



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**METODOLOGIA DE PROJETO PRELIMINAR DE UMA  
EMBARCAÇÃO DE CARGA GERAL ESPECIALIZADA:  
APLICAÇÃO AO CASO DE FERNANDO DE NORONHA**

POR

**VICTÓRIA MARIA FELIX DE SOUZA SANTOS**

**ORIENTADOR: HEITOR O. DUARTE**

**COORIENTADOR: SILVIO EDUARDO GOMES DE MELO**

Victória Maria Felix de Souza Santos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
à Coordenação do Curso de Graduação em  
Engenharia Naval e Oceânica da  
Universidade Federal de Pernambuco como  
requisito para obtenção do Grau de Bacharel  
em Engenharia Naval.

Orientador.: Heitor O. Duarte

Recife-PE

2019

Victória Maria Felix de Souza Santos

## AGRADECIMENTOS

*“Ouvir dizer que essa parte era mais difícil do que o próprio trabalho em si. Creio que uma seção não é suficiente para agradecer a todas as pessoas que estiveram presente e me ajudaram nessa minha jornada acadêmica, porém alguns agradecimentos em especial merecem ser feitos. Sendo assim, vamos lá...”*

*Primeiramente gostaria de agradecer a minha família, em especial a minha, pai, mãe, vovô, vó, tia, e a um grande amigo, Inácio. Creio que sem o apoio diário e incentivo de vocês talvez eu não estivesse aqui hoje. Sei o quanto vocês confiam e acreditam no meu potencial e almejam um grande futuro para mim e para nós. E com certeza teremos! Vocês são o meu chão, minha base, meus pilares para seguir com tranquilidade e sabedoria nos caminhos que a vida me proporciona.*

*Mãe, obrigada por mover montanhas sempre que necessário e me trazer a paz e tranquilidade que preciso para tomar minhas decisões e acreditar em mim mesma. Pai, obrigada por ser um dos meus maiores incentivadores e espelho de determinação para estudar e alcançar os meus sonhos. Vocês dois são os que mais me inspiram, amo vocês.*

*Gostaria de agradecer a todos os professores do curso por todo o conhecimento passado dentro e fora da sala de aula. Ao meu orientador Heitor pela paciência, confiança e suporte para elaboração desse trabalho, assim como meu co-orientador Silvio pela ajuda e dicas que fizeram toda a diferença. Em especial, um agradecimento ao professor Claudino que é quase um pai e me proporcionou grandes experiências acadêmicas e profissional, além de diversos conselhos e apoios fundamentais durante essa jornada. Obrigada pela confiança. Sou eternamente grata!*

*Outro agradecimento especial para Mariana e Rodrigo, por terem dado início a esse trabalho junto comigo, sendo possível dar continuidade aperfeiçoando-o e propondo um trabalho que eu acredito ser um grande avanço e contribuir para a área naval e o projeto de embarcações.*

*Durante todos esses anos tive apoio de grandes amigas que sempre estiveram ao meu lado.*

*Uma desde minha infância, André, que com o passar do tempo só me agregou sabedoria, momentos maravilhosos e ótimas risadas voltando para casa depois das aulas. Petra e Karol, por serem as amigas que sempre estiveram e sempre estão do meu lado, no bom e no ruim, me incentivando sempre a melhorar e acreditando sempre no meu potencial, desde o primeiro dia de aula da 8ª série. Obrigada, só eu sei o que passamos e o quanto vocês são essenciais na minha vida. Felipe, por ter me acompanhado desde o começo do curso e passado muitos momentos de estresse e estudo do meu lado, sempre me apoiando, me fazendo rir nos momentos que eu menos sabia que precisava e dizendo pra mim todas as vezes que eu ficava estressada com algum trabalho: “Relaxa, que tu vai tirar braba! Eu tenho certeza disso!”.*

*Obrigada de verdade!*

*Aos meus amigos em especial: Gabriel, Marcos, Mariana, Wandrison, Fernando e Jorge.*

*Dentre todos, vocês foram os que estiveram presentes na maior parte da minha vida acadêmica e pessoal também por muitas vezes. Presenciando meus surtos e dúvidas. Não sei nem por onde começar, mas creio que sempre deixo bem explícito o quanto sou grata por ter vocês hoje... Obrigada por tudo! Pelo apoio, amizade, cumplicidade, incentivos e rolês. Vocês foram as melhores pessoas que eu pude imaginar ganhar nesses anos e esse trabalho, assim como todos os outros, tem um pedacinho da ajuda fundamental de vocês.*

*Agradeço a todos que passaram de alguma forma ou de outra pela minha vida nessa jornada, me ajudando direta ou indiretamente, me mostrando e me fazendo acreditar que com paciência e determinação conseguimos alcançar aquilo que almejamos. Esse é só o fim de mais um ciclo e muitos ainda virão.*

*Fé, que vai dar tudo certo!”*

## RESUMO

A ilha de Fernando de Noronha (FN) é uma área marinha protegida, localizada a cerca de 297 milhas náuticas de Recife, Brasil. O transporte de suprimentos para 3.000 moradores e cerca de 10.000 turistas por ano, é realizado por embarcações improvisadas, na maioria das vezes sendo pesqueiros, rebocadores e escunas adaptadas. Como principal contratante de frete, a Administração da ilha de FN (AFN) tem grandes despesas com serviços de terceirizados, uma vez que esses recursos poderiam ser redirecionados para outras áreas mais preocupantes, como saúde, meio ambiente e educação.

Esse trabalho propõe, primeiramente, uma metodologia para projeto preliminar de embarcações especializadas, com base em resultados obtidos através de um modelo de otimização de custo total e desenvolvendo uma análise de viabilidade econômica. Segundo, a metodologia proposta é aplicada ao projeto preliminar de uma embarcação para AFN, com o intuito de transportar carga de Recife para FN. a metodologia se apresentou viável e o navio proposto permite uma economia de custos para a AFN de R\$ 7.719.031,60 por ano.

**Palavras-chave:** Projeto Preliminar, Projeto Conceitual, Embarcações de Carga, Análise de Viabilidade Econômica, Fernando de Noronha.

## **ABSTRACT**

The island of Fernando de Noronha (FN) is a marine protected area, located about 297 nautical miles from Recife, Brazil. The transportation of supplies to 3.000 residents and about 10.000 tourists per year is carried out by improvised boats, most of which are adapted fishing vessels, tugboats and schooners. As the main freight contractor, the Administration of FN (AFN) has large expenses with outsourced shipping services, while such resources could be redirected to problems of major concern such as health, environment and education.

First, this work proposes a methodology for the preliminary design of specialized vessels, by building a total cost optimization model and developing an economic feasibility analysis. Second, the proposed method is applied to the preliminary design of a ship for AFN to transport cargo from Recife to FN. The methodology is feasible and the proposed ship allows cost savings to AFN of around \$ 7,719,031.60 per year.

**Key-words:** Preliminary Design, Conceptual Design, Cargo Vessels, Economic Feasibility Analysis, Fernando de Noronha.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. O Caso de Fernando de Noronha.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Projeto de Embarcações Especializadas.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Projeto Conceitual .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1. Coleta e Construção de Banco de Dados .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2. Tratamento de Dados .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.3. Otimização e Parametrização do Modelo Matemático .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.4. Modelagem e Simulação Computacional.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Análise de Viabilidade Econômica.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Projeto Básico .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.1. Espiral de Evans.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2. Síntese, Análise e Avaliação .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.3. Matriz QFD .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4. Projeto Preliminar .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.1. Projeto de Forma .....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.2. Compartimentação .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4.3. Estabilidade .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.3.1. Intacta.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.3.2. Em Avaria .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.4. Sistema Propulsivo.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.5. Sistema de Governo .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.6. Balanço Elétrico .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.7. Projeto Estrutural.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.8. Arranjo Geral.....</b>	<b>16</b>



2.4.9.	Estabilidade e Flutuabilidade .....	17
2.4.10.	Análise de Seakeeping .....	17
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	20
3.1.	Projeto Conceitual .....	20
3.1.1.	Coleta e Construção de Banco de Dados .....	20
3.1.2.	Tratamento de Dados .....	22
3.1.3.	Otimização e Parametrização do Modelo Matemático .....	22
3.1.4.	Modelagem e Simulação Computacional.....	27
3.2.	Análise de Viabilidade.....	28
3.3.	Projeto Básico .....	29
3.3.1.	Espiral de Evans.....	29
3.3.2.	Fluxograma.....	31
3.3.3.	Matriz QFD .....	37
3.4.	Projeto Preliminar .....	39
3.4.1.	Projeto de Forma .....	39
3.4.2.	Compartimentação .....	43
3.4.2.1.	Plano de Capacidades .....	46
3.4.3.	Estabilidade .....	46
3.4.3.1.	Intacta.....	46
3.4.3.2.	Avaria .....	48
3.4.4.	Sistema Propulsivo.....	48
3.4.4.1.	Resistência ao Avanço .....	48
3.4.4.2.	Dimensionamento do Propulsor.....	50
3.4.4.3.	Motor .....	57
3.4.4.4.	Eixo .....	60
3.4.4.5.	Leme .....	61
3.4.4.6.	Bow Thruster .....	63

<b>3.4.5.</b>	<b>Balanco Eléctrico .....</b>	<b>67</b>
<b>3.4.6.</b>	<b>Projeto Estrutural.....</b>	<b>68</b>
<b>3.4.6.1.</b>	<b>Espaçamentos entre Cavernas .....</b>	<b>68</b>
<b>3.4.6.2.</b>	<b>Momento de Flexão .....</b>	<b>69</b>
<b>3.4.6.3.</b>	<b>Força Cisalhante.....</b>	<b>69</b>
<b>3.4.6.4.</b>	<b>Espessura dos Chapeamentos .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4.6.5.</b>	<b>Módulos de Seção .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4.6.6.</b>	<b>Seção Mestre.....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.7.</b>	<b>Arranjo Geral Detalhado .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.7.1.</b>	<b>Sistema de Amarração e Fundeio .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.7.1.1.</b>	<b>Número de Equipamentos .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.7.1.2.</b>	<b>Seleção da Âncora.....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.7.1.3.</b>	<b>Seleção das Amarras .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.7.1.4.</b>	<b>Paiol de Amarras .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.7.1.5.</b>	<b>Escovém .....</b>	<b>74</b>
<b>3.4.7.1.6.</b>	<b>Seleção do Molinete .....</b>	<b>74</b>
<b>3.4.7.2.</b>	<b>Equipamentos de Salvatagem .....</b>	<b>75</b>
<b>3.4.7.3.</b>	<b>Guindaste .....</b>	<b>76</b>
<b>3.4.7.4.</b>	<b>Planejamento das Acomodações .....</b>	<b>77</b>
<b>3.4.7.5.</b>	<b>Planejamento da Praça de Máquinas .....</b>	<b>80</b>
<b>3.4.7.6.</b>	<b>Tanques de Consumíveis .....</b>	<b>82</b>
<b>3.4.8.</b>	<b>Estabilidade e Flutuabilidade .....</b>	<b>84</b>
<b>3.4.9.</b>	<b>Peso Leve .....</b>	<b>84</b>
<b>3.4.10.</b>	<b>Análise Estrutural dos Carregamentos .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4.11.</b>	<b>Análise de Seakeeping .....</b>	<b>89</b>
<b>3.4.11.1.</b>	<b>Estado de Mar.....</b>	<b>89</b>
<b>3.4.11.2.</b>	<b>Probabilidade dos Fenômenos.....</b>	<b>90</b>

