

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

***Design e projeto de uma embarcação de
recreio – casco e convés***

Orlando Miguel Passos Silva

Orientador: Prof. Fernando Jorge Lino Alves, FEUP

Co-orientador: Prof. Augusto Duarte Campos Barata da Rocha, FEUP

Dissertação submetida à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Fevereiro 2021

*“You are a function of what the whole **universe** is doing in the same way that a wave is a function of what the whole **ocean** is doing. Live accordingly”*

Alan Watts

Resumo

As embarcações de recreio são veículos cujo propósito é proporcionar lazer em diferentes atividades náuticas, sejam elas a pesca, competição ou simples navegação. Com a evolução tecnológica, novos modelos mais avançados são lançados anualmente.

O presente trabalho contribuiu para um projeto de construção de uma embarcação de recreio, através de uma parceria entre a empresa Nautav e o *Design Studio*, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Um projeto desta magnitude e complexidade divide-se em várias fases, que se estendem além do tempo programado para esta dissertação, pelo que consequentemente este documento relata a contribuição feita nas primeiras etapas do projeto em questão.

A primeira atividade realizada, é uma análise e compreensão da estrutura e os componentes principais de uma embarcação de recreio, com o intuito de realizar o *design* da embarcação. Para auxiliar esta etapa é ainda realizado um estudo das diferentes opções e categorias de embarcações existentes no mercado.

Com o *design* estabelecido, fez-se a modelação 3D da embarcação com o auxílio de um *software* CAD/CAE, especificamente o *SOLIDWORKS*. A conceção do modelo 3D tem como objetivo detetar erros visuais ou estruturais, que podem ser prejudiciais no fabrico do produto final, e simultaneamente gerar um ficheiro STL que permitiu construir um protótipo físico da embarcação por fabrico aditivo. A partir deste programa, conceberam-se duas versões de modelos digitais do casco, um modelo tradicional (fundo em V) e um outro modelo desportivo que inclui dois *steps*. Utilizando o negativo do modelo da embarcação foi modelado o molde para o fabrico do casco.

Utilizando funções incluídas no programa *SOLIDWORKS*, realiza-se uma análise estática e dinâmica das duas versões do casco das embarcações, com a finalidade de prever as suas características mecânicas relevantes, antes destas serem manufaturadas. Assim, na análise estática realça-se o calado, a massa, o deslocamento, o centro de gravidade, o centro de flutuação, o ângulo de estabilidade nula, a curva de estabilidade transversal e o momento endireitante. Já na análise dinâmica analisa-se a esteira, a distribuição de pressões na superfície do casco e a força de arrasto provocado pela água.

O trabalho realizado e os protótipos obtidos permitiram a aprovação pela empresa do projeto, podendo agora iniciar-se a segunda fase com o fabrico do molde para manufatura do casco do barco

Palavras-chave: Embarcação de Recreio, Modelação 3D, Casco, Design, Náutica

Project and design of a recreational vessel – hull and deck

Abstract

Recreational vessels are vehicles whose purpose is to provide leisure in different nautical activities, be it fishing, competition or simple navigation. With technological developments, new and more advanced models are available each year.

This work is part of a construction project for a new recreational vessel, through a partnership between the company Nautav and the *Design Studio*, which belongs to FEUP. A project of this size and complexity is divided into several *steps* that extends beyond the time planned for this dissertation, therefore, this document reports the progress made in the first stages of the project.

The first activity carried out, is an analysis and understanding of the different structures and main components that belong to a recreational vessel. This analysis is needed in order to create the *design*. To assist this step, a study of the different types and categories of vessels on the market is made.

With the chosen design, a 3D model of the vessel is made, with the aid of a CAD / CAE software, specifically *SOLIDWORKS*. The design of the 3D model aims to detect visual or structural errors, which can be harmful in the manufacture of the final product, and simultaneously create a STL file that allowed to build a physical prototype of the vessel by additive manufacturing. Using this program, two versions of digital models of the hull were made, a traditional model (bottom in V) and a sport model that includes two *steps*. By using the negative of the vessel model, it was possible to create the mold of the hull.

Using the functions included in the *SOLIDWORKS* program, a static and dynamic analysis are performed on both versions of the hulls, in order to predict the main mechanical characteristics before they are manufactured. Thus, in static analysis the draft, the mass, the displacement, the center of gravity, the center of buoyancy, the angle of vanishing stability, the righting lever curve and the righting moment are examined, and in the dynamic analysis, the wake, the pressure distribution on the hull surface and the drag force caused by the water are analyzed.

All the work that contributed to this project in addition the prototypes attained, guaranteed the company's approval, so that the second step can begin with the manufacture of the mold of the hull.

Keywords: Recreational Vessel, 3D modeling, Hull, Design, Nautical

Agradecimentos

Ao orientador Professor Jorge Lino, pela incansável ajuda na execução desta tese e pela disponibilidade manifestada para orientar este trabalho.

Ao co-orientador Professor Augusto Barata da Rocha pelo seu entusiasmo e paciência durante o período da dissertação e também pela confiança na minha capacidade de aprender e ultrapassar dificuldades.

À empresa Nautav, pela oportunidade de participar num projeto deste calibre e pela partilha de informação essencial para concluir esta dissertação.

Ao Vítor Carneiro, pela sua ajuda e colaboração.

À *designer*, Joana Santos pela discussão de opiniões, acessibilidade e cooperação ao longo da elaboração desta tese.

Ao professor, Abel dos Santos pela sua disponibilidade e partilha de conhecimento.

Aos meus pais e irmã, pela dedicação e apoio durante este percurso.

À Lúcia Moura, pelo seu amor e carinho transmitido ao longo destes anos.

Ao Bruno Maia, pela sua amizade e ajuda que disponibilizou.

A todos os meus amigos, que conheci ao longo destes anos.

Índice

Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Contextualização.....	1
1.3 - Riamar e a Nautav	1
1.4 - Objetivos	3
1.5 - Motivação.....	4
1.6 - Metodologia.....	4
1.7 - Estrutura da Dissertação	5
Capítulo 2 - Estado da arte	6
2.1 - Introdução	6
2.2 - Evolução da utilização de embarcações de recreio	6
2.3 - Categorização de Embarcação de Recreio	7
2.4 - Estrutura de uma embarcação de recreio	9
2.5 - <i>Step</i>	11
2.5.1 - O que é um <i>step</i>	11
2.5.2 - Breve história do <i>step</i>	12
2.5.3 - Análise de cascos com diferentes geometrias de <i>steps</i>	13
2.6 - Robaletes.....	18
2.7 - Sistema de ancoragem.....	20
2.7.1 - Sistema de molinete vertical e horizontal de ancoragem.....	20
2.7.2 - Âncoras	21
2.7.2.1 - Âncora <i>Fluke/Danforth</i>	22
2.7.2.2 - Âncora do tipo <i>Plow/Scoop</i>	22
2.8 - Processo de manufatura	23
2.8.1 - Construção dos moldes	24
2.8.2 - Fabrico da embarcação	24
2.9 - Conceitos básicos de estabilidade.....	26
2.9.1 - Deslocamento, Centro de Gravidade e Centro de Flutuação	26
2.9.2 - Ângulo de Adornamento e Ângulo de Estabilidade Nula (AVS).....	27
2.9.3 - Curva Gz, Momento endireitante e Curva de estabilidade estática	29
2.9.4 - Estabilidade Positiva e Estabilidade Negativa.....	30
Capítulo 3 - <i>Benchmarking</i>	32
3.1 - Introdução	32
3.2 - Restrições impostas pela Nautav	32

3.3 - <i>Benchmarking</i>	34
3.3.1 - Casco	34
3.3.1.1 - Van Dutch.....	34
3.3.1.2 - Rand 28.....	35
3.3.1.3 - Riamar 620WA	36
3.3.2 - Convés	36
3.3.2.1 - Wally	36
3.3.3 - Teca Sintética	37
3.3.4 - Âncora	38
3.3.4.1 - CQR	38
3.3.4.2 - <i>Delta/Wing</i>	39
3.3.4.3 - <i>Bruce/Claw</i>	39
3.3.4.4 - Âncora <i>Rocna</i>	40
3.3.4.5 - Resumo dos diferentes modelos de Âncoras.....	41
Capítulo 4 - Modelação da embarcação.....	42
4.1 - Introdução	42
4.2 - <i>SOLIDWORKS™</i>	42
4.3 - Modelação.....	42
4.3.1 - Linhas Mestras.....	42
4.3.2 - Casco	44
4.3.3 - <i>Step</i> (Versão <i>Performance</i>).....	47
4.3.4 - Robaletes.....	48
4.3.5 - Suporte do motor	51
4.3.6 - Plataforma de Ré	56
4.3.7 - Convés	59
4.3.8 - Poço do convés	62
4.3.9 - Poço da âncora e <i>Bow Roller</i>	63
4.3.10 - Verdugo	66
4.3.11 - Para-brisas	69
4.3.12 - Teca sintética.....	70
4.3.13 - Motor e a âncora.....	72
4.3.14 - Modelos base finais	73
4.3.15 - Modelos do negativo do molde	76
4.4 - Protótipo por fabrico aditivo	78
Capítulo 5 - Análise estática e dinâmica.....	81
5.1 - Introdução	81
5.2 - Análise Estática.....	81

5.2.2 - Estabilidade longitudinal	81
5.2.2.1 - Análise ao casco Tradicional (sem <i>step</i>)	81
5.2.2.2 - Análise ao casco <i>Performance</i> (com <i>step</i>).....	87
5.2.3 - Estabilidade Transversal.....	91
5.2.3.1 - Análise ao casco Tradicional (sem <i>step</i>)	91
5.2.3.2 - Análise ao casco <i>Performance</i> (com <i>step</i>).....	94
5.3 - Análise Dinâmica.....	97
5.3.1 - Flow Simulation.....	98
5.3.2 - Parâmetros de Simulação	98
5.3.3 - Resultados da simulação	100
5.3.3.1 - Esteira	100
5.3.3.2 - Distribuição de Pressões	102
5.3.3.3 - Força de arrasto	104
Capítulo 6 - Conclusão e trabalhos futuros	105
6.1 - Conclusão	105
6.2 - Trabalhos Futuros	107
6.2.1 - Modelos alternativos	107
6.2.2 - Teste em laboratório	107
6.2.3 - Produção do molde e início da manufatura	107
Referências.....	108
Referências Bibliográficas	108
Referências de Figuras e Tabelas	111

Lista de Figuras

Figura 1 Retrato de Manuel Alves Barbosa [1] -----	2
Figura 2 Fluxograma das etapas da construção do modelo da ER-----	3
Figura 3 Evolução do volume de negócios de construção, reparação e manutenção naval de 2001 a 2015 [2]-----	7
Figura 4 Embarcação de Recreio com os principais componentes: (1) casco, (2) convés, (3) verdugo, (4) proa e (5) popa -----	9
Figura 5 Vista inferior do casco de uma ER com robaletes: (1) plataforma de ré, (2) quilha, (3) robalete, (4) <i>step</i> e (5) <i>chine</i> -----	10
Figura 6 Vista de topo do convés de uma ER: (1) poço do motor, (2) painel de popa, (3) poço, (4) para-brisas, (5) albói, (6) poço da âncora e (7) <i>bow roller</i> -----	11
Figura 7 Exemplo de um <i>step</i> da embarcação Axopar 28 -----	12
Figura 8 Vista de frente da embarcação Ventnor 18 E-Class [3]-----	13
Figura 9 <i>Step</i> de um barco de corrida de 1932 (Ventnor-16 E-Class) [3] -----	13
Figura 10 Teste a embarcação sem <i>step</i> de forma a obter a velocidade de <i>planing</i> [4]-----	14
Figura 11 Resultado da simulação das três velocidades do casco sem <i>step</i> [4]-----	15
Figura 12 Modelos dos steps utilizados nas simulações [4]-----	16
Figura 13 Resultado das simulações dos cinco modelos ($V=8.23$ m/s), a) em pressão b) em fração de volume de água [4]-----	17
Figura 14 Robaletes da embarcação Riamar 620 WA-----	18
Figura 15 Representação da criação de forças de sustentação provocadas pelo impacto do fluxo de água no robalete-----	19
Figura 16 Esquema das distâncias dos robaletes, sujeitos a teste no artigo [5] -----	19
Figura 17 Gráfico dos resultados do ensaio do artigo [5] -----	20
Figura 18 Exemplificação de um sistema horizontal e vertical de molinete [6] -----	21
Figura 19 Âncora do tipo <i>Danforth</i> de 7 kg em aço inox AISI 316L [7] -----	22
Figura 20 Exemplo de uma âncora do tipo <i>Plow/Scoop</i> instalada num <i>bow Roller</i> . [8]-----	23
Figura 21 Quilha e cavernas de uma embarcação a ser construída [9] -----	23
Figura 22 Máquina CNC de cinco eixos adequado para trabalhar em materiais pouco duros, na imagem o poliestireno expandido [10]-----	24
Figura 23 a) molde após a aplicação do <i>gel coat</i> [11], e b) processo de laminação da FV [12] -----	25
Figura 24 a) desmoldagem da embarcação [13], e b) união entre o casco e o convés.[14]-	25
Figura 25 Representação da disposição do CF, CG e do M de uma embarcação [15]-----	27
Figura 26 Representação dos ângulos de estabilidade de uma embarcação [16]-----	27
Figura 27 Exemplo de uma iteração entre o CF, o CG e o Gz [17]-----	28
Figura 28 Ângulo de Estabilidade Nula (AVS) [17] -----	28
Figura 29 Centro de Gravidade (CG), Centro de Flutuação (CF) e o Braço Endireitante (Gz) [18] -----	29
Figura 30 Exemplo de uma curva Gz para dois tipos de cascos, um de deslocamento grande e outro de deslocamento baixo [17] -----	30
Figura 31 Exemplo de Estabilidade Positiva e Negativa de uma embarcação [18]-----	31
Figura 32 Vista de topo da embarcação com as principais cotas de atravancamento-----	32
Figura 33 Motor Yamaha F200 [19] -----	33
Figura 34 Verdugo Shpaera PVC 25 [20]-----	33
Figura 35 Embarcação Van Dutch 75 [21]-----	34
Figura 36 Vista de frente do Van Dutch 40 [22] -----	35
Figura 37 Embarcação Rand 28 [23] -----	35

Figura 38 Embarcação Riamar 620WA -----	36
Figura 39 Wally Dayboat 48 [24] -----	37
Figura 40 Teca sintética usada num revestimento de uma embarcação [25] -----	37
Figura 41 Âncora do tipo Plow/Scoop CQR de 5 kg em aço inox AISI 316 [26] -----	38
Figura 42 Âncora Delta de 5 kg em aço inox [27] -----	39
Figura 43 Âncora Claw/Bruce de 10 kg em aço galvanizado [28] -----	40
Figura 44 Âncora Rocna de 15 kg em aço inox [29] -----	40
Figura 45 <i>Sketch</i> sobre imagens importadas -----	43
Figura 46 Vista lateral do esboço guia -----	43
Figura 47 Vista de topo do esboço guia -----	44
Figura 48 Linhas mestras do casco -----	44
Figura 49 Vista de corte da primeira versão da união do casco e o convés com cotas -----	45
Figura 50 Superfícies externas que delimitam o casco -----	45
Figura 51 Resultado da utilização da função <i>Mirror</i> -----	46
Figura 52 a) Embarcação num único sólido e b) opção de criar sólido através da função <i>Fill Surface</i> -----	46
Figura 53 Cavernas a) da primeira versão e b) da segunda versão -----	47
Figura 54 Casco com as superfícies bases para corte do <i>step</i> . -----	47
Figura 55 Casco após corte dos dois <i>steps</i> . -----	48
Figura 56 Projeção das linhas da vista de topo na superfície do casco -----	48
Figura 57 <i>Surface Extrude</i> dos planos que delimita os robaletes -----	49
Figura 58 a) superfície exterior dos robaletes após a utilização da função <i>Trim Surface</i> e b) robaletes e casco num único sólido -----	49
Figura 59 Robaletes após os acabamentos -----	50
Figura 60 Vista lateral da primeira versão dos robaletes -----	50
Figura 61 Vista lateral da segunda versão dos robaletes. -----	50
Figura 62 Vista lateral da versão com <i>Step</i> dos robaletes -----	51
Figura 63 Vista de topo do motor com as respetivas cotas [30] -----	51
Figura 64 Vista lateral do motor com as respetivas cotas [30] -----	52
Figura 65 Vista lateral do motor em a) repouso e b) levantado -----	52
Figura 66 <i>Boss Extrude</i> do <i>Sketch</i> da base do suporte para o motor. -----	53
Figura 67- Primeira versão do suporte do motor após acabamentos -----	53
Figura 68 Segunda versão do suporte do motor -----	54
Figura 69 Terceira versão do suporte do motor -----	54
Figura 70 Casco após a função <i>Shell</i> da primeira versão -----	55
Figura 71 Casco após a função <i>Shell</i> da segunda versão -----	55
Figura 72 Casco após a função <i>Shell</i> da terceira versão com <i>step</i> -----	55
Figura 73 <i>Sketch</i> com o <i>Boss Extrude</i> da primeira versão da plataforma de ré -----	56
Figura 74 a) primeira versão da plataforma de ré após <i>Mirror</i> , e b) acabamento exterior e rebaixo para a teca na primeira versão plataforma de ré -----	56
Figura 75 <i>Boss Extrude</i> da segunda versão da plataforma de ré -----	57
Figura 76 Segunda versão da plataforma de ré após a função <i>Extrude Cut</i> -----	57
Figura 77 <i>Boss Extrude</i> do tapa-cabos -----	58
Figura 78 a) <i>Surface Offset</i> da superfície exterior do painel de popa, e b) tapa-cabos após a função <i>Shell</i> -----	58
Figura 79 Terceira versão da plataforma de Ré -----	59
Figura 80 Representação da utilidade da abertura do poço do motor -----	59
Figura 81 Arestas de contacto entre o convés e o casco -----	60
Figura 82 Parede do convés após a função <i>Surface Extrude</i> -----	60
Figura 83 Parede do convés após a função <i>Mirror</i> -----	60
Figura 84 Superfície superior do convés -----	61

Figura 85 Convés unido ao casco após a função <i>Combine</i> (segunda versão)	61
Figura 86 a) aplicação da função <i>Cut Extrude</i> na criação do poço, e b) aplicação da função <i>Cut Extrude</i> na criação do poço	62
Figura 87 Embarcação após o segundo <i>Cut Extrude</i> no fabrico do poço	62
Figura 88 Rebaixo no degrau da ré para instalar a teca	63
Figura 89 a) <i>Extrude Cut</i> do poço da âncora externo, e b) <i>Extrude Cut</i> do poço da âncora interno	63
Figura 90 Vista lateral de corte da embarcação após a função <i>Shell</i>	64
Figura 91 Vista de corte da união entre o convés e o casco, a) primeira versão, b) segunda versão, e c) terceira versão da embarcação	64
Figura 92 <i>Boss Extrude</i> na conceção da tampa do poço da âncora	65
Figura 93 Saliência para instalação do <i>Bow Roller</i> e abertura da tampa do poço da âncora	65
Figura 94 a) <i>Shell</i> da zona frontal da tampa, e b) tampa do poço da âncora completa	65
Figura 95 a) detalhes do <i>Boss Extrude</i> na construção do <i>bow roller</i> , e b) <i>bow roller</i> após <i>Boss Extrude</i>	66
Figura 96 Versão final do <i>Bow Roller</i>	66
Figura 97 a) perfil cotado da borracha do verdugo Sphaera 25, e b) modelo da borracha do verdugo na parede do convés	67
Figura 98 a) perfil da placa de inox do verdugo Sphaera 25, e b) verdugo com a placa de inox após a função <i>Boss Sweep</i>	67
Figura 99 a) colisão entre a borracha do verdugo e a parede do casco na primeira versão, e b) vista de corte do perfil simplificado do Sphaera 25 ST/ST	68
Figura 100 Sphaera 25 ST/ST [31]	68
Figura 101 Duas curvas projetadas na embarcação	69
Figura 102 a) para-brisas após a função <i>Boundary Surface</i> , e b) modelo do para-brisas final	69
Figura 103 Modelo alternativo do para-brisas	70
Figura 104 Vista de topo da embarcação após o <i>Boss Extrude</i> de 1 mm	70
Figura 105 <i>Sketch</i> da teca localizado na plataforma de ré	71
Figura 106 <i>Boss Extrude</i> do <i>Sketch</i> do <i>Sikaflex</i> localizado na plataforma de ré	71
Figura 107 Embarcação após acrescentar o <i>Sikaflex</i>	72
Figura 108 a) modelo do motor Yamaha F150 X, e b) modelo da âncora do tipo <i>Bruce/Claw</i> de 10 kg	72
Figura 109 Primeira versão da embarcação	73
Figura 110 Segunda versão da embarcação	74
Figura 111 Terceira versão da embarcação	74
Figura 112 Vista da popa da terceira versão após a renderização	75
Figura 113 Vista da proa da terceira versão após a renderização	75
Figura 114 Modelo negativo do molde do casco a ser maquinado	76
Figura 115 Modelo do molde do casco	76
Figura 116 Modelo negativo do molde do convés a ser maquinado	77
Figura 117 Modelo do molde do convés	77
Figura 118 Peça de conversão do molde do casco tradicional para o casco <i>Performance</i>	77
Figura 119 Protótipo impresso por FA, da terceira versão da embarcação	78
Figura 120 Protótipo impresso por FA, do casco tradicional	78
Figura 121 Protótipo impresso por FA, do casco <i>Performance</i>	79
Figura 122 Protótipo do molde do casco e do seu negativo	79
Figura 123 Protótipo do molde do convés e do seu negativo	80
Figura 124 Resultado da função <i>Mass Properties</i> para a embarcação com <i>step</i>	82

Figura 125 Localização do CG da embarcação sem <i>step</i> (casco Tradicional), a) vista de frente, e b) vista de lado -----	82
Figura 126 Exemplo de linha de água com o CF correspondente da embarcação de casco tradicional-----	83
Figura 127 Vista de lado da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco Tradicional -----	83
Figura 128 Vista de baixo da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco Tradicional -----	84
Figura 129 Resultados da interpolação do valor do calado -----	84
Figura 130 Gráfico da estabilidade longitudinal do casco Tradicional -----	86
Figura 131 localização do CG da embarcação com <i>step</i> , a) vista de frente, e b) vista de lado -----	87
Figura 132 Exemplo de linha de água com o CF correspondente para a embarcação de casco com <i>step</i> -----	88
Figura 133 Vista de lado da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco com <i>step</i> -----	88
Figura 134 Vista de baixo da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco com <i>step</i> -----	88
Figura 135 Gráfico da estabilidade longitudinal do casco com <i>steps</i> -----	90
Figura 136 Cálculo do ângulo de adornamento e linha de água do casco Tradicional. -----	91
Figura 137 Curva Gz da embarcação com casco tradicional -----	93
Figura 138 Ângulo máximo de adornamento -----	93
Figura 139 Cálculo do ângulo de adornamento e linha de água do casco <i>performance</i> . ----	94
Figura 140 Curva Gz da embarcação com casco <i>Performance</i> -----	96
Figura 141 Gráfico de comparação das curvas Gz do Casco Tradicional (vermelho) vs casco <i>Performance</i> (verde) -----	97
Figura 142 Volume de análise das simulações (33 X 22 X 5) (m). -----	99
Figura 143 Gráfico de diferentes ângulos de <i>Trim</i> em função de diferentes velocidades, para embarcações de diferentes ângulos de deflecção [32]-----	99
Figura 144 Inclinação do modelo <i>Performance</i> de 5°. -----	100
Figura 145 Deslocamento da água na coordenada Z provocado pela embarcação em movimento para a velocidade 16 nós (8.23 m/s) [4]-----	100
Figura 146 Esteira a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco Tradicional--	101
Figura 147 Esteira a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco <i>Performance</i> . -----	101
Figura 148 Comparação da esteira entre os modelos a) embarcação com casco <i>Performance</i> , e b) embarcação do casco tipo Fridsma (M-03). -----	102
Figura 149 Distribuição de pressões a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco Tradicional. -----	102
Figura 150 Distribuição de pressões a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco <i>Performance</i> . -----	103
Figura 151 Comparação da distribuição de pressões entre os modelos, a) embarcação com casco <i>Performance</i> , e b) embarcação do casco tipo Fridsma (M-03).-----	103

Lista de Tabelas

Tabela 1 Parâmetros e respectivos valores de uma embarcação do tipo Fridsma [4].....	14
Tabela 2 Detalhes sobre a força de arrasto (<i>Total drag</i>) e o coeficiente entre a força de sustentação e arrasto (L/D) dos diferentes cascos simulados [4].....	17
Tabela 3 Propriedade de diferentes âncoras do tipo <i>Plow/Scoop</i>	41
Tabela 4 Parâmetros da embarcação com o casco Tradicional para análise longitudinal ...	81
Tabela 5 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo B1 para cada calado.	85
Tabela 6 Parâmetros da embarcação com o casco com steps para análise longitudinal	87
Tabela 7 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo B2 para cada calado.	89
Tabela 8 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo C1 para cada calado.	92
Tabela 9 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo C2 para cada calado.	95
Tabela 10 Parâmetros e valores utilizados nas simulações	98
Tabela 11 Valores da força de arrasto dos modelos simulados	104

Glossário de Termos Técnicos Náuticos

Adornar/Adernar – inclinar a embarcação ou submergir.

Ângulo de adornamento/Heel – ângulo que define a inclinação transversal de uma embarcação em relação às suas bordas.

Ângulo de “V” /Ângulo Deadrise – ângulo definido entre a superfície do casco e o plano horizontal da quilha. Define o tipo de fundo de uma embarcação (ângulo de obras vivas).

Baliza/Caverna – são as representações gráficas das intersecções de planos verticais transversais com o casco de uma embarcação.

Bombordo – lado esquerdo de uma embarcação, na perspectiva da proa em frente.

Bow Roller – suporte da âncora que facilita a ancoragem, normalmente localizado na proa da embarcação.

Calado – distância vertical entre a superfície de água e o ponto inferior da quilha, naquele ponto.

Carena – invólucro do casco nas obras vivas.

Chine – variação elevada de um ângulo numa secção de um casco.

Centro de Flutuação – o centro de gravidade da área de flutuação de um navio.

Costado – invólucro do casco nas obras mortas.

Esteira – rasto de água provocado pela deslocação de uma embarcação

Estibordo/Boreste – lado direito de uma embarcação, na perspectiva da proa em frente.

Fundear/Ancorar – lançar para o fundo do mar uma âncora de modo a embarcação ficar segura.

Garrar – arrastar o ferro pelo fundo (a embarcação), devido à corrente ou do vento forte.

Linha de água – linha que separa as obras vivas das obras mortas.

Meia-nau – zona entre a popa e a proa.

Metacentro – ponto cuja posição determina a estabilidade dos corpos flutuantes.

Nó – medida de velocidade correspondente a uma milha por hora (1.852 Km/h).

Obras mortas – parte do casco de uma embarcação acima do plano de flutuação.

Obras vivas – parte do casco de uma embarcação abaixo do plano de flutuação.

Pata – zona da âncora que conecta a unha ao braço.

Poço – desnível no convés de uma embarcação de recreio, onde habitualmente se comanda o barco.

Popa – extremidade posterior de uma embarcação.

Proa – extremidade anterior da embarcação no sentido da marcha.

Ré – zona entre a meia-nau e a popa.

Quilha – peça longitudinal que pertence ao casco na qual fecha a ossada da embarcação.

Suspender – levantar a âncora trazendo-a acima.

Trim – ângulo que define a inclinação longitudinal de uma embarcação.

Unha – extremo da pata da âncora.

Unhar – prender a âncora no fundo pela unha.

Verdugo – régua de aço ou de outro material em torno do casco para o proteger.

Glossário de Termos Técnicos do *SOLIDWORKS*

Assembly – permite criar um modelo complexo utilizando partes criadas previamente.

Boss Extrude/ Extruded Boss – adiciona material a partir de um esboço 2D (*Sketch*).

Boss Sweep/ Swept Boss – cria um sólido a partir de um perfil que segue um percurso representado por uma linha curva ou continua.

Boss Thicken – adiciona material a partir de uma ou mais superfícies.

Boundary Surface – permite criar uma superfície na qual pode ser tangente ou continua às linhas selecionadas.

Combine – permite unir, adicionar e remover um ou mais sólidos.

Cut Extrude – remove material a partir de um esboço 2D (*Sketch*).

Fill Surface – cria uma superfície de forma a fechar um conjunto de superfícies, esta operação tem como opção de criar um sólido a partir das superfícies.

Fillet – arredonda elementos nas arestas, pode remover ou adicionar material dependendo de que aresta se pretende arredondar.

Mass Properties – indica a massa de um ou um conjunto de corpos, com base no volume e no material dos sólidos.

Mirror – a função implementa uma versão espelhada de qualquer conjunto de objetos ou desenhos selecionados.

Project Curve – possibilita criar linhas em três dimensões usando dois *Sketches* em planos intercetantes.

Shell – remove todo o material a uma distância especificada de uma ou mais faces não selecionadas.

Sketch – base de qualquer modelo tridimensional, cria um esboço 2D ou 3D.

Surface Cut – remove material de um sólido com base numa ou mais superfícies.

Surface Extrude – adiciona uma superfície numa direção selecionada com base de um ou mais conjuntos de linhas.

Surface Offset – cria uma superfície paralela a uma superfície selecionada.

Surface Trim – remove parte de uma superfície delimitado por uma intercessão por uma outra superfície.

Siglas

3D – Tridimensional

AVS – *Angle of Vanishing Stability* (Ângulo de Estabilidade Nula) (°)

CAD – *Computer Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CAE – *Computer-Aided Engineering* (Engenharia Assistida por Computador)

CF/B – Centro de Flutuação

CFD – *Computational Fluid Dynamics* (Dinâmica dos Fluidos por Computacional)

CG/G – Centro de Gravidade

CNC – Controlo Numérico Computorizado

CQR – *Costal Quick Release* (Largada Rápida Costeira)

Cv – Cavalos (Unidade de potência, 1Cv corresponde a 745.7 Watt)

ER – Embarcação de Recreio

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FA – Fabrico Aditivo

FV – Fibra de Vidro

Gz – Braço endireitante (m)

LPS – *Limit of Positive Stability* (Limite de Estabilidade Positiva)

M – Metacentro

ME – Momento Endireitante (Kg.m)

PLA – *Polylactic acid* (Ácido Poliláctico)

RCD – *Recreational Craft Directive*

STL – *Standard Triangle Language* ou *Stereolithography* (Estereolitografia)

WA – *Walk Around*

Lista de Símbolos

C_D – coeficiente de arrasto

F_D – força de arrasto (N)

Fr_D – número de Froude volumétrico

g – aceleração gravítica (m/s²)

S – área de secção máxima do corpo transversal à direção da força (m²)

ν – viscosidade cinemática (m²/s)

V – velocidade linear (m/s)

V_D – volume deslocado de um fluido (m³)

u_t – velocidade de corte (m/s)

y – distância absoluta (m)

y^+ – coeficiente de medida da influência da viscosidade de uma superfície

ρ – massa volúmica (kg/m³)

τ_ω – tensão de corte (N/m²)

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Introdução

A presente dissertação faz parte de uma proposta da empresa Nautav/Riamar cujo tema é “Contribuição para a construção de uma Embarcação de Recreio”, tendo sido desenvolvida com o intuito de finalizar o curso do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica no ramo Produção, Conceção e Fabrico da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Esta tese desenrolou-se ao longo de um período de seis meses sob a orientação dos Professores Jorge Lino e Augusto Barata da Rocha e ainda a colaboração de Francisco Leite Calão, cofundador da empresa Nautav; Joana Ferreira dos Santos, estudante de Mestrado em Design Industrial e de Produto, da Universidade do Porto; e Vítor Carneiro, estudante de Programa Doutoral em Líderes para Indústrias Tecnológicas, da FEUP.

1.2 - Contextualização

Atualmente existe uma forte concorrência no mercado náutico, nomeadamente na construção de embarcações de recreio (ER), na qual novos modelos são fabricados anualmente, equipados com tecnologias inovadoras e *designs* atrativos. Implicando assim que qualquer empresa desta área que possua intenções de singrar neste mercado terá que introduzir novos modelos de forma periódica de modo a se manter competitiva e relevante na indústria.

1.3 - Riamar e a Nautav

A Riamar é uma empresa familiar fundada em 1964, por Manuel Alves Barbosa (figura 1), um antigo piloto de motonáutica, campeão Europeu em 1961/62, que decidiu criar e produzir embarcações em fibra de vidro. Dado que durante a década de 60 a utilização de fibras de vidro na navegação náutica era rara, originou-se assim o nascimento do primeiro estaleiro em Portugal a produzir embarcações deste material.

Durante esta época, as colónias portuguesas representavam um forte mercado, no entanto posteriormente com a fraca economia no pós-guerra e a revolução de 25 de abril de 1974, as embarcações de recreio passaram a ser consideradas um bem de luxo, resultando numa quebra quase total de vendas. Manuel Barbosa decidiu então iniciar a comercialização das suas embarcações no estrangeiro, construindo assim uma rede de comércio em diferentes países da Europa, como Espanha, Bélgica, Holanda, Alemanha e Inglaterra. Com esta decisão estratégica, a Riamar recuperou vendas e começou a dominar o mercado nacional e em exportação, com uma capacidade instalada de produção anual de 1200 barcos.

Nos anos iniciais da década de 1990, a empresa voltou a passar por uma crise devido à introdução de barcos americanos no mercado europeu, com um *design* mais vanguardista do que os seus modelos, levando a empresa a adotar uma nova estratégia produzindo apenas novos modelos para a pesca profissional.

A empresa esteve em declínio até 2012, momento em que Manuel Calão e Francisco Calão, genro e neto do fundador, criaram a marca Nautav, Lda. com o propósito de ressuscitar a empresa. Foi inaugurada uma fábrica em Ílhavo juntamente com a criação de uma rede de agentes espalhados pelo país, decisões estas que permitiram impulsionar o crescimento desta empresa até à presente data.

Em 2019 a empresa construiu novas instalações, para aumentar a sua capacidade de produção, possibilitando também a criação de novos projetos como o enquadramento nesta dissertação (Anónimo 2020).



Figura 1 Retrato de Manuel Alves Barbosa [1]

1.4 - Objetivos

A tese em questão encontra-se associada ao desenvolvimento de uma embarcação de recreio, desde a fase do projeto até à sua introdução no mercado. No entanto, devido ao reduzido período de tempo e prazos definidos, não era possível acompanhar o projeto na sua totalidade, sendo o foco desta dissertação a fase inicial do projeto.

No fluxograma abaixo (figura 2), é feita uma descrição de forma resumida das etapas deste projeto de construção de uma embarcação de recreio (ER), sendo que representado a azul as etapas acompanhadas durante a dissertação e a laranja as que se realizarão posteriormente.



Figura 2 Fluxograma das etapas da construção do modelo da ER

Os objetivos associados a esta tese por ordem cronológica são:

- Compreender e analisar a estrutura e categorização das embarcações de recreio;
- Com base nas restrições implementadas pela Nautav e as embarcações estudadas no *benchmarking*, realizar um *brainstorming* do *design* da embarcação;
- Construir duas versões de modelos digitais da embarcação - um casco tradicional e um segundo casco que inclui *steps* (versão *Performance*) - através do *software SOLIDWORKS*;
- Realizar uma análise das características dinâmicas e estáticas da embarcação.
- Criar os modelos digitais dos moldes e dos seus negativos;
- Impressão da ER e dos negativos do molde por fabrico aditivo;

1.5 - Motivação

A indústria marítima de barcos de recreio revela-se bastante vasta e competitiva, pelo que esta oportunidade de contribuir para o desenvolvimento de uma embarcação, representa um desafio único e uma mais valia para um estudante de engenharia.

Este tema foi um exemplo perfeito na medida em que comprova que a engenharia obriga a uma constante evolução e que o conhecimento é ilimitado.

É seguro dizer que o gosto pelo desenvolvimento do tema e a área em questão foram fulcrais para a motivação e trabalho contínuo no projeto, sendo que o mesmo permitiu ganhar experiência neste ramo, nomeadamente consolidar conhecimentos em novas áreas e obter uma maior perceção e espírito crítico do mundo náutico, assim como tudo o que funciona em redor do mesmo.

1.6 - Metodologia

Este subcapítulo apresenta os diversos métodos utilizados para execução dos objetivos previamente definidos. Para cumprir os mesmos foram adotadas as seguintes estratégias:

1 - Estado de Arte - De forma a obter o conhecimento relacionado com a indústria náutica é necessário identificar as principais características de embarcações e do fabrico das mesmas. É indispensável a recolha de dados e análise de informação, assim como uma seleção de artigos científicos, livros e artigos referentes à economia da indústria marítima e consequentemente relevantes, para este projeto;

2 - *Benchmarking* e *Brainstorming* – É fundamental saber escolher os diferentes componentes que mais se adequem a uma embarcação, para permitir a conceção de uma ER única. Numa primeira fase do projeto é importante considerar o *design* da embarcação, sendo que o mais relevante são os componentes da embarcação que dependem da estrutura do casco como o motor, a âncora, o *step*, os robaletes, etc.;

3 - Modelação – Utilizar o *software SOLIDWORKS* para construir as diferentes versões dos modelos digitais da embarcação. Utilizando estes modelos, criar os moldes e os respetivos negativos.

4 - Análise experimental – Utilizar novamente o *software SOLIDWORKS*, com o intuito de analisar a estabilidade da embarcação e realizar simulações de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) com a finalidade de prever o comportamento da embarcação no mar.

1.7 - Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos distintos:

Capítulo 1 – efetuou-se uma breve introdução da dissertação juntamente com um resumo e uma apresentação da empresa Nautav/Riamar. Neste capítulo é também feita uma descrição dos objetivos da dissertação, a metodologia utilizada e a motivação para a realização da tese.

Capítulo 2 – apresenta-se uma breve história acerca das embarcações de recreio e o estado económico atual do mercado náutico. Ainda no mesmo capítulo dispõe-se de uma listagem dos diferentes tipos e categorias de embarcação de recreio e uma análise de uma embarcação náutica, com um estudo pormenorizado acerca da utilização de *steps*. Este capítulo aborda também conceitos básicos da mecânica fluidos, necessários para compreender os resultados do Capítulo 5, na análise de estabilidade da embarcação.

Capítulo 3 – introduz-se o *benchmarking* de diferentes componentes e embarcações que serviram de base para este projeto, contendo igualmente as restrições indicadas pela Riamar referentes à embarcação alvo deste projeto.

Capítulo 4 – descreve-se o procedimento utilizado na criação do modelo digital em três dimensões, no qual foi utilizado o *software SOLIDWORKS*. Está presente neste capítulo a explicação das diferentes versões dos modelos, e a razão das modificações ocorridas na embarcação ao longo deste projeto.

Capítulo 5 – efetua-se uma análise estática e dinâmica das diferentes características mecânicas da embarcação construída no Capítulo 4, com o auxílio do *SOLIDWORKS*. Esta secção da dissertação, apresenta resultados de diversas simulações, e compara-as com resultados de outros trabalhos científicos.

Capítulo 6 – contém a conclusão da dissertação e perspetivas futuras para a evolução do projeto.

Finalmente apresentam-se as referências deste trabalho e Anexos Técnicos.

Capítulo 2 - Estado da arte

2.1 - Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma breve história global das embarcações de recreio, o mercado atual da indústria náutica em termos financeiros e comerciais, tipos de ER relevantes para este projeto, a estrutura de um barco e o comportamento do casco em diferentes águas.

2.2 - Evolução da utilização de embarcações de recreio

Segundo o Diário da República (Decreto Lei nº 122, 2004), a definição de embarcação de recreio é *“Embarcação de recreio, adiante designada ER, é todo o engenho ou aparelho, de qualquer natureza, com comprimento entre 2,5 m e 24 m, utilizado ou suscetível de ser utilizado como meio de deslocação na água, aplicado nos desportos náuticos ou em simples lazer, sem fins lucrativos.”*.

A criação deste tipo de embarcações iniciou-se há centenas de anos, sendo que um dos primeiros registos de utilização de um barco para uso recreativo data do início do século XVII na Holanda, altura em que foram criados barcos para fins desportivos e de lazer, para uso de nobres e reis com vista a festejar o retorno de grandes navios de transporte de especiarias no reino (Kobbé, Gustav 1914). Todavia, as vendas das embarcações de recreio começaram a ter algum sucesso comercial apenas a partir de meados do séc. XIX, com o início das corridas náuticas na Europa e Estados Unidos (Boats, Formula 2018).

Estas embarcações começaram a ser vendidas em grande volume com a descoberta da fibra de vidro (1932), no entanto o surgimento da segunda guerra mundial complicou o desenvolvimento deste material em embarcações de recreio (ER). Só após o fim da guerra houve uma grande evolução desta indústria, sendo que a maior parte dos barcos vendidos a partir da segunda metade da década de 1950, já eram em fibra de vidro, diminuindo a utilização de madeira na sua construção. O começo dos desportos náuticos de alta competição ajudou a popularizar este material, devido às vantagens que o mesmo apresenta tornando o barco mais leve e barato e consequentemente mais competitivo (Mitchell, Steve 1999).

Historicamente, Portugal sempre foi mundialmente reconhecido como um país com ligações fortes à náutica, desde o tempo dos descobrimentos, época essa que permitiu uma revolução da indústria marítima, até aos dias de hoje. No entanto este setor, devido à crise financeira causada pela “bolha” imobiliária de 2008, sofreu uma quebra considerável nas receitas, nomeadamente, provenientes de vendas, manutenção/reparação e construção de embarcações náuticas (figura 3). Só a partir de 2014 surgiu uma nova tendência de crescimento anual nos volumes de vendas (Araújo, Pedro 2017).



Figura 3 Evolução do volume de negócios de construção, reparação e manutenção naval de 2001 a 2015 [2]

Em 2020, devido ao surto SARS-CoV-2, houve um aumento na procura de formas de isolamento em contexto recreativo, o que provocou um crescimento na procura de embarcações de recreio (Modi, Marjorie. 2020). É neste enquadramento de crescimento desta indústria que surge esta dissertação para explorar a viabilidade de construção de uma embarcação de recreio, a pedido da empresa Nautav, que pretende diversificar a sua oferta para se tornar mais competitiva, num mercado que prima pela continua introdução de novos produtos com *design* cada vez mais arrojados.

2.3 - Categorização de Embarcação de Recreio

De acordo com a Direção-geral de Recurso Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM) e o Decreto-Lei nº 93/2019, as ER são classificadas segundo:

- Categoria de conceção;
- Zona de navegação;
- Tipo de casco;
- Sistema de propulsão.

Analisando agora cada uma destas classificações, e no que diz respeito à categoria de conceção, temos:

- **Categoria de conceção A** – ER considerada adequada para ventos que podem exceder a força 8 na escala de Beaufort e vagas que excedam uma altura indicativa de 4 m;
- **Categoria de conceção B** – ER considerada adequada para ventos de força igual ou inferior a 8 na escala de Beaufort e vagas com uma altura indicativa igual ou inferior a 4 m;

- **Categoria de concepção C** – ER considerada adequada para ventos de força igual ou inferior a 6 na escala de Beaufort e vagas com uma altura indicativa igual ou inferior a 2 m;
- **Categoria de concepção D** – ER considerada adequada para ventos de força igual ou inferior a 4 na escala de Beaufort e vagas com uma altura indicativa igual ou inferior a 0,3 m, com vagas ocasionais com uma altura máxima de 0,5 m.

A classificação quanto à zona de navegação é:

- **Tipo 1** – embarcações para navegação oceânica, ER de categoria de concepção A, concebidas e adequadas para navegar sem limite de área;
- **Tipo 2** - embarcações para navegação ao largo, ER de categoria de concepção A ou B, concebidas e adequadas para navegar até 200 milhas da costa;
- **Tipo 3** - embarcações para navegação costeira, ER de categoria de concepção A, B ou C, concebidas e adequadas para navegar até uma distância não superior a 40 milhas da costa;
- **Tipo 4** - embarcações para navegação costeira restrita, ER de categoria de concepção A, B ou C, concebidas e adequadas para navegar até 25 milhas de um qualquer porto de abrigo e até 6 milhas da costa;
- **Tipo 5** - embarcações para navegação em águas abrigadas, ER de categoria de concepção A, B, C ou D, concebidas e adequadas para navegar em águas abrigadas ou águas interiores num raio de 3 milhas de um qualquer porto de abrigo.

Quanto ao tipo de casco podem ser classificadas em:

- **Abertas** – ER de boca aberta (Bote ou Canoa);
- **Parcialmente abertas** – ER de boca aberta com cobertura parcial, fixa ou amovível;
- **Fechadas** – ER com cobertura estrutural completa que permita a estanquidade à entrada da água;
- **Com convés** – ER que dispõem de um pavimento estrutural completo com cobertura protegida por superestruturas, rufos ou gaiutas.

Quanto ao sistema de propulsão, classificam-se da seguinte forma:

- **A remos** – ER em que os remos são o principal meio de propulsão;
- **À vela** – ER em que as velas são o meio de propulsão principal;
- **A motor** – ER em que os motores são o meio de propulsão principal;
- **À vela e a motor** – ER cujo meio de propulsão principal pode ser indistintamente as velas e/ou os motores.

A embarcação que se pretende fabricar para este projeto será da categoria C devido à sua altura inferior a 2 m, do Tipo 3 ou 4, dependente do tamanho do tanque de combustível. O tipo de casco é com convés e com sistema de propulsão a motor.

2.4 - Estrutura de uma embarcação de recreio

A embarcação de recreio planeada para este projeto está separada em duas partes principais, o casco e o convés (figura 4), pelo que cada uma destas partes é composta por diversos componentes que estão representados nas figuras 5 e 6.

O casco e o convés são unidos pelo verdugo (figura 4), sendo este responsável pela separação das duas partes: o convés (parte superior) e o casco (parte inferior), normalmente unida por uma faixa de borracha, madeira ou de aço inox, e tem com função absorver choques entre embarcações ou da embarcação com o cais/molhe. Sendo a ligação entre o convés e o casco, tem de ser unida de forma a resultar numa estrutura resistente à fadiga e ao choque.

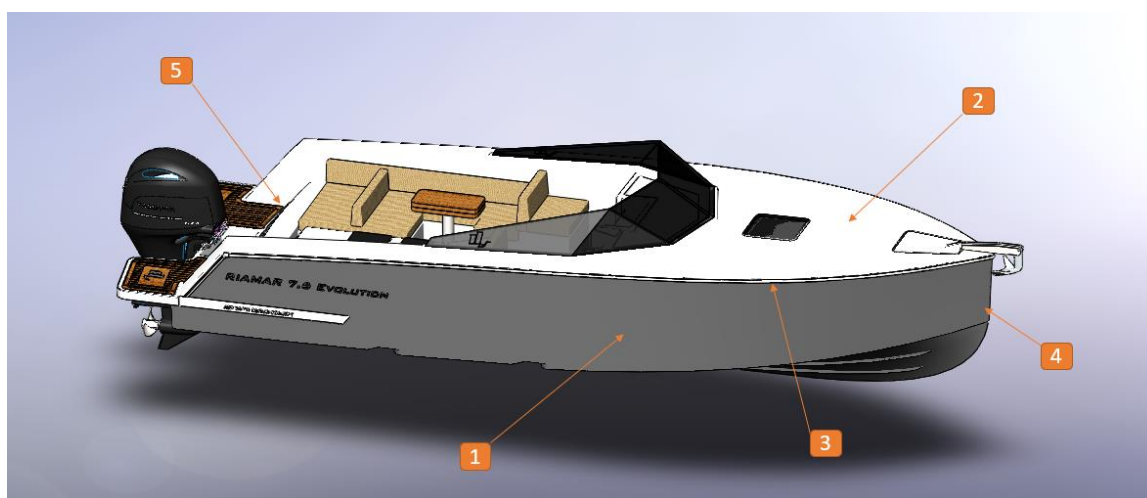


Figura 4 Embarcação de Recreio com os principais componentes: (1) casco, (2) convés, (3) verdugo, (4) proa e (5) popa

O casco é a principal estrutura da maioria das embarcações marítimas, permitindo ao barco flutuar e suportar as forças resultantes do peso da restante estrutura e tripulantes. O próprio casco pode ser dividido em diferentes secções, as quais estão identificadas na figura 5.

Num casco otimizado, durante a sua utilização é expectável a mínima resistência do fluido em que navega, a qual está dependente da forma, posição, tamanho e estabilidade da embarcação.

Na eventualidade de certas embarcações o casco ser submetido a uma velocidade superior à sua velocidade de deslocamento, a proa (extremidade anterior da embarcação no sentido da marcha) eleva-se acima da linha de água e consequentemente a carena (invólucro do casco em contacto com a água) destas embarcações nomeia-se semi-planante. (Sorensen, Eric 2019)

Um casco de uma embarcação costeira que enfrente ondas, necessita de ter a capacidade de as cortar e conseguir dissipar a energia da onda ao longo do casco, de forma a resultar numa melhor hidrodinâmica provocada pela minimização da interferência do atrito (Sulistyawati, Yanuar *et al.*, 2020). Como tal, uma embarcação que tem como principal localização de utilização o litoral, tem de ter um casco com um V acentuado. Já para uma embarcação que navega maioritariamente em rios e lagos, não existe a mesma necessidade de possuir um casco cuja carena tenha um forte V, invés é vantajoso possuir uma carena planante ou semi-planante (Ventura, Manuel 2006).

Um casco com a forma em V tem uma desvantagem, visto que apesar de este formato facilitar a navegação no oceano, dificulta a sua travessia em qualquer zona marítima, pois este *design* obriga a uma maior superfície submersa implicando consequentemente uma maior força de arrasto proveniente da água necessitando deste modo de uma maior potência para o barco se deslocar.

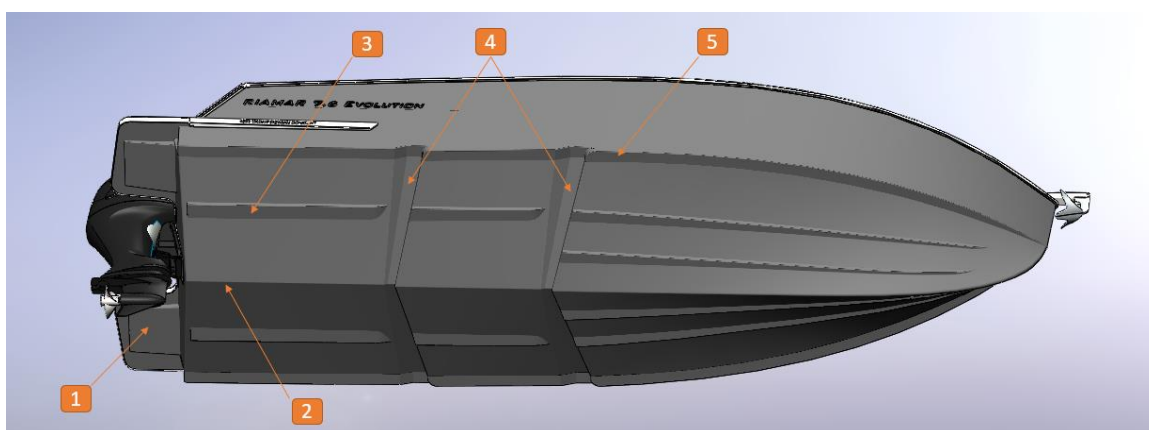


Figura 5 Vista inferior do casco de uma ER com robaletes: (1) plataforma de ré, (2) quilha, (3) robalete, (4) step e (5) chine

O convés (figura 6) é a cobertura permanente sobre o casco, que para além da proteção contra os elementos exteriores, também fornece um reforço estrutural ao casco, permitindo resistir às forças de compressão provocadas pela água. Em barcos de recreio o convés é zona de convívio, sendo desta forma importante que seja tomada uma maior atenção a este elemento. É entre o casco e o convés que se localizam as cabines interiores, local onde os passageiros repousam.

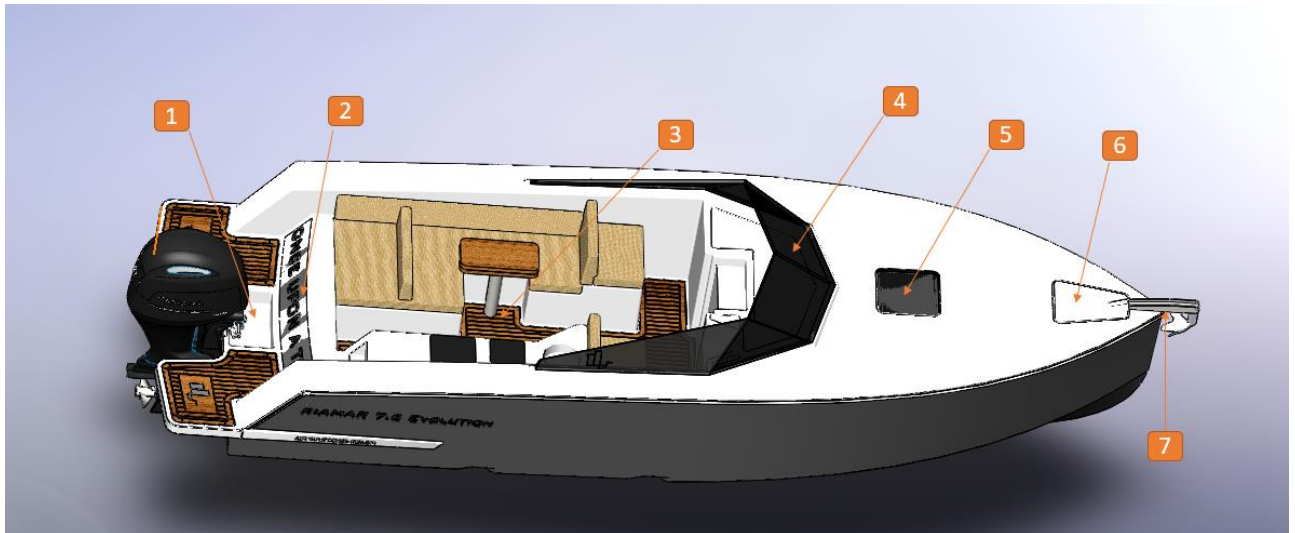


Figura 6 Vista de topo do convés de uma ER: (1) poço do motor, (2) painel de popa, (3) poço, (4) para-brisas, (5) albói, (6) poço da âncora e (7) bow roller

2.5 - Step

O uso do *step* transversal é uma estratégia recente em embarcações de recreio não competitivo, com o intuito de melhorar as características hidrodinâmicas de uma embarcação. Para este propósito é feito uma análise de estudos acerca deste tema, de forma a concluir qual o tipo de *step* que contribui de forma positiva para a embarcação desta tese.

2.5.1 - O que é um *step*

O *step* (figura 7) é uma saliência longitudinal que percorre o casco de *chine* a *chine*, com o objetivo de criar uma zona de baixa pressão na cavidade com o propósito de conseguir absorver ar vindo das entradas laterais, obrigando à criação de uma “almofada” de ar nesta zona. Esta “almofada” diminui as forças de arrasto que a água inflige no casco (Rudow, Lenny 2012).



Figura 7 Exemplo de um *step* da embarcação Axopar 28

As vantagens da utilização desta tecnologia consistem numa redução das forças de arrasto e de atrito, resultando numa maior capacidade da embarcação em atingir velocidades superiores comparativamente a uma embarcação sem *step* e obter uma melhor eficiência no consumo do combustível.

No entanto, como esta secção do casco não está em contacto com a água, devido à “almofada” de ar criada pelo *step*, a embarcação perde estabilidade podendo prejudicar a sua integridade estrutural. O uso do *step* provoca efeitos negativos, sendo estes uma viragem mais instável, uma diferente mudança de equilíbrio da embarcação e alguns motores poderem sofrer um sobreaquecimento por dificuldade em aceder à água, que serve de meio de arrefecimento, devido à “almofada” de ar (Hendricks, Jim 2015).

Em suma, o *step* proporciona vantagens relevantes para quem prefira velocidade a estabilidade, mas para os clientes que preferem uma navegação mais previsível e segura, a tradicional forma em V é a opção mais indicada (Rudow, Lenny 2012).

2.5.2 - Breve história do *step*

O *step* apareceu pela primeira vez em 1910, introduzidos por Garfield Wood e Christopher Columbus Smith em barcos de alta competição (figura 8). No entanto a sua utilização causava instabilidade na embarcação e tornava a sua navegação imprevisível, implicando que os *steps* fossem raramente utilizados (Sorensen, Eric 2017). Em termos de geometria, os primeiros *steps* eram cavidades retas (figura 9) cujos *designs* são menos eficientes do que os *steps* atuais.



Figura 8 Vista de frente da embarcação Ventnor 18 E-Class [3]



Figura 9 Step de um barco de corrida de 1932 (Ventnor-16 E-Class) [3]

Com o avanço da tecnologia e do *design* dos cascos, é possível combater as desvantagens proporcionadas pelo *step*, de modo que desde o início da década de 2010 com novos estudos e análises tornaram o *step* novamente utilizável. Apesar disto, é ainda necessário um estudo aprofundado para cada casco para garantir segurança e controlo (Rudow, Lenny 2012).

2.5.3 - Análise de cascos com diferentes geometrias de *steps*

Uma análise numérica e experimental é imprescindível para concluir se o uso de um ou mais *steps* será vantajoso e qual o *design* associado que proporciona um melhor resultado.

Um dos métodos mais simplificados para descobrir a resistência de um casco ao atrito é o método empírico Holtrop-Mennen (1984), que utiliza a principal dimensão de um casco para calcular a sua resistência e é utilizado em diversos *softwares* CAD próprios para *design* de embarcações marítimas. Recentemente, com o desenvolvimento da capacidade dos computadores, um novo método numérico criado por Birk e Harrues (2003) substituiu o método Holtrop-Mennen, caracterizando-se por ser consistente e preciso e só superado por um teste de laboratório utilizando um tanque de ondas e um protótipo, sendo atualmente o método presente em muitos *softwares* CFD.

Realizaram-se diferentes simulações com embarcações do tipo Fridsma (tabela 1) com vários tipos de *steps*, (Najafi, Amin *et al.* 2019) utilizando um *software* de simulação CFD avançado. Foram testados cinco cascos do mesmo tipo com diferentes números e geometrias de *steps* transversais, onde para cada um destes cascos simulou-se três velocidades distintas, sendo estas 3.08 m/s, 5.14 m/s e 8.23 m/s. Utilizou-se 8.23 m/s como velocidade de referência pois está associada à velocidade de *planing* testada numa embarcação do tipo Fridsma sem *step* (figura 10).

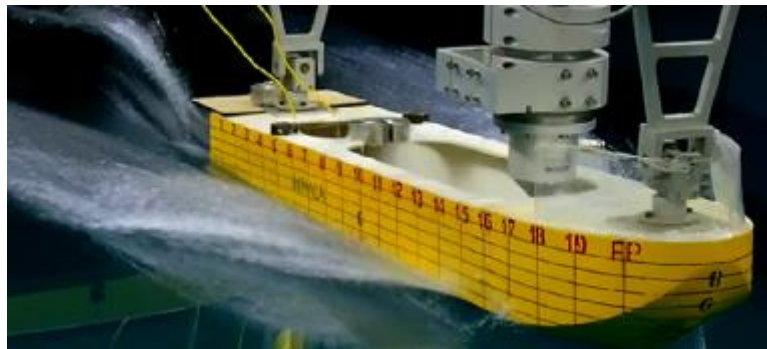


Figura 10 Teste a embarcação sem *step* de forma a obter a velocidade de *planing* [4]

Tabela 1 Parâmetros e respetivos valores de uma embarcação do tipo Fridsma [4]

Parâmetro	Valor (Fridsma)
Comprimento (m)	2.5
Largura (m)	0.5
Comprimento/Largura	5
Popa abaixo da linha de água (m)	0.113
Centro de gravidade longitudinal (m)	0.9
Centro de gravidade transversal (m)	0.091
Ângulo de inclinação longitudinal (°)	1.26
Ângulo do "V" (°)	20

O coeficiente de medida da influência da viscosidade de uma superfície, y^+ , permite saber se a viscosidade na região da parede do casco afeta a tensão de corte, o que acontece se o valor de y^+ for inferior a 50, representado a azul-escuro na figura 11. Este coeficiente também permite saber o caudal ideal na parede da embarcação numa simulação CFD, sendo aceitáveis valores entre 100 e 150 (Yi Jiang *et al.* 2016).

