



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG
ENGENHARIA NAVAL – DEMEC

Rafael de Castro Silva Sivini

Projeto, Planejamento e Construção de embarcação de alto desempenho baseados
nos conceitos do Design for Production.

Recife
Janeiro, 2016

Rafael de Castro Silva Sivini

Projeto, Planejamento e Construção de embarcação de alto desempenho baseados nos conceitos do Design for Production.

Trabalho de Conclusão de Graduação, apresentado ao Curso de Engenharia Naval do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro Naval.

Orientador: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Coorientador: César Augusto Salhua Moreno

Recife

Janeiro, 2016

Universidade Federal de Pernambuco

Centro de Tecnologias e Geociências - Departamento de Engenharia Mecânica

DEMEC - CTG - UFPE

Projeto, Planejamento e Construção de embarcação de alto desempenho baseados nos conceitos do Design for Production.

Rafael Sivini

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

Aprovado por:

Prof. Marco Antônio Ladislau Petkovic, MsC.

Prof. César Augusto Salhua Moreno, DsC.

Prof. Silvio Eduardo Gomes de Melo, DsC.

Recife, Pernambuco – Brasil

Janeiro, 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família e namorada pelo amor, inspiração, apoio incondicional, compreensão e incentivo.

Aos orientadores Prof. Silvio Eduardo Gomes de Melo e Prof. César Augusto Salhua Moreno, pelo apoio, orientação e amizade.

Aos meus companheiros de turma pela grande amizade construída e apoio dado durante o decorrer da graduação.

Aos demais professores do curso de Engenharia Naval da UFPE que tanto contribuem para nossa formação do profissional e pessoal.

Ao Prof. Armando Hideki Shinohara por todo o suporte dado junto à Petrobras e o Programa de Formação de Recursos Humanos – PFRH PB 204.

Ao Estaleiro Atymar pelo auxílio dado na construção do projeto, através do fornecimento de materiais e assistência de mão-de-obra especializada por meio de seus profissionais.

Agradeço de modo especial ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás (PRH-ANP/MCT), bem como da Petrobras.

“Os sonhos regam a existência com o sentido”

(Augusto Cury)

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Tecnologias e Geociências / UFPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval.

Projeto, Planejamento e Construção de embarcação de alto desempenho baseados nos conceitos do Design for Production.

Rafael Sivini

Orientador: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Curso: Engenharia Naval

O presente trabalho teve por objetivo principal, realizar o projeto orientado à produção dos cascos de uma embarcação de alta performance do tipo catamarã. Foram previstas todas as possíveis dificuldades do processo construtivo executado, que influenciaram diretamente nas principais características da forma e arranjo estrutural da embarcação projetada, assim como na escolha do método de construção mais adequado para o projeto, baseando-se nos princípios do *Design for Production (DFP)* aplicados à construção naval. Além disso, foi realizado o planejamento e gerenciamento de cada etapa da construção, com ênfase principal na busca do menor peso da embarcação, comprovando, assim, a importância da utilização e aplicação desse conceito na concepção do projeto de embarcações.

Palavras-chave: *Design for Production*. Projeto. Planejamento. Gerenciamento. Construção naval.

Abstract of Undergraduate Conclusion Thesis presented at the Centre of Technologies and Geosciences / UFPE as partial fulfillment of the requirements for the degree of Naval Engineer.

Project, Planning and Construction of high-performance boat based on concepts of Design for Production.

Rafael Sivini

Supervisor: Silvio Eduardo Gomes de Melo

Course: Naval Engineering

The main goal of this work was to make the Design for Production (DFP) of a high-performance catamaran boat. All possible obstacles to the building process, which affected directly the form and structural arrangement characteristics, as well as the choice for the most adequate building method, were predicted, based on the principles of DFP applied to shipbuilding. Beyond that, planning and managing of each stage of construction were made, with emphasis in the search for the lowest weight of the vessel, testifying the importance of application and utilization of DFP in designing watercraft.

Keywords: Design for Production. Design. Planning. Managing. Shipbuilding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Custo potencial em diferentes fases de produção.	15
Figura 2 - Fluxograma de projeto utilizado.	20
Figura 3 - Catamarã <i>Flying Phantom</i>	22
Figura 4 - Catamarã <i>Flying Phantom</i>	22
Figura 5 - Logomarca da competição.	24
Figura 6 - Representação do <i>Casco 1</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	26
Figura 7 - Representação do <i>Casco 2</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	27
Figura 8 - Representação do <i>Casco 3</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	28
Figura 9 - Representação do <i>Casco 4</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	29
Figura 10 - Representação do <i>Casco 5</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	31
Figura 11 - Representação do <i>Casco 6</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	32
Figura 12 - Representação do <i>Casco 7</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	34
Figura 13 - Representação do <i>Casco 8</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	35
Figura 14 - Representação do <i>Casco 9</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	37
Figura 15 - Representação do <i>Casco 10</i> através do <i>Software Rhinoceros</i>	38
Figura 16 - Comparação entre as performances dos cascos.	40
Figura 17 - Comparação entre os <i>Cascos 09 e 10 respectivamente</i>	40
Figura 18 - Deslocamento apresentado pelos cascos em função da variação de calado.	41
Figura 19 - Representação da igualdade as cotas do convés da embarcação.	42
Figura 20 - Representação da acomodação do casco em qualquer superfície plana.	42
Figura 21 - Vista frontal do casco projetado.	43
Figura 22 - Representação da planificação das superfícies de <i>costado</i> e <i>fundo</i> dos cascos.	43
Figura 23 - Representação do espelho de popa do casco projetado.	44
Figura 24 - Forma final dos cascos que compõem o catamarã projetado.	44
Figura 25 - Características principais do casco obtidas através do <i>Software Maxsurf</i>	45
Figura 26 - Curvas hidrostáticas da embarcação projetada.	46
Figura 27 - Representação do estado de flutuação da embarcação projetada.	47
Figura 28 – Curva de estabilidade transversal.	49
Figura 29 – Valores de GZ e área sob a curva em função do ângulo de inclinação.	49
Figura 30 - Velocidades do casco obtidas através do <i>Software Maxsurf Resistance</i>	50
Figura 31 - Curva de Resistência ao Avanço.	51
Figura 32 - Arranjo geral da embarcação projetada para a categoria de <i>transporte leve</i>	52
Figura 33 - Representação dos compartimentos estaques do catamarã.	54
Figura 34 – Representação do calado de projeto da embarcação.	55
Figura 35 - Dimensionamento dos compartimentos estanques através <i>Software Maxsurf</i>	55
Figura 36 - Indicação do preenchimento dos tanques em situação normal de flutuação.	56
Figura 37 - Representação da condição normal de flutuação do catamarã projetado.	56
Figura 38 - Indicação do preenchimento dos tanques em situação crítica de flutuação.	56
Figura 39 - Representação da condição crítica de flutuação do casco.	57

Figura 40 - Indicação do preenchimento dos tanques em situação intermediária de flutuação.	57
Figura 41 - Condição de flutuação após alagamento de dois compartimentos não estanques.	57
Figura 42 - Alagamento do compartimento não estanque à ré do casco boreste do catamarã.	57
Figura 43 - Alagamento do compartimento não estanque à vante do casco boreste do catamarã. ...	58
Figura 44 - Alagamento do compartimento não estanque à ré do casco bombordo do catamarã.	58
Figura 45 - Alagamento do compartimento não estanque à vante do casco bombordo do catamarã.	58
Figura 46 - Gráfico utilizado para obtenção do <i>número estrutural</i> da embarcação.	60
Figura 47 - Representação do arranjo estrutural do catamarã.	60
Figura 48 - Representação do arranjo estrutural da embarcação projetada.	61
Figura 49 - Representação do arranjo estrutural final do catamarã.	61
Figura 50 - Representação do número de elementos estruturais do casco.	62
Figura 51 - Representação da redução das escoas na <i>popa</i> da embarcação.	62
Figura 52 - Representação da <i>escoa</i> móvel na região da proa da embarcação.	63
Figura 53 - Representação dos encaixes entre os elementos estruturais do casco.	63
Figura 54 - Representação do posicionamento das escoas no casco.	64
Figura 55 - Divisão e agrupamento das peças que compõem a estrutura dos cascos.	69
Figura 56 - Preparação para o corte através do <i>Nesting</i> das peças.	69
Figura 57 - Representação dos componentes estruturais dos cascos.	70
Figura 58 - Montagem das <i>escoas</i> e <i>longarina</i>	70
Figura 59 - Montagem da estrutura interna dos cascos.	70
Figura 60 - Pesagem da estrutura interna do casco após montagem.	71
Figura 61 - Marcação e corte das peças em compensado flexível de madeira <i>sumaúma</i>	71
Figura 62 - Pesagem do <i>costado</i> e <i>fundo</i> dos cascos após o corte.	72
Figura 63 - Montagem do <i>costado</i> dos cascos.	72
Figura 64 - Representação da montagem do casco finalizada.	73
Figura 65 - Início do processo de laminação e impermeabilização dos cascos.	73
Figura 66 - Finalização do processo de laminação e impermeabilização interna dos cascos.	74
Figura 67 - Pesagem final dos cascos após finalização da montagem e laminação interna.	74
Figura 68 - Representação da fase de acabamento e pintura dos cascos.	75
Figura 69 - Representação da construção dos cascos do catamarã finalizada.	76
Figura 70 - Instalação e fixação da plataforma do catamarã aos cascos.	76
Figura 71 - Instalação das engrenagens do sistema de governo e suportes dos lemes.	77
Figura 72 - Representação da instalação dos <i>hidrofólios</i> e lemes da embarcação.	77
Figura 73 - Representação da construção do catamarã finalizada.	78
Figura 74 - Construção do catamarã concluída.	78
Figura 75 - Planejamento e execução das atividades de construção realizadas.	81
Figura 76 - Representação do <i>calado</i> da embarcação projetada.	82
Figura 77 - <i>Calado</i> apresentado pela embarcação construída.	82
Figura 78 - Representação do <i>calado</i> da embarcação construída.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição da sequência apresentada pelo fluxograma de projeto.	21
Tabela 2 – Dimensões principais do <i>Casco 1</i>	26
Tabela 3 - Dimensões principais do <i>Casco 2</i>	27
Tabela 4 - Dimensões principais do <i>Casco 3</i>	28
Tabela 5 - Dimensões principais do <i>Casco 4</i>	29
Tabela 6 – Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 4</i>	30
Tabela 7 – Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo <i>Casco 4</i>	30
Tabela 8 - Dimensões principais do <i>Casco 5</i>	31
Tabela 9 - Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 5</i>	31
Tabela 10 – Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo <i>Casco 5</i>	32
Tabela 11 - Dimensões principais do <i>Casco 6</i>	32
Tabela 12 - Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 6</i>	33
Tabela 13 - Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo <i>Casco 6</i>	33
Tabela 14 - Dimensões principais do <i>Casco 7</i>	34
Tabela 15 - Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 7</i>	34
Tabela 16 - Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo <i>Casco 7</i>	34
Tabela 17 - Dimensões principais do <i>Casco 8</i>	35
Tabela 18 - Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 8</i>	36
Tabela 19 - Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo <i>Casco 8</i>	36
Tabela 20 - Dimensões principais do <i>Casco 9</i>	37
Tabela 21 - Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 9</i>	37
Tabela 22 – Estimativa de velocidades desenvolvidas para o <i>Casco 9</i>	37
Tabela 23 - Dimensões principais do <i>Casco 10</i>	39
Tabela 24 - Valor do <i>Calado</i> e <i>Deslocamento</i> do <i>Casco 10</i>	39
Tabela 25 - Estimativa de velocidades desenvolvidas para o <i>Casco 10</i>	39
Tabela 26 – Comparativo entre as características e performances dos cascos.	40
Tabela 27 – Deslocamento dos cascos em função do calado.	41
Tabela 28 – Posição do <i>LCF</i> e <i>LCB</i> da embarcação projetada.	47
Tabela 29 – Valor apresentado pelo GM_L da embarcação.	48
Tabela 30 – Valor apresentado pelo GM_T da embarcação.	48
Tabela 31 – Velocidades desenvolvidas pelo catamarã em função do calado.	50
Tabela 32 – Peso disponível para a construção dos cascos do catamarã.	53
Tabela 33 - Características principais dos elementos estruturais da embarcação.	60
Tabela 34 – Representação dos números de elementos estruturais requeridos e utilizados.	62
Tabela 35 – Cálculo das áreas de cada elemento estrutural e área total laminada do casco.	65
Tabela 36 – Estimativa de peso da estrutura interna do casco.	65
Tabela 37 – Estimativa de peso do <i>costado</i> e <i>fundo</i> do casco.	65
Tabela 38 – Estimativa de peso adicional após a laminação do casco.	66

Tabela 39 – Estimativa de peso adicional ao casco após pintura e acabamento.	66
Tabela 40 – Estimativa de peso adicional de cada material em cada etapa construtiva.	66
Tabela 41 – Estimativa de peso final dos cascos após a construção.	67
Tabela 42 – Comparação entre os pesos estimados e obtidos para os cascos.	79
Tabela 43 – Comparação entre o peso estimado e obtido para o catamarã.	79
Tabela 44 – Descrição e duração de cada etapa construtiva dos cascos.	80
Tabela 45 – Custos de construção dos cascos.	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Design for Production	15
2.2 Embarcações de alto desempenho	18
3 O PROJETO	20
3.1 Fluxograma de Projeto	20
3.2 Embarcações Semelhantes	22
3.3 Parâmetros de Projeto	23
3.4 Dimensões Principais	25
3.5 Desenvolvimento da Forma do Casco	26
3.5.1 <i>Primeira Forma</i>	26
3.5.2 <i>Segunda Forma</i>	27
3.5.3 <i>Terceira Forma</i>	28
3.5.4 <i>Quarta Forma</i>	29
3.5.5 <i>Quinta Forma</i>	30
3.5.6 <i>Sexta Forma</i>	32
3.5.7 <i>Sétima Forma</i>	33
3.5.8 <i>Oitava Forma</i>	35
3.5.9 <i>Nona Forma</i>	36
3.5.10 <i>Décima Forma – Casco Final</i>	38
3.6 Avaliação da Décima Forma – Casco Final	44
3.6.1 <i>Equilíbrio, Trim e Estabilidade</i>	44
3.6.2 <i>Velocidade e Resistência ao Avanço</i>	50
3.7 Arranjo Geral	52
3.8 Arranjo Estrutural	52

3.6.1 Compartimentos Estanques.....	53
3.6.2 Dimensionamento Estrutural.....	59
3.6.3 Estimativa de Peso.....	64
4 CONSTRUÇÃO.....	68
4.1 Método Construtivo Ply Glass.....	68
4.2 Construção dos Cascos.....	68
4.3 Demais Etapas Construtivas.....	76
5 RESULTADOS.....	79
6 CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	85

1 INTRODUÇÃO

Um navio é composto por um conjunto de sistemas interligados bastante complexo, projetados por profissionais especializados em diferentes áreas da engenharia. Sendo assim, o desenvolvimento do projeto e a maneira como este é gerido, tem expressiva importância no procedimento construtivo.

No projeto orientado à produção, a principal diferença é a preocupação com o método construtivo, de modo a buscar uma solução de compromisso que gere o melhor projeto, sendo este de fácil construção, evitando trabalho desnecessário e desperdício de material e mão de obra.

A definição do conceito de *Design for Production* aplicado a construção naval, se resume ao ato de projetar uma embarcação que atenda às suas exigências de qualidade técnicas e operacionais específicas, de modo que os custos de produção sejam reduzidos com o mínimo de trabalho e facilidade de construção, onde um dos desafios mais importantes que os estaleiros enfrentam na aplicação desse princípio é causado, na maioria das vezes, pela falta de compreensão das limitações de suas instalações e técnicas de produção pelos projetistas.

Os conceitos do *Design for Production* aplicados à indústria naval devem ser incorporados ao projeto desde o início, estando este preparado para atender aos requisitos do estaleiro no qual será executado, sempre pensando na redução dos custos de fabricação e no aumento da produtividade.

Este trabalho tem por objetivo principal, realizar o projeto orientado à produção dos cascos de uma embarcação de alta performance do tipo catamarã e como objetivo específico, prever todas as possíveis dificuldades dos passos construtivos, justificar as características da forma projetada, arranjo estrutural da embarcação e método de construção adotado, além de atender as necessidades do projeto, baseando-se nos princípios do *Design for Production* aplicados à construção naval.

Também pretende-se efetuar o gerenciamento de cada etapa da construção dos cascos, verificar se as mesmas estão sendo executadas conforme o planejado, com ênfase principal na busca pelo menor peso e resistência ao avanço da embarcação.

No desenvolvimento, serão apresentados os principais conceitos do *Design for Production* direcionados à indústria naval, os pré-projetos de forma na busca do melhor casco projetado, onde, por meio de pesquisas por embarcações semelhantes,

as principais características serão selecionadas e reproduzidas, seguindo as normas da competição internacional de embarcações de alto desempenho *Hydro Contest*, realizada anualmente no lago de *Genebra* na cidade de *Laussane – Suíça*, que será utilizada como estudo de caso e aplicação deste projeto.

Ainda na fase de projeto, a etapa seguinte será estabelecer as dimensões ótimas dos cascos que compõem o catamarã, assim como o melhor espaçamento entre eles, por meio da variação de medidas e características de forma, e realizar as análises de equilíbrio, estabilidade, velocidade e resistência ao avanço da embarcação.

Após a definição da forma e dimensões dos cascos do catamarã, será realizado o projeto e dimensionamento dos elementos estruturais do casco. Em seguida, será feita a escolha do melhor método construtivo e materiais a serem utilizados, esclarecendo as principais características da forma e arranjo estrutural da embarcação projetados, satisfazendo as necessidades do projeto, baseando-se nos princípios do *Design for Production* aplicados à construção naval.

Adicionalmente será realizado o planejamento da construção dos cascos, com a finalidade de verificar se as etapas realizadas estarão de acordo com o projetado, com ênfase no controle e obtenção do menor peso leve dos cascos produzidos, bem como seguir o cronograma de fabricação, de modo a atender os prazos estabelecidos para realização de testes e, se viável, antecipar as etapas posteriores para a conclusão do projeto.

Sendo assim, espera-se ao final deste trabalho, através da utilização dos conceitos do *Design for Production* para navios e aplicados na concepção do projeto, confirmar a importância de elaborar um projeto com o pensamento voltado à produção, antecipando as possíveis dificuldades construtivas, facilitando os processos, reduzindo, assim, o tempo necessário para construção dos cascos e o retrabalho, além de aumentar a produtividade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Design for Production

Lamb (1986, p.14), define formalmente o *Design for Production (DFP)*, como, “ato deliberado de projetar um produto para atender às suas exigências de qualidades técnicas e operacionais específicas, de modo que os custos de produção sejam mínimos com o mínimo de trabalho e facilidade de construção”.

O projeto orientado à produção aplicado à construção naval tem como objetivo minimizar o custo de produção através da facilidade de construção, onde é fundamental que os projetos de embarcações sejam compatíveis com as características dos estaleiros que os produzem, ou seja, o *DFP*, de maneira geral, consiste em integrar o processo de projeto com o processo de construção específico do estaleiro em que o mesmo será executado.

Lamb (1986) afirma que o *DFP* deve ser aplicado desde a fase inicial do projeto, pois modificações feitas durante esse período, tem o maior potencial de alteração do custo, sendo assim, a medida que o processo avança, a capacidade de influenciar o custo diminui, conforme indicado na figura a seguir:

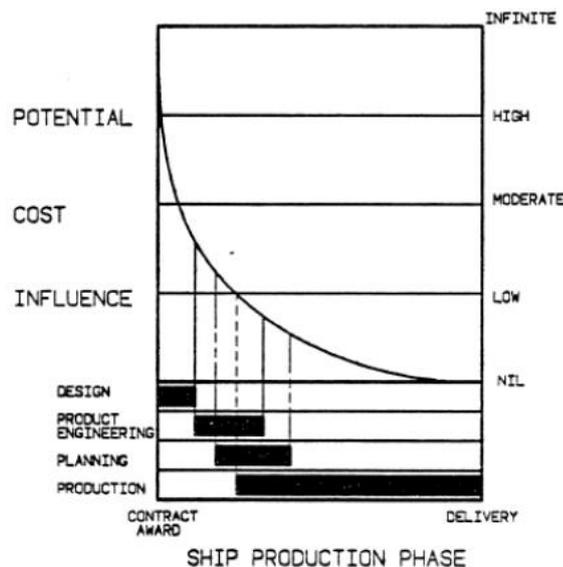


Figura 1 – Custo potencial em diferentes fases de produção.

Fonte: *Ship Design & Construction*.

O projeto orientado à produção aplicado à construção naval, traz inúmeros benefícios aos estaleiros, organizando melhor a produção, diminuindo o retrabalho e integrando as diversas áreas responsáveis por diferentes etapas da construção.

O *DFP* é simplesmente o compromisso de projetar buscando-se atingir os índices de produtividade necessários, avaliando as eficiências relativas dos processos de construção e a cooperação contínua entre os departamentos de engenharia, planejamento e produção.

Segundo Fanguy et al. (2008), alguns dos princípios básicos do *Design for Production* aplicados à construção naval, são: realização do projeto focado nas instalações, estações de trabalho e recursos de equipamentos, busca pela minimização do número e tipos de peças diferentes a serem fabricadas, padronização dos tipos de materiais, redução do transporte e manuseio de peças, moderação e otimização dos processos de soldagem, diminuição quantidade e complexidade dos *blocos*, simplificação da engenharia e do projeto dos processos.

Lamb (1986), ressalta que existem dois princípios fundamentais para o *DFP* aplicados à indústria naval, os quais todo o projeto deve manter a máxima simplicidade e ser o mais adequado possível para as instalações do estaleiro.

“O projeto orientado à produção traz inúmeros benefícios aos estaleiros, organizando melhor a produção, diminuindo o retrabalho e integrando as diversas áreas responsáveis por diferentes etapas da construção”. (FERNANDES, 2008, p.6)

Lindbeck (1995), afirma que o projeto orientado à produção relaciona os produtos em função de sua facilidade de montagem, e sugere que para realizar a elaboração de um projeto, devem-se ser seguidas diretrizes para a simplificação dos processos de fabricação, afim de torná-los rápidos e econômicos.

Em relação ao desenvolvimento de projetos aplicados à indústria naval, Lamb (1986), destaca que o projeto de uma embarcação pode ser dividido em quatro fases, sendo elas o projeto conceitual, projeto preliminar, projeto contratual e projeto de detalhamento.

Assim, Fernandes (2008), afirma que durante a fase de projeto conceitual é definida a concepção do projeto, principal aplicação e requisitos, tais como estimativa das dimensões principais, carga a ser transportada e velocidade. Projeto este que será desenvolvido neste trabalho.

