf Stability*, onde definido os mesmos pontos de alagamento feitos anteriormente e informando a equação do momento de emborcamento, o mesmo informa qual o ângulo de banda permanente e avalia se este é menor que o máximo requerido.

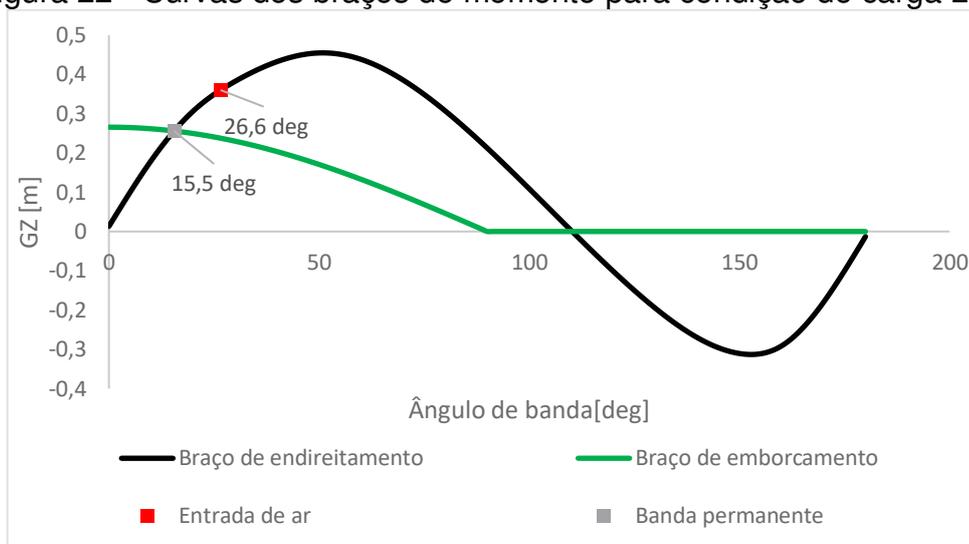
Os gráficos das Figuras 21 e 22 apresentam a sobreposição das duas curvas, indicando a intersecção entre elas e o ângulo de alagamento para as condições de carga LC1 e LC2.

Figura 21 - Curvas dos braços de momento para condição de carga LC1.



Fonte: Autor (2018).

Figura 22 - Curvas dos braços de momento para condição de carga LC2.



Fonte: Autor (2018)

A Tabela 22 apresenta a verificação dos ângulos de banda obtidos para cada condição de carregamento.

Tabela 22 – Margem entre o ângulo de banda permanente e requerido das condições de carregamento LC1 e LC2 da embarcação de recreio

	LC1	LC2	
Ângulo de banda máximo requerido	22,2	22,2	deg
Ângulo de banda permanente	17,5	15,5	deg
Margem	21,11	30,09	%

Fonte: Autor (2018).

5.7.4 Banda devido à ação de ventos

Este teste consiste em avaliar o ângulo de banda resultante da força de ação de uma rajada de ventos. Esta verificação deve ser realizada para as condições de carregamento mínimas e de chegada.

Para a condução deste teste, as curvas de braço de restauração e braço de emborcamento devido ao vento devem ser determinadas e sobrepostas em um mesmo gráfico. O gráfico do braço de restauração é obtido através do programa *Maxsurf Stability* enquanto o momento de emborcamento é considerado constante e calculado pela Equação 39, assim como especifica a norma ISO 12217-1.

$$M_W = 0,3 * A'_{LV} * \left(\frac{A'_{LV}}{L_{WL}} + T_M \right) * v_W^2 \quad (39)$$

Onde:

A'_{LV} – Área projetada da embarcação acima de linha d'água.

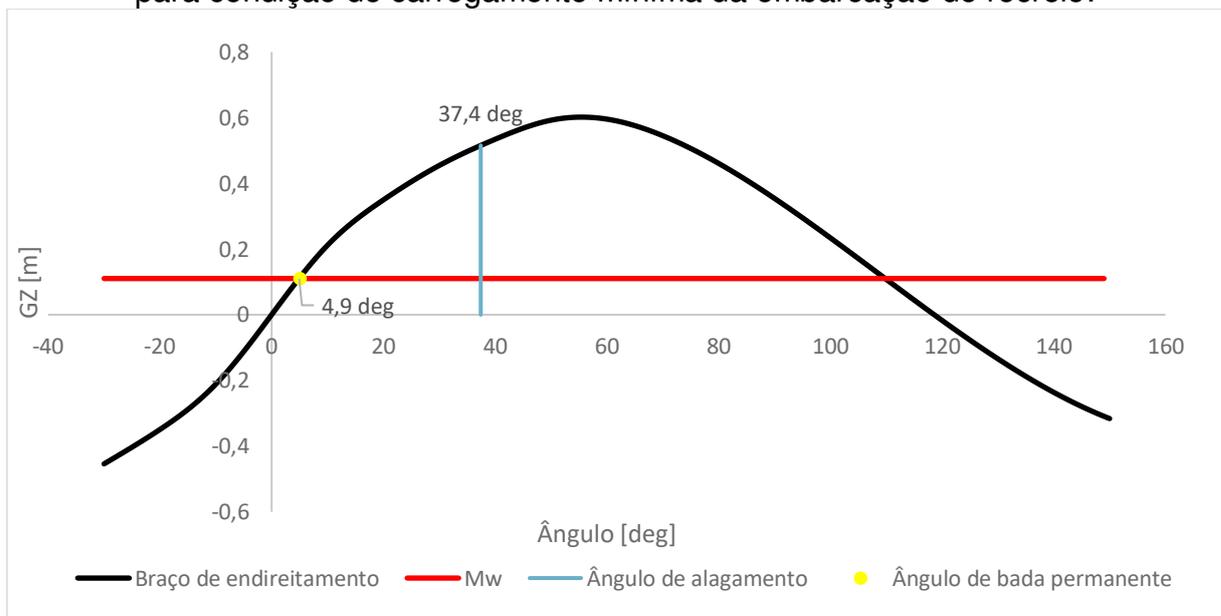
v_W – Velocidade do vento = 17 m/s para categoria C.

O braço de emborcamento é obtido dividindo a Equação 39 pelo deslocamento da embarcação na condição de carregamento desejada multiplicado pela aceleração da gravidade.

A interseção entre as curvas de restauração e emborcamento indica o ângulo de banda permanente devido a ação de ventos. De acordo com a norma ISO 12217-1, este ângulo deve ser menor do que 70% dos ângulos de banda máximo requerido devido a movimentação de passageiros (Equação 36) e de alagamento.

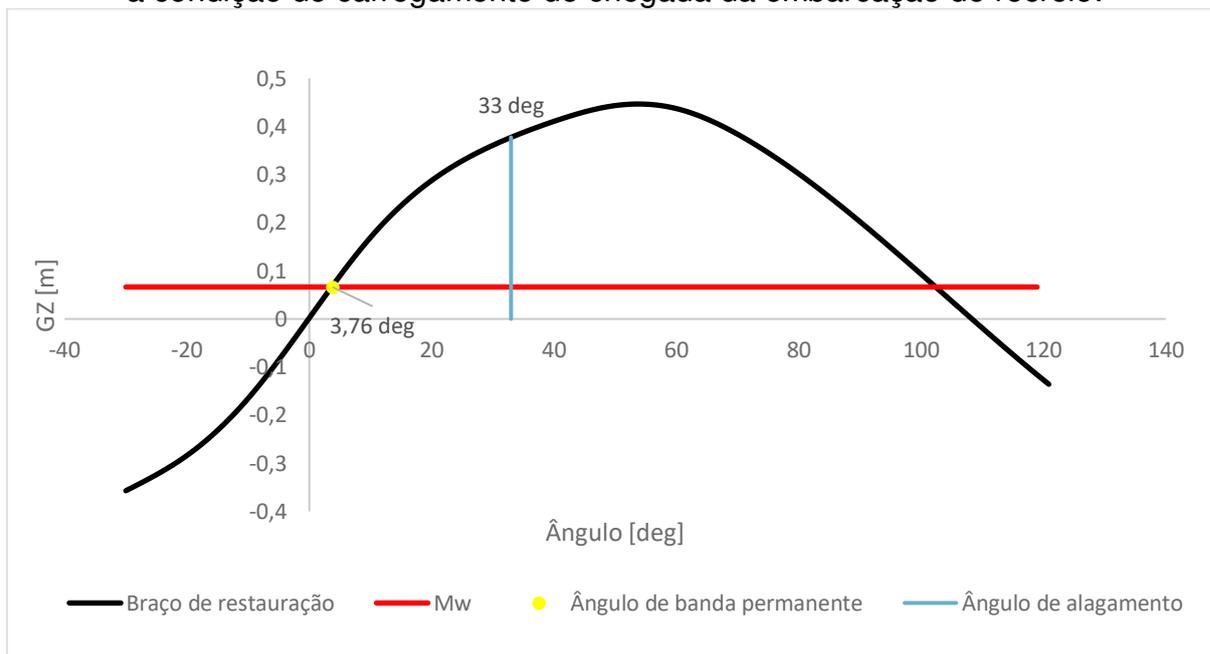
As Figuras 23 e 24 apresentam os gráficos construídos para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para as condições de carregamento mínima e de chegada respectivamente.