Os valores de y^+ podem ser obtidos através da equação:

$$y^+ = \frac{yu_t}{\nu} \quad (1)$$

Em que, y é distância absoluta (m), u_t é a velocidade de corte (m/s) e ν é a viscosidade cinemática (m²/s). Para se obter u_t , utiliza-se a seguinte equação:

$$u_t = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (2)$$

Sendo ρ a massa volúmica (kg/m³) e τ_w a tensão de corte (N/m²)

As três primeiras simulações realizadas no casco sem *step*, têm como resultado a figura 11 e com base na gama de valores de y^+ , pode-se utilizar estas velocidades como parâmetros para a simulação nos cascos com os *steps*.

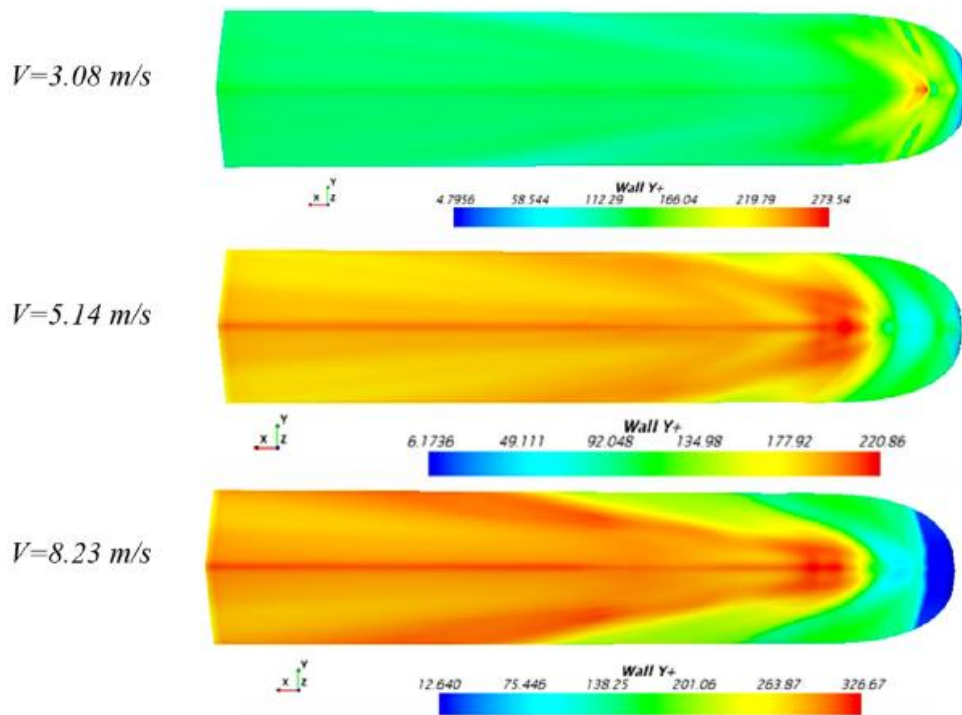


Figura 11 Resultado da simulação das três velocidades do casco sem *step* [4]

Os modelos que possuem os *steps* testados estão representados na figura 12.

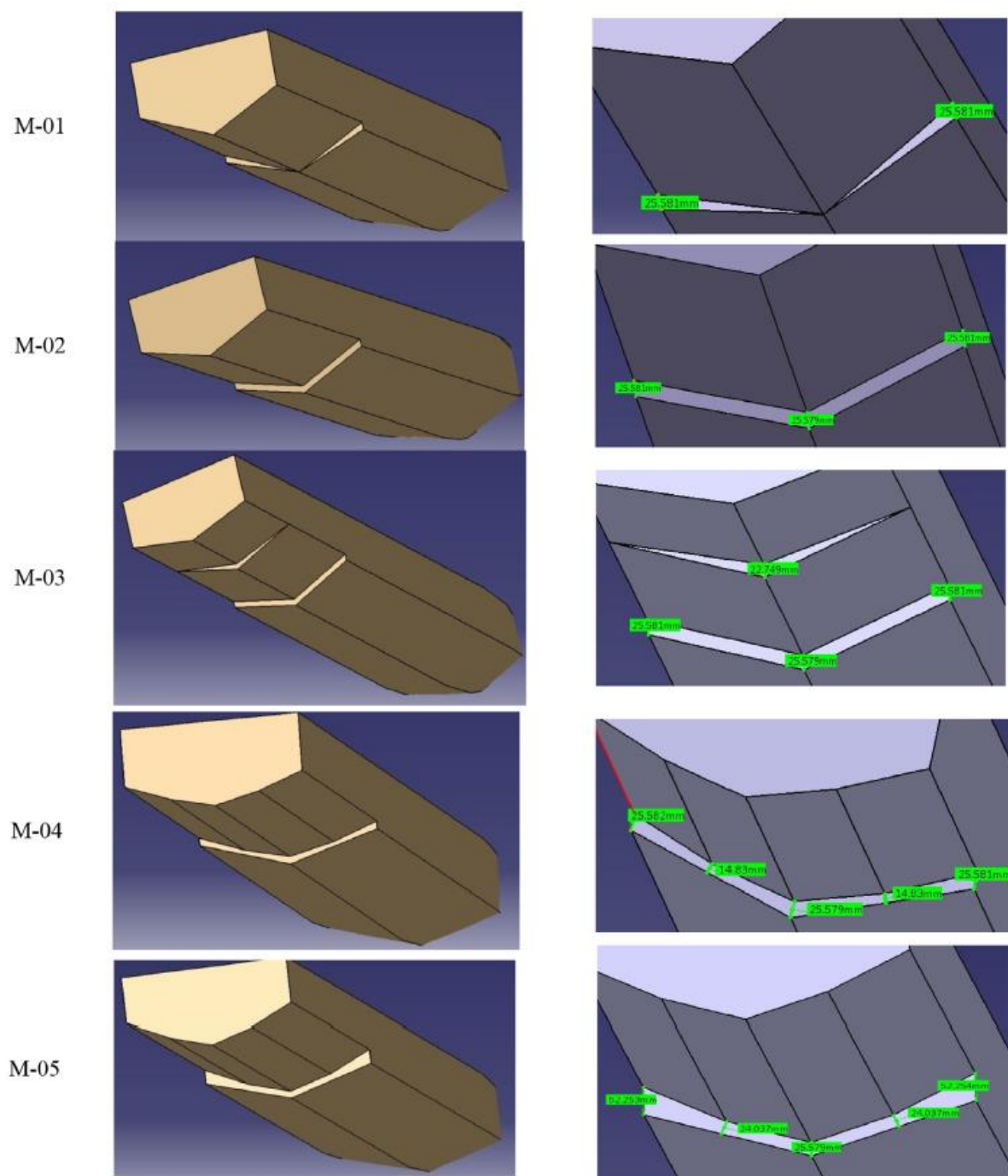


Figura 12 Modelos dos steps utilizados nas simulações [4]

O resultado das simulações para a velocidade de 8.23 m/s é apresentado na figura 13 e na tabela 2.

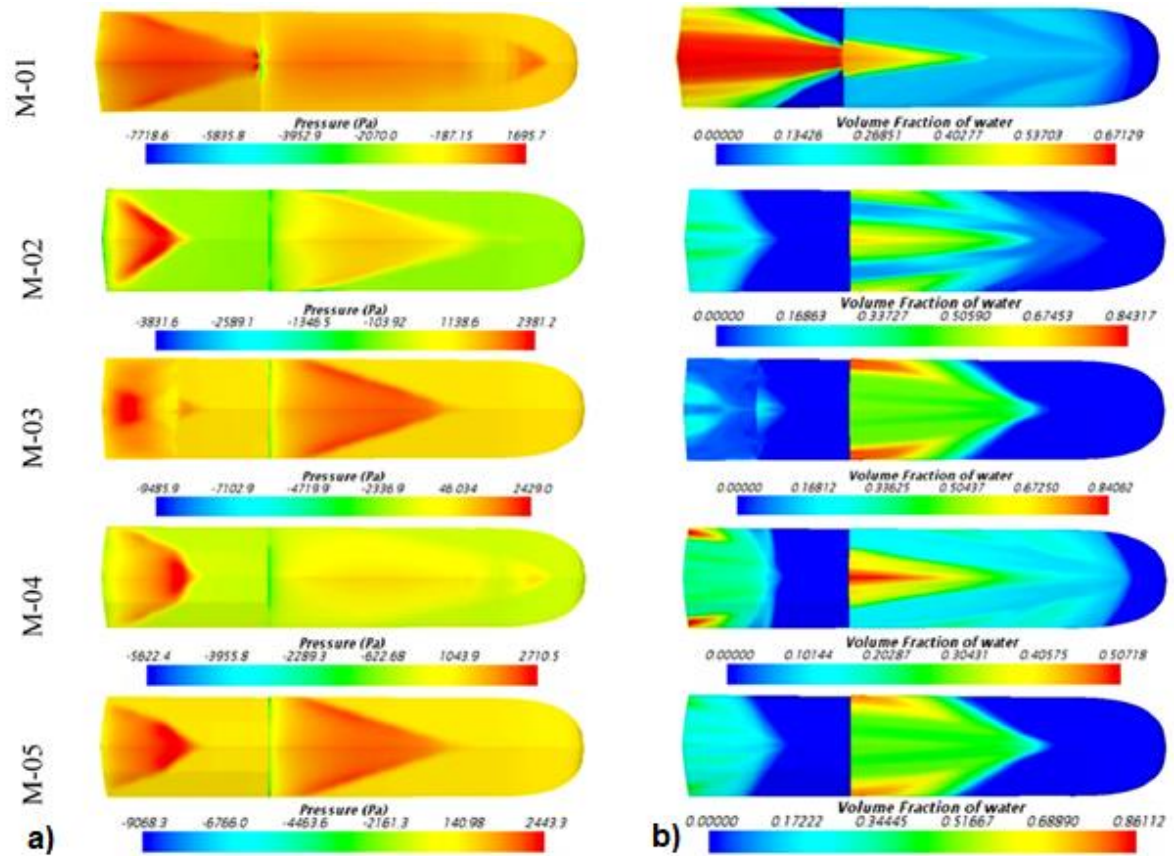


Figura 13 Resultado das simulações dos cinco modelos ($V=8.23$ m/s), a) em pressão b) em fração de volume de água [4]

Procura-se num *step* a retenção de um baixo valor de percentagem de volume de água, para produzir a “almofada” de ar discutida previamente.

O modelo M-03 e o M-05 são os que apresentam o menor volume de água na carena, concluindo-se assim que estes são os dois modelos de *step* mais eficazes.

Com os resultados numéricos foi criado uma tabela 2 (Najafi, Amin *et al.* 2019) com os detalhes da força de arrasto e a divisão entre a força de sustentação e arrasto (L/D).

Tabela 2 Detalhes sobre a força de arrasto (*Total drag*) e o coeficiente entre a força de sustentação e arrasto (L/D) dos diferentes cascos simulados [4]

Velocity m/s (Kn)	Without step		M-01		M-02		M-03		M-04		M-05	
	Total drag (N)	L/D	Total drag (N)	L/D	Total drag (N)	L/D	Total drag (N)	L/D	Total drag (N)	L/D	Total drag (N)	L/D
2.06 (4)	34.20	13.97	37.69	12.71	37.89	12.63	38.09	12.11	37.15	12.71	33.23	13.65
3.09 (6)	45.21	10.59	50.00	9.57	49.20	9.74	49.73	9.62	48.27	9.91	53.11	9.03
4.12 (8)	51.46	9.72	53.07	9.01	51.71	9.28	53.70	8.92	50.77	9.42	55.92	8.54
5.14 (10)	62.22	8.44	58.62	8.14	50.88	9.41	52.86	9.07	52.03	9.20	53.69	8.00
6.17 (12)	–	–	66.20	7.23	55.18	8.69	58.12	8.01	54.11	8.82	59.80	8.01
7.20 (14)	70.34	6.94	67.03	7.13	57.57	8.30	63.59	7.54	57.15	8.42	69.20	6.91
8.23 (16)	78.60	6.01	71.29	6.72	61.94	7.70	65.44	7.31	56.15	8.52	72.61	6.58
9.26 (18)	–	–	76.64	6.22	62.47	7.66	65.00	7.37	58.06	8.23	78.98	6.05

Com base nos valores da tabela 2, o modelo que apresenta em média uma menor força de arrasto é o M-04, revelando um rácio entre o valor de sustentação e de arrasto superior aos outros modelos. É relevante indicar que o modelo M-03 demonstra valores inferiores de arrasto aos modelos sem *step*, M-01, M-02 e M-05 a partir da velocidade de 12 nós.

Numa última análise à tabela 2 é possível verificar que os valores da força de arrasto dos modelos do *step* divergem mais com o aumento da velocidade, provando que a eficácia da utilização do *step* é dependente da velocidade da embarcação.

Para a embarcação deste projeto, procura-se um *step* que tenha um baixo valor de fração volúmica de água como discutido, que é o caso do modelo M-03 e M-05 na figura 13 e possua também baixos valores de força de arrasto, com base nestes critérios o *design* de *step* mais eficiente é o do casco M-03

2.6 - Robaletes

Os robaletes (figura 14) são guias com *design* equiparáveis a “dentes” que variam de tamanho consoante a dimensão da embarcação, mas por norma estendem-se da popa e vão reduzindo de dimensões à medida que se aproximam da proa.



Figura 14 Robaletes da embarcação Riamar 620 WA

Têm duas funções principais, gerar a impulsão que ajuda o barco a planar facilitando assim a sua navegação, como representado na figura 15, e desviar a água que embate no casco, resultando na redução da força de arrasto, impedindo que os passageiros sejam molhados.

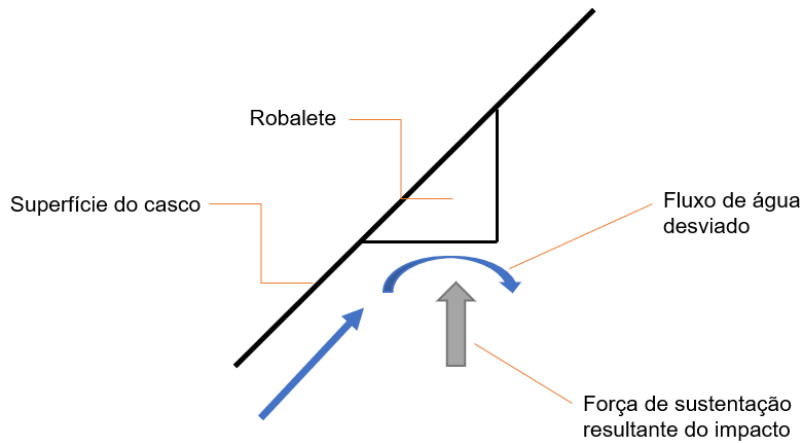


Figura 15 Representação da criação de forças de sustentação provocadas pelo impacto do fluxo de água no robalete

No artigo de Seo, Jeonghwa *et al.* (2016), foi realizado um ensaio experimental de uma embarcação que possui três robaletes de dimensões diferentes, em que a largura é de 22.5% do calado (distância entre o fundo da quilha e a linha de água), as três distâncias distintas, a partir da linha de água, são de 8%, 24% e 40% do calado, como demonstra a figura 16. Neste artigo foi avaliado a melhor posição do robalete em relação à linha de água.

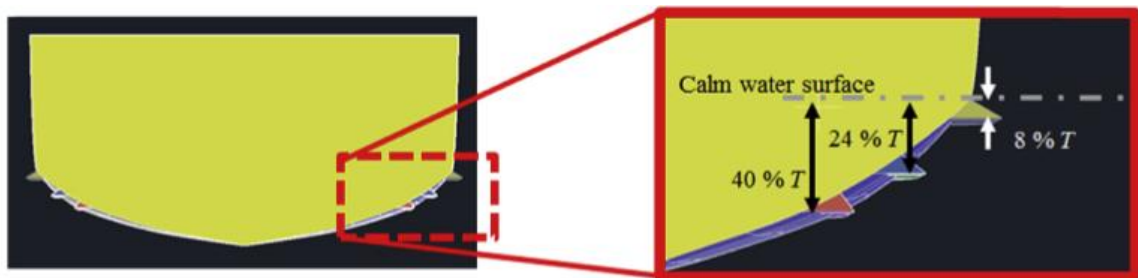


Figura 16 Esquema das distâncias dos robaletes, sujeitos a teste no artigo [5]

Na figura 17, apresenta um gráfico da força de arrasto em função do número de Froude volumétrico, sendo este calculado pela seguinte equação:

$$Fr_V = \frac{V \text{ (m/s)}}{\sqrt{g \text{ (m/s}^2\text{)} \times V_D^{\frac{1}{3}} \text{ (m}^3\text{)}}} \quad (3)$$

Sendo o Fr_v diretamente proporcional à velocidade, a figura 17 demonstra que com o aumento da velocidade, provoca um aumento da força de arrasto. Com base nos resultados obtidos no artigo de Seo, Jeonghwa *et al.*(2016), a curva que se encontra com menores valores de força de arrasto é a que pertence ao robaete com altura de 24% do calado, sendo esta a altura ideal para a localização de um robaete. A curva diretamente acima é a de 8% do calado, o que significa que esta seja a segunda melhor posição em altura do robaete.

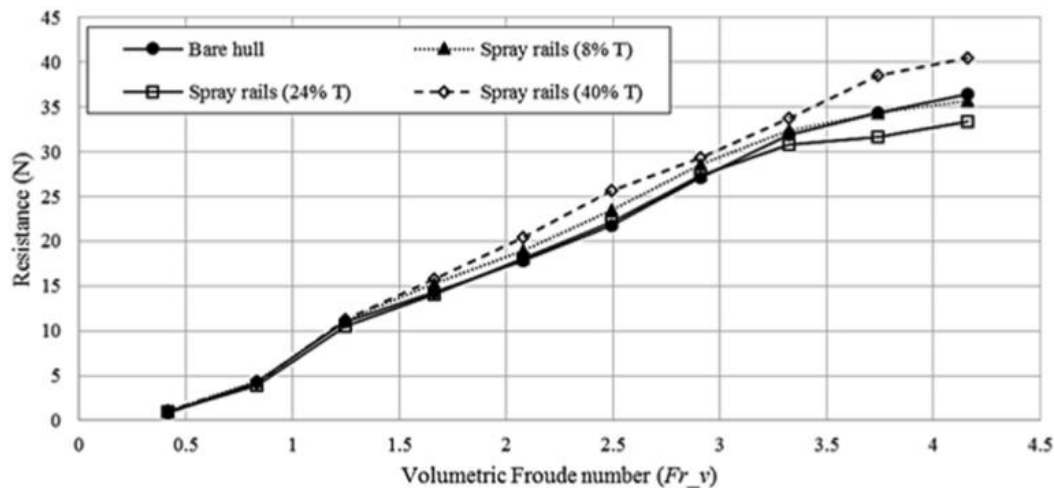


Figura 17 Gráfico dos resultados do ensaio do artigo [5]

2.7 - Sistema de ancoragem

2.7.1 - Sistema de molinete vertical e horizontal de ancoragem

Existem diversos tipos de sistemas de ancoramento em embarcações ligeiras, sendo a mais comum o sistema de molinete de ancoragem, representando-se como um sistema composto por uma âncora, um molinete e uma corrente que conecta a âncora ao molinete. Este sistema tem dois tipos de ancoragem, o vertical e o horizontal, como demonstra a figura 18.

A versão vertical ocupa menos espaço na proa devido a que grande parte do sistema está escondido no interior do convés, protegendo-se contra o ambiente húmido, de modo que faz com que esta versão seja a mais popular. O modelo horizontal tem uma instalação mais facilitada relativamente ao vertical e é uma opção mais adequada para sistemas com molinete manual, no entanto tem a desvantagem de não ter a capacidade de recolher a corrente com ângulos não centrados e, como tal, o sistema tem de estar constantemente alinhado (Burden, Tom 2019). Para este projeto o sistema selecionado é o sistema de molinete vertical de ancoragem, devido à intenção de manter o molinete escondido.

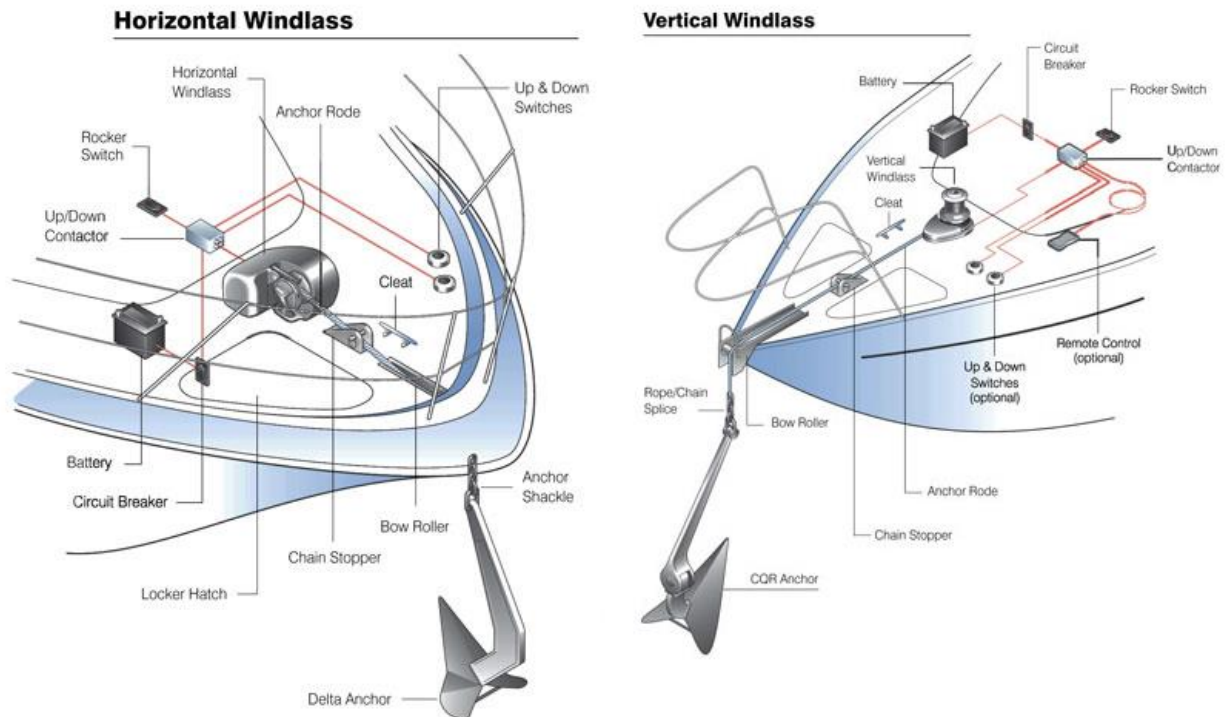


Figura 18 Exemplificação de um sistema horizontal e vertical de molinete [6]

2.7.2 - Âncoras

Existem diversos tipos de âncoras para o sistema de ancoramento vertical, sendo que o que distingue a sua seleção são parâmetros como o tamanho da embarcação, o tipo de solo no fundo da água, as condições do mar e a potência do molinete. Certas embarcações transportam âncoras distintas, de forma a prevenir diferentes situações adversas.

Três materiais destacam-se no fabrico destas âncoras, sendo estes o aço galvanizado, o aço inox (AISI 316L) e uma liga leve de alumínio-magnésio. A maioria das embarcações utiliza o material menos dispendioso, sendo este o aço galvanizado, com a vantagem adicional de possuir uma tensão de rotura superior comparativamente às restantes escolhas. Em barcos mais competitivos, em que o seu peso na proa é mais relevante, é geralmente selecionada a âncora na liga de não ferrosa (Anónimo 2018).

As âncoras de embarcações ligeiras podem ser classificadas em dois tipos, as *Plow/Plough/Scoop* e de *Fluke*.

2.7.2.1 - Âncora *Fluke/Danforth*

O tipo de âncora mais utilizado em sistemas de ancoramento manual de embarcações pequenas (inferior a 6.5 metros) é a *fluke anchor*, também conhecida como âncora *Danforth*, (figura 19). São âncoras leves, fáceis de recolher e têm a capacidade de resistir particularmente bem a forças de arrasto em areia e lama devido ao seu *design* de pata dupla, contudo têm dificuldade em unhar em superfícies rochosas e musgosas. Esta âncora possui a vantagem de ter as patas desdobráveis, que diminui o seu espaço na embarcação e facilita o seu arrumo.



Figura 19 Âncora do tipo *Danforth* de 7 kg em aço inox AISI 316L [7]

2.7.2.2 - Âncora do tipo *Plow/Scoop*

As âncoras alternativas que se utilizam em embarcações pequenas, denominam-se por *Plow/Plough/Scoop anchors*, sendo que um dos detalhes que as realçam é a sua eficácia no fundear em quase todo o tipo de solos. No caso da ocorrência de correntes fortes ou mudança de direção, estas âncoras comumente reposicionam-se de forma correta.

Como possuem uma haste curva, é facilitado o seu lançamento no mar a partir da *Bow Roller* da proa. O *design* mais moderno inclui um aro que facilita a direção e posição da sua descida.

A desvantagem deste tipo de âncoras comparativamente às *Danforth*, consiste no facto de ser necessário um maior esforço para as suspender e um espaço superior para as armazenar visto que não têm a capacidade de recolher as patas.

Para embarcações com sistema de ancoramento com molinete automático, as âncoras *Plow/Scoop* são recomendadas juntamente com a inclusão de um *Bow Roller* na proa (Figura 20).



Figura 20 Exemplo de uma âncora do tipo *Plow/Scoop* instalada num *Bow Roller*. [8]

2.8 - Processo de manufatura

Antes da fibra de vidro (FV) ser introduzida na indústria náutica, a construção de um barco iniciava-se com a construção da quilha e das cavernas (figura 21), onde após esta fase, eram aplicadas as placas de madeira ou as chapas de aço que formavam o casco.



Figura 21 Quilha e cavernas de uma embarcação a ser construída [9]

A fibra de vidro mudou a maneira como eram construídos os barcos de recreio desde meados de 1950 (Mitchell, Steve 1999), pelo que neste próximo subcapítulo apresenta-se as diferentes fases de construção de uma embarcação moderna.

2.8.1 - Construção dos moldes

A construção dos moldes inicia-se após a conclusão da fase de projeto, sendo seguidamente fabricado um protótipo da embarcação com as dimensões à escala real, que pode ser obtido por fabrico manual ou utilizando uma máquina CNC de cinco eixos (figura 22), sendo este o processo selecionado para o fabrico do molde da embarcação associada a este projeto. Posteriormente, introduz-se camadas intercalares de fibra de vidro e de resina sob o casco e o convés do protótipo, que resulta num molde com as cavidades necessárias para produzir a embarcação. Contudo, o compósito é flexível, logo é necessário adicionar uma estrutura de metal exterior ao molde, para impedir deformação elástica que poderá ocorrer com o uso.



Figura 22 Máquina CNC de cinco eixos adequado para trabalhar em materiais pouco duros, na imagem o poliestireno expandido [10]

2.8.2 - Fabrico da embarcação

Para iniciar o processo de manufatura da embarcação, é primeiro aplicado massa nos cantos danificados do molde, que poderão existir devido ao manuseamento. Com os cantos reparados, este é revestido com um desmoldante. De seguida, é espalhado um *gelcoat* (produto utilizado para garantir, em superfícies à base de fibra de vidro, uma melhor proteção à humidade e fornecer um acabamento polido) por toda a superfície do mesmo (figura 23). Após a cura do *gelcoat*, que pode durar uma a duas horas, dependendo da temperatura ambiente, inicia-se o processo de laminação da fibra de vidro, é adicionado as primeiras três camadas de fibra de vidro juntamente com a resina e espera-se um tempo de cura parcial sendo então acrescentadas mais quatro camadas do mesmo material (figura 23), por fim, realiza-se a cura final de um ou dois dias.



Figura 23 a) molde após a aplicação do *gel coat* [11], e b) processo de laminação da FV [12]

Concluindo a laminagem e a sua cura, segue-se o processo de desmoldagem. Neste procedimento, os trabalhadores com o auxílio de gruas, separam a peça do molde (figura 22), e se necessário a peça é maquinada para conferir determinados acabamentos e para instalação de diferentes componentes da embarcação.

É instalado a cablagem, os interiores e os móveis, em que de seguida o convés e o casco são unidos (figura 22) com adição do verdugo, sendo posteriormente adicionado os componentes náuticos finais à embarcação.

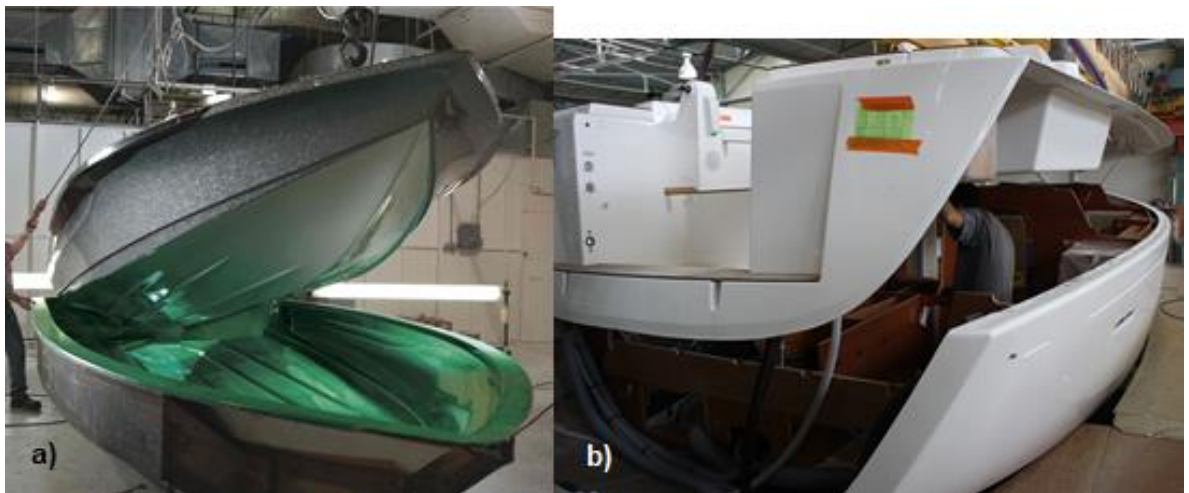


Figura 24 a) desmoldagem da embarcação [13], e b) união entre o casco e o convés.[14]

2.9 - Conceitos básicos de estabilidade

2.9.1 - Deslocamento, Centro de Gravidade e Centro de Flutuação

Para compreender as análises realizadas à embarcação, é necessário compreender os diferentes conceitos relacionados com a estabilidade longitudinal e transversal de uma embarcação.

Em equilíbrio hidrostático, a massa (kg) de um fluido deslocado por uma embarcação é conhecida pelo termo deslocamento (kg). A água deslocada deste modo, reage com uma força de impulsão, de valor igual à força do peso da embarcação. No entanto estas forças são aplicadas em pontos diferentes.

O centro de gravidade pode ser definido como:

“Se um corpo estiver sujeito a um campo gravítico, terrestre ou não, ele estará sujeito a forças de atração gravítica (...) Designa-se centro de gravidade ou baricentro ao centroide da distribuição de pesos do sistema de partículas.” (Henriques, António 2002), ou seja, o centro de gravidade (CG) de um corpo com massa é a localização onde as forças criadas pelo campo gravítico se manifestam.

Segundo a lei de Arquimedes:

“Um corpo imerso num fluido sofre da parte deste uma impulsão vertical igual ao peso do volume de fluido deslocado. Um corpo flutuante desloca uma quantidade de fluido de peso igual ao seu próprio peso.” (Oliveira, Luís 2013), ou seja, a força que permite a um corpo flutuar está dependente da quantidade de volume deslocado no fluido, em que existe um equilíbrio entre esta força e a força de gravidade, sendo o centro de flutuação (CF) o ponto onde estas forças se manifestam

A localização deste ponto poderá estar acima do centro de gravidade (CG), como é o caso de um balão de ar quente, ou abaixo do CG, como é o caso de uma embarcação. Se os dois pontos estiverem alinhados na vertical, o equilíbrio está estável, no entanto qualquer oscilação poderá causar um desalinhamento. Ao ponto de intercessão da linha de ação da impulsão da reta CG (figura 25) com CF (figura 25), dá-se o nome de metacentro, representado pela letra M da figura 25. O equilíbrio dos corpos flutuantes pode ser classificado estável se o metacentro (M) se situar acima do centro de gravidade.

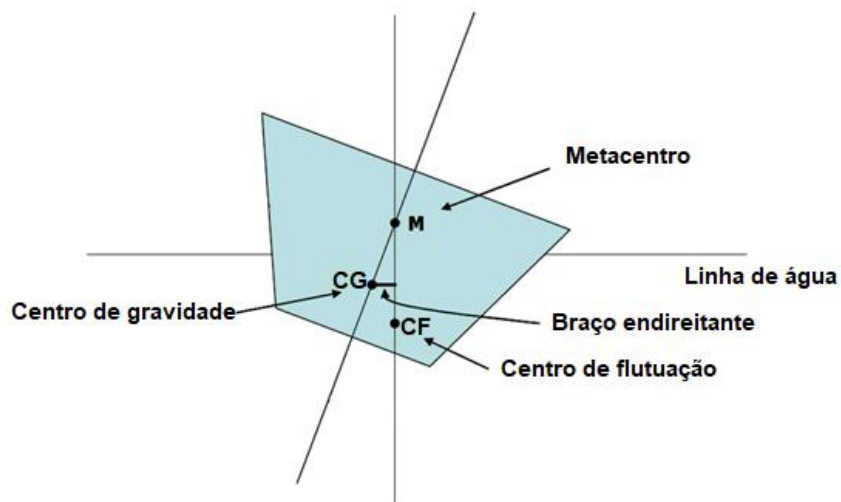


Figura 25 Representação da disposição do CF, CG e do M de uma embarcação [15]

2.9.2 - Ângulo de Adornamento e Ângulo de Estabilidade Nula (AVS)

Existe dois ângulos principais associados à estabilidade de uma embarcação (figura 26), o ângulo de adornamento (*Heel*) para a estabilidade transversal e o ângulo de inclinação longitudinal (*Trim*) para a estabilidade longitudinal.

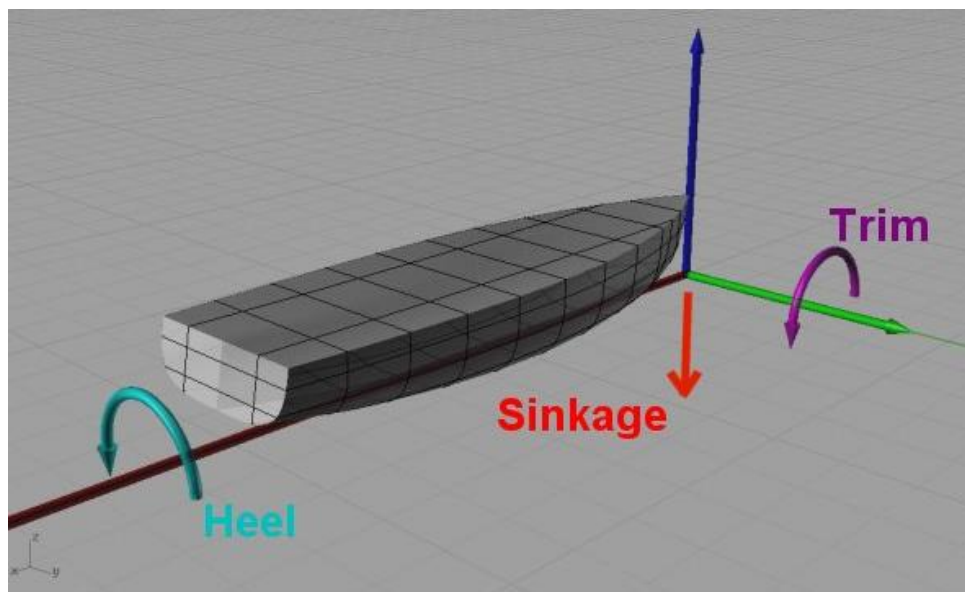


Figura 26 Representação dos ângulos de estabilidade de uma embarcação [16]

Se houver ventos fortes numa regata ou se uma onda de grandes dimensões colidir com a embarcação, após o evento a regata retoma a sua posição inicial. Quando uma embarcação estiver na posição vertical, então a direção da força da gravidade está diretamente oposta à força de impulsão (figura 27)

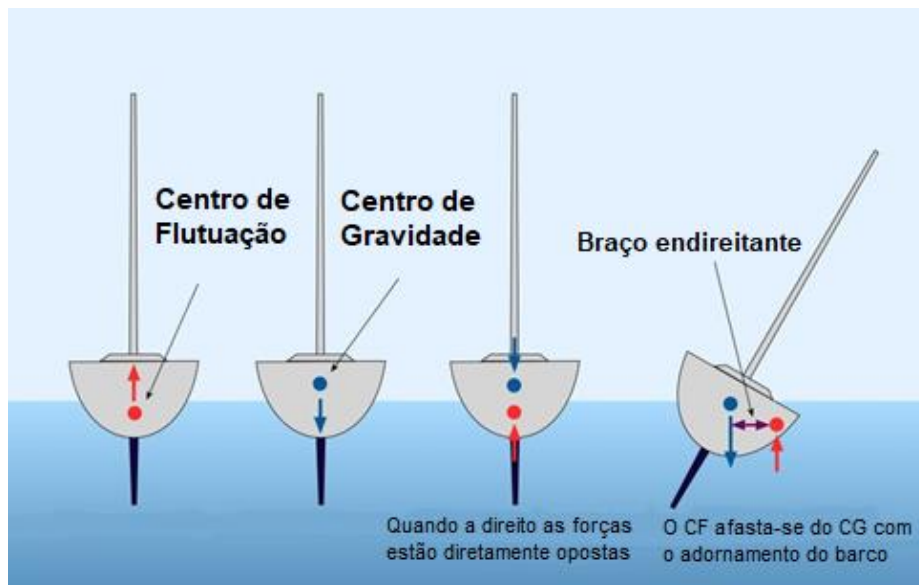


Figura 27 Exemplo de uma iteração entre o CF, o CG e o Gz [17]

Enquanto a embarcação continua a adornar, o centro de flutuação funciona como uma alavanca e move-se em direção à borda, aumentando a força de impulsão que reside nesse ponto. Eventualmente, a inclinação chega a uma posição em que reduz o efeito do braço endireitante (Gz) e a embarcação fica ao contrário (Américo, Milton 2009).

O ângulo que simboliza esta inclinação é conhecido como Ângulo de Estabilidade Nula (AVS) (figura 28).

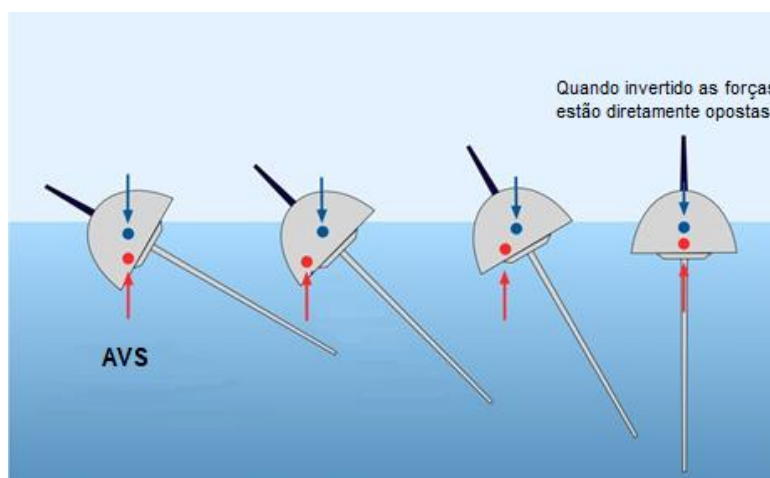


Figura 28 Ângulo de Estabilidade Nula (AVS) [17]

Embarcações com um grande valor de AVS, possuem uma maior resistência em ficar invertidos e em caso de um abalo, retomam rapidamente à sua posição de direito. Estas, habitualmente, possuem um grande deslocamento e um calado elevado, podendo mesmo alcançar um ângulo de adornamento de 120° ou mais, no entanto, embarcações de baixo deslocamento e calado, podem oferecer uma maior estabilidade inicial, mas podem adornar completamente a partir dos 90°. Os barcos motorizados possuem um centro de gravidade mais baixo, logo o ângulo de estabilidade nula é inferior relativamente aos dos veleiros (Jollands, Simon n.d.).

2.9.3 - Curva Gz, Momento endireitante e Curva de estabilidade estática

A curva Gz ou Curva de Estabilidade Transversal demonstra a relação entre os três fatores que determinam a estabilidade estática de uma embarcação:

- O Centro de Gravidade (CG), na qual existe uma força equivalente ao deslocamento da embarcação;
- O Centro de Flutuação (CF), sendo o centro do volume submerso da embarcação, na qual existe uma força de impulsão, na direção oposta à da gravidade;
- A distância horizontal entre o centro de gravidade e o centro de flutuação, o braço endireitante (Gz) (figura 29).

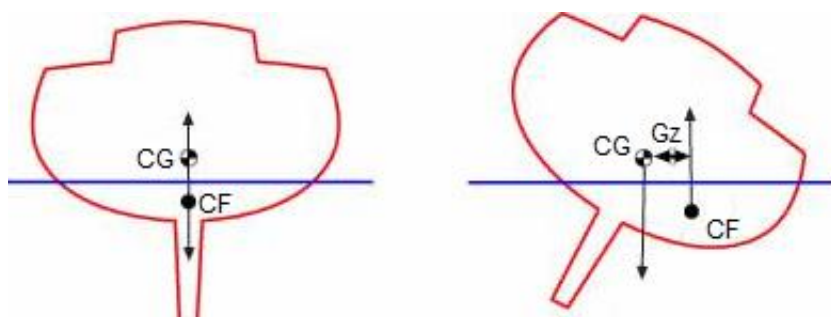


Figura 29 Centro de Gravidade (CG), Centro de Flutuação (CF) e o Braço Endireitante (Gz) [18]

A localização do centro de gravidade é fixa, o mesmo não se sucede com o centro de flutuação, na qual varia com a inclinação da embarcação.

À medida que o centro de gravidade e o centro de flutuação se começam a afastar, o comprimento do braço endireitante aumenta.

A curva Gz (figura 30) é dependente da relação entre o ângulo de adornamento e o momento endireitante. O momento endireitante para um determinado ângulo de adornamento, representa o valor instantâneo da capacidade do navio de regressar à posição inicial em águas calmas (Américo, Milton 2009), em que:

$$\text{Momento Endireitante (Kg.m)} = Gz(m) \times \text{Deslocamento (kg)} \quad (4)$$

O momento endireitante é o momento resultante do braço endireitante (Gz) e o deslocamento provocado pelo adorno da embarcação. Quanto maior for o valor de Gz , maior será o momento resultante.

Quando existe um equilíbrio instável na embarcação e o braço Gz é negativo, invés de criar um momento positivo e consequentemente a embarcação retoma a posição a direito, este cria um momento negativo que resulta um aumento do ângulo de adorno e a embarcação fica ao contrário.

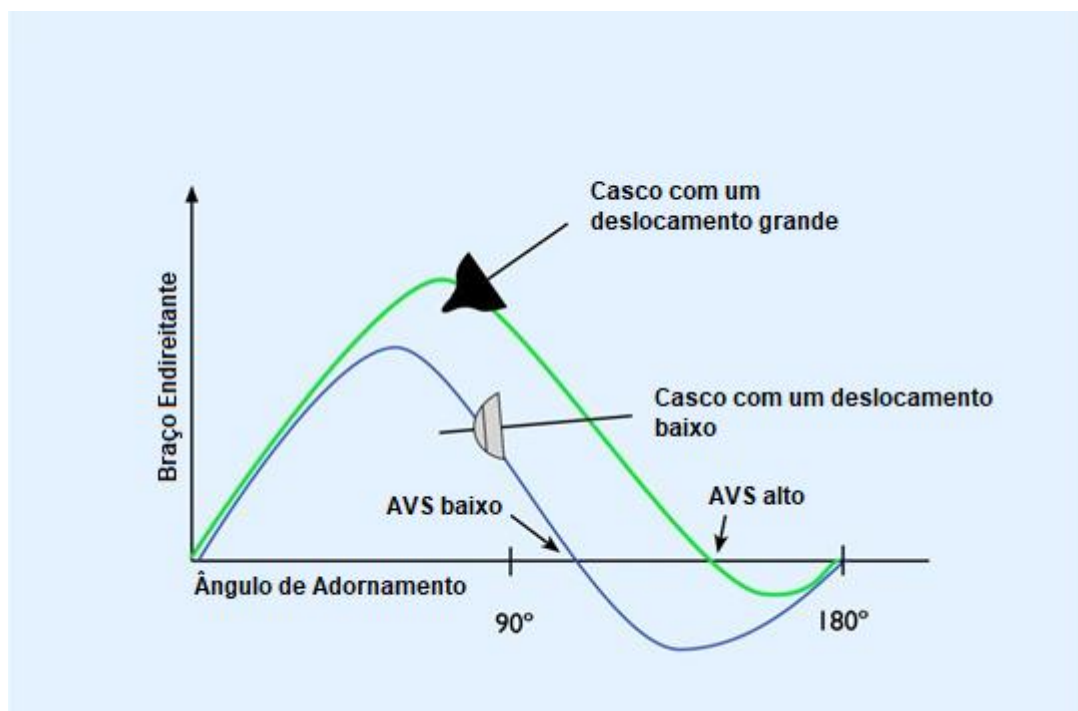


Figura 30 Exemplo de uma curva Gz para dois tipos de cascos, um de deslocamento grande e outro de deslocamento baixo [17]

2.9.4 - Estabilidade Positiva e Estabilidade Negativa

Enquanto o centro de gravidade se localiza no mesmo plano vertical que o centro de flutuação e não existe braço endireitante, a embarcação está a direito. No entanto, à medida que o ângulo de adorno aumenta, o braço endireitante chega a um limite (60° na figura 29), onde de seguida este começa a diminuir até o centro de flutuação estar de novo no mesmo plano vertical que o centro de gravidade. Nesse momento, o braço endireitante é de novo 0 m, mas se o ângulo de adorno continuar a aumentar a embarcação irá ter a tendência de ficar ao contrário.

Como referido anteriormente, o ponto que define a inversão da embarcação é conhecido por Ângulo de Estabilidade Nula (AVS) ou Limite de Estabilidade Positiva (LPS). Na figura 31 este ponto ocorre quando o ângulo de adorno atinge 130°, no qual a partir deste ângulo o valor de GZ fica negativo e irá influenciar na viragem da embarcação, invés do retorno à posição inicial.

Após ultrapassar o ponto de AVS e se não existir forças externas a impedir a viragem, o ângulo de adorno continuará a subir até 180°, quando chega a este ponto o centro de gravidade e o centro de flutuação estão de novo no mesmo plano vertical e a embarcação está estável, apesar de estar ao contrário.

Quanto maior for a área abaixo da curva Gz positiva, maior é a estabilidade transversal da embarcação.

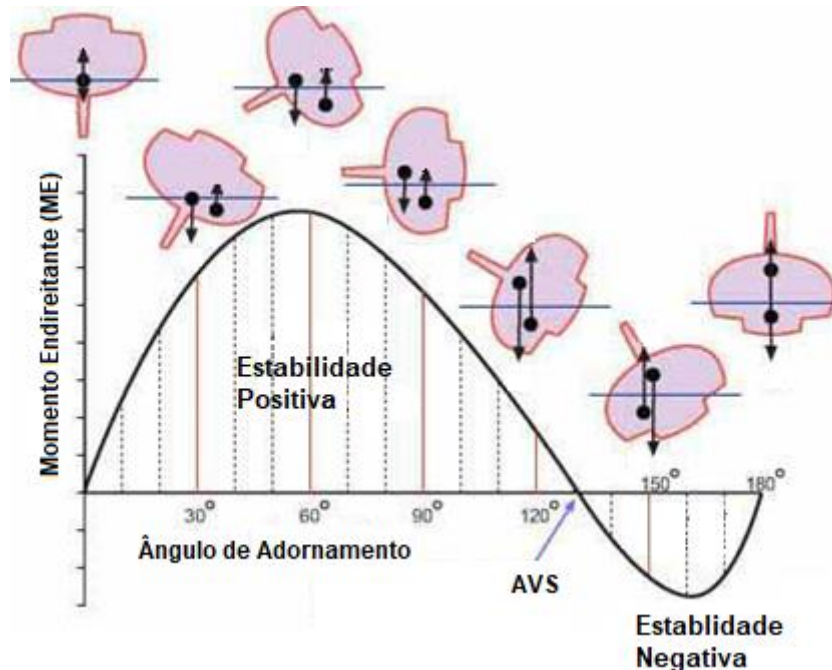


Figura 31 Exemplo de Estabilidade Positiva e Negativa de uma embarcação [18]

Existem diversos fatores que afetam as curvas Gz, tais como:

- Cascos de fundo plano, enquanto adornam, o Gz aumenta rapidamente;
- Obras vivas elevadas auxiliam em melhorar ambos o momento endireitante e o LPS;
- Um centro de gravidade baixo, torna a embarcação mais estável.

Os produtores de embarcações publicam as curvas Gz dos seus respetivos iates de forma a apresentar as características da estabilidade dos seus *designs*. Na Europa, o grupo *Recreational Craft Directive* (RCD), dita que os iates de lazer entre 2.5 m e 24 m têm de estar identificados numa das seguintes categorias (Directive 2013/53/EU):

- Categoria A (corresponde ao tipo I em Portugal);
- Categoria B (corresponde ao tipo II e III em Portugal);
- Categoria C (corresponde ao tipo IV e V em Portugal).

Capítulo 3 - *Benchmarking*

3.1 - Introdução

Este capítulo define as restrições impostas pela empresa Riamar associada a este projeto e o *Benchmarking* de diferentes embarcações e componentes que serviram de apoio na continuação do projeto.

3.2 - Restrições impostas pela Nautav

Foram fornecidos pela Nautav um conjunto de limitações e detalhes, sendo que algumas destas restrições foram acrescentadas ao longo desta dissertação. As restrições são:

- 1) Dimensões (figura 32):
 - Proa ao painel de popa 7000mm (sem motor);
 - Ponto mais afastado do estibordo ao bombordo 2500mm;

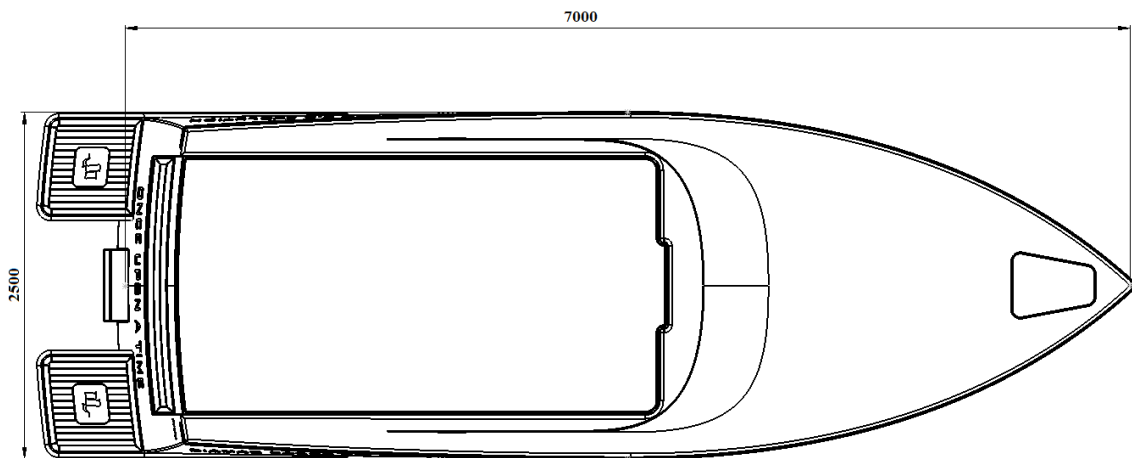


Figura 32 Vista de topo da embarcação com as principais cotas de atravancamento

- 2) Motor a utilizar: Yamaha F200 ou F150 (figura 33);



Figura 33 Motor Yamaha F200 [19]

3) Verdugo a instalar: Tessilmare, Modelo Sphaera PVC 25 (figura 34);



Figura 34 Verdugo Shpaera PVC 25 [20]

- 4) O motor tem de ser acessível a partir do exterior;
- 5) Espaço interior de repouso suficiente para uma cama de casal e casa de banho com chuveiro;
- 6) Não pode haver arestas com um ângulo inferior a 5° no casco ou convés, devido à dificuldade de o realizar durante a sua manufatura;
- 7) A espessura do casco é de 8mm e do convés é de 6mm;
- 8) Todas as superfícies verticais da embarcação têm de possuir um ângulo mínimo de 1°, para ser possível a sua extração do molde;

Para cumprir o Decreto-Lei n.º132/2017, que especifica as dimensões limites que um veículo pode rebocar em circulação nas estradas nacionais, não pode superar os 2550mm de largura, desta forma, como prevenção, o valor da largura da embarcação foi alterada para 2490mm, evitando assim possíveis problemas no seu transporte.

3.3 - Benchmarking

Com o intuito de estabelecer o *design* do convés e do casco e selecionar a âncora e o revestimento, procurou-se no mercado diferentes modelos de embarcação e de componentes.

3.3.1 - Casco

A Riamar forneceu diversos catálogos de modelos, referidos abaixo, com evidência nos cascos de interesse, servindo de base para este projeto. Neste subcapítulo são analisados os três modelos e a sua relevância.

3.3.1.1 - Van Dutch

Esta embarcação (figura 35) serviu de inspiração para a concepção da estrutura acima do *chine*, visto ser um casco cujo *design* é próprio para navegação costeira devido ao delineamento em forma de V na proa, que auxilia a sua navegação em mar agitado.



Figura 35 Embarcação Van Dutch 75 [21]

Uma particularidade desta embarcação é o efeito tulipa que possui debaixo do *chine* (figura 36), no entanto, foi decidido não se replicar neste projeto, pois a sua existência entraria em conflito com o *design* selecionado para o resto da embarcação.



Figura 36 Vista de frente do Van Dutch 40 [22]

3.3.1.2 - Rand 28

Estudou-se o Rand 28 (figura 37) devido ao seu *design* do casco que permite a construção de um convés amplo para o convívio, no entanto o *design* foi abandonado pelos diferentes membros deste projeto, uma vez que não seria esteticamente compatível com o resto da embarcação.



Figura 37 Embarcação Rand 28 [23]

3.3.1.3 - Riamar 620WA

Apesar de ser um tipo de ER diferente (*Walk Around*) da embarcação objeto desta tese, o *design* do seu casco (figura 38) é um sucesso na navegação em termos de conforto e de estética. Os cascos remanescentes utilizados no *benchmarking* têm um comprimento acima dos 8 metros com o motor no seu interior, detalhe diferente do 620WA em que o casco foi estudado com o motor no exterior e um comprimento de 6,2 metros, que se aproxima da dimensão da embarcação desta dissertação. Por estas razões foi decidido que para abaixo do *chine*, o projeto iria ser baseado no modelo 620WA.



Figura 38 Embarcação Riamar 620WA

3.3.2 - Convés

O convés é a parte da embarcação onde os passageiros ocuparão a maior parte do seu tempo, conseqüentemente, é a zona onde é necessária uma maior atenção ao espaço e, por esse mesmo motivo, a Nautav salientou que desejava um convés espaçoso e confortável. Foi pensado o modelo Wally para o projeto, como inspiração para o convés, no entanto devido a complicações derivadas das dimensões de posicionamento do motor e para simplificação do processo de manufatura, o convés desta dissertação será único e preconizável.

3.3.2.1 - Wally

Wally (figura 39) foi o iate em que inicialmente o convés foi baseado, não só devido a ter um vasto espaço aberto para convívio, mas também por possuir um *design* futurístico e atraente.



Figura 39 Wally Dayboat 48 [24]

As dimensões limitadas pelas restrições anteriormente mencionadas, juntamente com a necessidade de incluir uma zona de repouso no interior, resultou numa reduzida possibilidade de utilizar o *design* do Wally para o convés. Consequentemente, houve alterações periódicas consoante a necessidade de espaço ou conveniência no projeto, resultando num novo *design* de convés.

3.3.3 - Teca Sintética

A teca sintética (figura 40) é um revestimento antiderrapante sintético, baseado na madeira de uma árvore com o mesmo nome, nativa da Ásia. Este material, criado a partir de uma resina líquida, concede uma proteção ao desgaste e uma boa resistência ambiental ao convés (Team, Tech 2013).

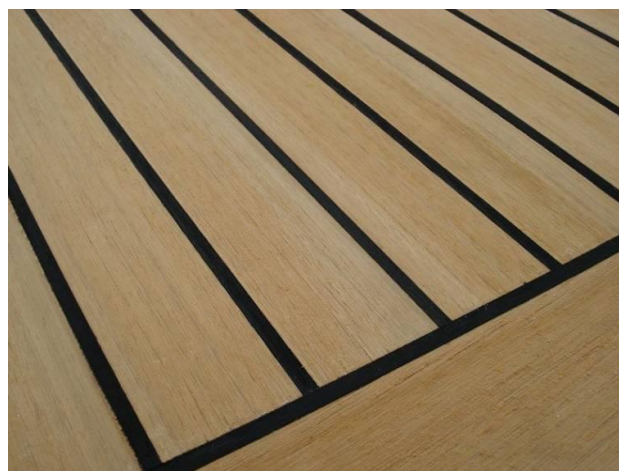


Figura 40 Teca sintética usada num revestimento de uma embarcação [25]

Este revestimento é composto por duas partes distintas, a própria teca sintética, as tábuas castanhas na figura 40 e o material de calafetagem, a *sikaflex*, que são as linhas pretas na figura 40. A *sikaflex* permite evitar entrada de água entre as tábuas e é responsável pela sua adesão.

A teca sintética que se pretende utilizar na embarcação, é produzida pela Nautav Lda., o nome associado a este produto é Teka e terá 5 mm de espessura.

3.3.4 - Âncora

No subcapítulo 2.7.2.1 foi referido que num sistema com molinete automático é utilizado por norma uma âncora do tipo *Plow/Scoop*, logo neste subcapítulo serão exibidos diversos modelos deste tipo e selecionando o mais apropriado

3.3.4.1 - CQR

Este modelo de âncora (figura 41), patenteado em 1933, foi dos primeiros a ser produzidos na história moderna de embarcações. É moderadamente eficaz a unhar em diversos solos exceto em solos rochosos e contém uma dobradiça para impedir uma perturbação na âncora enquanto esta se ajusta no solo. Contudo, esta dobradiça localizada na haste, é o ponto crítico da âncora, de forma que com a utilização da mesma e consequente fadiga, proporciona-se a fratura nesta zona. A massa desta âncora localiza-se sobretudo na zona frontal, para auxiliar o unhar. Esta característica diminui a probabilidade de a embarcação garrar (Anónimo 2018).



Figura 41 Âncora do tipo Plow/Scoop CQR de 5 kg em aço inox AISI 316 [26]

3.3.4.2 - *Delta/Wing*

Criado em 1993 com um *design* derivado diretamente do modelo CQR, a âncora Delta (figura 42) apresenta melhorias relativamente ao seu antecessor, como a remoção da dobradiça para prevenir possíveis fraturas. De modo semelhante ao modelo CQR, a maioria da massa está na zona frontal da âncora, no entanto, o formato das patas deste modelo permite uma melhor distribuição do peso que o auxilia no unhar. Este modelo possui ainda uma haste curva que lhe possibilita um lançamento automático a partir do *Bow Roller* da proa, que facilita a ancoragem da embarcação (Anónimo 2018).