Dando ênfase à integração entre produto e processo, Stoll (1988) defende que no desenvolvimento de produtos, sejam realizadas, paralela e coordenadamente às

soluções e especificações do produto com as metas do processo, como prazos e custos, considerando-se as características do sistema de produção da empresa, em relação à tecnologia de produção, máquinas e ferramentas disponíveis.

Os conceitos e aplicações do *DFP* à indústria naval, caracterizam-se pela visão do projeto orientado à produção, como a análise prévia das alterações necessárias no processo de projeto, buscando-se facilitar a implantação deste, as quais serão desenvolvidas e aplicadas nesse trabalho.

A qualidade do navio é, em boa parte, determinada pelos projetos e pela integração entre suas várias especialidades, como arquitetura, estruturas, instalações. Além disso, o custo final depende, dentre outros fatores, da *construtibilidade* do projeto e da integração deste com o sistema de produção específico de cada estaleiro, numa sequência de inter-relações que podem ser estendidas de forma a associar a concepção do projeto com os métodos preferenciais de produção.

Essa prática conduz a uma redução do tempo total do desenvolvimento do projeto e, ao mesmo tempo, impõe um padrão de maior eficiência na atividade de projetar na medida que se antecipa alguns problemas que ocorreriam a jusante da progressão do projeto. (CHEDIER; NAVEIRO, 1999)

Chedier e Naveiro (1999), afirmam a importância da vinculação da etapa de projeto do produto à especificação do processo produtivo, onde a equipe responsável pelo detalhamento do projeto, deve ter sólidos conhecimentos dos equipamentos disponíveis ou uma integração perfeita com os setores responsáveis pelo planejamento dos processos de fabricação.

Ettlie e Stoll (1990) indicam que devem ser tomadas determinadas ações para que se alcance um ambiente integrado para o desenvolvimento do projeto e destacam a importância do treinamento de toda a equipe através dos métodos de “*Design for Manufacture*”, proporcionando a rotação de tarefas dentro do setor de engenharia e a transferência regular das pessoas entre a engenharia e a produção.

O projeto orientado à produção incorpora no processo de projeto, informações referentes a manufatura e isso auxilia a manter a comunicação entre todos os elementos do sistema produtivo, permitindo, ainda, que o projeto possa ser adaptado durante cada estágio da fabricação. (BOOTHROYD et al., 1993).

O *DFP* tenta conciliar simultaneamente as metas de projeto com as limitações da manufatura, evitando problemas de fabricação em estágios posteriores do

processo produtivo. Isto também promove a redução do tempo necessário para o desenvolvimento do projeto, proporcionando a melhora da sua qualidade. (CANCIGLIERI JUNIOR; YOUNG, 2005)

2.2 Embarcações de alto desempenho

Vasconcellos (2011), ressalta que as embarcações marítimas de alta velocidade estiveram sempre na vanguarda da engenharia naval e da pesquisa hidrodinâmica.

Nos anos de 1950 na Inglaterra foram desenvolvidos os primeiros catamarãs modernos a vela para competição. Daí, surgiu a crescente variedade de embarcações a vela e a motor para esporte e lazer. Desde então, com o desenvolvimento de materiais e de técnicas de construção, os catamarãs vêm se tornando uma opção para diversas áreas da engenharia naval, com suas mais variadas formas. (VASCONCELLOS, 2011)

Vasconcellos (2011), afirma que embarcações do tipo catamarã apresentam algumas vantagens em relação aos *monocascos*, como o maior espaço de convés para um mesmo comprimento e *deslocamento*, melhor *estabilidade transversal* e bom desempenho para cascos longos e esbeltos, sendo mais apropriados para a maioria das condições de mar e são, de maneira geral, de maior facilidade de operação e manutenção. Além disso, os *multicascos* apresentam maior *área molhada*, ocasionando um aumento da *resistência friccional*, resistência experimentada pela superfície submersa do casco, e, por isso, uma embarcação do tipo catamarã deverá ser a mais leve possível, pois a adição de peso significará num aumento de *superfície molhada* do casco. Esta desvantagem pode ser compensada através de cascos mais esbeltos, pois a estabilidade do catamarã permite que seus cascos sejam mais estreitos do que um *monocasco* de mesmo comprimento o que evita que a resistência gerada pela formação de ondas cresça muito com a velocidade.

Tratando-se de embarcações com *hidrofólios*, tem-se que o princípio básico de funcionamento desse tipo de projeto consiste na elevação dos cascos a cima da superfície da água, sustentando-os dinamicamente através da utilização de *fólios*. Desta forma, procura-se reduzir a *resistência ao avanço* e o efeito das ondas sobre a

embarcação diminuindo a potência requerida para se alcançar altas velocidades. (VASCONCELLOS, 2011)

Este tipo de embarcação é muito menos suscetível à ação das ondas que embarcações convencionais, proporcionando numa menor *resistência ao avanço* e maiores velocidades de operação.

Hernandes (2014), ressalta que em um barco comum, à medida em que se ganha velocidade, fica mais difícil cortar a água, pois é preciso vencer a *resistência ao avanço* do casco e das ondas geradas pelo seu deslocamento, o que torna qualquer ganho mínimo de velocidade uma grande conquista. Com a utilização de *hidrofólios*, o barco navega sobre as águas e estas dificuldades são eliminadas, onde qualquer impulso do vento, por exemplo, se transforma diretamente em aceleração.

Segundo Rossi (2011), a diferença entre embarcações de *deslocamento* e *planeio* estão diretamente ligadas às velocidades dos barcos, onde, na teoria, um casco entra na condição de *planeio* ao atingir a velocidade necessária para criar uma força de sustentação capaz de erguê-lo sobre a água, diminuindo o *calado* e, conseqüentemente, a resistência da água na *proa* da embarcação. Com isso, a relação L/B (*comprimento/boca*) deve ser igual a 10, ou, o mais próximo possível desse valor, pois essa é uma característica das embarcações mais velozes, onde são alongadas, justamente para diminuir a resistência às ondas geradas pelo movimento do próprio casco, economizando potência no motor. Quanto maior o comprimento da *linha d'água* do casco, e quanto mais alongado ele for, mais veloz ele será.

Embarcações velozes, são projetadas para ultrapassar a zona de *semi-deslocamento*, caracterizada pelo levantamento da *proa*, para então entrar em *planeio* e ganhar velocidade, onde uma vez vencida essa etapa, a resistência da água diminui, fazendo a velocidade aumentar. Para isso, porém, o casco deve ser leve e ter fundo chato ou em forma de V, de modo a maximizar a força de sustentação sob a embarcação. (ROSSI,2011)

Vasconcellos (2011), também afirma que *resistência ao avanço* até a decolagem da embarcação é fundamental para o dimensionamento da potência instalada, por isso, esse tipo de embarcação, deve possuir uma forma de casco que seja eficiente tanto para o casco dentro d'água e também no momento da decolagem.

Sendo assim, deve-se buscar no desenvolvimento deste trabalho, o projeto de um casco cuja geometria proporcione reduzida *resistência ao avanço* e os maiores valores de velocidade possíveis.

3 O PROJETO

3.1 Fluxograma de Projeto

Inicialmente, para facilitar o andamento do projeto, realiza-se a elaboração de um fluxograma, cujo objetivo é apontar a sequência e as etapas de trabalho, através do procedimento de Síntese-Análise-Avaliação, descrito por Cross (1984).

Cria-se um fluxograma de projeto, conforme representado na figura a seguir:

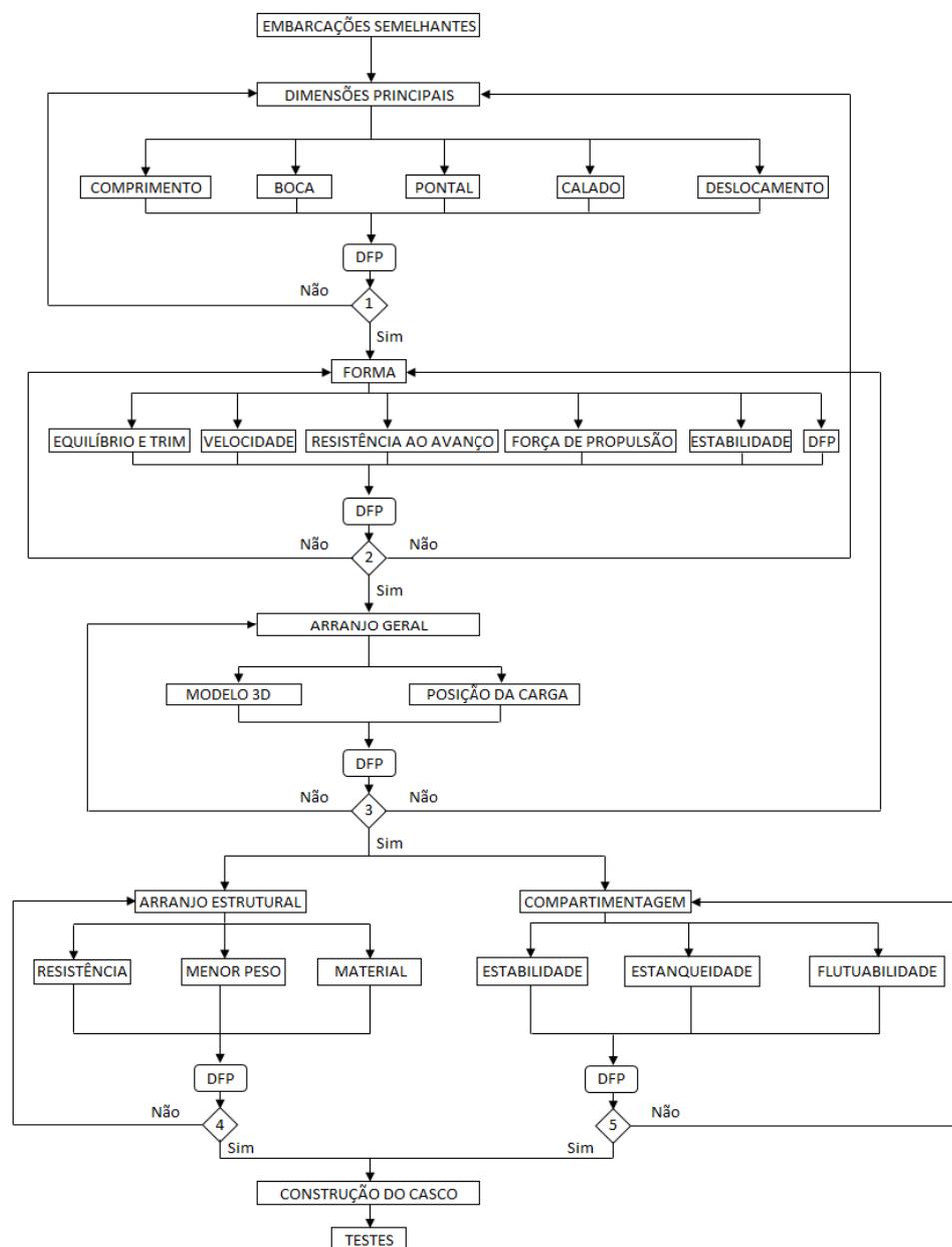


Figura 2 - Fluxograma de projeto utilizado.

O fluxograma apresentado na Figura 2, representa as influências entre as diferentes fases do projeto. A seguir encontra-se representado o curso do fluxograma e os critérios de avaliação utilizados em cada análise:

Parte do Projeto	Parâmetros de Avaliação	Análise
Embarcações Semelhantes	Esta etapa define o início do projeto.	-
Dimensões Principais	Comprimento; Boca; Pontal; Calado; Deslocamento.	Verificar se as dimensões principais e o deslocamento da embarcação estão de acordo com os parâmetros do projeto estabelecidos pelas regras da competição, além de aferir se as mesmas oferecem uma possível facilidade de construção ao projeto.
Forma	Equilíbrio; Trim; Velocidade; Resistência ao Avanço; Força de Propulsão; Estabilidade; DFP.	Verificar se a forma atende as condições de equilíbrio e estabilidade aplicáveis a esse tipo de embarcação. Analisar se a forma apresenta baixos valores de resistência ao avanço de acordo com as velocidades desenvolvidas em função da força de propulsão fornecida pelo motor definido nas regras da competição. Verificar a aplicação do DFP na concepção da forma projetada, proporcionando a facilidade de construção do projeto.
Arranjo Geral	Modelo 3D; Posição da Carga.	Verificar se as características da forma projetada estão de acordo com os parâmetros do projeto, através da aplicação dos conceitos do DFP e aferir a disposição de espaço suficiente para a instalação de equipamentos, componentes estruturais de união entre os cascos do catamarã e acomodação da carga a ser transportada.
Arranjo Estrutural	Resistência; Menor Peso; Material.	Verificar se a embarcação apresenta resistência estrutural suficiente, dispondo do menor peso, através dos materiais selecionados, além de oferecer facilidade de construção ao projeto.
Compartimentagem	Estabilidade; Estanqueidade; Flutuabilidade.	Verificar se a embarcação apresenta flutuação em caso de avarias ou alagamento interno dos cascos conforme indicado nas regras da competição.
Construção	Esta etapa define a execução do projeto realizado.	Verificar se as etapas de construção dos cascos estão de acordo com o planejamento, além de praticar o controle do peso da embarcação.
Testes	Esta etapa define a realização de testes na embarcação construída.	Verificar se os cascos após construção estão de acordo com o projetado.

Tabela 1 – Descrição da sequência apresentada pelo fluxograma de projeto.

3.2 Embarcações Semelhantes

Inicialmente realiza-se uma pesquisa em busca de embarcações semelhantes, projetadas e classificadas como embarcações de alta performance.

Uma das embarcações encontradas e tomadas como referência, está explicitada a seguir:



Figura 3 - Catamarã *Flying Phantom*.

Fonte: <http://www.phantom-international.com>

O *Flying Phantom*, um catamarã para velejo esportivo fabricado pela *Phantom International*, leva estas vantagens a outro nível, onde através da utilização de duas lâminas, chamadas de *hidrofólios*, na parte inferior dos cascos, o barco é capaz de descolar da água, proporcionando uma navegação mais veloz. Os *hidrofólios* são capazes de levantar a embarcação no ar a partir de certa velocidade de avanço, sustentados pela pressão vertical da água sob os mesmos.



Figura 4 - Catamarã *Flying Phantom*.

Fonte: <http://www.phantom-international.com>

O *Flying Phantom* é capaz de chegar aos 33 nós (aproximadamente 60 km/h) de velocidade máxima. Segundo a *Phantom*, teoricamente, é possível atingir velocidades ainda maiores, desde que a *cavitação* seja contornada, fenômeno que consiste na vaporização da água pela redução da pressão causada pelo movimento dos *hidrofólios* em relação a água, quando atingida a velocidade de 45 nós (cerca de 80 km/h).

3.3 Parâmetros de Projeto

A respeito do estudo de casco e aplicação desse trabalho, tem-se a competição internacional *Hydro Contest*, realizada anualmente pela empresa *Hydros Foundation*, aberta a Universidades e Escolas de Engenharia, cujo objetivo principal é conscientizar a indústria naval para um transporte marítimo mais eficiente, na qual consiste na concepção de um ou dois barcos, visando, se possível, a utilização de inovação tecnológica, habilitando-os a obtenção de melhores níveis de eficiência energética, onde as equipes confrontam os projetos desenvolvidos através de corridas, tendo a oportunidade de partilhar experiências e conhecimentos com o público, outros participantes e membros da indústria náutica internacional.

As equipes devem competir em duas categorias, sendo a primeira delas o *transporte leve*, cuja carga transportada é de 20 kg e a segunda, a categoria de *transporte de massa*, onde a carga transportada é de 200 kg. Adicionalmente, existe uma corrida de longa distância, na qual todos os barcos competem juntos na categoria de *transporte leve* e o barco que percorrer a maior distância durante um período máximo de duas horas, é declarado o vencedor.

Para a realização deste trabalho, busca-se atender aos requisitos da categoria de *transporte leve*, anteriormente mencionadas.

As regras da competição restringem as dimensões máximas, onde a embarcação e seus componentes devem ingressar numa caixa de forma retangular de dimensões $2,0 \times 2,5 \times 2,5 \text{ m}$ e nenhuma parte ficar fora dela.

Os materiais de construção são de livre escolha e os barcos participam de cada corrida, realizando um determinado percurso a uma potência de motor pré-definida pelo fabricante, buscando-se obter o menor tempo possível.

Os barcos passam por inspeções dimensionais e de estabilidade antes de participar das qualificações em busca do menor tempo, objetivando a classificação e devem garantir a flutuação e impermeabilidade a qualquer momento e circunstância da competição.

As embarcações, em condições de corrida, equipadas com motor, bateria e carga a bordo, devem apresentar *estabilidade transversal* suficiente para o ângulo de inclinação de 30°.

Os motores utilizados pelas equipes são fornecidos pela organização e tem as mesmas especificações: *Watt & Sea POD 1200 W*. Alimentados por baterias de características semelhantes compostas de $LiFePO_4$ (*Lítio Fosfato de Ferro*) com 48V de voltagem nominal e peso máximo 6 kg.

As cargas para o transporte são fornecidas pela organização durante o evento e divididas de acordo com as categorias, da seguinte forma: Para o *transporte de massa*, as equipes recebem 20 (vinte) elementos de massa, que representam o transporte de *containers*, de 10 kg cada e dimensões *10 x 50 x 12 cm*. Na categoria de *transporte leve* os participantes recebem 2 (dois) elementos de massa, que representam o transporte de passageiros, com as mesmas características e unidades de peso descritas na categoria anterior.

Os barcos não são pilotados por meio de tripulantes a bordo, pois nenhuma intervenção física é permitida nas embarcações durante as corridas, sendo assim, os barcos devem ser rádio controladas, por um piloto de cada equipe, a partir de uma plataforma na água, próxima ao curso demarcado por meio de boias.



Figura 5 - Logomarca da competição.

Fonte: www.hydros.ch

Em seguida, a partir das principais características de forma do casco citadas na Seção 3.2, passamos para a fase de projeto e idealização dos cascos do catamarã.

3.4 Dimensões Principais

Fundamentando-se no fluxograma de projeto anteriormente apresentado, verifica-se que o primeiro passo é definir as dimensões principais da embarcação projetada. Sendo assim, é necessário determinar o *comprimento* (L), *boca* (B), *pontal* (D) e o *calado de projeto* (T).

A partir das informações fornecidas nas regras da competição já mencionadas na Seção 3.3, delimita-se as medidas das dimensões principais da embarcação a uma faixa de valores possíveis, nas quais o *comprimento*, *boca* e *pontal* devem estar contidas, objetivando facilitar o trabalho de construção e concepção do projeto, além de proporcionar o refinamento e otimização do aspecto de forma do casco:

$$1,5 \leq L \leq 2,5 \text{ m} \quad ; \quad 0,2 \leq B \leq 0,5 \text{ m} \quad ; \quad 0,25 \leq D \leq 0,5 \text{ m} \quad (1)$$

A faixa de valores para as dimensões mínimas e máximas são estabelecidas, buscando-se atender as necessidades do projeto de se obter o casco mais leve e mais rápido possível.

Além disso, as medidas adotadas para as dimensões principais do casco, estão diretamente ligadas com a possibilidade de tornar a construção da embarcação praticável ou não, onde a escolha de dimensões muito pequenas para *boca* dos cascos do *catamarã*, por exemplo, torna a construção mais difícil.

Para a determinação do *calado de projeto*, antes é preciso obter a forma final dos cascos, sendo necessário realizar uma estimativa de *peso leve* da embarcação. Então, faz-se a aproximação de que o peso do motor mais a bateria é igual a 15 kg, adicionados aos 20 kg da carga transportada, atendendo as exigências da categoria de *transporte leve* da competição. Assim, estima-se que o peso total do *catamarã*, após construção, deve ficar entre 25 e 35 kg e o *deslocamento* (Δ) da embarcação, na *categoria leve*, presumido a um valor entre 60 e 70 kg.

Com isso, dar-se início ao desenvolvimento da forma do *catamarã*, tomando como base as informações anteriormente apresentadas.

3.5 Desenvolvimento da Forma do Casco

3.5.1 Primeira Forma

A primeira forma está representada da figura a seguir:

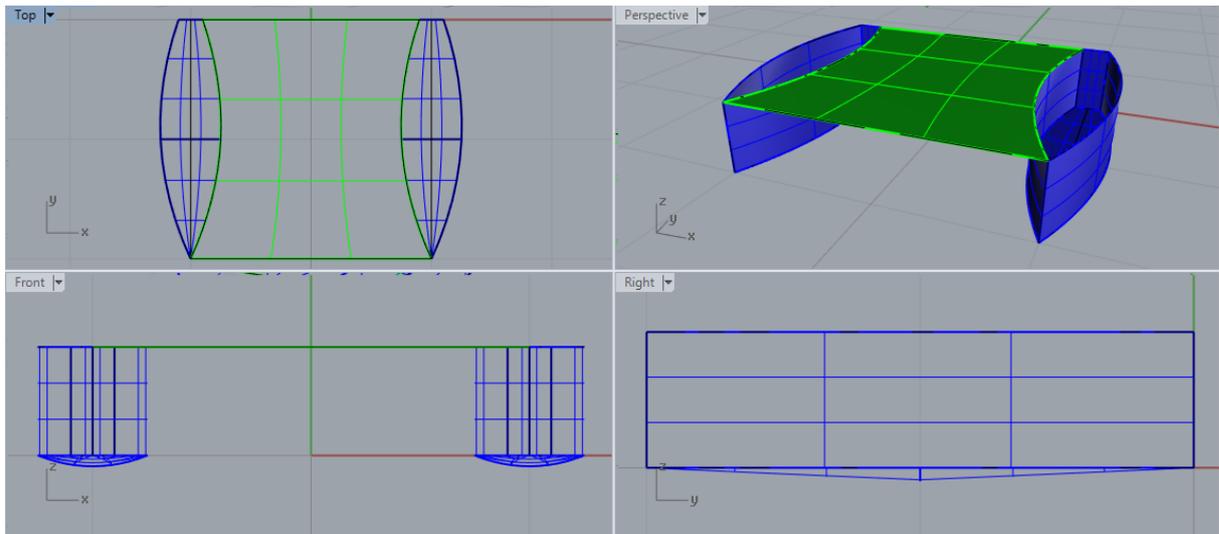


Figura 6 - Representação do Casco 1 através do Software Rhinoceros.

As dimensões principais do Casco 1, são:

Dimensão	Valor
L	2 m
B_{MONOCASCO}	0,5 m
D	0,5 m
B_{TOTAL}	2,5 m
L/B	4

Tabela 2 – Dimensões principais do Casco 1.

De acordo com a relação L/B e as características geométricas apresentadas, verifica-se que é necessário realizar o refinamento da forma dos cascos.

3.5.2 Segunda Forma

A partir da forma indicada na Seção 3.5.1, realizam-se algumas modificações na geometria dos cascos, onde as principais alterações que caracterizam o *Casco 2* estão na inclinação da *proa* e no formato curvo do *fundo* da embarcação.