<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>92</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>94</b>
<b>6. APÊNDICE .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE A – Banco de Dados das Embarcações Coletadas .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE B – Curvas de Correlação .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE C – Propriedades Hidrostáticas.....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE D – Plano de Linhas.....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE E – Plano de Capacidades .....</b>	<b>112</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Porto de Santo Antônio em Fernando de Noronha .....	2
Figura 2 - Fluxograma linear básico .....	10
Figura 3 - Fluxo de caixa do investimento .....	29
Figura 4 - Espiral de Evans do projeto .....	31
Figura 5 - Fluxograma de Síntese, Análise e Avaliação.....	34
Figura 6 - Matriz QFD do projeto .....	38
Figura 7 - Estimativa da posição do LCB .....	39
Figura 8 - Influência da resistência a partir da posição do LCB e Coeficiente de Bloco.....	40
Figura 9 - Combinação do número de Froude com Coeficiente de Bloco para análise da vantagem do bulbo .....	41
Figura 10 - Coeficientes lineares de forma para projeto do bulbo .....	41
Figura 11 – Casco modelado no Rhinoceros 3D .....	42
Figura 12 – Casco renderizado com curvas Gaussianas no Maxsurf Modeler.....	42
Figura 13 - Curva de comprimentos alagáveis da embarcação gerada no Maxsurf.....	44
Figura 14 - Ponto de referência de embarcações com proa bulbosa .....	45
Figura 15 - Compartimentação preliminar da embarcação .....	46
Figura 16 - Curvas de estabilidade da 1ª e 2ª condição de carregamento .....	47
Figura 17 - Curva de resistência da embarcação .....	49
Figura 18 - Folgas para dimensão do propulsor .....	50
Figura 19 - Curva criada para dimensionamento ( $K_t \times J$ ) .....	53
Figura 20 - Intersecção das curvas para seleção do propulsor .....	53
Figura 21 - Curva de relação de área em função da eficiência em águas abertas .....	54
Figura 22 - Geometria do propulsor ótimo no Rhinoceros.....	55
Figura 23 - Vistas do propulsor otimizado geradas no PropCAD.....	56
Figura 24 - Motor D2868 LE 431.....	58
Figura 25 - Curvas de operação do motor .....	59
Figura 26 - Redutor RT410 .....	59
Figura 27 - Modelo do mancal intermediário.....	61
Figura 28 - Características do mancal escolhido .....	61
Figura 29 - Ilustração do leme na embarcação no software AutoCAD.....	62
Figura 30 - Bow Thruster SE 300.....	66
Figura 31 - Ilustração do Bow Thruster na embarcação.....	67

Figura 32 - Gerador marítimo C7.1 .....	68
Figura 33 - Envelope de momentos .....	69
Figura 34 - Envelope de esforço cortante .....	70
Figura 35 - Seção mestra da embarcação .....	71
Figura 36 - Modelo de âncora escolhida .....	72
Figura 37 - Modelo de molinete escolhido .....	74
Figura 38 – Boia e colete salva-vidas .....	75
Figura 39 - Jangada salva-vidas.....	76
Figura 40 - Guindaste Triplex KNC 30 TM .....	76
Figura 41 - Superestrutura da embarcação Iporanga II .....	77
Figura 42 - Acomodações do 1º piso da casaria.....	78
Figura 43 - Acomodações do 2º piso da casaria.....	79
Figura 44 - 1º piso da praça de máquinas.....	81
Figura 45 - 2º piso da praça de máquinas.....	82
Figura 46 - Vista longitudinal da praça de máquinas .....	83
Figura 47 - Vista de planta dos tanques posicionados na popa .....	83
Figura 48 - Curva de peso gerada através da curva de área .....	85
Figura 49 - Curva de peso com adição das anteparas transversais e elementos estruturais .....	85
Figura 50 - Curva de peso da embarcação.....	86
Figura 51 - Esforço cortante atuante na embarcação.....	87
Figura 52 - Momento fletor atuante.....	87
Figura 53 - Envelope do momento e momento atuante .....	88
Figura 54 - Envelope do cortante e cortante atuante .....	88
Figura 55 - Geometria e malha da embarcação no Aqwa.....	89
Figura 56 - Rota entre Recife e Fernando de Noronha.....	90
Figura 57 - Curva de relação entre comprimento e boca.....	102
Figura 58 - Curva de relação entre potência e velocidade de serviço .....	102
Figura 59 - Curva de relação entre deslocamento e comprimento .....	103
Figura 60 - Curva de relação do coeficiente entre bloco e deslocamento .....	103
Figura 61 - Curva de relação entre comprimento e pontal .....	104
Figura 62 - Curva de relação entre boca e pontal .....	104
Figura 63 - Curva de relação entre pontal e calado .....	105
Figura 64 - Curva de relação entre calado e boca.....	105
Figura 65 - Curva de relação entre comprimento e calado.....	106

Figura 66 - Curva de relação entre coeficiente de bloco e potência.....	106
Figura 67 - Curva de relação entre deslocamento e pontal.....	107
Figura 68 - Curva de relação da velocidade de serviço e número de Froude.....	107

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Valores assumidos para avaria no costado .....	14
Tabela 2 - Valores assumidos para avaria no fundo .....	14
Tabela 3 - Critérios utilizados para tratamento de dados .....	22
Tabela 4 – Constantes e funções de parametrização do modelo matemático.....	23
Tabela 5 - Cargo e salário dos tripulantes .....	25
Tabela 6 - Custos implementados no modelo matemático .....	26
Tabela 7 - Resultados do modelo de otimização .....	27
Tabela 8 - Estrutura do fluxo de caixa.....	28
Tabela 9 - Coeficientes lineares de forma do bulbo obtidos .....	42
Tabela 10 - Resultados para cálculo de Borda Livre.....	43
Tabela 11 - Resultados para posição da antepara de colisão.....	45
Tabela 12 - Critérios de estabilidade da 1ª condição de carregamento .....	47
Tabela 13 - Critérios de estabilidade da 2ª condição de carregamento .....	47
Tabela 14 - Resultados de estabilidade para casos de avaria .....	48
Tabela 15 – Limites do Método de Holtrop .....	49
Tabela 16 - Valores obtidos de resistência na condição de projeto.....	50
Tabela 17 - Folgas mínimas para dimensões do propulsor .....	51
Tabela 18 - Dados do propulsor ótimo .....	54
Tabela 19 - Valores adotados para eficiência.....	57
Tabela 20 - Estimativa do BHP do motor.....	57
Tabela 21 – Margens consideradas para cálculo do MCR .....	58
Tabela 22 - Especificações de operação do motor .....	58
Tabela 23 - Especificações do redutor.....	60
Tabela 24 - Diâmetros dos eixos .....	60
Tabela 25 - Áreas da embarcação em m <sup>2</sup> .....	63
Tabela 26 - Resultados das forças ambientais de vento na embarcação .....	64
Tabela 27 - Resultados para forças de correnteza no casco .....	65
Tabela 28 - Balanço elétrico da embarcação .....	67
Tabela 29 - Dimensões do gerador .....	68
Tabela 30 - Espessura dos chapeamentos da embarcação .....	70
Tabela 31 - Reforços estruturais dimensionados.....	71
Tabela 32 - Dados para seleção das âncoras.....	72

Tabela 33 - Dados dos cabos de reboque e amarração .....	73
Tabela 34 - Dados das amarras .....	73
Tabela 35 - Dados de operação do molinete.....	74
Tabela 36 - Área das acomodações .....	79
Tabela 37 - Resultados de seakeeping .....	90
Tabela 38 - Resultados de seakeeping após modificações de projeto .....	91
Tabela 39 - Plano de capacidade do Pique de Ré .....	112
Tabela 40 - Plano de capacidade do Tanque 1 .....	112
Tabela 41 - Plano de capacidade do Tanque 2 .....	113
Tabela 42 - Plano de capacidade do Tanque 3 .....	113
Tabela 43 - Plano de capacidade da Praça de Máquinas .....	114
Tabela 44 - Plano de capacidade do Pique de Vante .....	114



## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho surge da necessidade de solucionar dois problemas, um como consequência do outro: (i) a necessidade de um projeto preliminar de uma embarcação para transportar carga para um arquipélago; (ii) nenhum procedimento sistemático ou metodologia estruturada na literatura para o projeto conceitual e preliminar de embarcações especializadas. Com isso, os dois problemas serão contextualizados a seguir.

### 1.1. O Caso de Fernando de Noronha

Fernando de Noronha é um arquipélago brasileiro situado no Oceano Atlântico, no nordeste do Brasil, a 297 milhas náuticas de Recife, capital de Pernambuco. O arquipélago é composto por 21 ilhas, possuindo cerca de 3.000 habitantes e recebendo uma média de 10.000 turistas por ano. Com uma área total de 2.600.000 m<sup>2</sup>, 2/3 da ilha de Fernando de Noronha é um Parque Nacional Marinho (PARNAMAR) e 1/3 é uma Área de Proteção Ambiental (EPA). O PARNAMAR e a EPA são designados para proteger a fauna, a flora e os recursos naturais da ilha, a fim de garantir o uso humano racional do espaço.

A ilha de Fernando de Noronha enfrenta vários problemas sociais e ambientais. A taxa de analfabetismo da ilha é de cerca de 17% e 58% da população com idade superior a 10 anos não tem instrução e tem ensino fundamental incompleto (BDE, 2010; CONDEPE, 2012). Por ser considerada um paraíso tropical, Fernando de Noronha atrai milhares de turistas para visitar suas belas ilhas. Este alto excedente populacional, contribui para a falta de água e energia, o que é a base para vida humana, trabalho e proteção do meio ambiente. O arquipélago está ameaçado de ter seus recursos naturais esgotados nas próximas décadas devido a esses conflitos socioambientais. Assim, a ilha busca adotar um modelo sustentável de desenvolvimento para preservar seus recursos e estilo de vida de seus moradores e turistas (COELHO, 2019a, 2019b).