Figura 23 – Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para condição de carregamento mínima da embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

Figura 24 -Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para a condição de carregamento de chegada da embarcação de recreio.



Fonte: Autor (2018).

Visto que os ângulos de alagamento são maiores que os de banda máximo requerido devido a movimentação de passageiros, a avaliação pode ser feita somente para este último que corresponde a condição mais crítica. Portanto, os ângulos de banda permanente devido a ação de ventos devem ser menores que 15,5 graus, o que é satisfeito como pode ser observado nas Figuras 22 e 23.

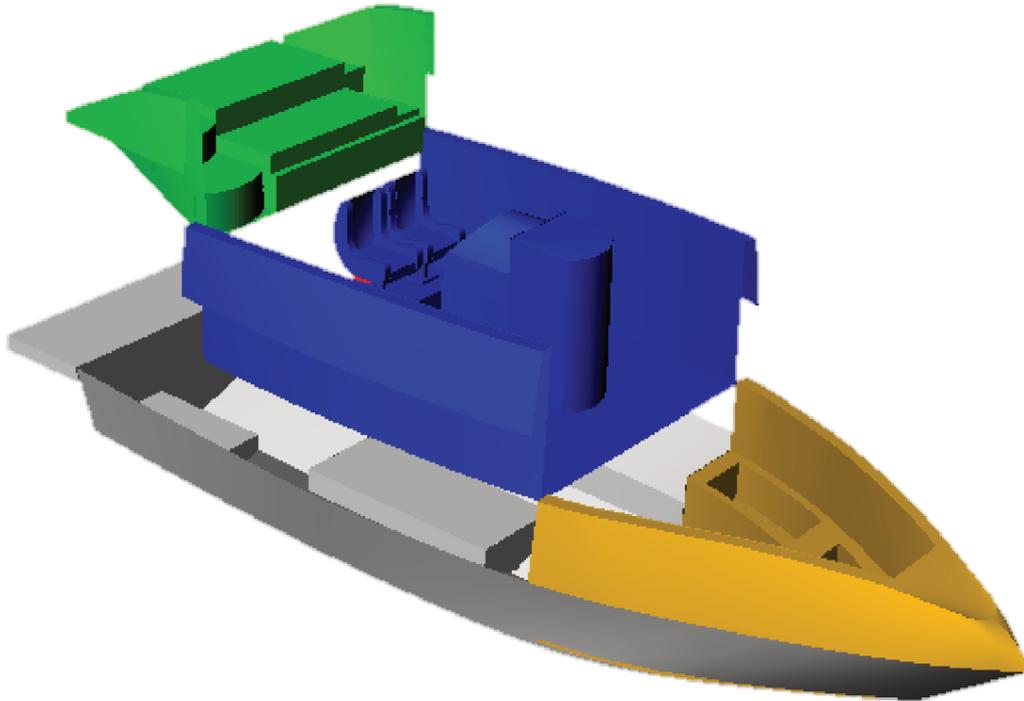
6 PRIMEIRA ITERAÇÃO DA ESPIRAL DE EVANS – EMBARCAÇÃO DE PESCA

Neste capítulo será desenvolvido as análises da primeira iteração da Espiral de Evans para o projeto da embarcação de pesca.

6.1 ARQUITETURA DE UNIÃO DOS MÓDULOS COM A INTERFACE

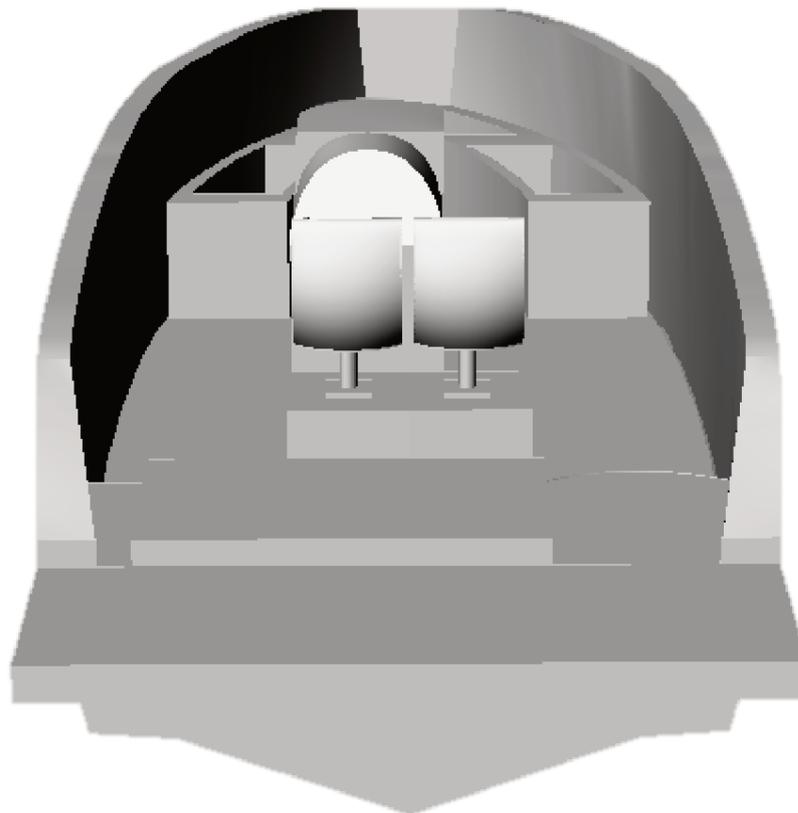
Para a embarcação de pesca, não foi incorporado nenhum elemento à arquitetura central do convés. Diferentemente do modelo anterior, a embarcação de pesca não possui para-brisa lateral e o encosto para os bancos de proa foram ignorados para permitir maior mobilidade dentro da embarcação. Dessa forma as Figuras 25 e 26 apresentam a arquitetura final do convés para embarcação de pesca.

Figura 25 – Apresentação das interfaces que compõem o projeto final do convés da embarcação de pesca



Fonte: Autor (2018).

Figura 26 – Modelagem final da arquitetura do convés com os módulos para a embarcação de pesca vista pela popa.



Fonte: Autor (2018).

6.2 ESTIMATIVA DE PESOS

Diferentemente do modelo para lazer, uma embarcação de pesca está sujeita a receber uma carga maior de provisões por tripulante devido as tralhas de pesca, além disso, a embarcação deve conter espaços reservados para as iscas vivas e captura do pescado. Outro adicional de peso nas embarcações de pesca é decorrente dos equipamentos que auxiliam na busca pelos cardumes e em alguns casos um motor que mantém a embarcação estacionária com relação ao referencial adotado através de um sistema de posicionamento dinâmico.