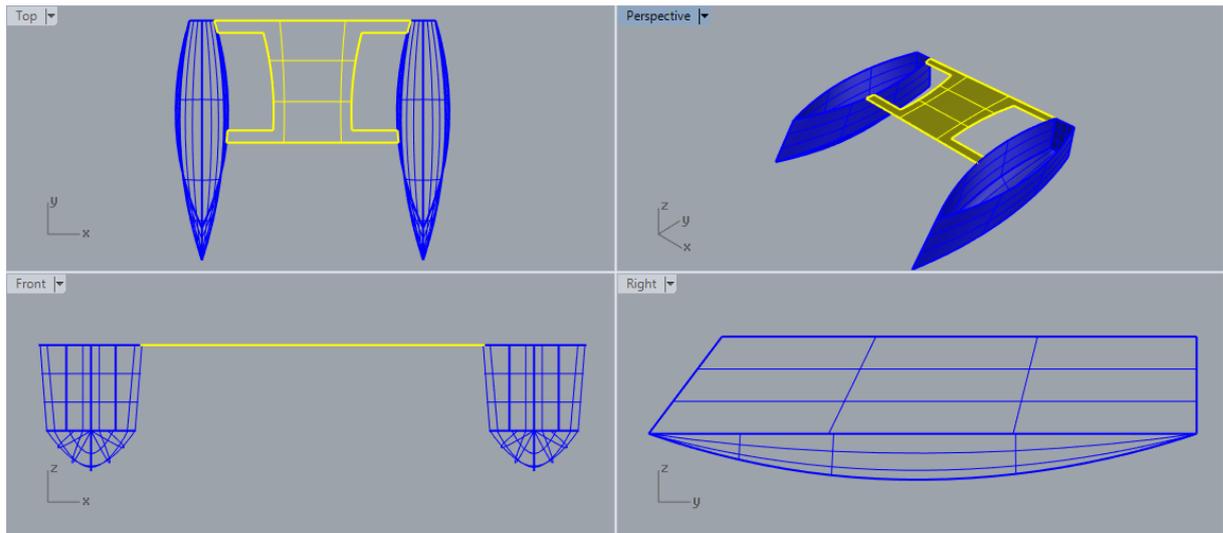


Figura 7 - Representação do *Casco 2* através do *Software Rhinoceros*.

As dimensões principais do *Casco 2*, estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	1,96 m
B_{MONOCASCO}	0,42 m
D	0,515 m
B_{TOTAL}	2,22 m
L/B	4,67

Tabela 3 - Dimensões principais do *Casco 2*.

De acordo com as dimensões do casco apresentadas, verifica-se que a relação L/B ainda apresenta um valor muito inferior a 10, conforme justificado na Seção 2.2. Com isso, é necessário continuar o refinamento da forma do catamarã.

3.5.3 Terceira Forma

As mudanças principais realizadas no *Casco 3* são no formato da *proa* e na diminuição da curvatura do *fundo* da embarcação.

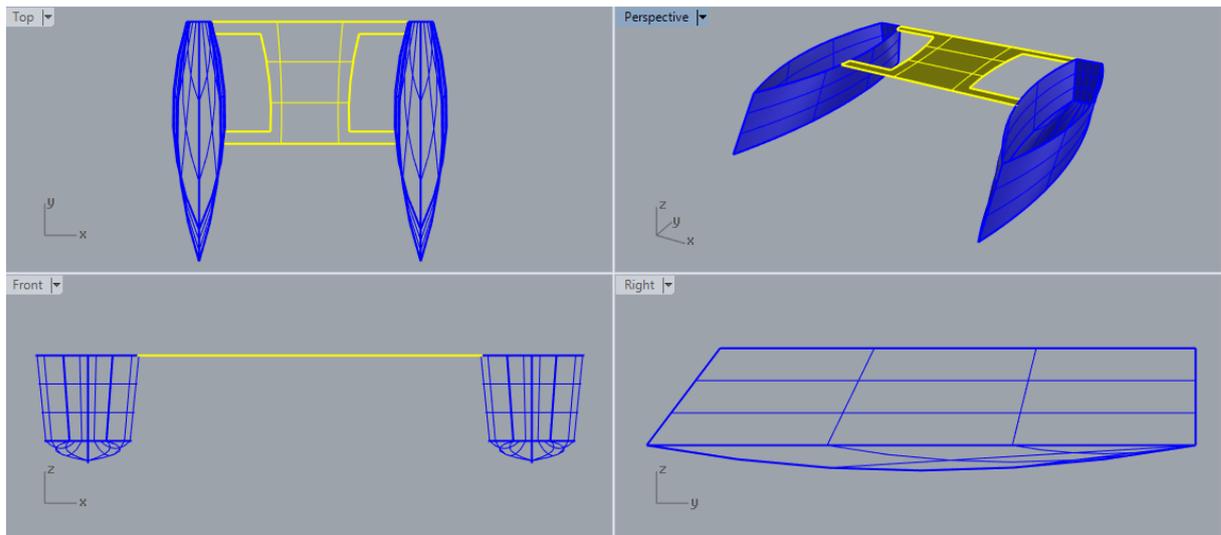


Figura 8 - Representação do *Casco 3* através do *Software Rhinoceros*.

As principais medidas do *Casco 3*, estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	1,96 m
B_{MONOCASCO}	0,42 m
D	0,44 m
B_{TOTAL}	2,22 m
L/B	4,67

Tabela 4 - Dimensões principais do *Casco 3*.

Percebe-se que a relação L/B ainda não é a ideal. Sendo assim, é preciso continuar com o refinamento da forma do catamarã.

3.5.4 Quarta Forma

Para o *Casco 4*, realiza-se alteração basicamente na diminuição da *boca* dos cascos que compõem o catamarã, tornando-os mais delgados.

A figura a seguir representa as principais características geométricas do *Casco 4*:

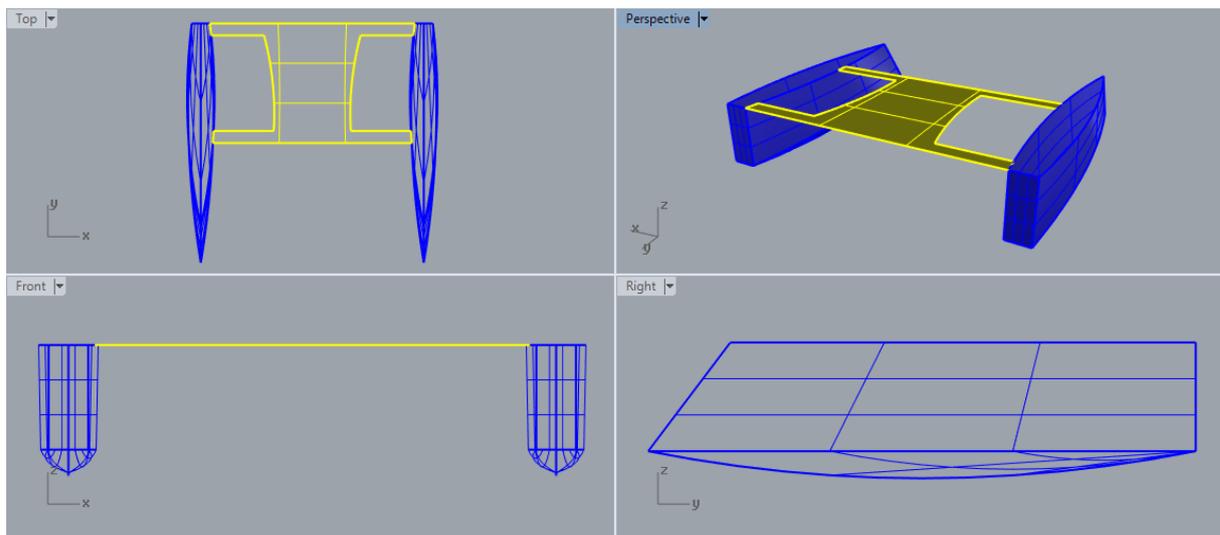


Figura 9 - Representação do *Casco 4* através do *Software Rhinoceros*.

As dimensões principais do *Casco 4*, estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	2,0 m
B_{MONOCASCO}	0,22 m
D	0,5 m
B_{TOTAL}	2,07 m
L/B	9,09

Tabela 5 - Dimensões principais do *Casco 4*.

De acordo com as características do casco apresentadas, verifica-se que a relação L/B apresenta um valor próximo a 10, atendendo as condições indicadas na Seção 2.2.

Através do *Software Maxsurf Modeler Advanced*, calcula-se o *calado* que a embarcação deve apresentar conforme o *deslocamento* requerido para a categoria de *transporte leve*:

Propriedade	Valor
Calado (T)	15 cm
Deslocamento (Δ)	60,56 Kg

Tabela 6 – Valor do *Calado* e *Deslocamento* do *Casco 4*.

Em seguida, utilizando o *Software Maxsurf Resistance*, realizam-se as análises de resistência ao avanço de acordo com a potência do motor e força de propulsão fornecida, obtendo, assim, as velocidades máximas que o *Casco 4* pode desenvolver:

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	13 Nós
Resistência (320 N)	18 Nós

Tabela 7 – Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo *Casco 4*.

Mesmo com os excelentes valores de velocidade obtidos para o *Casco 4*, verifica-se que as suas características geométricas podem gerar possíveis dificuldades construtivas, devido a pequena dimensão da *boca* e causar prováveis dificuldades de acesso ao interior do casco nas etapas de construção. Com isso, dar-se continuidade ao processo de refinamento do casco em busca da melhor forma geométrica.

3.5.5 Quinta Forma

As principais alterações realizadas no *Casco 5*, são nas dimensões da *boca*, *pontal* e formato da *popa* da embarcação em forma de “U”.

Os seus aspectos prevaletentes estão representados na figura a seguir:

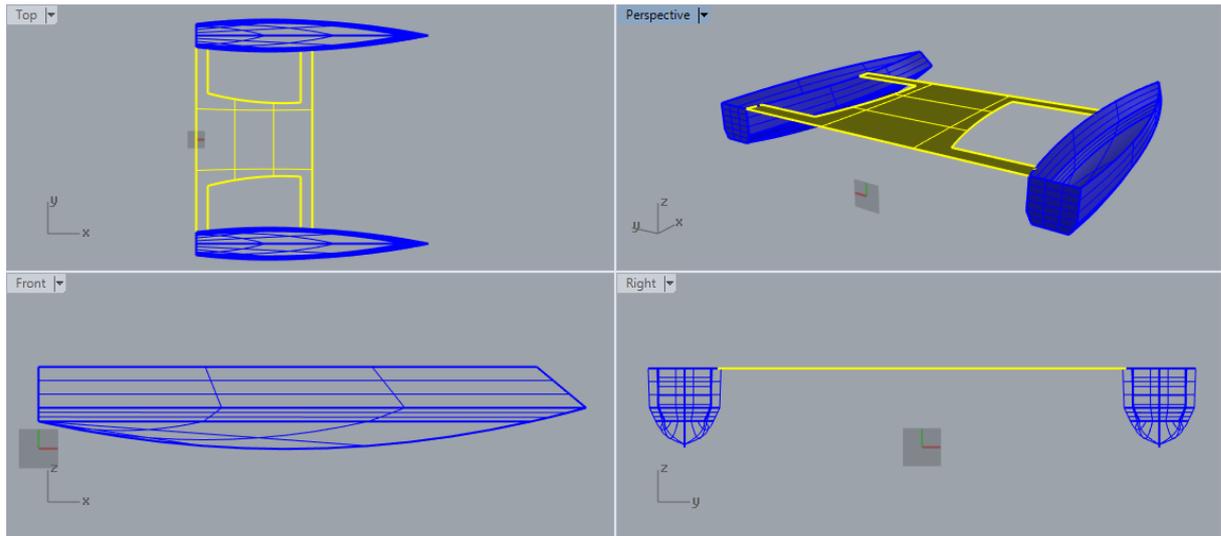


Figura 10 - Representação do Casco 5 através do *Software Rhinoceros*.

As dimensões principais do Casco 5, são:

Dimensão	Valor
L	2,0 m
B_{MONOCASCO}	0,27 m
D	0,3 m
B_{TOTAL}	2,07 m
L/B	7,4

Tabela 8 - Dimensões principais do Casco 5.

De acordo com as dimensões apresentadas, verifica-se que a relação L/B apresenta um valor próximo a 10, estando de acordo com as condições indicadas na Seção 2.2.

Segue o mesmo procedimento realizado na Seção 3.5.4 e através do *Software Maxsurf Modeler Advanced*, calcula-se o *calado* que a embarcação deve apresentar conforme o *deslocamento* requerido para a categoria de *transporte leve* e em seguida, utiliza-se o *Software Maxsurf Resistance* para fazer as análises de resistência ao avanço e calcular as velocidades desenvolvidas pelo casco:

Propriedade	Valor
Calado (T)	14,7 cm
Deslocamento (Δ)	60,23 Kg

Tabela 9 - Valor do *Calado* e *Deslocamento* do Casco 5.

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	13,5 Nós
Resistência (320 N)	18,5 Nós

Tabela 10 – Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo Casco 5.

Verifica-se que o formato da *popa* em “U” apresenta um melhor desempenho em comparação com as formas quadradas de *popa* dos cascos anteriores. Forma essa, que favorece o desprendimento da *camada limite* do fluido que escoa no *costado* do casco a ré da embarcação, diminuindo a resistência ao avanço.

Sendo assim, mesmo com o bom desempenho apresentado pelo Casco 5, dar-se sequência ao processo de refinamento da forma em busca do casco mais veloz.

3.5.6 Sexta Forma

Para o Casco 6, as principais alterações são realizadas no formato da *popa* da embarcação, em forma de “V”, conforme representado na figura a seguir:

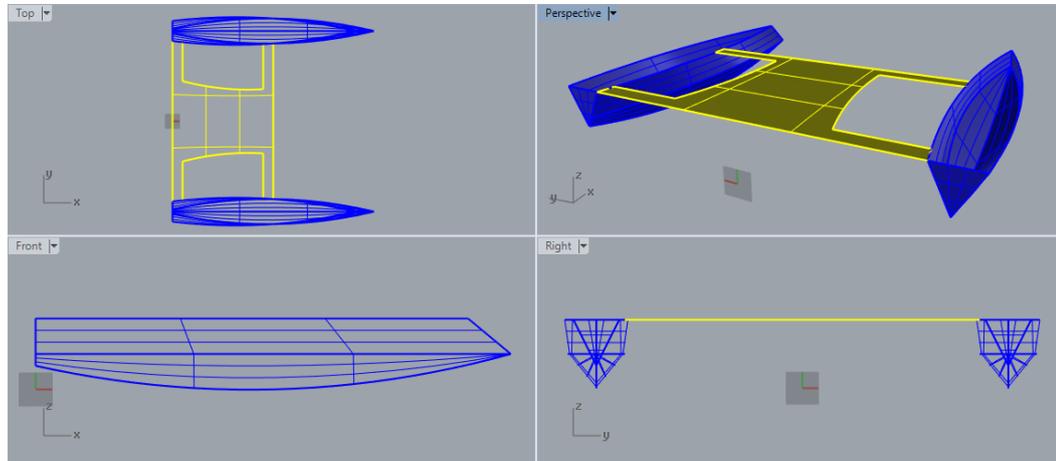


Figura 11 - Representação do Casco 6 através do Software Rhinoceros.

As dimensões principais do Casco 6, são:

Dimensão	Valor
L	2,0 m
B_{MONOCASCO}	0,27 m
D	0,3 m
B_{TOTAL}	2,07 m
L/B	7,4

Tabela 11 - Dimensões principais do Casco 6.

Nota-se que as dimensões principais do *Casco 6* são as mesmas antes descritas, portanto atendem as condições indicadas para a razão de aspecto *L/B*.

Segue o mesmo procedimento para análise do *calado* e *resistência ao avanço* da embarcação:

Propriedade	Valor
Calado (T)	17,5 cm
Deslocamento (Δ)	60,15 Kg

Tabela 12 - Valor do *Calado* e *Deslocamento* do *Casco 6*.

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	13 Nós
Resistência (320 N)	17,75 Nós

Tabela 13 - Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo *Casco 6*.

Assim, verifica-se que a forma desenvolvida para o *Casco 6* não apresenta melhor desempenho em termos de velocidade quando comparado ao *Casco 5*, pois o formato “V” da popa, promove a diminuição da *área de flutuação* do casco e o *calado* de projeto tem que ser maior, aumentando o volume submerso da embarcação, para, assim, atender o deslocamento requerido. Com isso, a resistência ao avanço torna-se maior, diminuindo a velocidade desenvolvida.

Com isso, é necessário continuar com o refinamento da forma em busca do casco mais veloz.

3.5.7 Sétima Forma

Para o *Casco 7*, busca-se um formato intermediário da *popa* da embarcação entre as formas “U” e “V”, onde as suas principais características estão representadas na figura a seguir:

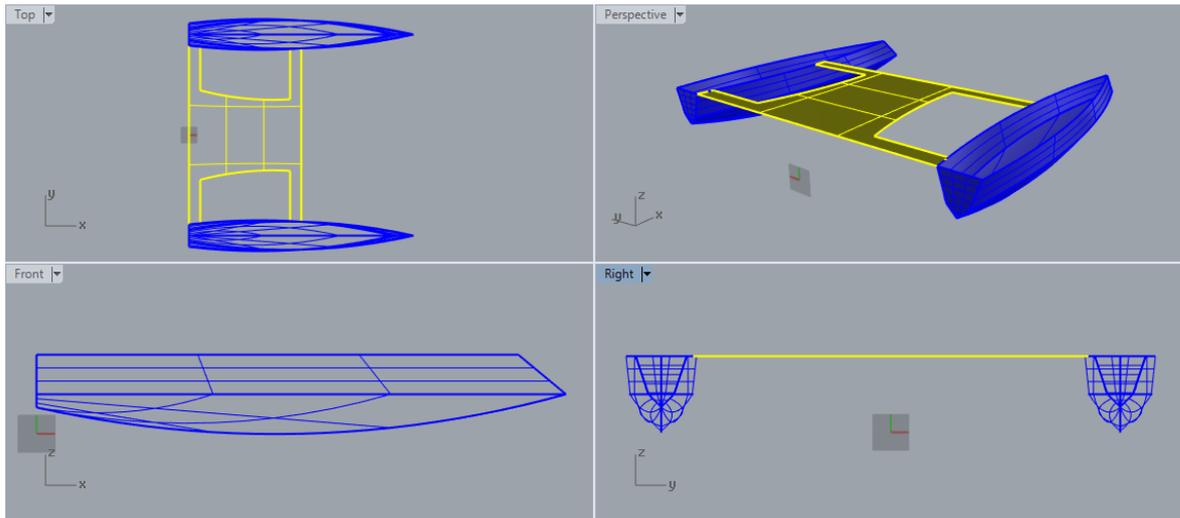


Figura 12 - Representação do *Casco 7* através do *Software Rhinoceros*.

As dimensões principais do *Casco 7*, são as mesmas do *Casco 6*, portanto atendem as condições indicadas na Seção 2.2 e estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	2,0 m
B_{MONOCASCO}	0,27 m
D	0,3 m
B_{TOTAL}	2,07 m
L/B	7,4

Tabela 14 - Dimensões principais do *Casco 7*.

Realiza-se o mesmo procedimento para análise do *calado* e *resistência ao avanço* da embarcação, obtendo-se os seguintes dados:

Propriedade	Valor
Calado (T)	16 cm
Deslocamento (Δ)	60,32 Kg

Tabela 15 - Valor do *Calado* e *Deslocamento* do *Casco 7*.

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	13,5 Nós
Resistência (320 N)	18,5 Nós

Tabela 16 - Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo *Casco 7*.

Mesmo com a obtenção de excelentes valores para a estimativa de velocidades desenvolvidas pelo *Casco 7*, continua-se com as análises em busca da melhor forma.

3.5.8 Oitava Forma

A principal alteração realizada no *Casco 8*, consiste na redução da distância entre os cascos, diminuindo o valor da *boca* total do catamarã, cuja finalidade é analisar o desempenho do casco em termos de velocidade para essa condição.

As suas características principais estão representadas a seguir:

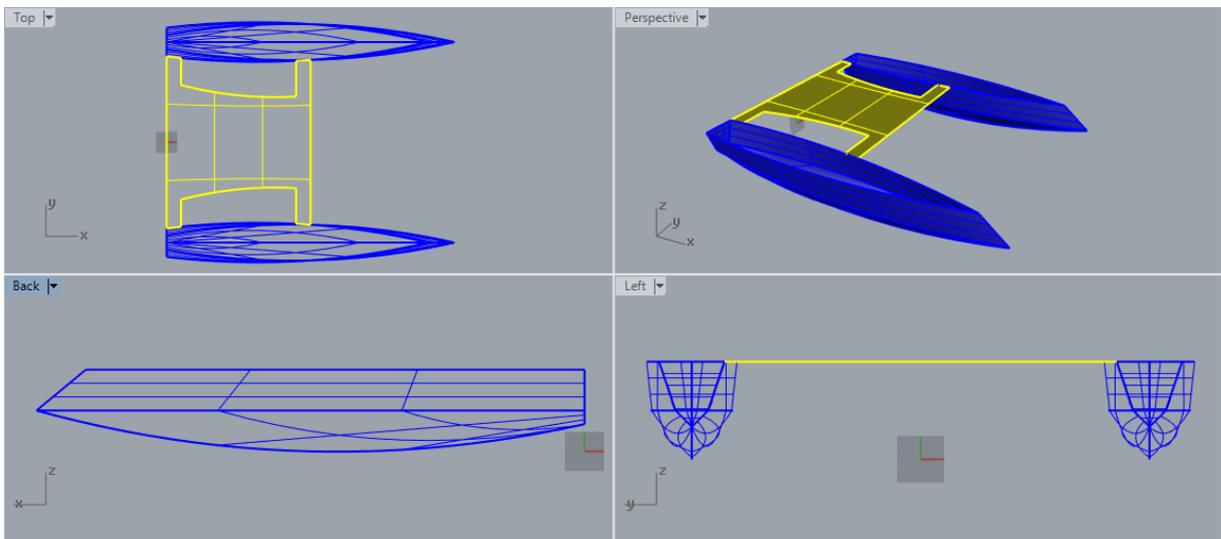


Figura 13 - Representação do *Casco 8* através do *Software Rhinoceros*.

As dimensões principais do *Casco 8*, são as mesmas da forma anterior, excetuando-se no valor da distância entre os cascos, nas quais estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	2,0 m
B_{MONOCASCO}	0,27 m
D	0,3 m
B_{TOTAL}	1,60 m
L/B	7,4

Tabela 17 - Dimensões principais do *Casco 8*.