Além da falta de recursos, outros problemas causados pelo crescente número de pessoas são a geração excessiva de resíduos, a falta de coleta seletiva e tratamento do lixo. A ilha gera 240 toneladas de lixo por mês, o que significa uma média de 8 toneladas de lixo coletado diariamente, no qual a maior parte desse lixo coletado é transportado para Recife. Atualmente o transporte de resíduos é feito por navios do porto de Recife (COELHO, 2019a), transportando insumos para a ilha e retornando com toneladas de lixo a serem descartados. Atrelado a isso, surge um novo problema relacionado às embarcações que fazem essa operação de transporte de carga de Recife para Fernando de Noronha.

O problema de transporte de suprimentos do Recife para Fernando de Noronha não é recente. Este serviço é executado principalmente por navios de carga geral, geralmente adaptados e não projetados para essa atividade, tais como rebocadores, barcas, barcos de pesca e barcos de apoio. As principais dificuldades no transporte de cargas de Recife para Fernando de Noronha são:

- A infraestrutura do porto de Santo Antônio (Figura 1) em Fernando de Noronha, que é um pequeno atracadouro, sem a presença de guindastes e apenas um píer com 50 metros de comprimento;

*Figura 1 - Porto de Santo Antônio em Fernando de Noronha*



- A viagem inclui navegação marítima, com ondas de até 2 metros no verão e ondas de até 4 metros no inverno, além de ventos de até 25 nós no verão.

O primeiro fator dificulta ainda mais o segundo, pois o porto exige pequenas embarcações que sofrerão mais em alto mar.

Poucos dos navios que transportam carga para Fernando de Noronha são adequados para operações offshore, comprometendo a segurança da carga, salvaguarda da vida humana e a proteção ambiental. Além disso, os valores cobrados por frete são altos, tornando o custo de vida não só pior para os moradores e turistas, mas principalmente para a Administração da ilha.

Sabe-se que a Administração de Fernando de Noronha (AFN) é a principal compradora de frete, custado cerca de R\$ 1.500,00 por tonelada de carga em 2017. Estima-se que a AFN encomende cerca de 150 toneladas de carga por semana, representando um total anual de cerca de 11,7 milhões de reais apenas com o valor do frete, equivalendo a aproximadamente 9% do produto interno bruto da ilha (IBGE, 2019). Este montante poderia ser usado para tratar o meio ambiente, educação, saneamento público, turismo, saúde pública, energia, entre outros problemas de gestão pública.

Alternativamente, levantamos as seguintes questões, em vez de pagar fretes a terceiros, e se a AFN investir em sua própria frota de embarcações? Como seria um projeto conceitual e preliminar viável para essa embarcação? Qual seria o custo de compra, operação e manutenção dessa embarcação? Seria viável obter recursos do financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). A AFN poderia pagar as parcelas do

financiamento com o valor anual economizado com o valor do frete? Depois de pagar a parcela, quanto seria deixado para investir em outros setores?

Este trabalho avalia estas questões e contribui para a sustentabilidade da ilha de Fernando de Noronha. o foco deste trabalho está em uma embarcação de carga sólida (e.g. bujão de gás, sacos de cimento, galões de água, alimentos) baseado na hipótese de que a AFN não está interessada em uma embarcação de transporte de combustível, já que este mercado é dominado pela Agemar desde 1995 (AGEMAR, 2018).

## **1.2. Projeto de Embarcações Especializadas**

O projeto de embarcações é baseado em uma abordagem sequencial e iterativa que é influenciada por uma variedade de fatores, como tecnológicos, político-econômicos e ambientais. O projeto de uma embarcação é um projeto de engenharia de sistemas de larga escala e multiuso, com requisitos por muitas vezes conflitantes (XUAN et al., 2009), resultante das restrições de projeto e critérios de otimização.

Praticamente, a área de projeto de navios foi explorada usando métodos heurísticos derivados do conhecimento adquirido através de um processo de tentativa e erro. Os estudos forneceram uma breve introdução à abordagem holística para otimização de projetos de navios, definindo o problema genérico e demonstrando sua solução usando meios avançados de otimização (PAPANIKOLAOU, 2010). Esta otimização proposta foi aplicada a navios de alta velocidade e navios Ro-Ro para maior durabilidade e eficiência de transporte.

XUAN et al., 2009 , trouxe métodos baseados na teoria dos jogos, cujo objetivo era lidar com os problemas multidisciplinares de tomada de decisão no processo preliminar de projeto de embarcações. Este método teve sua eficácia avaliada a partir do projeto preliminar de um navio petroleiro de 26.000 toneladas de porte bruto.

Como não há metodologia específica para projetar embarcações, atualmente a metodologia mais utilizada é proposta por Lamb (LAMB, 2003), que é frequentemente dividida em quatro etapas: conceitual, preliminar, contratual e de detalhamento. O projeto conceitual e preliminar são as fases que antecedem a fase contratual, são o foco desse trabalho. No entanto, a metodologia proposta por Lamb não foi aplicável, uma vez que é apropriado apenas para embarcações maiores, baseando-se em um padrão de grandes embarcações de carga semelhantes. Assim, novas metodologias e diretrizes para o projeto de embarcações especializadas contribuem para melhorar o estado da arte no projeto de navios, como é o caso deste trabalho.

## **1.3. Objetivos**

Primeiramente, este trabalho tem o como objetivo propor uma metodologia para o projeto conceitual e preliminar de embarcações especializadas. Para cada etapa da metodologia, todos os pontos de partida, modelos, dados básicos e pontos finais necessários devem ser descritos. A metodologia deve fornecer um guia sobre os métodos para: (i) otimização do custo

total considerando variáveis como dimensões principais, velocidade de serviço, tempo de viagem e consumo da embarcação; (ii) análise de viabilidade econômica (AVE) da embarcação otimizada para analisar o retorno do investimento financeiro; (iii) projeto do casco; (iv) projeto dos sistemas principais e auxiliares da embarcação; (v) análises estruturais, de estabilidade e de comportamento da embarcação. Segundo, este trabalho visa validar a metodologia aplicando-a ao caso real da ilha de Fernando de Noronha, a fim de apresentar o projeto conceitual e preliminar de uma embarcação para os propósitos da AFN, incluindo uma AVE que pode ser usada para uma proposta de financiamento para o BNDES.

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2, é apresentado um procedimento sistemático de metodologia para o projeto conceitual e preliminar de uma embarcação especializada e explicados os métodos específicos que compõem a metodologia. Na Seção 3, a metodologia é validada e seu uso é ilustrado no caso de Fernando de Noronha. Além disso, a AVE e o projeto preliminar do caso específico são apresentados. Finalmente, na Seção 4, algumas conclusões são tiradas e sugestões são feitas para futuras pesquisas.

## 2. METODOLOGIA

Esta seção apresenta a metodologia proposta para elaborar o projeto preliminar de uma embarcação especializada, composta pelas seguintes etapas:

- Projeto conceitual;
- Análise de Viabilidade Econômica;
- Projeto Básico;
- Projeto Preliminar.

### 2.1. Projeto Conceitual

A metodologia apresentada para projeto conceitual nesta seção é similar à metodologia proposta por Lamb (LAMB, 2003), porém com adaptações acrescentadas para o caso de embarcações especializadas.

#### 2.1.1. Coleta e Construção de Banco de Dados

A partir dos requisitos do armador, o primeiro passo para iniciar o projeto preliminar de uma embarcação é a construção de banco de dados com a maior quantidade de características físicas, operacionais e econômicas de embarcações semelhantes existentes. Esses dados podem ser retirados de sites de rastreamento de embarcações como o Vessel Finder (FINDER, 2017), Marine Traffic (TRAFFIC, 2017) e FleetMon (FLEETMON, 2017).

No final dessa sub-etapa, deve-se ter um banco de dados com os seguintes dados para o maior número possível de embarcações semelhantes: comprimento total (LOA), comprimento entre perpendiculares (Lpp), boca (B), calado (T), pontal (D), porte bruto (DWT), potência (BHP), velocidade de serviço (Vs), deslocamento ( $\Delta$ ) e coeficiente de bloco (Cb). Variáveis não obtidas através desses sites podem ser estimadas por formulações empíricas fornecidas por estudos já realizados, como é mostrado na referência (PAPANIKOLAOU, 2014).

#### 2.1.2. Tratamento de Dados

Curvas de correlação entre as características da embarcação são construídas (i.e., LxB, BHPxVs, DWTxL, BxD, DWTxD, CBxDWT, LxT) e para que os pontos se adaptassem melhor, aqueles fora das curvas são removidos para encontrar a equação com um maior índice de correlação ( $R^2$ ). Para remover esses pontos, é sugerido os seguintes critérios para adaptação:

- Remover embarcações com formato de barça de acordo com a Diretoria de Portos e Costas (DPC, 2005), i.e.: barça é qualquer embarcação de carga que possui, geralmente as seguintes características: não é tripulada; não possui sistema de propulsão próprio; relação entre boca e calado superior a 6,0; relação entre boca e pontal superior a 3,0;

- Remover embarcações cujas dimensões afetarão diretamente nos fatores limitantes de operação, como as dimensões do porto (comprimento e profundidade) e espaço para carga transportada.

Ao final desta sub-etapa, devem-se ter definidas as seguintes funções de correlação:  $L(B)$ ,  $BHP(Vs)$ ,  $DWT(L)$ ,  $B(D)$ ,  $DWT(D)$ ,  $CB(DWT)$  e  $L(T)$ . Esse método de obtenção de curvas de correlação é chamado de Método dos Navios Semelhantes.

### 2.1.3. Otimização e Parametrização do Modelo Matemático

Um modelo matemático que forneça as características principais da embarcação (i.e., as variáveis de decisão do projeto) deve ser construído. Além disso, esse modelo de otimização deve ter como objetivo minimizar o custo total da embarcação. Para isso é proposto o seguinte modelo:

Minimizar:

$$Custo = \left( (C_{carreg} + C_{descarreg} + C_{lub} + C_{comb} + C_{oper} + C_{cons}) * Vida * N_{viager} + C_{acq} \right) * Frota \quad (1)$$

Onde:

$C_{carreg}$  é o custo de carregamento no porto de partida por viagem;

$C_{descarreg}$  é o custo de descarregamento no porto de chegada por viagem;

$C_{lub}$  é o custo de óleo lubrificante por viagem;

$C_{comb}$  é o custo de óleo combustível por viagem;

$C_{oper}$  é o custo de operacional da embarcação;

$C_{cons}$  é o custo de consumíveis por viagem;

$N_{viagens}$  é o número de viagens realizadas por ano;

$Vida$  é a vida útil estimada da embarcação em anos;

$Frota$  é a frota de embarcações.