Figura 42 Âncora Delta de 5 kg em aço inox [27]

3.3.4.3 - *Bruce/Claw*

Criada na década de 1970, esta âncora (figura 43) inicialmente era somente utilizada em navios e embarcações de grande escala, embora mais tarde o modelo tenha sido gradualmente reduzido para ser empregue em embarcações ligeiras.

O *design* permite à âncora garrear com grande eficácia em todos os fundos e ainda oferece a capacidade de acompanhar a corrente marítima. Consequentemente é um modelo utilizado em diversas embarcações ligeiras e é a opção menos dispendiosa relativamente às alternativas (Anónimo 2018).



Figura 43 Âncora *Bruce/Claw* de 10 kg em aço galvanizado [28]

3.3.4.4 - Âncora *Rocna*

Este modelo (figura 44) foi lançado em 2004 pela empresa do mesmo nome, tem um *design* semelhante ao *Delta*, sendo a sua principal diferença a existência de um aro que posiciona a âncora automaticamente durante o fundear. Este aro contribui também para um aumento de rigidez e resistência à fadiga nas patas. O modelo *Rocna* possui unhas afiadas que melhora o processo de unhar o fundo, contudo este modelo habitualmente é o mais dispendioso relativamente às alternativas e poderão não ser compatíveis com alguns *Bow Rollers* (Anónimo 2018).



Figura 44 Âncora *Rocna* de 15 kg em aço inox [29]

3.3.4.5 - Resumo dos diferentes modelos de Âncoras

Com base na pesquisa feita sobre os diferentes modelos de âncoras foi possível contruir a tabela 3. Se o preço for relevante para a seleção da âncora, podemos concluir que o modelo *Bruce/Claw* é a âncora recomendada, se houver disponibilidade financeira, a âncora *Rocna* seria a ideal

Tabela 3 Propriedade de diferentes âncoras do tipo *Plow/Scoop*

	CQR	Delta	Claw	Rocna
Solos pouco eficazes	Rochoso	Rochoso	Lama	-
Preço	Elevado	Médio	Baixo	Muito Elevado
Resistência mecânica	Baixa	Média	Elevada	Elevada
Compatibilidade com <i>Bow Roller</i>	Baixa	Média	Elevada	Baixa

Capítulo 4 - Modelação da embarcação

4.1 - Introdução

Neste capítulo é justificado o *software* que se utilizou na modelação da embarcação. É descrito também em pormenor as diferentes etapas e as versões realizadas.

4.2 - *SOLIDWORKS*TM

*SOLIDWORKS*TM é um *software* produzido pela empresa francesa Dassault Systèmes SE, cuja função é modelação de sólidos por CAD ou por CAE.

Este *software* foi escolhido para o desenvolvimento do projeto por ser tratar de um programa intuitivo, cujas operações são de aprendizagem fácil e por permitir criar ficheiros compatíveis com outros *softwares* de simulação, desenho técnico e de fabrico aditivo. O programa permite também adicionar funções que possibilitam o desenvolvimento de simulações e análises estáticas, dado que seja introduzido o *input* correto das propriedades mecânicas.

4.3 - Modelação

Ao longo desta dissertação, a embarcação sofreu três grandes alterações no *design*, pelo que nos próximos subcapítulos, estão retratados com pormenor a conceção de cada versão e a razão da sua modificação.

4.3.1 - Linhas Mestras

O primeiro objetivo na construção do modelo é criar as linhas mestras, sendo estas utilizadas como base para a construção do casco.

Após importar a vista lateral, topo e de frente das embarcações selecionadas, é necessário convertê-las nas dimensões pretendidas (7000 mm por 2500 mm). É feito um esboço sob a imagem e são alteradas as dimensões às medidas desejáveis como está apresentado na figura 45.

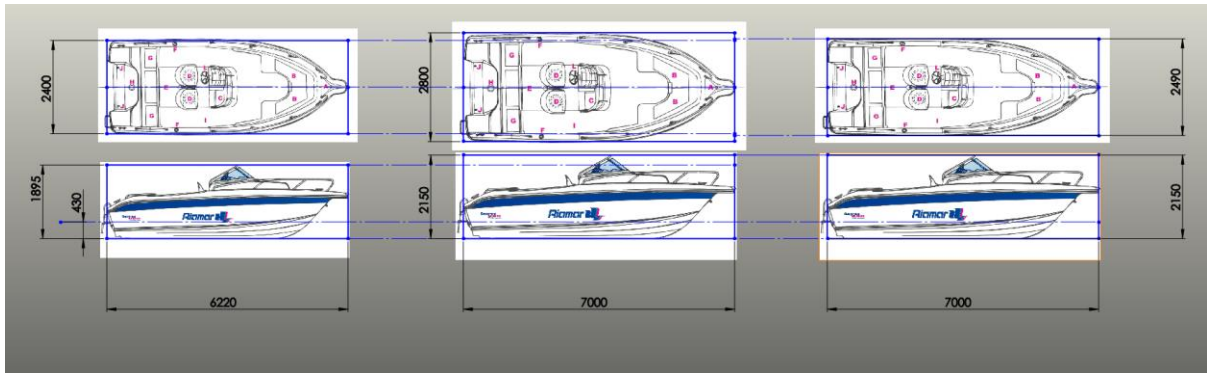


Figura 45 Sketch sobre imagens importadas

Com as imagens no *background*, são desenhadas sobre as mesmas as linhas que definem as embarcações, como revelam as figuras 46 e 47. De destacar também os esboços resultantes, visto serem essenciais para a construção das linhas mestras e, como tal, serão referidas como esboço(s) guia(s).

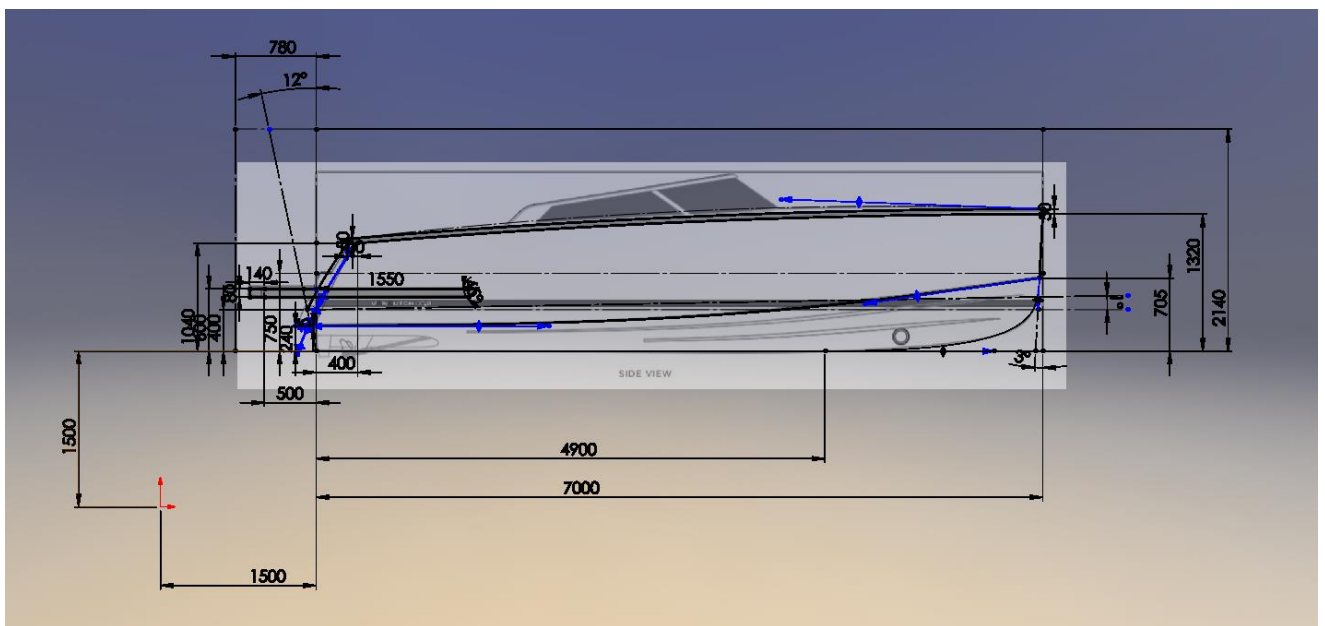


Figura 46 Vista lateral do esboço guia

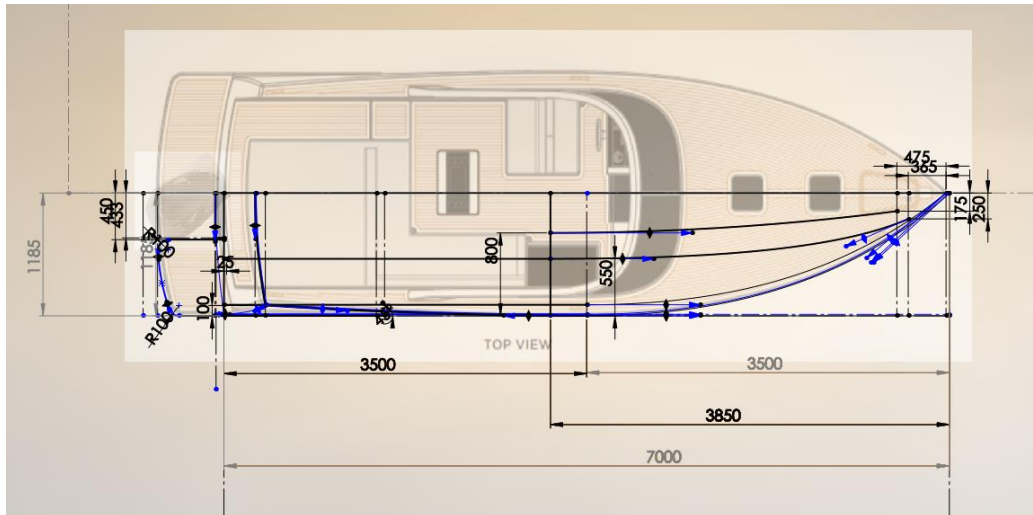


Figura 47 Vista de topo do esboço guia

Devido à dimensão de 7 metros da embarcação, na escala utilizada as cotas das figuras 46 e 47 aparentam estar sobrepostas.

Utilizando as linhas dos esboços guias e a função *Project Curve* são criadas tridimensionalmente as linhas mestras, como demonstrado na figura 48.

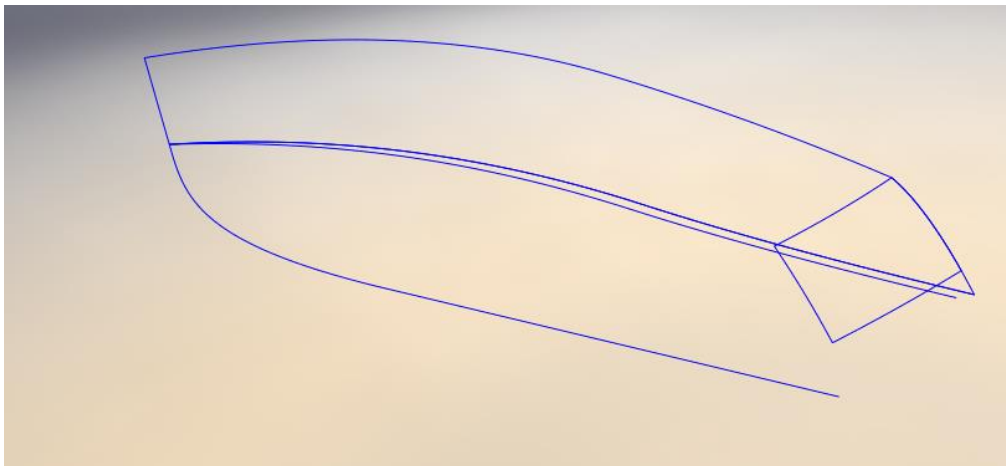


Figura 48 Linhas mestras do casco

4.3.2 - Casco

A figura 49 apresenta o *design* inicial da união do casco com o convés e as respetivas cotas, sendo possível verificar que o casco tem uma espessura de 8 mm, enquanto o convés tem uma espessura de 6mm. Adicionalmente, é importante destacar a existência de uma folga entre as paredes de 2mm que terá o propósito de inserir a massa de forma a criar aderência entre as superfícies.

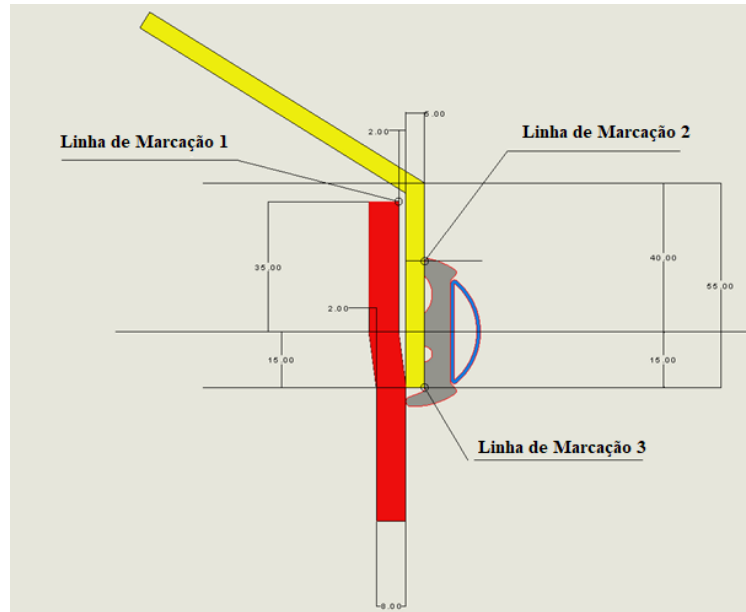


Figura 49 Vista de corte da primeira versão da união do casco e o convés com cotas

O procedimento para criação do modelo digital sólido do casco inicia-se com as superfícies exteriores do casco (figura 50) que se obtêm utilizando a operação *Boundary Surface* nas linhas mestras.

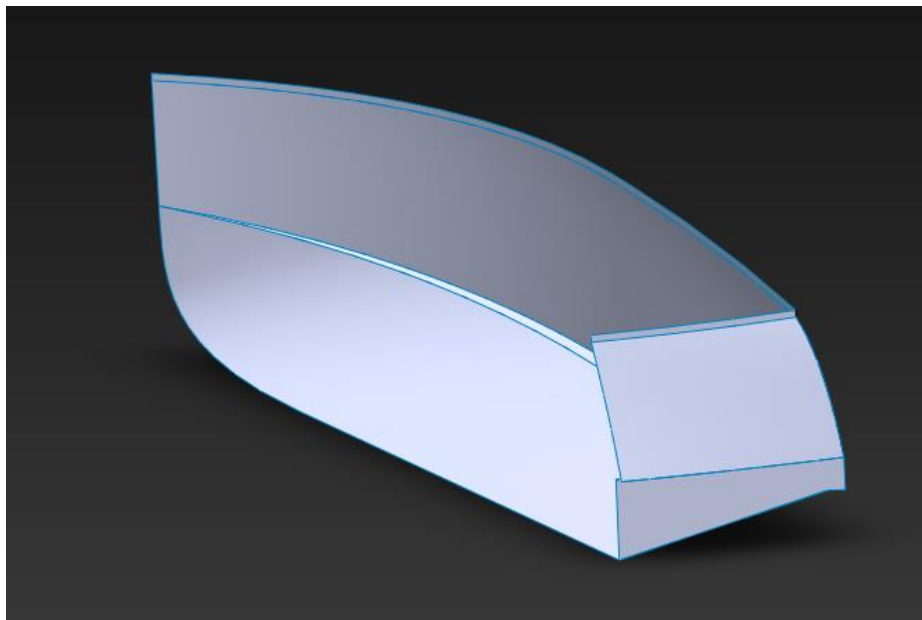
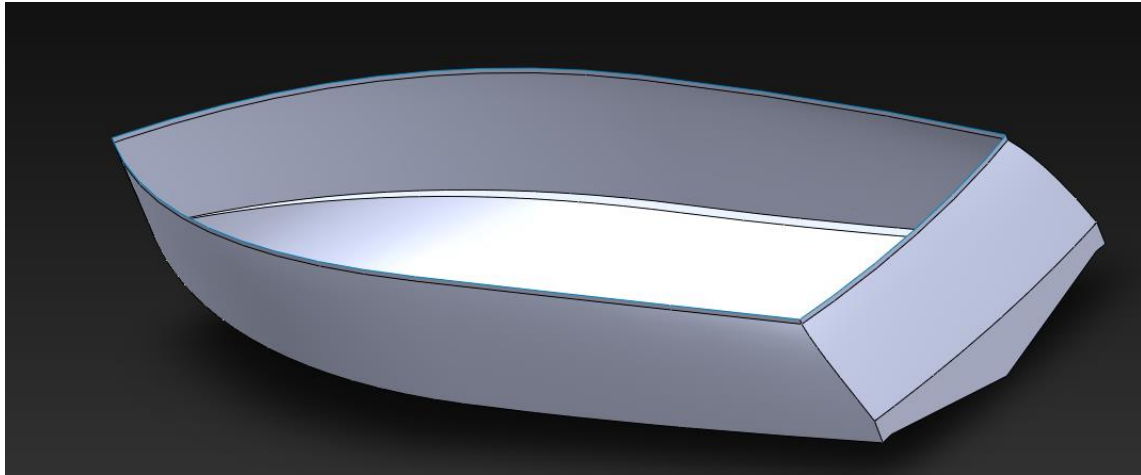
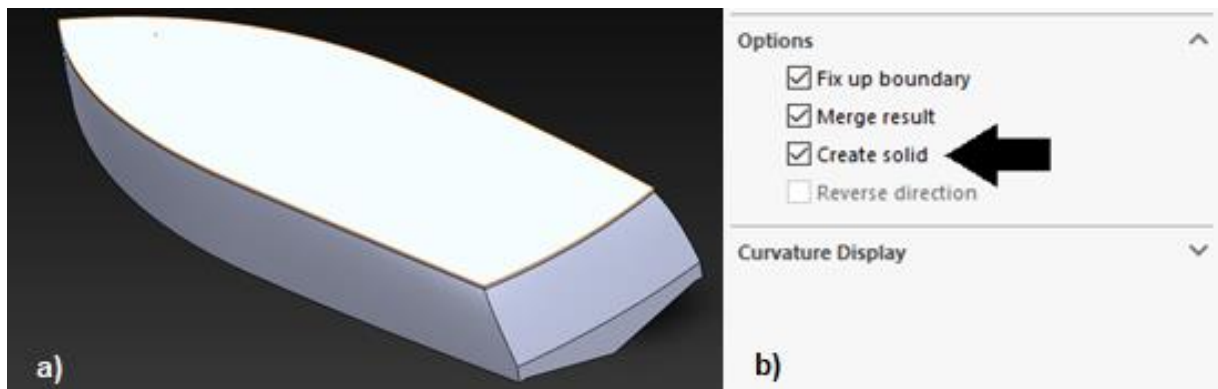


Figura 50 Superfícies externas que delimitam o casco

Até esta etapa foi desenhada apenas metade da embarcação de modo a garantir simetria e reduzir o tempo de planeamento. Contudo, nas etapas seguintes é relevante que a embarcação esteja completa, pelo que foi reproduzido o simétrico do casco através da função *Mirror* (figura 51).

Figura 51 Resultado da utilização da função *Mirror*

Para converter qualquer conjunto de superfícies num único sólido no *software SOLIDWORKS* é indispensável que o objeto seja fechado, conseqüentemente, é necessário utilizar a função *Fill Surface* de forma a fechar as superfícies (figura 52 a)). Esta função contém também a opção de criar uma peça a partir de um conjunto de superfícies fechadas (figura 52 b)), que é utilizado de forma a adicionar material no interior das mesmas.

Figura 52 a) Embarcação num único sólido e b) opção de criar sólido através da função *Fill Surface*

Relativamente à segunda versão, apesar do procedimento da construção digital ser semelhante à primeira versão, as linhas do casco da mesma são ligeiramente mais côncavas. Esta comparação pode ser observada na figura 53, onde as linhas a partir da quilha da primeira versão são mais convexas do que na segunda versão. Por último, a terceira versão possui cavernas semelhantes à segunda versão.

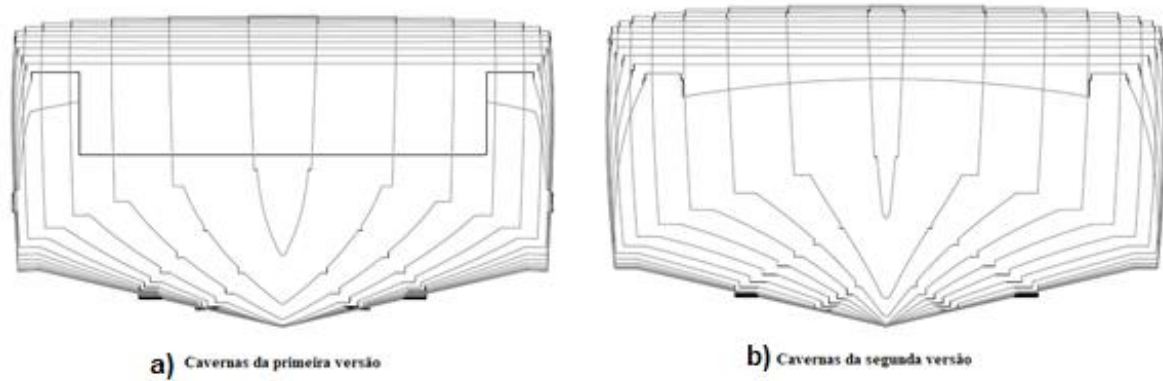


Figura 53 Cavernas a) da primeira versão e b) da segunda versão

4.3.3 - Step (Versão Performance)

O processo de modelar os dois *steps* inicia-se com uma cópia da superfície do casco, utilizando a função *Surface-Offset*, onde se adicionam as superfícies adjacentes com a função *Surface Extend* e *Surface Extrude*, que delimitam o corte para obter os *steps*. A figura 54 demonstra o modelo com as superfícies de corte.

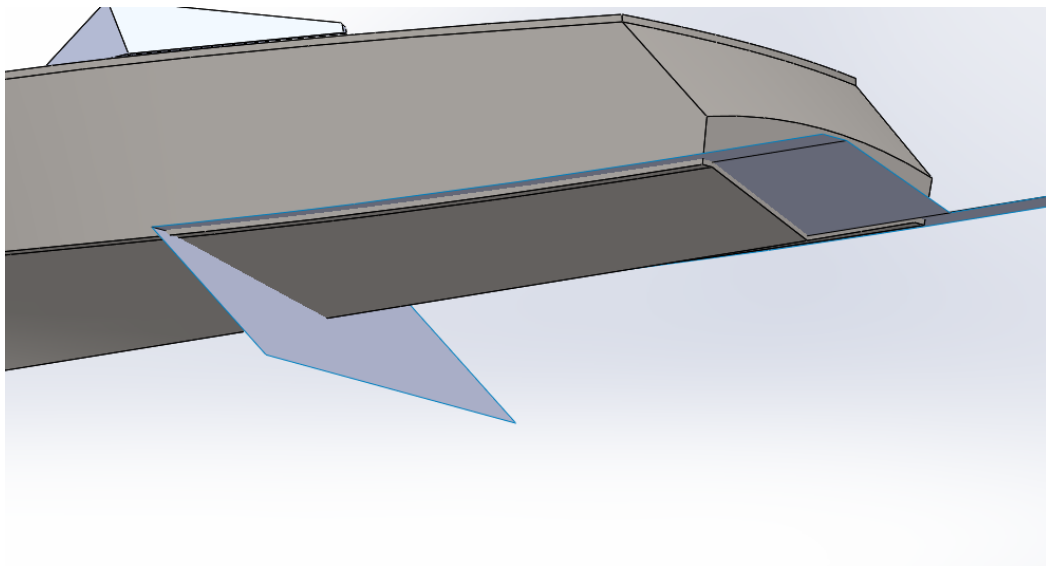


Figura 54 Casco com as superfícies bases para corte do *step*.

Para além do supra exposto, adicionam-se outras superfícies para criar o detalhe do entalhe e utiliza-se o *Surface Cut*, para cortar o material em excesso e obter o *step*. Este procedimento foi repetido para o segundo *step*, obtendo assim o casco com os dois *steps* (figura 55).

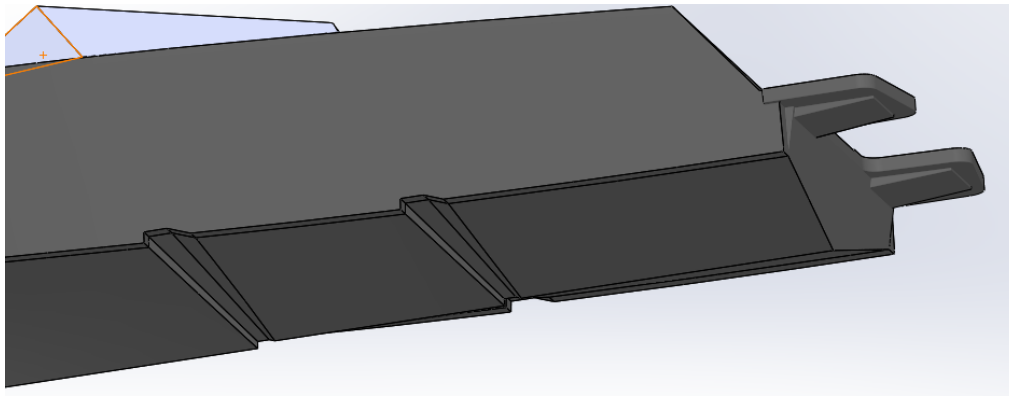


Figura 55 Casco após corte dos dois *steps*.

4.3.4 - Robaletes

As dimensões dos robaletes são proporcionais ao tamanho do casco. Para um barco de sete metros, com base nos modelos inspirados, os robaletes deverão ter uma altura 25 mm, e visto que estes possuem normalmente um ângulo reto, a sua construção em *SOLIDWORKS* deve utilizar planos paralelos às vistas principais. O processo inicia-se com um *Sketch* que guiará os robaletes na vista de topo e de lado que, utilizando o *Project Curve*, permitirá às linhas serem projetadas na superfície do casco, como exemplificado na figura 56.

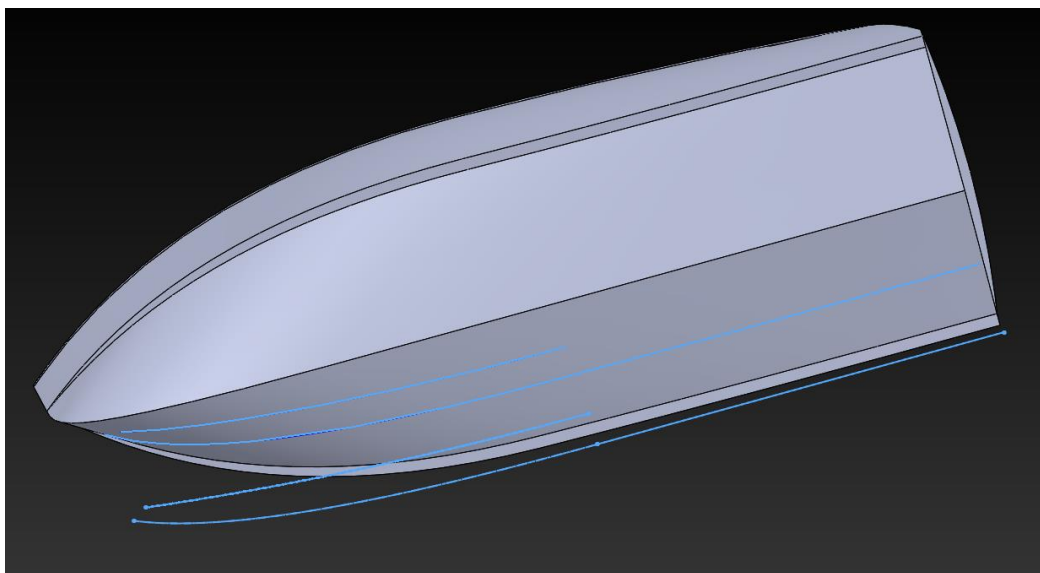


Figura 56 Projeção das linhas da vista de topo na superfície do casco

Estando as linhas base dos robaletes projetadas no casco, a função *Surface Extrude* permite criar superfícies extrudidas com a condição de que seja selecionado pelo menos uma linha base (2D ou 3D) e uma direção. Desta forma, esta função é utilizada para criar as superfícies, tal como está representado na (figura 57).

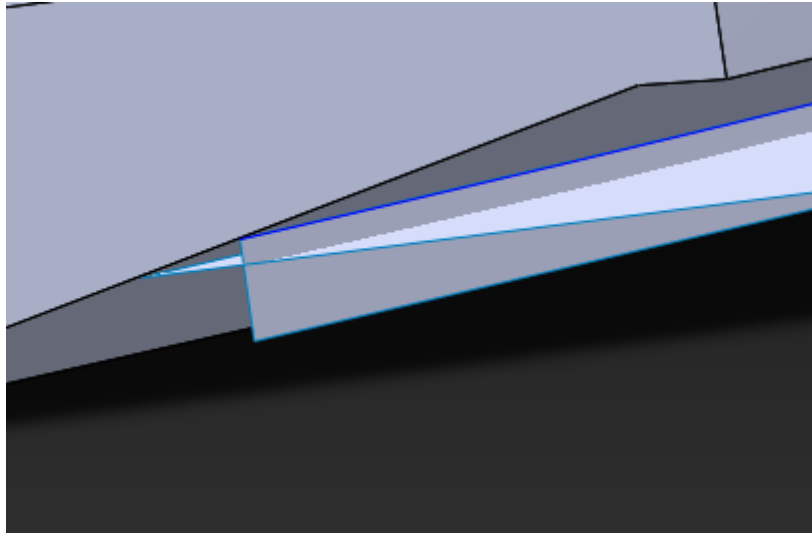


Figura 57 *Surface Extrude* dos planos que delimita os robaletes

O excesso das superfícies é removido com a função *Trim Surface*, obtendo como resultado as superfícies do exterior dos robaletes (figura 58 a)) e seguidamente com a função *Thicken*, converte-se os robaletes em sólidos (figura 58 b)).

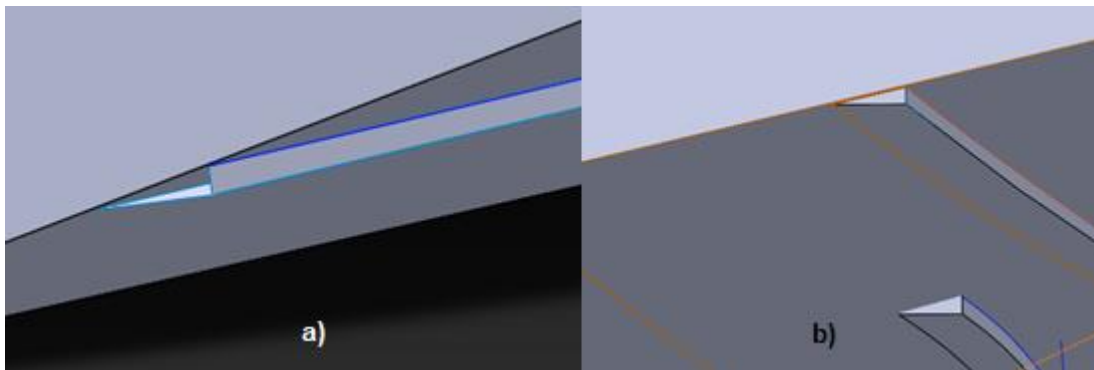


Figura 58 a) superfície exterior dos robaletes após a utilização da função *Trim Surface* e b) robaletes e casco num único sólido

Com a funcionalidade *Fillet*, arredonda-se as arestas de modo a evitar ângulos retos, os quais necessitam de ser evitados a todo o custo, devido à impossibilidade de os realizar no processo de manufatura.

A figura 59 mostra o modelo digital final dos robaletes.

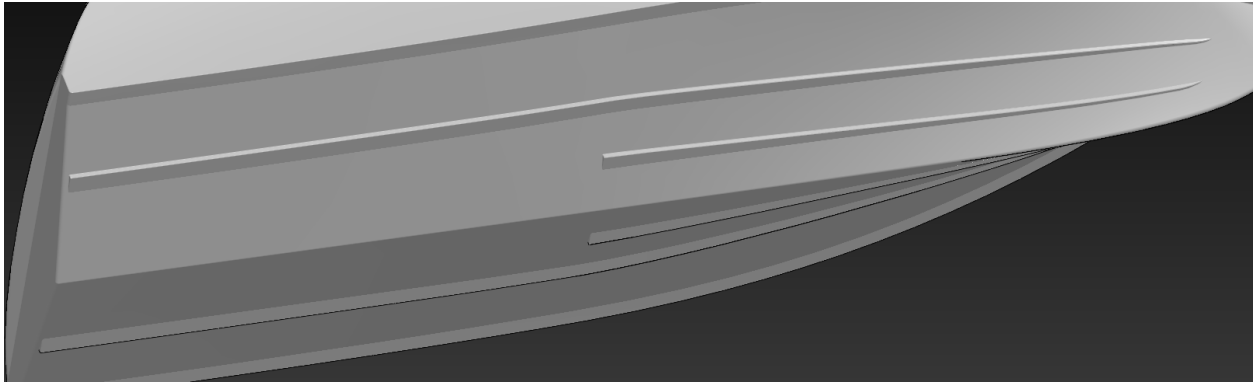


Figura 59 Robaletes após os acabamentos

Ao longo da dissertação, o modelo dos robaletes foi um dos componentes a ser retificado. A razão desta alteração está relacionada com a adoção de um *design* mais horizontal, para que os robaletes estejam abaixo da linha de água e não sejam visíveis na obra morta da embarcação. A figura 60 revela a primeira versão digital dos robaletes, enquanto a figura 61 apresenta a segunda versão.



Figura 60 Vista lateral da primeira versão dos robaletes

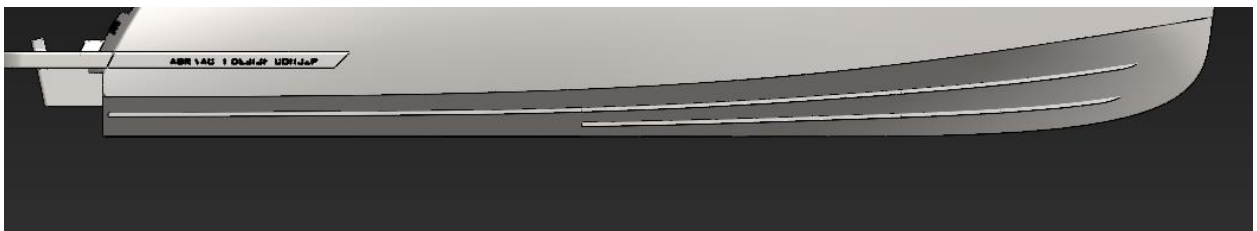


Figura 61 Vista lateral da segunda versão dos robaletes.

Foi gerada uma versão adicional dos robaletes para o casco com *step* na terceira versão (figura 62), onde o procedimento foi semelhante, sendo a única diferença os *Sketches* iniciais projetados.



Figura 62 Vista lateral da versão com *Step* dos robaletes

4.3.5 - Suporte do motor

O motor é um equipamento essencial para qualquer embarcação motorizada, por consequência o seu suporte precisa de ser modelado com precisão e cuidado. É fundamental proporcionar o espaço necessário para o motor se mobilizar angularmente (35° na horizontal e 70° na vertical como mostra na figura 63 e 64) e necessita igualmente de um suporte com uma resistência suficiente para aguentar a pressão provocada pelo motor. Para otimizar a afixação, o suporte pertence à popa do casco, sendo esta a estrutura a que tem mais resistência à compressão e torção de toda a embarcação.

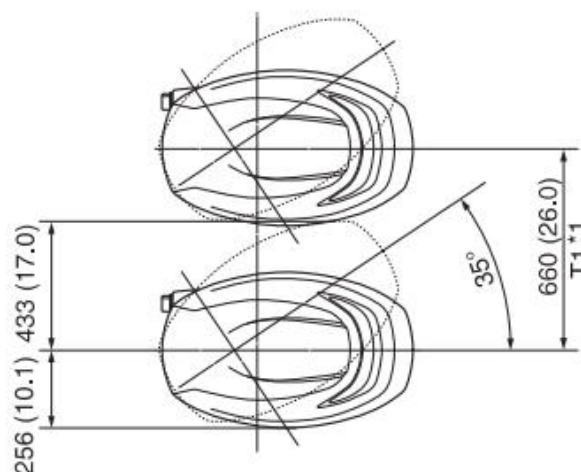


Figura 63 Vista de topo do motor com as respetivas cotas [30]

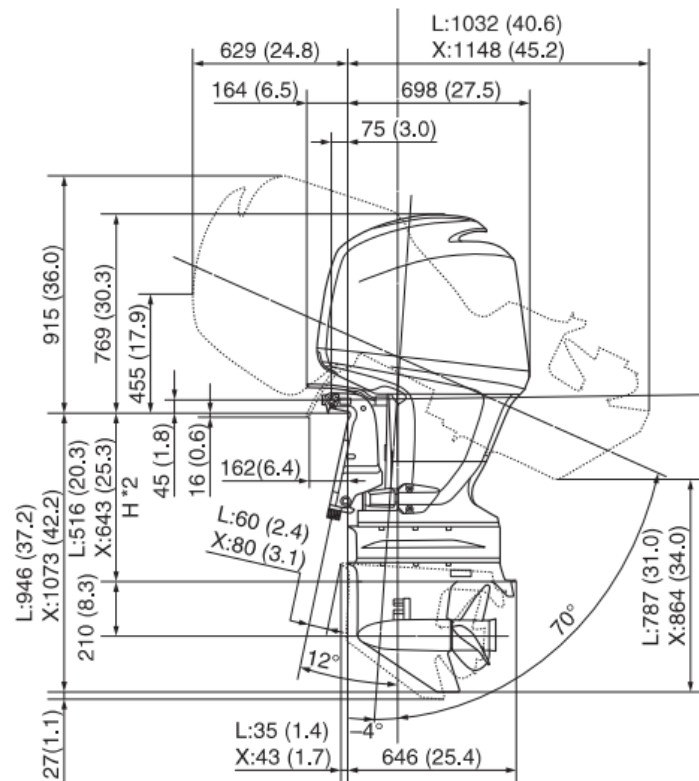


Figura 64 Vista lateral do motor com as respetivas cotas [30]

De modo a evitar uma colisão entre o painel de popa e a cabeça do motor foi estabelecida uma distância segura de 350 mm entre eles (figura 65).

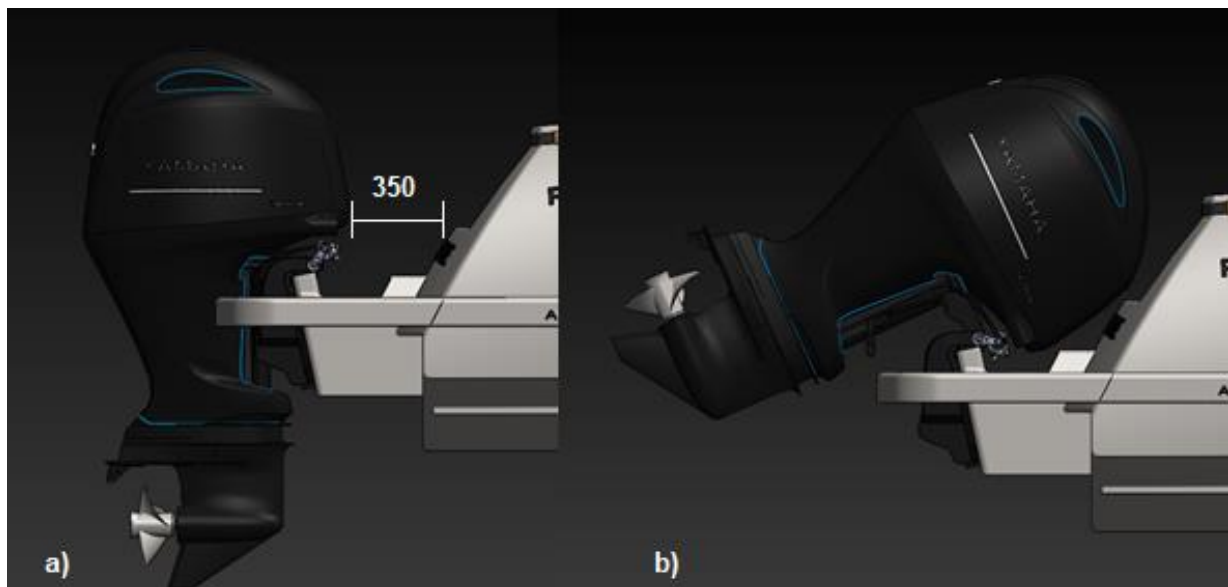


Figura 65 Vista lateral do motor em a) repouso e b) levantado

Na primeira versão do suporte do motor, este pertence exclusivamente ao casco, que resultou da aplicação da função *Boss Extrude*, com base num *Sketch*, com um ângulo de inclinação de 12° (para respeitar a inclinação do motor), resultando assim na peça da figura 66.

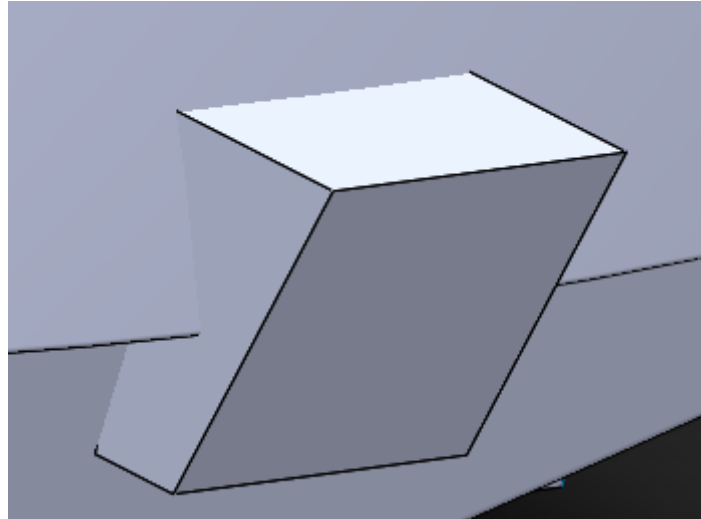


Figura 66 *Boss Extrude* do *Sketch* da base do suporte para o motor.

Introduziu-se um *Extrude Cut* para fornecer o espaço necessário para incluir o controlador hidráulico do motor, como demonstra a figura 67. Para finalizar, o suporte do motor da primeira versão, utilizou-se a função *Fillet* nas arestas do suporte.

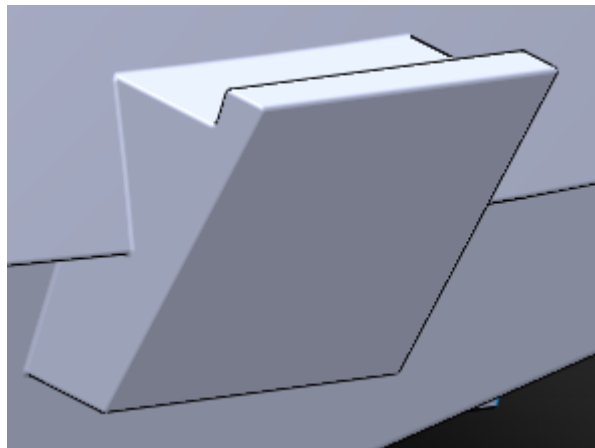


Figura 67- Primeira versão do suporte do motor após acabamentos

A construção da segunda versão do suporte do motor é semelhante à da primeira versão (figura 68). Contudo, inclui uma geometria diferente, de forma a possuir a capacidade de encaixar à plataforma de ré.

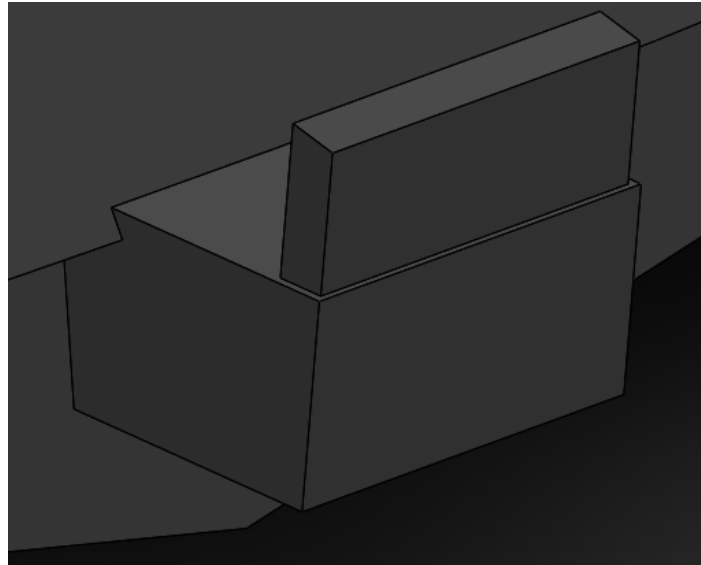


Figura 68 Segunda versão do suporte do motor

Na terceira versão do suporte do motor (figura 69), introduziu-se a inclinação de 12° diretamente na popa do casco, ao invés de criar um bloco especificamente para esse propósito. A razão desta alteração deve-se ao processo de manufatura que impossibilita a construção de uma abertura lateral no molde, isto impede de criar o suporte tanto da figura 67 como da figura 68. Deste modo, foi preciso modificar o *design* do suporte para não impedir o processo de desmoldagem.

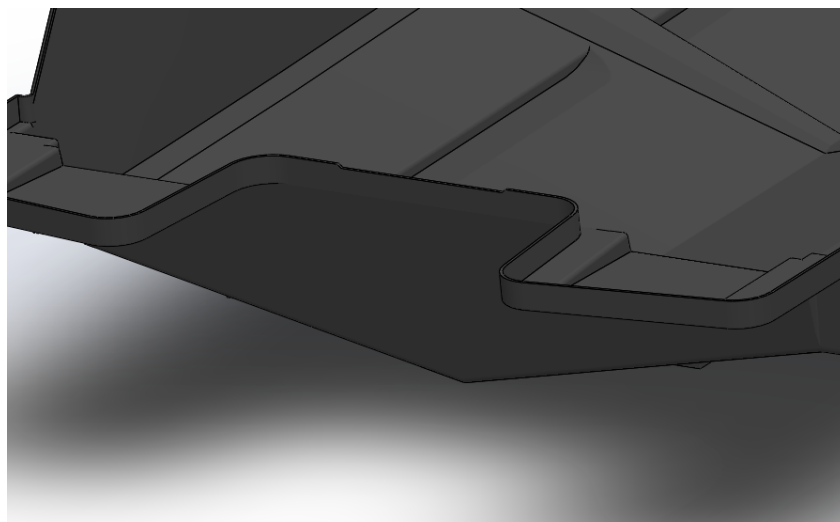


Figura 69 Terceira versão do suporte do motor

Com o modelo tridimensional do suporte do motor terminado, segue-se a realização da função *Shell* para fornecer a espessura desejada de 8 mm do casco. Pode-se verificar o resultado deste processo na figura 70 para a primeira versão, na figura 71, para a segunda versão e na figura 72 para a terceira versão.

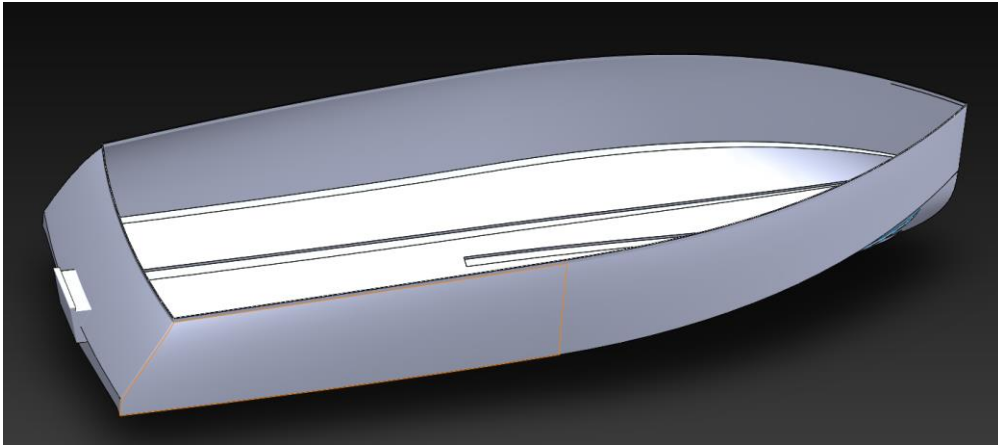


Figura 70 Casco após a função *Shell* da primeira versão

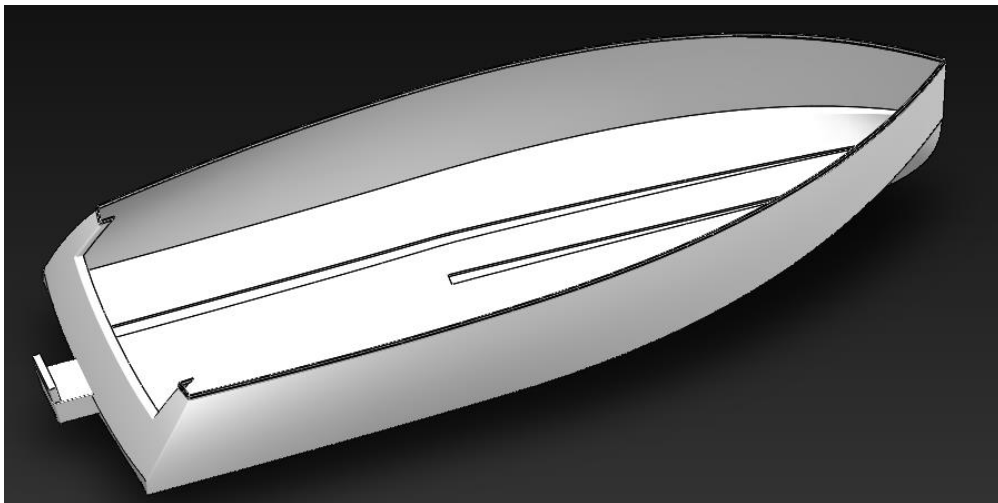


Figura 71 Casco após a função *Shell* da segunda versão

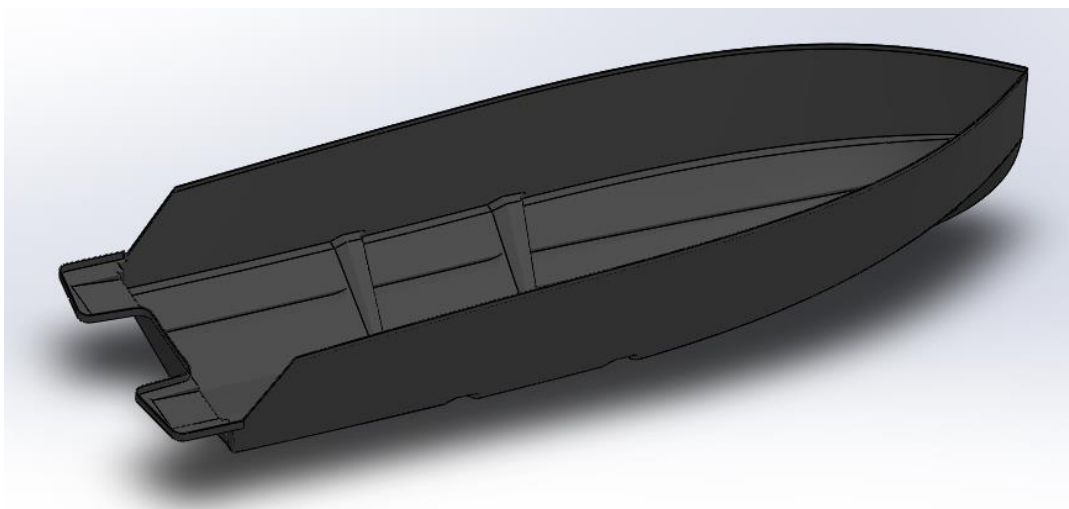


Figura 72 Casco após a função *Shell* da terceira versão com *step*

4.3.6 - Plataforma de Ré

A plataforma de ré é um simples apoio para auxiliar a entrada dos tripulantes na embarcação. A sua construção inicia-se com um *Sketch* como está apresentado na figura 73, onde seguidamente é realizado um *Boss Extrude* com uma espessura de 100 mm, produzindo o sólido que se encontra na mesma figura.

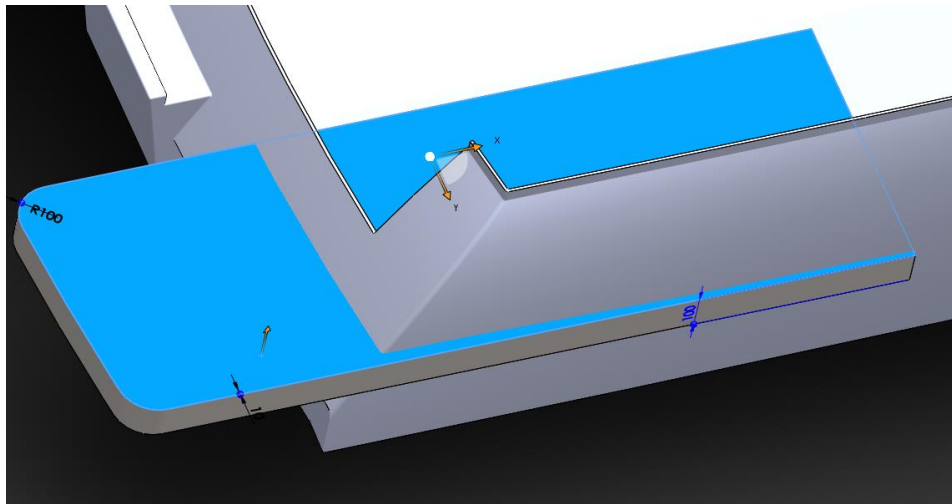


Figura 73 *Sketch* com o *Boss Extrude* da primeira versão da plataforma de ré

Utiliza-se a função *Fillet* para arredondar as arestas, de seguida, com o auxílio da função *Mirror* replica-se uma versão espelhada da plataforma. É feito um *Surface Cut* na parede interior do casco, para retirar o material adicional da plataforma (figura 74 a)). Por fim, a última função a ser aplicada representa-se como um *Extrude Cut* de modo a criar um rebaixo de 4mm (figura 74 b)) com o intuito de instalar a teca nesse espaço.

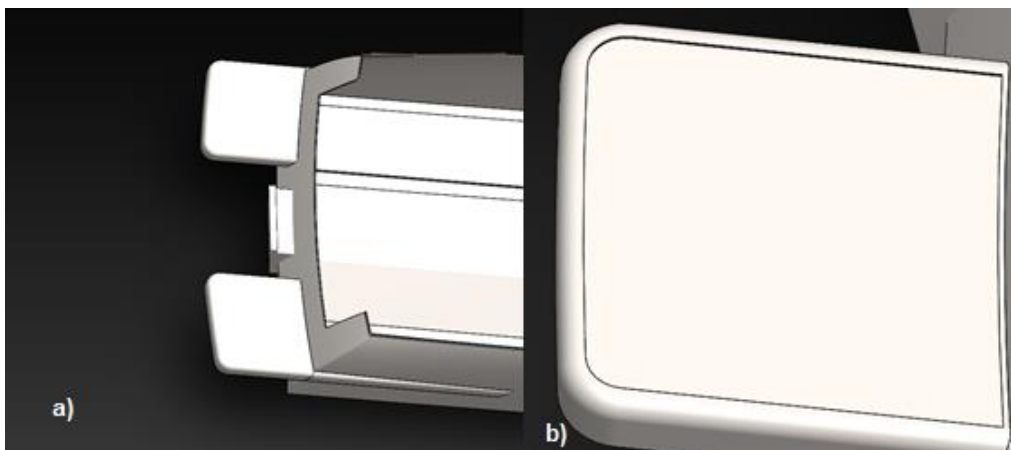


Figura 74 a) primeira versão da plataforma de ré após *Mirror*, e b) acabamento exterior e rebaixo para a teca na primeira versão plataforma de ré

A primeira versão da plataforma de ré é uma peça separada do resto da embarcação, sendo preciso um molde isolado para a manufaturar. Foi criada uma segunda versão desta plataforma, na qual a estrutura pertence ao convés e possui a particularidade de acoplar no suporte do motor, evitando a construção adicional de um molde.

As primeiras etapas da modelação tridimensional da segunda versão da plataforma são semelhantes à da primeira versão. Inicia-se com a criação de um *Sketch* com o seu *design* e realiza-se um *Boss Extrude* (figura 75), após gerar o sólido, com a função *Surface Offset* na parede interior do casco e a função *Surface Cut*, remove-se o excesso.

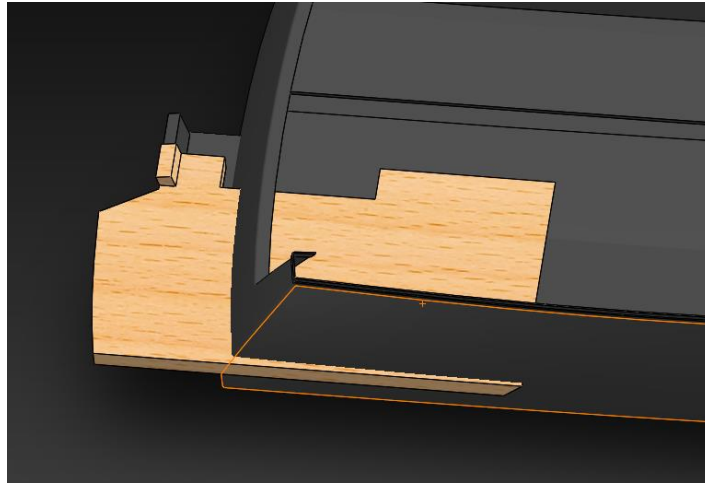


Figura 75 *Boss Extrude* da segunda versão da plataforma de ré

Posteriormente é realizada a função *Mirror*, para adicionar a simetria da plataforma, de forma a abranger a totalidade da popa. Com a plataforma construída, utilizou-se a função *Extrude Cut*, de forma a remover 4 mm de profundidade, com o intuito de colocar a teca neste rebaixo. Eliminou-se qualquer aresta viva na plataforma com a função *Fillet*, obtendo assim a peça da figura 76.

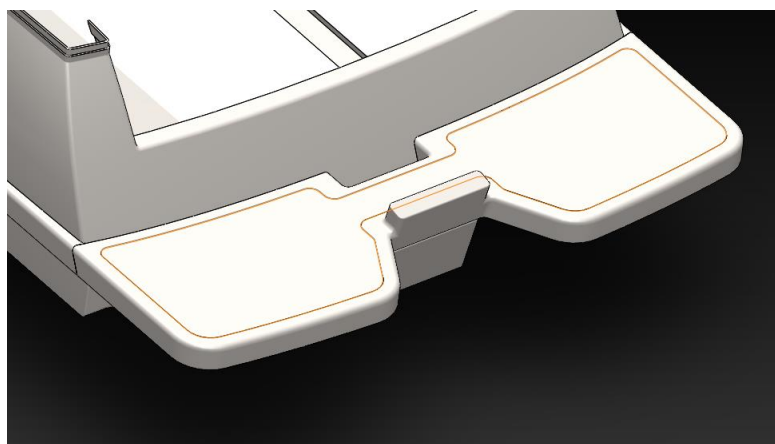


Figura 76 Segunda versão da plataforma de ré após a função *Extrude Cut*

Para concluir o modelo digital da segunda versão da plataforma, foi incluído um tapacabos, cujo objetivo é encobrir os cabos que conectam o motor à consola central da embarcação. O procedimento para a construção digital desta peça inicia-se com um *Sketch* de vista de topo, com as dimensões apresentadas na figura 77, e seguidamente com um *Boss Extrude* proporciona-se uma altura de 75 mm, correspondente à altura final desejada da peça.