Realiza-se o mesmo procedimento para análise do *calado* e *resistência ao avanço* da embarcação, obtendo os seguintes dados:

Propriedade	Valor
Calado (T)	16 cm
Deslocamento (Δ)	60,32 Kg

Tabela 18 - Valor do *Calado* e *Deslocamento* do *Casco 8*.

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	12,75 Nós
Resistência (320 N)	17,5 Nós

Tabela 19 - Estimativa de velocidades desenvolvidas pelo *Casco 8*.

Sendo assim, verifica-se que a redução da distância entre os cascos do catamarã, oferece um menor desempenho em comparação aos cascos anteriores, apresentando resistência ao avanço superior em comparação ao *Casco 7*, devido à maior influência que os cascos exercem entre si em relação à formação de ondas, devido à proximidade. Sendo assim, continua-se com as análises em busca da forma mais veloz.

3.5.9 *Nona Forma*

Conforme verificado na Seção 3.5.8, tem-se um maior desempenho quanto mais distantes estiverem os cascos do catamarã, porém não devem ser excedidas as dimensões máximas impostas parâmetros do projeto indicadas na Seção 3.2. Sendo assim, prevendo as demais etapas do projeto, escolhe-se ter a maior distância possível entre os cascos e ainda reservar um espaço que possibilite a instalação dos *hidrofólios*, que são dispostos nos *costados* dos cascos que compõem o catamarã.

A principal alteração realizada no *Casco 9*, objetiva atender a essa restrição, tornado o valor da *boca* total do catamarã a maior possível, onde as suas características predominantes estão representadas a seguir:

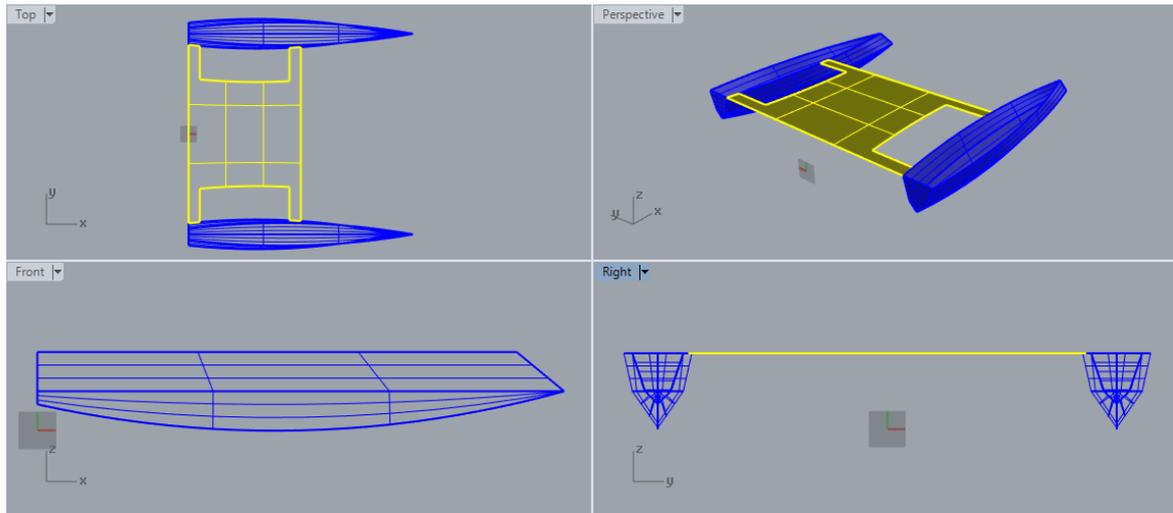


Figura 14 - Representação do Casco 9 através do Software Rhinoceros.

As dimensões principais do Casco 9, são as mesmas do casco anterior, excetuando-se no valor da distância entre os cascos, nas quais estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	2,0 m
B_{MONOCASCO}	0,27 m
D	0,3 m
B_{TOTAL}	2,05 m
L/B	7,4

Tabela 20 - Dimensões principais do Casco 9.

Realizam-se os mesmos procedimentos, para análise do *calado* e *resistência ao avanço* da embarcação, obtendo, assim, os seguintes dados:

Propriedade	Valor
Calado (T)	18,6 cm
Deslocamento (Δ)	60,17 Kg

Tabela 21 - Valor do *Calado* e *Deslocamento* do Casco 9.

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	12,75 Nós
Resistência (320 N)	17,25 Nós

Tabela 22 – Estimativa de velocidades desenvolvidas para o Casco 9.

Verifica-se que a estimativa de desempenho do *Casco 9*, não foi a melhor em comparação com os demais cascos apresentados. Com isso, é necessário continuar o processo de melhoria da forma em busca do melhor casco.

3.5.10 Décima Forma – Casco Final

Para o *Casco 10* são sucedidas algumas alterações em relação as formas anteriormente apresentadas, onde as modificações realizadas são no aumento do comprimento da embarcação, inversão da inclinação da *proa*, formato da *popa* tornando-a mais fechada, mas dispendo de área suficiente no *espelho de popa* para a instalação dos *lemes*, além de reduzir o valor da *boca* dos cascos que compõem o *catamarã*.

A nova forma também possui o valor da *boca* mais uniforme em relação a variação do *calado*, diferentemente dos cascos anteriores.

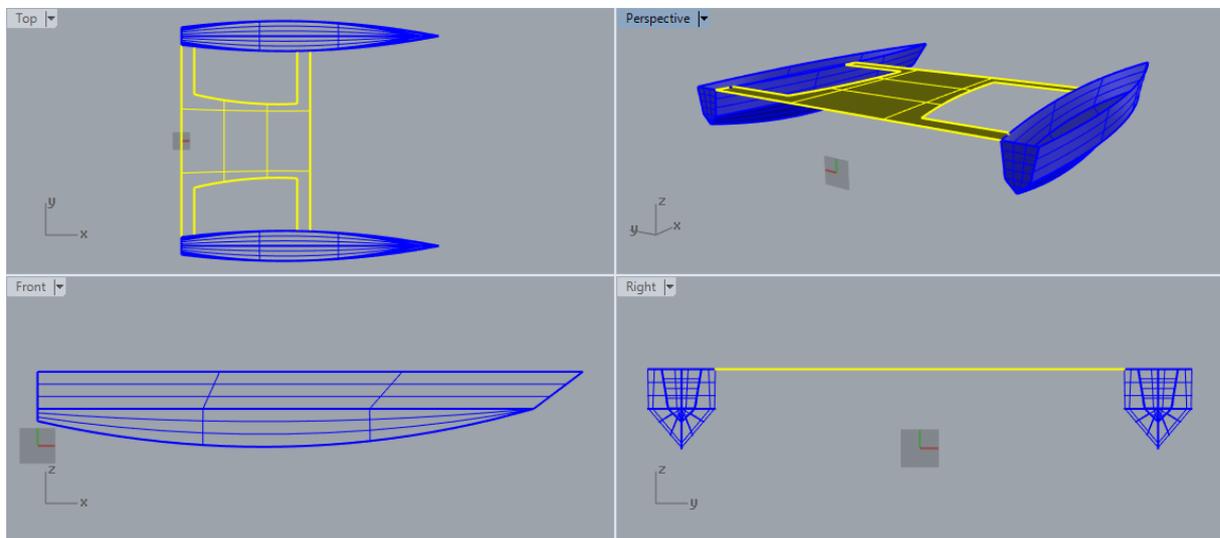


Figura 15 - Representação do *Casco 10* através do *Software Rhinoceros*.

As dimensões principais do *Casco 10*, estão representadas na tabela a seguir:

Dimensão	Valor
L	2,20 m
B_{MONOCASCO}	0,26 m
D	0,31 m
B_{TOTAL}	2,05 m
L/B	8,46

Tabela 23 - Dimensões principais do *Casco 10*.

De acordo com as dimensões apresentadas, verifica-se que a relação L/B aponta um valor próximo a 10, por causa do aumento do comprimento e diminuição da *boca* da embarcação, atendendo as condições indicadas anteriormente na Seção 2.2.

Para o definir o valor do comprimento dos cascos, leva-se em conta as dimensões máximas estabelecidas pelas regras da competição, onde reserva-se um espaço livre de comprimento 30 cm à ré do catamarã, destinado para a instalação do motor, nas etapas de construção subsequentes.

Em seguida, realizam-se os mesmos procedimentos para análise do *calado* e *resistência ao avanço* da embarcação, obtendo os seguintes dados:

Propriedade	Valor
Calado (T)	16 cm
Deslocamento (Δ)	59,84 Kg

Tabela 24 - Valor do *Calado* e *Deslocamento* do *Casco 10*.

Parâmetro	Velocidade
Potência (1,2 kW)	14 Nós
Resistência (320 N)	20 Nós

Tabela 25 - Estimativa de velocidades desenvolvidas para o *Casco 10*.

Com isso, nota-se que a forma desenvolvida para o *Casco 10*, é a que apresenta o melhor desempenho em comparação aos demais cascos.

Fazendo um comparativo entre os desempenhos estimados de velocidade para os cascos desenvolvidos, pode-se confirmar esse resultado:

Casco	Calado (cm)	Deslocamento (kg)	L/B	C_B	C_P	Vel (Nós) 1,2 KW	Vel (Nós) 320N
4	15	60,56	9,09	0,49	0,66	13	18
5	14,7	60,23	7,40	0,39	0,61	13,5	18,5
6	17,5	60,15	7,40	0,34	0,61	13	17,75
7	16	60,32	7,40	0,37	0,59	13,5	18,5
8	16	60,32	7,40	0,37	0,59	12,75	17,5
9	18,6	60,17	7,40	0,36	0,65	12,75	17,25
10	16	59,94	8,46	0,31	0,60	14	20

Tabela 26 – Comparativo entre as características e performances dos cascos.

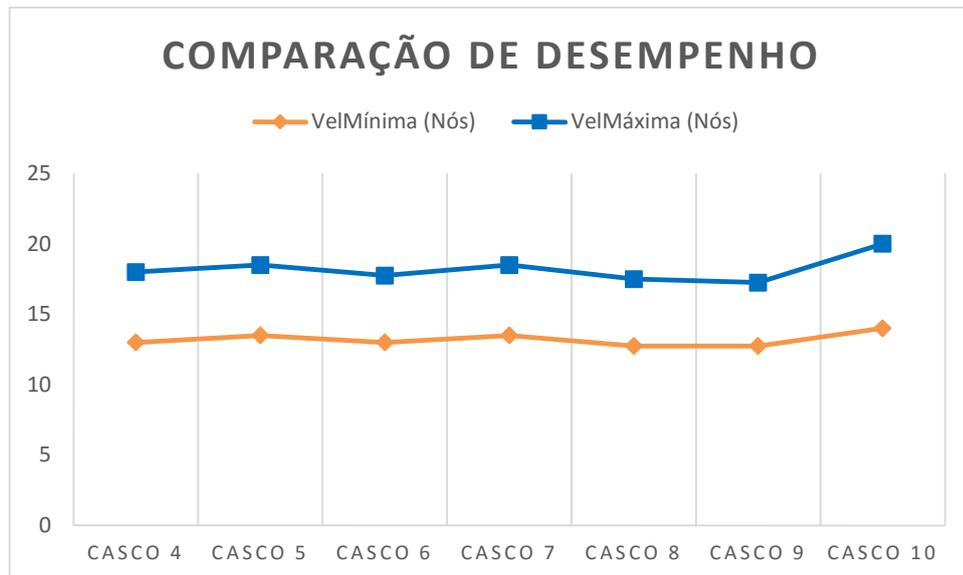


Figura 16 - Comparação entre as performances dos cascos.

Realiza-se um paralelo entre as características das formas apresentadas pelo Casco 9 e o Casco 10, notando-se que:

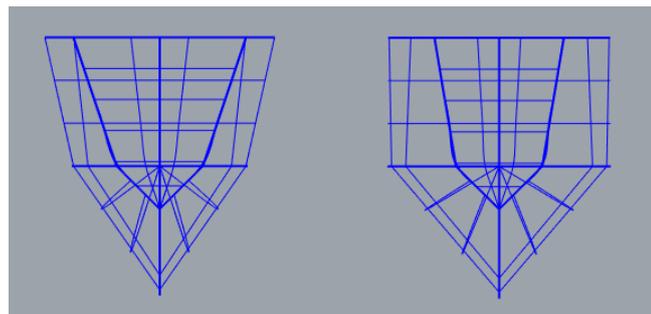


Figura 17 - Comparação entre os Cascos 09 e 10 respectivamente.

Calado	Deslocamento	Deslocamento
	(kg)	(kg)
	Casco 9	Casco 10
12 cm	21,54	28,14
13 cm	26,28	34,13
14 cm	31,58	39,79
15 cm	37,44	46,96
16 cm	43,63	59,94
17 cm	49,91	62,09
18 cm	56,3	69,75
19 cm	62,78	77,46

Tabela 27 – Deslocamento dos cascos em função do calado.

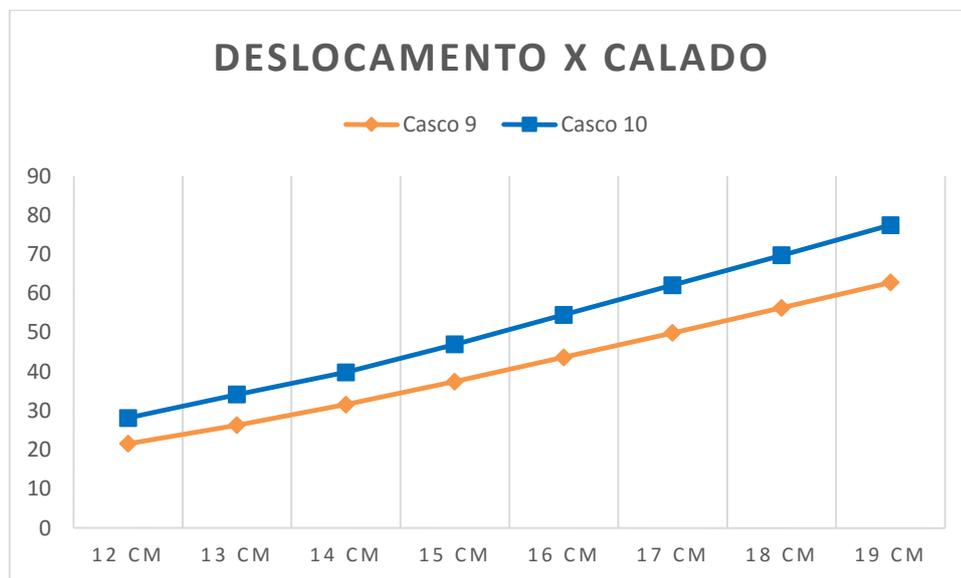


Figura 18 - Deslocamento apresentado pelos cascos em função da variação de calado.

O Casco 10 apresenta maiores valores de *deslocamento* em relação a variação do *calado* quando comprado com o Casco 9, indicando que a décima forma criada, necessita de menos *calado* para deslocar maiores volumes, reduzindo assim, a área submersa do casco, diminuindo a resistência ao avanço, tornando-o mais rápido.

Além disso, na nova forma, corrigem-se as *duplas curvaturas* apresentadas anteriormente pelos *costados* dos cascos, facilitando as etapas de construção posteriormente realizadas.

- Facilidade de Construção

Fernandes (2008), descreve que a principal diferença do projeto orientado à produção é a preocupação com o processo construtivo, de modo que se busque uma relação de compromisso que gere o melhor projeto, sendo este de fácil construção, evitando trabalho desnecessário e desperdício de material e mão de obra.

Portanto, a seguir encontram-se indicadas algumas das principais aplicações desse conceito incorporadas durante o desenvolvimento da forma dos cascos.

a) Igualdade das Cotas do Convés



Figura 19 - Representação da igualdade as cotas do convés da embarcação.

A uniformização das cotas superiores das cavernas e anteparas situadas ao nível do convés dos cascos, tem como objetivo facilitar à construção e montagem do casco, onde pode-se acomodá-lo facilmente, emborcado, em qualquer superfície plana, favorecendo o processo construtivo conforme indicado na figura a seguir:



Figura 20 - Representação da acomodação do casco em qualquer superfície plana.

b) Curvatura do *Costado* e *Fundo*

Com o objetivo de facilitar e otimizar o tempo de construção dos cascos, as características poligonais da forma do costado e fundo da embarcação, são justificadas, conforme mencionado anteriormente, pela busca a evitar-se a dupla

curvatura das superfícies, onde as cavernas e anteparas apresentam-se retas lateralmente, favorecendo a planificação das superfícies do *costado* através da curvatura unidirecional apresentada, proporcionado a aplicação de um método construtivo mais eficiente para esse tipo de forma, no qual será detalhado na Seção 4.1.

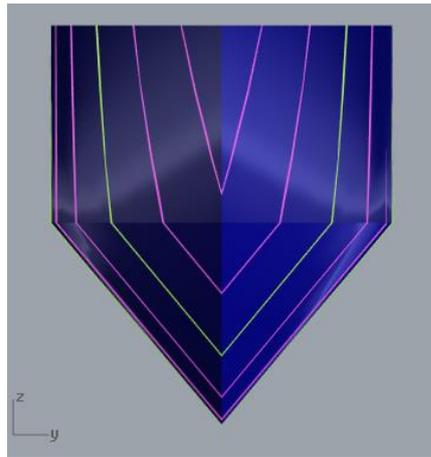


Figura 21 - Vista frontal do casco projetado.

A seguir encontra-se representada a planificação das superfícies do *costado* e *fundo* da embarcação, facilitando a montagem e construção dos cascos:



Figura 22 - Representação da planificação das superfícies de *costado* e *fundo* dos cascos.

c) Dimensões da *Popa*

As dimensões e formato da *popa* da embarcação, são definidas com o objetivo de oferecer ao casco um melhor rendimento em termos de velocidade, conforme

indicado na Seção 3.5.7, além de disponibilizar uma maior área disponível para a instalação dos lemes no *espelho de popa* da embarcação.

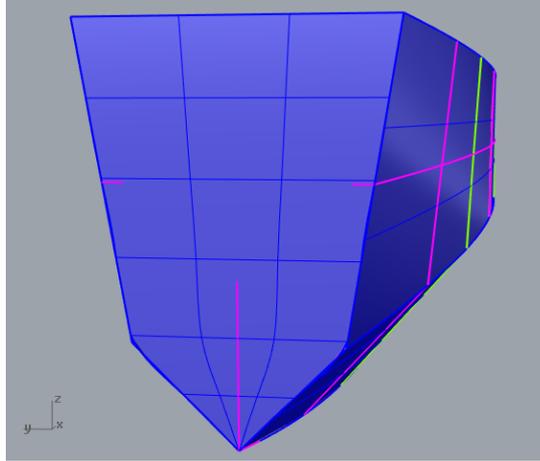


Figura 23 - Representação do espelho de popa do casco projetado.

3.6 Avaliação da Décima Forma – Casco Final

3.6.1 Equilíbrio, Trim e Estabilidade

Após a sequência de análises e alterações realizadas em busca da melhor embarcação, obtém-se a forma final do catamarã projetado com a finalidade de atender aos requisitos da categoria de *transporte leve*.

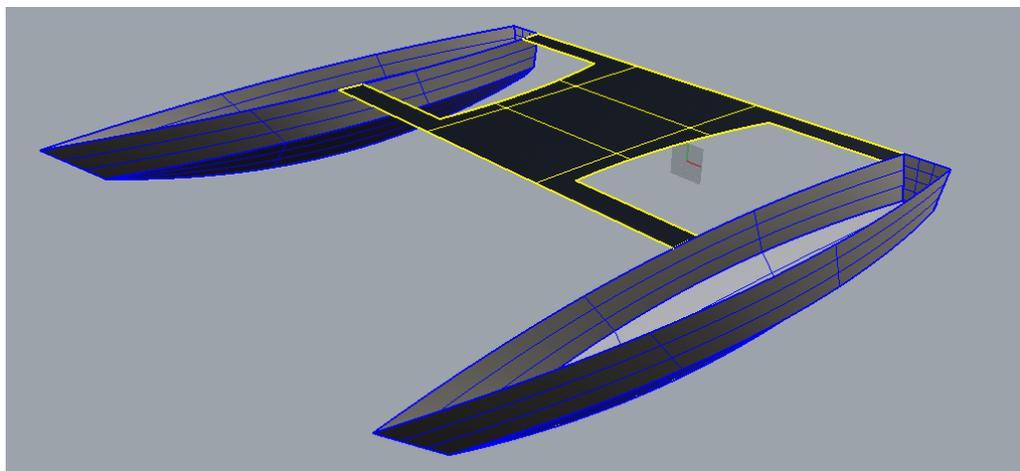


Figura 24 - Forma final dos cascos que compõem o catamarã projetado.

A forma final apresenta as seguintes características:

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	59,84	kg
2	Volume (displaced)	0,054	m ³
3	Draft Amidships	0,160	m
4	WL Length	2,015	m
5	Prismatic coeff. (Cp)	0,600	
6	Block coeff. (Cb)	0,318	
7	Max Sect. area coeff. (Cm)	0,531	
8	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,726	
9	LCB length	0,905	from z
10	LCF length	0,917	from z
11	VCB	0,113	m
12	KB	0,113	m
13	KG fluid	0,200	m
14	BMt	11,299	m
15	BML	3,220	m
16	GMt corrected	11,411	m
17	GML	3,332	m
18	KMt	11,411	m
19	KML	3,332	m
20	Immersion (TPc)	0,008	tonne/c
21	MTc	0,001	tonne.

Figura 25 - Características principais do casco obtidas através do *Software Maxsurf*.

Para apresentação das tabelas e curvas hidrostáticas da embarcação projetada, utiliza-se a norma de Preparo e Apresentação de Tabelas e Curvas Hidrostáticas de Embarcações - NBR 06291.

A norma diz que o limite inferior da escala de calados apresentado no gráfico de curvas hidrostáticas deve ser 90% do deslocamento leve da embarcação e o limite superior deve ser igual ao valor do calado correspondente ao pontal da embarcação.