O modelo estará sujeito a:

Condições iniciais:

- Constantes de parametrização: densidade da água, constante da gravidade, vida útil, consumo de combustível, consumo de lubrificante, consumo de água, velocidade de carregamento e descarregamento, rota, demanda de carga, tempo de manutenção.

Funções de correlação:

- Funções obtidas a partir do tratamento de dados:  $L(B)$ ,  $BHP(Vs)$ ,  $DWT(L)$ ,  $B(D)$ ,  $DWT(D)$ ,  $CB(DWT)$ ,  $L(T)$ ;
- Peso dos consumíveis: combustível, lubrificante, água, tripulação.;
- Tempos de operação: tempo de viagem, tempo de carregamento e descarregamento.;
- Custos operacionais de acordo com as características da embarcação: consumíveis, carregamento, descarregamento, aquisição, manutenção.;

Restrições:

- A partir da base de dados criadas: valores e relações entre as dimensões da embarcação (i.e., B/T, L/B, B/D, Vs, Fr).;
- Fatores operacionais limitantes: dimensões do porto e embarcação, porte bruto, coeficiente de bloco, número de viagens.

Além das funções de correlação, é necessário estimar valores ou funções para parâmetros do modelo (i.e., custos atrelados a embarcação durante sua operação e vida útil, taxas, depreciação e impostos ao longo dos anos). Para estimativa do custo de aquisição e manutenção, sugere-se tomar como base os custos de embarcações semelhantes a partir de websites ou por comunicação pessoal.

A depreciação anual pode ser estimada a partir da seguinte equação:

$$\%Depr = \left( \frac{C_{aqNova}}{C_{aqVelha}} \right)^{1/Vida} - 1 \quad (2)$$

Onde:

$\%depr$  é depreciação anual no custo da embarcação;

$C_{aqNova}$  é o custo de aquisição de uma embarcação nova;

$C_{aqVelha}$  é o custo de aquisição de uma embarcação velha;

Outros parâmetros estimados (i.e., número de viagens, calado máximo e mínimo, boca, comprimento, velocidade de serviço, frota, tripulação, vida útil, consumo, peso) dependem basicamente das limitações do porto, operação da embarcação e requisitos do armador. Ao final desta sub-etapa, deve-se ter definido os valores das constantes e as funções de todos os parâmetros do modelo.

#### 2.1.4. Modelagem e Simulação Computacional

Nesta sub-etapa, o modelo matemático deve ser traduzido para uma linguagem de programação para que possa ser simulado. Existem muitas ferramentas computacionais para construção e simulação de modelos de otimização (e.g., suplemento Solver do MS Excel, LINGO). Neste trabalho foi utilizado o software LINGO (INC., 2019), que resolve modelos de otimização a partir de solucionadores Primal e Dual Simplex, escolhendo dinamicamente a melhor opção de preço com base nas características do problema. Para obter mais informações sobre esses métodos de otimização, consultar as referências (CAPRACE; RIGO, 2010; RAY; GOKARN; SHA, 1995).

Depois de construído, o modelo é simulado e os seguintes resultados devem ser obtidos:

- Valores ótimos para as principais características da embarcação (i.e., as variáveis de decisão);
- Custos atrelados à operação da embarcação por unidade de tempo (i.e., custos de carregamento, descarregamento, custos totais da embarcação, custos operacionais)

## 2.2. Análise de Viabilidade Econômica

Com base nos resultados obtidos na etapa anterior, o estudo da viabilidade econômica da embarcação é feito para avaliar a viabilidade do projeto e obter uma projeção do comportamento em relação ao mercado, garantindo a segurança do investimento. Para realizar a análise de viabilidade econômica, são necessários os resultados de custos resultantes obtidos na etapa anterior. Além dos custos, deve-se estimar as receitas e despesas considerando as taxas de inflação, impostos, juros, taxa de retorno, depreciação e condições de financiamento.

Para isso, é sugerido que as despesas sejam calculadas a partir do somatório do valor do seguro, parcelas e custo total da embarcação por unidade de tempo. Para as receitas, sugere-se calcular em função da taxa de frete, da carga por viagem e do número de viagens por unidade de tempo, conforme é mostrado na seguinte equação:

$$Receita = Frete * Carga * N_{viag} \quad (3)$$

É sugerido que os dados de custo e receita sejam estruturados em um fluxo de caixa, para que posteriormente seja calculado o Valor Presente Líquido (VPL), um método matemático que representa a rentabilidade do investimento a partir da seguinte equação:

$$VPL = \sum_t^n \frac{CF_t}{(1 - i)^t} \quad (4)$$

Onde:

$CF_t$  é o valor do fluxo de caixa no período “t”. Esse valor pode ser estimado pela seguinte equação:

$$CF_t = Receita - Despesas \quad (5)$$

$t$  é o enésimo período de investimento em dinheiro;

$n$  é o número de períodos;

$i$  é o custo do capital.

Se o valor do VPL for positivo, significa que o valor das receitas é maior que os custos. Neste caso, espera-se que o investidor tenha um retorno maior que seu custo de capital, ou seja, o investimento é rentável. O oposto é verdadeiro quando o VPL é negativo.

## 2.3. Projeto Básico

O projeto de embarcações é um processo altamente complexo, interativo e possui características variadas e peculiares, sendo influenciado por diferentes fatores. A partir do requerimento do cliente, o projetista deve desenvolver o navio mais econômico para aquela determinada função que o foi designada, atendendo os limites de operação e normas regulamentadoras internacionais e nacionais. Para atender a todos os requisitos e as preferências



do armador, decisões devem ser tomadas para escolher os elementos específicos que irão compor o projeto (LAMB, 2003).

O objetivo do projeto básico é criar ferramentas descrevendo a ordem e grau de importância dos processos que constituem o projeto, através de diferentes métodos que auxiliam os projetistas na tomada de decisões. Essas ferramentas são utilizadas como guia ao final de cada etapa concluída, onde se os resultados forem satisfatórios, dá-se início a próxima etapa. Caso contrário, retorna-se a etapa anterior para que possa ser reavaliada.

Os métodos utilizados para compor o projeto básico do presente trabalho, são apresentados a seguir.

### **2.3.1. Espiral de Evans**

O método da Espiral de Evans, também conhecido por Espiral de Projeto, foi criado por John H. Evans (1959). Esse método consiste em definir cada uma das características do navio em um método iterativo de refinamento, onde cada volta no espiral representa uma iteração. O projetista passa por cada um dos elementos do espiral, onde quando não for possível defini-lo, ele deve ser superestimado da melhor maneira possível até que todos os elementos e características tenham sido determinados no espiral.

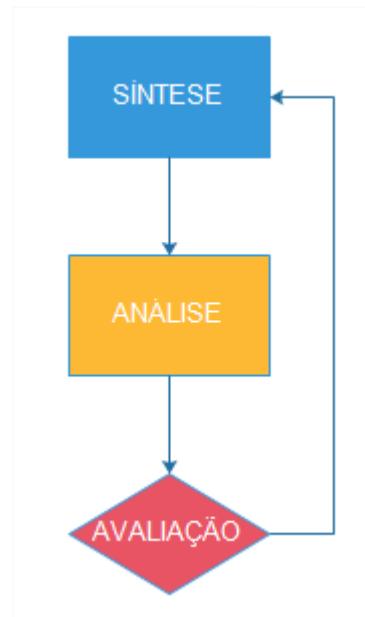
Para a elaboração do Espiral de Evans em um projeto de embarcação, é necessário levar em consideração os fatores limitantes do projeto, que podem ser as dimensões do porto, demanda de carga do porto, risco de viagem, quantidade de passageiros e custos atrelados a operação. Esses fatores auxiliam na determinação dos elementos que compõem a espiral.

A limitação desse método é a dificuldade de alcançar um projeto ótimo apenas com o seu uso, pois ele não tem uma avaliação e análise tão criteriosa, não sendo possível chegar a um projeto otimizado. No espiral, as linhas radiais simbolizam as análises que serão feitas e a ordem em que elas deverão ser realizadas. Os pontos que estão preenchidos indicam que a análise foi feita para aquele elemento, os pontos que não foram preenchidos são aqueles que ainda faltam ser analisados na iteração.

### **2.3.2. Síntese, Análise e Avaliação**

O método de Síntese, Análise e Avaliação funciona como um fluxograma de sequenciamento do projeto (e.g. Figura 2). Nesse método, são definidos 3 elementos:

- Síntese: é a concepção do problema, onde são identificados os elementos funcionais do objeto de projeto;
- Análise: qualifica e quantifica a síntese, buscando avaliar se a alternativa de solução foi satisfatória;
- Avaliação: avalia se os resultados são satisfatórios. O projetista, ao final do ciclo, julga se os resultados podem ser melhorados, se sim, deve-se voltar a síntese e fazer as alterações necessárias.

*Figura 2 - Fluxograma linear básico*

Esse método é uma ferramenta fundamental para a elaboração do processo (i.e., fase de planejamento) e para aperfeiçoamento do processo com análises críticas e alterações. Essa ferramenta contribui de forma significativa na gestão de projetos e processos facilitando o seu entendimento e a sua visualização como um todo, identificando possíveis pontos de otimização, riscos e processos que não agregam valor ao produto. Apesar desses benefícios, o método ainda apresenta desvantagens caso não seja muito bem elaborado e implementado, visto que um fluxograma macro do processo pode ocultar etapas significativas que possivelmente irão impactar no projeto final.

### 2.3.3. Matriz QFD

Esse método é uma das ferramentas da qualidade que foi criada na década de 60 pelo japonês Yoji Akao. Tem como objetivo garantir a qualidade do serviço de acordo com o que é desejado pelos consumidores. Ele é realizado através de matrizes que desdobram as necessidades dos clientes e os requisitos relacionados a ela. Essa análise é feita através da correlação das variáveis daquilo que o cliente quer com os requisitos de qualidade (RODRIGUES, 2014).

Esse método permite que através da matriz construída, o projetista consiga entender as necessidades do cliente e as incorpore de maneira eficiente no projeto. Ela é composta pela matriz de influência e pela matriz de qualidade. O objetivo da matriz de influência é relacionar os elementos funcionais atribuindo pesos de acordo com o grau de influência de cada elemento. A matriz de qualidade relaciona os elementos funcionais de projeto com os elementos de qualidade ou os elementos de análise (MARTINS; LAUGENI, 2015).