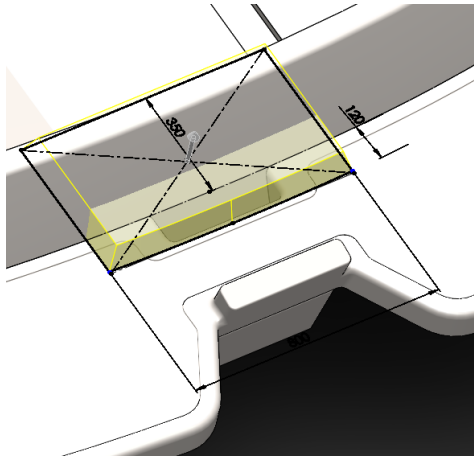


Figura 77 *Boss Extrude* do tapa-cabos

Com o propósito de eliminar o material excedente, aplica-se a função *Surface Cut* na superfície exterior da popa e numa superfície paralela, na qual foi criada com a função *Offset Surface* (figura 78 a)). É realizado um rebaixo de 4 mm para implementação da teca com a função *Extrude Cut* e finaliza-se com a função *Shell* para criar a abertura onde os cabos atravessam do motor para a embarcação (figura 78 b)).

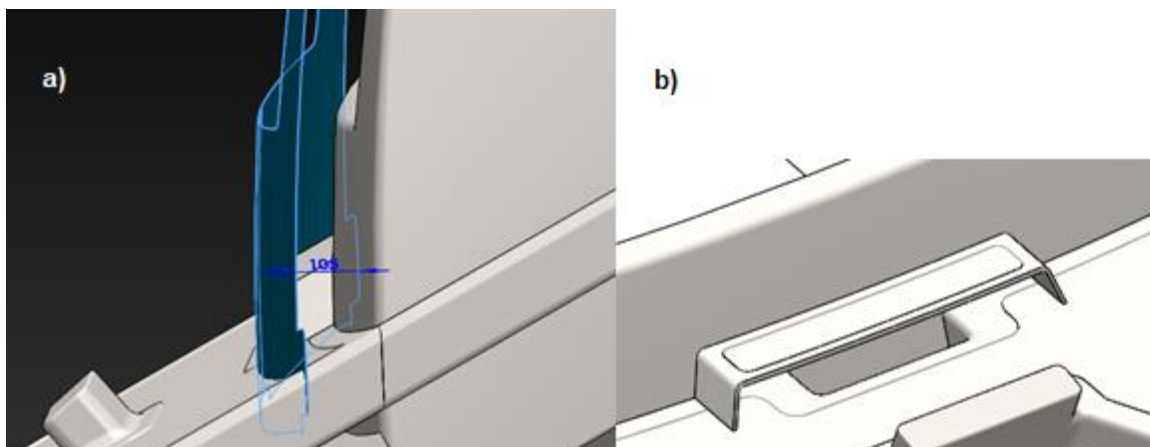


Figura 78 a) *Surface Offset* da superfície exterior do painel de popa, e b) tapa-cabos após a função *Shell*

Na terceira versão da plataforma (figura 79), descartou-se a ideia de incluir o tapacabos, devido à impossibilidade de o retirar do molde pretendido para esta embarcação. Criou-se uma abertura com o espaço suficiente para introduzir os cabos e a cabeça do motor quando recolhido (figura 80).

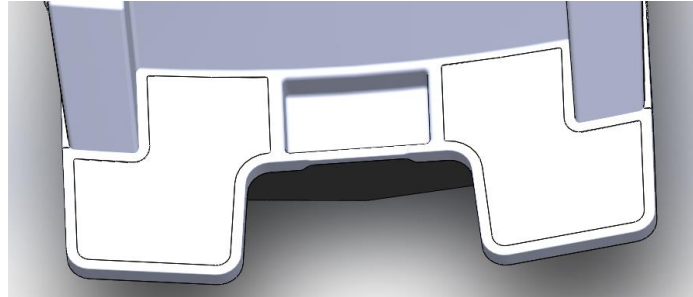


Figura 79 Terceira versão da plataforma de Ré

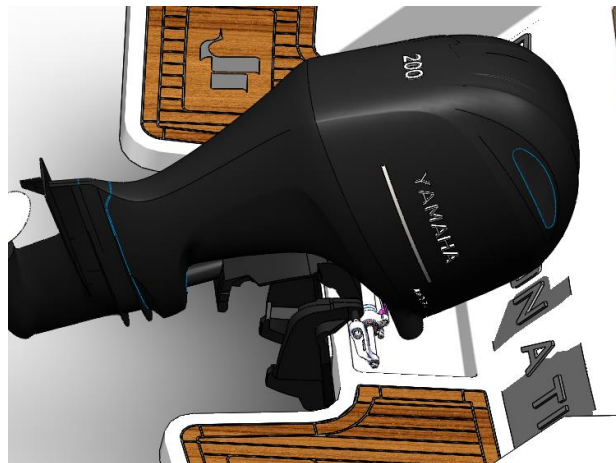


Figura 80 Representação da utilidade da abertura do poço do motor

4.3.7 - Convés

A conceção do modelo digital do convés, tem como origem o esboço de dois *Sketches* que incluem as linhas de contacto entre o casco e o convés (figura 81), sendo que um dos *Sketches* representa a vista lateral enquanto o outro representa a vista de topo. Como previamente realizado, com a execução do modelo do casco, utiliza-se a função *Project Curve*, para conceber a linha tridimensional azul na figura 81. Esta linha, é paralela à aresta da parede do verdugo do casco, que serve de base para a conceber o convés.

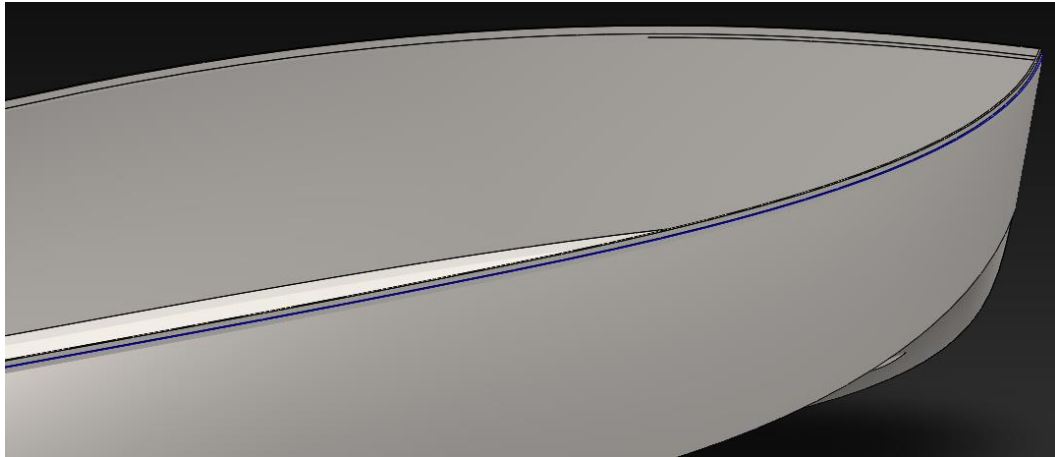


Figura 81 Arestas de contacto entre o convés e o casco

De seguida, foi utilizada a função *Surface Extrude* na direção vertical, seleccionando um comprimento de 45 mm (dimensão aconselhado pela Nautav), de forma a criar uma superfície paralela à parede do casco (figura 82). Para completar a parede do convés em torno da embarcação utiliza-se a operação *Mirror*, como demonstrado na figura 83.

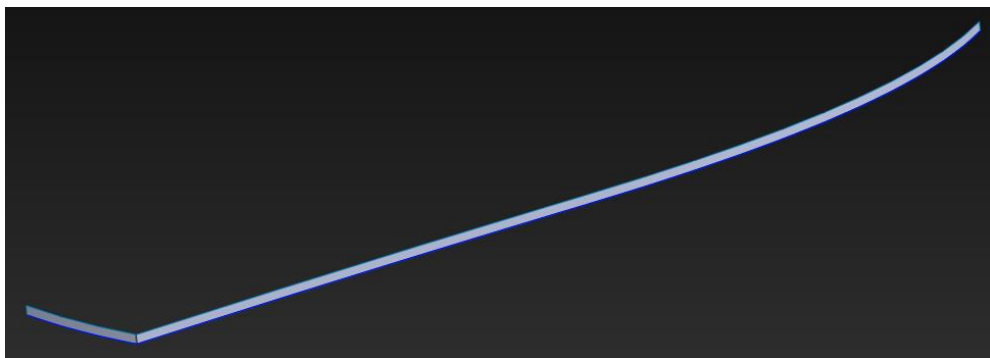


Figura 82 Parede do convés após a função *Surface Extrude*

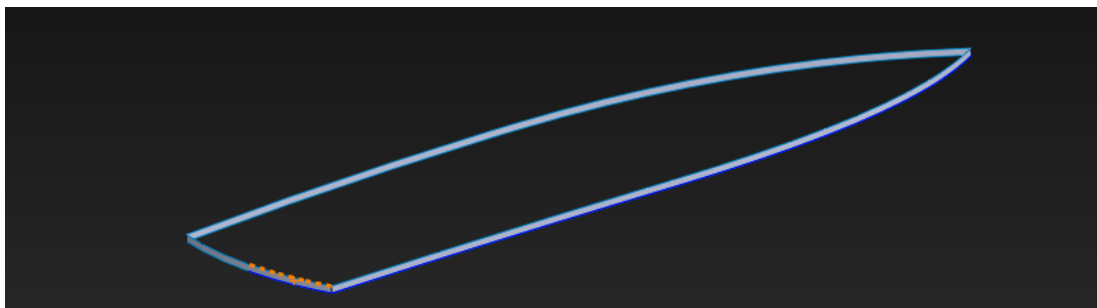


Figura 83 Parede do convés após a função *Mirror*

Com o objetivo de gerar a superfície superior do convés, utiliza-se a função *Fill Surface*, e seleciona-se as arestas superiores da parede do convés. O resultado desta operação é a criação de uma superfície delimitada pela parede criada anteriormente, como demonstrada pela figura 84. Semelhante ao processo de construção do casco, seleciona-se a opção de criar um sólido.



Figura 84 Superfície superior do convés

Une-se o convés ao casco utilizando a função *Combine* (figura 85), com o propósito de auxiliar a construção de diversas estruturas que se realizarão posteriormente.

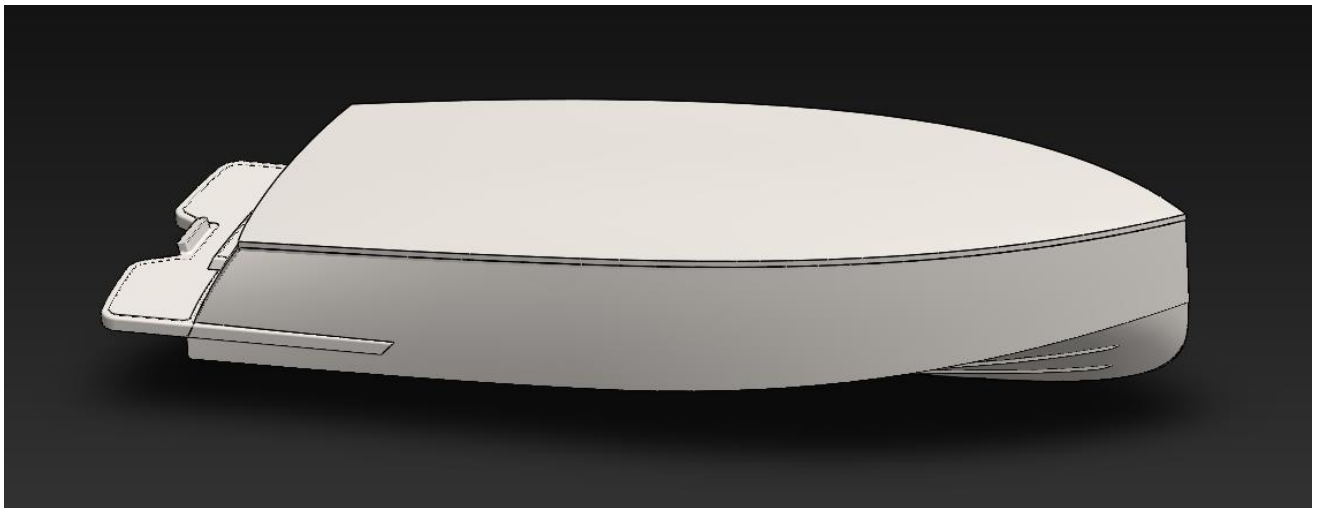


Figura 85 Convés unido ao casco após a função *Combine* (segunda versão)

4.3.8 - Poço do convés

A construção digital deste poço, tem como início a utilização da função *Cut Extrude* no *Sketch* da figura 86 a) (delimitado a azul), onde seguidamente é removido todo o material, desde do degrau de ré até à superfície superior do convés, tendo como resultado, o poço com a mesma altura do degrau da popa.

Como o convés e o casco estão modelados num único sólido devido à utilização previa da função *Combine*, é só necessário retirar material numa única instância, caso contrário, era necessário repetir o procedimento para o convés e o casco de forma individual.

Aplica-se uma segunda vez a função *Cut Extrude* na criação do poço, para lhe fornecer uma profundidade de 350 mm (figura 86 b)), obtendo-se a embarcação da figura 87.

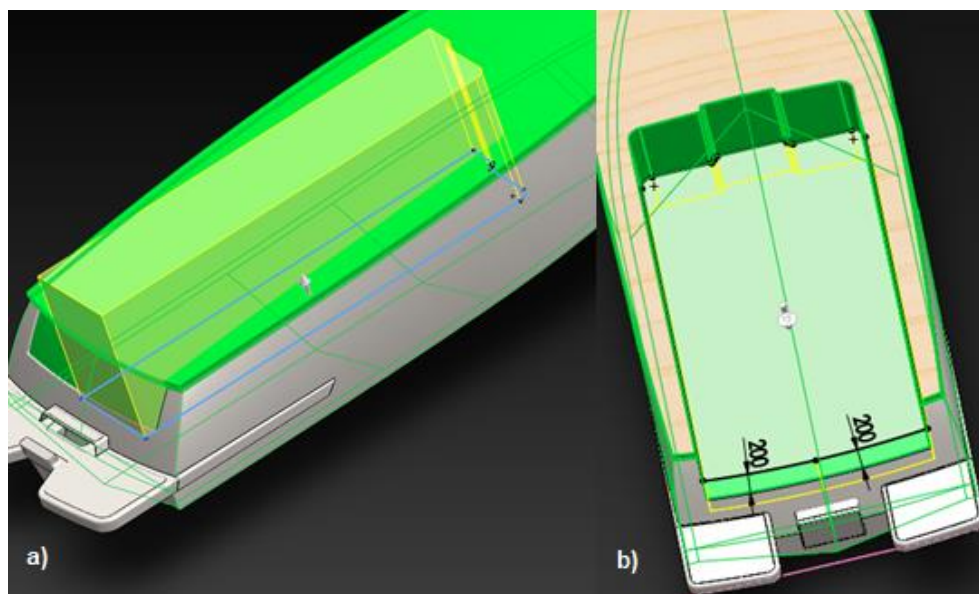


Figura 86 a) aplicação da função *Cut Extrude* na criação do poço, e b) aplicação da função *Cut Extrude* na criação do poço



Figura 87 Embarcação após o segundo *Cut Extrude* no fabrico do poço

Para finalizar o processo de construção digital do poço, utiliza-se a função *Cut Extrude* no degrau da ré (figura 88) e no poço do convés para criar um rebaixo com uma profundidade de 4 mm e um comprimento de 10 mm afastado da borda para a aplicação da teca.



Figura 88 Rebaixo no degrau da ré para instalar a teca

O procedimento da criação do poço não se alterou entre as diferentes versões, sendo dispensável a explicação do procedimento destas.

4.3.9 - Poço da âncora e *Bow Roller*

O objetivo deste compartimento é resguardar o sistema de ancoragem do exterior. Localizado na proa tem uma profundidade de 600 mm (aproximadamente 0.07 m³ de espaço), o suficiente para proteger os 7 metros de corrente e os 42 m de corda (aproximadamente 0.02 m³ de volume), quantidade recomendada para o tamanho desta embarcação (Anónimo 2018).

O processo inicia-se com um *Extrude Cut* no convés a 270 mm da proa e uma profundidade de 25 mm (figura 89 a)). É importante destacar, que desta operação resulta um rebaixo que serve para assentar a tampa, que está representado na figura 89 a). Efetua-se um segundo *Extrude Cut* com um *Sketch* de linhas paralelas ao primeiro corte, concebendo uma abertura com uma profundidade de 550 mm, como apresenta a figura 89 b).

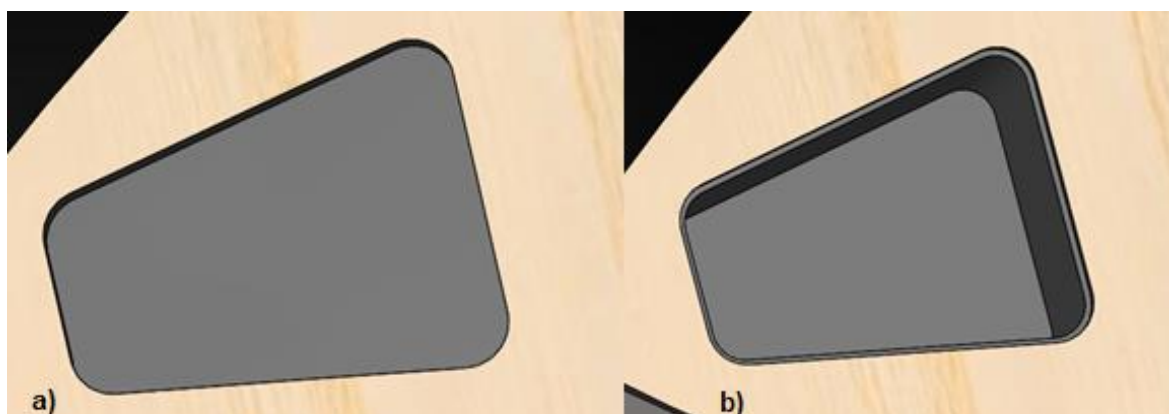


Figura 89 a) *Extrude Cut* do poço da âncora externo, e b) *Extrude Cut* do poço da âncora interno

A abertura do poço da âncora consiste na última remoção do material na construção digital da estrutura do convés, da primeira versão, portanto, pode-se utilizar a função *Shell* com uma espessura de 6 mm, de forma a converter o convés, que era previamente sólido, numa estrutura oca. (figura 90). Após o *Shell* pode-se confirmar que a união entre o casco e o convés corresponde à imagem a) da figura 91.

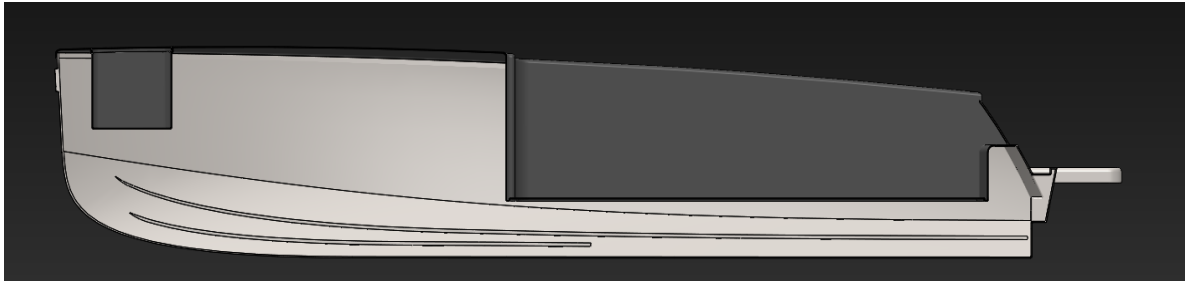


Figura 90 Vista lateral de corte da embarcação após a função *Shell*

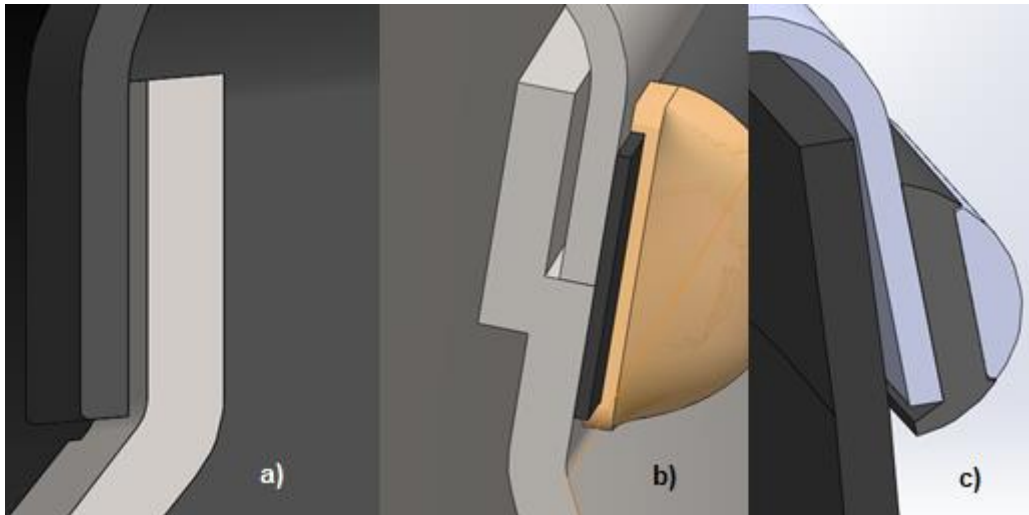


Figura 91 Vista de corte da união entre o convés e o casco, a) primeira versão, b) segunda versão, e c) terceira versão da embarcação

Para fornecer a proteção devida ao sistema de ancoramento é necessário criar uma tampa para cobrir o poço da âncora, este resguardo tem de possuir uma abertura onde a corrente e a corda possam atravessar sem colisão.

O processo de construção desta peça inicia-se com um *Boss Extrude* de um *Sketch* com linhas paralelas às arestas exteriores do poço da âncora, cujo resultado está representado na figura 92.

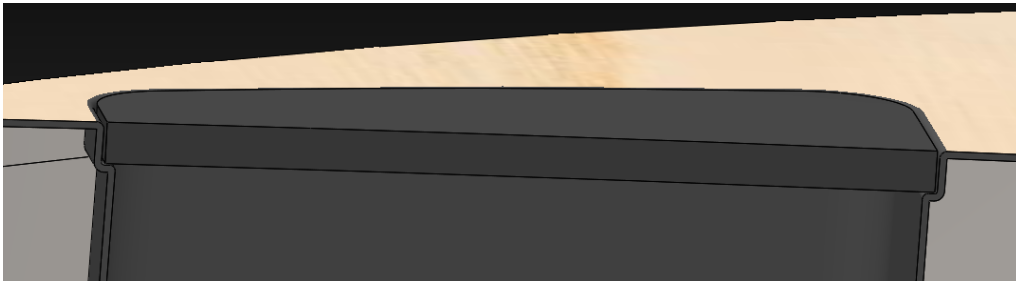


Figura 92 *Boss Extrude* na concepção da tampa do poço da âncora

Realiza-se um *Cut Extrude* na zona entre o poço da âncora e a proa, com o objetivo de criar uma saliência que auxilia a instalação do *Bow Roller*. Utiliza-se de novo, a função *Boss Extrude* na superfície da tampa e com um *Cut Extrude* do *Sketch* na vista lateral, obtém-se a abertura pretendida como demonstra o modelo da figura 93.

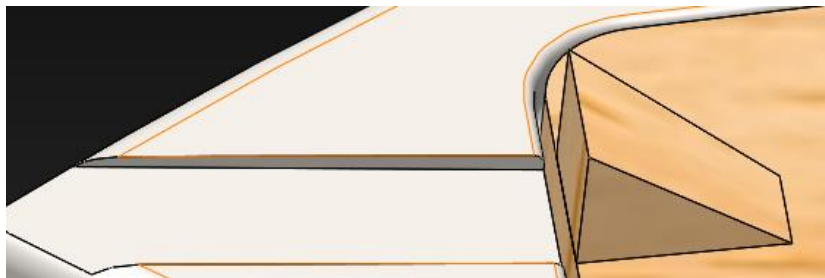


Figura 93 Saliência para instalação do *Bow Roller* e abertura da tampa do poço da âncora

Para poupar material no fabrico da tampa foi necessário torná-la oca, utiliza-se portanto a função *Shell* no bloco previamente construído, com uma espessura de 5 mm como demonstrado na figura 94 a). No entanto, é necessário criar uma abertura para a saída da corrente e da corda, que se obteve posteriormente à utilização da função *Cut Extrude* (figura 94 b)).

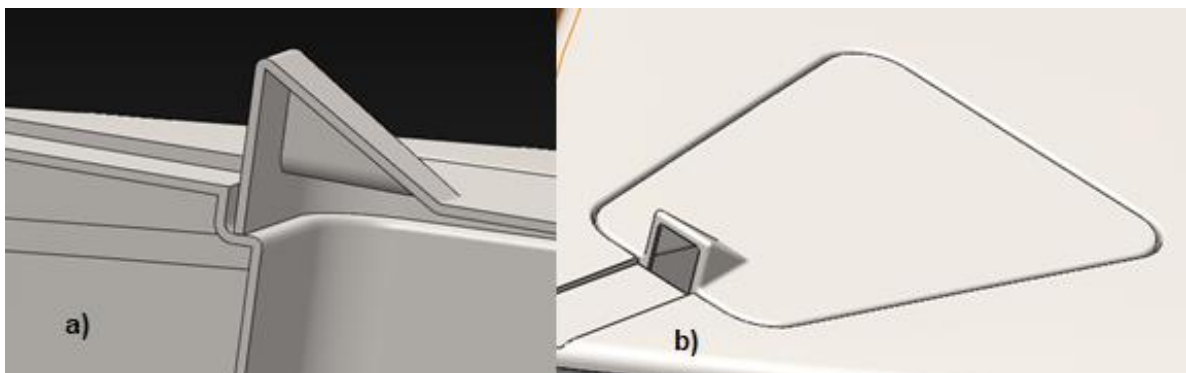


Figura 94 a) *Shell* da zona frontal da tampa, e b) tampa do poço da âncora completa

A construção do modelo digital do *Bow Roller*, principia com um *Boss Extrude* de um perfil cotado na figura 95, sendo adicionados 425 mm de comprimento. Para finalizar este modelo, é utilizada a função *Extrude Cut*, com um *Sketch* na vista de lado de modo a remover o material excedente, obtendo-se a peça da figura 96.

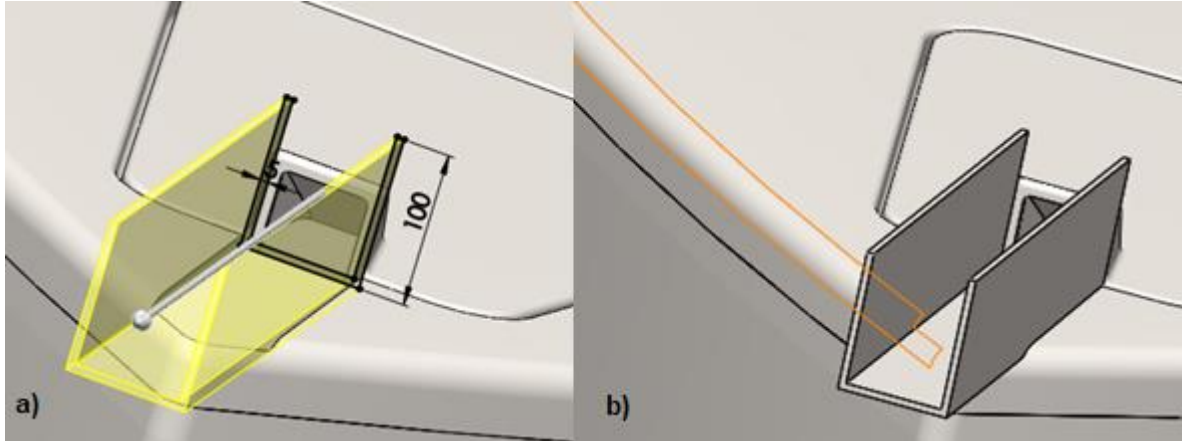


Figura 95 a) detalhes do *Boss Extrude* na construção do bow roller, e b) bow roller após *Boss Extrude*

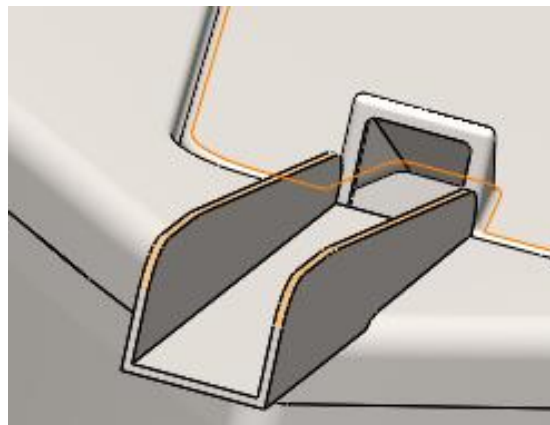


Figura 96 Versão final do *Bow Roller*

4.3.10 - Verdugo

A figura 49 apresenta uma vista de corte, demonstrando como está disposta a união do casco com o convés da primeira versão e a disposição do verdugo que a rodeia. De forma a replicar o verdugo digitalmente, fizeram-se dois perfis, o primeiro com o interior de borracha, localizado na parede do convés (figura 97 a)), e o segundo de aço inox, localizado na parede do perfil exterior de borracha.

Com o perfil da borracha do Sphaera 25 PVC num *Sketch*, como representado na figura 97 a), e seleccionando a linha de verdugo na parede do convés, permite à função *Boss Sweep* criar automaticamente o modelo da borracha em redor da embarcação (figura 97 b)).

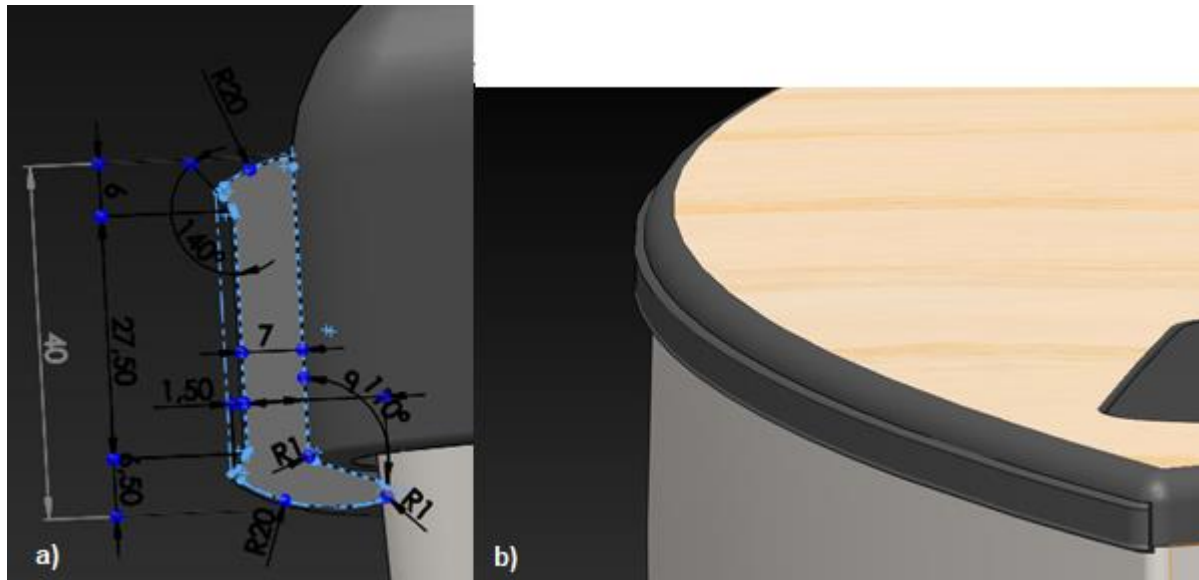


Figura 97 a) perfil cotado da borracha do verdugo Sphaera 25, e b) modelo da borracha do verdugo na parede do convés

Repete-se o procedimento anterior, para a placa de inox do verdugo, utilizando o perfil da figura 98 a) e a linha da parede do convés para definir a direção, criando o modelo representado na figura 98 b).



Figura 98 a) perfil da placa de inox do verdugo Sphaera 25, e b) verdugo com a placa de inox após a função *Boss Sweep*

Com a finalização do modelo do verdugo detetaram-se dois problemas, o primeiro é demonstrado na figura 99 a), existindo uma colisão entre a borracha do verdugo e o convés. Apesar de haver baixa possibilidade de ocorrer um problema no fabrico da embarcação, devido à maleabilidade da borracha, foi preferível mudar o modelo do verdugo na segunda versão da embarcação, para o Sphaera 25 ST/ST (figura 100), resolvendo-se assim o problema.

O outro problema está relacionado com a quantidade de memória que este modelo ocupa no computador, de forma que para aliviar espaço, foi simplificado o verdugo para um perfil menos detalhado (figura 99 b)).

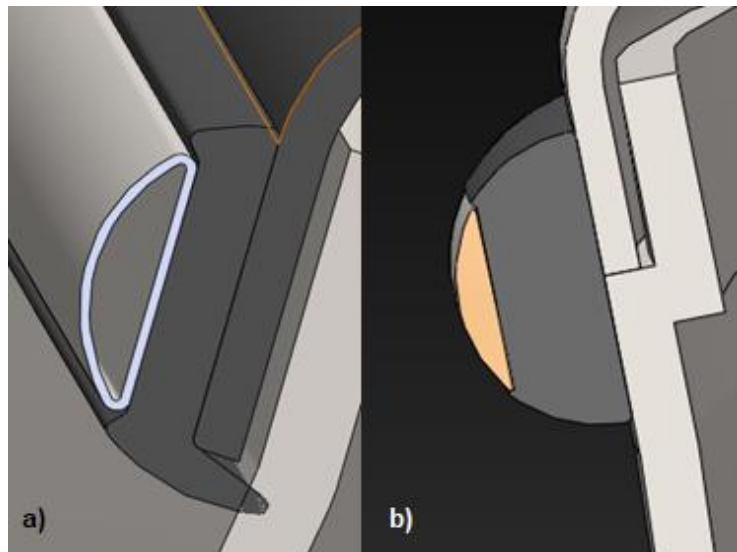


Figura 99 a) colisão entre a borracha do verdugo e a parede do casco na primeira versão, e b) vista de corte do perfil simplificado do Sphaera 25 ST/ST



Figura 100 Sphaera 25 ST/ST [31]

Na terceira versão devido à impraticabilidade durante a manufatura de desmoldar paredes retas, o *design* das paredes do casco e do convés foi modificado, com a implementação de uma inclinação de 1° (figura 91 c)), permitindo assim a este *design* incluir de novo, o verdugo original Sphaera 25 PVC, sem que ocorram colisões.

4.3.11 - Para-brisas

A construção do modelo do para-brisas tem como início a utilização da função *Project Curve*, de *Sketches* no plano de topo e no plano de lado das curvas relativas ao para-brisas (figura 101).

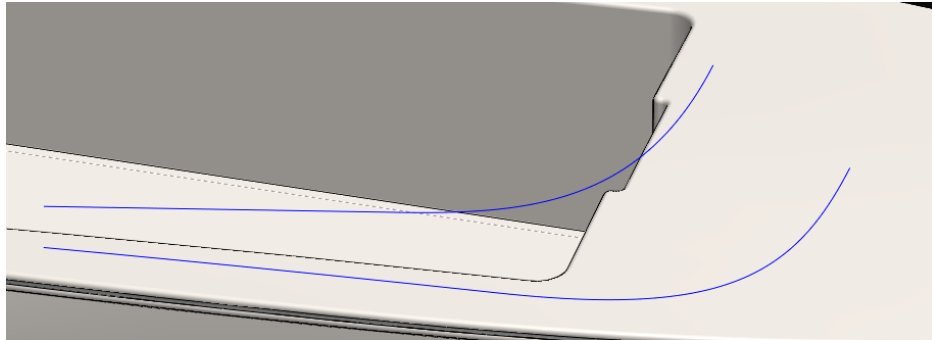


Figura 101 Duas curvas projetadas na embarcação

Emprega-se a função *Boundary Surface* para gerar uma superfície delimitada pelas curvas criadas na etapa anterior, onde seguidamente a função *Mirror* permite espelhar a superfície, que se verifica na figura 102 a). Para dar espessura à superfície e finalizar o modelo, aplica-se a função *Thicken* com uma espessura de 10 mm (figura 102 b)).

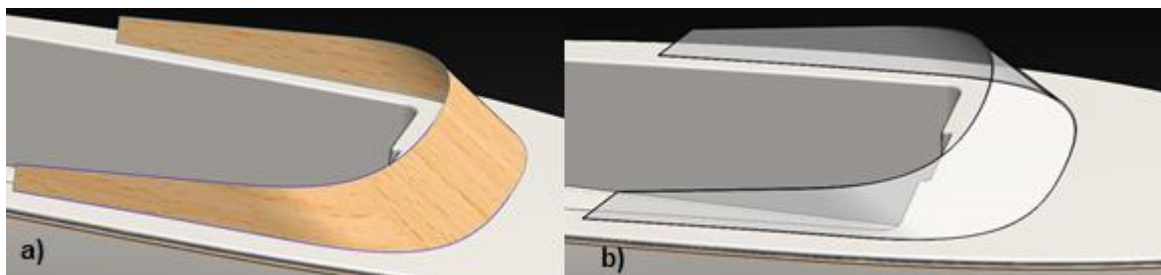


Figura 102 a) para-brisas após a função *Boundary Surface*, e b) modelo do para-brisas final

Modelou-se também um para-brisas de *design* alternativo (figura 103), utilizando o mesmo procedimento, diferenciando-se nas curvas projetadas e a utilização do *Fill Surface* na criação das superfícies, em oposição da função *Boundary Surface*.

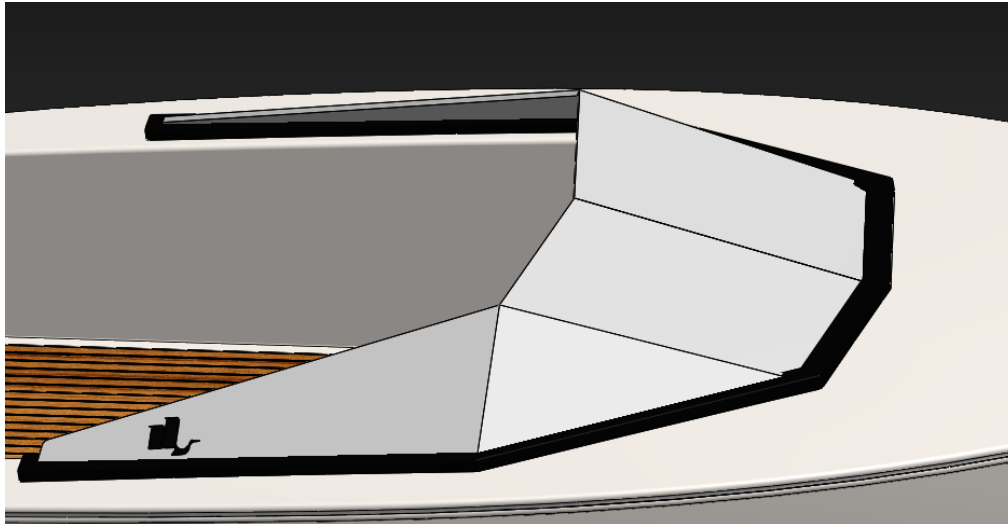


Figura 103 Modelo alternativo do para-brisas

4.3.12 - Teca sintética

A teca sintética é um revestimento com uma espessura de 5 mm, e os locais onde vão ser instalados possuem um rebaixo de 4 mm, vai existir uma saliência de 1 mm que com o desgaste nivelar-se-á ao resto do convés.

A construção do modelo digital do revestimento inicia-se com um *Boss Extrude* de 1 mm nos locais onde a teca é instalada (figura 104), permitindo este processo que as operações seguintes pertençam automaticamente ao mesmo sólido.

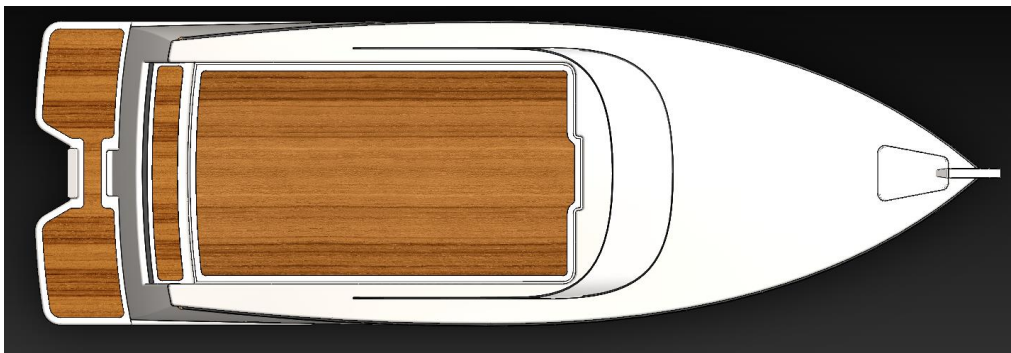


Figura 104 Vista de topo da embarcação após o *Boss Extrude* de 1 mm

A etapa seguinte é realizar um esboço com as réguas de teca (figura 105), e utilizar a função *Boss Extrude* com 4 mm de espessura, nos locais onde vão ser instalados, ou seja no poço, na plataforma de ré e no degrau da popa. Com as réguas modeladas, procede-se com o *Sketch* do Sikaflex que se localiza nas bordas das réguas da teca, posteriormente aplica-se o *Boss Extrude* no *Sketch* como mostra a figura 106, e repete-se a operação para os locais mencionados, obtendo-se no final a embarcação da figura 107.

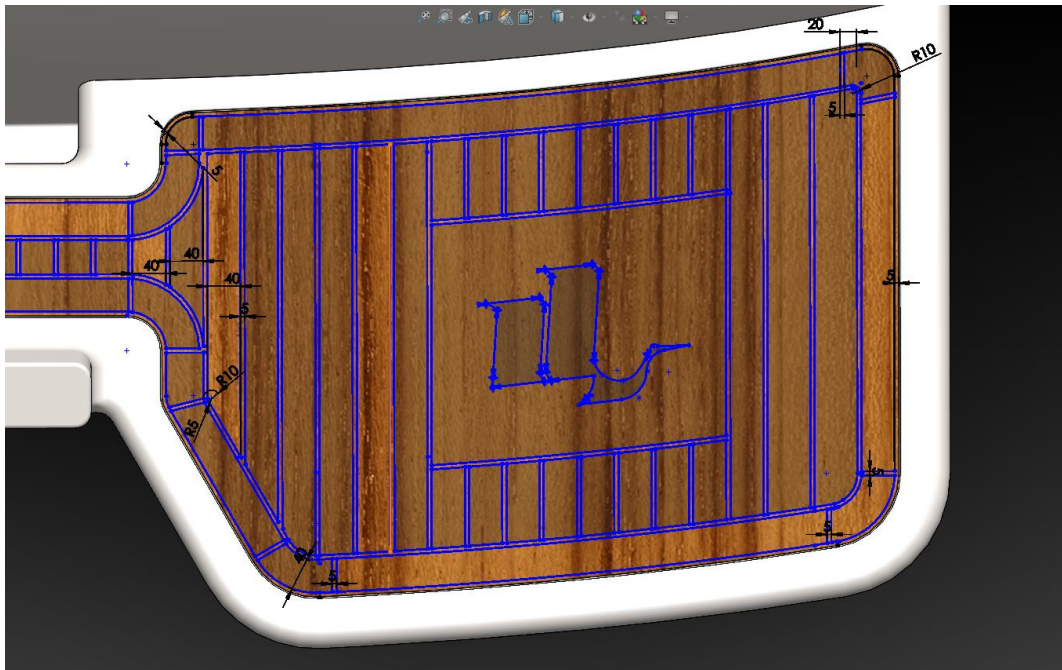


Figura 105 *Sketch* da teca localizado na plataforma de ré

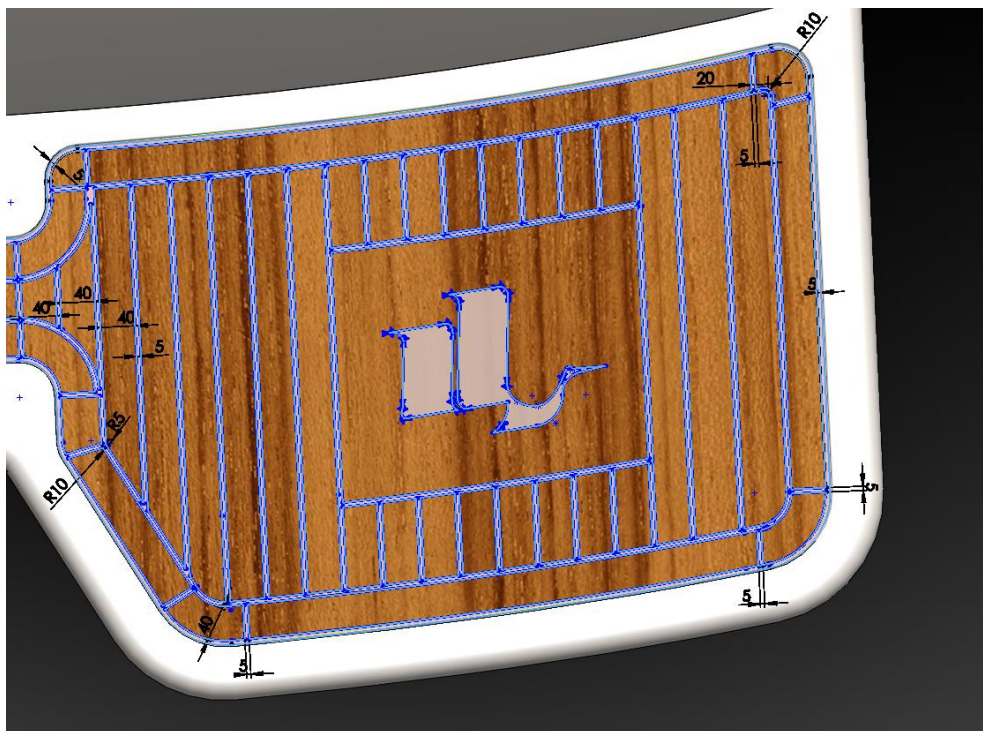


Figura 106 *Boss Extrude* do *Sketch* do *Sikaflex* localizado na plataforma de ré

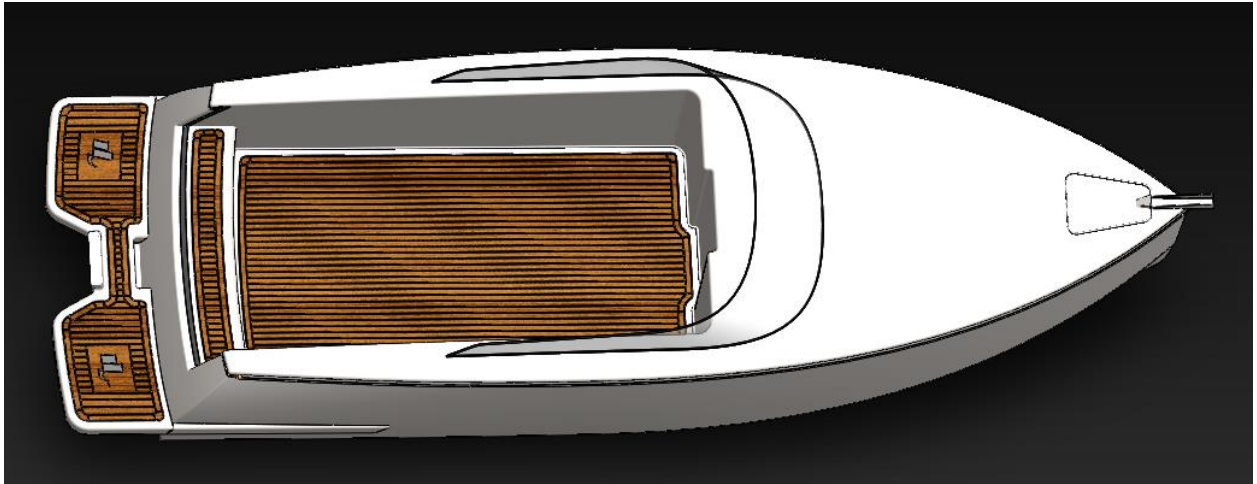


Figura 107 Embarcação após acrescentar o *Sikaflex*

4.3.13 - Motor e a âncora

O modelo tridimensional do motor (figura 108 a)) está disponível no website oficial da Yamaha, no entanto é necessário substituir superfícies exteriores e converter o modelo num único sólido para que seja possível manipulá-lo no *software* e adicioná-lo na *Assembly* da embarcação.

O modelo da âncora, similarmente como o motor, importou-se a partir do website, onde está disponível o modelo, neste caso não existe a necessidade de ser modificada, bastando a sua introdução diretamente na *Assembly* (figura 108 b)).

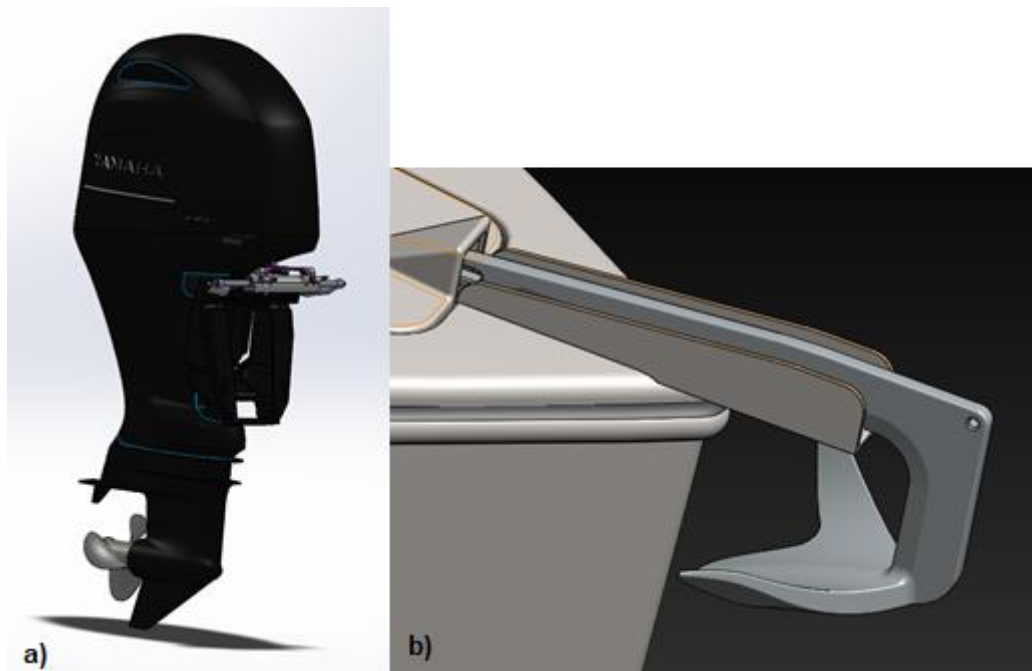


Figura 108 a) modelo do motor Yamaha F150 X, e b) modelo da âncora do tipo *Bruce/Claw* de 10 kg

4.3.14 - Modelos base finais

Neste subcapítulo apresentam-se as três versões das embarcações concebidas em *SOLIDWORKS*. Com a construção da primeira versão (figura 109), foi possível notar diversos erros, destacando-se entre eles a seleção incorreta de componentes e formato do casco. É ainda possível consultar estes problemas com detalhe no Anexo A1 (desenhos técnicos cotados da primeira versão da embarcação).

A segunda versão, representada na figura 110, corrige diversos erros anteriormente identificados, como a plataforma de ré, o verdugo e o casco, adiciona ainda novos componentes, como o *bow roller* e o tapa-cabos. Os desenhos técnicos desta versão estão no Anexo A2 (desenhos técnicos cotados da segunda versão da embarcação).

Por fim na terceira versão (figura 111), foi reestruturada a plataforma de ré, de modo a ser possível a manufatura da embarcação com a utilização de dois moldes, e foi adicionado um casco com a opção de incluir dois *steps*, um poço do motor e modificado o encaixe entre o convés e o casco. Os desenhos técnicos desta versão encontram-se no Anexo A3 (desenhos técnicos cotados da terceira versão da embarcação (casco Tradicional e casco *Performance*)).



Figura 109 Primeira versão da embarcação



Figura 110 Segunda versão da embarcação

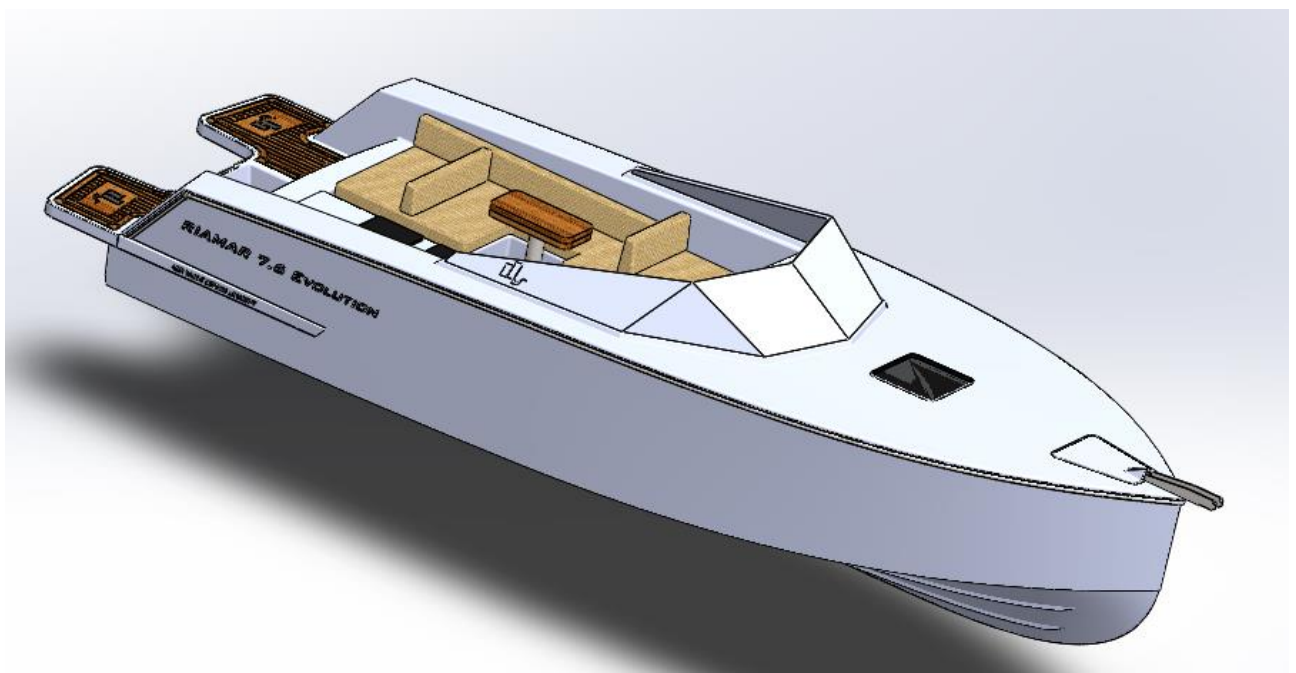


Figura 111 Terceira versão da embarcação

Após o *Assembly*, utilizou-se o *software* Keyshot para renderizar o modelo final, com o intuito de criar imagens realistas da embarcação pós manufatura. O resultado desta renderização, pode ser observado na figura 112 e na figura 113.



Figura 112 Vista da popa da terceira versão após a renderização



Figura 113 Vista da proa da terceira versão após a renderização

4.3.15 - Modelos do negativo do molde

No processo de fabrico do molde do casco, para ser possível maquinar o seu negativo numa máquina CNC, é aconselhado criar o seu modelo digital de forma a programar automaticamente as coordenadas de corte. Por este motivo, criou-se o modelo 3D, do molde e do seu respetivo negativo, do convés e do casco Tradicional.

Adquiriu-se estes modelos utilizando o *Surface Offset* nas superfícies do casco/convés e após esta ação, a função *Surface Extrude* aumentou as superfícies limites, que depois de converter em sólido e utilizar a função *Combine*, permitiu obter os modelos do molde da figura 115 e 117. Utilizou-se ainda a função *Body Move/Copy* para criar os modelos a maquinar da figura 114 e 116, a partir dos moldes obtidos anteriormente.

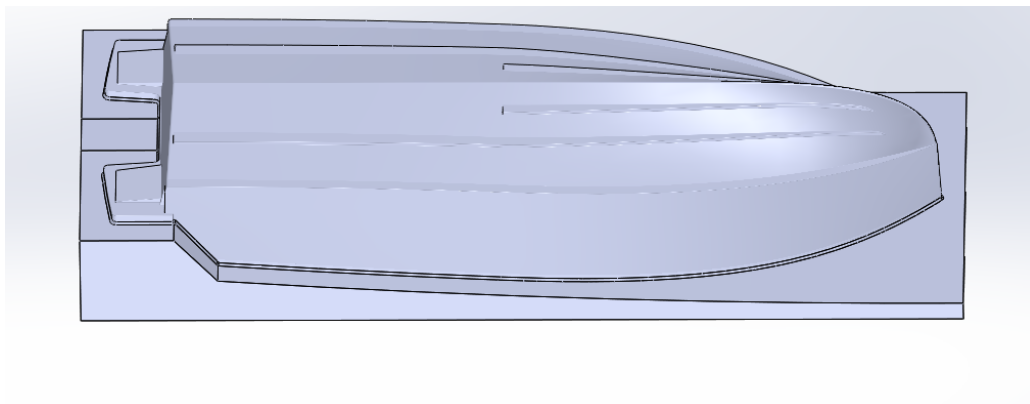


Figura 114 Modelo negativo do molde do casco a ser maquinado

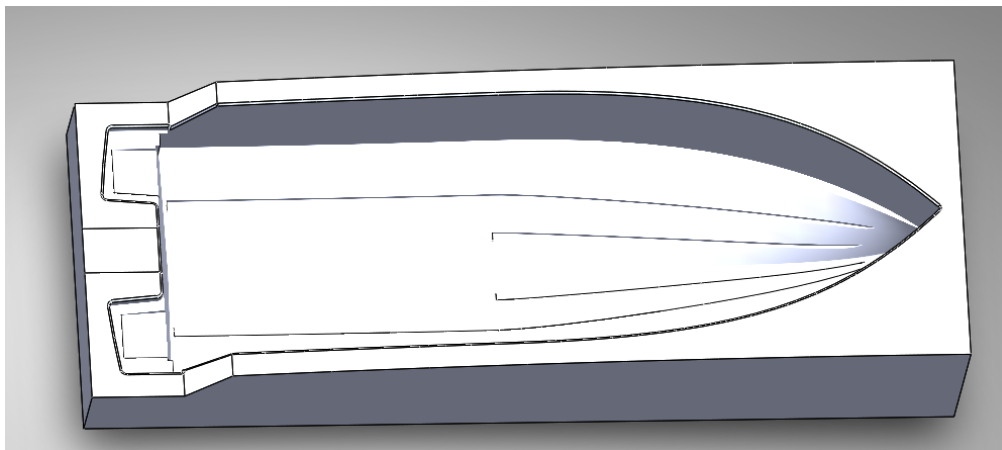


Figura 115 Modelo do molde do casco

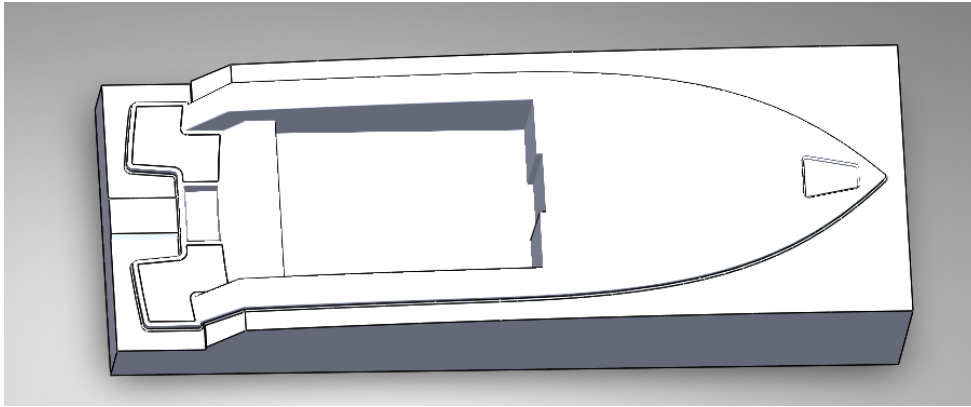


Figura 116 Modelo negativo do molde do convés a ser maquinado

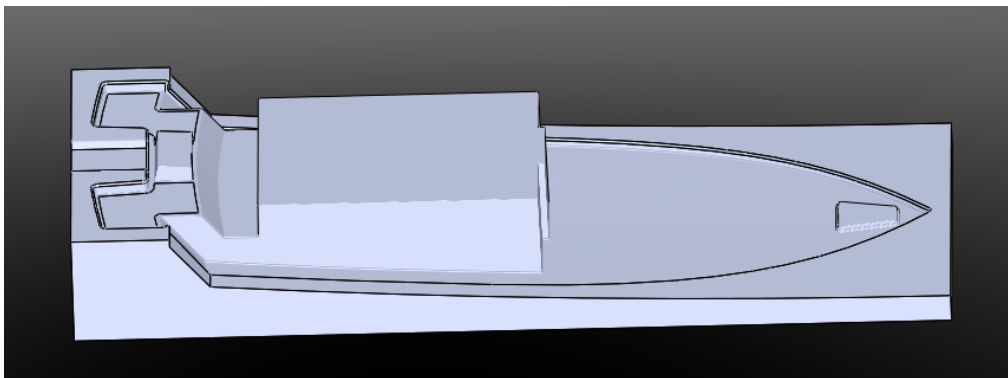


Figura 117 Modelo do molde do convés

Não se realizou o modelo do molde do casco *Performance*, dado que, ao integrar a peça de conversão apresentada na figura 118, no molde do casco Tradicional, irá incluir os *steps* no produto final. Deste modo, não existe a necessidade de criar dois moldes de cascos diferentes.