Os cálculos necessários para elaboração das tabelas e curvas hidrostáticas estão descritos a seguir:

$$\Delta_{Leve} = \Delta - DWT \quad (2)$$

$$\Delta_{Leve} = 59,84 - 35,0 = 24,84 \text{ kg} \quad (3)$$

Assim,

$$T_{Inferior} = 90\% \cdot \Delta_{Leve} \quad (4)$$

$$T_{Inferior} = 0,9 \times 24,84 = 22,35 \text{ mm} = 2,23 \text{ cm} \quad (5)$$

$$T_{Superior} = D \quad (6)$$

$$T_{Superior} = 31 \text{ cm} \quad (7)$$

O espaçamento da escala de calados exigido pela norma corresponde ao maior valor entre 1 cm e 1% da razão entre o *deslocamento* e o *TPC* da embarcação.

$$\text{Espaçamento} = 1\% \cdot \frac{\Delta}{TPC} \quad (8)$$

$$\text{Espaçamento} = 1\% \cdot \frac{59,84 \text{ kg}}{0,008 \text{ t/cm}} = 0,07 \text{ cm} \quad (9)$$

$$\text{Espaçamento} = 1 \text{ cm} \quad (10)$$

Portanto, tem-se a seguir a representação das curvas hidrostáticas do catamarã projetado:

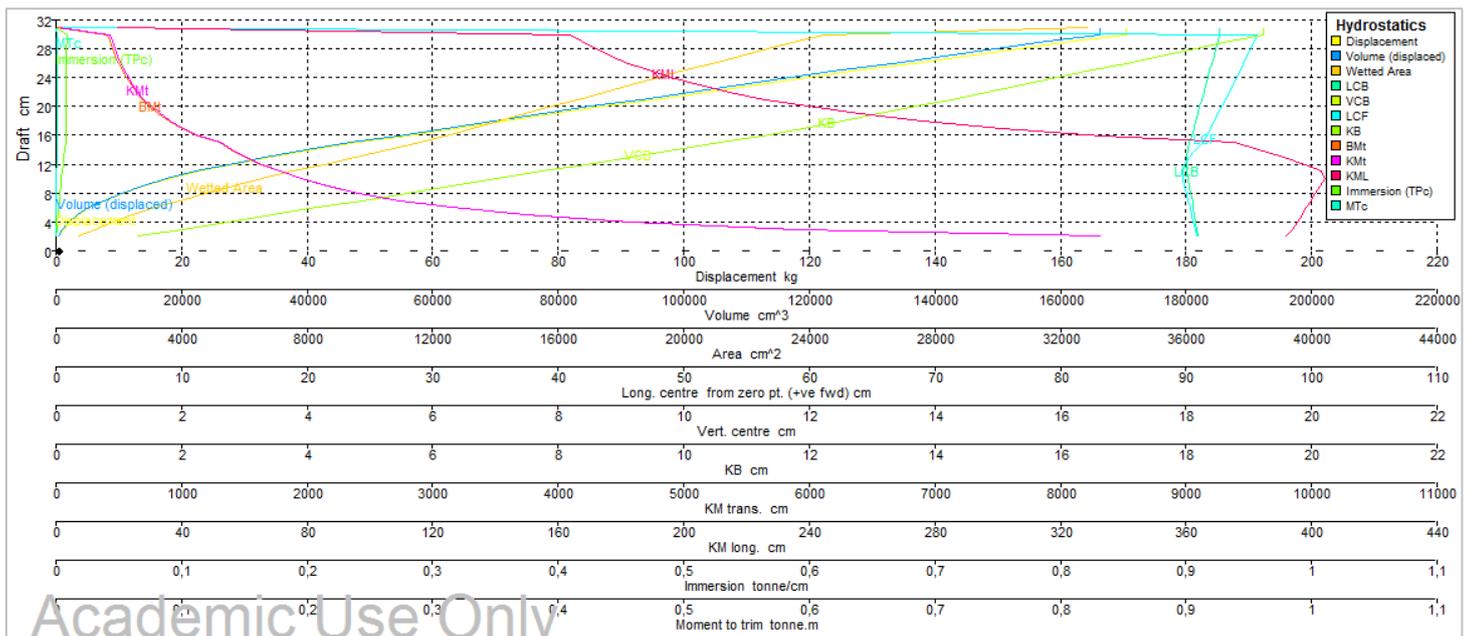


Figura 26 - Curvas hidrostáticas da embarcação projetada.

Sendo assim, para realização da análise de *equilíbrio* e *estabilidade* do casco projetado toma-se como base os dados apresentados na Figura 25 e observam-se as seguintes condições:

i) Equilíbrio Longitudinal

Para verificação do equilíbrio longitudinal do casco, tem-se que as localizações do *Centro de Flutuação (LCF)*, posição de aplicação do *deslocamento* ou *peso* do casco, e do *Centro de Carena (LCB)*, posição de aplicação do empuxo exercido pela água sob a embarcação, são praticamente as mesmas, o que indica a condição de equilíbrio apresentada pela embarcação.

$$LCF = LCB \quad (11)$$

Propriedade	Valor
Posição do centro de flutuação (LCF)	0,917 m
Posição do centro de carena (LCB)	0,905 m

Tabela 28 – Posição do *LCF* e *LCB* da embarcação projetada.

Além disso, devido à proximidade entre os pontos de aplicação do *peso* e *empuxo* da embarcação, nota-se que o casco apresenta um *trim*, diferença entre calado de *proa* e *popa*, praticamente igual a zero, pois o *momento binário* gerado por essas forças torna-se praticamente nulo devido ao alinhamento entre as posições do *centro de flutuação (CF)* e *centro de carena (CB)*.

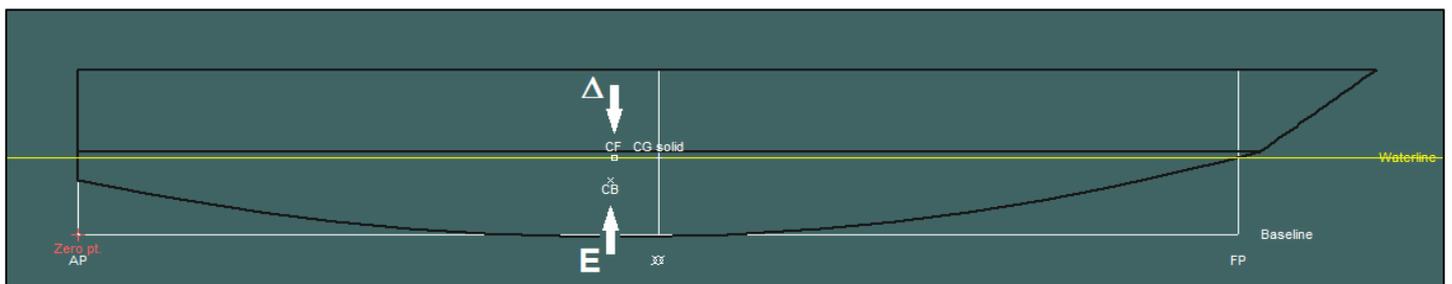


Figura 27 - Representação do estado de flutuação da embarcação projetada.

ii) Estabilidade Longitudinal

Verifica-se através da Figura 25 que o valor da *altura metacêntrica longitudinal* GM_L , ponto imaginário onde se encontram as linhas de atuação dos empuxos quando o casco é inclinado a pequenos ângulos, é maior que zero, o que satisfaz a condição de *estabilidade longitudinal* descrita pela equação a seguir:

$$GM_L > 0 \quad (12)$$

Propriedade	Valor
GM_L	3,332 m

Tabela 29 – Valor apresentado pelo GM_L da embarcação.

Assim, constata-se que a embarcação projetada é estável longitudinalmente.

iii) Estabilidade Transversal

- Pequenos Ângulos

A avaliação da estabilidade transversal para pequenos ângulos de inclinação, até 8° aproximadamente, corresponde a análise do valor da *altura metacêntrica transversal* GM_T, sendo necessário verificar se condição de *estabilidade transversal* descrita pelas equações a seguir, é satisfeita:

$$GM_T = KB + BM_T - KG \quad (13)$$

$$GM_T > 0 \quad (14)$$

Propriedade	Valor
KB	0,113 m
BM_T	11,299 m
KG	0,20 m
GM_T	11,212 m

Tabela 30 – Valor apresentado pelo GM_T da embarcação.

Para pequenos valores de *ângulo de banda* θ , a posição da *altura metacêntrica transversal* pode ser considerada fixa e o *braço de endireitamento* GZ é dado por:

$$GZ = GM \cdot \text{sen } \theta \quad (15)$$

Assim, como o valor apresentado para a *altura metacêntrica transversal* é maior que zero, tem-se que o casco é estável transversalmente.

- Grandes Ângulos

De acordo com os parâmetros de projeto apresentados na Seção 3.3, deve ser garantido que a embarcação projetada apresente *estabilidade transversal* para um ângulo de inclinação de 30°.

Para realização da análise de *estabilidade transversal* a grandes ângulos de inclinação, utiliza-se o *Software Maxsurf Stability* para obtenção da *curva de estabilidade*, que corresponde ao gráfico de GZ em função de θ , na qual estabelece condições para se afirmar se o catamarã projetado possui características adequadas de estabilidade, quando os *ângulos de banda* são grandes.

Para a *curva de estabilidade transversal*, valores de GZ e área sob a curva em função do ângulo de inclinação θ , temos:

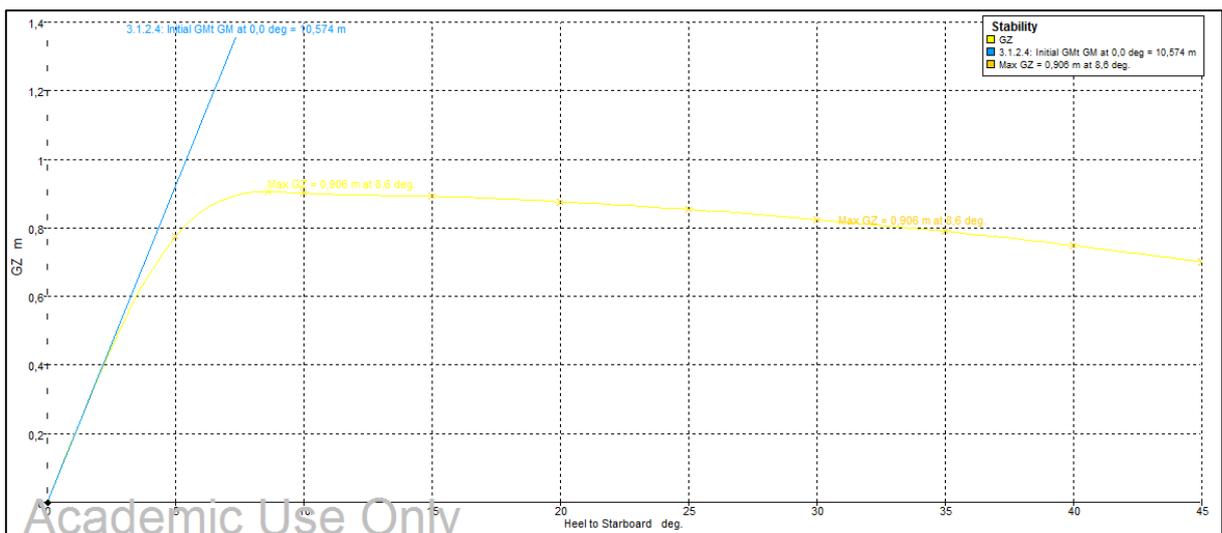


Figura 28 – Curva de estabilidade transversal.

	Heel to Starboard deg	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0
1	GZ m	0,000	0,776	0,902	0,892	0,876	0,854	0,825	0,790	0,748	0,701
2	Area under GZ curve from zero heel m.rad	0,0000	0,0374	0,1140	0,1922	0,2694	0,3449	0,4182	0,4887	0,5559	0,6191

Figura 29 – Valores de GZ e área sob a curva em função do ângulo de inclinação.

De acordo com os valores de GZ apresentados na Figura 29, verifica-se a existência do *braço de endireitamento* é positivo para um ângulo de inclinação de 30°, portanto a embarcação projetada passa nos critérios de estabilidade apresentados pelas regras da competição.

3.6.2 Velocidade e Resistência ao Avanço

Os valores das velocidades desenvolvidas pelo casco, analisados de acordo com a *resistência ao avanço* apresentadas pela embarcação projetada, estão indicados na tabela a seguir:

T (cm)	V (nós) P=1,2 KW	V (nós) F=320 N	Observação
16	14	20	Calado de Projeto
17	13,66	19,30	Calado Alternativo
18	13,3	18,64	Calado Alternativo

Tabela 31 – Velocidades desenvolvidas pelo catamarã em função do calado.

A figura a seguir representa as velocidades desenvolvidas pelo casco, considerando o *calado* de projeto igual a 16 cm, obtidas pelo *Software Maxsurf Resistance*:

	Speed (kts)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Slender body Resist. (N)	Slender body Power (kW)
8	11,75	1,377	3,303	121,8	0,736
9	12	1,406	3,373	126,41	0,78
10	12,25	1,435	3,444	131,11	0,826
11	12,5	1,465	3,514	135,89	0,874
12	12,75	1,494	3,584	140,75	0,923
13	13	1,523	3,655	145,71	0,974
14	13,25	1,552	3,725	150,75	1,028
15	13,5	1,582	3,795	155,87	1,083
16	13,75	1,611	3,865	161,09	1,139
17	14	1,64	3,936	166,39	1,198
18	14,25	1,67	4,006	171,78	1,259
19	14,5	1,699	4,076	177,26	1,322
20	14,75	1,728	4,146	182,82	1,387
21	15	1,757	4,217	188,46	1,454
22	15,25	1,787	4,287	194,2	1,524
23	15,5	1,816	4,357	200,02	1,595
24	15,75	1,845	4,428	205,93	1,669
25	16	1,875	4,498	211,93	1,744
26	16,25	1,904	4,568	218,02	1,823
27	16,5	1,933	4,638	224,2	1,903
28	16,75	1,963	4,709	230,46	1,986
29	17	1,992	4,779	236,8	2,071
30	17,25	2,021	4,849	243,24	2,159
31	17,5	2,05	4,92	249,76	2,249
32	17,75	2,08	4,99	256,37	2,341
33	18	2,109	5,06	263,07	2,436
34	18,25	2,138	5,13	269,85	2,534
35	18,5	2,168	5,201	276,72	2,634
36	18,75	2,197	5,271	283,69	2,736
37	19	2,226	5,341	290,73	2,842
38	19,25	2,255	5,411	297,87	2,95
39	19,5	2,285	5,482	305,09	3,061
40	19,75	2,314	5,552	312,4	3,174
41	20	2,343	5,622	319,8	3,29

Figura 30 - Velocidades do casco obtidas através do *Software Maxsurf Resistance*.

Para a análise de *resistência ao avanço*, utiliza-se o *Software Maxsurf Resistance*, onde o modelo escolhido para tal análise, baseia-se na formulação do *19th ITTC – International Towing Tank Conference*, associação voluntária cujo objetivo é a previsão do desempenho hidrodinâmico de navios e instalações marítimas com base nos resultados de experimentos físicos e numéricos, segundo Vasconcelos e Nascimento (2011), obtidas através de *placas planas* com a correção do fator de forma para a *resistência friccional do casco*.

Para a resistência de ondas utiliza-se o modelo de *Slender Body*, método que realiza uma solução da equação potencial de *Laplace* para o escoamento em torno do casco e prevê a geração de ondas na superfície livre. (VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2011).

De acordo com Vasconcelos e Nascimento (2011), este método produz bons resultados para corpos esbeltos com razão de aspecto L/B , acima de 5, uma vez que despreza os efeitos viscosos e não prevê separação da *camada limite*.

Como os cascos analisados, em geral, possuem uma forma esbelta, esta combinação de métodos para a previsão da resistência ao avanço é adequada.

A curva de *resistência ao avanço* em função da velocidade desenvolvida pelo *Casco 10* está representada de acordo com a figura a seguir, na qual foram obtidos os dados da Figura 30, anteriormente indicada.

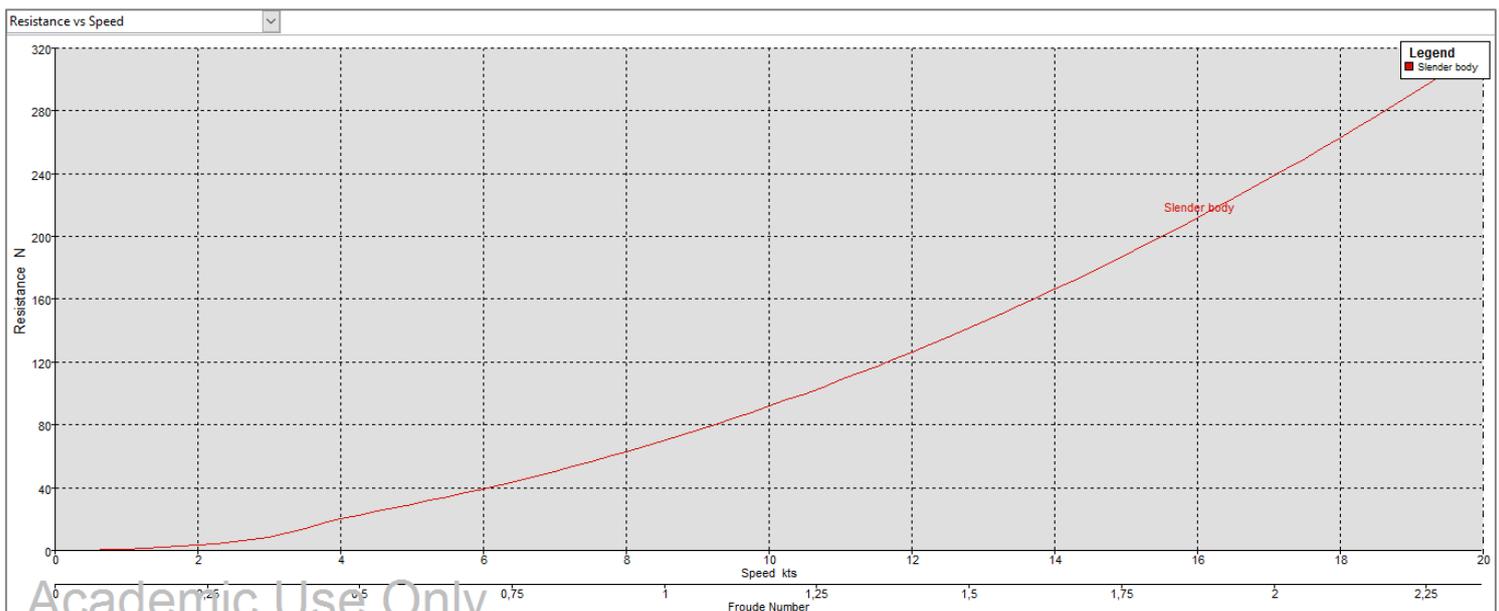


Figura 31 - Curva de Resistência ao Avanço.

3.7 Arranjo Geral

A partir das análises anteriormente realizadas, trabalhando conjuntamente com os outros grupos que compõem a equipe, responsáveis pelo desenvolvimento dos demais sistemas do projeto, obtém-se informações importantes a respeito do formato e posicionamento dos *hidrofólios* e *estabilizadores*, o que permite reproduzir o arranjo geral, modelo 3D do casco para a categoria de *transporte leve* e a posição carga transportada.

O arranjo geral e a disposição dos demais elementos que compõem o projeto do catamarã, estão representados de acordo com a figura a seguir:

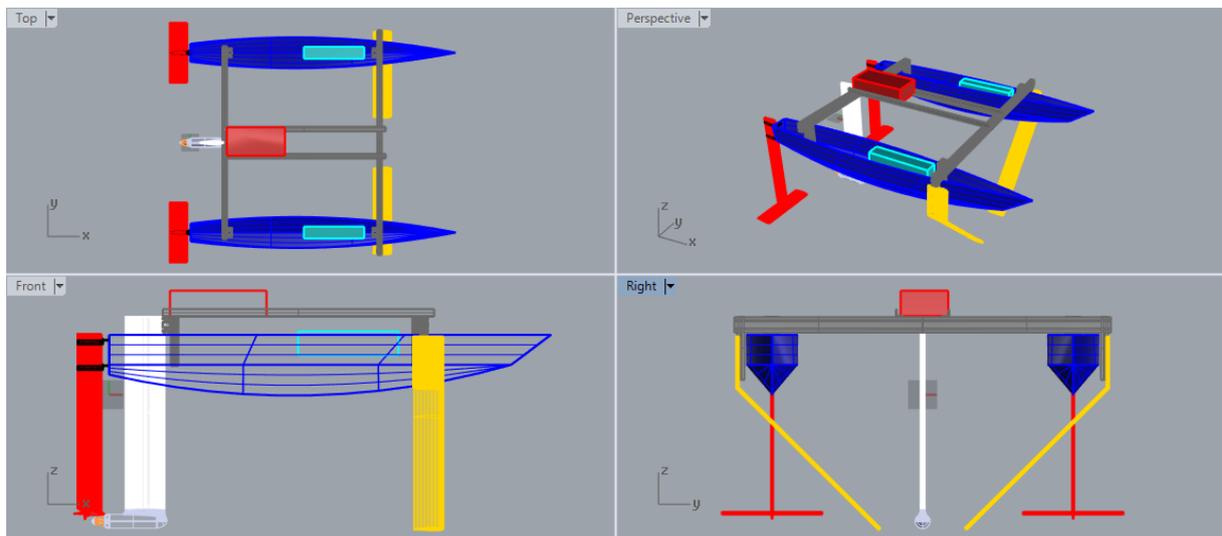


Figura 32 - Arranjo geral da embarcação projetada para a categoria de *transporte leve*.

3.8 Arranjo Estrutural

A partir das informações descritas na Seção 3.7 a respeito do posicionamento dos elementos estruturais de união entre os cascos e a plataforma do catamarã, localização dos *hidrofólios*, *estabilizadores* e disposição da carga transportada no interior dos cascos, pode-se mensurar o *arranjo estrutural* que compõe a estrutura interna do catamarã projetado, com a finalidade de oferecer a resistência necessária aos possíveis esforços exercidos sob a embarcação em funcionamento.

Ademais, deve-se, além de atender aos requisitos mínimos de resistência estrutural, obter a estrutura mais leve possível, resultando num casco com o menor peso.

Inicialmente, realiza-se um estudo em relação aos *deslocamentos* apresentados pela embarcação em função da variação do *calado*, em seguida verifica-se o peso disponível para construção dos cascos do catamarã, descontando os 35 kg estimados inicialmente para o peso da carga transportada, mais o motor, bateria e componentes do sistema elétrico da embarcação.

Os resultados obtidos estão representados de acordo com a tabela a seguir:

Calado	Deslocamento (kg)	Peso disponível para construção dos Cascos (kg)	Construção
14 cm	39,79	4,79	Impraticável
15 cm	46,96	11,96	Difícil
16 cm	59,94	24,94	Possível
17 cm	62,09	27,09	Possível
18 cm	69,75	34,75	Possível
19 cm	77,46	42,46	Evitar

Tabela 32 – Peso disponível para a construção dos cascos do catamarã.

Com isso, verifica-se a possibilidade de trabalhar com uma determinada margem de peso para construção dos cascos e assim obter um bom desempenho em termos de velocidade, conforme indicado na Tabela 31 anteriormente apresentada, na qual indica as velocidades desenvolvidas pelo catamarã em função da variação do *calado*. Portanto, verifica-se a importância de projetar a estrutura da embarcação, obtendo o valor do *peso leve* do catamarã, entre 25 e 35 Kg.

3.6.1 Compartimentos Estanques

De acordo com os parâmetros de projeto, anteriormente apresentadas na Seção 3.3, observa-se a necessidade de que a flutuação da embarcação projetada seja garantida em qualquer circunstância, evitando, assim, o afundamento da mesma em caso de avaria ou alagamento interno dos cascos.