## **2.4. Projeto Preliminar**

Após conclusão das fases do projeto conceitual e obtenção de resultados economicamente satisfatórios da análise de viabilidade econômica, é possível dar continuidade ao projeto, seguindo para a próxima fase, ou seja, o projeto preliminar. Nesta etapa do projeto do navio, mais detalhes e características da embarcação são definidas, como o desenvolvimento do seu casco, especificação dos equipamentos principais da praça de máquinas, sistema propulsivo e acomodações (PAPANIKOLAOU, 2014).

Esta subseção é composta pelas seguintes etapas:

- Projeto de Forma
- Compartimentação
- Análises de Estabilidade
- Sistema Propulsivo
- Projeto Estrutural
- Balanço Elétrico
- Arranjo Geral Detalhado
- Análise de Flutuabilidade
- Análise de Seakeeping

### **2.4.1. Projeto de Forma**

O projeto de forma do casco da embarcação se inicia a partir das dimensões e características físicas definidas no projeto conceitual (Seção 2.1). Algumas análises e estimativas são necessárias antes do projeto do casco, considerações sobre a localização da superestrutura, tipo de sistema de propulsão utilizado e espaço para carga demandada são decisões necessárias nessa fase preliminar do projeto da embarcação. O projeto do casco é executado de acordo com as exigências do armador (i.e., espaço para carga transportada) e características físicas.

O formato da popa deve ser projetado com o sistema de propulsão utilizado em mente. Para isso, é sugerido analisar o formato do casco de embarcações com dimensões e função semelhantes ao do que se deseja projetar. O formato da proa deve ser analisado quanto a necessidade da presença de um bulbo. Isso dependerá da velocidade de serviço da embarcação e da posição do seu centro de gravidade longitudinal (LCB), conforme é mostrado na metodologia proposta por Watson (WATSON, 1998). Caso haja a necessidade de um bulbo, suas dimensões e formato podem ser definidas conforme a metodologia proposta por Kracht (KRACHT, 1978).

Após modelado e definido o formato preliminar do casco, é analisado o comportamento das propriedades hidrostáticas da embarcação para diferentes valores de calado. Essa análise pode ser feita por diversos softwares usados para desenvolver projetos otimizados de embarcações com ferramentas de arquitetura naval integrados (e.g., Maxsurf, PolyCAD, FreeShip). Neste trabalho foi utilizado o pacote Maxsurf (BENTLEY SYSTEMS, 2019) para

obtenção das curvas hidrostáticas da embarcação, obtendo dados a respeito do seu deslocamento, área molhada, centro de gravidade longitudinal, alturas metacêntricas transversais e longitudinais.

A modelagem do casco da embarcação pode ser realizada através de softwares de modelagem tridimensional (e.g., SolidWorks, Rhinoceros, AutoCAD, Maxsurf). Neste trabalho, o formato do casco foi utilizado primeiramente o Maxsurf (BENTLEY SYSTEMS, 2019), uma vez que ele possui uma biblioteca com diversos tipos e formatos de embarcações já definidas, facilitando a modelagem e ajuste paramétrico das características físicas da embarcação que se deseja projetar. Após isso, foi utilizado o software Rhinoceros 3D (MCNEEL & ASSOCIATES, 2019), para aperfeiçoamento da superfície do casco, uma vez que é baseado na tecnologia NURBS para representação de curvas e superfícies tridimensionais.

Ao final desta etapa, o casco da embarcação já deve estar definido e modelado, juntamente com suas principais características hidrostáticas e plano de linhas. O plano de linhas foi gerado nesse trabalho a partir do software PolyCAD (POLYCAD, 2019) que permite criar, manipular, importar e exportar geometrias para projetos de embarcações.

#### **2.4.2. Compartimentação**

Nesta etapa do projeto preliminar, os primeiros elementos e arranjos estruturais do casco da embarcação serão definidos (e.g., fundo e costado duplo, pique de vante e ré). Para determinar esses elementos, são usadas as regras regulamentadoras propostas por organizações internacionais de certificação (i.e., American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Det Norske Veritas). No presente trabalho, foram seguidos os regulamentos propostos pela American Bureau of Shipping (ABS, 2008), que apresenta regras específicas para embarcações de aço com dimensão inferior a 90 metros de comprimento.

Uma dimensão definida nesta etapa é o comprimento da borda livre da embarcação (i.e., distância vertical entre a superfície da água e o convés). Essa dimensão define qual o calado máximo a embarcação pode navegar. Para definir a borda livre, é sugerido seguir as regras da International Convention on Load Lines (ICLL, 1988).

Outra análise realizada nessa etapa do projeto é a elaboração do plano de capacidade da embarcação. Esse plano, também realizado no Maxsurf Stability (BENTLEY SYSTEMS, 2019) mostra a capacidade em toneladas de cada tanque definido da embarcação para diferentes calados de preenchimento, avaliando também a variação do seu centro longitudinal e vertical de gravidade (i.e., LCG e VCG, respectivamente).

Assim como nas etapas anteriores, algumas estimativas também serão necessárias, como o comprimento de alguns compartimentos preliminares da embarcação (e.g., praça de máquinas, tanques de carga e consumíveis), definindo assim suas anteparas estanques. Para realizar essa etapa, é sugerido o uso do Maxsurf Stability (BENTLEY SYSTEMS, 2019), sendo possível compartimentar a embarcação e analisando sua estabilidade e flutuabilidade preliminar. Essas análises permitem definir qual o comprimento máximo de cada

compartimento através da curva de comprimentos alagáveis, de modo que, no caso de avarias no casco, a embarcação não tenha sua estabilidade e segurança comprometidas.

### **2.4.3. Estabilidade**

Nesta etapa do projeto, serão realizadas análises de estabilidade intacta e em avaria da embarcação, seguindo os critérios determinados pela sociedade classificadora escolhida no projeto. A maioria delas, faz referência a International Maritime Organization (IMO, 1993) e Anexo 1 da MARPOL (MARPOL, 2008), uma convenção para prevenção da poluição por navios. Para realizar essas análises, é sugerido utilizar o software Maxsurf Stability (BENTLEY SYSTEMS, 2019), uma vez que essa extensão do software apresenta os critérios de estabilidade intacta e em avaria já integrados.

No final dessa etapa, temos as curvas da embarcação e dados de estabilidade (curva GZ) para as condições de carregamento propostas pela norma. Deve-se garantir que a embarcação passe nos critérios, garantindo a estabilidade e segurança da carga e tripulação. Os critérios para as duas análises são mostrados a seguir:

#### **2.4.3.1. Intacta**

Na IMO - Resolução MSC.267(85) – Capítulo 2 (IMO, 1993) tem-se os critérios de estabilidade intacta que deverão ser seguidos pela embarcação desse projeto a respeito da curva do braço de endireitamento (curva GZ) na seção 2.2 que são:

- a) A área abaixo da curva GZ não deverá ser inferior a 0,055 m.rad até o ângulo de banda de 30°;
- b) A área abaixo da curva GZ não deverá ser inferior a 0,090 m.rad até o ângulo de 40° ou até o ângulo de alagamento, caso este seja menor do que 40°;
- c) A área abaixo da curva GZ não deverá ser inferior a 0,03 m.rad entre os ângulos de 30° e 40°, ou entre 30° e o ângulo de alagamento se este for menor do que 40°;
- d) O braço de endireitamento GZ deverá ser de pelo menos 0,2 m, com ângulo de banda igual ou superior a 30°;
- e) O braço de endireitamento máximo deverá ocorrer com um ângulo de banda não inferior a 25°;
- f) A altura metacêntrica inicial não deverá ser inferior a 0,15 m.

Além disso, a embarcação deve atingir esses critérios de estabilidade de acordo com as condições de carregamento também impostas pela IMO (Parte B, 3.3 e 3.4) para navios destinados a transportar carga no convés (3.4.1.3). As condições de carregamento são:

- a) Navio na condição de totalmente carregado na partida, com a carga homogeneamente distribuída nos porões e com uma carga no convés, com sua extensão e sua massa especificadas, e com toda a quantidade de suprimentos e de combustível;

- b) Navio na condição de totalmente carregado na chegada, com a carga homogeneamente distribuída nos porões e com uma carga no convés, com sua extensão e sua massa especificada, com 10% de suprimentos e de combustível.

#### 2.4.3.2. Em Avaria

Os critérios de estabilidade intacta podem ser encontrados no Anexo 1 da MARPOL 73/78 (MARPOL, 2008). Tem-se as seguintes extensões de avarias a serem analisadas:

Avaria no costado:

*Tabela 1 - Valores assumidos para avaria no costado*

Extensão longitudinal	3,00 m
Extensão transversal	1,23 m

Avaria no fundo:

*Tabela 2 - Valores assumidos para avaria no fundo*

Local	A partir de 0,3L da Ppv	Qualquer parte
Extensão longitudinal	3,00 m	3,00 m
Extensão transversal	1,025 m	1,025 m
Extensão vertical	0,41 m	0,41 m

Com base nos critérios acima, são definidas as seguintes condições de carregamento:

- Condição 1: Embarcação totalmente carregada com pique de vante avariado;
- Condição 2: Embarcação totalmente carregada com praça de máquinas avariada;
- Condição 3: Embarcação totalmente carregada com tanque 1 avariado;
- Condição 4: Embarcação totalmente carregada com tanque 2 avariado;
- Condição 5: Embarcação totalmente carregada com tanque 3 avariado;
- Condição 6: Embarcação totalmente carregada com pique de ré avariado.

#### 2.4.4. Sistema Propulsivo

Para dimensionamento do sistema propulsivo da embarcação, são sugeridos os seguintes passos:

- (i) Cálculo da Resistência ao Avanço: para realizar esse cálculo, sugere-se a utilização de softwares de simulação como o ANSYS CFD (ANSYS, 1970), onde é possível analisar computacionalmente a dinâmica dos fluidos em torno de um corpo qualquer; e softwares como o Maxsurf Resistance (BENTLEY SYSTEMS, 2019), cuja extensão estima os requisitos de resistência e potência da embarcação por diversos métodos (e.g., Holtrop,

- van Oortmerssen, Série 60, Slender Body). A escolha do método apropriado para cálculo da resistência dependerá das dimensões principais da embarcação. Para mais informações sobre os métodos a serem utilizados, consultar as referências (BENTLEY SYSTEMS, 2013). Ao final dessa etapa, deve-se ter como resultado os valores de resistência total da embarcação e potência necessária para a sua velocidade de serviço.;
- (ii) Dimensionamento do Propulsor: tendo em mente o tipo de propulsão que será utilizado na embarcação, nesta etapa o tipo de hélice é definido com bases nas características de operação da embarcação, viabilidade e adequações às suas prioridades (e.g., força de tração requer hélices do tipo Kaplan, velocidade requer hélices B-Série). A metodologia mais apropriada varia de acordo com o hélice escolhido. Devem ser feitas estimativas (e.g., número de pás, potência fornecida) para o início do dimensionamento, além de análises e comparações com outros hélices para obter dados finais do hélice otimizado (i.e., diâmetro, relação de área, passo-diâmetro, rotações, DHP, eficiência propulsiva). Para mais informações sobre os métodos, consultar referências (BERNITSAS; RAY; KINLEY, 1981; MENDES, 2015; PASSOS, 2013);
- (iii) Seleção do motor: após obter a potência necessária, a próxima etapa é a escolha do motor marítimo que será utilizado na embarcação. Essa seleção é feita em guias de fabricantes de motores marítimos (e.g., SCANIA, Caterpillar, Yanmar, Sole Diesel), e deve ser escolhido o motor que possuir uma potência de trabalho maior ou igual a potência requerida para propelar a embarcação nas condições de serviço. Ao fim dessa etapa deve-se ter os dados de operação do motor principal (i.e., rotações, potência, peso do equipamento, dimensões).