Desta forma, os pesos referentes ao pescado e as iscas foram distribuídos nos volumes dos paióis presentes na embarcação. Com relação aos equipamentos auxiliares, a parcela de peso considerada foi baseada no artigo *“Reliability of Weight Prediction in the Small Craft Design”*, publicado por Izvor Grubisic (2012). Este artigo apresenta regressões lineares em sua maioria resultado de equações paramétricas,

para estimar parâmetros de diversas etapas de um projeto conceitual, incluindo a estimativa de pesos.

O banco de dados é composto por 34 embarcações de diferentes tipos de serviços com comprimento entre 10 e 60 metros. Embora a faixa de comprimento não contempla a embarcação de projeto, para esta primeira estimativa foi feita essa consideração a fim de obter uma maior margem para o deslocamento total para que este não seja subestimado.

A parcela apresentada no artigo que melhor caracteriza esse tipo de equipamentos refere-se ao peso de sistemas especiais, obtida pela Equação 40. De acordo com os autores, essa parcela de peso está relacionada com todos os pesos que são específicos para o propósito da embarcação.

$$W_{es} = 0,000168 * L^{2,936} \quad (40)$$

Onde:

L = Comprimento total da embarcação;

A Tabela 23 apresenta o resultado obtido para estimativa de pesos do modelo de pesca, enquanto a Figura 27 a porcentagem delas em relação ao deslocamento máximo.

Tabela 23 – Estimativa dos das parcelas de pesos referente a embarcação de pesca.

Parcela	Quantidade	Consideração	Valor	Unidade
Peso leve sem motor	1,00	-	1280,00	kg
Maquinário	1,00	Motor + Rabetta + Hélice	588,00	kg
Combustível	220 litros	850 kg/m ³	187,00	kg
Água	60 litros	1000 kg/m ³	60,00	kg
Passageiros	10,00	75 kg por passageiro	750,00	kg
Provisões	10,00	10 kg por passageiro/dia	100,00	kg
Sistemas especiais	1,00	Equipamentos de auxílio à pesca	56,00	kg
Tanque de iscas vivas	86 litros	700 kg/m ³	60,20	kg
Tanque armazenamento do pescado	132 litros	900 kg/m ³	118,80	kg
Total			3200,00	kg

Fonte: Autor (2018).

Figura 27 – Distribuição dos pesos para condição de carregamento máximo da embarcação de pesca



Fonte: Autor (2018).

6.3 ESTIMATIVA DOS CENTROS

Para o modelo de pesca, as estimativas dos centros de gravidade foram tomadas utilizando as mesmas ferramentas e considerações apresentadas na seção equivalente para a embarcação de recreio, ou seja, foram selecionadas as superfícies equivalentes a cada parcela dos pesos e encontrado seu centro de massa.

Com relação as provisões, que antes estavam localizadas nos paióis, agora estão posicionadas no meio da embarcação, assim como os sistemas especiais, essa consideração foi feita baseada no espaço útil do convés, para esta embarcação, os paióis serão responsáveis por armazenar as iscas vivas e o pescado.

Em relação à altura, as provisões foram posicionadas na metade da distância entre o piso do convés e a linha marginal, enquanto os sistemas especiais foram considerados numa altura igual ao valor do pontal da embarcação.

A Tabela 24 apresenta as respectivas posições de LCG e VCG de cada parcela de peso com relação a popa e a linha de quilha respectivamente e o resultado da média ponderada que equivale ao centro de gravidade da embarcação na sua condição de deslocamento máximo.

Tabela 24 – Posição dos centros de gravidade da embarcação de pesca.

	LCG [m]	VCG [m]
Peso leve	2,48	0,66
Peso motor	0,39	0,40
Passageiros	2,56	0,98
Provisões	3,13	0,86
Combustível	2,16	0,21
Água	0,69	0,45
Máquinas auxiliares	3,13	1,36
Paiol de proa – Iscas vivas	5,05	0,71
Paióis de proa nos bordos - Pescado	4,24	0,72
Total	2,21	0,68

Fonte: Autor (2018).

De maneira análoga ao que foi apresentado na seção 5.3, a Tabela 25 apresenta os parâmetros considerados importantes para o projeto, neste caso, para a condição de máximo deslocamento da embarcação de pesca.

Tabela 25 – Parâmetros da embarcação de pesca referente a condição máxima de operação

L_{WL}	5,68	m
B_{WL}	2,2	m
T_m	0,52	m
Ângulo de trim	2	graus
S	12,4	m ²
C_p	0,72	
C_b	0,44	
C_m	0,68	
C_{wp}	0,82	
KB	0,37	m
BM_t	1,1	m
GM_t	0,8	m

Fonte: Autor (2018).

6.4 RESISTÊNCIA AO AVANÇO

Após a determinação do deslocamento máximo e dos centros de gravidade da embarcação de pesca, foi calculado a resistência ao avanço da mesma forma como foi obtido para a embarcação de recreio.

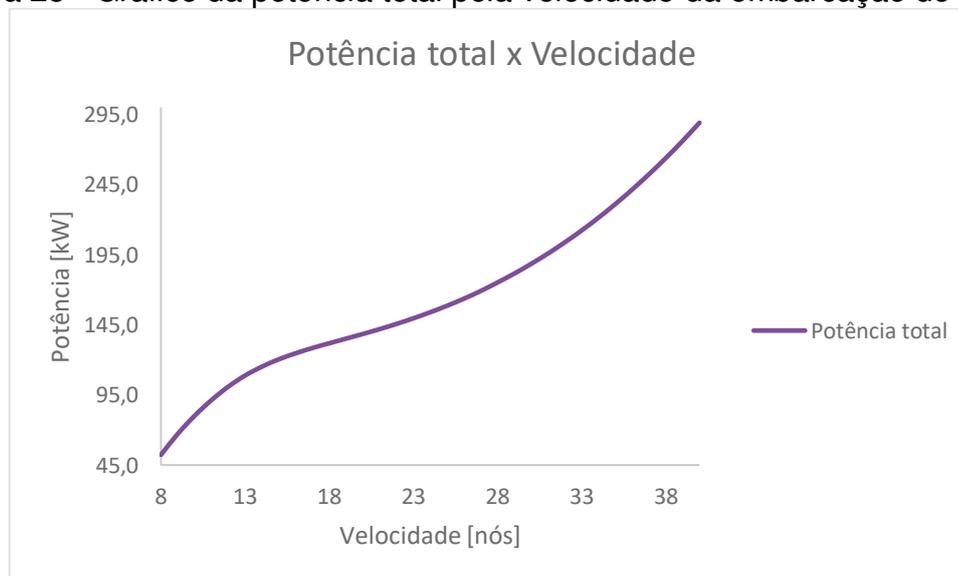
A Tabela 26 apresenta os resultados de resistência ao avanço, potência total e trim dinâmico para a embarcação de pesca e as Figuras 28,29 e 30 os gráficos obtidos para esses três parâmetros.

Tabela 26 – Resultado da análise da resistência ao avanço para embarcação de pesca.

Velocidade [nós]	Resistência total [N]	Potência total [kW]	trim [deg]
28	6078,8	175,1	4,7
40	7021	289	2,9

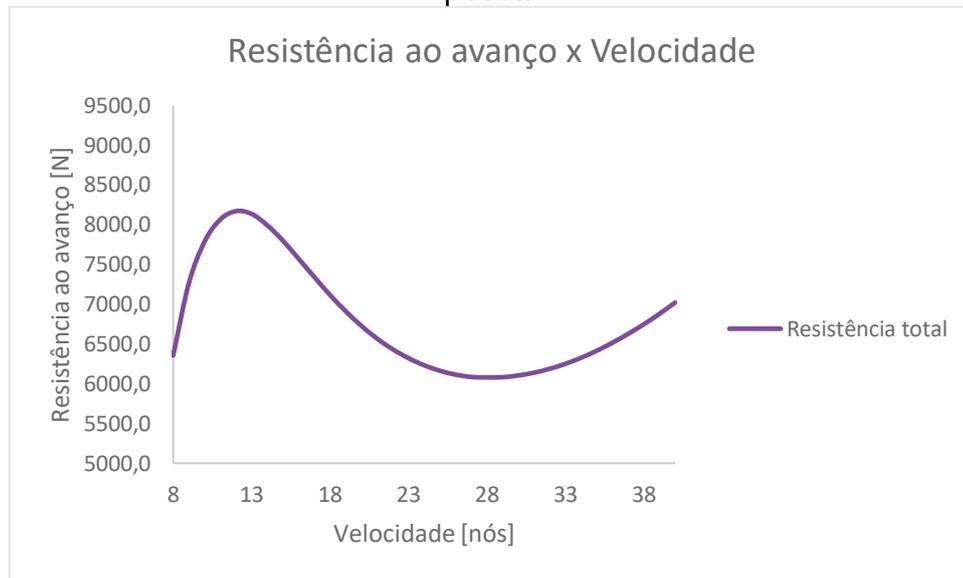
Fonte: Autor (2018).