Portanto, realiza-se o dimensionamento de compartimentos estanques ao longo dos cascos do catamarã, de modo a garantir a flutuação da embarcação nessas situações.

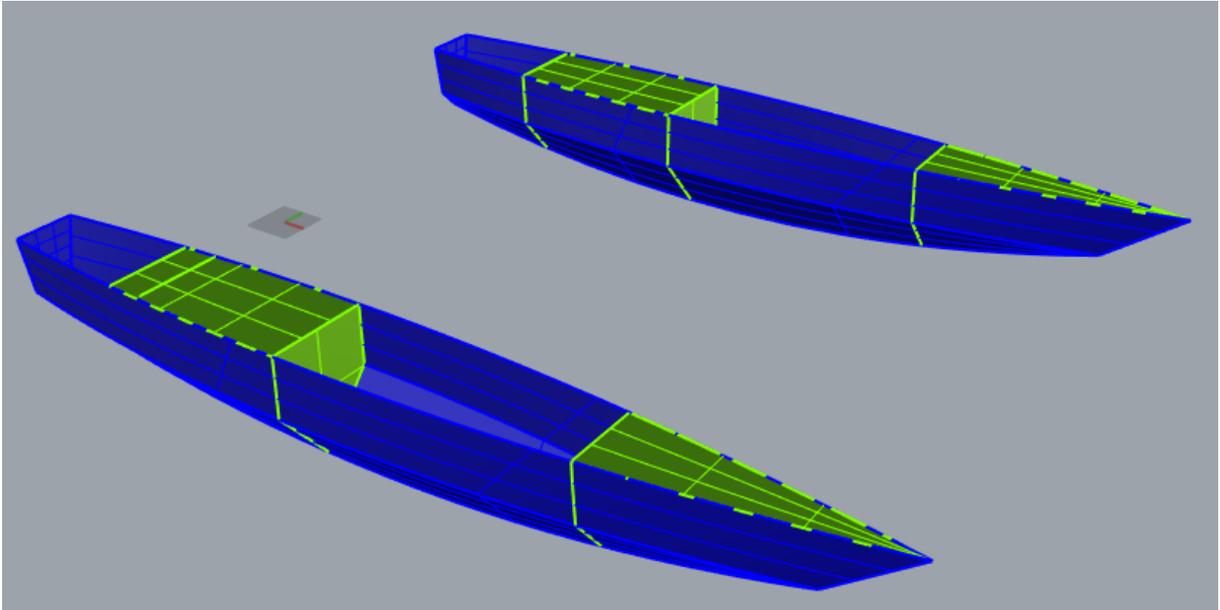


Figura 33 - Representação dos compartimentos estanques do catamarã.

Os compartimentos estanques indicados na Figura 33, são dimensionados de modo a garantir a flutuação e o equilíbrio do catamarã em caso de alagamento dos compartimentos não estanques.

Além disso, para definir as suas localizações, são levados em consideração o posicionamento e fixação das colunas de sustentação da plataforma nos cascos, disponibilidade de espaço na popa da embarcação para instalação dos lemes e conjunto de redução de engrenagens que fazem parte do sistema de governo da embarcação, reserva de espaço no interior dos cascos para a acomodação da carga transportada na categoria de *transporte leve*.

As dimensões de cada compartimento estanque, são definidas de acordo com as análises de equilíbrio e flutuação em condições normais e de alagamento, conforme indicadas a seguir:

I) Condição Normal de Flutuação

De acordo com os possíveis valores para o *calado* da embarcação analisados anteriormente e que garantem um bom desempenho da embarcação, indicados na Tabela 31, verifica-se que essa faixa de valores corresponde a 16 e 18 cm.

Assim define-se a condição inicial de flutuação do catamarã com o *calado de projeto* igual a 16 cm, conforme indicado na figura a seguir:

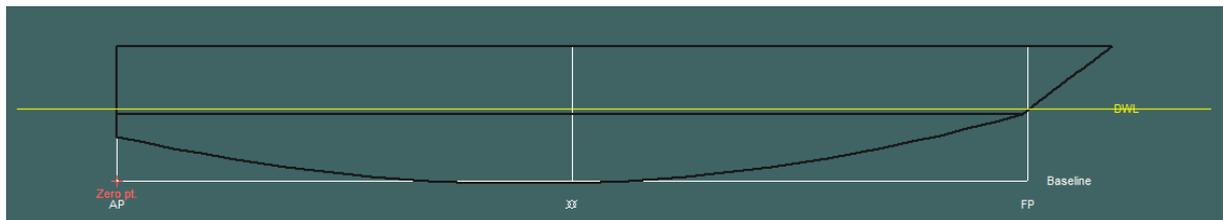


Figura 34 – Representação do calado de projeto da embarcação.

Para o dimensionamento dos compartimentos estanques utiliza-se o *Software Maxsurf Stability*, na qual suas dimensões principais estão indicadas a seguir:

	Name	Type	Intact Perm. %	Damaged Perm. %	Specific gravity	Fluid type	Boundary Surfaces	Aft m	Fore m	F.Port m	F.Stbd. m	F.Top m	F.Bott. m	A.Port m	A.Stbd. m	A.Top m	A.Bott. m	Formed
1	Tank001	Tank	95	100	1,025	Water Balla	none	0,001	0,35	0,7	1,1	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
2	Tank002	Tank	95	100	0,0012		none	0,35	0,85	0,7	1,1	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
3	Tank003	Tank	95	100	1,025	Water Balla	none	0,85	1,55	0,7	1,1	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
4	Tank004	Tank	95	100	0,0012		none	1,55	2,2	0,7	1,1	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
5	Tank005	Tank	95	100	1,025	Water Balla	none	0,001	0,35	-1,1	-0,7	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
6	Tank006	Tank	95	100	0,0012		none	0,35	0,85	-1,1	-0,7	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
7	Tank007	Tank	95	100	1,025	Water Balla	none	0,85	1,55	-1,1	-0,7	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes
8	Tank008	Tank	95	100	0,0012		none	1,55	2,2	-1,1	-0,7	0,5	0	DITTO	DITTO	DITTO	DITTO	Yes

Figura 35 - Dimensionamento dos compartimentos estanques através *Software Maxsurf*.

Utiliza-se os valores para densidade da água de 1,025 ton/m³ para os compartimentos não estaques que podem ser alagados em caso de avaria ou submersão do casco e 0,0012 ton/m³ para o ar que ocupa o volume interno dos compartimentos estanques.

Assim, para a condição normal de flutuação temos:

	Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM kg.m	FSM Type
1	Lightship	1	62,1	62,1			0,906	0,000	0,300	0,000	User Specific
2	Tank001	0%	11,6	0,0	0,011	0,000	0,337	0,900	0,035	0,000	Maximum
3	Tank002	0%	0,0	0,0	0,026	0,000	0,806	0,900	0,000	0,000	Maximum
4	Tank003	0%	36,7	0,0	0,036	0,000	0,953	0,900	0,000	0,000	Maximum
5	Tank004	0%	0,0	0,0	0,010	0,000	1,570	0,900	0,048	0,000	Maximum
6	Tank005	0%	11,6	0,0	0,011	0,000	0,337	-0,900	0,035	0,000	Maximum
7	Tank006	0%	0,0	0,0	0,026	0,000	0,806	-0,900	0,000	0,000	Maximum
8	Tank007	0%	36,7	0,0	0,036	0,000	0,953	-0,900	0,000	0,000	Maximum
9	Tank008	0%	0,0	0,0	0,010	0,000	1,570	-0,900	0,048	0,000	Maximum
10	Total Loadca			62,1	0,166	0,000	0,906	0,000	0,300	0,000	
11	FS correction								0,000		
12	VCG fluid								0,300		

Figura 36 - Indicação do preenchimento dos tanques em situação normal de flutuação.

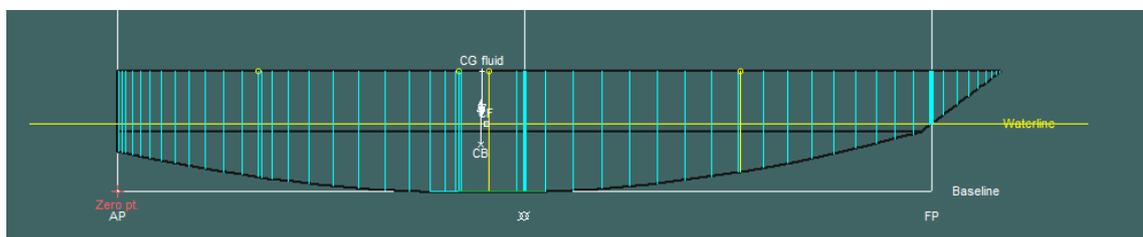


Figura 37 - Representação da condição normal de flutuação do catamarã projetado.

II) Condição Crítica de Flutuação

Para esta análise, considera-se como condição crítica de flutuação o alagamento dos quatro compartimentos não estanques do catamarã e verifica-se, nessa condição, que a flutuação da embarcação é garantida pelos compartimentos estanques dimensionados.

	Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m³	Total Volume m³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM kg.m	FSM Type
1	Lightship	1	62,1	62,1			0,906	0,000	0,300	0,000	User Specific
2	Tank001	100%	11,6	11,6	0,011	0,011	0,195	0,900	0,205	0,000	Maximum
3	Tank002	100%	0,0	0,0	0,026	0,026	0,612	0,900	0,187	0,000	Maximum
4	Tank003	100%	36,7	36,7	0,036	0,036	1,173	0,900	0,187	0,000	Maximum
5	Tank004	100%	0,0	0,0	0,010	0,010	1,734	0,900	0,215	0,000	Maximum
6	Tank005	100%	11,6	11,6	0,011	0,011	0,195	-0,900	0,205	0,000	Maximum
7	Tank006	100%	0,0	0,0	0,026	0,026	0,612	-0,900	0,187	0,000	Maximum
8	Tank007	100%	36,7	36,7	0,036	0,036	1,173	-0,900	0,187	0,000	Maximum
9	Tank008	100%	0,0	0,0	0,010	0,010	1,734	-0,900	0,215	0,000	Maximum
10	Total Loadca			158,7	0,166	0,166	0,925	0,000	0,234	0,000	
11	FS correction								0,000		
12	VCG fluid								0,234		

Figura 38 - Indicação do preenchimento dos tanques em situação crítica de flutuação.

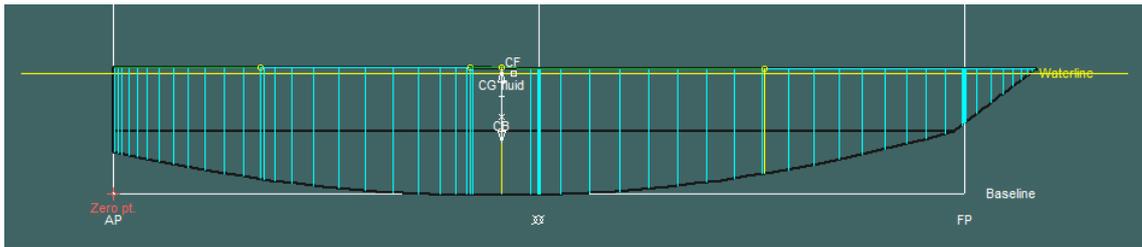


Figura 39 - Representação da condição crítica de flutuação do casco.

III) Condição Intermediária de Flutuação

Para a condição intermediária de flutuação da embarcação, considera-se que apenas um ou dois compartimentos não estanques do casco são alagados e verificam-se as condições de flutuação e equilíbrio para esses casos:

	Item Name	Quantity	Unit Mass kg	Total Mass kg	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM kg.m	FSM Type
1	Lightship	1	62,1	62,1			0,906	0,000	0,300	0,000	User Specific
2	Tank001	0%	11,6	0,0	0,011	0,000	0,337	0,900	0,035	0,000	Maximum
3	Tank002	100%	0,0	0,0	0,026	0,026	0,612	0,900	0,187	0,000	Maximum
4	Tank003	0%	36,7	0,0	0,036	0,000	0,953	0,900	0,000	0,000	Maximum
5	Tank004	100%	0,0	0,0	0,010	0,010	1,734	0,900	0,215	0,000	Maximum
6	Tank005	100%	11,6	11,6	0,011	0,011	0,195	-0,900	0,205	0,000	Maximum
7	Tank006	100%	0,0	0,0	0,026	0,026	0,612	-0,900	0,187	0,000	Maximum
8	Tank007	100%	36,7	36,7	0,036	0,036	1,173	-0,900	0,187	0,000	Maximum
9	Tank008	100%	0,0	0,0	0,010	0,010	1,734	-0,900	0,215	0,000	Maximum
10	Total Loadca			110,5	0,166	0,119	0,920	-0,393	0,252	0,000	
11	FS correction								0,000		
12	VCG fluid								0,252		

Figura 40 - Indicação do preenchimento dos tanques em situação intermediária de flutuação.

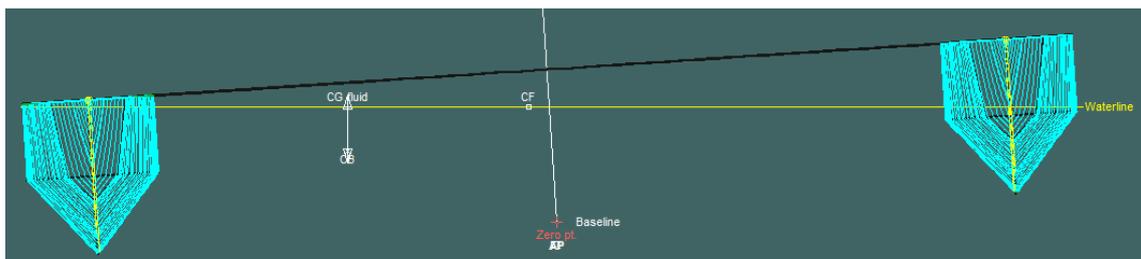


Figura 41 - Condição de flutuação após alagamento de dois compartimentos não estanques.

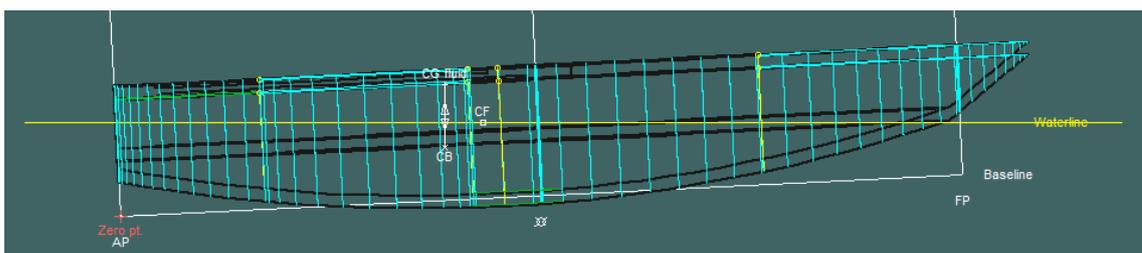


Figura 42 - Alagamento do compartimento não estanque à ré do casco boreste do catamarã.

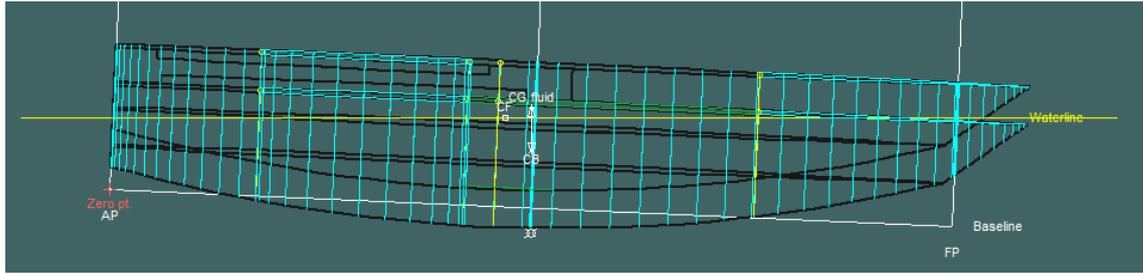


Figura 43 - Alagamento do compartimento não estanque à vante do casco boreste do catamarã.

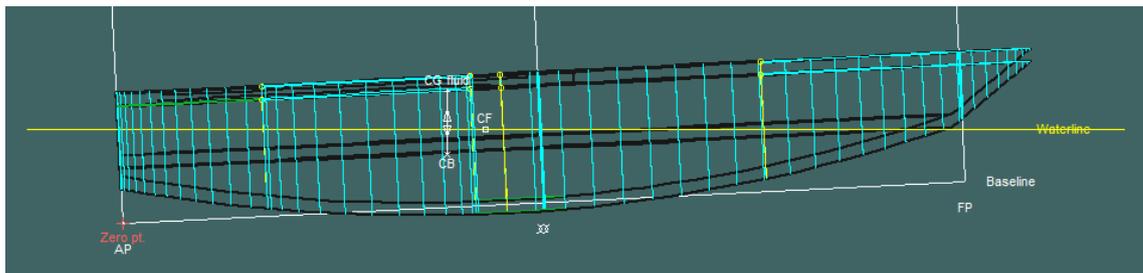


Figura 44 - Alagamento do compartimento não estanque à ré do casco bombordo do catamarã.

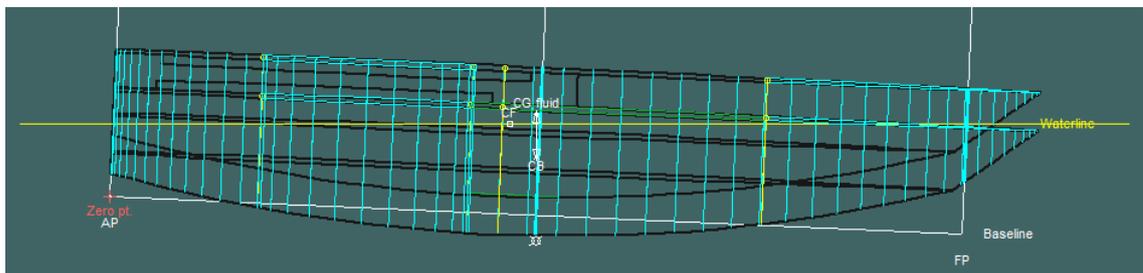


Figura 45 - Alagamento do compartimento não estanque à vante do casco bombordo do catamarã.

Assim, de acordo com as análises de condição de flutuação e equilíbrio realizadas, nota-se que os compartimentos estanques dimensionados garantem a flutuação da embarcação em qualquer uma das situações de alagamento dos compartimentos não estanques, atendendo aos requisitos estabelecidos nas regras da competição anteriormente descritas.

3.6.2 Dimensionamento Estrutural

Para o dimensionamento dos detalhes estruturais, é necessário estimar a quantidade de material que deve ser utilizada para que a estrutura da embarcação atenda aos requisitos mínimos de performance e segurança. Embora os dois requisitos estejam em conflito, pois menor peso significa menor fator de segurança, e maior quantidade de material utilizado e maior peso da embarcação significam menor desempenho, é preciso mensurar a quantidade, dimensões e espessuras dos elementos estruturais dos cascos. (NASSEH, 2007)

O método mais tradicional para calcular as espessuras dos elementos estruturais de uma embarcação, consiste na utilização de normas e regras de sociedades classificadoras, que possuam testes comprovados com sucesso e consigam oferecer uma estimativa da quantidade de material utilizado na construção de uma embarcação, onde testes mecânicos são realizados com a finalidade de avaliar as espessuras e propriedades mecânicas dos materiais, garantindo a confiabilidade do projeto.

Para facilitar o projeto e dimensionamento dos elementos estruturais da embarcação, para esse trabalho, não serão utilizadas normas de sociedades classificadoras, pois o principal objetivo é o desenvolvimento de uma embarcação mais leve e eficiente possível em termos de velocidade.

Nasseh (2007), define que para realizar o dimensionamento da estrutura de uma embarcação, inicialmente, deve-se calcular o *número estrutural* do casco, cujos valores são obtidos através de informações de embarcações semelhantes, com as restrições de que a velocidade e o comprimento da embarcação devem ser menores que 30 nós e 24 metros, respectivamente.

O *número estrutural* (NS) é uma constante que varia em função do *comprimento total da embarcação* (Loa), onde através dele e por meio de diversos gráficos, pode-se determinar o número de reforços longitudinais e transversais, além das dimensões e espessuras de cada elemento estrutural.



Figura 46 - Gráfico utilizado para obtenção do *número estrutural* da embarcação.

Fonte: (NASSEH, 2007, p.309)

Com isso, verifica-se que o *número estrutural (NS)* da embarcação é aproximadamente igual a 0,2. Sendo assim, para esse valor de *NS*, obtém-se os seguintes dados:

Característica	Valor Requerido	Valor Utilizado
Número de Reforços Longitudinais	2	1
Número de Reforços Transversais	3	9
Número de Anteparas	2	3
Espessura do Costado	3 mm	4 mm
Espessura do Fundo	4 mm	4 mm
Espessura da Quilha	4 mm	4 mm
Altura da Quilha	8 cm	8 cm

Tabela 33 - Características principais dos elementos estruturais da embarcação.

Assim, através do dimensionamento dos compartimentos estanques realizados anteriormente, juntamente com as informações obtidas através da Tabela 33, pode-se definir o arranjo estrutural da embarcação projetada.

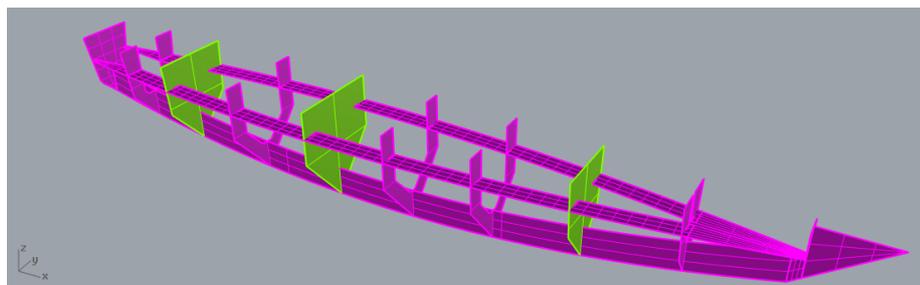


Figura 47 - Representação do arranjo estrutural do catamarã.