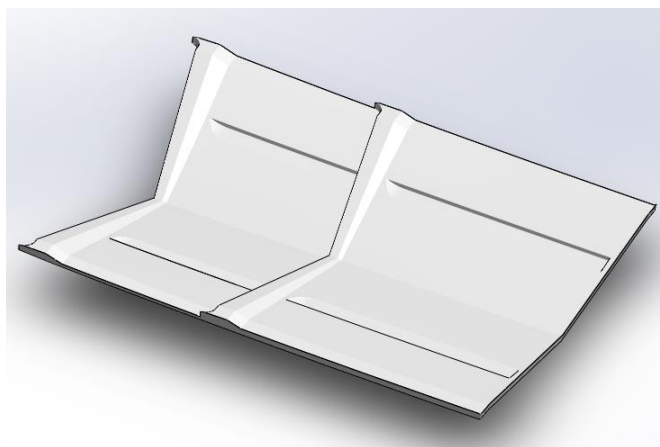


Figura 118 Peça de conversão do molde do casco Tradicional para o casco *Performance*

4.4 - Protótipo por fabrico aditivo

Com a conversão para o tipo STL dos ficheiros dos modelos digitais da terceira versão da embarcação, reproduziu-se duas réplicas físicas em PLA, por fabrico aditivo (extrusão de filamento fundido) de ambos os cascos (Tradicional e *Performance*) em várias impressoras Prusa i3 MK3S. Importa ainda destacar o facto de a embarcação ser impressa em duas partes separadas, devido à sua dimensão ser superior à capacidade da mesa de impressão.

O resultado da montagem das diversas peças impressas, está presente na figura 117, com uma vista acima do bombordo da embarcação. Nas figuras 120 e 121 encontram-se a versão Tradicional e *Performance*, respetivamente.

Estes modelos, permite-nos detetar erros e problemas, que dificilmente eram identificáveis pelo *software*, garantindo também a validação do *design* e da estrutura global da embarcação.

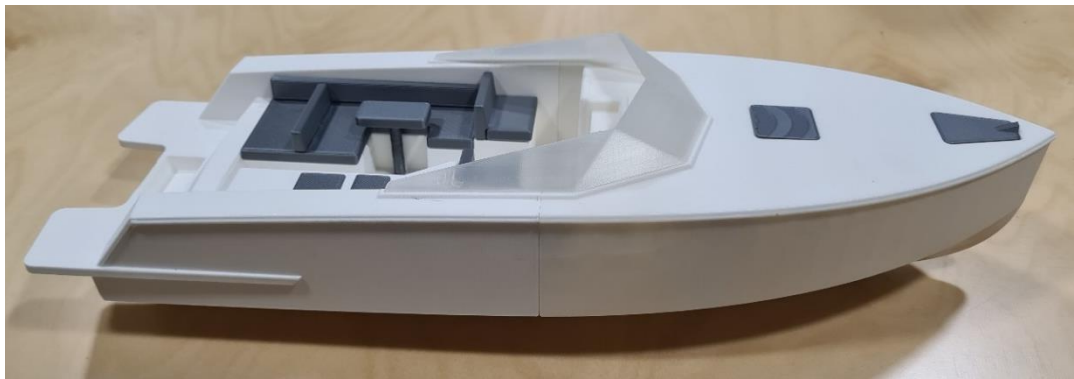


Figura 119 Protótipo impresso por FA, da terceira versão da embarcação.



Figura 120 Protótipo impresso por FA, do casco Tradicional.

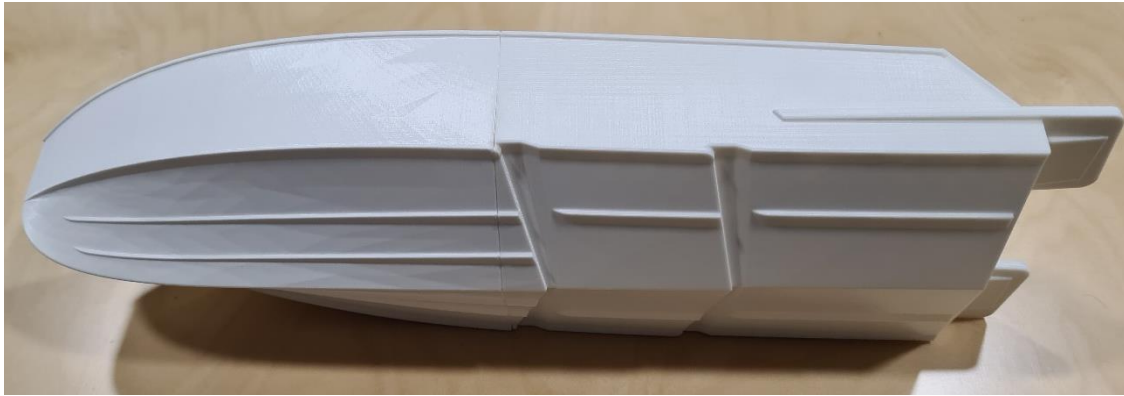


Figura 121 Protótipo impresso por FA, do casco *Performance*.

Reproduziu-se também, por fabrico aditivo, o molde e o seu respetivo negativo do convés e do casco Tradicional. A figura 122, representa o protótipo do molde do casco e o seu negativo e a figura 123 o protótipo do molde do convés, juntamente com o seu negativo.



Figura 122 Protótipo do molde do casco e do seu negativo

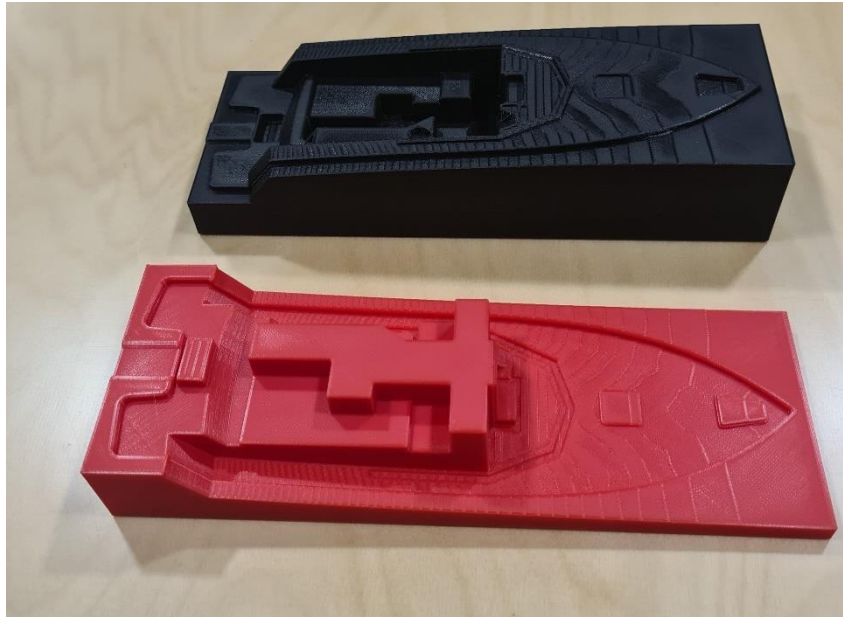


Figura 123 Protótipo do molde do convés e do seu negativo

Capítulo 5 - Análise estática e dinâmica

5.1 - Introdução

Neste capítulo, é apresentada uma revisão de diferentes características mecânicas estáticas e dinâmicas do modelo do casco e o procedimento para as obter. Estas características obtiveram-se através do *software SOLIDWORKS*, utilizando as ferramentas de simulação disponíveis.

5.2 - Análise Estática

5.2.2 - Estabilidade longitudinal

5.2.2.1 - Análise ao casco Tradicional (sem *step*)

As coordenadas utilizadas nesta análise estão organizadas da seguinte forma:

X – Eixo ao longo do comprimento da embarcação;

Y – Eixo ao longo da altura da embarcação;

Z – Eixo ao longo da largura da embarcação;

A tabela 4 apresenta os parâmetros utilizados na análise da embarcação Tradicional.

Tabela 4 Parâmetros da embarcação com o casco Tradicional para análise longitudinal

Parâmetros		Valores
Massa específica (FV)		2440.00 kg/m ³
Massa específica aumentada (FV)		3620.00 kg/m ³
Massa		1818.94 kg
Centro de gravidade (CG) em coordenadas relativas	X	2521.28 mm
	Y	745.15 mm
	Z	0 mm

O valor da massa específica da fibra de vidro aumentada, é um valor arbitrário para simular a massa dos componentes e dos passageiros em falta no modelo, sendo assim o resultado da massa total é de 2698.59 kg.

O valor da massa foi-nos fornecido pelo *SOLIDWORKS*, com a função *Mass Properties*, após selecionarmos os materiais de cada um dos objetos no *Assembly*. A função proporciona o valor da massa, do volume e a localização do centro de gravidade como demonstra a figura 124.

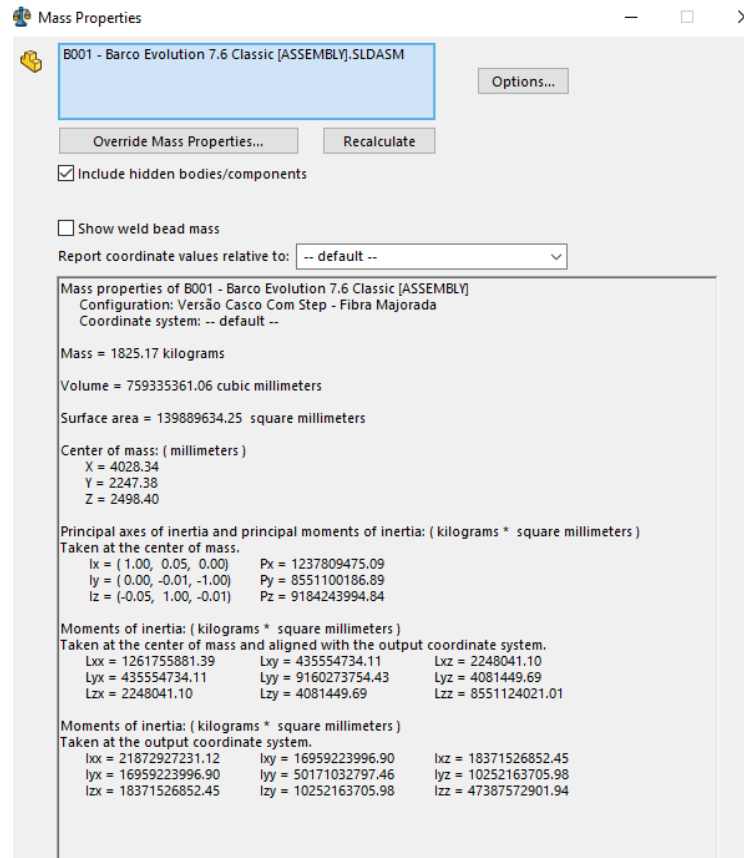


Figura 124 Resultado da função *Mass Properties* para a embarcação com step

A figura 125 a) e b) revela a localização cotada do centro de gravidade da embarcação com casco Tradicional.

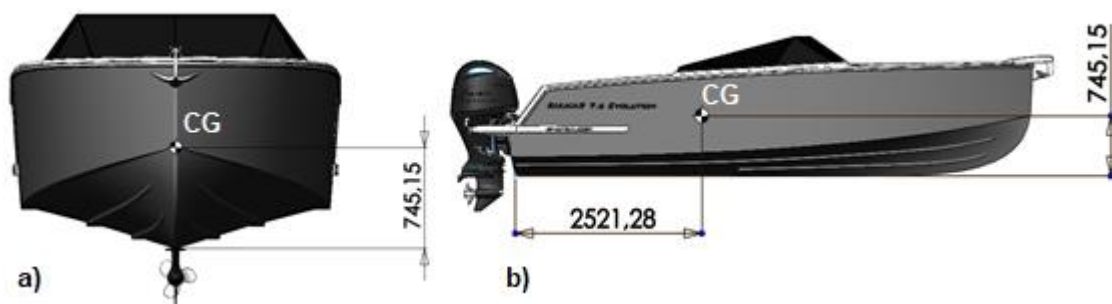


Figura 125 Localização do CG da embarcação sem step (casco Tradicional), a) vista de frente, e b) vista de lado

O Anexo B1 contém os valores da força de impulsão e a localização do centro de flutuação (CF) (figura 126), que foram calculados com a distância do calado.



Figura 126 Exemplo de linha de água com o CF correspondente da embarcação de casco Tradicional

Conhece-se a linha de água final, quando a força de impulsão é equivalente ao peso do barco. Com o valor da linha de água conhecida, é possível obter as coordenadas do centro de flutuação da embarcação.

A figura 127 e a figura 128 representam a localização cotada do centro de flutuação da embarcação com a força de impulsão de 1818.94 kgf. Estes valores foram confirmados através de um programa de simulação incluído no *SOLIDWORKS* que permitiu interpolar os vários centros de gravidade para cada linha de água, como se pode observar na figura 129. A diferença de 1 mm entre os dois métodos, é devido ao arredondamento realizado pelo *software*.

A tabela 5 apresenta os resultados do B1 compilados para cada altura da linha de água.

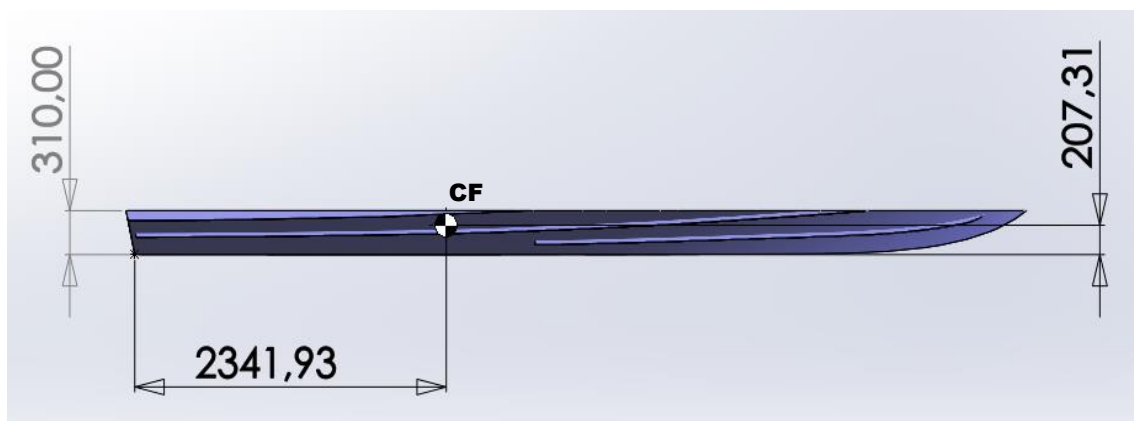


Figura 127 Vista de lado da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco Tradicional

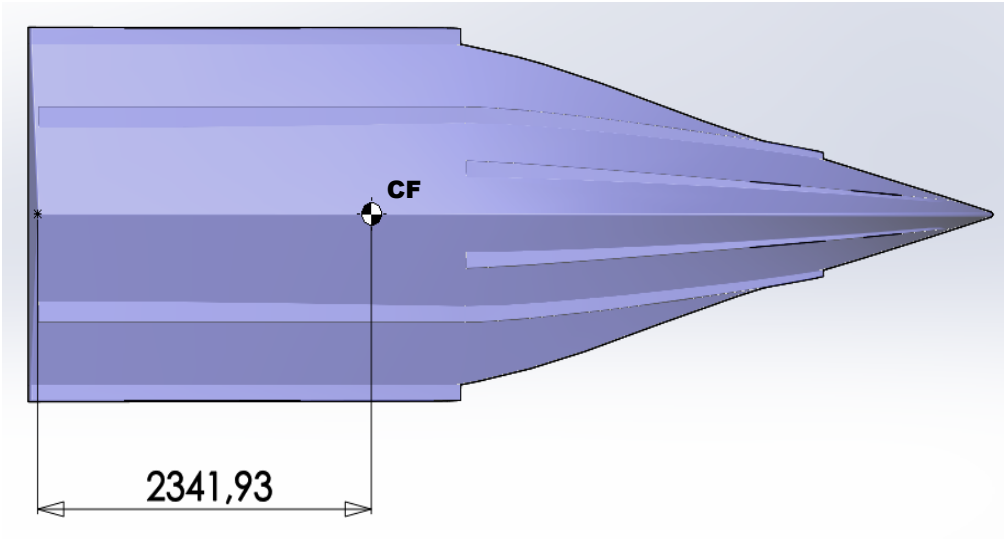


Figura 128 Vista de baixo da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco Tradicional

front

Variable View Table View Results View

302 of 302 scenarios ran successfully. Design Study Quality: High

		Current	Initial	Scenario 109	Scenario 110	Scenario 111	Scenario 112	Scenario 113	S
Cutting		309mm	1117.2mm	308mm	309mm	310mm	311mm	312mm	313mm
Mass1	Monitor Only	1819103.7848 g	12943496.96198 g	1807702.70618 g	1819103.7848 g	1830527.65 g	1841972.68958 g	1853437.11265 g	1864972.68958 g

Figura 129 Resultados da interpolação do valor do calado

Tabela 5 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo B1 para cada calado.

Linha de água(mm)	Coordenadas relativas em Y		F	Força de impulso ((kgf)	Centro de Flutuação (B) X (mm)		Centro de Flutuação (B) Y (mm)		
					Coordenadas Relativas		Coordenadas Relativas		
					Coordenadas Absoluta	1500	Coordenadas Absoluta	1500	
	50,0	310			44,14	3715,52	2215,52	1533,47	33,47
	100,0	310			181,82	3767,54	2267,54	1567,20	67,20
	150,0	310			420,25	3773,42	2273,42	1601,11	101,11
	200,0	310			751,74	3796,57	2296,57	1634,19	134,19
	250,0	310			1179,82	3813,55	2313,55	1667,51	167,51
	280,0	310			1486,91	3822,02	2322,02	1687,69	187,69
	285,0	310			1540,72	3824,64	2324,64	1691,01	191,01
	290,0	310			1595,17	3827,54	2327,54	1694,30	194,30
	295,0	310			1650,25	3830,77	2330,77	1697,58	197,58
	300,0	310			1705,91	3834,25	2334,25	1700,84	200,84
	305,0	310			1762,15	3837,98	2337,98	1704,08	204,08
	310,0	310			1818,94	3841,93	2341,93	1707,31	207,31
	315,0	310			1876,26	3846,07	2346,07	1710,52	210,52
	320,0	310			1934,10	3850,41	2350,41	1713,72	213,72
	325,0	310			1992,41	3854,88	2354,88	1716,91	216,91
	330,0	310			2051,21	3859,57	2359,57	1720,08	220,08

Com base na tabela 5, é possível criar o gráfico abaixo (figura 130), sendo que este demonstra a evolução do centro de flutuação proporcional à linha de água. A linha horizontal azul corresponde ao calado final (310 mm) e o respectivo centro de flutuação, pelo que é necessário ter atenção que estes valores correspondem à embarcação quando está a flutuar naturalmente, não quando está em movimento.

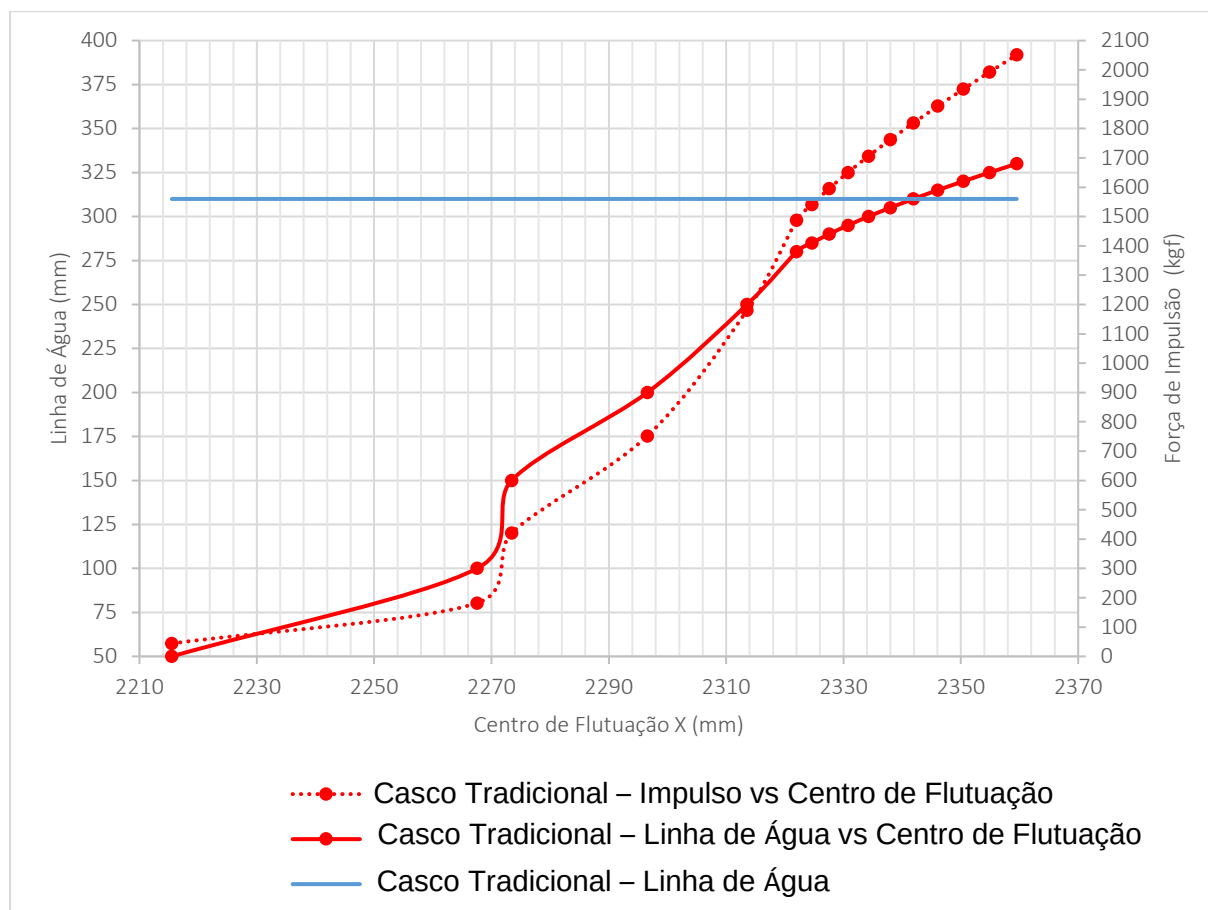


Figura 130 Gráfico da estabilidade longitudinal do casco Tradicional

Este gráfico revela que existe uma tendência, de que com a subida da linha de água, o centro da flutuação tende a aproximar a coordenada X do centro de gravidade. Para que haja alinhamento entre os dois centros, o centro de gravidade tem de ser **recuado** 179.35 mm (2521.28 (figura 125) – 2341.93 (figura 127)) de forma a embarcação ficar na posição horizontal e garantir a estabilidade longitudinal.

5.2.2.2 - Análise ao casco *Performance* (com *step*)

As coordenadas utilizadas nesta análise estão organizadas da seguinte forma:

- X – Eixo ao longo do comprimento da embarcação;
- Y – Eixo ao longo da altura da embarcação;
- Z – Eixo ao longo da largura da embarcação;

Parâmetros utilizados na análise da embarcação com *step* (tabela 6):

Tabela 6 Parâmetros da embarcação com o casco com *steps* para análise longitudinal

Parâmetros		Valores
Massa específica (FV)		2440.00 kg/m ³
Massa específica aumentada (FV)		3620.00 kg/m ³
Massa		1825.17 kg
Centro de Gravidade (CG) em coordenadas relativas	X	2527.09 mm
	Y	749.37 mm
	Z	0 mm

A figura 131 a) e b) revela a localização cotada do centro de gravidade da embarcação com *step* (versão *Performance*)

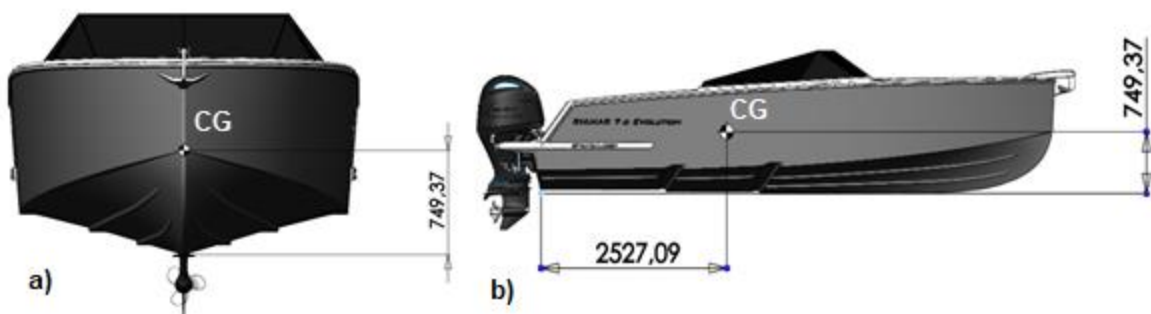


Figura 131 localização do CG da embarcação com *step*, a) vista de frente, e b) vista de lado

O Anexo B2 contém os valores da força de impulsão e a localização do centro de flutuação (CF), na qual foram calculados com a distância do calado para esta embarcação.



Figura 132 Exemplo de linha de água com o CF correspondente para a embarcação de casco com *step*

O método utilizado para calcular a linha de água e o centro de flutuação é semelhante ao utilizado previamente. Com base nos resultados do Anexo B2, foi compilado na tabela 7, os valores centro de flutuação e força de impulsão, para cada altura linha de água. Como referido anteriormente, conhece-se a linha de água final quando a força de impulsão é equivalente ao peso do barco.

A figura 133 e figura 134 representam a localização cotada do centro de flutuação da embarcação com a força de impulsão de 1825.17 kgf.

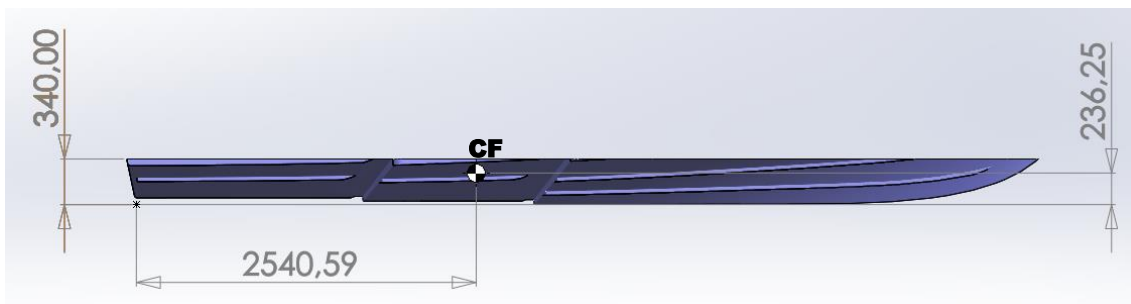


Figura 133 Vista de lado da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco com *step*

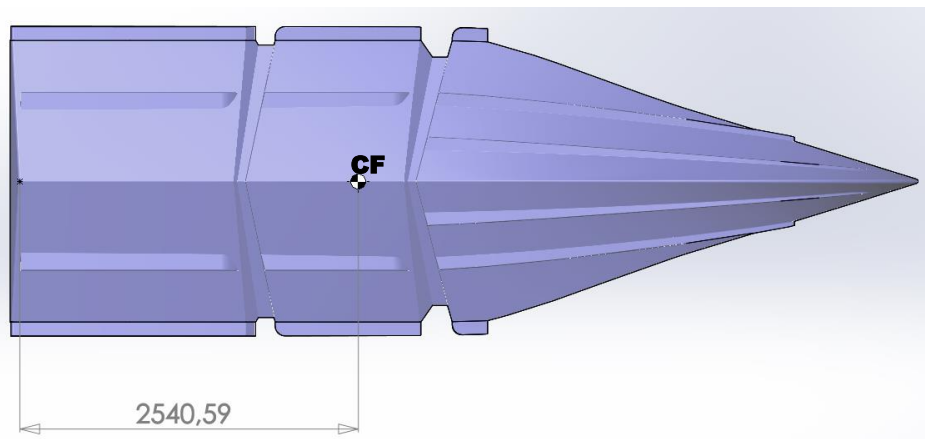


Figura 134 Vista de baixo da linha de água final e respetivo centro de flutuação da embarcação de casco com *step*

Tabela 7 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo B2 para cada calado

Linha de água (mm)		F	Centro de Flutuação (B) X (mm)				Centro de Flutuação (B) Y (mm)			
Coordenada relativa em Y			Coordenadas Absolutas		Coordenadas Relativas		Coordenadas Absolutas		Coordenadas Relativas	
			1500				1500			
	50,0	340	16,21	5213,30	3713,30	1535,14	35,14			
	100,0	340	102,35	4534,68	3034,68	1572,66	72,66			
	150,0	340	280,76	4278,85	2778,85	1607,26	107,26			
	200,0	340	561,73	4138,75	2638,75	1642,04	142,04			
	250,0	340	932,68	4086,66	2586,66	1675,45	175,45			
	280,0	340	1202,04	4066,87	2566,87	1695,59	195,59			
	285,0	340	1250,47	4064,14	2564,14	1698,96	198,96			
	290,0	340	1299,88	4061,49	2561,49	1702,32	202,32			
	295,0	340	1350,76	4058,27	2558,27	1705,72	205,72			
	300,0	340	1403,16	4054,67	2554,67	1709,15	209,15			
	305,0	340	1456,79	4051,25	2551,25	1712,58	212,58			
	310,0	340	1511,48	4048,20	2548,20	1716,02	216,02			
	315,0	340	1567,10	4045,62	2545,62	1719,44	219,44			
	320,0	340	1623,44	4043,60	2543,60	1722,85	222,85			
	325,0	340	1680,43	4042,11	2542,11	1726,23	226,23			
	330,0	340	1738,10	4041,14	2541,14	1729,59	229,59			
	335,0	340	1796,44	4040,65	2540,65	1732,93	232,93			
	340,0	340	1855,41	4040,59	2540,59	1736,25	236,25			
	345,0	340	1914,93	4040,93	2540,93	1739,56	239,56			
	350,0	340	1974,98	4041,61	2541,61	1742,84	242,84			
	355,0	340	2035,62	4042,58	2542,58	1746,10	246,10			

Tal como efetuado para o gráfico da figura 130, com base na tabela 7 foi possível criar o gráfico abaixo (figura 135), sendo que este demonstra a evolução do centro de flutuação proporcional à linha de água. A linha horizontal azul corresponde ao calado final (340 mm) e o respetivo centro de flutuação.

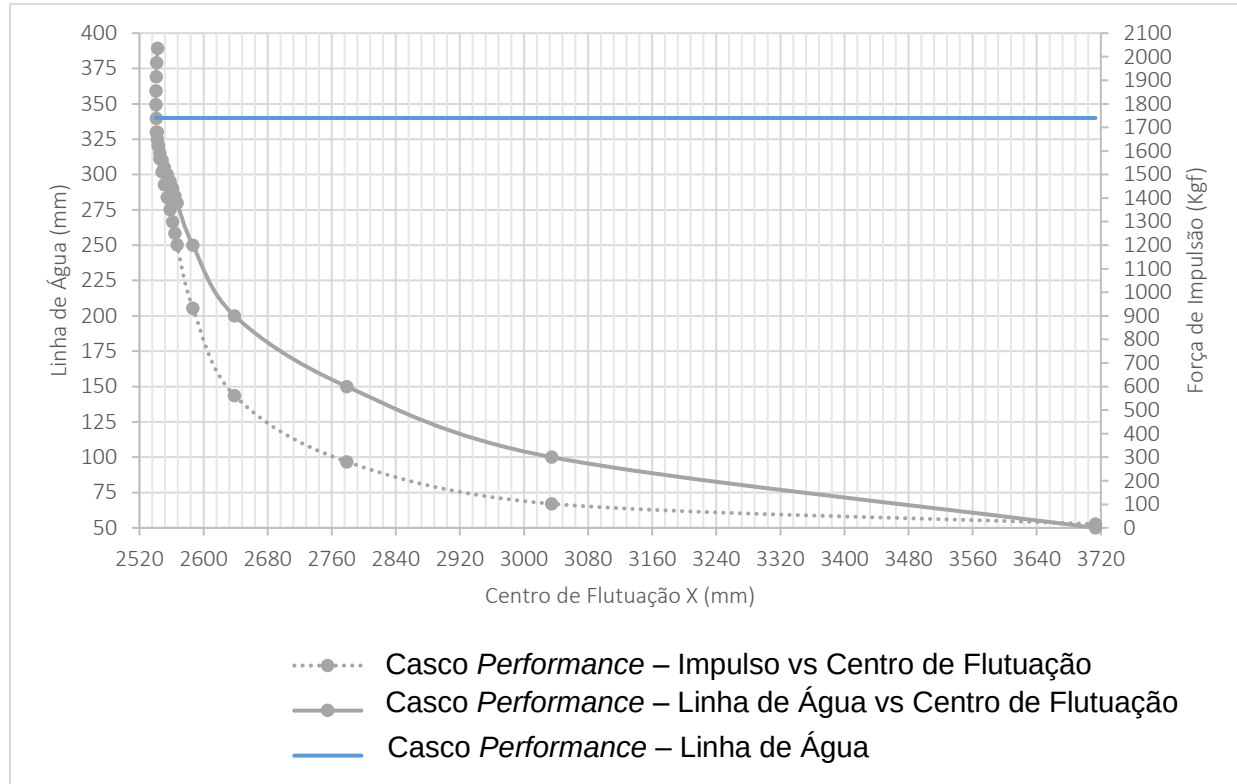


Figura 135 Gráfico da estabilidade longitudinal do casco com steps

Comparando com o gráfico da figura 130, este gráfico (figura 135) revela que, com o aumento da linha de água, existe uma tendência do centro de flutuação a aproximar-se do centro de gravidade, no entanto no sentido contrário ao gráfico da figura 130. Para que haja alinhamento entre os dois centros, o centro de gravidade tem de ser **avançado** 13.5 mm (2540.59 (figura 133) – 2527.09 (figura 131)), de forma a que a embarcação fique na posição horizontal e seja garantida a estabilidade longitudinal.

Para que haja estabilidade longitudinal numa embarcação, é necessário que o centro de gravidade e o centro de flutuação estejam alinhados na vertical, enquanto a quilha esteja paralela a um plano horizontal. De modo a concretizar este objetivo é necessário que haja uma modificação no centro de gravidade.

É possível atingir este alinhamento entre os dois centros, adicionando massa na popa para o caso da embarcação Tradicional, e na proa no caso da embarcação *Performance*. Com o acrescento de outros componentes essenciais da embarcação como o sistema de ancoramento ou o sistema de navegação é possível compensar esta diferença, sendo importante realçar o facto de não se poder alterar o volume externo da embarcação para prevenir a alteração do centro de flutuação.

5.2.3 - Estabilidade Transversal

5.2.3.1 - Análise ao casco Tradicional (sem *step*)

No Anexo C1 encontram-se os valores do momento endireitante calculado para cada ângulo de adornamento, e posto isto proporcionou-se uma rotação à embarcação em torno do centro de gravidade, através de um eixo paralelo a X. De forma a igualar a força de impulsão e o peso da embarcação, calculou-se a linha de água de cada grau de ângulo de adornamento.

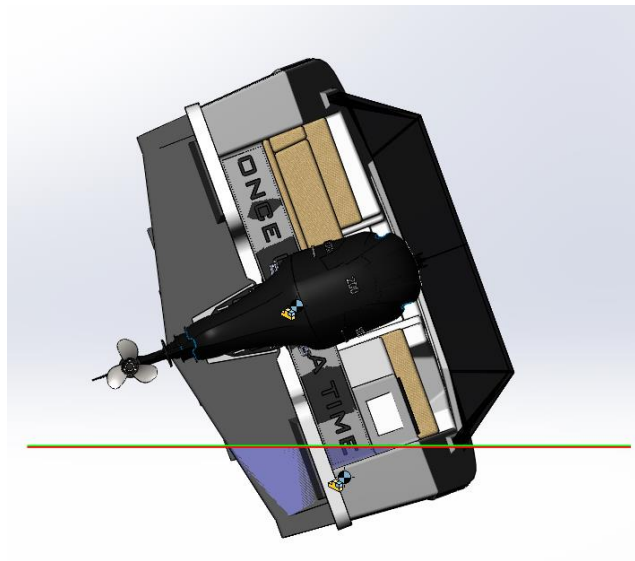


Figura 136 Cálculo do ângulo de adornamento e linha de água do casco Tradicional.

A tabela 8 apresenta os resultados principais do Anexo C1 para cada ângulo de adornamento e o calado correspondente.

Tabela 8 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo C1 para cada calado.

Ângulo de Adornamento (°) Alfa	Linha de Água (mm)		Centro de Flutuação (B) (mm)				Braço de Endireitamento (mm) Gz	Momento Endireitante (Kgf x m) ME
	Coordenada Absoluta em Y	Coordenada Relativa em Y	Coordenadas Absolutas		Coordenada Relativa			
		1500	X	Y	Z	Z		
0		1810,00	3841,93	1707,31	2500,00	2500	0	0,0
10		1793,00	3852,91	1685,33	2722,56	222,56	223	404,8
20		1754,25	3803,94	1635,87	2831,96	331,96	332	603,8
30		1709,25	3737,31	1572,75	2885,81	385,81	386	701,8
40		1661,50	3696,43	1502,69	2912,31	412,31	412	750,0
50		1601,25	3717,78	1431,67	2894,82	394,82	395	718,2
60		1537,75	3774,69	1366,88	2842,40	342,40	342	622,8
70		1486,00	3853,91	1314,12	2757,08	257,08	257	467,6
80		1453,00	3943,79	1278,32	2651,16	151,16	151	275,0
90		1439,00	4034,79	1262,12	2531,91	31,91	32	58,0
100		1446,50	4133,25	1267,19	2409,78	-90,22	-90	-164,1

A partir da tabela 8, é possível extrair o gráfico da figura 137, que demonstra o momento endireitante em função do ângulo de adornamento. Nesta função quando o momento endireitante e o ângulo de adornamento são zero a embarcação está a direito e quando o momento endireitante apresenta de novo zero (kgf x m), o ângulo de adornamento é de 92.5°, este valor é o ponto sem retorno de adornamento, o ângulo de estabilidade nula (AVS). Contudo, devido à altura das bordas, o ângulo máximo de adornamento é de 70° (figura 138).

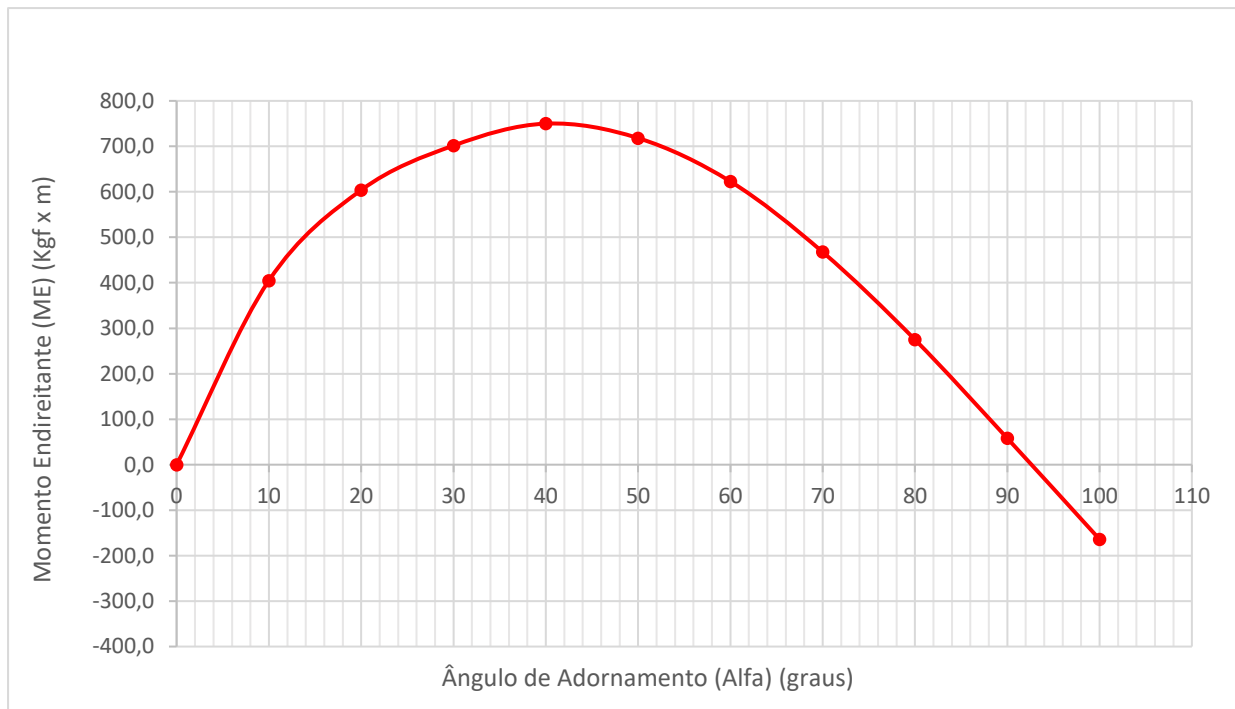


Figura 137 Curva Gz da embarcação com casco Tradicional

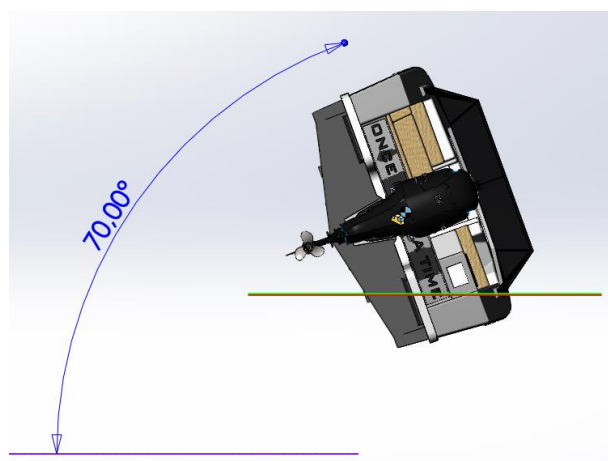


Figura 138 Ângulo máximo de adornamento

5.2.3.2 - Análise ao casco *Performance* (com *step*)

No Anexo C2 encontram-se os valores do momento endireitante calculado para cada ângulo de adornamento, e como tal proporcionou-se uma rotação à embarcação em torno do centro de gravidade, através de um eixo paralelo a X. De forma a igualar a força de impulsão e o peso da embarcação, calculou-se a linha de água de cada grau do ângulo de adornamento (figura 139).

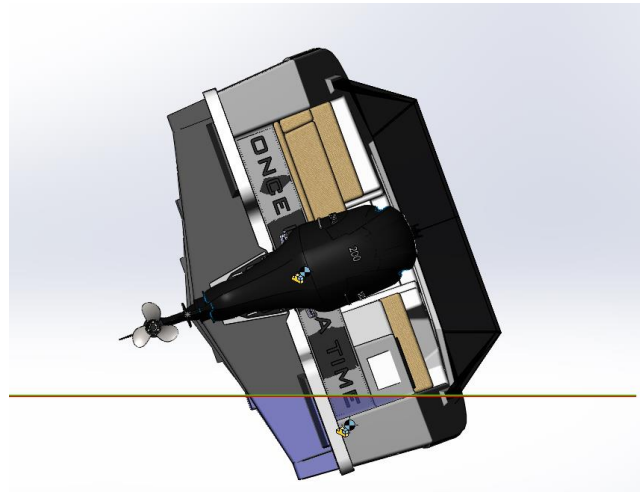


Figura 139 Cálculo do ângulo de adornamento e linha de água do casco *performance*.

A tabela 9 apresenta os resultados principais do Anexo C2 para cada ângulo de adornamento e o calado correspondente.

Tabela 9 Compilação dos resultados principais das tabelas do Anexo C2 para cada calado.

Ângulo de Adornamento (º) Alfa	Linha de Água (mm)		Coordenadas Absolutas				Coordenada Relativa		Braço de Endireitamento (mm) Gz	Momento Endireitante (Kgf x m) ME
	Coordenada Absoluta em Y	1500	X	Y	Z	Z	Z	Z		
								2500		
0		1840,00	4040,59	1736,25	2500,00			0,00	0,00	0,0
10		1820,75	4032,36	1713,96	2723,81			223,81	223,81	408,5
20		1780,25	3957,02	1664,05	2835,24			335,24	335,24	611,9
30		1734,00	3875,20	1600,16	2891,31			391,31	391,31	714,2
40		1685,25	3810,17	1528,71	2923,36			423,36	423,36	772,7
50		1624,50	3806,52	1455,14	2912,89			412,89	412,89	753,6
60		1560,25	3853,17	1386,99	2859,99			359,99	359,99	657,0
70		1508,25	3922,23	1331,52	2772,13			272,13	272,13	496,7
80		1474,00	4001,09	1293,13	2663,62			163,62	163,62	298,6
90		1459,00	4081,93	1275,20	2541,87			41,87	41,87	76,4
95		1459,40	4124,51	1274,25	2479,31			-20,69	-20,69	-37,8
100		1465,00	4169,32	1278,79	2416,96			-83,04	-83,04	-151,6

Com base na tabela 9, é possível criar o gráfico da figura 140, que demonstra o momento endireitante em função do ângulo de adornamento. Neste gráfico, o ângulo de adornamento apresenta 93° quando o momento endireitante é nulo, sendo este valor o ângulo de estabilidade nula (AVS) da embarcação com o casco *Performance*.

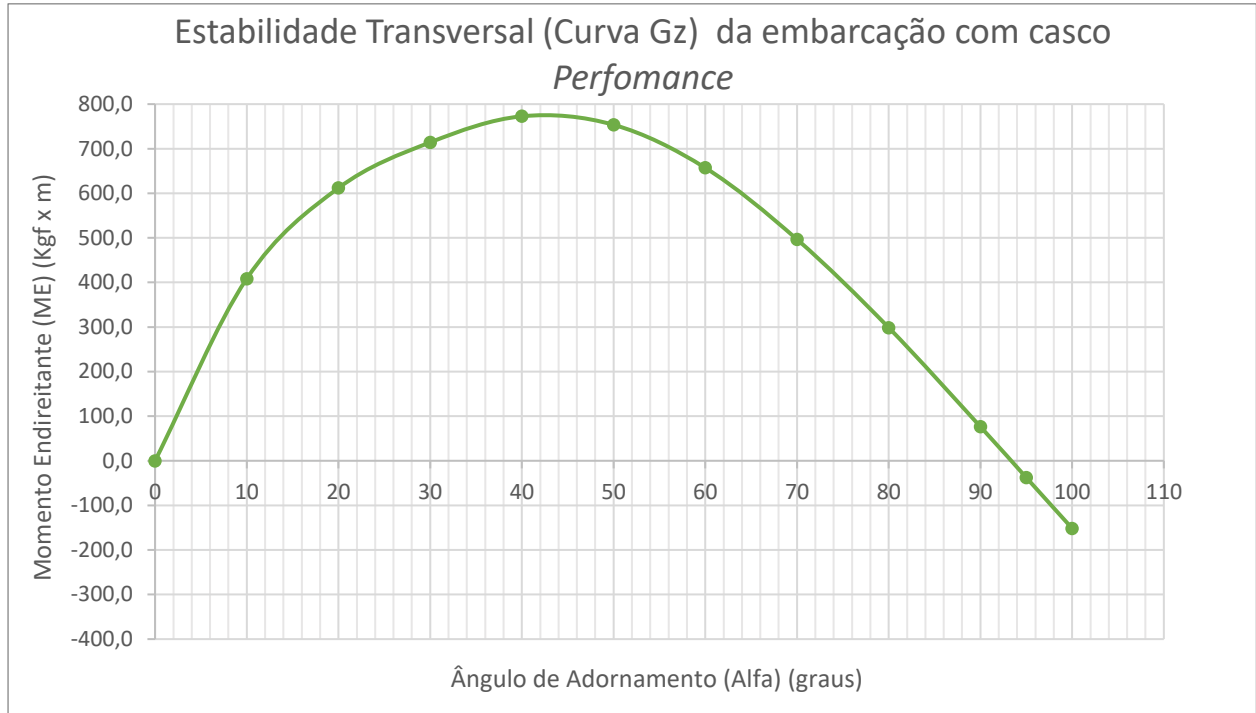


Figura 140 Curva Gz da embarcação com casco *Performance*

Sobrepondo os dois gráficos como se pode observar na figura 141, pode-se comparar as duas curvas Gz. Representado a verde é a curva correspondente ao casco *Performance* e a vermelho ao casco Tradicional. Como a área de estabilidade positiva do casco com *steps* (*Performance*) tem uma área superior, esta tem uma maior estabilidade transversal.

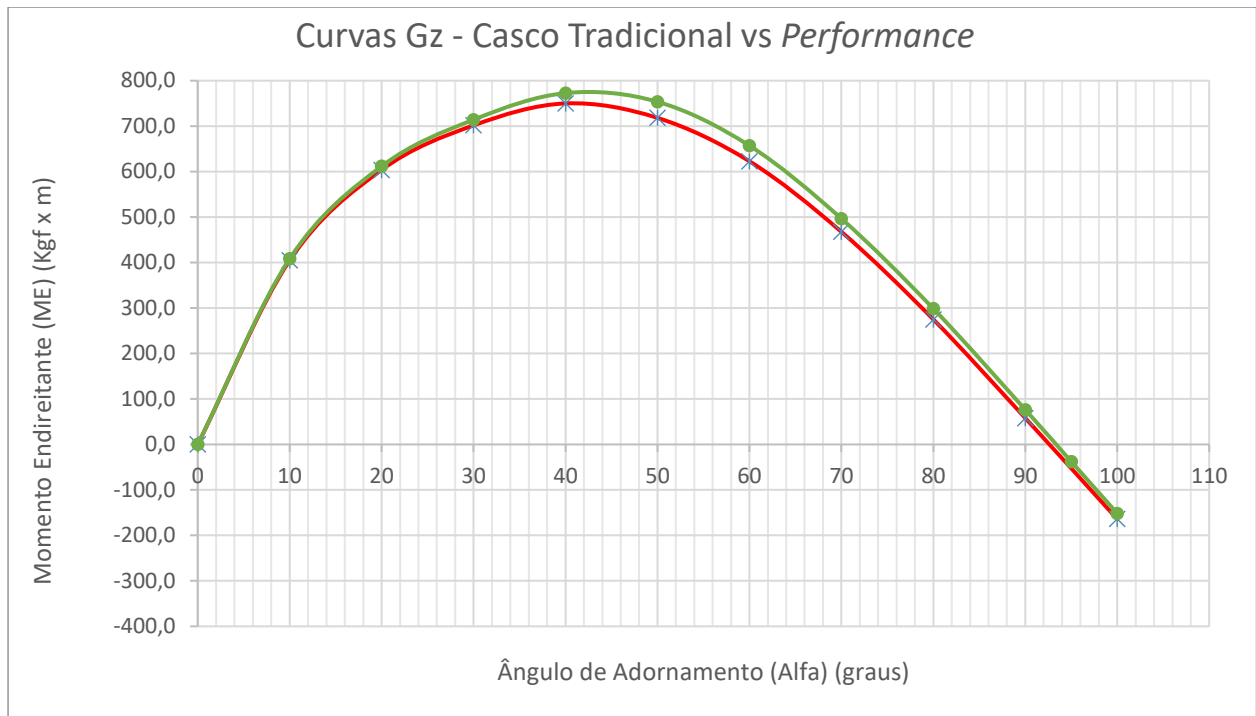


Figura 141 Gráfico de comparação das curvas Gz do Casco Tradicional (vermelho) vs casco Performance (verde)

De acordo com o Diário da República (Decreto-Lei nº 293/2001), o ângulo mínimo limite de adornamento para qualquer tipo ou classe é 40°. Segundo as curvas Gz da figura 141 o valor do AVS é de 93° para o casco Performance e de 92.5° para o casco Tradicional, mas devido às bordas do convés, o valor máximo do ângulo de adornamento é de 70°, valor acima do requerido por lei.

Com a adição de material náutico à embarcação, o centro de gravidade irá baixar, tornando o adornamento mais difícil, aumentando a dificuldade de inclinar o barco transversalmente garantindo assim ainda uma maior segurança na embarcação.

5.3 - Análise Dinâmica

Neste subcapítulo pretende-se prever o desempenho da embarcação Tradicional e Performance criadas no Capítulo 4, em águas abertas. Utiliza-se o *add in, Flow Simulation*, de forma a obter as simulações CFD, introduzindo parâmetros relacionados com as condições atmosféricas e o comportamento do fluído. Com base nos resultados obtidos, é feita uma comparação com os do artigo científico de Najafi, Amin *et al.* (2019), previamente abordados no Capítulo 2, com o intuito de dar a conhecer as principais diferenças entre ambos.

5.3.1 - Flow Simulation

O *Flow Simulation* é um *add in*, do *SOLIDWORKS*, possuindo este a capacidade de simular o desempenho de escoamentos internos e externos, de modelos digitais. Apesar da limitação técnica deste *software*, relativamente a outros programas mais avançados de CFD, tem ainda assim a capacidade de gerar resultados aproximados à realidade, dado que são introduzidos os parâmetros suficientes. Pretende-se utilizar o *Flow Simulator* para retirar os valores da pressão da superfície do casco, a força de atrito e a fração volúmica da água (permite simular a esteira).

5.3.2 - Parâmetros de Simulação

Realizaram-se simulações para a embarcação com casco Tradicional e com o casco *Performance*, ambos com o fluido à velocidade de 16 nós, com o intuito de comparar com os resultados da análise feita no Capítulo 2. Para que a simulação se desenvolva de forma mais realista possível, é necessário fornecer ao *software* o maior número de características das condições de simulação, estando indicados na tabela 10 os parâmetros introduzidos no programa.

Tabela 10 Parâmetros e valores utilizados nas simulações

Parâmetros	Tipo/valor
Análise de escoamento	Externo
Tempo total de análise	10s
Tempo de output	1s
Tipo de Escoamento	Superfície livre
Fluidos	Ar e Água
Regime	Laminar e Turbulento
Condição térmica na superfície	Paredes adiabáticas
Pressão	101325 Pa (1 atm)
Temperatura	293.15 K (20° C)
Velocidade	16 Kn (8.23 m/s)
Linha de água	0.310 m (Tradicional) 0.340 m (<i>Performance</i>)

Foi selecionado também a criação de uma malha automática com refinamento avançado (mais fina nas zonas de impacto entre o casco e a água) e o volume de simulação compreende um comprimento de 33 m, uma largura de 22 m e uma altura de 5 m (figura 142).

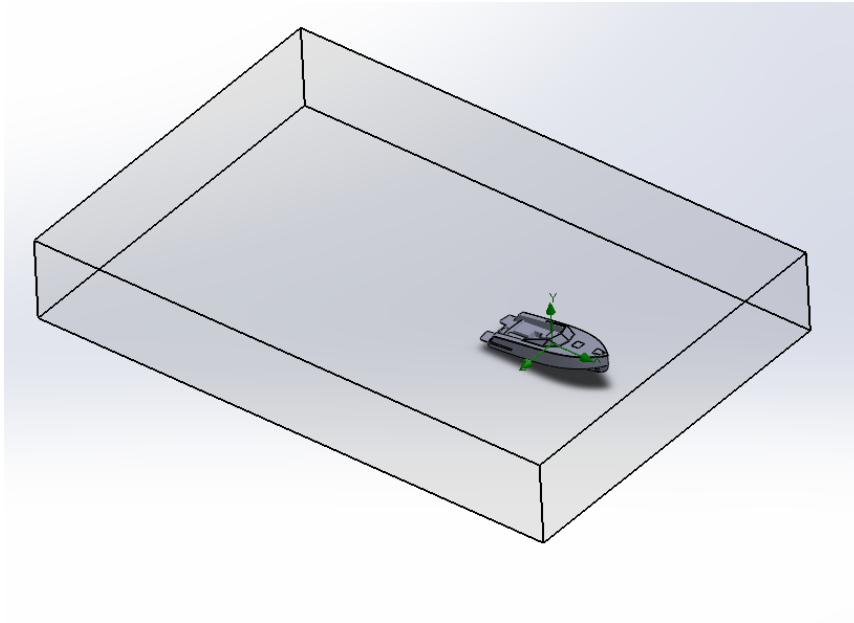


Figura 142 Volume de análise das simulações (33 X 22 X 5) (m).

Para simular a inclinação provocado pelo acionamento do motor, foi atribuído uma inclinação a cada embarcação com base no artigo científico de Ghadimi, Parviz (2014), de onde foram retirados os valores de ângulo de inclinação longitudinais para embarcações de diferentes ângulos de deflexão, em função de velocidade compreendidas ente 5 e 30 nós, de que resultam as curvas no gráfico da figura 143.

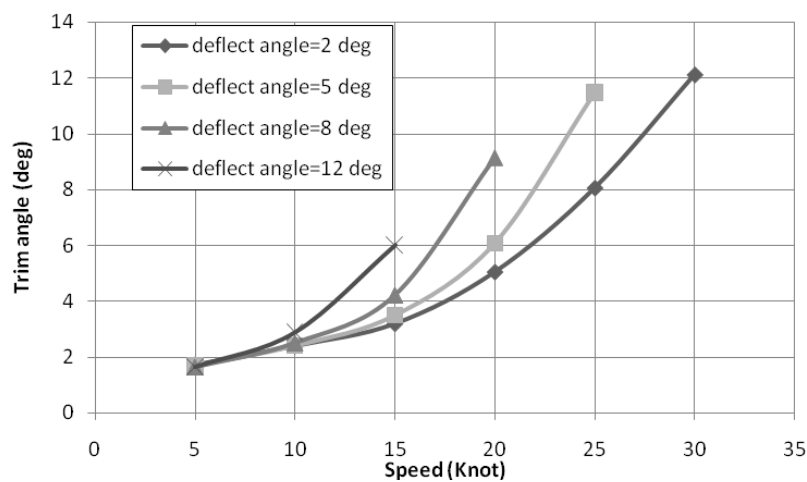


Figura 143 Gráfico de diferentes ângulos de *Trim* (°) em função de diferentes velocidades (nós), para embarcações de diferentes ângulos de deflecção [32]

Utilizando o gráfico da figura 141, foi decidido que a inclinação utilizada a uma velocidade de 16 nós é de 5° em ambos os cascos (figura 144).