Figura 28 - Gráfico da potência total pela velocidade da embarcação de pesca.



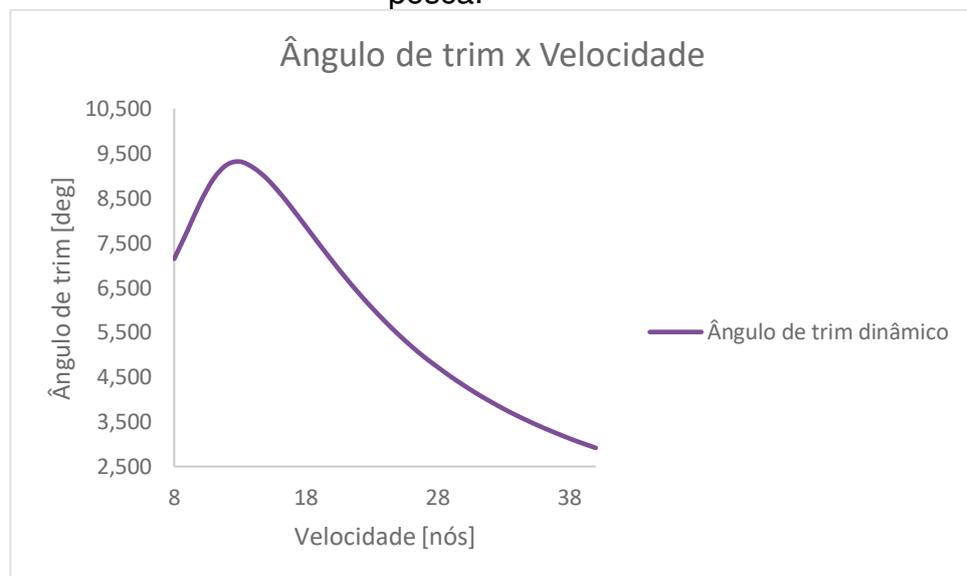
Fonte: Autor (2018).

Figura 29 - Gráfico da resistência ao avanço total pela velocidade da embarcação de pesca.



Fonte: Autor (2018).

Figura 30 - Gráfico do ângulo de trim dinâmico pela velocidade da embarcação de pesca.



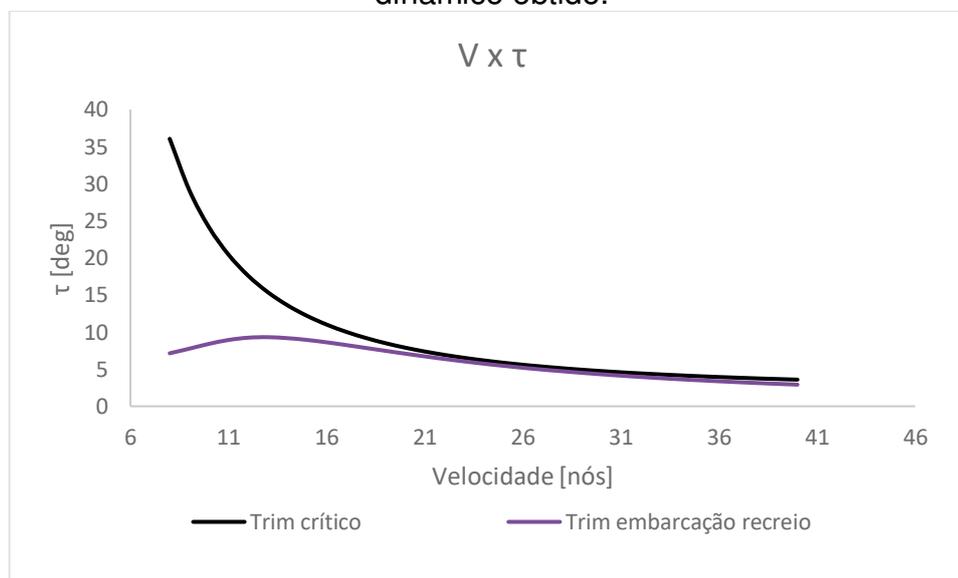
Fonte: Autor (2018).

6.5 ESTABILIDADE DINÂMICA LONGITUDINAL

Como demonstrado no capítulo anterior, a avaliação da estabilidade dinâmica longitudinal é fundamental para as embarcações e planeio, e a partir dos valores obtidos do trim dinâmico na seção anterior essa verificação foi realizada utilizando a mesma equação para o trim crítico apresentada na Seção 5.5.

A Figura 31 apresenta a avaliação da ocorrência de *porpoising* baseado no obtido pela resistência ao avanço e o crítico da regressão polinomial da Equação 14.

Figura 31 - Gráfico do ângulo de trim crítico para *porpoising* pelo ângulo de trim dinâmico obtido.



Fonte: Autor (2018).

Assim como para a embarcação de recreio, o modelo de pesca, embora esteve mais próximo do limite crítico para *porpoising*, também não apresentou a ocorrência desse fenômeno.

6.6 TOPOLOGIA ESTRUTURAL

A topologia estrutural da embarcação de pesca foi dimensionada a partir da mesma literatura de referência do projeto da embarcação de recreio. Devido a diferença de deslocamento máximo entre os modelos, não é possível aplicar o mesmo plano de laminação feito anteriormente, com isso foi realizado uma nova análise das espessuras mínimas do laminado.

A seguir na Tabela 27 serão apresentados somente os ajustes necessários a esse modelo e em seguida (Tabela 28) os valores das espessuras mínimas requeridas.

Tabela 27 – Tabela com os ajustes feitos para obtenção das espessuras mínimas requeridas.

Ajuste comprimento	$\frac{LOA}{LWL} = 1,087$	Utilizar 5,98 metros
Ajuste deslocamento	$\frac{\Delta}{L} = 481,7$	Aumento de 8%
Ajuste Boca	$\frac{B}{BWL} = 11,3$	Manter valor de B
Ajuste velocidade	$40 - 10 = 30$	Aumento de 30%

Fonte: Autor (2018).

Tabela 28 – Espessuras mínimas requeridas do laminado para a embarcação de pesca.

Fundo área crítica	11	mm
Fundo	10	mm
Quilha	13,1	mm
<i>Lower topside</i>	6,7	mm
<i>Upper topside</i>	5,7	mm
Convés	5,7	mm
Convés áreas críticas	7,1	mm

Fonte: Autor (2018).

O plano de laminação foi feito considerando os mesmos materiais, método de laminação e proporção de resina/vidro para a embarcação de recreio. Feito isso, a Tabela 29 apresenta o plano de laminação obtido para a embarcação de pesca.

Tabela 29 – Plano de laminação para a embarcação de pesca.

Região	Camadas de material	Espessura	Unidade
Fundo áreas críticas	2 Mantas 450 + 5 WR0800/S450	11,3	mm
Fundo	2 Mantas 450 + 5 WR0800/S450	11,3	mm
Quilha	2 Mantas 450 + 6 WR0800/S450	13,56	mm
<i>Lower topside</i>	2 Mantas 450 + 3 WR0800/S450	6,78	mm
<i>Upper topside</i>	2 Mantas 450 + 3 WR0800/S450	6,78	mm
Convés	2 Mantas 450 + 3 WR0800/S450	6,78	mm
Convés áreas críticas	2 Mantas 450 + 4 WR0800/S450	9,04	mm

Fonte: Autor (2018).