#### **2.4.5. Sistema de Governo**

O sistema de governo é composto basicamente do leme e da máquina de leme. O leme é um apêndice da embarcação que tem o objetivo de controlar sua direção, a partir do desvio de fluxo da água através do seu corpo, pelo princípio de ação e reação. Dessa forma ele consegue direcionar a embarcação para a direção desejada.

Para dimensionar o sistema de governo, é sugerido seguir a metodologia proposta por (SNAME, 1990a), onde o tipo de leme é escolhido e a sua área longitudinal é calculada para posteriormente estimar o torque do sistema, seguindo os regulamentos das sociedades classificadoras. No presente trabalho foram seguidos os cálculos propostos pela ABS (ABS, 2008). Com o torque calculado, é selecionada uma máquina de leme adequada a partir do seu torque de operação em guias de fabricantes (e.g., Vision Marine, Dtecto, Bonfiglioli).

#### **2.4.6. Balanço Elétrico**

O balanço elétrico da embarcação é feito com o intuito de se ter conhecimento dos equipamentos elétricos necessários para seu funcionamento. Com essa relação é possível estimar a demanda de energia da embarcação e assim selecionar geradores para atendê-la.

Para realizar o balanço elétrico, são divididos 11 grupos de acordo com o seu tipo de funcionalidade e grau de importância dentro da embarcação. Os grupos são:

- Praça de Máquinas (Serviço contínuo);
- Praça de Máquinas (Serviço intermitente);
- Praça de Máquinas (Diversos);
- Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado;
- Frigorífica de Provisões (Equipamentos);
- Máquinas de Convés;
- Cozinha/Copa;
- Lavanderia;
- Oficinas;
- Iluminação;
- Equipamentos Náuticos e de Auxílio à Navegação.

Cada um desses grupos deve ser separado em 5 situações diferentes de operação, onde em cada uma delas deve ser listada a quantidade de equipamentos necessária. Com isso será possível obter a energia necessária para cada grupo de equipamentos em cada uma das situações de operação listada abaixo:

- No mar em condições normais de operação;
- Em manobras;
- Em operações de carga e descarga;
- No porto fundeado;
- Durante a limpeza dos tanques.

#### **2.4.7. Projeto Estrutural**

Para realizar o projeto estrutural da embarcação, é sugerido seguir os regulamentos propostos pelas sociedades classificadoras. Neste trabalho, foram utilizados os cálculos propostos pela ABS (ABS, 2008) para todas as análises estruturais (e.g., momento de alquebramento e tosamento, esforço cortante).

Nesta etapa do projeto são calculados os módulos de seção e espessura de todos os elementos estruturais da embarcação (e.g., vigas longitudinais, sicordas, cavernas, hastilhas, gigantes, vaus, anteparas transversais). Esses dados são necessários para que a análise estrutural dos esforços e momentos possa ser realizada, a fim de garantir a integridade estrutural da embarcação. Após calculados todos os elementos estruturais e realizada as análises, é feita a seleção dos perfis que vão compor a seção mestra da embarcação.

#### **2.4.8. Arranjo Geral**

A definição dos equipamentos de convés e o arranjo das acomodações e espaço de carga são definidos nessa etapa do projeto. Para iniciar o arranjo detalhado da embarcação, sugere-se



tomar como base o arranjo de embarcações semelhantes. O planejamento das acomodações irá depender do número de tripulantes e do espaço físico disponível na casaria da embarcação. O arranjo da praça de máquinas é uma das etapas mais complexas do projeto, pois é onde os equipamentos dos sistemas principal e auxiliares são alocados na embarcação, assim como o dimensionamento de tanques e compartimentos específicos necessários para sua operação.

A definição dos equipamentos de convés deve ser feita de acordo com as regras das sociedades classificadoras, em como convenções e organizações que garantam a segurança da vida no mar (e.g., SOLAS, NORMAM, ABS). Esses equipamentos (e.g., âncora, amarras, paiol, molinete) fazem parte do sistema de amarração e fundeio da embarcação, servindo para auxiliar e realizar diversas manobras (e.g., atracação, desatracação) assim como evitar que a embarcação seja arrastada pela correnteza e vento quando estiver no porto. Além dos equipamentos de fundeio, também são definidos nessa etapa os equipamentos de salvatagem (e.g., boia e colete salva-vidas, jangada de emergência).

#### **2.4.9. Estabilidade e Flutuabilidade**

Essa etapa do projeto é responsável por estimar com mais afinco a distribuição de peso da embarcação em sua condição de operação. Para realizar essas análises, deve-se conhecer o peso e posição longitudinal, vertical e transversal de todos os equipamentos a bordo, além do peso da superestrutura, hélice, eixo e casco. Tais dados são necessários para que análises de estabilidade e flutuabilidade possam ser realizadas de forma que assegure a integridade da carga e segurança dos tripulantes em diversas condições de carregamento.

O peso dos equipamentos a bordo é obtido ao longo do projeto durante a seleção dos mesmos em catálogos de fabricantes. No presente trabalho foi utilizado a extensão Stability do software Maxsurf (BENTLEY SYSTEMS, 2019) para realizar as análises dessa etapa do projeto. É sugerido que além das condições de projeto (i.e., percurso de ida e volta), outras condições também sejam analisadas. São utilizados os mesmos regulamentos abordados na análise de estabilidade intacta (Seção 2.4.3.1). Sendo assim, tem-se as seguintes condições a serem consideradas:

- Condição 1: 100% carregado e 100% de consumíveis;
- Condição 2: 100% carregado e 10% de consumíveis;
- Condição 3: 50% carregado e 100% de consumíveis;
- Condição 4: 50% carregado e 10% de consumíveis.

#### **2.4.10. Análise de Seakeeping**

Os fenômenos de Seakeeping estão relacionados com o comportamento da embarcação em sua condição de projeto. Esse comportamento pode influenciar em outras etapas de projeto, como em sua resistência estrutural, resistência ao avanço e sistema propulsivo. É sugerido esse tipo de análise em todo e qualquer projeto de embarcação, principalmente se, durante sua rota a embarcação estiver sujeita a condições extremas.

A embarcação deve atender requisitos para garantir que a embarcação tenha estabilidade e um bom comportamento no mar durante sua operação. As análises de seakeeping são realizadas através dos operadores de amplitudes de respostas (RAO), podendo ser analisadas nos 6 graus de liberdades da embarcação (i.e., Surge, Sway, Heave, Roll, Yaw e Pitch). O RAO é um operador linear que representa a onda e seu movimento, descrevendo como a resposta do navio muda com as variações de frequência (CABRERA; MEDINA, 2016).

Durante sua viagem, a embarcação é excitada por uma superposição de várias ondas regulares, onde cada uma delas contribui com uma parcela de energia que é proporcional a amplitude de onda. Existem diferentes modelos de análise do espectro de ondas oceânicas (e.g., Neumann, Pierson-Moskowitz, ITTC, Bretschneider, JONSWAP). Para mais informações sobre esses modelos e exemplos de análises aplicadas, ver as referências (CABRERA; MEDINA, 2016; JOURNÉE; MASSIE, 2001).

Para realizar a análise de seakeeping é necessário coletar dados do estado de mar que a embarcação estará sujeita durante sua rota. É sugerido que esses dados sejam coletados em websites (e.g., Surf guru, Earth NullSchool, Global Waves Statistics). Os dados que devem ser coletados são o período de ondas e a altura significativa de onda na região.

Os eventos que comprometem a operação do navio são descritos abaixo:

- Incidência de Água no Convés: a entrada de água no convés pode atingir algum compartimento, provocando afundamento ou comprometimento de equipamentos na embarcação. o limite aceitável para esse fenômeno é que ele ocorra uma vez a cada 20 oscilações, ocorrendo quando o deslocamento relativo entre o navio e a onda de proa não ultrapassa a borda livre da embarcação. a probabilidade desse fenômeno ocorrer é dada por:

$$P[Z_{VP} > BL] = e^{-\left\{\frac{BL^2}{2m_{ZR0}}\right\}} = 0,05 \quad (6)$$

Onde:

$BL$ : borda livre da embarcação, dada por  $BL = 2,45\sqrt{m_{ZR0}}$  ;

$m_{ZR0}$ : área abaixo do espectro de deslocamento vertical na proa em relação à onda.;

- Emersão do Propulsor: o propulsor deve estar imerso para que possa operar com eficiência, por isso quando sua emersão ultrapassa uma determinada altura, a embarcação não consegue manter sua velocidade de serviço. A probabilidade de ocorrer esse fenômeno é dada pela mesma probabilidade de entrada de água no convés, porém o deslocamento relativo é calculado na região da popa até o propulsor;
- Batida de Proa: ou “Slamming”, pode provocar moissas no fundo da embarcação, podendo também provocar fissuras ou trincas na estrutura do casco, se propagando ao longo de seu comprimento. Pode ocorrer em condições de

emersão do propulsor da proa ou quando a velocidade relativa do navio com a onda excede a velocidade crítica dada por:

$$V_{crítica} = 0,093\sqrt{gL} \quad (7)$$

A partir da área abaixo das curvas do espectro de deslocamento e velocidade relativa, é calculada a probabilidade, dada por uma distribuição de Rayleigh:

$$P[Slam] = e^{-\left\{\frac{T^2}{2m_{VR0}} + \frac{V_{crítica}^2}{2m_{VR2}}\right\}} \quad (8)$$

Essa análise avalia a probabilidade de ocorrência de um determinado fenômeno que pode afetar a segurança da estrutura, tripulação e carga. Essa probabilidade de ocorrência deve estar abaixo dos critérios mínimos exigidos (CABRERA; MEDINA, 2016; ITTC, 2014), sendo 1% para batida de proa, 5% para emersão do propulsor e 5% para entrada de água no convés.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos e análises referentes ao projeto de uma embarcação de carga geral especializada.