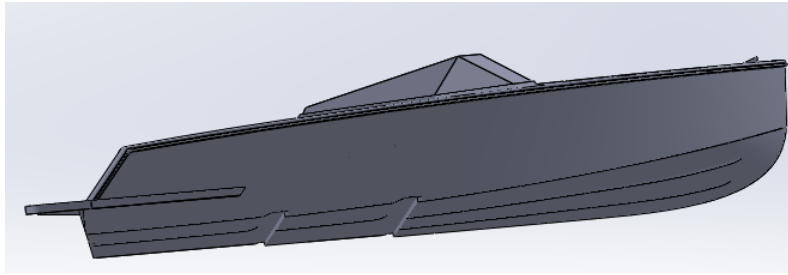


Figura 144 Inclinação do modelo *Performance* de 5°.

5.3.3 - Resultados da simulação

Com os resultados da simulação é possível aproximar o comportamento real do modelo no mar.

O tempo de simulação foi respetivamente de 1h e 13 min para o casco Tradicional e 1h e 15 min, para o casco *Performance*

Como referido anteriormente, realizaram-se simulações a esta velocidade de modo a comparar com os resultados no artigo científico “*On hydrodynamic analisys of stepped planning crafts*”, em que o modelo M-03, possui um *design* de *step* semelhante à da embarcação com casco *Performance*.

5.3.3.1 - Esteira

Najafi,Amin *et al*,. 2019, analisaram a esteira deixada pela embarcação de cada modelo, sendo o design do *step* do modelo M-03 o mais semelhante ao *step* criado. Na figura 145 é possível visualizar o resultado da simulação a 16 nós deste modelo.

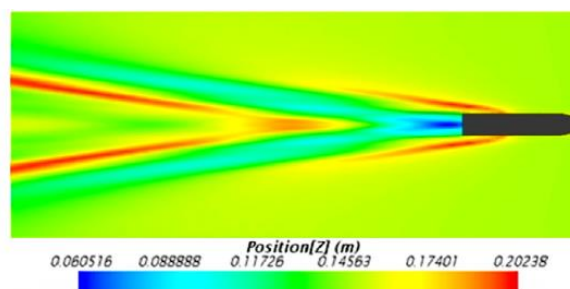


Figura 145 Deslocamento da água na coordenada Z provocado pela embarcação em movimento para a velocidade 16 nós (8.23 m/s) [4]

Após a finalização da simulação, para o calado de 310 mm no casco Tradicional e 340 mm para o casco *performance*, obteve-se os seguintes resultados no desenvolvimento da esteira (figura 146 e 147):

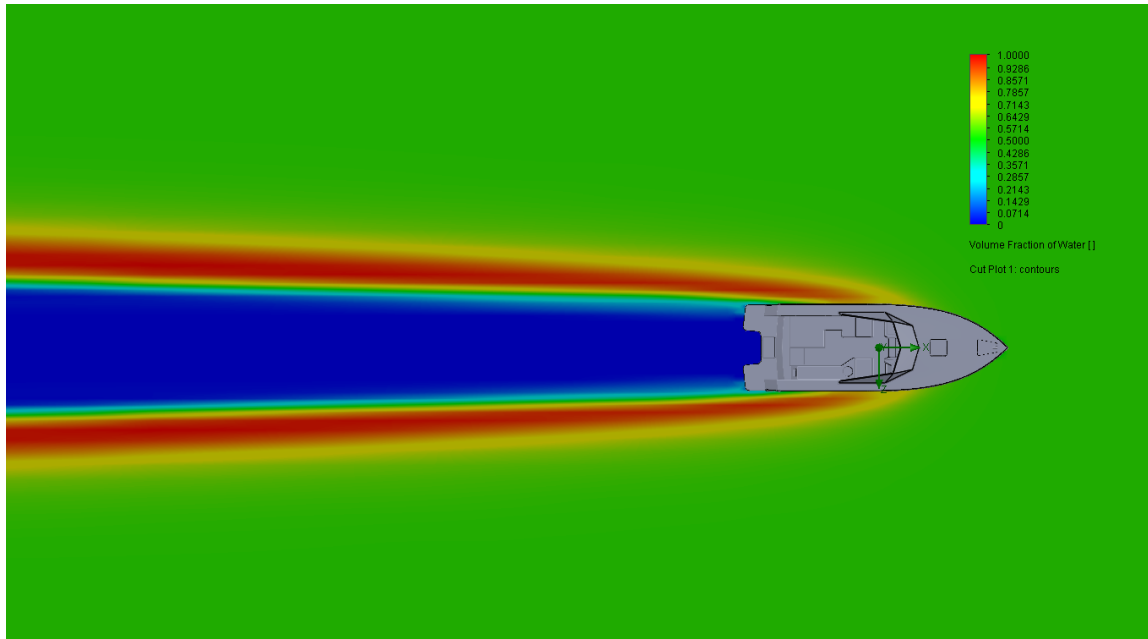


Figura 146 Esteira a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco Tradicional

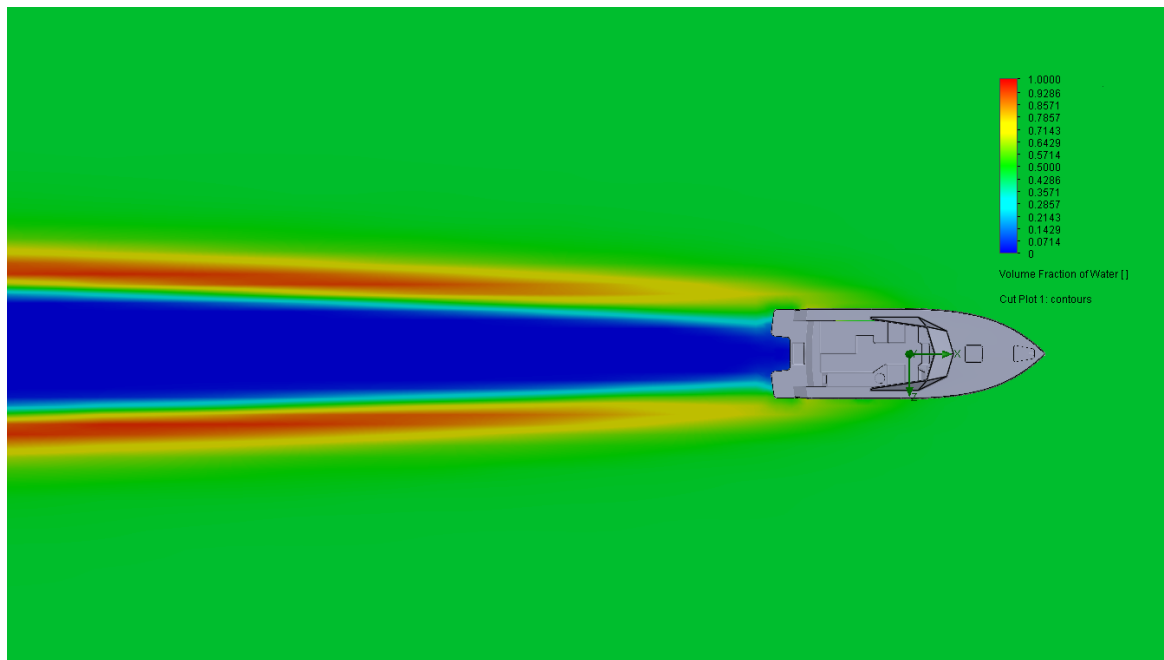


Figura 147 Esteira a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco *Performance*.

Ao comparar a figura 143 e a figura 144, é possível entender que no modelo Tradicional existe um maior deslocamento de volume de água próximo ao casco, o que poderá estar relacionado com as entradas de ar laterais do *step*, que impedem uma porção do desvio da água. Apesar da falta de adição de fatores como, a ondulação do mar e condições meteorológicas, os resultados obtidos conseguem transmitir corretamente o comportamento do rasto deixado pela embarcação com base no formato do casco, o ângulo de inclinação e a velocidade do fluído.

Comparando agora, a esteira entre o modelo do artigo estudado no Capítulo 2 e o resultado da embarcação *Performance*, ambos presentes na figura 148, repara-se que a dispersão da água junto à popa é semelhante, assim como na zona do *step*, no entanto, com o alargamento da esteira, o contraste entre as duas simulações vai aumentando. As diferenças poderão ser causadas por diversos fatores como:

- Simulações realizadas em *Softwares* de métodos de análise diferentes;
- Tamanho de malha díspar;
- A dimensão das embarcações;
- A existencia de robaletes.

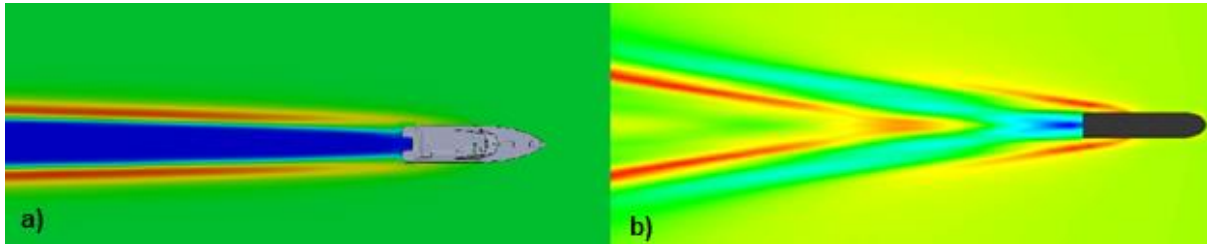


Figura 148 Comparação da esteira entre os modelos a) embarcação com casco *Performance*, e b) embarcação do casco tipo Fridsma (M-03).

5.3.3.2 - Distribuição de Pressões

Com a mesma simulação foi possível extrair a distribuição de pressões para cada superfície do casco, neste caso a figura 149 pertence à embarcação com o casco Tradicional, e a figura 150 ao casco *Performance*.

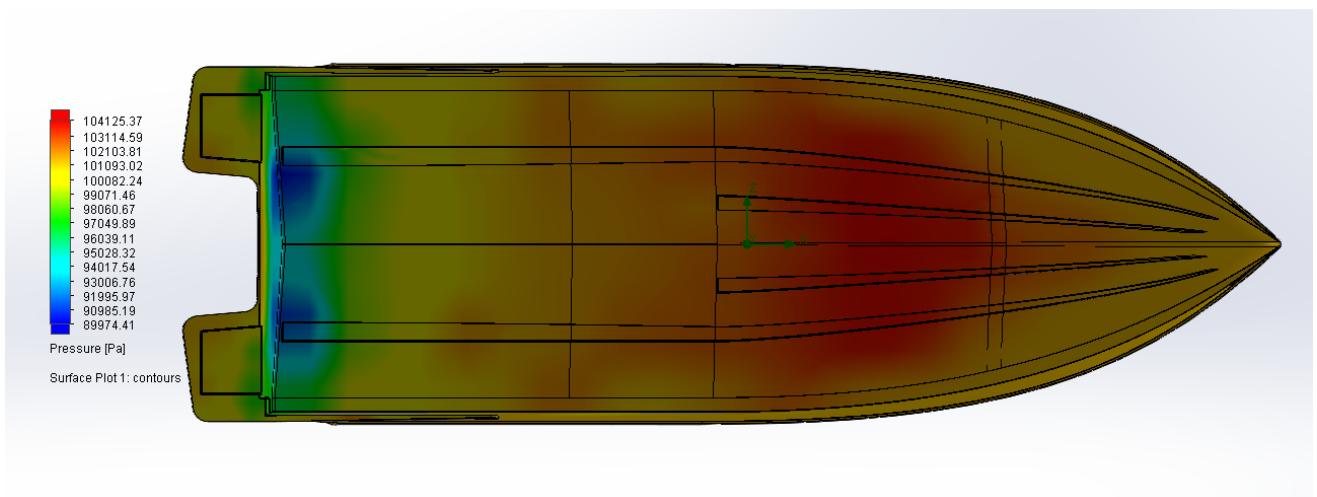


Figura 149 Distribuição de pressões a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco Tradicional.

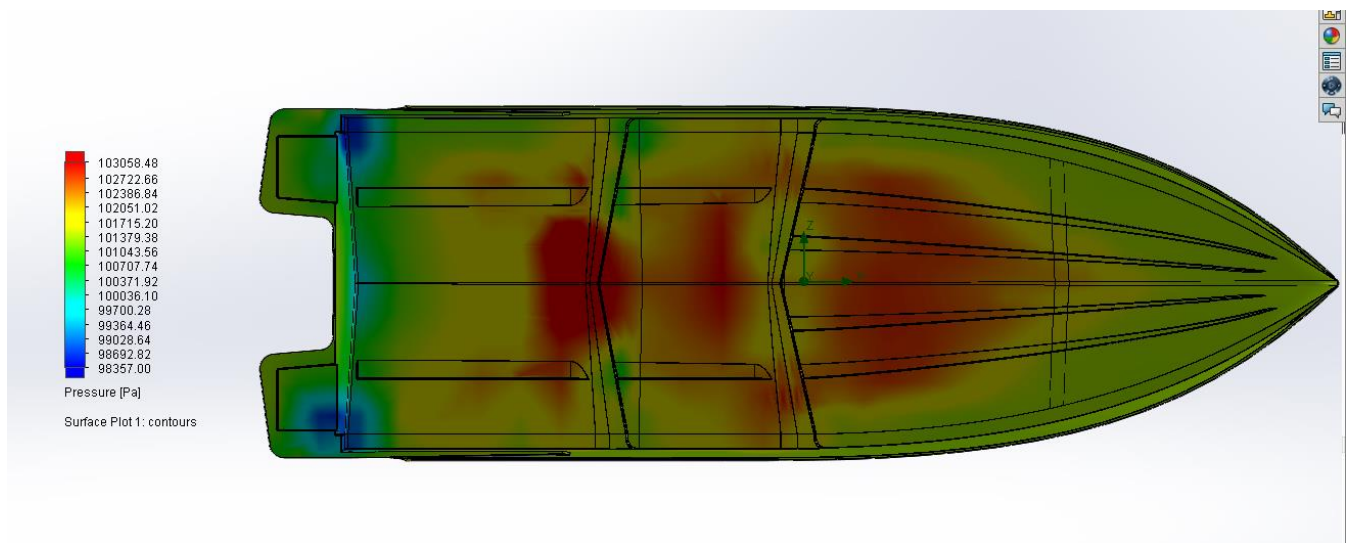


Figura 150 Distribuição de pressões a uma velocidade de 16 nós da embarcação com casco *Performance*.

Nas figuras 149 e 150, é possível observar a vermelho as zonas de impacto direto entre a água e o casco. A amarelo na figura 149 e verde na figura 150 representa-se a pressão atmosférica. Em ambos os cascos, é lógico que haja uma maior concentração de pressão na zona de contacto entre a embarcação e a água, no entanto no casco *Performance* está presente uma concentração de pressão na cavidade do *step*, que não seria de esperar, visto que o objetivo do *step* é criar uma camada de ar entre a água e o casco, logo devia estar a uma pressão mais baixa comparativamente com o resto da área a vermelho. Existe também uma depressão na popa de ambos os cascos, que pode ser causada pela criação de vácuo no impacto entre o fluido e o casco.

Existem semelhanças entre os dois modelos da figura 151, em ambos os cascos os *steps* estão a uma pressão mais baixa que a restante embarcação, assim como a área de impacto entre o casco e a água são as zonas que possuem a pressão mais elevada. No entanto, subsiste uma dissimelhança no resto do casco, possivelmente devido à existência de robaletes na embarcação *Performance* e do software CFD utilizado.

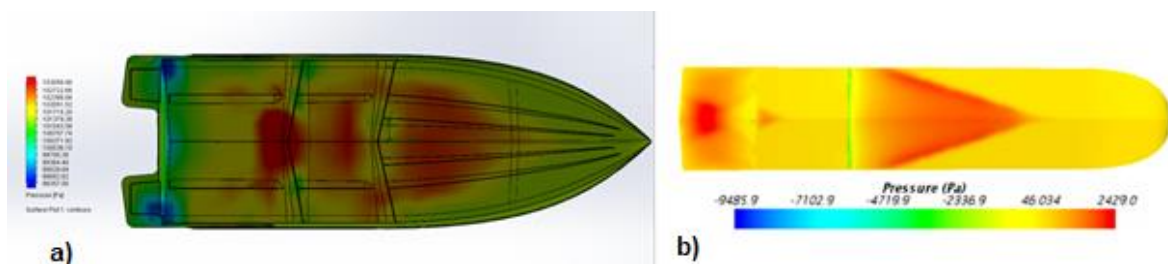


Figura 151 Comparação da distribuição de pressões entre os modelos, a) embarcação com casco *Performance*, e b) embarcação do casco tipo Fridsma (M-03).

5.3.3.3 - Força de arrasto

Com base no artigo estudado, foi retirado da tabela 1, a força de arrasto do modelo M-03 a 16 nós (8.23 m/s). Extraíndo do *software* as forças de arrasto dos modelos criados, para a velocidade de 16 nós, construiu-se a tabela 11:

Tabela 11 Valores da força de arrasto dos modelos simulados

Modelo	Força de arrasto (N)
Fridsma (M-03)	65.48
Casco Tradicional	737.92
Casco Performance	359.39

Sendo a força de arrasto calculada da seguinte forma:

$$F_D(N) = \frac{1}{2} C_D \times V^2(m/s) \times S(m^2) \times \rho(kg/m^3) \quad (5)$$

Dado que a força de arrasto é diretamente proporcional à área da secção e o coeficiente do atrito varia com a rugosidade da embarcação, não é possível comparar diretamente os valores feitos na análise e os resultados obtidos pela simulação (Branco, Rafael 2011).

No entanto, é possível comparar os resultados entre o modelo Tradicional e o *Performance*, sendo que com base nos resultados das simulações o casco Tradicional é o que possui maior força de arrasto, visto que é o casco com maior área de contacto com a superfície da água, logo representa-se como o modelo que terá uma menor eficácia de consumo de combustível a esta velocidade.

Capítulo 6 - Conclusão e trabalhos futuros

6.1 - Conclusão

Esta dissertação teve como principal objetivo o design e projeção de uma embarcação de recreio, nomeadamente compreender, analisar e categorizar a estrutura destas embarcações. Desenvolveu-se um design com todas as restrições definidas, tendo-se procedido à construção de dois modelos de casco diferentes e a sua respetiva análise estática e dinâmica.

Inicialmente, de modo a compreender os mecanismos fundamentais e respetiva estrutura da embarcação, foi necessário recorrer a conceitos de mecânica dos fluidos e de processos de fabrico, tendo-se também utilizado conceitos náuticos específicos, como o caso da estabilidade longitudinal e transversal. Foram analisadas as partes que compõe uma embarcação, como o convés, o casco, o step, os robaletes, e ainda os componentes náuticos, nomeadamente, o sistema de ancoragem. Foi explorado também o processo de manufatura de uma embarcação de fibra de vidro.

Posteriormente, realizou-se um *benchmarking* do mercado náutico considerando as restrições impostas pela Nautav na procura do design da embarcação, concluindo-se que as três embarcações bases de inspiração foram o *Van Dutch 40*, o *Wally* e o *Riamar 620WA*. Foram ainda analisados diferentes modelos de âncoras, obtendo-se como referência para instalação na embarcação o *Bruce/Claw* e o *Rocna*.

Os diversos *briefings* com a empresa, foram fundamentais para a convergência do problema e da respetiva solução proposta para a construção da plataforma de ré e do suporte do motor. Numa primeira versão da embarcação, o suporte do motor não pertencia ao casco, o que poderia causar problemas estruturais na popa durante a navegação. Também foi possível constatar que as plataformas de ré da primeira versão são peças separadas da embarcação, sendo necessário o uso de moldes adicionais, encarecendo assim o custo de manufatura.

Na segunda versão da embarcação, foram eliminados alguns problemas associados ao design da versão anterior, incluindo o suporte do motor que passou a pertencer ao casco, e a plataforma de ré que foi incluída no convés. Para além disso, alteraram-se outros aspetos importantes da embarcação, como o design da proa e a união entre o casco e o convés com a inclusão de paredes retas. Esta última modificação trouxe um novo problema, a dificuldade da remoção do produto do molde durante o processo de desmoldagem. Adicionalmente, devido à geometria do suporte do motor e do tapa-cabos, identificou-se a necessidade de criar uma abertura lateral para possibilitar a remoção do produto do molde.

A terceira versão da embarcação simplificou o *design* ao incluir um ângulo mínimo de um grau em todas as paredes da embarcação, evitando problemas de desmoldagem. Subsequentemente, removeu-se o tapa-cabos da popa eliminando a necessidade da abertura lateral do molde, modificou-se também a união entre o casco e o convés, implementando-se uma geometria de encaixe fácil. Por último, foi modelado um segundo casco, que inclui dois *steps* (versão *Performance*).

No que diz respeito à análise estática, nomeadamente à estabilidade transversal da embarcação, apesar do ângulo de estabilidade nula ser superior a 90° nos cascos das versões Tradicional e *Performance*, o valor limite do ângulo de adornamento é de 70°, pois a partir deste ângulo a água ultrapassa as bordas e inunda o poço. No entanto, os resultados obtidos provaram ser adequados dado que se encontram dentro dos valores exigidos pela legislação portuguesa (acima dos 40°). Na análise à estabilidade longitudinal, ainda que exista um afastamento do centro de gravidade ao centro de flutuação, é de notar que o desvio é relativamente pequeno (179.35 mm para o casco Tradicional e 13.5 mm para o casco *Performance*) em ambos os cascos e que esta distância irá baixar com o aumento da massa, desde que seja bem distribuída pela embarcação, obtendo-se mais uma vez resultados satisfatórios. É importante também destacar a contribuição de ambas as análises na previsão dos resultados experimentais, dentro de uma determinada margem de erro, evitando assim a necessidade de construir um protótipo e de testar o mesmo.

Posteriormente, realizou-se uma simulação CFD que foi comparada com dados do artigo estudado, mencionado no Capítulo 2. A existência de algumas dissemelhanças, que podem ter sido provocadas pela diferença de *software*, de estrutura de casco e de parâmetros de simulação, não negam as suficientes semelhanças e consequente validação da análise exposta no Capítulo 5.

Comparando ambos os cascos modelados (Tradicional e *Performance*), é possível verificar que os steps criam uma “almofada” de ar sob o casco. No entanto, a veracidade destas simulações encontra-se dependente dos parâmetros relacionados com o escoamento e condições atmosféricas impostas, de modo que é possível afirmar que esta mesma simulação representa uma análise mais teórica, e não considera alguns aspetos que possam vir a surgir num cenário hipoteticamente real, como condições meteorológicas adversas.

Em suma, é seguro afirmar que todos os objetivos inicialmente estipulados foram devidamente cumpridos, uma vez que esta dissertação permitiu desenvolver uma embarcação de recreio com um *design* atrativo, funcional e com potencial de ter sucesso no mercado, sendo um dos fatores mais relevantes e diferenciadores deste modelo a redução substancial nos custos de produção, dado que são somente necessários dois moldes para completar a manufatura da estrutura da embarcação.

6.2 - Trabalhos Futuros

Após a conclusão dos objetivos propostos para esta dissertação, existe ainda assim uma continuidade deste projeto, sendo esta assegurada pelos restantes elementos do grupo. Ficam listados agora um conjunto de objetivos a executar no futuro.

6.2.1 - Modelos alternativos

Uma das metas desde o início do projeto é a inclusão de três tipos de convés diferentes, utilizando o mesmo casco, permitindo isto a simplificação da produção de embarcações com versões diferentes de convés. Os três tipos propostos são, uma versão lancha (cujo modelo foi concluída nesta dissertação), uma versão Open (não inclui uma cabine interior) e uma versão cabinada (inclui uma cabine no exterior).

6.2.2 - Teste em laboratório

De forma a verificar a análise feita nos cálculos de estabilidade e a simulação produzida, será interessante a utilização de um protótipo em escala reduzida num tanque com o escoamento de um fluido. Esta experiência poderá garantir e verificar a veracidade de resultados obtidos anteriormente, determinando assim o erro e a precisão da análise feita no Capítulo 5.

6 2 3 - Produção do molde e início da manufatura

Posteriormente, com o fabrico dos moldes a partir de uma peça em poliestireno expandido, maquinada por CNC e com a montagem estrutural, a introdução da cablagem, a instalação dos componentes náuticos e a conclusão dos restantes processos necessários para a embarcação estar pronta para comercialização, pode ser dado o projeto como terminado.

Referências

Referências Bibliográficas

Américo, Milton (2009) “Sistema de avaliação da estabilidade transversal de navios em tempo real” *FCT:DCM – Dissertações de Mestrado*, Janeiro 2009

Anónimo (2018) “How to pick an Anchor Rope Size, Type, Length and More” *Anchoring*, 01 Maio 2018 disponível em <https://www.anchoring.com/blogs/anchoring/how-to-pick-an-anchor-rope-size-type-length-and-more> acedido em janeiro de 2021

Anónimo (2018) “Anchor Selection Guide: How to Choose the Best Boat Anchor Type” *Anchoring*, 08 Maio 2018 disponível em <https://www.anchoring.com/blogs/anchoring/anchor-selection-guide-how-to-choose-the-best-boat-anchor-type> acedido em janeiro de 2021

Anónimo (2020) “Riamar-Nautav” *Business On the Way* O/N/D (2020) 81-85

Araújo, Pedro (2017) “Indústria naval português renasceu” 17 de janeiro 2017 disponível em <https://www.dinheirovivo.pt/empresas/industria-naval-portuguesa-renasceu-12854136.html> acedido em outubro de 2020

Boats,Formula (2018) “The History of Recreational Boats” 26 de Setembro 2018 disponível em <https://www.formulaboats.com/blog/history-of-boating/> acedido em outubro de 2020

Branco, Rafael (2011) “Resistance and Powering of the Ship” *Basics of Ship Hull Resistance* Capítulo VII, 23/06/2011

Burden, Tom (2019) “Selecting an Anchor Windlass” *West Marine*, 25/04/2019 disponível em <https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Selecting-An-Anchor-Windlass> acedido em janeiro de 2021

Decreto-Lei nº 93/2018, Diário da República “Regime jurídico da atividade náutica de recreio”, Capítulo I, Artigo 2º-10º, 13/11/2018

Decreto-Lei nº 122/2004, Diário da República “Anexo Regulamento da Náutica de Recreio”, Capítulo I, Artigo 2º, 25/05/2004

Decreto-Lei nº 132/2017, Diário da República “Regulamento Que Fixa os Pesos e as Dimensões Máximos Autorizados para os Veículos em Circulação, transpondo a Diretiva (UE)” Capítulo II, Artigo 3º, 11/10/2017

Decreto-Lei nº 293/2001, Diário da República “Estabilidade intacta, compartimentação e estabilidade em avaria”, Capítulo I, Parte B, 20/11/2001

Directiva 2013/53/EU Parlamento Europeu e Assembleia “on recreational craft and personal watercraft and repealing Directive 94/25/EC”, *Official Journal of the European Union*” Capítulo IV, Artigo 20, 28/12/2013

Kobbé, Gustav (1914) “A Summary of Yachting History” *The Lotus Magazine* Vol. 5, No. 8 (May, 1914), pp. 505-512

Hendricks, Jim (2015) “Stepped Hull vs.V-Hull” *Boating Magazine*, 16/11/2015, disponível em <https://www.boatingmag.com/stepped-hull-vs-v-hull-0/> acedido em dezembro de 2020

Henriques, António *et al.* (2002) “Geometria de massas”, *Sebenta de Mecânica II*, 85-86.

Jiang, Yi; Sun; Hanbing *et al.* (2016) “Analysis of tunnel hydrodynamic characteristics for planing trimaran by model tests and numerical simulations”, *Ocean Eng.* 113 (2016) pp101–110

Jollands, Simon (n.d.) “Capsize – understanding the risks” *Boat Handling, Emergencies, Preparation*, disponível em <https://www.safe-skipper.com/capsize-understanding-the-risks/> acedido em fevereiro de 2021

Mitchell, Steve (1999) “The Birth of Fiberglass Boats” novembro/dezembro 1999 (*Good Old Boat magazine*: Volume 2, Number 6)

Modi, Marjorie (2020) “How yachting escaped the Covid crisis by offering a ticket out of the pandemic” 16 Novembro 2020 disponível em <https://www.monaco-tribune.com/en/2020/11/how-yachting-escaped-the-covid-crisis-by-offering-a-ticket-out-of-the-pandemic/> acedido em outubro de 2020

Najafi, Amin ; Nowruzi; Hashem, *et al.* (2019) “On hydrodynamic analysis of stepped planing crafts” *Journal of Ocean Engineering and Science* (2019) 238–251

Oliveira, Luís *et al.* (2013) "Mecânica dos Fluídos" *Lidel*, 4ªEdição (2013), 64-65

Rudow, Lenny (2012) "Stepped Hulls vs. Traditional V Bottom" *Boats.com*, 09/05/2012 disponível em <https://www.boats.com/reviews/stepped-hulls-vs-traditional-v-bottom-everything-you-need-to-know/> acedido em dezembro 2020

Seo, Jeonghwa; Choi, Hak-Kyu, *et al.* (2016) "Model test on resistance and seakeeping performance of wave piercing high-speed vessel with spay rails" *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* (2016) 1-14

Sorensen, Eric (2017) "The stepped hull has come of age" *Soundings* 28 Nov,2017 disponível em <https://www.soundingsonline.com/boats/the-stepped-hull-has-come-of-age> acedido em dezembro de 2020

Sorensen, Eric (2019) "How different hull types react in rough water" *Soundings* 28 Nov,2017 disponível <https://www.soundingsonline.com/boats/how-different-hull-types-react-in-rough-water> acedido em novembro de 2020

Sulistyawati, W., *et al.* (2020). "The influences of diversity hull shapes and outriggers arrangement in pentamaran systems." *Energy Reports* **6**: 595-600.

Team, Tech (2013) "How to choose Faux Teak" *Boating Magazine* 12/12/2013 disponível em <https://www.boatingmag.com/how-to/how-to-choose-faux-teak/> acedido em fevereiro de 2021

Ventura, Manuel (2008) "Forma do Casco" *Projeto de Navios*, Mestrado Integrado em Arquitetura Naval

Referencias de Figuras e Tabelas

- [1] <https://portalclassicos.com/foruns/index.php?threads/manuel-alves-barbosa-uma-lenda-viva-do-desporto-motorizado-em-portugal.27870/> acedido em janeiro de 2021
- [2] Araújo, Pedro “Indústria naval português renasceu” 17 de janeiro 2017
- [3] <https://www.freedomboatservice.com/32ventnor> acedido em dezembro de 2020
- [4] Najafi,Amin , Nowruzi Hashem, *et al.* (2019) “On hydrodynamic analysis of stepped planing crafts” *Journal of Ocean Engineering and Science* (2019) 238–251
- [5] Seo, Jeonghwa, Choi, Hak-Kyu, *et al.* (2016) “Model test on resistance and seakeeping performance of wave piercing high-speed vessel with spay rails” *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering* (2016) 1e14
- [6] <https://www.westmarine.com/WestAdvisor/Selecting-An-Anchor-Windlass> acedido em janeiro de 2021
- [7] https://www.gsproducts.co.uk/pub/media/catalog/product/cache/4db29054caf4f786959cb8399a7c9f27/a/n/anchor-crown-xtock_1.jpg acedido em janeiro de 2021
- [8] <https://www.anchoring.com/blogs/anchoring/how-to-select-the-best-bow-roller-for-your-anchor-and-boat> acedido em janeiro de 2021
- [9] <http://escunateahupoo.blogspot.com/2009/10/cintado-pronto-cavernas-e-agora-sao-os.html> acedido em fevereiro de 2021
- [10] https://www.astondoa.com/?page_id=10152 acedido em fevereiro de 2021
- [11] <https://i.pinimg.com/originals/31/79/0c/31790c956f79cd69eea8126d241f2891.jpg> acedido em fevereiro de 2021
- [12] <https://www.boats.com/on-the-water/boat-building-construction-resin-fiberglass-cores/> acedido em fevereiro de 2021
- [13] https://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/0212SB_Markets_Boat_building_1.jpg acedido em janeiro de 2021
- [14] https://cdn.denisonyachtsales.com/wp-content/uploads/2015/03/img_3570.jpg acedido em janeiro de 2021
- [15] Doerry, Armin (2008) “Ship dynamics for maritime ISAR imaging” *Sandia Report SAND2008-1020*
- [16] <https://stackoverflow.com/questions/14549698/optimization-method-for-finding-floating-status-of-an-object> acedido em fevereiro de 2021

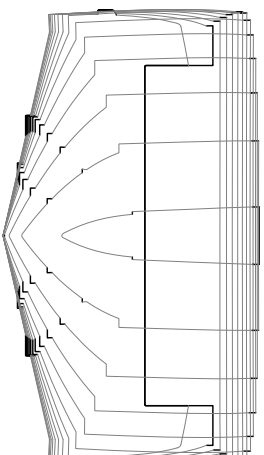
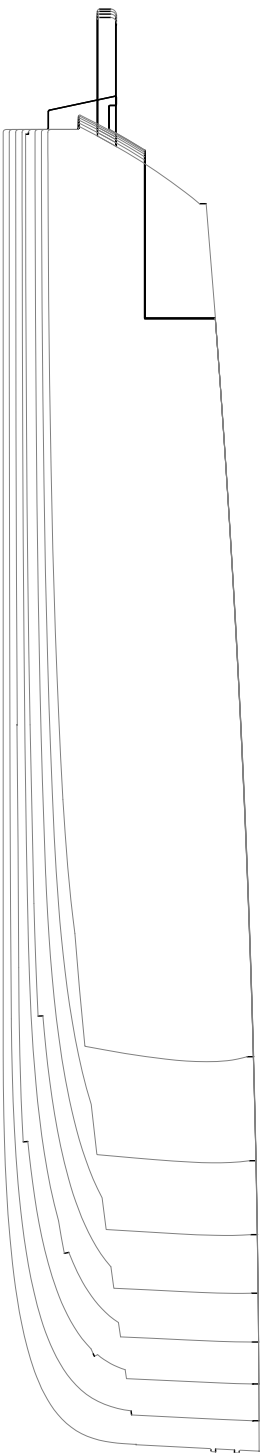
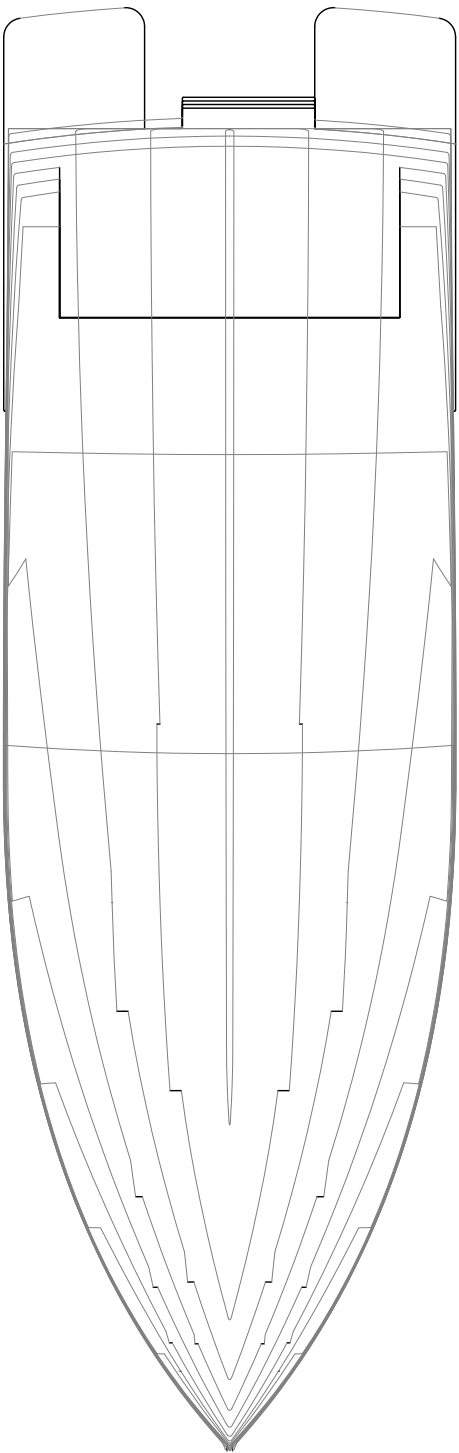
-
- [17] <https://www.safe-skipper.com/capsize-understanding-the-risks/> acedido em fevereiro de 2021
- [18] <https://www.sailboat-cruising.com/gz-curves.html> acedido em fevereiro de 2021
- [19] <https://www.yamaha-motor.com.au/products/marine/outboard/high-horsepower-four-stroke-115---425hp/inline-4-cylinder/f200#techSpecs> acedido em novembro de 2020
- [20] <https://www.tessilmare.com/it/base-pvc-per-sphaera.html> acedido em outubro de 2020
- [21] <https://www.topspeed.com/boats/2018-vandutch-75-ar178842.html> acedido em setembro de 2020
- [22] https://scontent.fopo3-2.fna.fbcdn.net/v/t31.0-8/19679355_1126175214181969_292826761701542511_o.jpg?nc_cat=103&ccc=3&nc_sid=09cbfe&nc_ohc=33jWisZlmgAX8igurR&nc_ht=scontent.fopo3-2.fna&oh=138d6e77b7435cbee54e2e244eb7a7f2&oe=605B7AE6 acedido em setembro de 2020
- [23] <https://www.premiermarine.com.au/listings/rand-leisure-28/> acedido em outubro de 2020
- [24] <https://www.med-yachting.com/magazineEN.do?48%20Wallytender%20X%20is%20Wally%92s%22new%20day%20cruiser&key=1579178558&dettagli=yachting%20magazine> acedido em outubro de 2020
- [25] <https://www.inautia.com/boat-accessory-52446040161549576957707049524557.html> acedido em fevereiro de 2021
- [26] <https://p.globalsources.com/IMAGES/PDT/BIG/597/B1047276597.jpg> acedido em janeiro de 2021
- [27] <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/810jH4%2BmInL.AC.SL1500.jpg> acedido em janeiro de 2021
- <https://www.anchoring.com/products/stainless-steel-claw-bruce-boat-anchor-by-norestar> acedido em janeiro de 2021
- [28] <https://jimmygreen.com/stainless-steel-anchors/79760-rocna-anchor-stainless-steel> acedido em janeiro de 2021
- [29] Yamaha F150A Service Manual -External Dimensions p.73
- [30] <https://www.tessilmare.com/en/profilo-inox-sphaera.html> acedido em novembro de 2021
- [31] Ghadimi, Parviz *et al.* (2014) "Parametric Study of the effects of trim tabs on Running Trim and Resistance of Planning Hulls" *Advanced Shipping and Ocean Engineering* Vol. 3 Iss. 1, PP.1-12

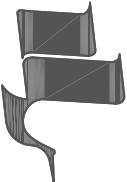
Anexos

Anexo A – Desenhos técnicos cotados

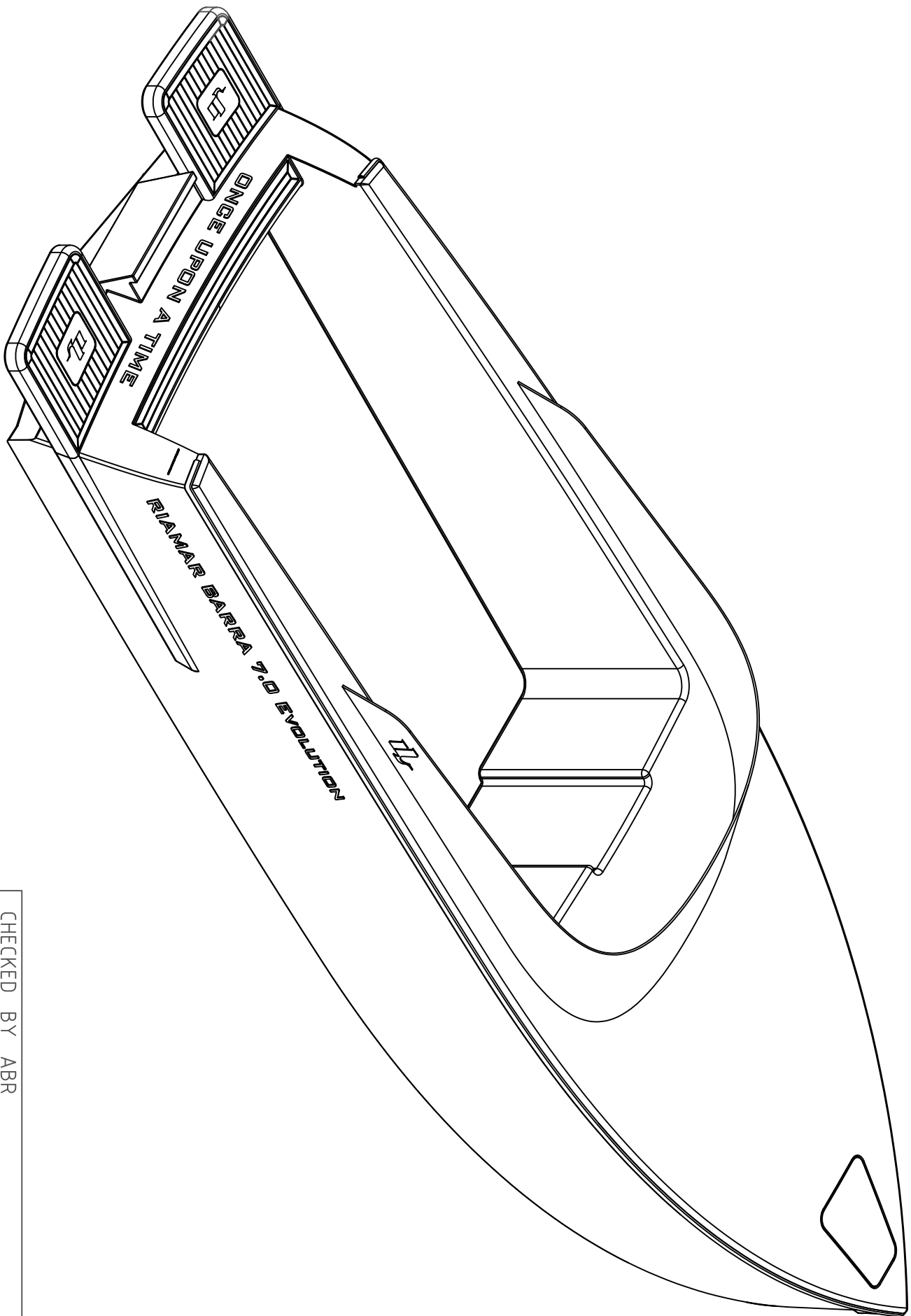
A1 Desenhos técnicos da primeira versão da embarcação

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



CHECKED_BY_ABR				RIAMAR 	
FILE NAME	FILE_NAME	FSCM NO	FSCM_NO		
SIZE	ISOA3				
DRAWN	A.BARATADAROCHA				
CHECK	CHECK_DATE:11_2020				
APPR.	APPROVAL_DATE				
ISSUED	ISSUE_DATEISSUED_BY			RIAMAR RIAMAR_BARRA_7000_Prior Meeting	
REV	REVISION				
CONTRACT NO	CONTRACT_NO				
				DWG SHEET_NO1	

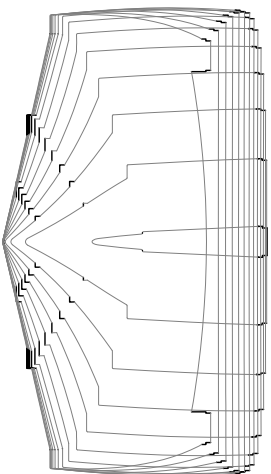
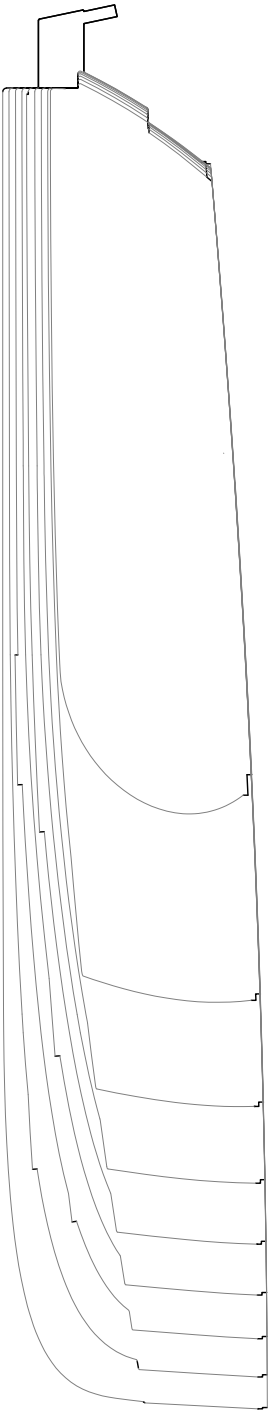
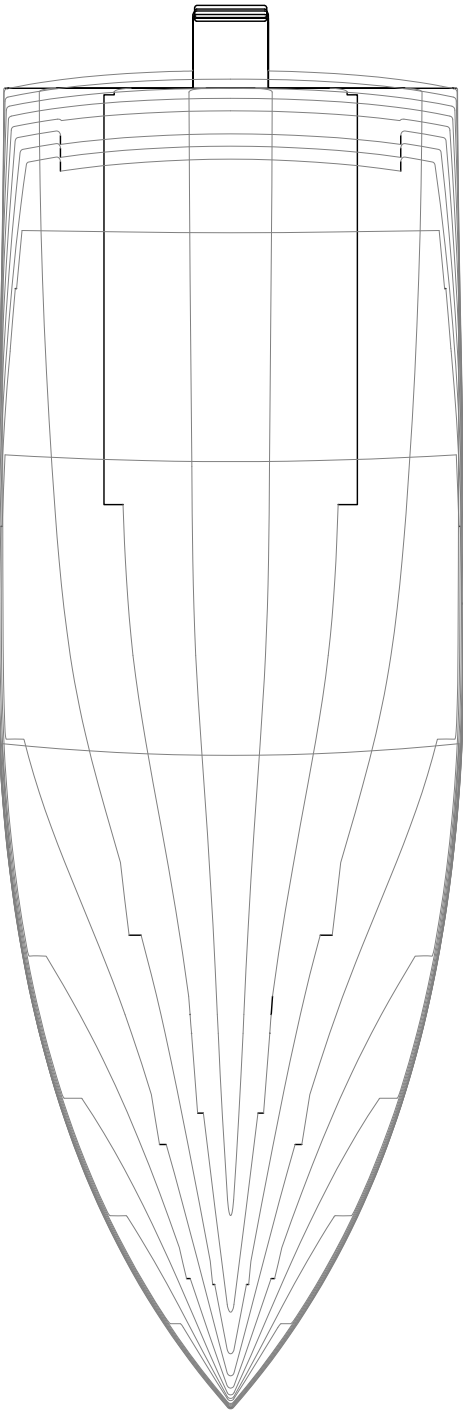
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



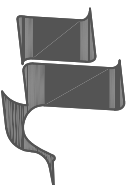
CHECKED _BY_ ABR				RIAMAR	
FILE NAME		FSCM NO		SHEET	
FILE _NAME		FSCM _NO		SHEET	
SIZE		ISOA3		SCALE	
DRAWN		A.BARATADAROCHA		SCALE 1:25	
CHECK		CHECK _DATE:11_2020		ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT	
APPR.		APPROVAL _DATE		RIAMAR	
ISSUED		ISSUE _DATEISSUED _BY		RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION	
REV		REVISION		DWG NO	
CONTRACT NO		CONTRACT _NO		SHEET No1	

A2 Desenhos técnicos da segunda versão da embarcação

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

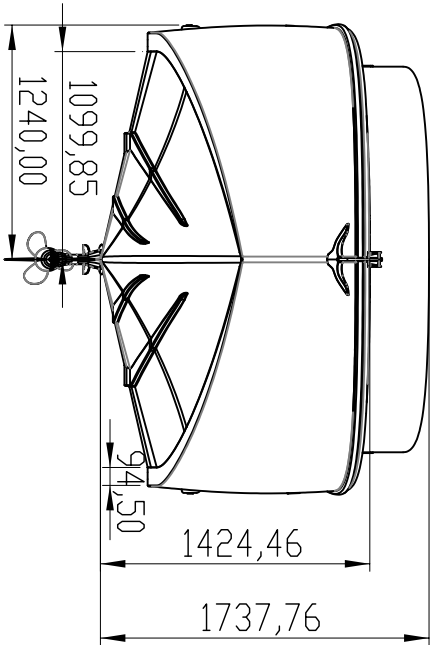
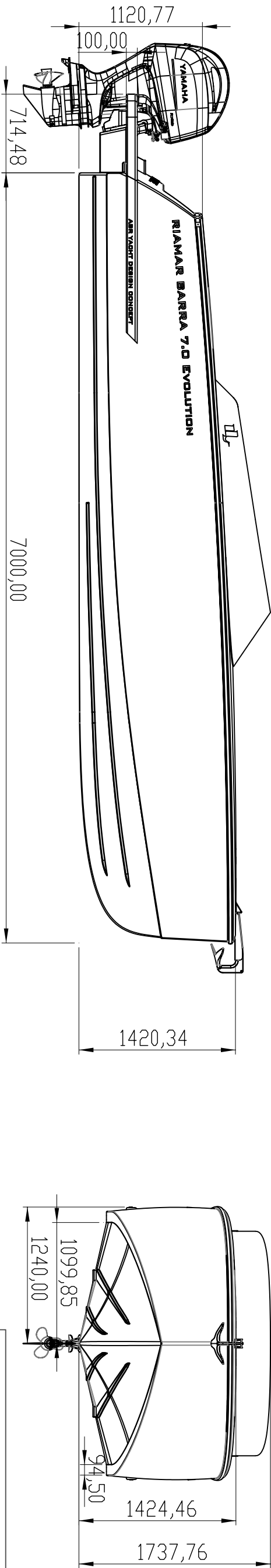
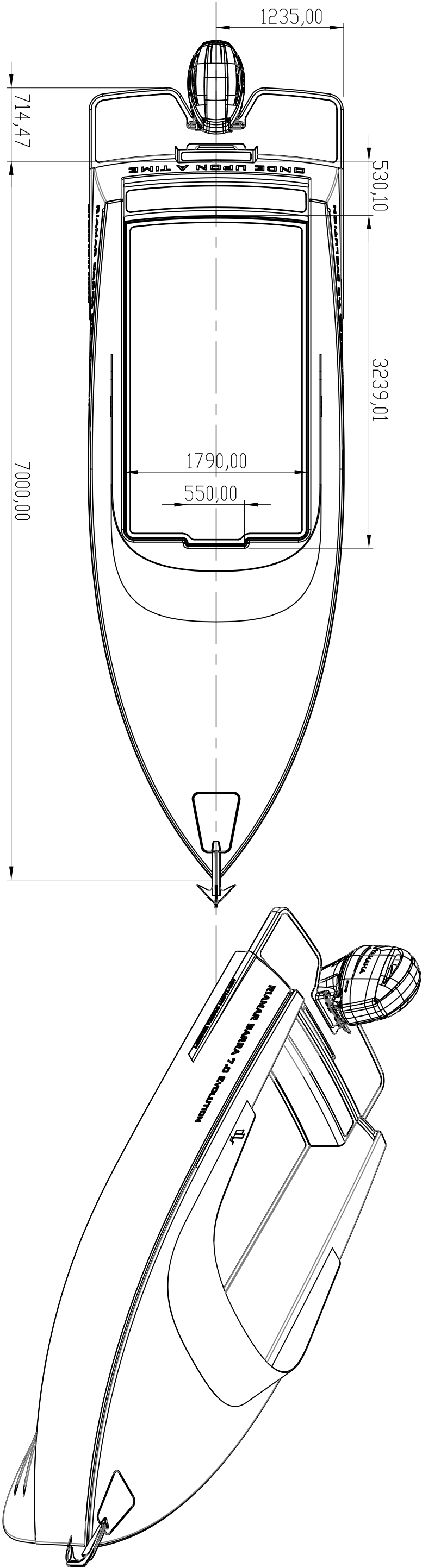


RIAMAR



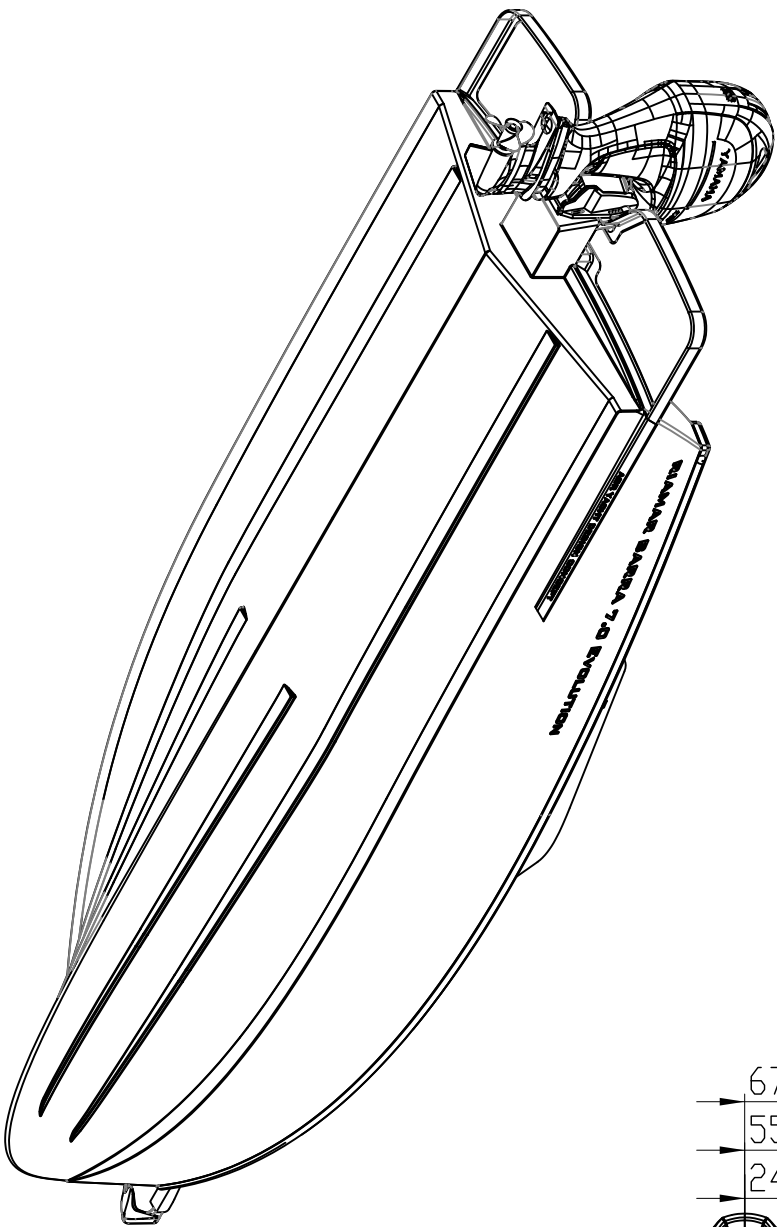
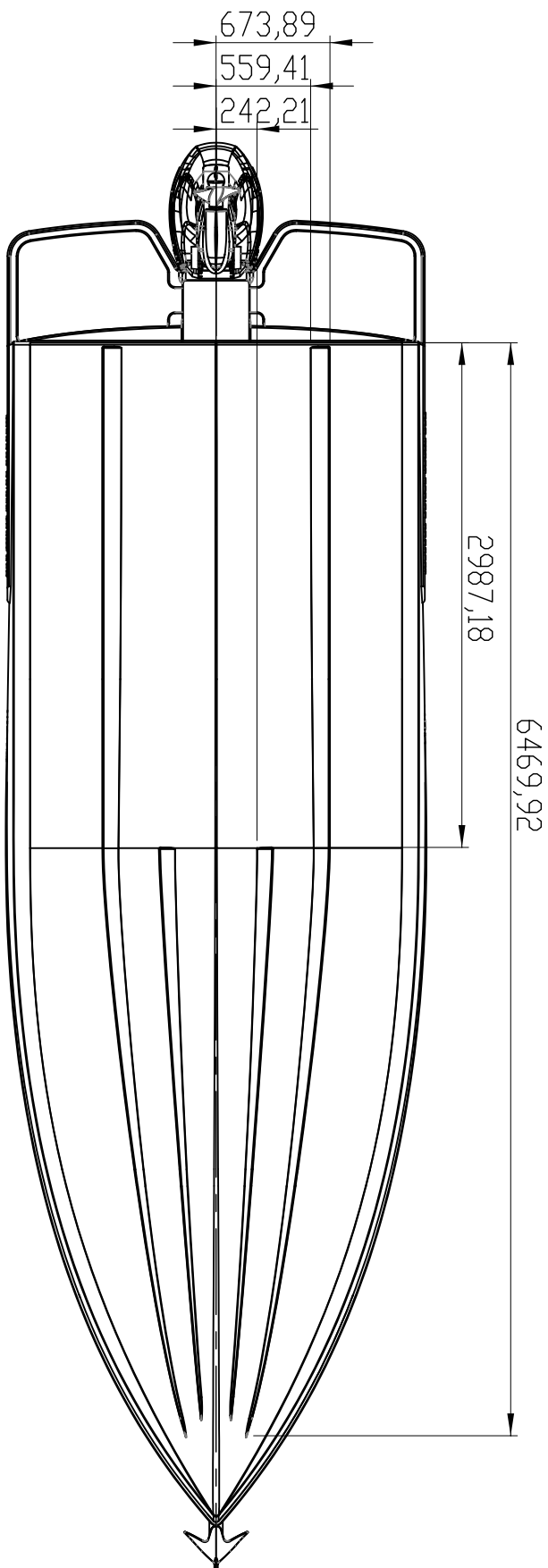
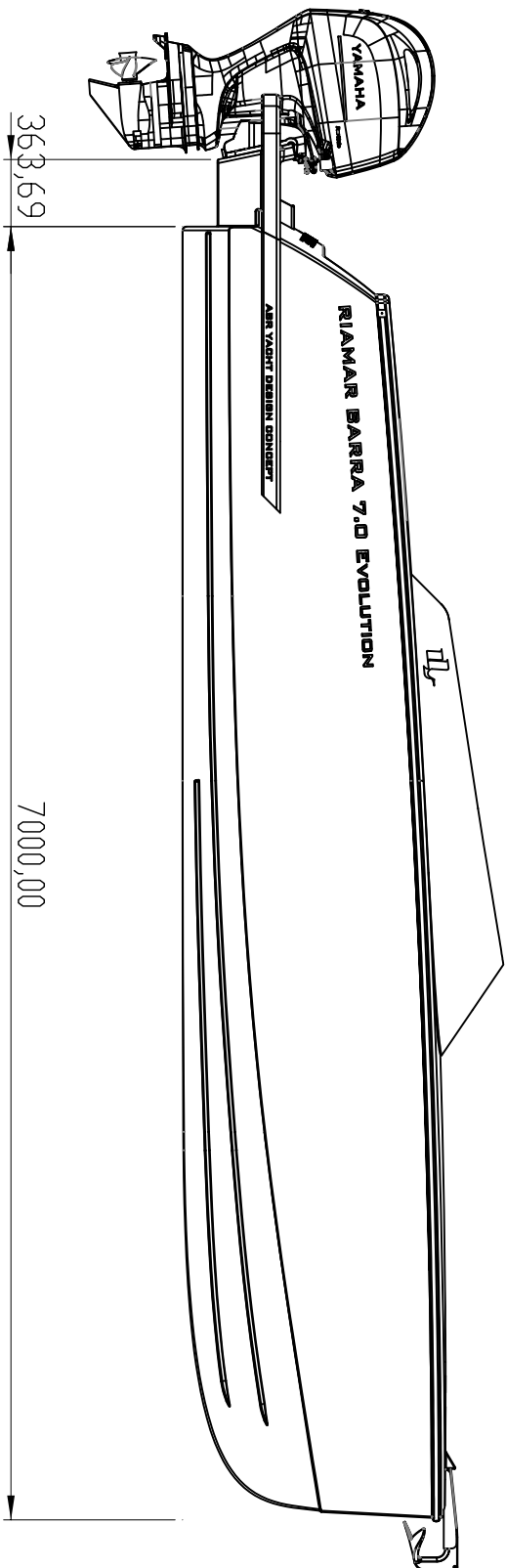
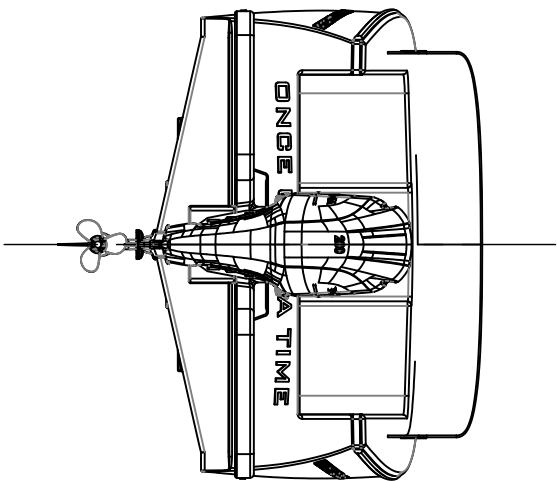
CHECKED_BY_ABR		SHEET		SCALE	
FILE NAME	FILE_NAME	FSCM NO	FSCM_NO	SHEET	SCALE_1:4.0
SIZE	ISOA3	ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT			
DRAWN	A.BARATADARROCHA	RIAMAR			
CHECK	CHECK_DATE:11_2020	RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION			
APPR.	APPROVAL_DATE				
ISSUED	ISSUE_DATEISSUED_BY				
REV	REVISION				
CONTRACT NO	CONTRACT_NO	DWG No SHEET_Cortes			