Com relação aos reforçadores, foi considerado o mesmo arranjo e dimensionamento apresentado na Seção 5.6, uma vez que o cálculo dos reforçadores é função do valor de S_n e o mesmo possui uma diferença de somente 0,28% entre os modelos, logo não houve alteração no plano de laminação dos reforçadores pois a

margem das espessuras requerido para obtido com a escolha do material supera essa diferença.

6.7 ESTABILIDADE INTACTA

A avaliação da estabilidade para a embarcação modelo pesca foi feita utilizando os mesmos critérios da norma ISO 12217-1 *Small Craft – Stability and buoyancy assessment and categorization* apresentado na Seção 5.7. Dado que as condições de carregamento de análise devem seguir o mesmo padrão, as Tabelas 30, 31 e 32 apresentam os valores das condições mínima, máxima e de chegada respectivamente.

Tabela 30 – Condição de carregamento mínima da embarcação de pesca.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,48	0,00	0,66
Motor	1	588	588	0,39	0,00	0,40
Tripulantes	1	75	75	2,56	0,00	0,98
Provisões	1	10	10	3,13	0,00	0,86
Sistemas especiais	1	56	56	3,13	0,00	1,36
Água	0%	57	0	0,69	-0,69	0,34
Combustível	0%	186,6	0	2,19	0,00	0,04
Tanque Proa	0%	59,4	0	5,37	0,00	0,57
Tanque Boreste	0%	60,7	0	4,61	0,28	0,59
Tanque Bombordo	0%	57,5	0	4,61	-0,28	0,61
Total			2009	1,89	0,00	0,62

Fonte: Autor (2018).

Tabela 31 – Condição de carregamento máxima da embarcação de pesca.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,48	0,00	0,66
Motor	1	588	588	0,39	0,00	0,40
Tripulantes	10	75	750	2,56	0,00	0,98
Provisões	10	10	100	3,13	0,00	0,86
Sistemas especiais	1	56	56	3,13	0,00	1,36
Água	95%	186,6	177,3	2,16	0,00	0,21
Combustível	95%	57	54,2	0,69	-0,69	0,44
Tanque Proa	95%	59,4	56,4	5,05	0,00	0,71
Tanque Boreste	95%	60,7	57,7	4,24	0,56	0,72
Tanque Bombordo	95%	57,5	54,6	4,25	-0,56	0,73
Total			3174,2	2,2	-0,01	0,68

Fonte: Autor (2018).

Tabela 32 – Condição de carregamento de chegada da embarcação de pesca.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,48	0,00	0,66
Motor	1	588	588	0,39	0,00	0,40
Tripulantes	10	75	750	2,56	0,00	0,98
Provisões	10	10	100	3,13	0,00	0,86
Sistemas especiais	1	56	56	3,13	0,00	1,36
Água	15%	186,6	28	2,16	0,00	0,10
Combustível	15%	57	8,6	0,69	-0,69	0,38
Tanque Proa	15%	59,4	8,9	5,08	0,00	0,61
Tanque Boreste	15%	60,7	9,1	4,25	0,56	0,61
Tanque Bombordo	15%	57,5	8,6	4,25	-0,56	0,63
Total			2837,2	2,11	0,00	0,71

Fonte: Autor (2018).

6.7.1 Abertura dos pontos de alagamento

Definida as condições de carregamento, a primeira etapa da análise da estabilidade segundo a norma ISO 12217-1, é definir os pontos de alagamento da embarcação. Esta por sua vez permanece inalterada, pois ambos os modelos devem conter aberturas para a ventilação da praça de máquinas. Vide subseção 5.7.1.

6.7.2 Altura dos pontos de alagamento

A altura mínima requerida para as aberturas dos pontos de alagamento é obtida através da Equação 33. Esta equação para a embarcação de pesca resultou em 0,26 metro, entretanto como mencionado anteriormente, de acordo com a norma esse valor não deve ser menor que 0,3 para embarcações da categoria C. Visto isso, a condição é satisfeita como apresentado na Tabela 19.

6.7.3 Teste de deslocamento de carga

O teste de deslocamento de carga é realizado para avaliar se o ângulo de banda criado pelo momento de emborcamento desse deslocamento, atende ao critério estabelecido pela Equação 37. Neste caso a carga a qual a norma se refere é o deslocamento de todos os passageiros para um bordo da embarcação. Mais

informações sobre esse teste e a equação utilizada para cálculo do momento de emborcamento podem ser observadas na Seção 5.7.3.

As Tabelas 33 e 34 apresentam as duas condições de carregamento utilizadas no teste de deslocamento de carga para a embarcação de pesca.

Tabela 33 – Condição de carregamento LC1 para a embarcação de pesca.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,48	0,00	0,66
Motor	1	588	588	0,39	0,00	0,40
Tripulantes	10	75	750	5,20	0,00	0,98
Provisões	10	10	100	3,13	0,00	0,86
Sistemas especiais	1	56	56	3,13	0,00	1,36
Água	95%	186,6	177,3	2,16	0,00	0,21
Combustível	95%	57	54,2	0,69	-0,69	0,44
Tanque Proa	95%	59,4	56,4	5,05	0,00	0,71
Tanque Boreste	95%	60,7	57,7	4,24	0,56	0,72
Tanque Bombordo	95%	57,5	54,6	4,25	-0,56	0,73
Total			3174,2	2,83	-0,01	0,68

Fonte: Autor (2018).

Tabela 34 – Condição de carregamento LC2 para embarcação de pesca.

Item	Quantidade	Massa unitária	Massa total	LCG	TCG	VCG
Peso leve	1	1280	1280	2,48	0,00	0,66
Motor	1	588	588	0,39	0,00	0,40
Tripulantes	10	75	750	1,74	0,00	0,98
Provisões	10	10	100	3,13	0,00	0,86
Sistemas especiais	1	56	56	3,13	0,00	1,36
Água	95%	186,6	177,3	2,16	0,00	0,21
Combustível	95%	57	54,2	0,69	-0,69	0,44
Tanque Proa	95%	59,4	56,4	5,05	0,00	0,71
Tanque Boreste	95%	60,7	57,7	4,24	0,56	0,72
Tanque Bombordo	95%	57,5	54,6	4,25	-0,56	0,73
Total			3174,2	2,0	-0,01	0,68

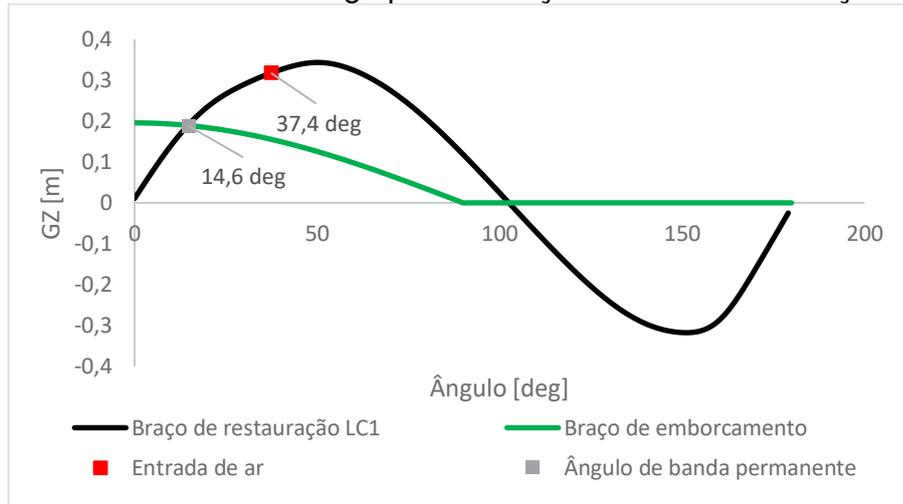
Fonte: Autor (2018).