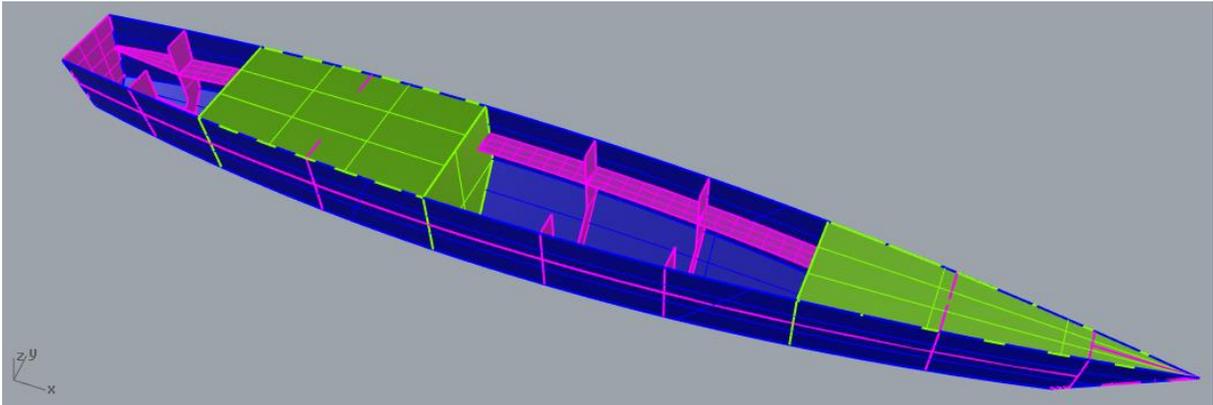


Figura 48 - Representação do arranjo estrutural da embarcação projetada.

Portanto, obtém-se o arranjo estrutural final da embarcação projetada, conforme indicado na figura a seguir:

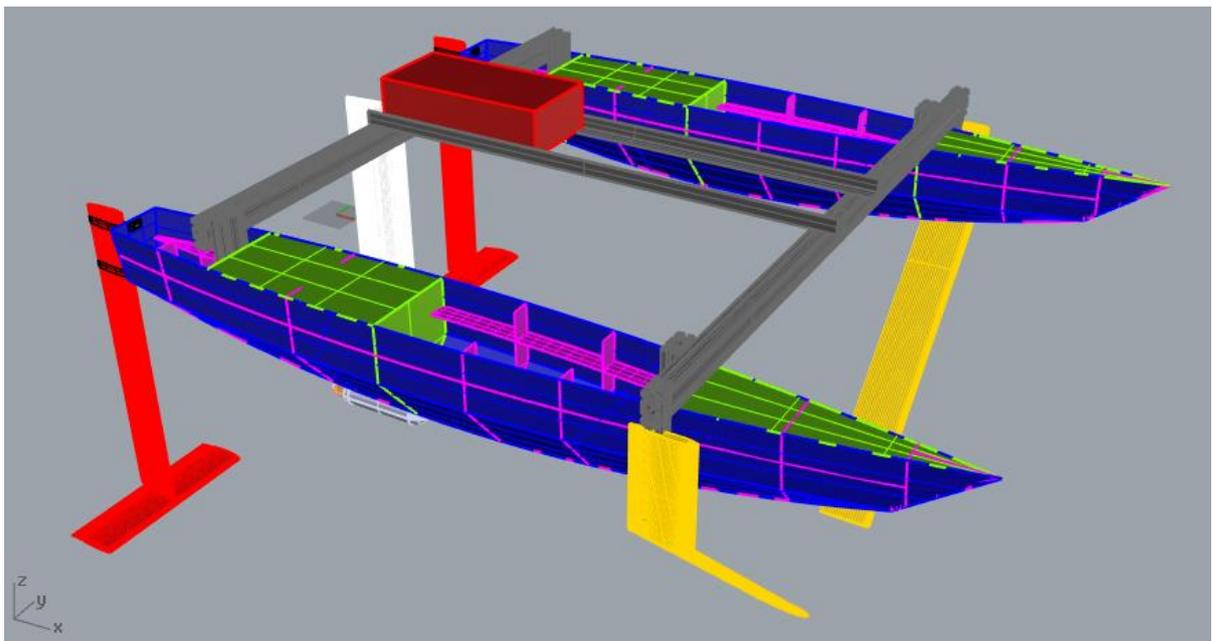


Figura 49 - Representação do arranjo estrutural final do catamarã.

- Facilidade de Construção

a) Número de Elementos Estruturais

A definição do número de elementos longitudinais e transversais que compõem o arranjo estrutural do casco, é feita objetivando-se proporcionar a facilidade da construção dos cascos, mesmo sendo, esses valores, divergentes aos números

mínimos requeridos anteriormente mencionados na Seção 3.6.2, em comparação com a Tabela 33, da seguinte forma:

Característica	Valor Requerido	Valor Utilizado	Justificativa
Número de Reforços Longitudinais (Longarina)	2	1	Restrição de espaço no interior do casco, facilitando o acesso à região interna.
Número de Reforços Transversais	3	9	Proporcionar uma melhor conformação do <i>chapeamento</i> do Costado e Fundo do casco.
Número de Anteparas	2	3	Construção dos compartimentos estanques.

Tabela 34 – Representação dos números de elementos estruturais requeridos e utilizados.

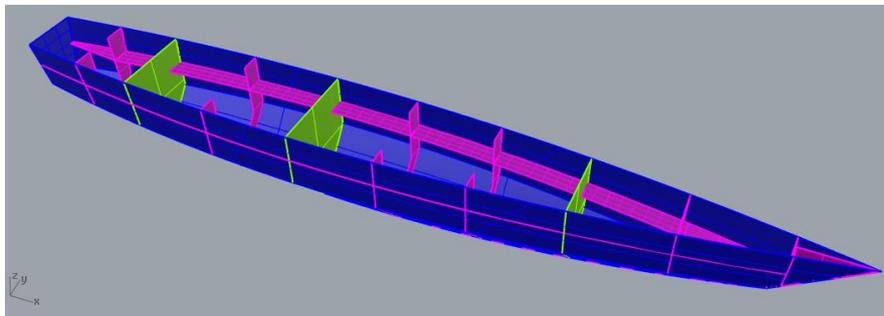


Figura 50 - Representação do número de elementos estruturais do casco.

b) Escoa Reduzida na *Popa*

Objetivando a facilidade de acesso à região da popa da embarcação, faz-se uma redução na parte final das *escoas*, que são os reforços longitudinais de *costado* do casco, evitando a restrição de acesso ao interior da embarcação, favorecendo a instalação internamente ao *espelho de popa* do catamarã e engrenagens do sistema de governo da embarcação, conforme indicado na figura a seguir:

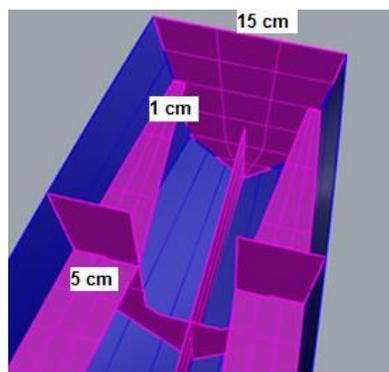


Figura 51 - Representação da redução das escoas na *popa* da embarcação.

c) Escoa Móvel na *Proa*

Devido a forma delgada da embarcação, verifica-se que a região da proa apresenta restrição de espaço e determinada dificuldade de acesso ao interior dos cascos, causada pelo encontro das escoas nesse local. Com isso, objetivando facilitar o processo construtivo, faz-se uma peça móvel, proporcionando o acesso a parte interna do casco, quando necessário, não comprometendo a resistência estrutural da embarcação.

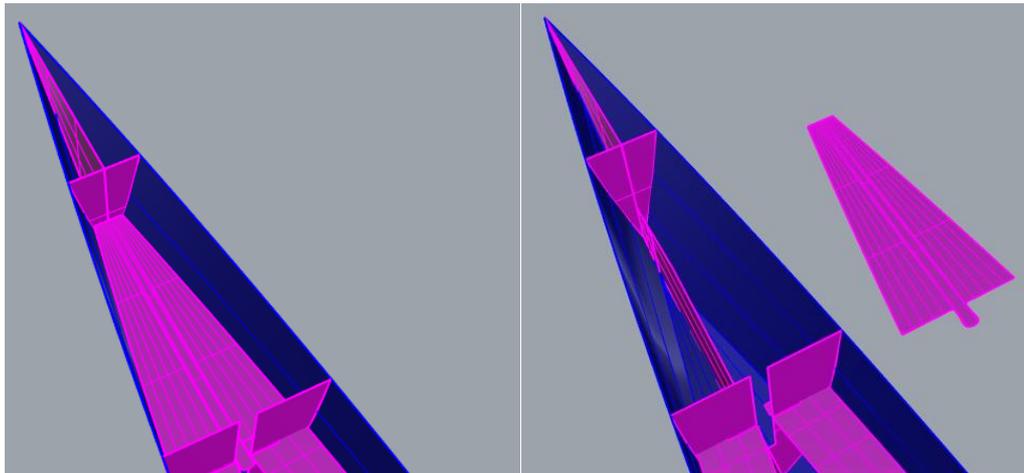


Figura 52 - Representação da escoa móvel na região da proa da embarcação.

d) Reforços Estruturais

As formas dos reforços transversais do casco, são justificadas pela busca à redução de peso da embarcação, onde as *cavernas* não estanques são recortadas internamente em forma de U, proporcionando a utilização do espaço interno dos cascos para o transporte de carga. Além disso, são criados encaixes entre *cavernas*, *escoas* e *longarina*, além de subdividir as *escoas* e *longarina*, cujo objetivo é facilitar a montagem e construção dos cascos.

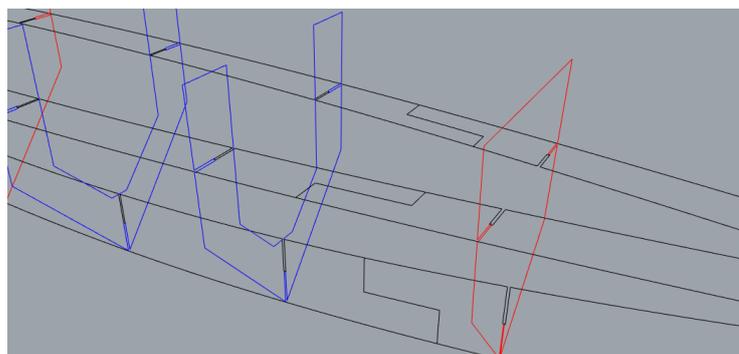


Figura 53 - Representação dos encaixes entre os elementos estruturais do casco.

e) Posicionamento das Escoas

Com o objetivo de preservar-se de possíveis dificuldades construtivas, para o posicionamento das escoas, são consideradas as localizações das *quinas* dos *costados*, buscando-se evitar a sobreposição entre as escoas e as junções dos *chapeamentos* do *costado* e *fundo* dos cascos.

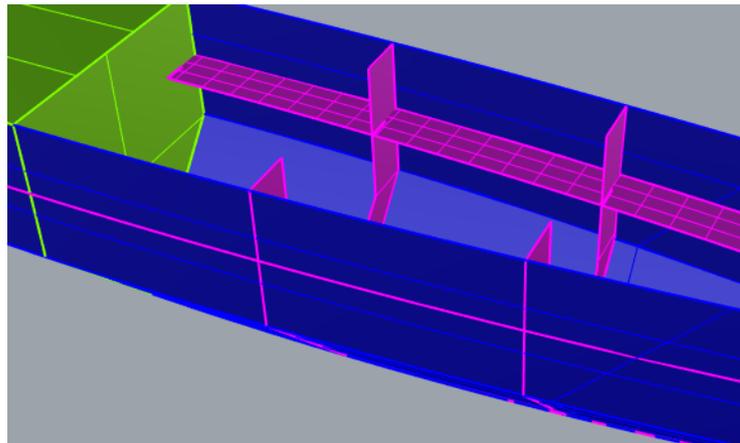


Figura 54 – Representação do posicionamento das escoas no casco.

3.6.3 Estimativa de Peso

De acordo com a necessidade de desenvolver o projeto construção de um barco mais leve, conseqüentemente mais rápido e eficiente em termos de velocidade, desempenho e custo. Busca-se nesse trabalho a redução do peso da embarcação projetada, através da utilização de materiais apropriados, não refletindo apenas em maiores velocidades, mas também em um menor custo de produção.

Nasseh (2011), ressalta que, projetos que têm um trabalho de engenharia voltado para construções mais leves, utilizando menos materiais e alcançando, conseqüentemente, um custo final de fabricação menor, são preferidos por estaleiros de produção seriada.

Portanto, para a construção do catamarã projetado, é conveniente suceder a seleção dos devidos materiais que serão utilizados para a fabricação, realizando uma estimativa de peso após cada etapa construtiva, em concordância com a

disponibilidade de peso para construção dos cascos prescritos anteriormente na Tabela 32.

A seguir, encontram-se indicadas as áreas e quantidades de cada elemento estrutural que compõem o casco, os materiais selecionados para a construção e suas respectivas contribuições de peso adicionado a cada casco do catamarã:

I) Cálculo das Áreas dos Elementos Estruturais do Casco

Elemento	Área (m ²)	Quantidade	Área total (m ²)	Faces laminadas	Área laminada (m ²)
Costado	0,3186	2	0,6372	1	0,6372
Fundo	0,2912	2	0,5824	1	0,5824
Convés Comp. Estanque à Vante	0,0685	1	0,0685	1	0,0685
Convés Comp. Estanque à Ré	0,1222	1	0,1222	1	0,1222
Escoa	0,0943	2	0,1886	2	0,3772
Longarina	0,1724	1	0,1724	2	0,3448
Anteparas Estanques	0,1371	1	0,1371	2	0,2742
Cavernas	0,1232	1	0,1232	2	0,2464
Espelho de Popa	0,0213	1	0,0213	1	0,0213

Tabela 35 – Cálculo das áreas de cada elemento estrutural e área total laminada do casco.

II) Cálculo do Peso da Estrutura Interna do Casco

Material Selecionado	MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>)
Área Total	0,833 m ²
Espessura	0,003 m
Densidade	800 kg/m ³
Peso	1,999 kg

Tabela 36 – Estimativa de peso da estrutura interna do casco.

III) Cálculo do Peso *Costado* e *Fundo* do Casco

Material Selecionado	Compensado de Madeira <i>Sumaúma</i>
Área Total	1,219 m ²
Espessura	0,003 m
Densidade	480 kg/m ³
Peso	1,756 kg

Tabela 37 – Estimativa de peso do *costado* e *fundo* do casco.

IV) Cálculo do Peso da Laminação do Casco

Material Selecionado	Fibra de Vidro (S-Glass)
Área Total	0,573 m ²
Densidade	0,450 kg/m ²
Peso	0,258 kg
Material Selecionado	Resina Epóxi
Área Total	2,674 m ²
Espessura	0,0001 m
Densidade	1200 kg/m ³
Peso	0,320 kg
Material Selecionado	Endurecedor - Resina Epóxi
Área Total	2,674 m ²
Espessura	0,0001 m
Densidade	1020 kg/m ³
Peso	0,272 kg
Material Selecionado	Cola para Madeira
Peso	0,265 kg

Tabela 38 – Estimativa de peso adicional após a laminação do casco.

V) Cálculo do Peso Adicional após a Acabamento e Pintura do Casco

Material Selecionado	Gel Coat
Área Total	1,240 m ²
Espessura	0,001 m
Densidade	1150 kg/m ³
Peso	1,426 kg

Tabela 39 – Estimativa de peso adicional ao casco após pintura e acabamento.

Com isso, tem-se uma estimativa do peso final dos cascos após a utilização dos materiais selecionados para realizar a construção do catamarã:

PESO ADICIONAL AO FINAL CADA ETAPA CONSTRUTIVA		Acumulado I Etapa	Acumulado II Etapa	Acumulado III Etapa	Acumulado IV Etapa
Estrutura Interna	1,999 kg	1,999 kg	-	-	-
Costado e Fundo	1,756 kg	-	3,755 kg	-	-
Laminação	1,115 kg	-	-	4,870 kg	-
Acabamento e Pintura	1,426 kg	-	-	-	6,296 kg

Tabela 40 – Estimativa de peso adicional de cada material em cada etapa construtiva.

PESO FINAL APÓS CONSTRUÇÃO	
Monocasco	6,296 kg
Catamarã	12,592 kg

Tabela 41 – Estimativa de peso final dos cascos após a construção.

Portanto, de acordo com as informações contidas na Tabela 32, verifica-se a importância da previsão e controle do peso adicionado aos cascos durante cada etapa construtiva, pois para que a eficiência da embarcação, em termos de velocidade, seja alcançada, precisamos ter o projeto final do catamarã com peso variando entre 24,94 e 34,75 kg, onde, conforme já mencionado na Seção 3.8, tem-se o calado variando entre 16 cm e 18 cm.

Assim, descontando o valor do peso final estimado dos cascos após a construção, segundo informado na Tabela 39, deixa-se uma margem de peso variando entre 12,3 e 22,2 kg para a construção da *plataforma, hidrofólios, lemes, caixa de redução* e demais acessórios que compõem o projeto da embarcação.

4 CONSTRUÇÃO

4.1 Método Construtivo *Ply Glass*

Existem diversas técnicas de construção naval, sendo o método *Ply Glass*, desenvolvido a partir da aplicação de madeira em barcos com formatos poligonais, *multichines*, revestidos com fibra de vidro.

Nasseh (2007), afirma que embora seja considerado antigo, o método *Ply Glass* é um processo utilizado na construção marítima em estaleiros profissionais do mundo inteiro, no qual consiste na construção de barcos em madeira compensada, em seguida revestida com resina *epóxi* ou *poliéster* e camadas de fibra de vidro, onde após a cura da resina, são realizados o lixamento e preparação do casco para a pintura e acabamento. Internamente o compensado e toda a estrutura são revestidos com resina, cujo objetivo é garantir a impermeabilização e durabilidade do casco.

Esse método construtivo é de fácil execução, obtendo-se excelentes resultados em termos de redução de peso e rigidez estrutural do casco. (NASSEH, 2007)

4.2 Construção dos Cascos

A partir da escolha do método construtivo descrito na Seção 4.1, faz-se a preparação inicial para a construção do catamarã projetado, através da planificação, divisão e agrupamento das peças que compõem a estrutura interna e *chapeamento* dos cascos, nas quantidades adequadas para construção dos dois cascos do catamarã.

Em seguida, cria-se um *Nesting*, cujo objetivo é preparar as peças para o corte a *laser* em chapas de *MDF* e otimizar a utilização das chapas com dimensões máximas de 1 m x 1 m, conforme indicado nas figuras a seguir:

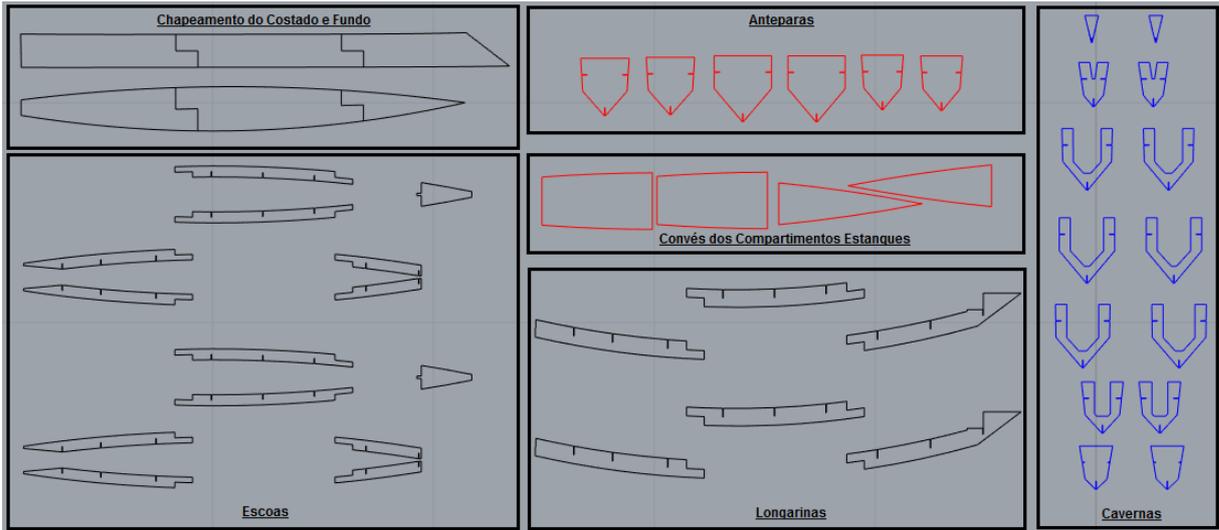


Figura 55 - Divisão e agrupamento das peças que compõem a estrutura dos cascos.

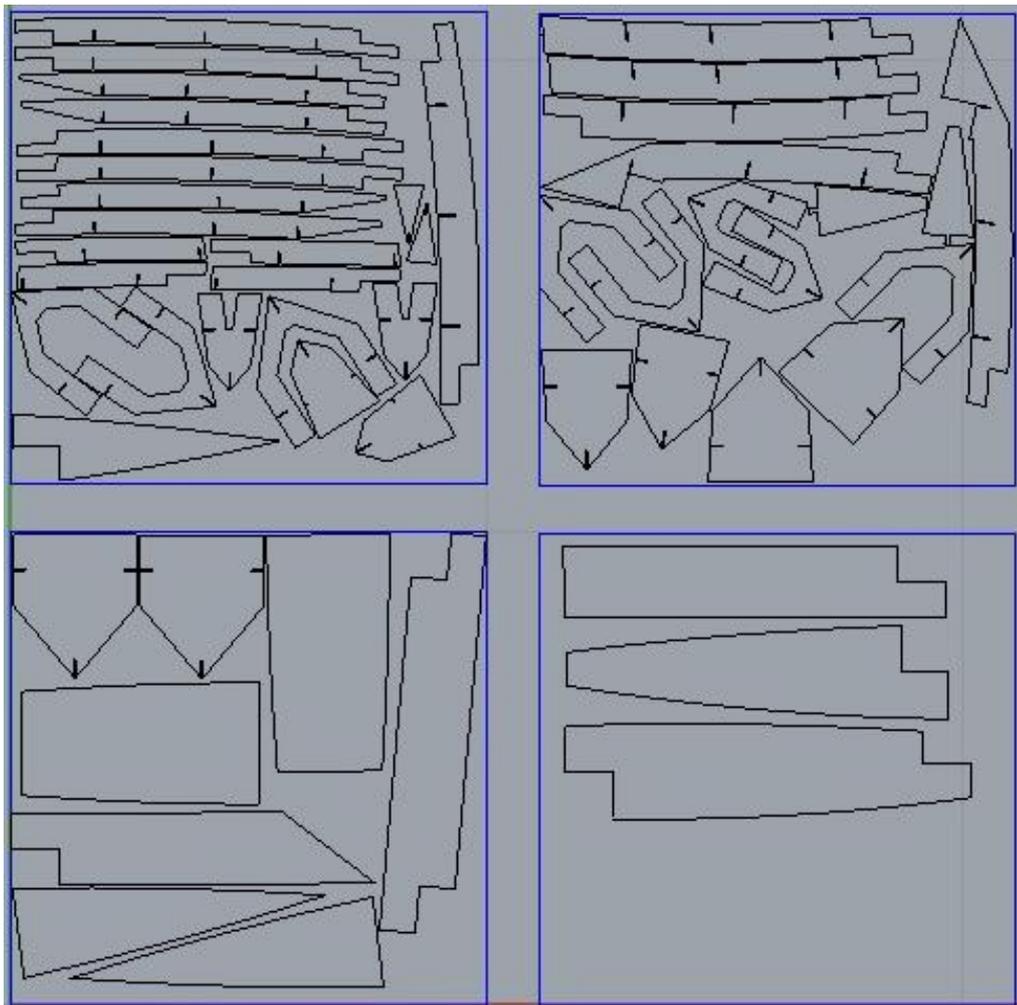


Figura 56 - Preparação para o corte através do *Nesting* das peças.