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



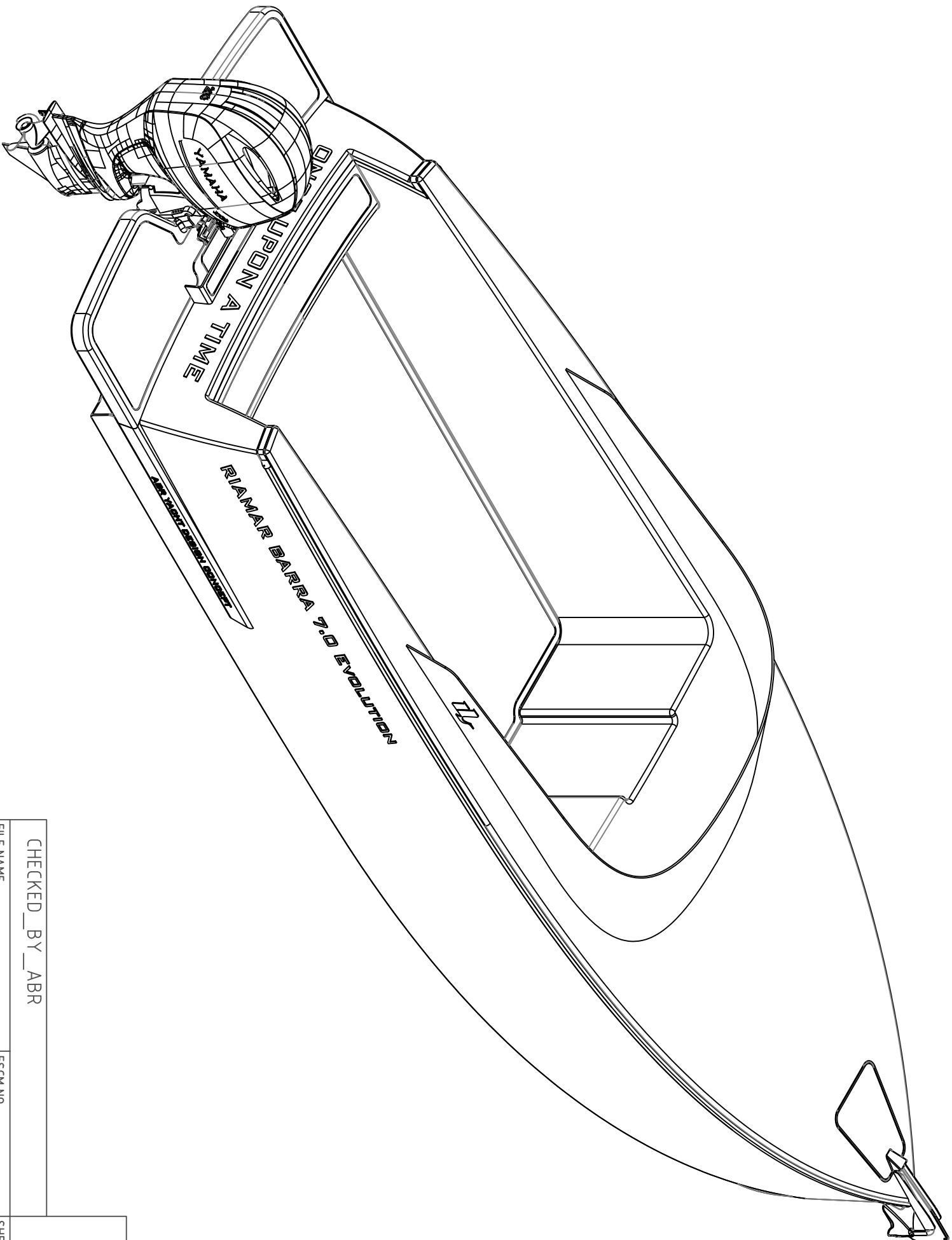
CHECKED_BY_ABR				RIAMAR	
FILE NAME	FILE_NAME	FSCM NO	FSCM_NO	SHEET	SCALE
SIZE	ISOA3			SHEET	SCALE_1:40
DRAWN	A.BARATADAROCHA			ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT	
CHECK	CHECK_DATE:11_2020			RIAMAR	
APPR.	APPROVAL_DATE			RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION	
ISSUED	ISSUE_DATE	ISSUED_BY		DWG NO.	
REV	REVISION			SHEET No1	
CONTRACT NO				CONTRACT_NO	

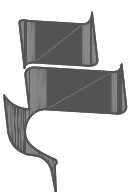
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



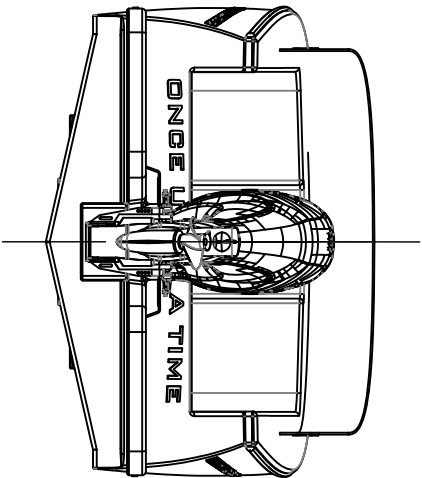
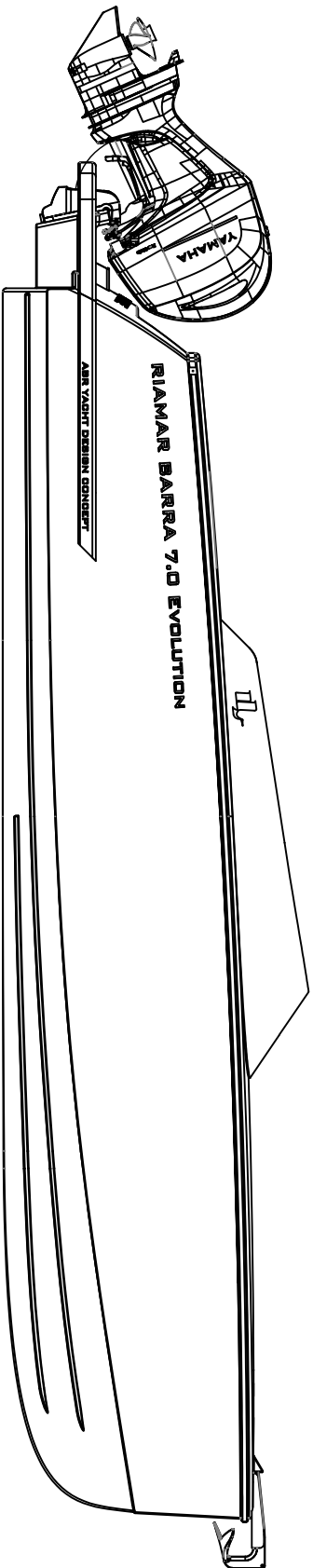
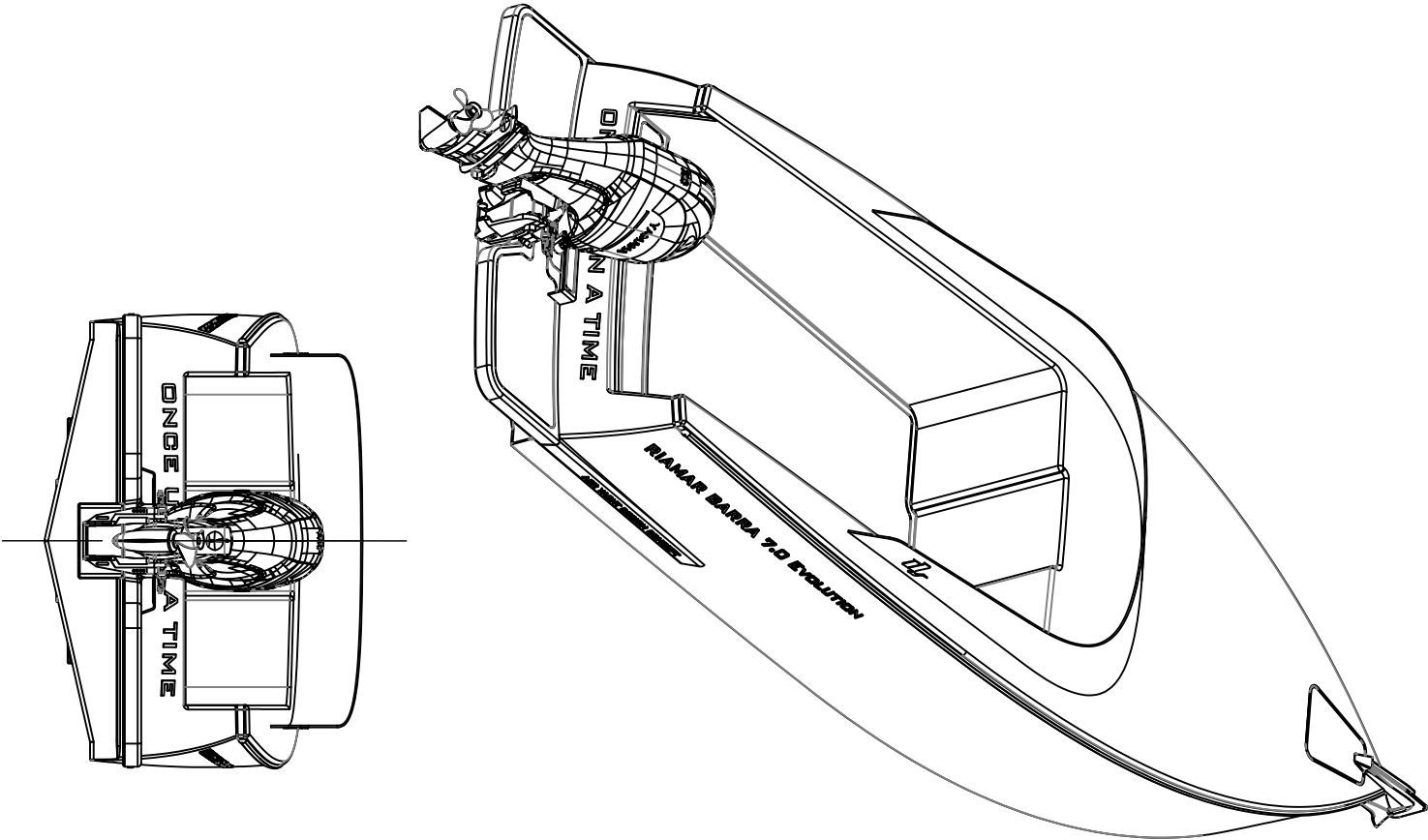
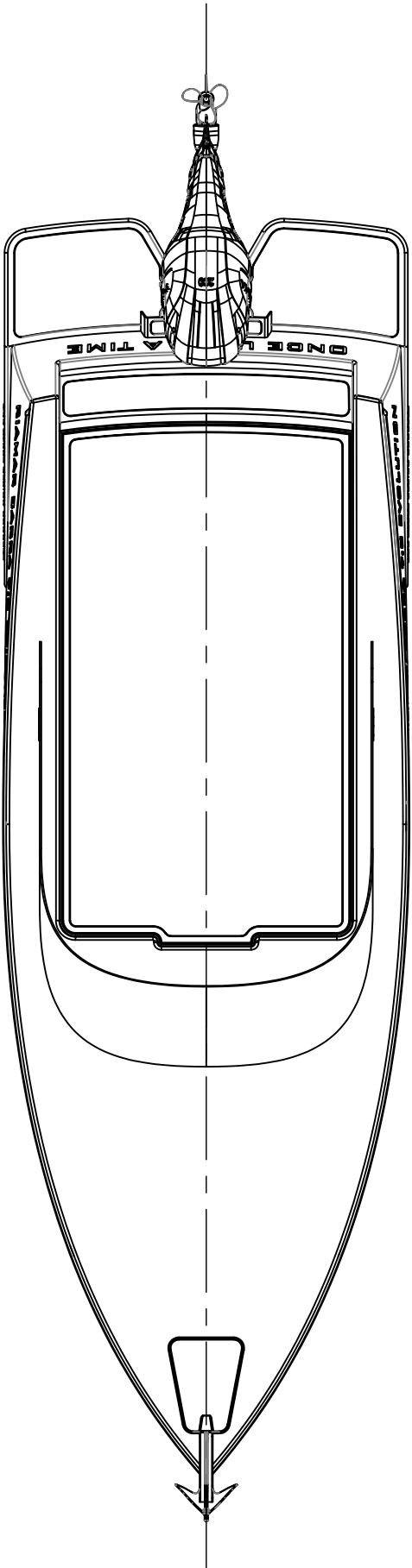
CHECKED_ BY _ABR				RIAMAR	
FILE NAME	FILE_ NAME	FSCM NO	FSCM_ NO	SHEET	SCALE
SIZE	ISOA3			SHEET	SCALE_ 1:40
DRAWN	A.BARATADAROCHA			ABR_ YACHT_ DESIGN_ CONCEPT	
CHECK	CHECK_ DATE:11_2020			RIAMAR	
APPR.	APPROVAL_ DATE			RIAMAR_BARRA_7000_ EVOLUTION	
ISSUED	ISSUE_ DATEISSUED_ BY			DWG No	
REV	REVISION			SHEET_ No 2	
CONTRACT NO(CONTRACT_ NO					

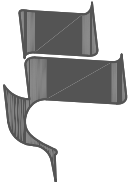
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

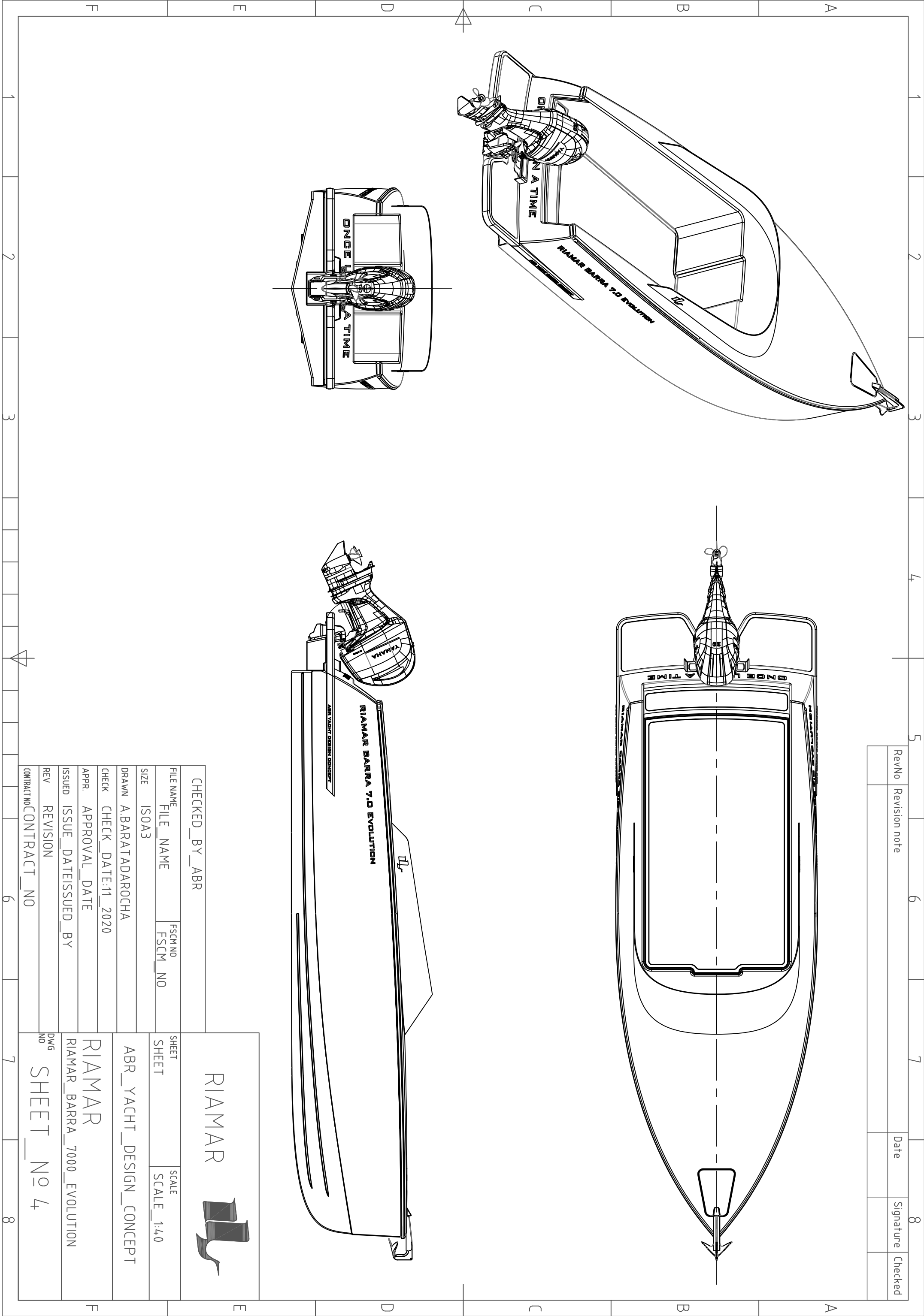


CHECKED_BY_ABR		RIAMAR 	
FILE NAME	FILE_NAME	FSCM NO	SHEET
SIZE	ISOA3	FSCM_NO	SHEET
DRAWN	ABARATADAROCHA		ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT
CHECK	CHECK_DATE:11_2020		RIAMAR
APPR.	APPROVAL_DATE		RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION
ISSUED	ISSUE_DATEISSUED_BY		
REV	REVISION		
CONTRACT NO	CONTRACT_NO		DWG No SHEET_NO 3

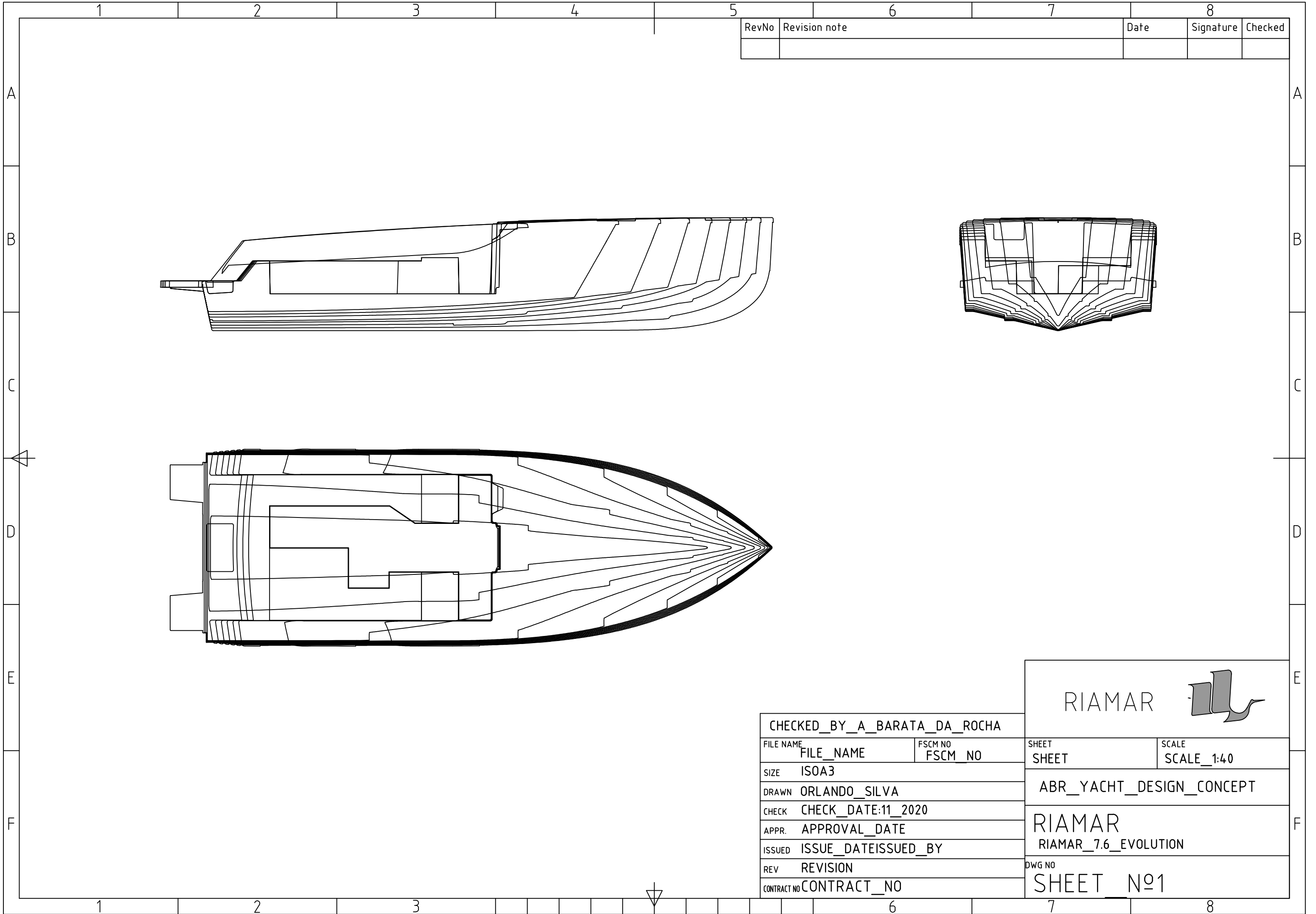
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked



CHECKED_BY_ABR				RIAMAR 	
FILE NAME	FILE_NAME	FSCM NO	FSCM_NO		
SIZE	ISOA3				
DRAWN	A.BARATADAROCHA				
CHECK	CHECK_DATE:11_2020				
APPR.	APPROVAL_DATE			RIAMAR	
ISSUED	ISSUE_DATE	ISSUED_BY			
REV	REVISION				
CONTRACT NO: CONTRACT_NO				DWG NO	SHEET No 4



A3 Desenhos técnicos da terceira versão da embarcação
(casco Tradicional e casco *Performance*)



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

CHECKED_BY_A_BARATA_DA_ROCHA

FILE_NAME

FSCM NO
FSCM NO

SHEET
SHEET

SCALE
SCALE_1:40

SIZE ISOA3

DRAWN ORLANDO_SILVA

ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT

CHECK CHECK_DATE:11_2020

APPR. APPROVAL_DATE

RIAMAR
RIAMAR_7.6_EVOLUTION

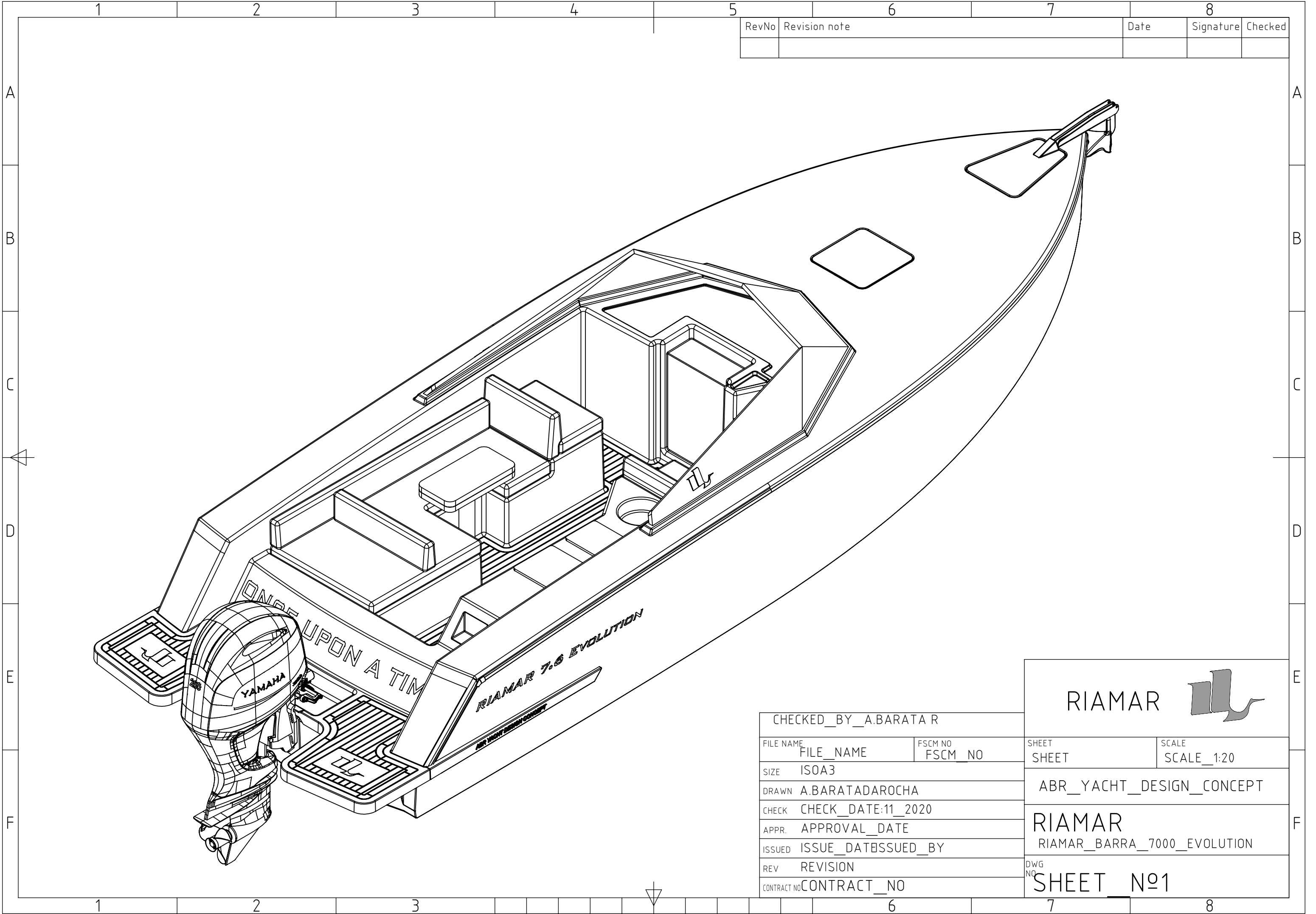
ISSUED ISSUE_DATEISSUED_BY

REV REVISION

DWG NO

CONTRACT NOCONTRACT_NO

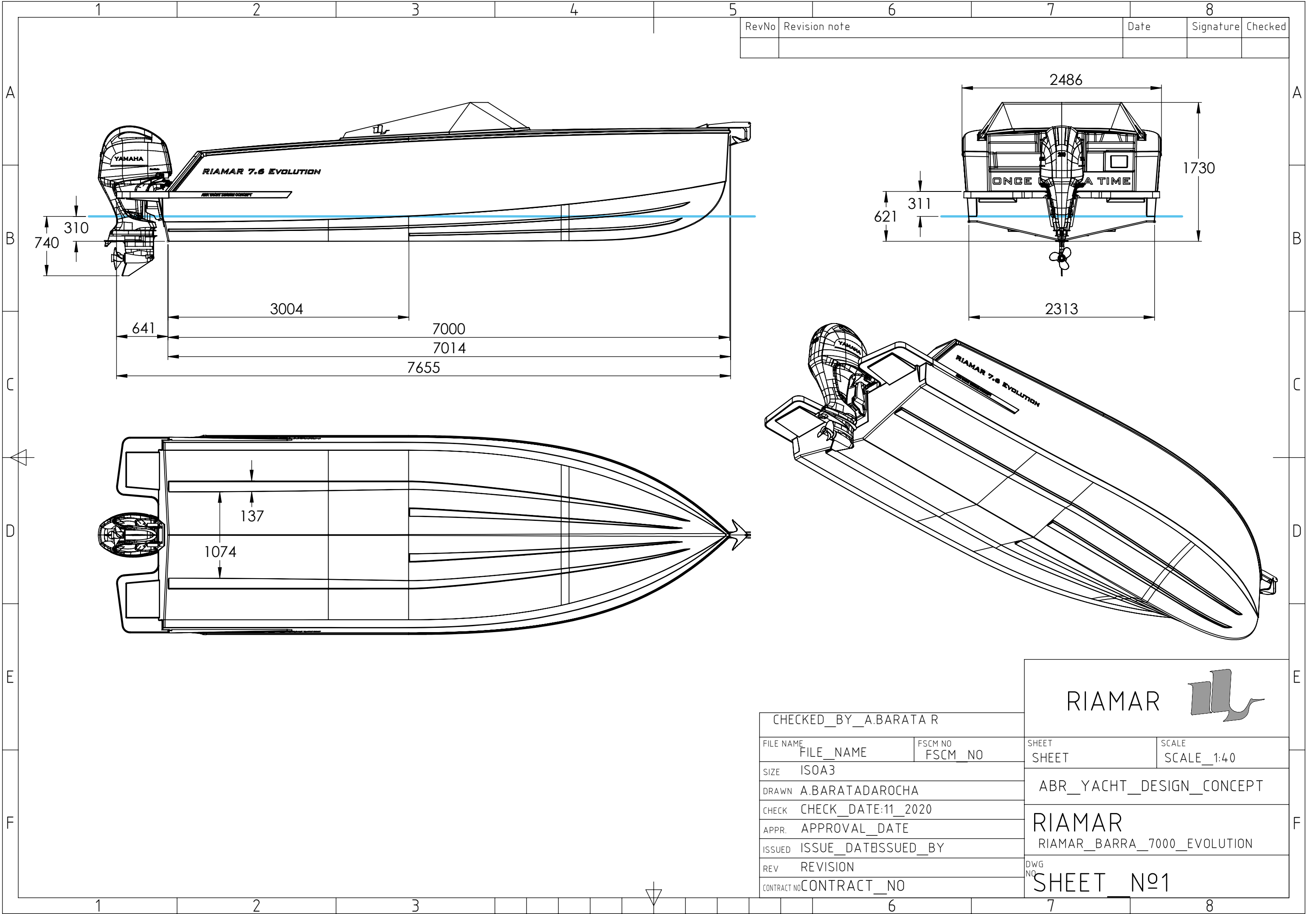
SHEET N^o1



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

CHECKED_BY_A.BARATA R	
FILE NAME	FILE_NAME
SIZE	ISOA3
DRAWN	A.BARATADARROCHA
CHECK	CHECK_DATE:11_2020
APPR.	APPROVAL_DATE
ISSUED	ISSUE_DATEISSUED_BY
REV	REVISION
CONTRACT NO	CONTRACT_NO

RIAMAR 	
SHEET	SCALE
SHEET	SCALE_1:20
ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT	
RIAMAR	
RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION	
DWG NO	SHEET_Nº1

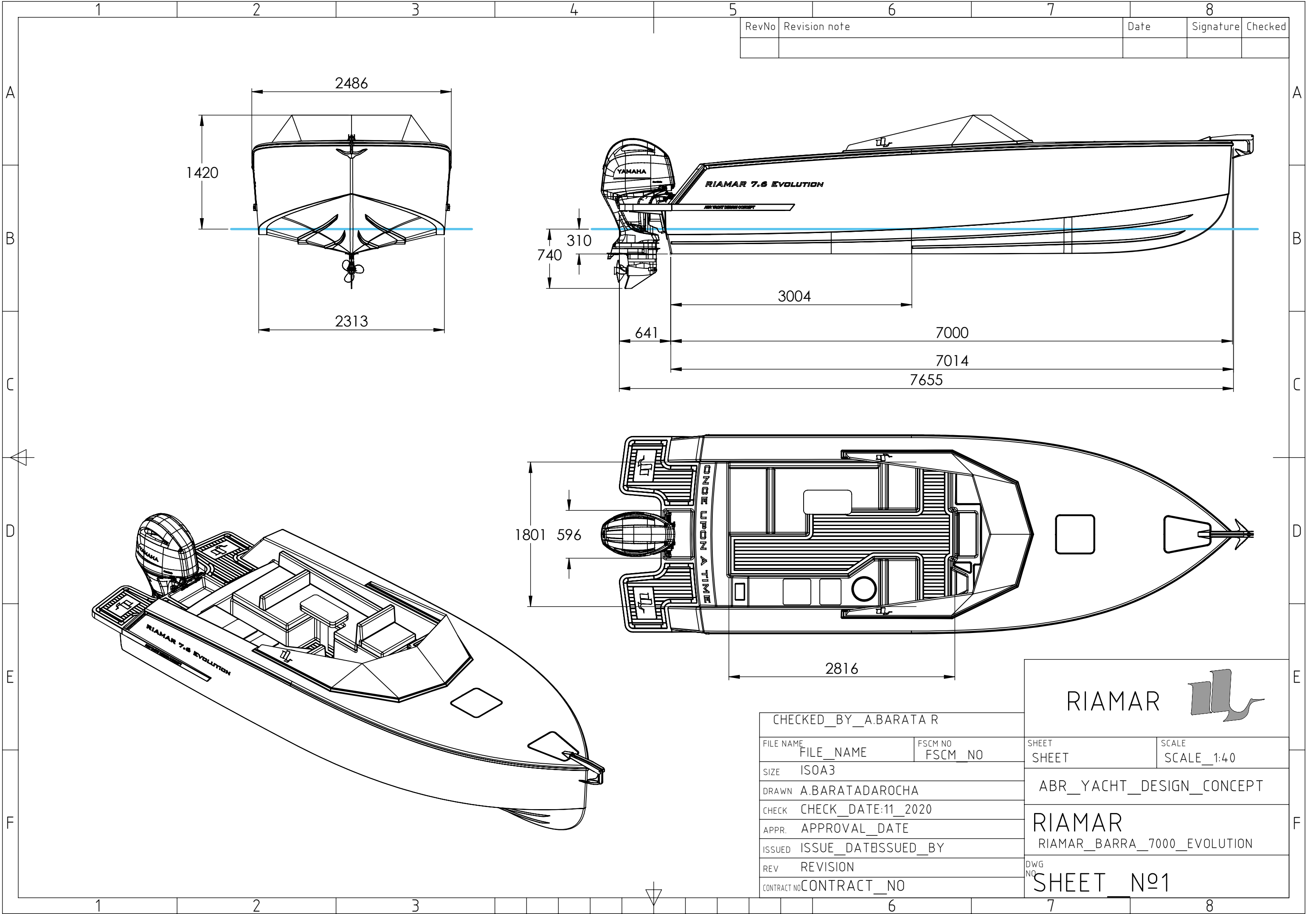


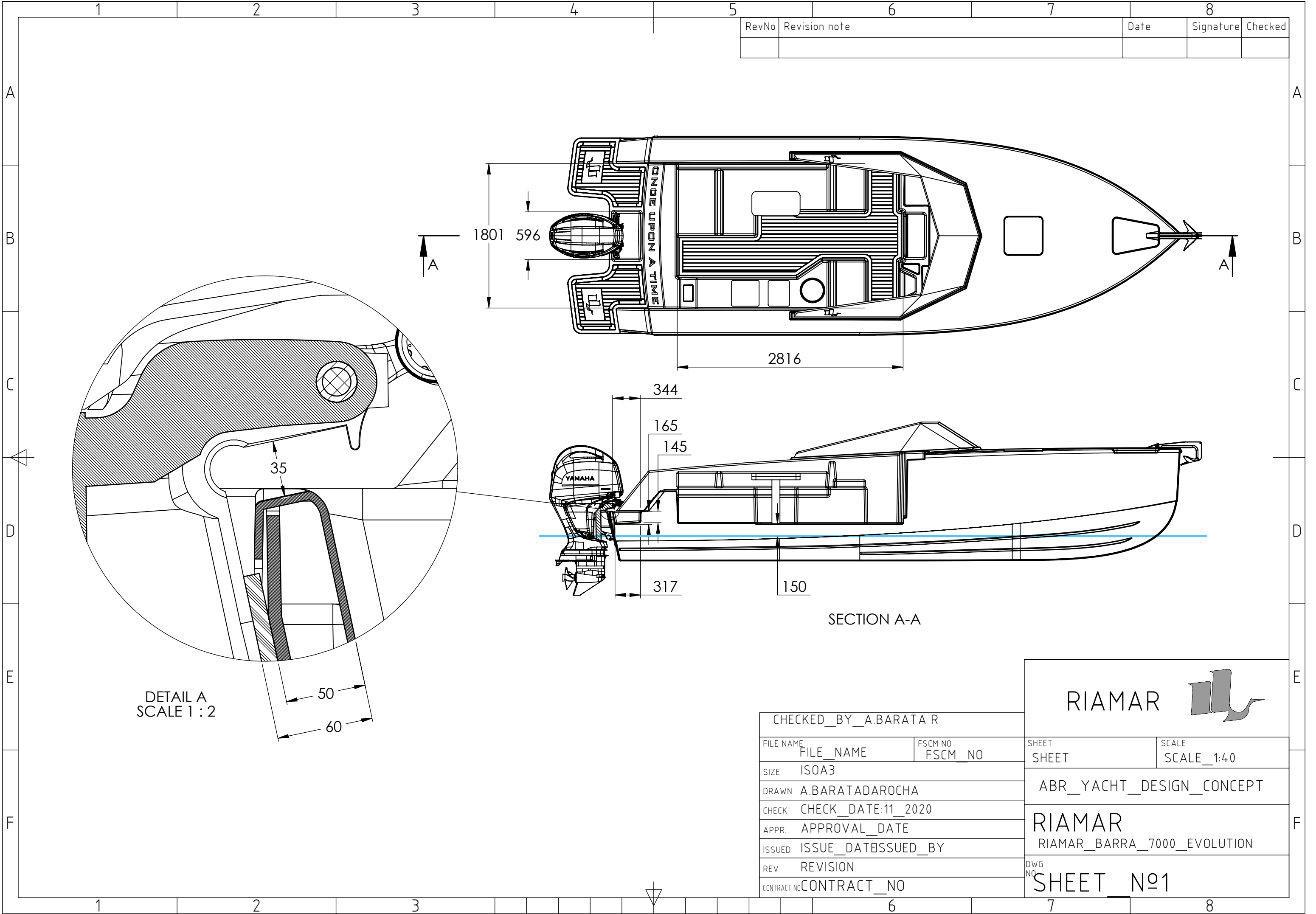
CHECKED_BY_A.BARATA R	
FILE NAME	FILE_NAME
SIZE	ISOA3
DRAWN	A.BARATADARROCHA
CHECK	CHECK_DATE:11_2020
APPR.	APPROVAL_DATE
ISSUED	ISSUE_DATEISSUED_BY
REV	REVISION
CONTRACT NO	CONTRACT_NO

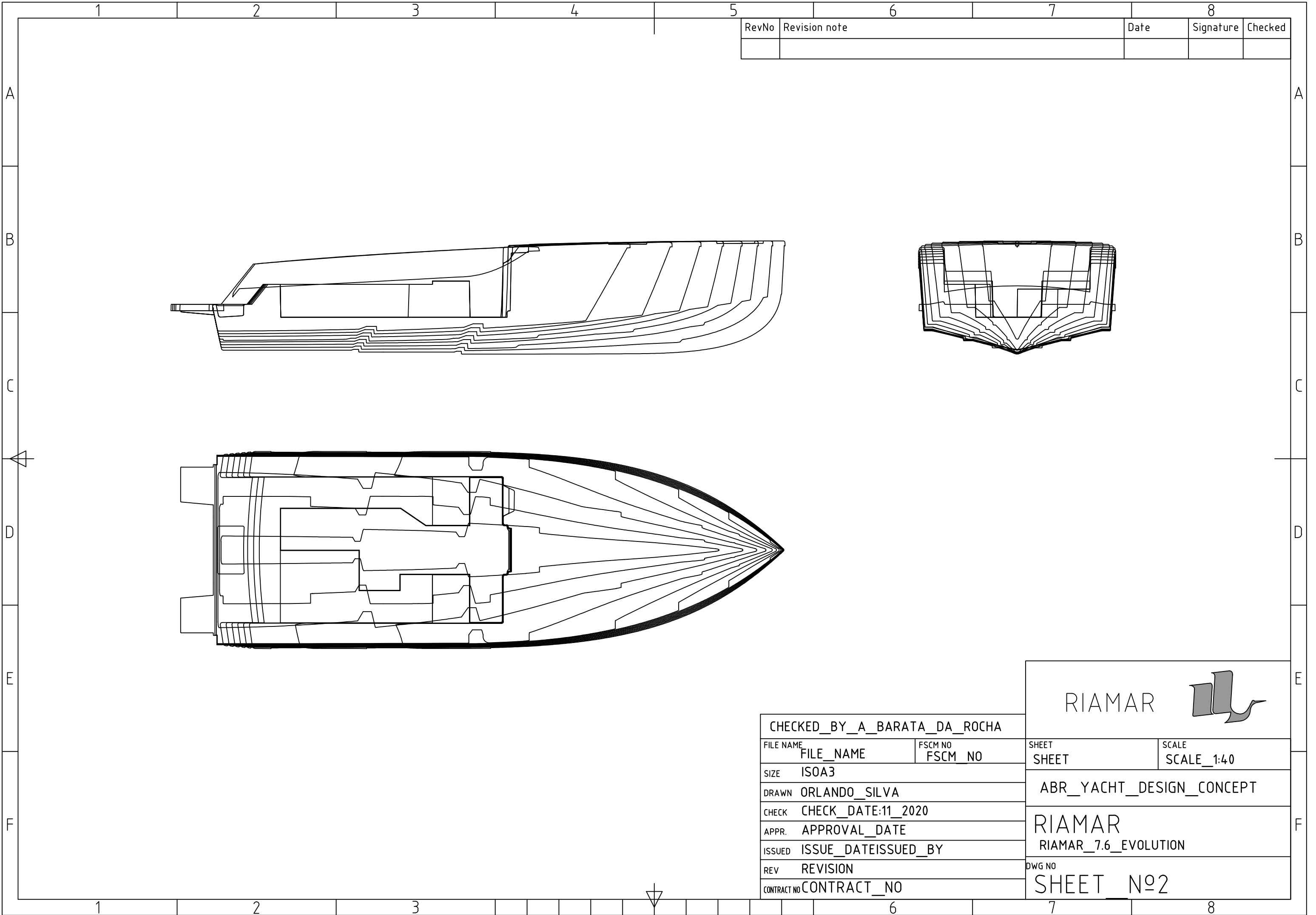
RIAMAR



SHEET	SCALE
SHEET	SCALE_1:40
ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT	
RIAMAR	
RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION	
DWG NO	SHEET_Nº1







RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

CHECKED_BY_A_BARATA_DA_ROCHA

FILE_NAME

FSCM NO
FSCM NO

SHEET
SHEET

SCALE
SCALE_1:40

SIZE ISOA3

DRAWN ORLANDO_SILVA

ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT

CHECK CHECK_DATE:11_2020

APPR. APPROVAL_DATE

RIAMAR
RIAMAR_7.6_EVOLUTION

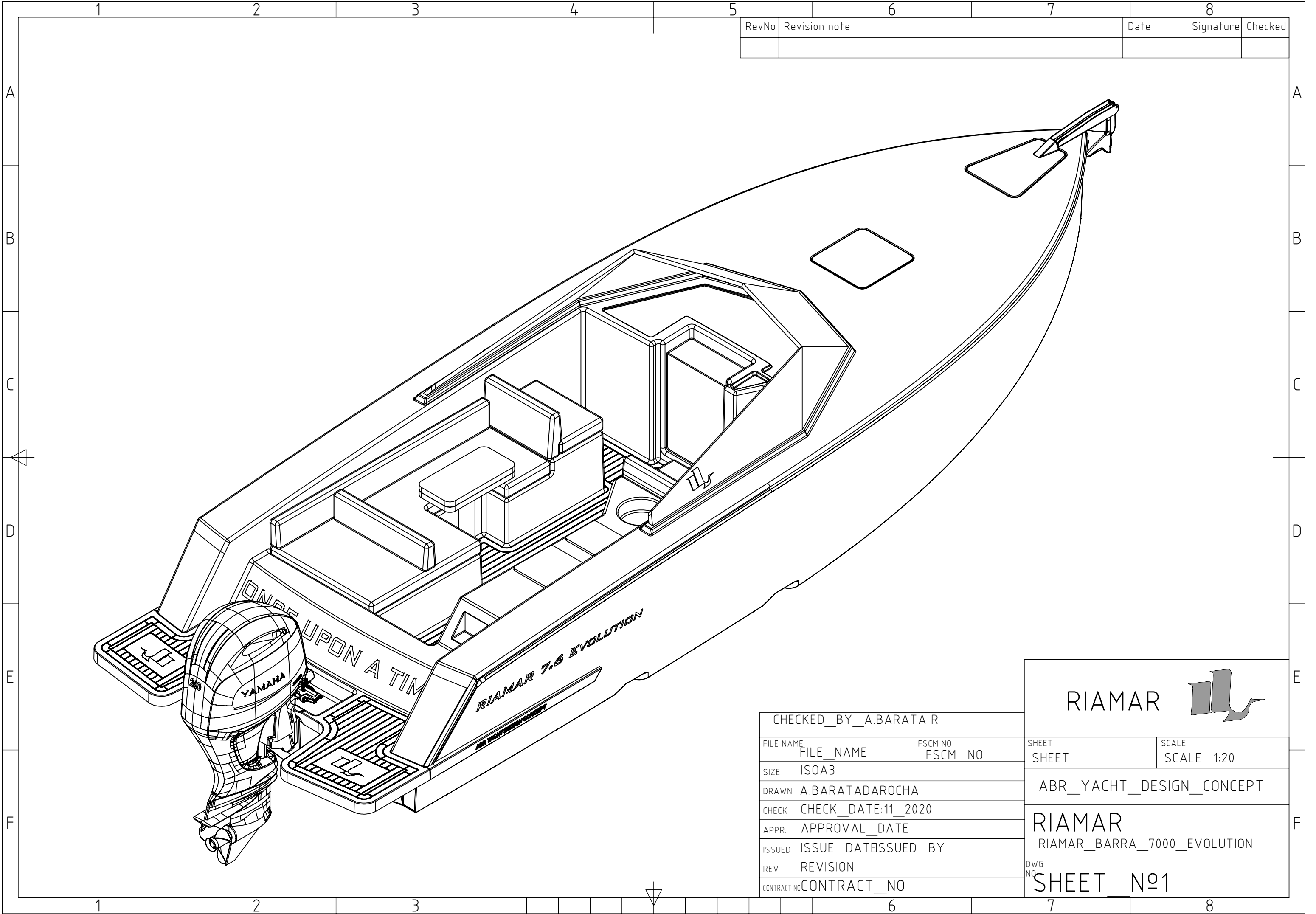
ISSUED ISSUE_DATEISSUED_BY

REV REVISION

DWG NO

CONTRACT NOCONTRACT_NO

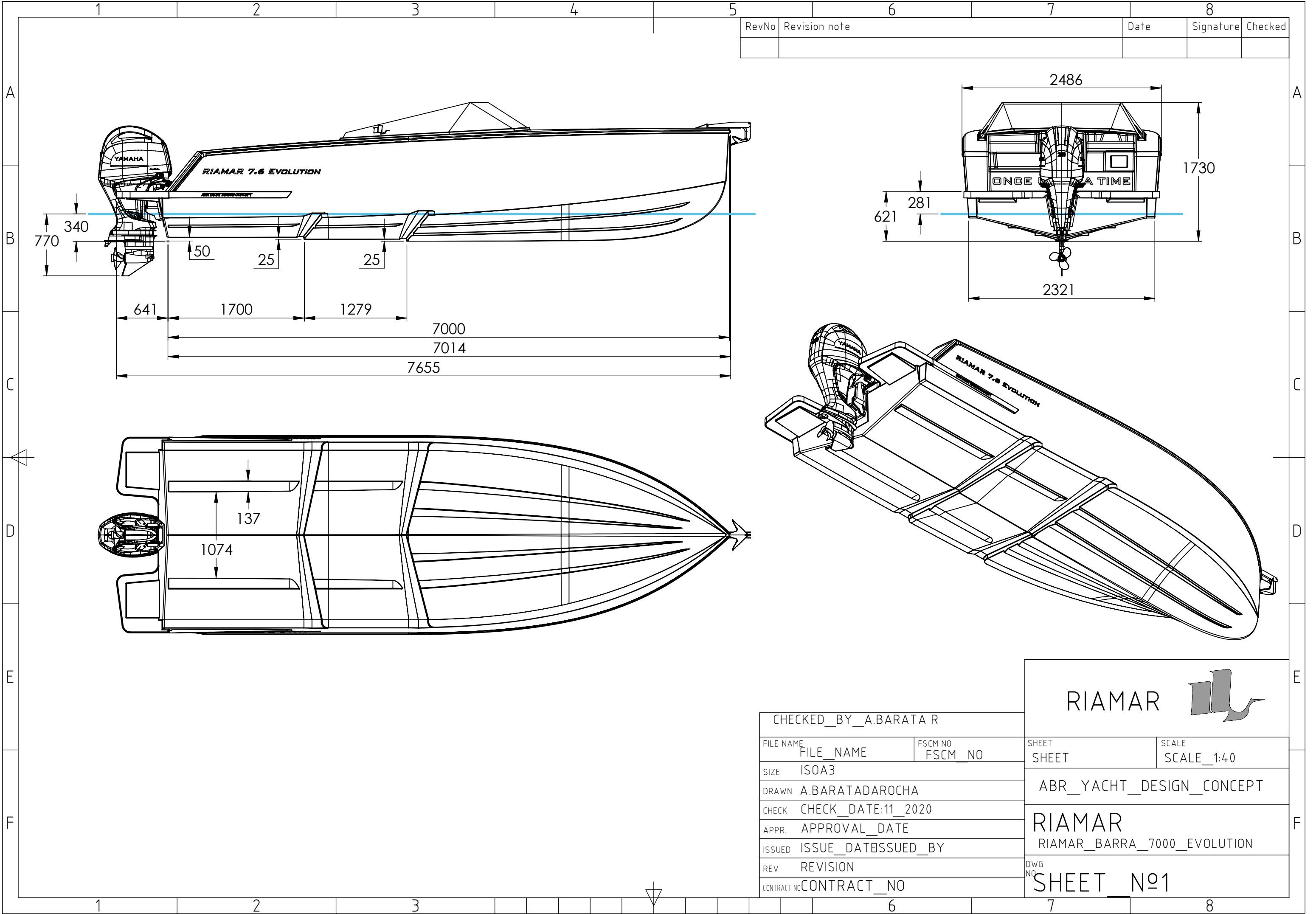
SHEET_Nº2



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

CHECKED_BY_A.BARATA R	
FILE NAME	FILE_NAME
SIZE	ISOA3
DRAWN	A.BARATADARROCHA
CHECK	CHECK_DATE:11_2020
APPR.	APPROVAL_DATE
ISSUED	ISSUE_DATEISSUED_BY
REV	REVISION
CONTRACT NO	CONTRACT_NO

RIAMAR 	
SHEET	SCALE
SHEET	SCALE_1:20
ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT	
RIAMAR	
RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION	
DWG NO	SHEET_Nº1



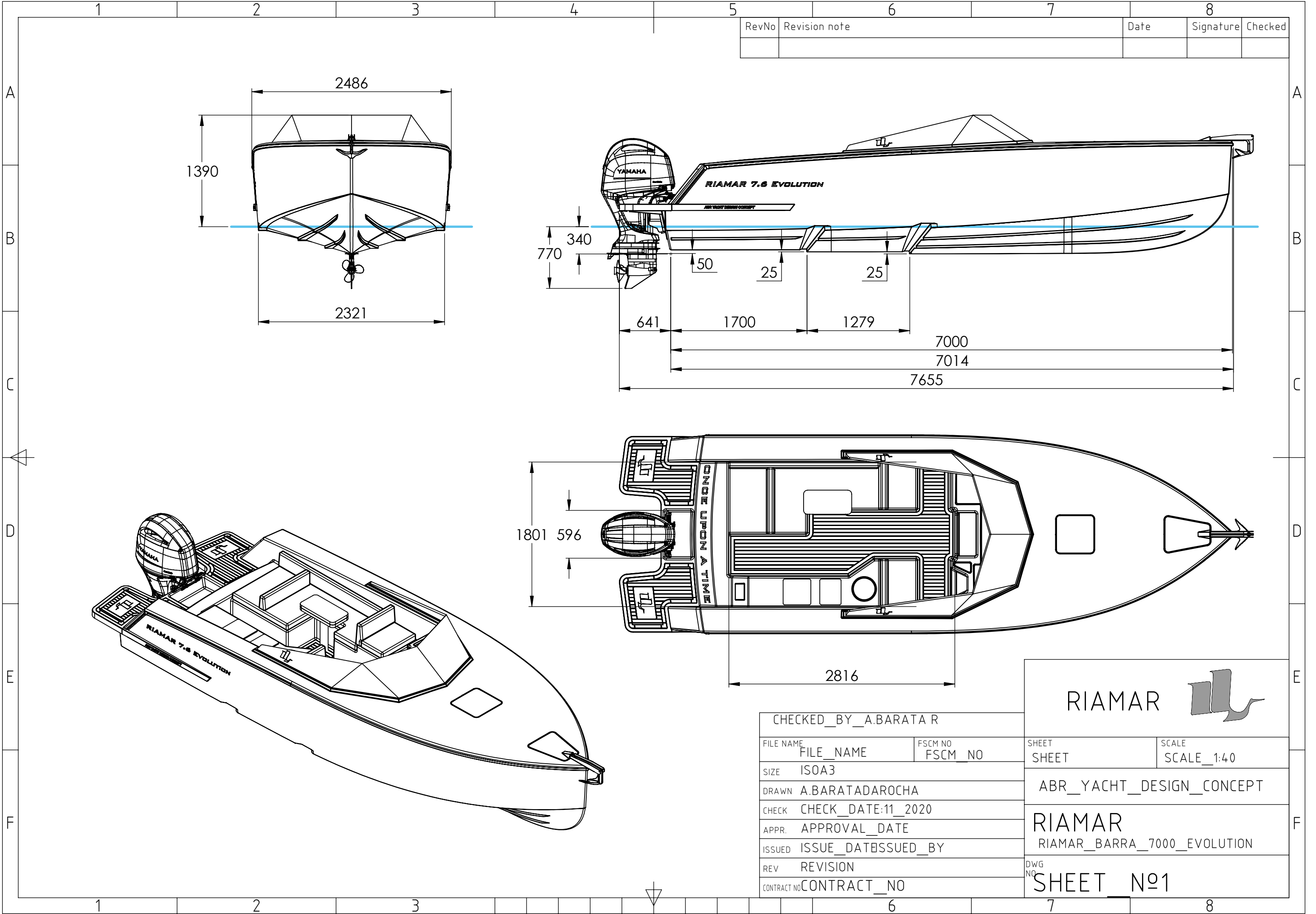
RIAMAR

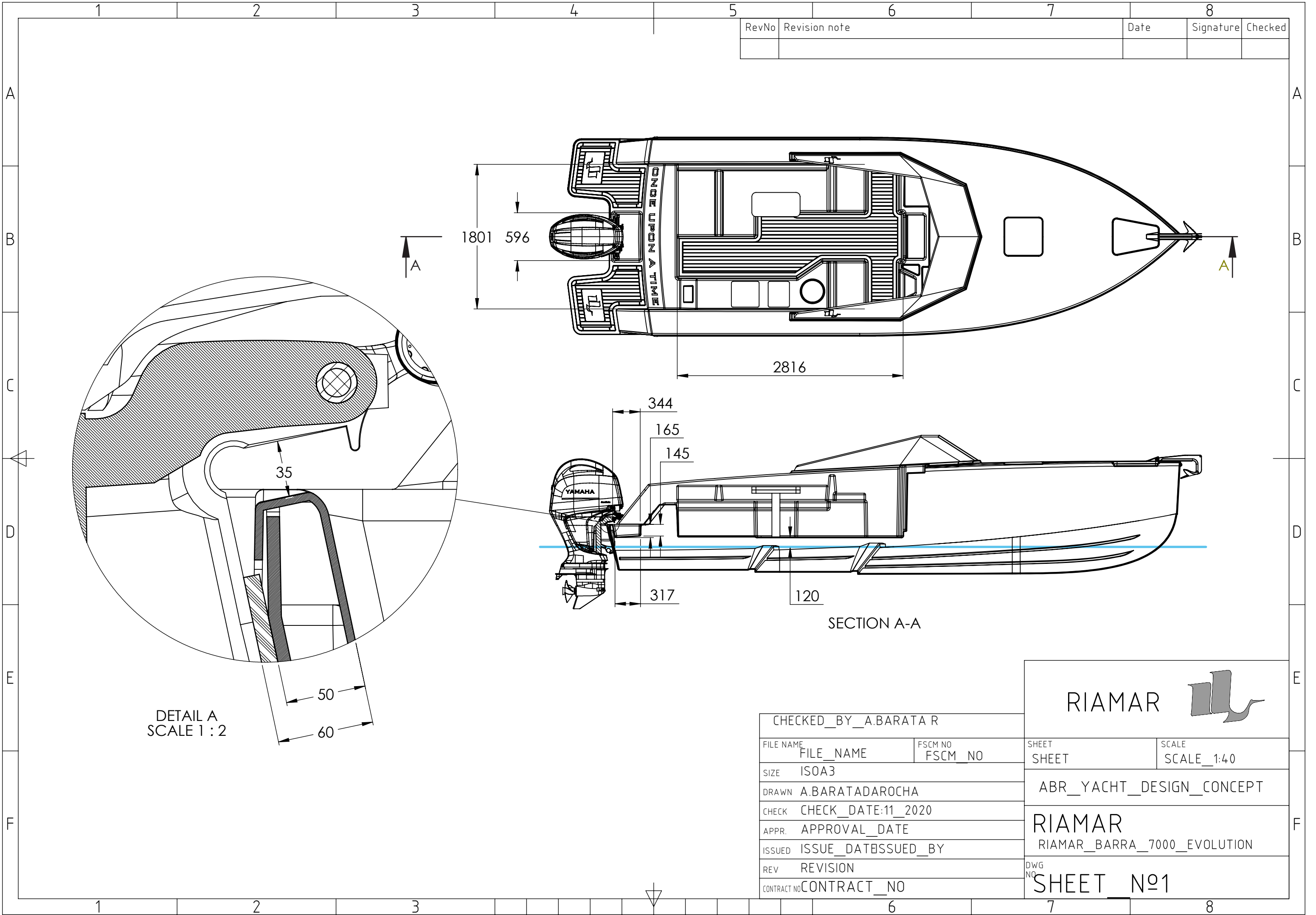
ABR_YACHT_DESIGN_CONCEPT

RIAMAR

RIAMAR_BARRA_7000_EVOLUTION

SHEET_Nº1





Anexo B – Estabilidade Longitudinal

Anexo B1: Embarcação de casco tradicional

Nota: Os valores das coordenadas do centro de massa são valores absolutas, para obter as coordenadas relativas é necessário subtrair 1500mm dos valores em X e Y e 2500mm nos valores em Z.