#### 3.1. Projeto Conceitual

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados do projeto conceitual da embarcação.

##### 3.1.1. Coleta e Construção de Banco de Dados

Primeiramente, foi realizada uma coleta de dados de embarcações com porte bruto menor que 500 toneladas e comprimento total de até 50m, considerando as limitações do porto de Fernando de Noronha. Essa coleta abrangeu dados de 102 embarcações, que foram retiradas de 7 fontes diferentes, tais como FleetMon (FLEETMON, 2017), Vessel Finder (FINDER, 2017), Marine Traffic (TRAFFIC, 2017), Stitching Maritime-Historische Databank (MERCHANTMARINE, 2017), Maritime Connector (CONNECTOR, 2017), Ship Number (NUMBER, 2017) e Shipspotting (SHIPSOTTING, 2017).

Um banco de dados foi construído incluindo dados sobre as dimensões principais, DWT, potência e velocidade de serviço. As informações que não foram obtidas dessas fontes, como comprimento entre perpendiculares, pontal, coeficiente de bloco e deslocamento, foram estimadas por meio de formulações empíricas, como são mostradas a seguir.

- Comprimento entre perpendiculares ( $L_{pp}$ )

A distância entre perpendiculares das embarcações foi estimada utilizando a seguinte formulação (BARRASS, 2004):

$$L_{pp} = 5,58 * DWT^{0,3} \quad (9)$$

Em alguns casos, a utilização dessa formulação resultou em valores maiores que o comprimento total fornecido pelo banco de dados, sendo algo impossível fisicamente. Para contornar esse problema, o comprimento entre perpendiculares dessas embarcações foi estimado por escala a partir de imagens da vista longitudinal delas.

- Total de embarcações estimadas pela formulação: 46
- Total de embarcações estimadas por escala: 19

- Pontal (D)

O pontal não obtido das embarcações, foi estimado pela formula de Watson (VENTURA, 2009), que relaciona o valor do pontal em metros, com a boca (B) da embarcação em metros, através da seguinte fórmula:

$$D = \frac{B}{1,65} \quad (10)$$

- Total de embarcações estimadas: 87

- Número de Froude (Fn)

Na coleta de dados, todas as velocidades foram obtidas, e com isso o número de Froude foi calculado a partir da seguinte formulação:

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g * L}} \quad (11)$$

- Coeficiente de Bloco (CB)

O coeficiente de bloco das embarcações foi obtido através da fórmula de Towsin (VENTURA, 2009), que obtêm o valor do Cb através do número de Froude (já calculado para todas as embarcações). A seguinte equação foi utilizada para cálculo do Cb:

$$Cb = 0,7 + 0,125 * \tan^{-1}[25 * (0,23 - Fn)] \quad (12)$$

- Potência do motor (BHP)

Para estimativa da potência das embarcações do banco de dados, foi utilizada a relação proposta por Papanikolaou (PAPANIKOLAOU, 2014), que relaciona o BHP em hp, com o deslocamento em toneladas. A seguinte relação é considerada:

$$\frac{\text{BHP}}{\Delta} = \text{entre } 0,4 \text{ e } 0,6 \quad (13)$$

Foi considerado neste trabalho o valor médio de 0,5 para estimar a potência do motor das embarcações do banco de dados.

- Deslocamento ( $\Delta$ )

A estimativa do deslocamento foi feita para todas as embarcações, a partir da definição do coeficiente de bloco (LEWIS, 1988), utilizando a seguinte fórmula:

$$\Delta = 1,025 * L * B * T * Cb \quad (14)$$

O banco de dados obtido é mostrado no APÊNDICE A – Banco de Dados das Embarcações Coletadas.

### 3.1.2. Tratamento de Dados

O tratamento dos dados para que os pontos se adaptassem melhor às curvas seguiu os critérios apresentados na Tabela 3. As curvas de correlação construídas podem ser observadas no APÊNDICE B – Curvas de Correlação.

Tabela 3 - Critérios utilizados para tratamento de dados

Curvas	Critérios e considerações para retirada de pontos fora da curva	Quantidade de embarcações retiradas	Índice de Correlação
LOA x B	Embarcação muito esbelta, $LOA/B > 6$	31	0,7159
BHP x Vs	Cálculo do coeficiente de Almirantado, para utilização da formulação do BHP proposta por Tran (TRAN, 2014)	0	0,7535
DWT x L	$L/DWT > 0,2$	11	0,7429
CB x DWT	Comprimento da embarcação é o fator limitante (Restrições do porto de Fernando de Noronha);	49	0,6142
L x D	$L/D > 12$ e $L/D < 6$	21	0,718
B x D		0	0,7658
D x T	$D/T > 2$	34	0,6028
B x T	$B/T < 2$ e $B/T > 3$	33	0,6635
L x T	Entre o comprimento e o calado apresenta-se como principal fator limitante (Restrições do porto de Fernando de Noronha); $T > 4$ e $L/T < 13$	35	0,6686
DWT x D	$D < 3$ e $D > 6$	26	0,6562
Vs x Fn		0	0,6856

Devido à grande dificuldade de encontrar embarcações que se aproximassem mais das características físicas da embarcação que se deseja projetar, os índices de correlação obtidos não foram os melhores (i.e., maiores do que 0,9). Intuitivamente, é possível encontrar uma relação entre o coeficiente de bloco e o deslocamento da embarcação, porém devido à variedade de tipos e dimensões das embarcações coletadas, é explicado o valor obtido para a índice de correlação entre as duas características. Possivelmente, esse problema seria solucionado com a adição de mais embarcações ao banco de dados que se aproximassem das dimensões principais e características operacionais desejadas.

### 3.1.3. Otimização e Parametrização do Modelo Matemático

A parametrização do modelo baseou-se em dados obtidos através de comunicação pessoal com o comandante da Mr. NR, embarcação adaptada que transporta insumos do porto de Recife para a ilha de Fernando de Noronha atualmente. Dados como velocidade de carregamento no porto de Recife e descarregamento em Noronha, tempo de espera do navio nos portos de Recife e Fernando de Noronha durante a operação, número de tripulantes e tempo

médio de manutenção de uma embarcação com 500 toneladas de porte bruto, foram obtidos através dessa comunicação.

O custo de aquisição de uma embarcação nova foi estimado com base em dados obtidos por comunicação pessoal. O custo de aquisição de uma embarcação antiga foi estimado através de um site de vendas de embarcações (SALES, 1999), a partir de 20 navios de carga geral entre 1951 e 1959, com porte bruto que varia de 108 t a 1300 t. Como não foi possível obter dados da data de última reforma ou manutenção das embarcações, considerou-se que todas as coletadas, atingiram o final de sua vida útil (i.e., mais de 25 anos de vida) e, portanto os valores obtidos constam como valor residual de cada navio.

A partir desses dados foi possível encontrar a depreciação anual e uma constante de proporcionalidade para cálculo do custo de aquisição de uma nova embarcação por tonelada de carga, conforme demonstrado abaixo:

- Estimativa do preço de uma embarcação nova de 500 t de DWT: R\$ 8.000.000,00;
- Relação Preço/DWT para embarcação nova: R\$ 16.000,00/t;
- Relação Preço/DWT para embarcação antiga: R\$ 2.046,00/t;
- Estimativa do preço de uma embarcação antiga de 500t de DWT: R\$ 1.022.924,24;

Sendo assim, a depreciação anual foi estimada em 8,58%.

As constantes definidas e funções de parametrização do modelo são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Constantes e funções de parametrização do modelo matemático

Constantes	Símbolo	Descrição	Valor para caso de FN	Considerações adotadas	Referência
Densidade da água	$\rho_{\text{água}}$	Densidade da água do mar em t/m <sup>3</sup>	1,025	Densidade média da água do mar na superfície	(APRH, 2007)
Gravidade	$g$	Constante de gravidade em m/s <sup>2</sup>	9,81		
Tempo de manutenção	$T_{\text{manut}}$	Tempo de manutenção em dias por ano	60	Tempo estimado de manutenção da embarcação Mr. NR	Comunicação Pessoal Maio/2017
Vida útil	$Vida$	Vida útil da embarcação em anos	25	Vida útil média de uma embarcação de aço	(LAMB, 2003)
Rota	$Rota$	Rota feita pela embarcação em milhas náuticas	300	Distância percorrida pelas embarcações de Recife para Fernando de Noronha	(BRASIL, 1993)
Velocidade de descarregamento	$V_{\text{descN}}$	Velocidade de descarga no porto de Noronha em t/h	20	Velocidade estimada de carregamento da embarcação Mr. NR	Comunicação Pessoal Maio/2017
Velocidade de carregamento	$V_{\text{cargaR}}$	Velocidade de carregamento no porto de Recife em t/h	20	Velocidade estimada de carregamento da embarcação Mr. NR	Comunicação Pessoal Maio/2017
Consumo de combustível	$Cons_{\text{comb}}$	Consumo de combustível em g/kWh	200	Motor utilizado pela embarcação Mr. NR	(SCANIA, 2017)