Definido o ângulo de banda requerido, a equação do momento de emborcamento e as condições de carregamento, o teste de deslocamento de carga foi conduzido com auxílio do programa *Maxsurf Stability*.

Os gráficos das Figuras 32 e 33 apresentam as curvas de braço de restauração e emborcamento para as condições de carregamento LC1 e LC2

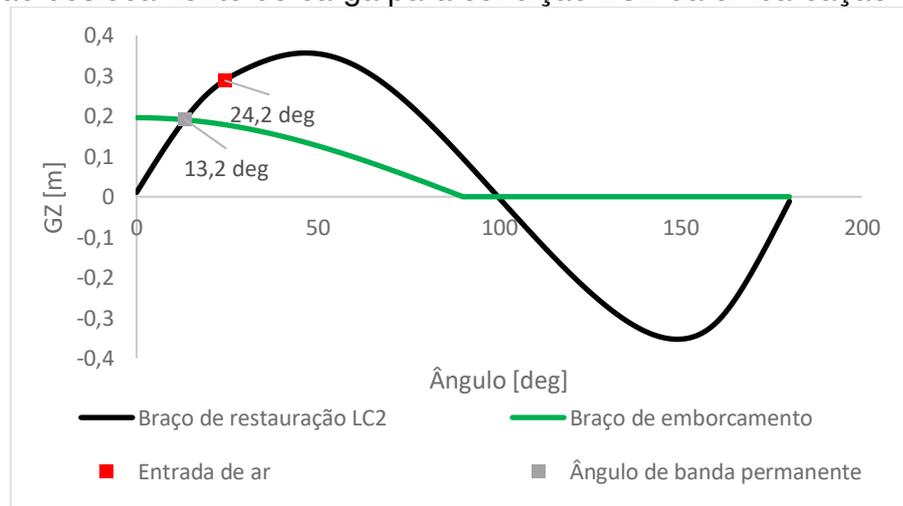
respectivamente, onde a interseção entre as curvas corresponde ao ângulo de banda permanente. A Tabela 35 apresenta a margem de diferença entre o valor do ângulo de banda permanente obtido com o requerido pela Equação 37 para ambas as condições de carregamento.

Figura 32 - Sobreposição dos gráficos de braço de restauração e emborcamento devido ao deslocamento de carga para condição LC1 da embarcação de pesca



Fonte: Autor (2018).

Figura 33 - Sobreposição dos gráficos de braço de restauração e emborcamento devido ao deslocamento de carga para condição LC2 da embarcação de pesca



Fonte: Autor (2018).

Tabela 35 – Verificação da margem de diferença entre os ângulos de banda permanente e requerido para as condições de carregamento LC1 e LC2.

	LC1	LC2	
Ângulo de banda máximo requerido	22,2	22,2	Deg
Ângulo de banda permanente	14,3	13,2	Deg
Margem	34,3	40,5	%

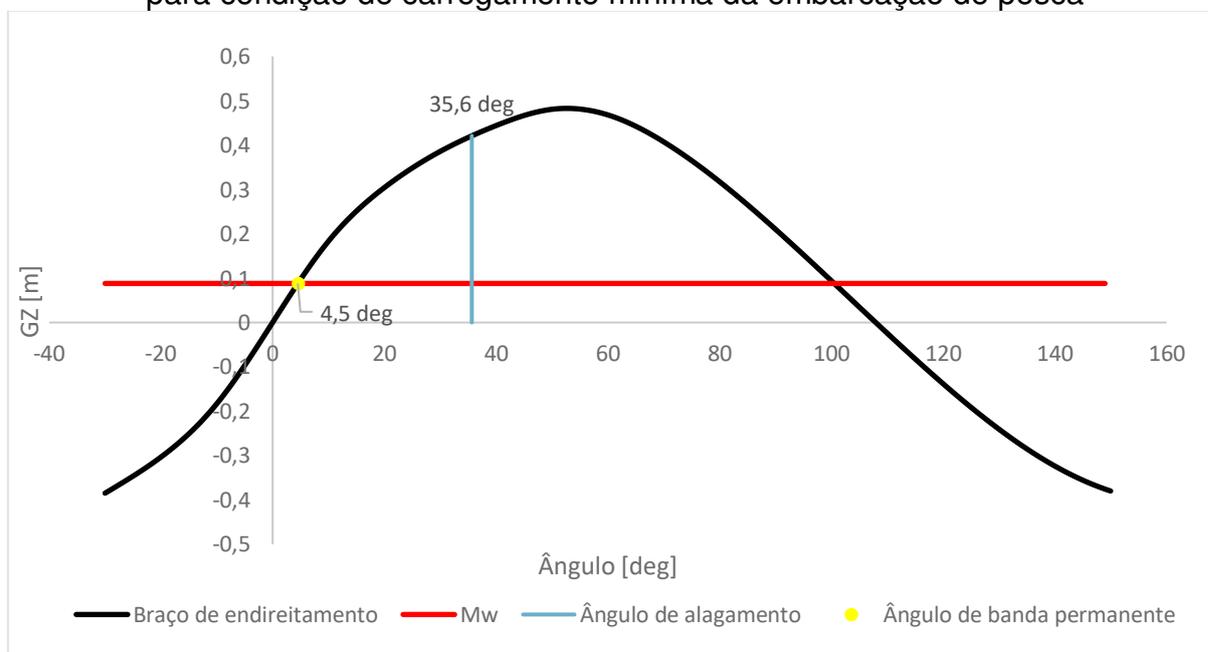
Fonte: Autor (2018).

6.7.4 Banda devido à ação de ventos

Os ensaios da estabilidade, relativo à ação de ventos foi realizado seguindo as mesmas recomendações da norma que foram descritas na Seção 5.7.4. Portanto, as curvas de braço de restauração e emborcamento foram sobrepostos para as condições de carregamento mínima e de chegada da embarcação de pesca.

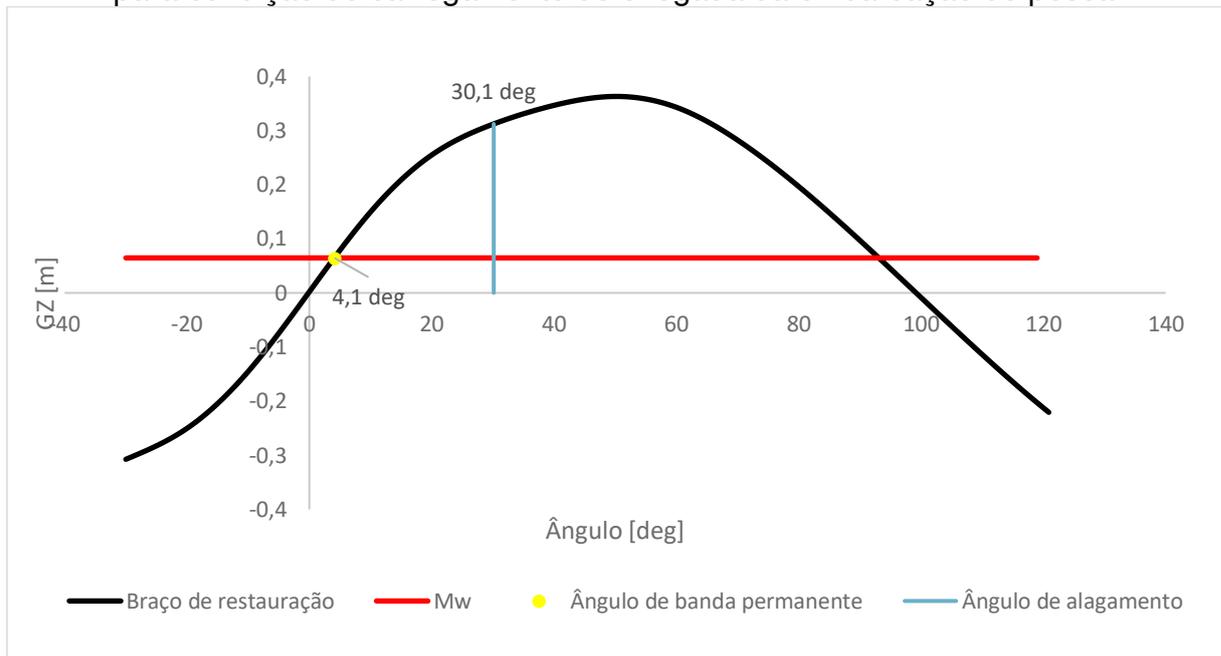
As Figura 34 e 35 apresentam ambos os gráficos, indicando a ponto de interseção referente ao ângulo de banda permanente devido à ação de ventos e o ângulo de alagamento das respectivas condições de carregamento de análise.