Anexo B1.1 - Linha de Água 50mm ao Ponto Zero

Mass = 44.14 kilograms

Volume = 43066624.23 cubic millimeters

Surface area = 3590441.02 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3715.52

Y = 1533.47

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 248003.18$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 91900278.21$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 92136192.61$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 248005.41$	$L_{xy} = 14332.90$	$L_{xz} = -12.16$
$L_{yx} = 14332.90$	$L_{yy} = 92136190.37$	$L_{yz} = -0.43$
$L_{zx} = -12.16$	$L_{zy} = -0.43$	$L_{zz} = 91900278.21$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 379947939.65$	$I_{xy} = 251526815.33$	$I_{xz} = 410037983.34$
$I_{yx} = 251526815.33$	$I_{yy} = 977433200.37$	$I_{yz} = 169231096.55$
$I_{zx} = 410037983.34$	$I_{zy} = 169231096.55$	$I_{zz} = 805106081.81$

Anexo B1.2 - Linha de Água 100mm ao Ponto Zero

Mass = 181.82 kilograms

Volume = 177384263.72 cubic millimeters

Surface area = 7543288.10 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3767.54

Y = 1567.20

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 4200516.43$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 397589653.00$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 401590734.71$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 4200586.07$	$L_{xy} = 166347.55$	$L_{xz} = 141.28$
$L_{yx} = 166347.55$	$L_{yy} = 401590665.07$	$L_{yz} = 2.34$
$L_{zx} = 141.28$	$L_{zy} = 2.34$	$L_{zz} = 397589653.00$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 1587135280.42$	$I_{xy} = 1073710526.23$	$I_{xz} = 1712524742.73$
$I_{yx} = 1073710526.23$	$I_{yy} = 4118759344.14$	$I_{yz} = 712364744.67$
$I_{zx} = 1712524742.73$	$I_{zy} = 712364744.67$	$I_{zz} = 3424955358.65$

Anexo B1.3 - Linha de Água 150mm ao Ponto Zero

Mass = 420.25 kilograms

Volume = 409996728.42 cubic millimeters

Surface area = 11912598.78 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3773.42

Y = 1601.11

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 23527608.03$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 960019349.17$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 982512237.34$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 23527631.32$	$L_{xy} = 149433.64$	$L_{xz} = -512.42$
$L_{yx} = 149433.64$	$L_{yy} = 982512214.06$	$L_{yz} = -66.09$
$L_{zx} = -512.42$	$L_{zy} = -66.09$	$L_{zz} = 960019349.17$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 3727406799.67$	$I_{xy} = 2539139471.89$	$I_{xz} = 3964419313.63$
$I_{yx} = 2539139471.89$	$I_{yy} = 9592814427.37$	$I_{yz} = 1682158916.73$
$I_{zx} = 3964419313.63$	$I_{zy} = 1682158916.73$	$I_{zz} = 8021100622.85$

Anexo B1.4 - Linha de Água 200mm ao Ponto Zero

Mass = 751.74 kilograms

Volume = 733409363.22 cubic millimeters

Surface area = 15635246.61 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3796.57$
 $Y = 1634.19$
 $Z = 2500.00$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 70854643.86$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 1754805191.54$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 1822403369.55$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 70855141.10$	$L_{xy} = 933243.66$	$L_{xz} = -814.31$
$L_{yx} = 933243.66$	$L_{yy} = 1822402872.31$	$L_{yz} = -101.14$
$L_{zx} = -814.31$	$L_{zy} = -101.14$	$L_{zz} = 1754805191.54$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 6776857017.16$	$I_{xy} = 4664990184.47$	$I_{xz} = 7135131946.79$
$I_{yx} = 4664990184.47$	$I_{yy} = 17356414854.29$	$I_{yz} = 3071234422.48$
$I_{zx} = 7135131946.79$	$I_{zy} = 3071234422.48$	$I_{zz} = 14597992919.62$

Anexo B1.5 - Linha de Água 250mm ao Ponto Zero

Mass = 1179.82 kilograms

Volume = 1151047612.07 cubic millimeters

Surface area = 20099234.18 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3813.55$
 $Y = 1667.51$
 $Z = 2500.00$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 169560112.47$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 2824776319.07$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 2986303425.96$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 169561658.15$	$L_{xy} = 2086565.62$	$L_{xz} = -4257.91$
$L_{yx} = 2086565.62$	$L_{yy} = 2986301880.29$	$L_{yz} = -174.61$
$L_{zx} = -4257.91$	$L_{zy} = -174.61$	$L_{zz} = 2824776319.06$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 10824062030.58$	$I_{xy} = 7504730791.04$	$I_{xz} = 11248280299.66$
$I_{yx} = 7504730791.04$	$I_{yy} = 27518545095.51$	$I_{yz} = 4918416210.10$
$I_{zx} = 11248280299.66$	$I_{zy} = 4918416210.10$	$I_{zz} = 23263720222.89$

Anexo B1.6 - Linha de Água 280mm ao Ponto Zero

Mass = 1486.91 kilograms
Volume = 1450647615.07 cubic millimeters
Surface area = 22283723.64 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3822.02
Y = 1687.69
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 268047107.34
Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 3604000371.17
Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 3859316106.32

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 268049805.11 Lxy = 3112619.64 Lxz = 3130.41
Lyx = 3112619.64 Lyy = 3859313408.55 Lyz = -140.06
Lzx = 3130.41 Lzy = -140.06 Lzz = 3604000371.17

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 13796468213.53 lxy = 9594292844.51 lxz = 14207554943.80
lyx = 9594292844.51 lyy = 34873139115.06 lyz = 6273640346.71
lzx = 14207554943.80 lzy = 6273640346.71 lzz = 29559778548.75

Anexo B1.7 - Linha de Água 285mm ao Ponto Zero

Mass = 1540.72 kilograms
Volume = 1503145373.53 cubic millimeters
Surface area = 22588031.69 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3824.64
Y = 1691.01
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 286501611.65
Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 3740934086.05
Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 4013771726.67

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 286504874.78 Lxy = 3487481.76 Lxz = -2288.77
Lyx = 3487481.76 Lyy = 4013768463.54 Lyz = -155.55
Lzx = -2288.77 Lzy = -155.55 Lzz = 3740934086.05

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 14321739679.02 lxy = 9968089069.05 lxz = 14731781213.06
lyx = 9968089069.05 lyy = 36180779312.47 lyz = 6513434211.42
lzx = 14731781213.06 lzy = 6513434211.42 lzz = 30684104680.99

Anexo B1.8 - Linha de Água 290mm ao Ponto Zero

Mass = 1595.17 kilograms
Volume = 1556260163.43 cubic millimeters
Surface area = 22881598.75 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3827.54
Y = 1694.30
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 305446015.02
Iy = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 3879746706.68
Iz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 4170550313.91

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 305449990.29 Lxy = 3919790.38 Lxz = 4911.22

Lyx = 3919790.38 Lyy = 4170546338.66 Lyz = -138.16
Lzx = 4911.22 Lzy = -138.16 Lzz = 3879746706.68

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 14854428884.80 lxy = 10348565478.81 lxz = 15263930244.70
lyx = 10348565478.81 lyy = 37509640131.85 lyz = 6756730186.43
lzx = 15263930244.70 lzy = 6756730186.43 lzz = 31828184866.67

Anexo B1.9 - Linha de Água 295mm ao Ponto Zero

Mass = 1650.25 kilograms

Volume = 1609997827.10 cubic millimeters

Surface area = 23165602.39 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3830.77

Y = 1697.58

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 324857815.52
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 4020767034.24
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 4329957044.17

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 324862705.48 Lxy = 4425462.67 Lxz = 3731.79
Lyx = 4425462.67 Lyy = 4329952154.22 Lyz = -282.75
Lzx = 3731.79 Lzy = -282.75 Lzz = 4020767034.24

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 15394562171.97 lxy = 10736027253.84 lxz = 15804322223.28
lyx = 10736027253.84 lyy = 38861081291.93 lyz = 7003561616.98
lzx = 15804322223.28 lzy = 7003561616.98 lzz = 32993449907.31

Anexo B1.10 - Linha de Água 300mm ao Ponto Zero

Mass = 1705.91 kilograms

Volume = 1664305356.29 cubic millimeters

Surface area = 23440871.21 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3834.25

Y = 1700.84

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 344717409.79
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 4163694154.72
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 4491671420.17

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 344723424.81 Lxy = 4994387.47 Lxz = 8199.02
Lyx = 4994387.47 Lyy = 4491665405.16 Lyz = -25.98
Lzx = 8199.02 Lzy = -25.98 Lzz = 4163694154.71

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 15941656349.33 lxy = 11129991441.32 lxz = 16352278236.30
lyx = 11129991441.32 lyy = 40233093488.08 lyz = 7253709730.37
lzx = 16352278236.30 lzy = 7253709730.37 lzz = 34178072758.64

Anexo B1.11 - Linha de Água 305mm ao Ponto Zero

Mass = 1762.15 kilograms

Volume = 1719173516.04 cubic millimeters

Surface area = 23708526.93 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3837.98

Y = 1704.08

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_x = 365005135.92$
 $I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$ $P_y = 4308710566.03$
 $I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$ $P_z = 4655852937.74$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 365012549.27$ $L_{xy} = 5639984.72$ $L_{xz} = 8296.18$
 $L_{yx} = 5639984.72$ $L_{yy} = 4655845524.41$ $L_{yz} = -62.21$
 $L_{zx} = 8296.18$ $L_{zy} = -62.21$ $L_{zz} = 4308710566.02$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 16495603928.57$ $l_{xy} = 11530522296.39$ $l_{xz} = 16907801438.71$
 $l_{yx} = 11530522296.39$ $l_{yy} = 41626001344.82$ $l_{yz} = 7507139806.72$
 $l_{zx} = 16907801438.71$ $l_{zy} = 7507139806.72$ $l_{zz} = 35382479170.52$

Anexo B1.12 - Linha de Água 310mm ao Ponto Zero

Mass = 1818.94 kilograms

Volume = 1774576608.61 cubic millimeters

Surface area = 23969218.26 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3841.93$
 $Y = 1707.31$
 $Z = 2500.00$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_x = 385706680.16$
 $I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$ $P_y = 4455736735.14$
 $I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$ $P_z = 4822407109.45$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 385715791.78$ $L_{xy} = 6358095.38$ $L_{xz} = 8708.82$
 $L_{yx} = 6358095.38$ $L_{yy} = 4822397997.85$ $L_{yz} = -64.01$
 $L_{zx} = 8708.82$ $L_{zy} = -64.01$ $L_{zz} = 4455736735.13$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 17056175798.74$ $l_{xy} = 11937442882.83$ $l_{xz} = 17470627449.01$
 $l_{yx} = 11937442882.83$ $l_{yy} = 43039102179.42$ $l_{yz} = 7763751472.00$
 $l_{zx} = 17470627449.01$ $l_{zy} = 7763751472.00$ $l_{zz} = 36606067602.06$

Anexo B1.13 - Linha de Água 315mm ao Ponto Zero

Mass = 1876.26 kilograms

Volume = 1830500918.81 cubic millimeters

Surface area = 24223321.45 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3846.07$
 $Y = 1710.52$
 $Z = 2500.00$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_x = 406809054.41$
 $I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$ $P_y = 4604795666.17$
 $I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$ $P_z = 4991342377.55$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 406820211.72$ $L_{xy} = 7151982.20$ $L_{xz} = 8187.74$
 $L_{yx} = 7151982.20$ $L_{yy} = 4991331220.26$ $L_{yz} = -87.17$
 $L_{zx} = 8187.74$ $L_{zy} = -87.17$ $L_{zz} = 4604795666.16$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 17623244397.20$ $l_{xy} = 12350710947.80$ $l_{xz} = 18040650007.86$
 $l_{yx} = 12350710947.80$ $l_{yy} = 44472220288.38$ $l_{yz} = 8023494295.20$
 $l_{zx} = 18040650007.86$ $l_{zy} = 8023494295.20$ $l_{zz} = 37848745315.06$

Anexo B1.14 - Linha de Água 320mm ao Ponto Zero

Mass = 1934.10 kilograms

Volume = 1886924098.87 cubic millimeters

Surface area = 24471561.38 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3850.41
Y = 1713.72
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 428293025.08
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 4755954661.73
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 5162705857.27

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 428306627.21 Lxy = 8024827.03 Lxz = 7089.22
Lyx = 8024827.03 Lyy = 5162692255.16 Lyz = -301.73
Lzx = 7089.22 Lzy = -301.73 Lzz = 4755954661.72

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18196589170.72 lxy = 12770221063.78 lxz = 18617676539.17
lyx = 12770221063.78 lyy = 45925027171.58 lyz = 8286276551.59
lzx = 18617676539.17 lzy = 8286276551.59 lzz = 39110300175.34

Anexo B1.15 - Linha de Água 325mm ao Ponto Zero

Mass = 1992.41 kilograms

Volume = 1943810320.47 cubic millimeters

Surface area = 24714287.33 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3854.88
Y = 1716.91
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 450136688.84
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 4909076448.95
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 5336337186.52

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 450153146.80 Lxy = 8967527.78 Lxz = 7541.94
Lyx = 8967527.78 Lyy = 5336320728.57 Lzy = -416.67
Lzx = 7541.94 Lzz = 4909076448.94

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18775862864.71 lxy = 13195654108.79 lxz = 19201256957.32
lyx = 13195654108.79 lyy = 47396284587.80 lyz = 8551943625.94
lzx = 19201256957.32 lzy = 8551943625.94 lzz = 40389629313.69

Anexo B1.16 - Linha de Água 330mm ao Ponto Zero

Mass = 2051.21 kilograms

Volume = 2001181068.58 cubic millimeters

Surface area = 24951899.09 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3859.52
Y = 1720.08
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 472358498.36
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 5064259547.98
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 5512351189.18

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 472378295.32 Lxy = 9988796.07 Lxz = 10939.23
Lyx = 9988796.07 Lyy = 5512331392.24 Lyz = 353.43
Lzx = 10939.23 Lzy = 353.43 Lzz = 5064259547.95

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 19361340795.12	lxy = 13627287883.00	lxz = 19791746942.28
lyx = 13627287883.00	lyy = 48886992290.92	lyz = 8820619070.84
lzx = 19791746942.28	lzy = 8820619070.84	lzz = 41687650485.60

Anexo B2: Embarcação de casco com *step*

Nota: Os valores das coordenadas do centro de massa são valores absolutas, para obter as coordenadas relativas é necessário subtrair 1500mm dos valores em X e Y e 2500mm nos valores em Z.

Anexo B2.1 - Linha de Água 50mm ao Ponto Zero

Mass = 16.21 kilograms

Volume = 15815806.09 cubic millimeters

Surface area = 1610803.44 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 5213.30

Y = 1535.14

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 37483.45
ly = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 14432368.90
lz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 14465884.07

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 37531.86	Lxy = -26430.55	Lxz = 2.32
Lyx = -26430.55	Lyy = 14465835.65	Lyz = -0.01
Lzx = 2.32	Lzy = -0.01	Lzz = 14432368.90

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 139561877.86	lxy = 129714303.57	lxz = 211284536.33
lyx = 129714303.57	lyy = 556381451.14	lyz = 62216260.86
lzx = 211284536.33	lzy = 62216260.86	lzz = 493232291.76

Anexo B2.2 - Linha de Água 100mm ao Ponto Zero

Mass = 102.35 kilograms

Volume = 99854386.75 cubic millimeters

Surface area = 5481566.46 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4534.68

Y = 1572.66

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 1199663.86$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 204474720.85$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 205589029.81$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 1202179.30$	$L_{xy} = -717023.94$	$L_{xz} = 69.21$
$L_{yx} = -717023.94$	$L_{yy} = 205586514.37$	$L_{yz} = 6.47$
$L_{zx} = 69.21$	$L_{zy} = 6.47$	$L_{zz} = 204474720.85$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 894033187.78$	$I_{xy} = 729196844.62$	$I_{xz} = 1160321070.65$
$I_{yx} = 729196844.62$	$I_{yy} = 2949954004.74$	$I_{yz} = 402406268.87$
$I_{zx} = 1160321070.65$	$I_{zy} = 402406268.87$	$I_{zz} = 2562288192.24$

Anexo B2.3 - Linha de Água 150mm ao Ponto Zero

Mass = 280.76 kilograms

Volume = 273909086.30 cubic millimeters

Surface area = 9247181.21 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4278.85

Y = 1607.26

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 7989104.01$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 648094709.40$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 655550354.09$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 7996966.49$	$L_{xy} = -2256407.92$	$L_{xz} = 104.46$
$L_{yx} = -2256407.92$	$L_{yy} = 655542491.61$	$L_{yz} = 5.12$
$L_{zx} = 104.46$	$L_{zy} = 5.12$	$L_{zz} = 648094709.40$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 2487999369.35$	$I_{xy} = 1928568965.46$	$I_{xz} = 3003288406.58$
$I_{yx} = 1928568965.46$	$I_{yy} = 7550519140.92$	$I_{yz} = 1128121707.12$
$I_{zx} = 3003288406.58$	$I_{zy} = 1128121707.12$	$I_{zz} = 6513616347.49$

Anexo B2.4 - Linha de Água 200mm ao Ponto Zero

Mass = 561.73 kilograms

Volume = 548025559.19 cubic millimeters

Surface area = 13706631.41 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4138.75

Y = 1642.04

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 34981705.81$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 1358439904.09$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 1391439191.22$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 35001079.50$	$L_{xy} = -5126325.29$	$L_{xz} = 503.20$
$L_{yx} = -5126325.29$	$L_{yy} = 1391419817.53$	$L_{yz} = 26.46$
$L_{zx} = 503.20$	$L_{zy} = 26.46$	$L_{zz} = 1358439904.09$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 5060359690.22$	$l_{xy} = 3812346200.41$	$l_{xz} = 5812105329.02$
$l_{yx} = 3812346200.41$	$l_{yy} = 14524139745.00$	$l_{yz} = 2305935093.79$
$l_{zx} = 5812105329.02$	$l_{zy} = 2305935093.79$	$l_{zz} = 12494942652.17$

Anexo B2.5 - Linha de Água 250mm ao Ponto Zero

Mass = 932.68 kilograms

Volume = 909928638.94 cubic millimeters

Surface area = 17507676.18 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 4086.66$
 $Y = 1675.45$
 $Z = 2500.00$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 92792504.88$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 2312622062.78$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 2400135912.72$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 92817540.45$	$L_{xy} = -7600329.78$	$L_{xz} = 95.71$
$L_{yx} = -7600329.78$	$L_{yy} = 2400110877.16$	$L_{yz} = 27.46$
$L_{zx} = 95.71$	$L_{zy} = 27.46$	$L_{zz} = 2312622062.78$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 8540187011.13$	$l_{xy} = 6378424712.49$	$l_{xz} = 9528831657.33$
$l_{yx} = 6378424712.49$	$l_{yy} = 23805779792.86$	$l_{yz} = 3906627958.13$
$l_{zx} = 9528831657.33$	$l_{zy} = 3906627958.13$	$l_{zz} = 20507203340.43$

Anexo B2.6 - Linha de Água 280mm ao Ponto Zero

Mass = 1202.04 kilograms

Volume = 1172723837.17 cubic millimeters

Surface area = 20025597.78 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 4066.87$
 $Y = 1695.59$
 $Z = 2500.00$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 153020202.26$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 3019903049.82$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 3164233843.05$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 153048707.14$	$L_{xy} = -9264635.82$	$L_{xz} = 71.98$
$L_{yx} = -9264635.82$	$L_{yy} = 3164205338.17$	$L_{yz} = 117.22$

Lzx = 71.98 Lzy = 117.22 Lzz = 3019903049.82

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 11121710392.48	lxy = 8279701195.82	lxz = 12221357899.47
lyx = 8279701195.82	lyy = 30558018563.50	lyz = 5095425327.14
lzx = 12221357899.47	lzy = 5095425327.14	lzz = 26356857035.81

Anexo B2.7 - Linha de Água 285mm ao Ponto Zero

Mass = 1250.47 kilograms

Volume = 1219967349.85 cubic millimeters

Surface area = 20450594.62 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4064.14

Y = 1698.96

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 165511934.65
ly = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 3148087909.63
lz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 3304207990.45

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 165540990.22	Lxy = -9549645.79	Lxz = -4012.88
Lyx = -9549645.79	Lyy = 3304178934.89	Lyz = 54.97
Lzx = -4012.88	Lzy = 54.97	Lzz = 3148087909.62

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 11590357777.30	lxy = 8624669706.63	lxz = 12705175354.63
lyx = 8624669706.63	lyy = 31773862799.82	lyz = 5311215133.29
lzx = 12705175354.63	lzy = 5311215133.29	lzz = 27411774130.08

Anexo B2.8 - Linha de Água 290mm ao Ponto Zero

Mass = 1299.88 kilograms

Volume = 1268174784.04 cubic millimeters

Surface area = 20876601.22 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4061.49

Y = 1702.32

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 178792378.27
ly = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 3278980198.07
lz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 3447635978.26

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 178822007.02	Lxy = -9841284.09	Lxz = -1004.75
Lyx = -9841284.09	Lyy = 3447606349.51	Lyz = 41.16
Lzx = -1004.75	Lzy = 41.16	Lzz = 3278980198.07

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 12069985175.83	lxy = 8977472653.65	lxz = 13198602962.66
lyx = 8977472653.65	lyy = 33014237490.88	lyz = 5532032490.09
lzx = 13198602962.66	lzy = 5532032490.09	lzz = 28488292273.39

Anexo B2.9 - Linha de Água 295mm ao Ponto Zero

Mass = 1350.76 kilograms

Volume = 1317818378.75 cubic millimeters

Surface area = 21596929.84 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4058.27

Y = 1705.72

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 193432621.04
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 3415416196.98
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 3597917471.12

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 193463297.58	Lxy = -10219435.73	Lxz = -170.68
Lyx = -10219435.73	Lyy = 3597886794.58	Lyz = 31.53
Lzx = -170.68	Lzy = 31.53	Lzz = 3415416196.98

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 12565756471.79	lxy = 9340139718.91	lxz = 13704415490.56
lyx = 9340139718.91	lyy = 34286659242.50	lyz = 5760061442.77
lzx = 13704415490.56	lzy = 5760061442.77	lzz = 29591937705.14

Anexo B2.10 - Linha de Água 300mm ao Ponto Zero

Mass = 1403.16 kilograms

Volume = 1368937890.90 cubic millimeters

Surface area = 22161537.47 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4054.67

Y = 1709.15

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 209552350.07
Iy = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 3556241416.06
Iz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 3754015195.15

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 209584453.95	Lxy = -10667238.04	Lxz = -675.64
Lyx = -10667238.04	Lyy = 3753983091.28	Lyz = 23.27
Lzx = -675.64	Lzy = 23.27	Lzz = 3556241416.06

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 13078230071.46	lxy = 9713277334.14	lxz = 14223378792.04
lyx = 9713277334.14	lyy = 35592178236.76	lyz = 5995521779.60
lzx = 14223378792.04	lzy = 5995521779.60	lzz = 30723578449.08

Anexo B2.11 - Linha de Água 305mm ao Ponto Zero

Mass = 1456.79 kilograms

Volume = 1421258011.25 cubic millimeters

Surface area = 22646973.55 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4051.25

Y = 1712.58

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 226837203.68
--------------------------	-------------------

ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 3699786087.33
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 3913947033.77

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 226870718.14 Lxy = -11116221.09 Lxz = -746.47
Lyx = -11116221.09 Lyy = 3913913519.31 Lyz = 6.90
Lzx = -746.47 Lzy = 6.90 Lzz = 3699786087.33

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 13604479680.25 lxy = 10096236001.47 lxz = 14754526400.42
lyx = 10096236001.47 lyy = 36928541522.98 lyz = 6237183739.77
lzx = 14754526400.42 lzy = 6237183739.77 lzz = 31882170525.88

Anexo B2.12 - Linha de Água 310mm ao Ponto Zero

Mass = 1511.48 kilograms

Volume = 1474614984.06 cubic millimeters

Surface area = 23081583.78 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4048.20
Y = 1716.02
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 245105068.28
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 3845544189.83
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 4077025415.22

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 245139812.09 Lxy = -11538384.23 Lxz = -949.86
Lyx = -11538384.23 Lyy = 4076990671.41 Lyz = 54.80
Lzx = -949.86 Lzy = 54.80 Lzz = 3845544189.83

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 14142771417.61 lxy = 10488392643.43 lxz = 15296929485.61
lyx = 10488392643.43 lyy = 38293757273.19 lyz = 6484318816.09
lzx = 15296929485.61 lzy = 6484318816.09 lzz = 33066452001.50

Anexo B2.13 - Linha de Água 315mm ao Ponto Zero

Mass = 1567.10 kilograms

Volume = 1528875079.83 cubic millimeters

Surface area = 23449992.48 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4045.62
Y = 1719.44
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 264211044.61
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 3993259552.75
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 4242849584.84

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 264246726.37 Lxy = -11914844.35 Lxz = -507.49
Lyx = -11914844.35 Lyy = 4242813903.09 Lyz = 71.40
Lzx = -507.49 Lzy = 71.40 Lzz = 3993259552.75

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 14691694479.63$	$I_{xy} = 10889140052.47$	$I_{xz} = 15849684630.75$
$I_{yx} = 10889140052.47$	$I_{yy} = 39685880874.57$	$I_{yz} = 6736332783.20$
$I_{zx} = 15849684630.75$	$I_{zy} = 6736332783.20$	$I_{zz} = 34275073279.46$

Anexo B2.14 - Linha de Água 320mm ao Ponto Zero

Mass = 1623.44 kilograms

Volume = 1583840750.60 cubic millimeters

Surface area = 23760595.86 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4043.60

Y = 1722.85

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 283912939.22$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 4142854239.46$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 4411101164.62$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 283949132.90$	$L_{xy} = -12221981.65$	$L_{xz} = -606.38$
$L_{yx} = -12221981.65$	$L_{yy} = 4411064970.94$	$L_{yz} = 42.53$
$L_{zx} = -606.38$	$L_{zy} = 42.53$	$L_{zz} = 4142854239.46$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 15249108018.44$	$I_{xy} = 11297461418.31$	$I_{xz} = 16411327966.29$
$I_{yx} = 11297461418.31$	$I_{yy} = 41101904008.91$	$I_{yz} = 6992328858.08$
$I_{zx} = 16411327966.29$	$I_{zy} = 6992328858.08$	$I_{zz} = 35505904673.29$

Anexo B2.15 - Linha de Água 325mm ao Ponto Zero

Mass = 1680.43 kilograms

Volume = 1639443198.92 cubic millimeters

Surface area = 24063453.31 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4042.11

Y = 1726.23

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 304147751.17$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 4294193328.41$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 4581581417.48$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 304184065.43$	$L_{xy} = -12463165.68$	$L_{xz} = -686.68$
$L_{yx} = -12463165.68$	$L_{yy} = 4581545103.22$	$L_{yz} = 23.12$
$L_{zx} = -686.68$	$L_{zy} = 23.12$	$L_{zz} = 4294193328.41$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 15814299723.45$	$I_{xy} = 11712901210.19$	$I_{xz} = 16981202232.24$
$I_{yx} = 11712901210.19$	$I_{yy} = 42540200633.75$	$I_{yz} = 7252000977.38$
$I_{zx} = 16981202232.24$	$I_{zy} = 7252000977.38$	$I_{zz} = 36757613071.19$

Anexo B2.16 - Linha de Água 330mm ao Ponto Zero

Mass = 1738.10 kilograms

Volume = 1695703204.37 cubic millimeters

Surface area = 24385989.12 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4041.14
Y = 1729.59
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 324945024.73$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 4447404076.95$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 4754444719.29$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 324981027.62$	$L_{xy} = -12628280.31$	$L_{xz} = 613.34$
$L_{yx} = -12628280.31$	$L_{yy} = 4754408716.41$	$L_{yz} = 46.96$
$L_{zx} = 613.34$	$L_{zy} = 46.96$	$L_{zz} = 4447404076.95$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 16387536714.80$	$I_{xy} = 12135787102.94$	$I_{xz} = 17559704725.38$
$I_{yx} = 12135787102.94$	$I_{yy} = 44001977097.17$	$I_{yz} = 7515466940.02$
$I_{zx} = 17559704725.38$	$I_{zy} = 7515466940.02$	$I_{zz} = 38031340696.97$

Anexo B2.17 - Linha de Água 335mm ao Ponto Zero

Mass = 1796.44 kilograms
Volume = 1752625692.14 cubic millimeters
Surface area = 24698063.93 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4040.65
Y = 1732.93
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 346325809.41$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 4602496154.94$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 4929721848.87$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 346361150.51$	$L_{xy} = -12727176.18$	$L_{xz} = 365.66$
$L_{yx} = -12727176.18$	$L_{yy} = 4929686507.77$	$L_{yz} = 32.06$
$L_{zx} = 365.66$	$L_{zy} = 32.06$	$L_{zz} = 4602496154.94$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 16968895719.66$	$I_{xy} = 12566222569.08$	$I_{xz} = 18146959097.48$
$I_{yx} = 12566222569.08$	$I_{yy} = 45487628564.63$	$I_{yz} = 7782755147.68$
$I_{zx} = 18146959097.48$	$I_{zy} = 7782755147.68$	$I_{zz} = 39327467549.87$

Anexo B2.18 - Linha de Água 340mm ao Ponto Zero

Mass = 1855.41 kilograms
Volume = 1810159136.40 cubic millimeters
Surface area = 24978662.87 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4040.59
Y = 1736.25
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$	$P_x = 368244678.47$
$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$	$P_y = 4759472453.93$
$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$	$P_z = 5107364016.01$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 368278855.08	Lxy = -12726581.69	Lxz = -706.95
Lyx = -12726581.69	Lyy = 5107329839.40	Lyz = 53.58
Lzx = -706.95	Lzy = 53.58	Lzz = 4759472453.93

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 17557885603.37	lxy = 13003908332.78	lxz = 18742417372.11
lyx = 13003908332.78	lyy = 46995856653.52	lyz = 8053664257.56
lzx = 18742417372.11	lzy = 8053664257.56	lzz = 40644954064.26

Anexo B2.19 - Linha de Água 345mm ao Ponto Zero

Mass = 1914.93 kilograms

Volume = 1868221743.43 cubic millimeters

Surface area = 25237290.16 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4040.93
Y = 1739.56
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 390595162.08
ly = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 4918396416.74
lz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 5287333437.66

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 390627896.69	Lxy = -12660637.17	Lxz = -682.58
Lyx = -12660637.17	Lyy = 5287300703.06	Lyz = 57.72
Lzx = -682.58	Lzy = 57.72	Lzz = 4918396416.74

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18153586564.25	lxy = 13448168019.33	lxz = 19345213126.63
lyx = 13448168019.33	lyy = 48524660947.39	lyz = 8327801457.36
lzx = 19345213126.63	lzy = 8327801457.36	lzz = 41982135679.98

Anexo B2.20 - Linha de Água 350mm ao Ponto Zero

Mass = 1974.98 kilograms

Volume = 1926812985.18 cubic millimeters

Surface area = 25542559.71 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4041.61
Y = 1742.84
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 413383791.23
ly = (0.00, 0.00, -1.00)	Py = 5079321578.95
lz = (0.00, 1.00, 0.00)	Pz = 5469688254.81

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 413414850.41	Lxy = -12531708.38	Lxz = -1508.86
Lyx = -12531708.38	Lyy = 5469657195.63	Lyz = -178.76
Lzx = -1508.86	Lzy = -178.76	Lzz = 5079321578.95

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18756012017.29	lxy = 13898996205.14	lxz = 19955291892.11
lyx = 13898996205.14	lyy = 50073951583.40	lyz = 8605173936.02

$I_{zx} = 19955291892.11$ $I_{zy} = 8605173936.02$ $I_{zz} = 43338950124.93$

Anexo B2.21 - Linha de Água 355mm ao Ponto Zero

Mass = 2035.62 kilograms

Volume = 1985975270.73 cubic millimeters

Surface area = 25775268.32 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4042.58

Y = 1746.10

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_x = 436685788.03$

$I_y = (0.00, 0.00, -1.00)$ $P_y = 5242187652.25$

$I_z = (0.00, 1.00, 0.00)$ $P_z = 5654437237.87$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 436714893.98$ $L_{xy} = -12323423.73$ $L_{xz} = -1492.31$

$L_{yx} = -12323423.73$ $L_{yy} = 5654408131.92$ $L_{yz} = 54.41$

$L_{zx} = -1492.31$ $L_{zy} = 54.41$ $L_{zz} = 5242187652.25$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 19365725305.28$ $I_{xy} = 14356668737.35$ $I_{xz} = 20572942078.22$

$I_{yx} = 14356668737.35$ $I_{yy} = 51644189825.36$ $I_{yz} = 8886021221.60$

$I_{zx} = 20572942078.22$ $I_{zy} = 8886021221.60$ $I_{zz} = 44715686170.69$

Anexo C – Estabilidade Transversal

Anexo C1: RIAMAR 7.6 EVOLUTION – Traditional Hull

Nota: Os valores das coordenadas do centro de massa são valores absolutas, para obter as coordenadas relativas é necessário subtrair 1500mm dos valores em X e Y e 2500mm nos valores em Z

Anexo C1.1 – Ângulo de Adornamento 0°

Mass = 1818.94 kilograms

Volume = 1774576607.43 cubic millimeters

Surface area = 23969218.22 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3841.93

Y = 1707.31

Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

I_x = (1.00, 0.00, 0.00) P_x = 385706680.06

I_y = (0.00, 0.00, -1.00) P_y = 4455736726.68

I_z = (0.00, 1.00, 0.00) P_z = 4822407100.91

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

L_{xx} = 385715791.68 L_{xy} = 6358095.11 L_{xz} = 8707.96

L_{yx} = 6358095.11 L_{yy} = 4822397989.30 L_{yz} = -64.03

L_{zx} = 8707.96 L_{zy} = -64.03 L_{zz} = 4455736726.66

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

l_{xx} = 17056175785.67 l_{xy} = 11937442868.89 l_{xz} = 17470627427.46

l_{yx} = 11937442868.89 l_{yy} = 43039102119.70 l_{yz} = 7763751466.04

l_{zx} = 17470627427.46 l_{zy} = 7763751466.04 l_{zz} = 36606067547.70

Anexo C1.2 - Ângulo de Adornamento 10°

Mass = 1818.13 kilograms

Volume = 1773782274.00 cubic millimeters

Surface area = 21678543.37 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3852.91

Y = 1685.33

Z = 2722.56

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.01, -0.05) Px = 348431741.23

Iy = (-0.05, 0.00, -1.00) Py = 4311672024.11

Iz = (-0.01, 1.00, 0.00) Pz = 4642478652.76

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 356973812.49 Lxy = 28949508.50 Lxz = -181681828.23

Lyx = 28949508.50 Lyy = 4642283066.55 Lyz = -1134405.06

Lzx = -181681828.23 Lzy = -1134405.06 Lzz = 4303325539.05

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18997629669.63 lxy = 11834800601.65 lxz = 18890049745.93

lyx = 11834800601.65 lyy = 45108730789.22 lyz = 8341178447.02

lzx = 18890049745.93 lzy = 8341178447.02 lzz = 36457293734.15

Anexo C1.3 - Ângulo de Adornamento 20°

Mass = 1818.32 kilograms

Volume = 1773973336.75 cubic millimeters

Surface area = 20483372.32 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3803.94

Y = 1635.87

Z = 2831.96

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

Ix = (1.00, 0.01, -0.05) Px = 309130130.02

Iy = (-0.05, 0.04, -1.00) Py = 4124985795.80

Iz = (-0.01, 1.00, 0.04) Pz = 4413303920.97

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 319604666.04 Lxy = 52841697.41 Lxz = -192906242.21

Lyx = 52841697.41 Lyy = 4412195168.17 Lyz = -13586621.83

Lzx = -192906242.21 Lzy = -13586621.83 Lzz = 4115620012.59

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 19768494443.41 lxy = 11367785557.10 lxz = 19395151305.52

lyx = 11367785557.10 lyy = 45306150114.95 lyz = 8410178295.41

lzx = 19395151305.52 lzy = 8410178295.41 lzz = 35292576860.74

Anexo C1.4 - Ângulo de Adornamento 30°

Mass = 1819.81 kilograms

Volume = 1775424032.30 cubic millimeters

Surface area = 19713451.80 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3737.31

Y = 1572.75

Z = 2885.81

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, -0.03)$ $P_x = 261036915.56$
 $I_y = (-0.03, 0.09, -1.00)$ $P_y = 3867693609.41$
 $I_z = (-0.01, 1.00, 0.09)$ $P_z = 4098355770.46$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 264927114.77$ $L_{xy} = 63983120.27$ $L_{xz} = -100519485.05$
 $L_{yx} = 63983120.27$ $L_{yy} = 4095562928.48$ $L_{yz} = -21557841.26$
 $L_{zx} = -100519485.05$ $L_{zy} = -21557841.26$ $L_{zz} = 3866596252.18$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 19921457404.83$ $l_{xy} = 10760543911.76$ $l_{xz} = 19526423467.78$
 $l_{yx} = 10760543911.76$ $l_{yy} = 44668916511.34$ $l_{yz} = 8237914549.90$
 $l_{zx} = 19526423467.78$ $l_{zy} = 8237914549.90$ $l_{zz} = 33786140829.70$

Anexo C1.5 - Ângulo de Adornamento 40°

Mass = 1818.89 kilograms

Volume = 1774528018.98 cubic millimeters

Surface area = 18672152.52 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3696.43$
 $Y = 1502.69$
 $Z = 2912.31$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, 0.00)$ $P_x = 198578275.14$
 $I_y = (0.00, 0.10, -1.00)$ $P_y = 3664312576.52$
 $I_z = (-0.02, 1.00, 0.10)$ $P_z = 3818236507.50$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 199654721.02$ $L_{xy} = 59923084.81$ $L_{xz} = 17279827.34$
 $L_{yx} = 59923084.81$ $L_{yy} = 3815834489.25$ $L_{yz} = -14376793.77$
 $L_{zx} = 17279827.34$ $L_{zy} = -14376793.77$ $L_{zz} = 3665638148.89$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 19733831859.90$ $l_{xy} = 10163093594.84$ $l_{xz} = 19597878685.38$
 $l_{yx} = 10163093594.84$ $l_{yy} = 44095362857.59$ $l_{yz} = 7945619815.56$
 $l_{zx} = 19597878685.38$ $l_{zy} = 7945619815.56$ $l_{zz} = 32625365617.43$

Anexo C1.6 - Ângulo de Adornamento 50°

Mass = 1818.76 kilograms

Volume = 1774400002.50 cubic millimeters

Surface area = 17321897.19 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3717.78$
 $Y = 1431.67$
 $Z = 2894.82$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, 0.02)$ $P_x = 172876186.02$
 $I_y = (0.02, 0.02, -1.00)$ $P_y = 3635892283.61$
 $I_z = (-0.02, 1.00, 0.02)$ $P_z = 3755870783.78$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 174812408.24$ $L_{xy} = 59546240.15$ $L_{xz} = 57265069.67$
 $L_{yx} = 59546240.15$ $L_{yy} = 3754827653.50$ $L_{yz} = -1568961.87$

Lzx = 57265069.67 Lzy = -1568961.87 Lzz = 3634999191.67

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 19143883619.11 lxy = 9740155060.50 lxz = 19631292490.16
lyx = 9740155060.50 lyy = 44134649890.73 lyz = 7536168521.29
lzx = 19631292490.16 lzy = 7536168521.29 lzz = 32501537052.02

Anexo C1.7 - Ângulo de Adornamento 60°

Mass = 1819.52 kilograms

Volume = 1775137974.15 cubic millimeters

Surface area = 16496383.12 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3774.69
Y = 1366.88
Z = 2842.40

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.02, 0.03) Px = 171833585.57
ly = (0.03, -0.04, -1.00) Py = 3610108340.41
lz = (-0.02, 1.00, -0.04) Pz = 3731930798.89

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 176362029.42 Lxy = 63109739.18 Lxz = 108094677.47
Lyx = 63109739.18 Lyy = 3730603336.95 Lyz = 6942098.48
Lzx = 108094677.47 Lzy = 6942098.48 Lzz = 3606907358.50

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18276207751.03 lxy = 9450992862.36 lxz = 19630036424.12
lyx = 9450992862.36 lyy = 44355940694.72 lyz = 7076168116.02
lzx = 19630036424.12 lzy = 7076168116.02 lzz = 32931422215.34

Anexo C1.8 - Ângulo de Adornamento 70°

Mass = 1818.97 kilograms

Volume = 1774600530.32 cubic millimeters

Surface area = 15930512.10 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3853.91
Y = 1314.12
Z = 2757.08

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.02, 0.05) Px = 168443236.59
ly = (0.05, -0.04, -1.00) Py = 3660676942.23
lz = (-0.02, 1.00, -0.04) Pz = 3784458055.94

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 177471545.64 Lxy = 63792835.26 Lxz = 165809221.74
Lyx = 63792835.26 Lyy = 3783168156.58 Lyz = 7407963.48
Lzx = 165809221.74 Lzy = 7407963.48 Lzz = 3652938532.54

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 17145498340.66 lxy = 9275956815.31 lxz = 19493270226.39
lyx = 9275956815.31 lyy = 44626374368.06 lyz = 6597769773.18
lzx = 19493270226.39 lzy = 6597769773.18 lzz = 33810525520.70

Anexo C1.9 - Ângulo de Adornamento 80°

Mass = 1819.93 kilograms

Volume = 1775542975.81 cubic millimeters

Surface area = 15445792.84 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3943.79

Y = 1278.32

Z = 2651.16

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, 0.06)$	$P_x = 161843169.77$
$I_y = (0.06, 0.00, -1.00)$	$P_y = 3761725138.17$
$I_z = (-0.02, 1.00, 0.00)$	$P_z = 3882105244.17$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 175535381.13$	$L_{xy} = 58919131.73$	$L_{xz} = 213880099.32$
$L_{yx} = 58919131.73$	$L_{yy} = 3881168669.04$	$L_{yz} = 3376211.18$
$L_{zx} = 213880099.32$	$L_{zy} = 3376211.18$	$L_{zz} = 3748969501.94$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 15941193366.13$	$I_{xy} = 9233974625.89$	$I_{xz} = 19242410789.43$
$I_{yx} = 9233974625.89$	$I_{yy} = 44979114776.94$	$I_{yz} = 6171195610.90$
$I_{zx} = 19242410789.43$	$I_{zy} = 6171195610.90$	$I_{zz} = 35029177219.05$

Anexo C1.10 - Ângulo de Adornamento 90°

Mass = 1819.93 kilograms

Volume = 1775542975.81 cubic millimeters

Surface area = 15445792.84 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3943.79

Y = 1278.32

Z = 2651.16

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, 0.06)$	$P_x = 161843169.77$
$I_y = (0.06, 0.00, -1.00)$	$P_y = 3761725138.17$
$I_z = (-0.02, 1.00, 0.00)$	$P_z = 3882105244.17$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 175535381.13$	$L_{xy} = 58919131.73$	$L_{xz} = 213880099.32$
$L_{yx} = 58919131.73$	$L_{yy} = 3881168669.04$	$L_{yz} = 3376211.18$
$L_{zx} = 213880099.32$	$L_{zy} = 3376211.18$	$L_{zz} = 3748969501.94$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 15941193366.13$	$I_{xy} = 9233974625.89$	$I_{xz} = 19242410789.43$
$I_{yx} = 9233974625.89$	$I_{yy} = 44979114776.94$	$I_{yz} = 6171195610.90$
$I_{zx} = 19242410789.43$	$I_{zy} = 6171195610.90$	$I_{zz} = 35029177219.05$

Anexo C1.11 - Ângulo de Adornamento 95°

Mass = 1818.13 kilograms

Volume = 1773781487.33 cubic millimeters

Surface area = 15285582.52 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4082.79

Y = 1261.95

Z = 2470.69

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.01, 0.07)$	$P_x = 152721107.29$
------------------------------	----------------------

ly = (0.07, 0.09, -0.99) Py = 3928296207.26
lz = (-0.02, 1.00, 0.09) Pz = 4038576485.95

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 173028567.85 Lxy = 39348168.34 Lxz = 273539476.99
Lyx = 39348168.34 Lyy = 4037368725.91 Lyz = -6639699.98
Lzx = 273539476.99 Lzy = -6639699.98 Lzz = 3909196506.74

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 14166887483.19 lxy = 9406861907.12 lxz = 18613552696.50
lyx = 9406861907.12 lyy = 45442417290.91 lyz = 5662101750.72
lzx = 18613552696.50 lzy = 5662101750.72 lzz = 37111223140.58

Anexo C1.12 - Ângulo de Adornamento 100°

Mass = 1818.32 kilograms

Volume = 1773971157.03 cubic millimeters

Surface area = 15327071.72 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4133.25
Y = 1267.19
Z = 2409.78

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.01, 0.08) Px = 149813550.83
ly = (0.07, 0.11, -0.99) Py = 3990732350.65
lz = (-0.02, 0.99, 0.11) Pz = 4096048325.00

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 172086428.86 Lxy = 31127741.25 Lxz = 290160970.28
Lyx = 31127741.25 Lyy = 4094436242.70 Lyz = -9643383.25
Lzx = 290160970.28 Lzy = -9643383.25 Lzz = 3970071554.92

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 13650974373.08 lxy = 9554800646.42 lxz = 18401033909.58
lyx = 9554800646.42 lyy = 45717200886.95 lyz = 5542884409.17
lzx = 18401033909.58 lzy = 5542884409.17 lzz = 37953584883.09

Anexo C2: RIAMAR 7.6 EVOLUTION – Performance Hull

Nota: Os valores das coordenadas do centro de massa são valores absolutas, para obter as coordenadas relativas é necessário subtrair 1500mm dos valores em X e Y e 2500mm nos valores em Z

Anexo C2.1 – Ângulo de Adornamento 0°

Mass = 1855.41 kilograms

Volume = 1810159133.78 cubic millimeters

Surface area = 24978662.84 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4040.59
Y = 1736.25
Z = 2500.00

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 368244677.91
ly = (0.00, 0.00, -1.00) Py = 4759472455.43
lz = (0.00, 1.00, 0.00) Pz = 5107364016.98

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 368278854.52	Lxy = -12726581.60	Lxz = -707.41
Lyx = -12726581.60	Lyy = 5107329840.36	Lyz = 53.66
Lzx = -707.41	Lzy = 53.66	Lzz = 4759472455.43

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 17557885571.76	lxy = 13003908313.94	lxz = 18742417337.66
lyx = 13003908313.94	lyy = 46995856582.76	lyz = 8053664244.10
lzx = 18742417337.66	lzy = 8053664244.10	lzz = 40644954010.29

Anexo C2.2 - Ângulo de Adornamento 10°

Mass = 1854.48 kilograms
 Volume = 1809244441.66 cubic millimeters
 Surface area = 22288325.18 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4032.36
 Y = 1713.96
 Z = 2723.81

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
 Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.00, -0.05)$ $P_x = 345822945.63$
 $I_y = (-0.05, -0.01, -1.00)$ $P_y = 4615842324.44$
 $I_z = (0.00, 1.00, -0.01)$ $P_z = 4943660476.14$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 356810779.39$ $L_{xy} = 9827286.91$ $L_{xz} = -216123912.03$
 $L_{yx} = 9827286.91$ $L_{yy} = 4943630546.69$ $L_{yz} = 1244620.64$
 $L_{zx} = -216123912.03$ $L_{zy} = 1244620.64$ $L_{zz} = 4604884420.12$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 19563240992.11$ $I_{xy} = 12826696755.67$ $I_{xz} = 20152265024.73$
 $I_{yx} = 12826696755.67$ $I_{yy} = 48855840019.25$ $I_{yz} = 8658877653.80$
 $I_{zx} = 20152265024.73$ $I_{zy} = 8658877653.80$ $I_{zz} = 40206346479.32$

Anexo C2.3 - Ângulo de Adornamento 20°

Mass = 1855.55 kilograms
 Volume = 1810292911.30 cubic millimeters
 Surface area = 20971276.50 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3957.02
 Y = 1664.05
 Z = 2835.24

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
 Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.01, -0.06)$ $P_x = 310202725.20$
 $I_y = (-0.06, 0.03, -1.00)$ $P_y = 4472500328.89$
 $I_z = (-0.01, 1.00, 0.03)$ $P_z = 4762446430.98$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 326028489.97$ $L_{xy} = 37258234.41$ $L_{xz} = -253546516.14$
 $L_{yx} = 37258234.41$ $L_{yy} = 4761780702.92$ $L_{yz} = -12255357.82$
 $L_{zx} = -253546516.14$ $L_{zy} = -12255357.82$ $L_{zz} = 4457340292.18$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 20380139232.43$ $I_{xy} = 12255470859.93$ $I_{xz} = 20564065045.16$
 $I_{yx} = 12255470859.93$ $I_{yy} = 48732035088.77$ $I_{yz} = 8742187649.09$
 $I_{zx} = 20564065045.16$ $I_{zy} = 8742187649.09$ $I_{zz} = 38649748891.49$

Anexo C2.4 - Ângulo de Adornamento 30°

Mass = 1855.89 kilograms
 Volume = 1810623826.74 cubic millimeters
 Surface area = 20196831.31 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3875.20
 Y = 1600.16
 Z = 2891.31

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.01, -0.04)$	$P_x = 265479654.27$
$I_y = (-0.04, 0.08, -1.00)$	$P_y = 4197228836.67$
$I_z = (-0.01, 1.00, 0.08)$	$P_z = 4433320747.29$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 273603649.42$	$L_{xy} = 56391797.89$	$L_{xz} = -169690121.50$
$L_{yx} = 56391797.89$	$L_{yy} = 4430851207.47$	$L_{yz} = -22310133.42$
$L_{zx} = -169690121.50$	$L_{zy} = -22310133.42$	$L_{zz} = 4191574381.33$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 20540221077.83$	$l_{xy} = 11564631008.63$	$l_{xz} = 20624430289.21$
$l_{yx} = 11564631008.63$	$l_{yy} = 47815674219.26$	$l_{yz} = 8564049887.81$
$l_{zx} = 20624430289.21$	$l_{zy} = 8564049887.81$	$l_{zz} = 36813801594.09$

Anexo C2.5 - Ângulo de Adornamento 40°

Mass = 1854.42 kilograms

Volume = 1809194571.28 cubic millimeters

Surface area = 19487433.27 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3810.17$
 $Y = 1528.71$
 $Z = 2923.36$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.01, -0.01)$	$P_x = 206101902.54$
$I_y = (-0.01, 0.10, -1.00)$	$P_y = 3916675752.82$
$I_z = (-0.01, 1.00, 0.10)$	$P_z = 4078702056.12$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 207445081.38$	$L_{xy} = 57652825.47$	$L_{xz} = -42155225.63$
$L_{yx} = 57652825.47$	$L_{yy} = 4076299024.35$	$L_{yz} = -16372425.16$
$L_{zx} = -42155225.63$	$L_{zy} = -16372425.16$	$L_{zz} = 3917735605.75$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 20389061707.97$	$l_{xy} = 10858983812.92$	$l_{xz} = 20613292549.37$
$l_{yx} = 10858983812.92$	$l_{yy} = 46845571692.36$	$l_{yz} = 8270967007.38$
$l_{zx} = 20613292549.37$	$l_{zy} = 8270967007.38$	$l_{zz} = 35172770557.70$

Anexo C2.6 - Ângulo de Adornamento 50°

Mass = 1855.97 kilograms

Volume = 1810701758.27 cubic millimeters

Surface area = 17712573.93 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 3806.52$
 $Y = 1455.14$
 $Z = 2912.89$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)
Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, 0.01)$	$P_x = 177625134.69$
$I_y = (0.01, 0.03, -1.00)$	$P_y = 3827247395.13$
$I_z = (-0.02, 1.00, 0.03)$	$P_z = 3951212991.62$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 178640416.37$	$L_{xy} = 57587773.10$	$L_{xz} = 22342485.81$
$L_{yx} = 57587773.10$	$L_{yy} = 3950245065.92$	$L_{yz} = -2976719.13$

Lzx = 22342485.81 Lzy = -2976719.13 Lzz = 3827200039.15

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 19856313300.45	lxy = 10337826944.48	lxz = 20601329757.33
lyx = 10337826944.48	lyy = 46590354038.38	lyz = 7863842045.80
lzx = 20601329757.33	lzy = 7863842045.80	lzz = 34649379403.95

Anexo C2.7 - Ângulo de Adornamento 60°

Mass = 1855.02 kilograms

Volume = 1809777974.82 cubic millimeters

Surface area = 16679242.94 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3853.17
Y = 1386.99
Z = 2859.99

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.02, 0.02)	Px = 172982265.68
ly = (0.02, -0.03, -1.00)	Py = 3778811042.11
lz = (-0.02, 1.00, -0.03)	Pz = 3899857752.49

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 176004949.83	Lxy = 63327045.93	Lxz = 83666315.23
Lyx = 63327045.93	Lyy = 3898672678.79	Lyz = 5040315.45
Lzx = 83666315.23	Lzy = 5040315.45	Lzz = 3776973431.67

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 18917818775.27	lxy = 9977163511.01	lxz = 20526045072.76
lyx = 9977163511.01	lyy = 46613242120.80	lyz = 7363515540.75
lzx = 20526045072.76	lzy = 7363515540.75	lzz = 34886933664.32

Anexo C2.8 - Ângulo de Adornamento 70°

Mass = 1855.98 kilograms

Volume = 1810711016.23 cubic millimeters

Surface area = 16041596.71 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 3922.23
Y = 1331.52
Z = 2772.13

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

lx = (1.00, 0.02, 0.04)	Px = 167757335.19
ly = (0.04, -0.02, -1.00)	Py = 3818108677.67
lz = (-0.02, 1.00, -0.03)	Pz = 3937974087.05

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

Lxx = 174619266.00	Lxy = 65736485.55	Lxz = 144232766.02
Lyx = 65736485.55	Lyy = 3936750221.25	Lyz = 5531303.87
Lzx = 144232766.02	Lzy = 5531303.87	Lzz = 3812470612.67

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

lxx = 17727818002.62	lxy = 9758663767.35	lxz = 20324138372.62
lyx = 9758663767.35	lyy = 46751520774.49	lyz = 6856238160.95
lzx = 20324138372.62	lzy = 6856238160.95	lzz = 35655183559.39

Anexo C2.9 - Ângulo de Adornamento 80°

Mass = 1854.75 kilograms

Volume = 1809511990.57 cubic millimeters

Surface area = 15530715.38 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4001.09

Y = 1293.13

Z = 2663.62

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.02, 0.05)$	$P_x = 160308157.38$
$I_y = (0.05, 0.01, -1.00)$	$P_y = 3897143124.89$
$I_z = (-0.02, 1.00, 0.01)$	$P_z = 4012091936.36$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 171394953.19$	$L_{xy} = 62293082.57$	$L_{xz} = 193774862.74$
$L_{yx} = 62293082.57$	$L_{yy} = 4011073669.39$	$L_{yz} = 2187386.28$
$L_{zx} = 193774862.74$	$L_{zy} = 2187386.28$	$L_{zz} = 3887074596.05$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 16432076960.72$	$I_{xy} = 9658646689.99$	$I_{xz} = 19960559013.39$
$I_{yx} = 9658646689.99$	$I_{yy} = 46862490473.72$	$I_{yz} = 6390697446.75$
$I_{zx} = 19960559013.39$	$I_{zy} = 6390697446.75$	$I_{zz} = 36680781115.27$

Anexo C2.10 - Ângulo de Adornamento 90°

Mass = 1855.84 kilograms

Volume = 1810571559.24 cubic millimeters

Surface area = 15356179.02 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4081.93

Y = 1275.20

Z = 2541.87

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.01, 0.06)$	$P_x = 154527127.05$
$I_y = (0.06, 0.06, -1.00)$	$P_y = 3998024341.59$
$I_z = (-0.02, 1.00, 0.06)$	$P_z = 4106852322.79$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 170018570.90$	$L_{xy} = 51884814.00$	$L_{xz} = 238182000.65$
$L_{yx} = 51884814.00$	$L_{yy} = 4105772158.94$	$L_{yz} = -3428657.28$
$L_{zx} = 238182000.65$	$L_{zy} = -3428657.28$	$L_{zz} = 3983613061.59$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$I_{xx} = 15178576890.50$	$I_{xy} = 9712034833.98$	$I_{xz} = 19493810629.58$
$I_{yx} = 9712034833.98$	$I_{yy} = 47018689110.32$	$I_{yz} = 6012062644.07$
$I_{zx} = 19493810629.58$	$I_{zy} = 6012062644.07$	$I_{zz} = 37923666454.09$

Anexo C2.11 - Ângulo de Adornamento 95°

Mass = 1855.56 kilograms

Volume = 1810302712.77 cubic millimeters

Surface area = 15336846.66 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 4124.51

Y = 1274.25

Z = 2479.31

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (1.00, 0.01, 0.07)$	$P_x = 151768503.33$
------------------------------	----------------------

$l_y = (0.07, 0.09, -0.99)$ $P_y = 4051259625.08$
 $l_z = (-0.02, 1.00, 0.09)$ $P_z = 4156107883.29$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 169420121.62$	$L_{xy} = 44804897.85$	$L_{xz} = 258132900.99$
$L_{yx} = 44804897.85$	$L_{yy} = 4154798314.17$	$L_{yz} = -6275571.12$
$L_{zx} = 258132900.99$	$L_{zy} = -6275571.12$	$L_{zz} = 4034917575.91$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 14588435850.86$	$l_{xy} = 9796984405.99$	$l_{xz} = 19233025744.43$
$l_{yx} = 9796984405.99$	$l_{yy} = 47126989628.35$	$l_{yz} = 5855923945.42$
$l_{zx} = 19233025744.43$	$l_{zy} = 5855923945.42$	$l_{zz} = 38613868638.94$

Anexo C2.12 - Ângulo de Adornamento 100°

Mass = 1855.71 kilograms

Volume = 1810450051.21 cubic millimeters

Surface area = 15364401.64 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$X = 4169.32$
 $Y = 1278.79$
 $Z = 2416.96$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$l_x = (1.00, 0.01, 0.07)$	$P_x = 149201770.31$
$l_y = (0.07, 0.11, -0.99)$	$P_y = 4108418839.55$
$l_z = (-0.02, 0.99, 0.11)$	$P_z = 4208692422.39$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$L_{xx} = 168986431.42$	$L_{xy} = 36882332.00$	$L_{xz} = 276939606.31$
$L_{yx} = 36882332.00$	$L_{yy} = 4207059205.64$	$L_{yz} = -8825924.27$
$L_{zx} = 276939606.31$	$L_{zy} = -8825924.27$	$L_{zz} = 4090267395.20$

Moments of inertia: (kilograms * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$l_{xx} = 14044191878.61$	$l_{xy} = 9930979505.16$	$l_{xz} = 18977148453.03$
$l_{yx} = 9930979505.16$	$l_{yy} = 47305932779.36$	$l_{yz} = 5726798884.75$
$l_{zx} = 18977148453.03$	$l_{zy} = 5726798884.75$	$l_{zz} = 39383261236.15$