Após a realização do corte a *laser* dos componentes estruturais dos cascos, tem-se as peças, em tamanho real, para a montagem dos cascos:



Figura 57 - Representação dos componentes estruturais dos cascos.

Após a separação e união das *escoas* e *longarina*, dar-se início ao processo de montagem da estrutura interna dos cascos, realizando o encaixe e fixação, através de cola de secagem rápida específica para madeira, das *cavernas*, *anteparas*, *escoas* e *longarina* em suas respectivas posições:



Figura 58 - Montagem das *escoas* e *longarina*.



Figura 59 - Montagem da estrutura interna dos cascos.

Seguidamente, após a montagem da estrutura dos cascos, realiza-se a pesagem, com o objetivo de controlar o peso da embarcação durante a construção e verifica-se que o valor estimado para esta etapa está dentro do esperado, que corresponde ao valor de 2,0 kg, conforme indicado anteriormente na Tabela 40.

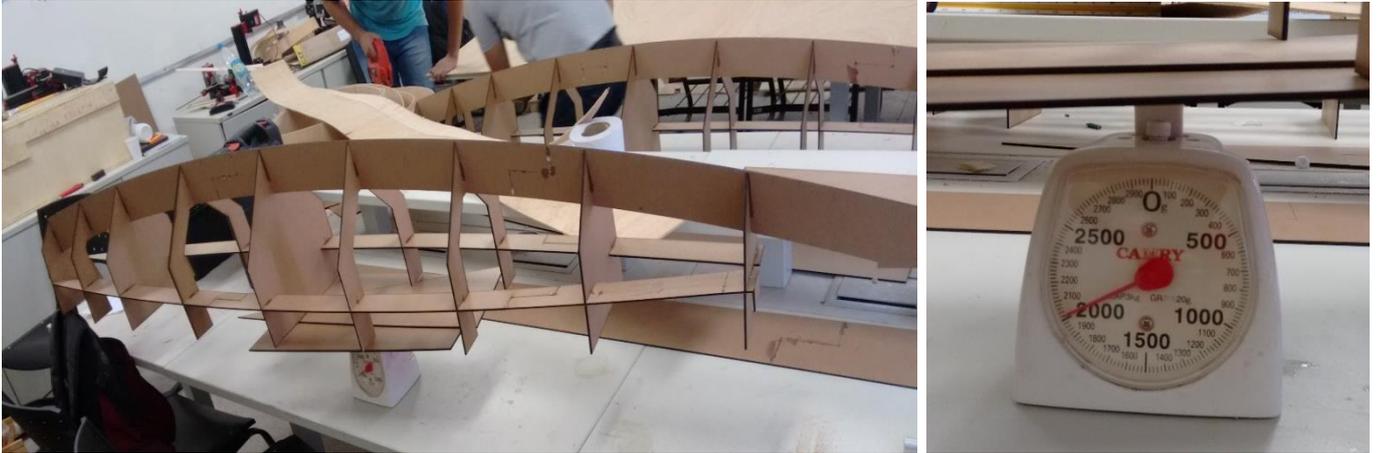


Figura 60 - Pesagem da estrutura interna do casco após montagem.

Dando sequência ao processo construtivo dos cascos, inicia-se a marcação e corte do *chapeamento* de *costado* e *fundo* dos cascos em compensado flexível de madeira *sumaúma*, através das respectivas peças, anteriormente, cortadas a laser e montadas em *MDF*, servindo de gabarito para a marcação e posterior corte em madeira *sumaúma*.



Figura 61 - Marcação e corte das peças em compensado flexível de madeira *sumaúma*.

Assim, como realizado anteriormente, faz-se a pesagem das peças cortadas, com o objetivo de controlar o peso adicionado ao casco referente a essa etapa e verifica-se que o valor estimado está conforme previsto, no qual corresponde ao valor de 1,7 kg, conforme indicado anteriormente na Tabela 40.



Figura 62 - Pesagem do *costado* e *fundo* dos cascos após o corte.

Em seguida, realiza-se a fixação e colagem do *chapeamento* do *costado* e *fundo* dos cascos, conforme indicado nas figuras a seguir:



Figura 63 - Montagem do *costado* dos cascos.



Figura 64 - Representação da montagem do casco finalizada.

Após essa etapa, dar-se início ao processo de impermeabilização e laminação interna dos cascos. Para isso, faz-se a aplicação de resina *epóxi* no interior dos cascos e convés dos compartimentos estanques, objetivando impermeabilizar os compensados de madeira *sumaúma* e *MDF*, além de o reforçar a colagem das estruturas internas do casco ao chapeamento lateral dos cascos. Em seguida, após a cura da resina *epóxi*, aplica-se uma camada de manta de fibra de vidro na região de junção entre o *costado* e o *fundo* dos cascos, utilizando resina *poliéster*, que possui menor viscosidade em comparação a resina *epóxi*, facilitando a aplicação da fibra.



Figura 65 - Início do processo de laminação e impermeabilização dos cascos.



Figura 66 - Finalização do processo de laminação e impermeabilização interna dos cascos.

Da mesma maneira, faz-se a pesagem dos cascos após a finalização da montagem, laminação e impermeabilização interna, com o objetivo de obter o controle do peso adicionado aos cascos referente a essa etapa e verifica-se que o valor obtido está próximo do estimado, no qual corresponde ao valor de 4,80 kg, conforme indicado anteriormente na Tabela 40.



Figura 67 - Pesagem final dos cascos após finalização da montagem e laminação interna.

A etapa seguinte, consiste na aplicação de reforços estruturais nas anteparas dos compartimentos estanques e espelho de popa da embarcação, nas quais instalam-se as bases da plataforma de união entre os cascos e os suportes dos lemes, respectivamente. Para isso, utilizam-se peças, cortadas no formato das cavernas, de compensado naval com espessura 10 mm e reforçadas com fibra de vidro e resina poliéster.

Em seguida inicia-se o processo de impermeabilização, acabamento e pintura externa dos cascos, utilizando-se resina *poliéster*, massa *epóxi* e *gel coat*, respectivamente, devidamente catalisados, conforme indicado nas figuras a seguir:

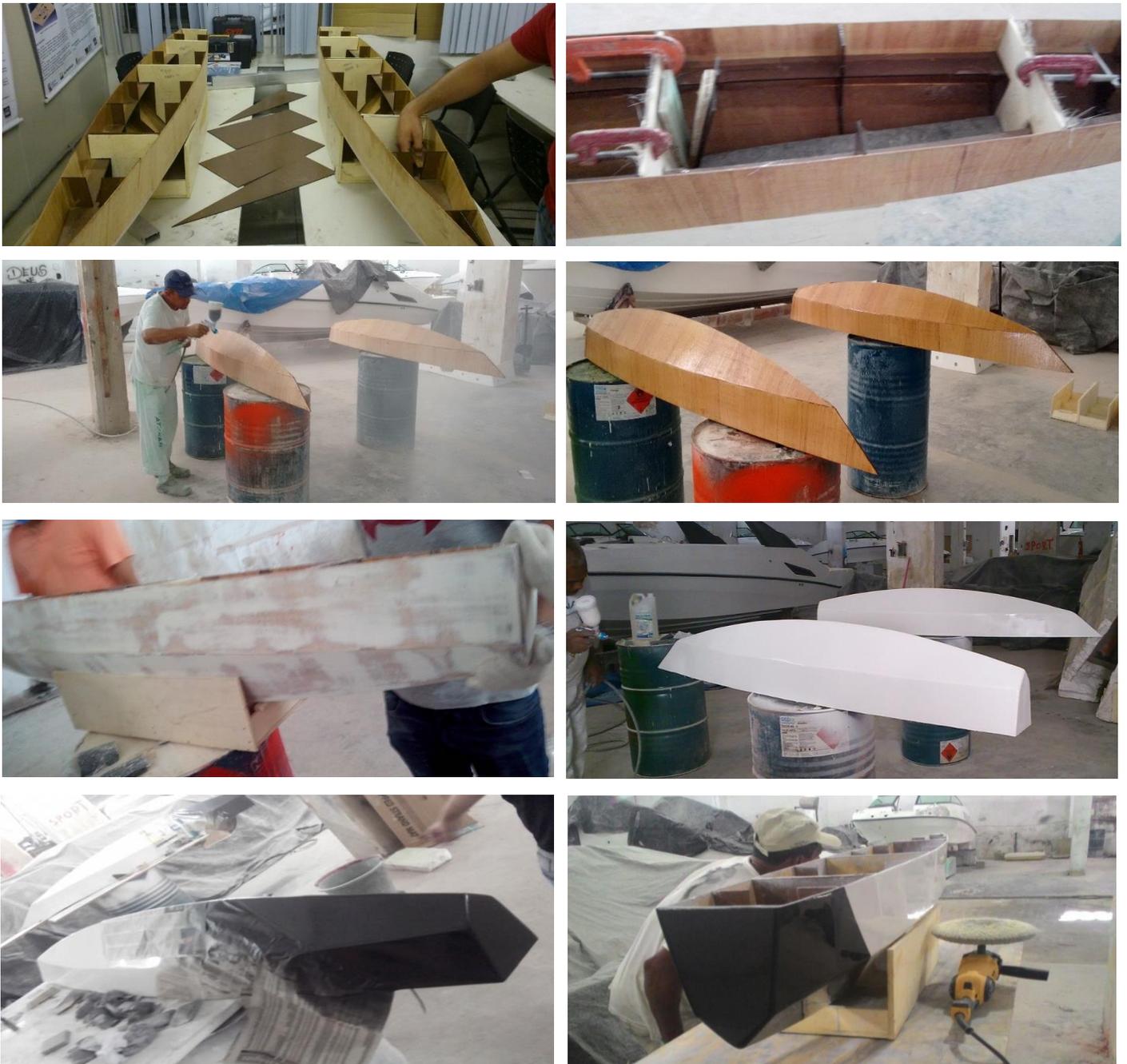


Figura 68 - Representação da fase de acabamento e pintura dos cascos.

Com isso, tem-se o processo de construção dos cascos do catamarã projetado concluído, podendo, assim, dar-se sequência as demais etapas que compõem o projeto de construção total da embarcação.



Figura 69 - Representação da construção dos cascos do catamarã finalizada.

4.3 Demais Etapas Construtivas

Após a finalização das etapas de construção dos cascos, dar-se sequência à construção e instalação dos demais itens que fazem parte do projeto do catamarã.

Inicialmente, faz-se a construção da plataforma do catamarã, responsável pela união entre os cascos, transportar a carga e acomodar o motor e sistema elétrico da embarcação.



Figura 70 - Instalação e fixação da plataforma do catamarã aos cascos.

Em seguida, inicia-se a instalação do sistema de governo da embarcação na região à ré dos cascos e suportes para fixação dos lemes no *espelho de popa* dos cascos, conforme indicado nas figuras a seguir:



Figura 71 - Instalação das engrenagens do sistema de governo e suportes dos lemes.

Posteriormente, realiza-se a instalação dos *hidrofólios*, lemes, sistema elétrico e motor da embarcação:



Figura 72 - Representação da instalação dos *hidrofólios* e lemes da embarcação.

Assim, tem-se a do projeto de construção do catamarã realizado neste trabalho finalizado, conforme indicado na figura a seguir:



Figura 73 - Representação da construção do catamarã finalizada.



Figura 74 - Construção do catamarã concluída.

5 RESULTADOS

De acordo com o desenvolvimento desse trabalho, é possível observar a importância da realização do planejamento da construção, verificando se as etapas executadas estão de acordo com o projetado, além de realizar o controle de peso da embarcação em cada etapa construtiva, objetivando obter o menor peso leve dos cascos fabricados, bem como concluir a construção dos cascos em tempo hábil e antecipar as etapas posteriores para a conclusão do projeto.

a) Peso Final da Embarcação

A seguir, encontra-se indicada uma comparação entre os valores de peso estimado e real obtido para os cascos após a construção, assim como o peso final para o catamarã projetado:

PESO ACUMULADO APÓS CADA ETAPA CONSTRUTIVA DA EMBARCAÇÃO			
ETAPAS DE CONSTRUÇÃO	PESO ESTIMADO	PESO REAL – CASCO BB	PESO REAL – CASCO BE
1ª Etapa	1,999 kg	2,000 kg	2,000 kg
2ª Etapa	3,755 kg	3,700 kg	3,800 kg
3ª Etapa	4,870 kg	4,800 kg	4,900 kg
4ª Etapa	6,296 kg	7,200 kg	7,500 kg

Tabela 42 – Comparação entre os pesos estimados e obtidos para os cascos.

PESO FINAL DA EMBARCAÇÃO		
ELEMENTOS	PESO ESTIMADO	PESO REAL
Cascos do Catamarã	12,592 kg	14,700 kg
Plataforma		7,300 kg
Hidrofólios		6,000 kg
Lemes	22,160 kg	4,000 kg
Sistema de Governo		2,000 kg
TOTAL	34,752 kg	34,000 kg

Tabela 43 – Comparação entre o peso estimado e obtido para o catamarã.

Com isso, verifica-se que as etapas construtivas dos cascos, executadas com ênfase no controle do peso da embarcação, foram realizadas com sucesso e o peso final da embarcação encontra-se dentro dos valores projetados.

b) Tempo de Construção

A seguir, encontram-se as descritas as fases de construção do projeto, juntamente com os tempos de duração de cada fase construtiva dos cascos:

FASES	DESCRIÇÃO	DURAÇÃO
1ª Fase	1. Montagem da estrutura interna dos cascos	3h 30min
2ª Fase	1. Marcação do <i>costado</i> e <i>fundo</i> dos cascos. 2. Corte do <i>costado</i> e <i>fundo</i> dos cascos. 3. Montagem do <i>costado</i> e <i>fundo</i> dos cascos. 4. Colagem das peças. 5. Construção de <i>picadeiros</i> .	10h 30min
3ª Fase	1. Correção dos defeitos após a montagem dos cascos. 2. Lixamento externo dos cascos. 3. Aplicação de resina <i>epóxi</i> no interior dos cascos. 4. Construção dos reforços dos <i>picadeiros</i> .	7h 20min
4ª Fase	1. Laminação interna dos <i>costados</i> . 2. Corte dos reforços internos das anteparas e espelho de popa. 3. Aplicação de resina poliéster internamente ao casco.	3h
5ª Fase	1. Fixação dos reforços das anteparas e espelho de popa. 2. Aplicação de massa <i>epóxi</i> no exterior dos cascos e lixamento. 3. Aplicação de <i>gel coat</i> externamente ao casco. 4. Acabamento e pintura externa dos cascos. 5. Polimento.	20h
Total de horas utilizadas para a construção dos cascos:		44h 20min

Tabela 44 – Descrição e duração de cada etapa construtiva dos cascos.

As figuras a seguir, representam a comparação entre os valores de *calado* projetado e apresentado pela embarcação após a construção, onde verifica-se a concordância entre o projetado e construído:

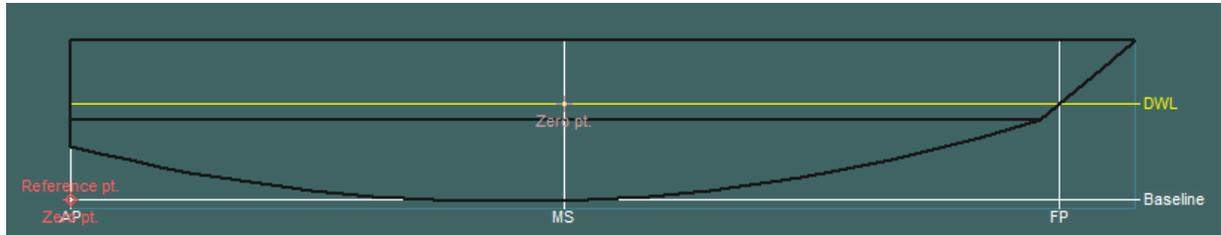


Figura 76 - Representação do *calado* da embarcação projetada.



Figura 77 – *Calado* apresentado pela embarcação construída.



Figura 78 - Representação do *calado* da embarcação construída.

d) Custos de Construção

Lamb (1986), afirma que os custos de produção de um projeto devem ser mínimos, conforme apresentado na Seção 2.1.

Com o objetivo de apontar os custos necessários para realização da construção dos cascos projetados nesse trabalho, a seguir encontram-se indicados os gastos diretos realizados para execução das atividades do projeto, incluindo a matéria-prima utilizada e serviços subcontratados:

Material	Valor
Corte a laser MDF	R\$ 400,00
Resina epóxi	R\$ 62,75
MDF, compensado de madeira sumaúma e cola para madeira	R\$ 200,00
Pincas e insumos gerais	R\$ 32,80
Fêmea de popa para encaixe do leme ao casco	R\$ 108,00
Barras roscadas, porcas, parafusos e arruelas	R\$ 91,50
Alumínio para as estruturas da plataforma	R\$ 378,00
Brocas de alumínio	R\$ 14,00
Parafusos e rebites	R\$ 45,00
Acabamento e pintura	Patrocínio Estaleiro Atymar
Total	R\$ 1.332,05

Tabela 45 – Custos de construção dos cascos.

Tendo em vista a disposição de um orçamento limitado para execução do projeto, verifica-se a importância dos baixos gastos apresentados para a produção dos cascos, garantindo, assim, que a construção fosse realizada dentro dos custos esperados.

6 CONCLUSÃO

Com base no conteúdo apresentado neste trabalho, verifica-se a importância da aplicação dos conceitos do *DFP* na elaboração do projeto de uma embarcação, tornando-a mais fácil de ser construída, evitando o trabalho desnecessário, desperdício de material e mão de obra.

Através do refinamento da forma, foram obtidas as dimensões ótimas dos cascos projetados, atendendo as necessidades do projeto e aos critérios de equilíbrio, estabilidade, velocidade e resistência ao avanço da embarcação, assim como definido o arranjo estrutural dos cascos e os materiais utilizados na construção.

Conforme visto nas Seções 3.5.10 e 3.6.2, foram previstas e evitadas possíveis dificuldades relacionadas em cada etapa do método construtivo utilizado, em concordância com o planejamento realizado para cada fase da construção, com ênfase no controle e obtenção do menor peso para a embarcação construída.

Assim, como estimado, o peso total do catamarã, após a construção, deveria ficar entre 25 e 35 kg e o *deslocamento* da embarcação, presumido a um valor entre 60 e 70 kg, com isso, verifica-se que o peso final de 34 kg obtido para a embarcação construída está dentro da faixa de valores previstos, juntamente com o valor de 69 kg para o deslocamento, correspondente ao calado máximo previsto de 18 cm, conforme indicado na Tabela 32 – Seção 3.8.

De acordo com a quantidade reduzida do número total de horas e dias necessários para realizar a construção dos cascos, apresentados na Seção 5 comprova-se a importância da aplicação dos conceitos do *DFP* na elaboração do projeto de uma embarcação.

Por outro lado, com a embarcação em operação, verifica-se a necessidade de realizar o aumento do *pontal* dos cascos para futuros projetos, pois nota-se o alagamento da região interna dos compartimentos não estanques dos cascos, devido à entrada de água no interior dos cascos por causa da formação de ondas provocada pelo movimento e avanço da embarcação, além de realizar a alteração da forma em V bastante acentuada do fundo dos cascos, pois mesmo tornando o casco bastante veloz, não foi a mais adequada para utilização dos *hidrofólios* projetados, dificultando a saída da embarcação da água em condições de *planeio*.

REFERÊNCIAS

- [1] BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. New York: Marcel Dekker, 1993.
- [2] CANGIOLIERI JUNIOR, Osiris; YOUNG, Robert I. M.. **Estrutura de informação como suporte em múltiplas vistas do produto num projeto orientado para a manufatura**. Loughborough University. PUC - PR, p. 1-21. Maio 2005.
- [3] CHEDIER, Patrícia Moreira; NAVEIRO, Ricardo M.. **A contribuição do projeto orientado à montagem para a melhoria da eficiência produtiva**. 1999. 9 f. Curso de Engenharia de Produção, Coppe / UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.
- [4] CROSS, N. (ed.), **Developments in Design Methodology**, John Wiley & Sons, p. 357. 1984.
- [5] ETTLIE, J., STOLL H., **Managing the Design-Manufacturing Process**, McGraw-Hill, New York. 1990.
- [6] FANGUY, D.; DLUGOKECKI, V.; HEPINSTALL, L. (2008), **Leading the Way for Mid-Tier Shipyards to Implement Design for Production Methodologies**.
- [7] FERNANDES, Clara Villela. **Projeto de concepção, orientado à construção**. 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Naval, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- [8] HERNANDES, Dalmo. **Como um catamarã flutua sobre a água**. 2014. Disponível em: <<http://www.flatout.com.br/>>. Acesso em: 30 nov. 2015.
- [9] INTERNATIONAL, Phantom. **Flying Phantom**. Disponível em: <www.phantom-international.com>. Acesso em: 30 nov. 2015.
- [10] LAMB, Thomas. Design/Production Intregation. In: LAMB, Thomas. **Ship Design and Constrution**. Edited by LAMB,T, 1986. Cap. 14. p. 1-15.
- [11] LINDBECK, John R. Design for Producibility. In: **Product Design and Manufacture**. New Jersey: Prentice Hall, 1995. Cap. 8, p. 319.
- [12] NASSEH, Jorge. **Barcos - Métodos Avançados de Construção em Composites**. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh Barracuda Advanced Composites, 2007.
- [13] NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Jorge Nasseh Barracuda Advanced Composites, 2011.
- [14] ROSSI, Sergio. **Diferença entre deslocamento e planeio**. 2011. Revista Náutica, Edição 248. Disponível em: <fibrafort.wordpress.com>. Acesso em: 30 nov. 2015.

[15] STOLL, H, W. Design for Manufacture. In: **Tool and Manufacturing Engineers Handbook**. 4. ed. Dearborn, Michigan: Society Of Manufacturing Engineers, 1988. Cap. 13. p. 67-73.

[16] VASCONCELLOS, José Marcio. **Tipos de embarcações de alta velocidade**. 2011. COPPE/UFRJ. Disponível em: <<http://www.oceanica.ufrj.br/>>. Acesso em: 29 dez. 2015.