Figura 34 – Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para condição de carregamento mínima da embarcação de pesca



Fonte: Autor (2018).

Figura 35 – Gráfico para avaliação do ângulo de banda devido a ação de ventos para condição de carregamento de chegada da embarcação de pesca



Fonte: Autor (2018).

Análogo a subseção 5.7.4, dado que o braço de emborcamento devido a movimentação de passageiros é igual para ambos os casos, a mesma condição do projeto da embarcação de recreio deve ser satisfeita para a de pesca. O ângulo de banda permanente da ação de ventos deve ser menor que 70% o da movimentação de carregamento e de alagamento.

Assim, como na embarcação de recreio, a condição é satisfeita pois em ambos os casos o ângulo obtido foi menor que 15,5 graus.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento do projeto preliminar de uma embarcação de planeio com 25 pés de comprimento com aplicação do conceito de modularidade para convés de pesca e recreio.

A primeira etapa do trabalho constituiu da definição dos elementos funcionais pertinentes ao projeto e da avaliação entre os mesmos para definir a sequência na qual seriam analisados, representada pela Espiral de Evans.

A justificativa do trabalho partiu da necessidade de um estaleiro em aumentar sua linha de produtos com foco na diminuição de custos de produção. Com isso, foi proposto a criação de uma embarcação modular para pesca e recreio, onde a partir de uma embarcação base, foi tomada as medidas do casco para elaboração da tabela de cotas e o mesmo foi utilizado para ambas as embarcações.

Portanto, o desenvolvimento da arquitetura dos conveses procedeu da análise da embarcação de referência, onde buscou-se por manter seus elementos como banheiro, painel e bases de estofamento e rearranja-los de forma que tomasse características de uma embarcação de pesca, com comando central para liberar as áreas laterais do *cockpit*. O modelo de recreio manteve-se basicamente igual ao que hoje é produzido pelo estaleiro.

O primeiro problema encontrado para as análises dos atributos de projeto se deu pela falta de informação a respeito do calado da embarcação. Dessa forma, foi necessário iniciar com a avaliação dos pesos da embarcação. A consideração feita por manter o mesmo peso leve sem motor da embarcação base, embora não caracterize o peso correto, foi inevitável visto que para obter o peso estrutural seria necessário a informação do calado. Entretanto, em uma segunda volta na Espiral de Evans, esse problema seria solucionado.

A determinação da posição dos centros de gravidade dos pesos, embora tenha sido uma primeira estimativa, pareceu bastante razoável, com exceção novamente do peso estrutural, todavia como mencionado, uma segunda análise, depois de estabelecido a topologia estrutural, tornaria o resultado bem mais verossímil. Quanto as demais parcelas de peso, foi utilizado a própria geometria do casco e convés para determinar seus centros, o que foi considerado uma estimativa

melhor do que basear-se em modelos empíricos, mais comumente empregado nessas situações.

A resistência ao avanço das embarcações foi obtida considerando somente a resistência de casco nu, embora o programa utilizado considere as parcelas devido aos apêndices e dos *spray rails*. Quanto aos resultados obtidos, os mesmos estiveram acima do que é recomendado pelo fabricante para potência máxima do motor e não apresentaram instabilidades longitudinais dinâmicas, além disso não foi considerado as parcelas devido aos apêndices, o que aumentaria ainda um pouco mais a resistência total. Dessa forma, somente é possível uma análise mais concreta após a consideração de todas as parcelas de resistência e com o refinamento da estimativa de pesos e centros, pois os dois últimos são os atributos de projeto que mais influenciam na resistência ao avanço e verificação de *porpoising*.

Juntamente com a análise de resistência ao avanço, foi obtido parâmetros que são necessários para realizar o dimensionamento estrutural das embarcações, como o calado e as dimensões na linha d'água. O método expedito apresentado por Dave Gerr (2000), foi utilizado somente como uma primeira estimativa. As formulações apresentadas pelo autor, acarretam em uma topologia estrutural bastante conservadora, como o mesmo descreve em sua obra "*The Elements of Boat Strength*", o que para a indústria acaba sendo desfavorável.

O estudo da estabilidade intacta, teve como referência os requisitos apresentados pela ISO 12217-1, e para ambas as embarcações os resultados foram bastante satisfatórios, onde a margem mínima ocorreu por volta de 20%.

Para fins de comparação, no Apêndice B consta uma tabela onde são apresentados os principais parâmetros obtidos através da avaliação dos atributos de projeto para cada uma das embarcações estudadas.

Como sugestão de trabalhos futuros, cabe apontar além de realizar outras iterações no processo de projeto, o aumento no grau de detalhamento, incluindo a utilização de ferramentas de otimização, principalmente no quesito da topologia estrutural, o qual é o parâmetro que impacta diretamente na produção tanto com relação a tempo quanto ao custo e posto isso, iria de encontro com os objetivos do estaleiro.

Além disso, recomenda-se realizar o estudo de outros atributos de projeto que são importantes como a verificação das acelerações verticais na embarcação, dessa forma seria possível avaliar o conforto da tripulação durante a navegação o que não

pode ser negligenciado principalmente se tratando de um produto que objetiva oferecer lazer e diversão aos seus consumidores.

As opções para melhorias e aprofundamento são inúmeras, uma vez que esse trabalho aborda somente a primeira iteração na Espiral de Evans, o projeto de embarcações é extremamente complexo e inclui diversos parâmetros que são constantemente modificados, contudo, cabe aos interessados mergulhar profundamente nos assuntos que lhes são de interesse, sempre em busca da excelência.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Thalles Carvalho Giangiarulo Rocha de. **Análise do comportamento dinâmico de uma embarcação de planeio via cfd**. 2018. 81 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023713.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2018.
- ALMEIDA, Francisco José de. Estudo e Escolha de Metodologia para o Projeto Conceitual. **Revista Ciência e Tecnologia**, [s.i.], v. 8, n. 16, p.31-42, dez. 2000.
- CARVALHO, Jonas Takeo; INNOCENTINI, Valdir. Wind wave climate along Brazilian coast using a spectral partitioning algorithm. **Geophysical Research Abstracts**, [s.i.], v. 13, n. 8, p.1-1, 2011. Disponível em: <<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-9087.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2018.
- ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Golçanves. **Análise do sistema hyundai e do modelo toyota de produção**. [s.i.]: Abepro, 2012. 13 p. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_stp_157_913_20180.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2017.
- ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. **Redução de desperdícios e do lead time total da produção de calçados**. [s.i.]: Abepro, 2013. 16 p. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STP_177_013_23025.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2017
- ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 33., 2013, Salvador. **Redução de desperdícios e do lead time total da produção de calçados**. [s.i.]: Abepro, 2013. 16 p. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STP_177_013_23025.pdf>.
Acesso em: 5 ago. 2017.

EVANS, J. H. Basic design concepts. **American Society of Naval Engineers Journal**. p. 671-678, nov. 1959.

GALE, Peter A.. The Ship Design Process. In: LAMB, Thomas (Ed.). **Ship Design and Construction**. [s.i.]: The Society Of Naval Architects And Marine Engineers, 2003. p. 1-40.

GERR, Dave. **The elements of boat strength**: for builders, designers , and owners. [s.i]: International Marine, 2000. 385 p.

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.

HENRIKSEN, Bjørnar et al. Modularization – Enabler for Shop Floor Involvement in Improvement and Development. **Ifip Advances In Information And Communication Technology**, [s.l.], p.250-261, 2013. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-40352-1_32>. Acesso em: 5 agosto 2017.

HENRIQUES, Fabrício Eduardo; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Adoção da modularidade em produto e em produção na indústria automotiva: uma análise comparativa em projetos de veículos com participação da engenharia brasileira. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.161-177, 26 jan. 2017.FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2017000100161&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 28 maio 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12217-1**: Small craft - Stability and buoyancy assessment and categorization - Part 1: Non-sailing

boats of hull length greater than or equal to 6 m. 2 ed. Geneva: Public Resource, Inc., 2013. 87 p.

KUBOTA, F. I.; FERENHOF, H. A.; FERREIRA, M. G. G.; FORCELLINI, F. A.; MIGUEL, P. A. C. Desenvolvimento de Plataforma de Produto e Modularidade: uma análise bibliométrica. **Teoria e Prática em Administração**, v. 3, n. 2, p. 44-69, 2013.

MELLO, Adriana Marotti de; MARX, Roberto. CONHECIMENTO DE ARQUITETURA DE PRODUTO COMO ELEMENTO CHAVE PARA A MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE INOVADORA DE UMA EMPRESA – O CASO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA. **Revista Gestão Industrial**, [s.i.], v. 3, n. 2, p.74-88, 1 jun. 2007. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR).

MORAES, André Amâncio de. **Metodologia de suporte ao projeto informacional e conceitual de embarcações de recreio a motor de pequeno porte**. 2017. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências Mecânicas, Cjtj, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/177592/346864.pdf?sequenc e=1>>. Acesso em: 3 jul. 2017.

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.

PAPANIKOLAOU, Apostolos. **Ship Design: Methodologies of Preliminary Design**. Atenas: Springer Dordrecht, 2004. 628 p.

POTGIETER, Kobus. **Planing Hulls**. 2006. Disponível em: <[http://www.navaldesign.co.za/articles/Planing Hulls 07 Oct 2006.pdf](http://www.navaldesign.co.za/articles/Planing%20Hulls%2007%20Oct%202006.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2017.

SALLES, Marcos Vinícius. **Projeto conceitual/preliminar de uma lancha de 21 pés com abordagem baseada em otimização**. 2017. 134 f. TCC (Graduação) - Curso

de Engenharia Naval, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/177208/PROJETO%20CONCEITUAL-PRELIMINAR%20DE%20UMA%20LANCHA%20DE%2021%20P%C3%89S%20COM%20ABORDAGEM%20BASEADA%20EM%20OTIMIZA%C3%87%C3%83O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 3 out. 2017

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

SCHMIDT, Marco Aurélio Vieira. **Ecodesign aplicado ao mercado náutico**

brasileiro: desenvolvimento de uma lancha modular de 16 pés. 2016. 131 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Univille, Joinville, 2016. Disponível em:

<http://www.univille.edu.br/account/ppgdesign/VirtualDisk.html/downloadDirect/949235/MARCO_AURELIO_VIEIRA_SCHMIDT_ECOCODESIGN_APLICADO_AO_MERCA_DO_NAUTICO_BRASILEIRO_DESENVOLVIMENTO_D.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2017.

SILVA, Heriberto do Ouro Lopes; MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Adoção da modularidade no desenvolvimento de produto - um estudo de caso em uma

montadora de veículos. In: SIMPEP, 13^º., 2006, Bauru-sp. **Anais...** . [s.i.]: Sindicato da Indústria de Material Plástico no Estado do Paraná, 2006. p. 1 - 2. Disponível em:

<http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/572.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2017.

WATSON, D. G. M. **Practical ship design**. Kidlington, Uk: Elsevier Science, 1998.

APÊNDICE A – TABELA DE COTAS

Figura A1 – Tabela de cotas obtida a partir do molde do casco da embarcação base em metros.

X	Y	Z
0	0	0,06
0	0,7	0,31
0	0,93	0,33
0	1,05	0,86
1,9	0	0,02
1,9	0,7	0,3
1,9	1,02	0,33
1,9	1,2	0,86
2,6	0	0
2,6	0,72	0,3
2,6	1,03	0,33
2,6	1,23	0,86
3,6	0	-0,05
3,6	0,67	0,3
3,6	0,96	0,33
3,6	1,14	0,86
4,6	0	0,03
4,6	0,48	0,33
4,6	0,68	0,36
4,6	0,88	0,86
5,7	0	0,38
5,7	0,4	0,86
6,26	0	0,86

Fonte: Autor (2018).

APÊNCICE B – DADOS COMPARATIVOS

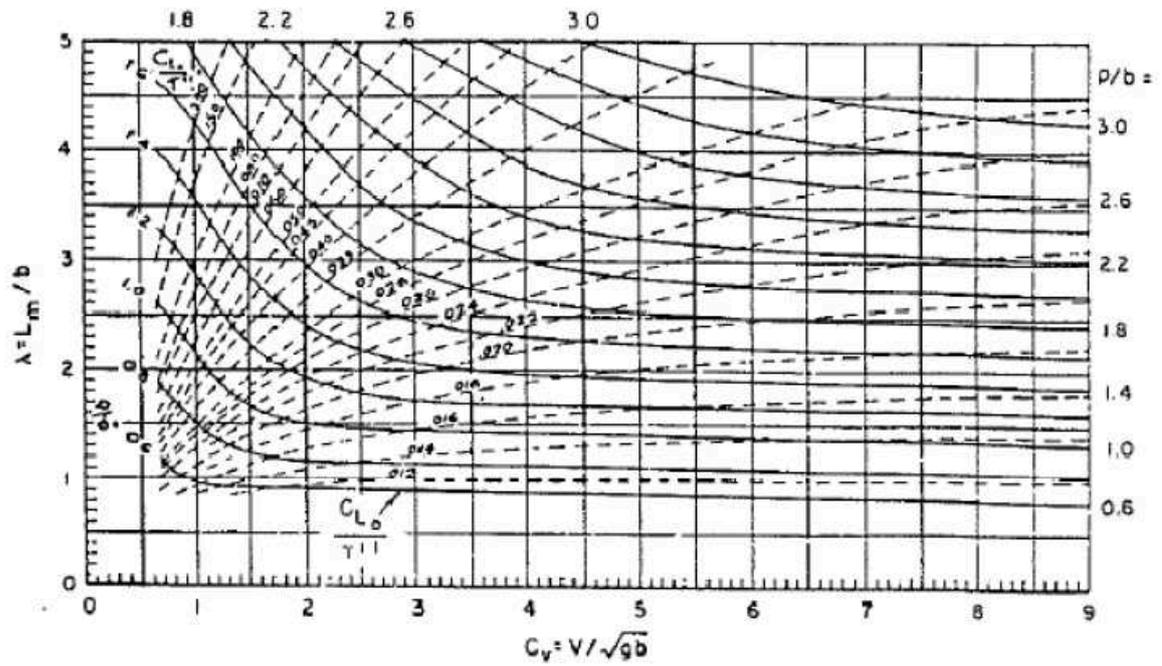
Figura B1 – Dados principais das embarcações de recreio e pesca.

	Recreio	Pesca
Δ [kg]	2965	3200
Lwl [m]	5,65	5,68
Bwl [m]	2,2	2,2
Calado médio [m]	0,46	0,52
Ângulo de trim [deg]	2,1	2
S [m ²]	12,2	12,4
Cp	0,7	0,72
Cb	0,43	0,44
Cm	0,67	0,68
Cwp	0,82	0,82
KB [m]	0,32	0,37
BMt [m]	1,18	1,1
GMt [m]	0,95	0,8
Rt (28 nós) [N]	5586	6078,8
LCG [m]	2,17	2,21
VCG [m]	0,58	0,68
α [deg]	30,6	28,6

Fonte: Autor (2018).

ANEXO A – MÉTODO SAVITSKY

Figura A1 – Nomograma para condição de equilíbrio considerando todas as forças atuando no CG da embarcação.



Fonte: Savitsky (1964) apud Hamidon et al. (2010)