Consumo de lubrificante	$Cons_{lub}$	Consumo de óleo lubrificante em g/kWh	0,3	Motor utilizado pela embarcação Mr. NR	(SCANIA, 2017)
Consumo de água	$Cons_{água}$	Consumo de água durante viagem da tripulação em kg/(pessoa*dia)	150		(PEREIRA, 2017)
Tempo de espera	$T_{espera}$	Tempo de espera em dias nos portos de Recife e Noronha	2	1 dia em Recife e 1 dia em Noronha	Comunicação Pessoal Maio/2017
Tripulação	$Trip$	Tripulação da embarcação	6	Tripulação de uma embarcação que transporta carga de Recife para Fernando de Noronha	Comunicação Pessoal Maio/2017
Demanda	$Dem$	Demanda de carga em t/ano	7800		Comunicação pessoal com colaborador da AFN.
Constante de proporcionalidade	$k_1$	Constante de proporcionalidade do custo de aquisição em reais/DWT	16000		
Taxa de ancoragem por comprimento da embarcação no porto de descarregamento	$Tx_L$	Taxa de ancoragem por dia ou fração, sem movimentação de mercadoria no porto	226,4	Embarcação acima de 10 metros de comprimento	(NORONHA, 2019)
Taxa de movimentação de mercadoria por tonelada de carga no porto de chegada	$Tx_T$	Taxa de ancoragem na existência de movimentação de mercadoria por tonelada no porto	2,83	Movimentação de 201 à 1000 toneladas de mercadoria	(NORONHA, 2019)
Taxa de movimentação de carga no porto de partida	$Tx_C$	Taxa de carregamento por dia no porto de partida	1000	R\$ 1.000,00 por dia no porto de Recife	Comunicação pessoal
Taxa de consumo de combustível	$Tx_{comb}$	Preço do óleo combustível por quilo	4,60	R\$ 4,00 por litro de combustível de densidade de 0,87 kg/l	(ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2019)
Constante de custo operacional	$k_2$	Constante calculada para estimativa do custo operacional de embarcação	1729,91		Seção 3.1.3
<b>Parametrização</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Considerações</b>	<b>Função</b>		
Potência em função da Velocidade de Serviço	$BHP(Vs)$	Método dos Navios Semelhantes (Seção 2.1.2)	$97,633 * Vs - 608,74$		
Porte bruto em função do Comprimento	$DWT(L)$	Método dos Navios Semelhantes (Seção 2.1.2)	$0,376 * L^2 - 12,902 * L + 249,93$		
Deslocamento em função do Coeficiente de Bloco, Comprimento, Calado, Boca e Densidade da água	$Desl(C_B, L, T, B, \rho_{água})$	Definição de coeficiente de bloco (RAWSON; TUPPER, 2001)	$C_B * L * T * B * \rho_{água}$		
Coefficiente de bloco em função do Porte bruto	$C_B(DWT)$	Método dos Navios Semelhantes (Seção 2.1.2)	$0,00003 * DWT + 0,5926$		



Comprimento em função do Pontal	$L (D)$	Método dos Navios Semelhantes (Seção 2.1.2)	$10,204 * D - 5,3245$
Boca em função do Pontal	$B (D)$	Método dos Navios Semelhantes (Seção 2.1.2)	$1,1874 * D + 2,3789$
Pontal em função do Calado	$D (T)$	Método dos Navios Semelhantes (Seção 2.1.2)	$1,391 * T + 0,3206$
Número de Froude em função da Velocidade de Serviço	$Fn (Vs)$	Definição	$Vs * (1,852/3,6) * \sqrt{g * L}$
Horas de Trabalho	$h_{trab}$	Horas trabalhadas por ano, não considerando o tempo de manutenção da embarcação	$(360 - T_{manut}) * 24$
Peso de Combustível	$Peso_{comb}$	Baseado no tempo de operação no mar da embarcação, em t	$(BHP * T_{mar} * Cons_{comb})/1000000$
Peso de Lubrificante	$Peso_{lub}$	Baseado no tempo de operação no mar da embarcação, em t	$(BHP * T_{total} * Cons_{lub})/1000000$
Peso de água consumida	$Peso_{\acute{a}gua}$	Baseado no tempo de operação no mar da embarcação, em t	$(Cons_{\acute{a}gua} * (T_{mar} / ((24 * 2) * Trip)))/1000$
Peso de Tripulação	$Peso_{trip}$	Peso da tripulação em t; Peso médio de cada tripulante mais suas bagagens: 150 kg	$(Trip * 150)/1000$
Necessidade de viagem	$Nec_{viagem}$	Porte mínimo da embarcação para operação em t	$(Peso_{comb} * Peso_{lub} + Peso_{\acute{a}gua} + Peso_{trip})$
Carga real da embarcação	$Carga$	Carga real da embarcação em operação em t	$DWT - Nec_{viagem}$
Tempo de Mar	$T_{mar}$	Tempo da viagem de ida e volta da embarcação em horas	$2 * Rota/Vs$
Tempo de Carregamento	$T_{cargaR}$	Tempo de carregamento da embarcação no porto de Recife em horas	$Carga/V_{cargaR}$
Tempo de Descarregamento	$T_{descN}$	Tempo de descarregamento da embarcação no porto de Noronha em horas	$Carga/V_{descN}$
Tempo Total	$T_{total}$	Tempo total de operação da embarcação em horas	$T_{mar} + T_{cargaR} + T_{descN} + (T_{espera} * 24)$
Número de Viagens	$N_{viagens}$	Número de viagens feitas por ano	$Dem/(Carga * Frota)$

Na estimativa do custo operacional estão incluídos os custos atrelados a tripulação, manutenção e reparos, materiais, seguro e administração. Foi utilizada como base a mesma embarcação trabalhada para estimativa o custo de aquisição, portanto as informações dessa seção correspondem a custos de uma embarcação com 500 t de DWT e custo de aquisição de R\$ 8.000.000,00.

Primeiramente, estimou-se a quantidade de tripulantes necessários para uma embarcação desse porte. O salário da tripulação foi estimado em 55,5% do custo operacional (EXECUTIVE, 2019; LLOYD'S LIST, 2018; POČUČA, 2006; SHIPCOSTS, 2019) e foram utilizadas referências de alguns sites, como é mostrado na Tabela 5. A partir desses dados, tem-se que o total gasto por ano com a tripulação, considerando o décimo terceiro salário, é de R\$ 480.051,00/ano.

Tabela 5 - Cargo e salário dos tripulantes

Cargo	Quantidade	Salário Total	Fonte
Comandante (CMB)	1	R\$ 8.825,00	(SALÁRIO, 2019a, 2019b)
Chefe de Máquinas (CDM)	1	R\$ 14.825,00	(VAGAS, 2019a)

Marinheiro de Convés (MNC)	2	R\$	5.297,00	(SHELTERMAR, 2019; VAGAS, 2019b)
Marinheiro de Máquina (MNM)	1	R\$	5.420,00	(GLASSDOOR, 2019; SALÁRIO, 2019c; VAGAS, 2019c)
Cozinheiro (CZA)	1	R\$	2.560,00	(PROFISSÕES, 2017)

O valor do seguro do navio foi estimado em 1% do custo de aquisição de uma embarcação nova de 500 t. considerou-se que a venda e a negociação seriam de responsabilidade da tripulação, de modo que o custo associado a administração fosse insignificante e a estrutura da AFN pudesse ser usada para pequenos esforços administrativos como contabilidade e publicidade. Os custos de manutenção, reparos e materiais foram adequados para que sua parte fosse de 25% e 10% do custo operacional, respectivamente. Os valores estimados em função do custo operacional são mostrados a seguir:

- Tripulação: R\$ 480.051,00 (55,5%);
- Manutenção e reparos: R\$ 216.239,19 (25%);
- Materiais: R\$ 86.495,68 (10%);
- Seguro: R\$ 82.170,89 (9,5%).

Com esses valores, tem-se um custo operacional total de R\$ 864.956,76 para uma embarcação com 500 t de DWT. Assim, o custo operacional por tonelada de DWT foi calculado em R\$ 1.729,91/t.

A Tabela 6 mostra as funções e considerações de custo implementadas no modelo matemático.

Tabela 6 - Custos implementados no modelo matemático

Custos	Símbolo	Descrição	Consideração	Função	Referência
Custo de Carregamento	$C_{carreg}$	Custo de operação de carregamento no porto de Recife por viagem	R\$1000,00 por dia	$Tx_C * T_{cargaR}/24$	Comunicação pessoal Maio/2017
Custo de Descarregamento	$C_{desc}$	Custo de operação de descarga no porto de Noronha por viagem	Custo de embarque e desembarque de 201 a 1000 t de mercadoria	$Tx_L * Carga + Tx_T * T_{descN}$	(NORONHA, 2019)
Custo de Combustível	$C_{comb}$	Custo de combustível gasto em toda a operação	R\$3,07 por litro de combustível e densidade de 0,87 kg/l	$Tx_{comb} * Peso_{comb} * 1000$	(ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2019)
Custo de Lubrificante	$C_{lub}$	Custo de combustível gasto em toda a operação		$350/Peso_{lub}$	Maio/2017
Custo Operacional	$C_{oper}$	Custo operacional da embarcação	Custos de tripulação, manutenção e reparos, materiais, seguro e administração	$k_2 * DWT$	(Seção 3.1.3)

Custo de Consumível	$C_{cons}$	Custo dos consumíveis em toda a operação	$5 * DWT * T_{total} / 24$	Comunicação pessoal Maio/2017
Custo de Aquisição	$C_{aquis}$	Custo de aquisição da embarcação	$k_1 * DWT$	

### 3.1.4. Modelagem e Simulação Computacional

Os resultados obtidos pela simulação do modelo são mostrados na Tabela 7. É possível notar a consistência do modelo e dos resultados, uma vez que foram obtidos valores de dimensões principais que atendem as limitações do porto de Fernando de Noronha (i.e., um cais de apenas 50 m de comprimento e sem guindastes) a um custo ótimo plausível para uma embarcação deste porte (R\$ 34.446.040 em 25 anos de vida útil). Apesar de ser uma embarcação projetada para levar carga, apresenta dimensões similares a de um PSV ou rebocador.

Tabela 7 - Resultados do modelo de otimização

Comprimento	35,55 m
Boca	7,14 m
Pontal	4,00 m
Calado	2,62 m
Coefficiente de Bloco	0,67
Deslocamento	453,18 t
DWT	266,45 t
Velocidade de serviço	10 m/s
Número de Froude	0,28
Potência	367,59 kW
Peso de combustível	4,41 t
Peso de lubrificante	0,01 t
Peso de água de consumo	1,13 t
Porte da embarcação	6,45 t
Carga real da embarcação	260 t
Tempo de mar	60 horas
Tempo de carregamento em Recife	13 horas
Tempo de descarregamento em Fernando de Noronha	13 horas
Número de viagens	30 viagens/ano
Custo de carregamento em Recife	541,67 reais/viagem

Custo de descarregamento em Fernando de Noronha	962,20	reais/viagem
Custo de combustível	20.758,02	reais/viagem
Custo de lubrificante	5,17	reais/viagem
Custo operacional	460.935,9	reais/viagem
Custo de consumível	7.438,42	reais/viagem
Custo de aquisição	4.263.213,00	reais
Custo total	38.065.740,00	reais/25 anos
Frota	1	embarcação

### 3.2. Análise de Viabilidade

Os dados de financiamento de embarcações foram estimados de acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2017). Esse financiamento é aberto a toda empresa de navegação e estaleiro nacional. Possui benefícios cujas prestações seguem a modalidade do Sistema de Amortização Constante (SAC), com os seguintes valores:

- Taxa de juros: 6% a.a.;
- Financiamento: 90% do custo de aquisição;
- Prazo de carência: até 4 anos;
- Prazo de amortização: 20 anos.

Os dados calculados de custo e receitas foram estruturados em um fluxo de caixa, e assim calculado o VPL. O fluxo de caixa foi estruturado conforme é mostrado na Tabela 8.

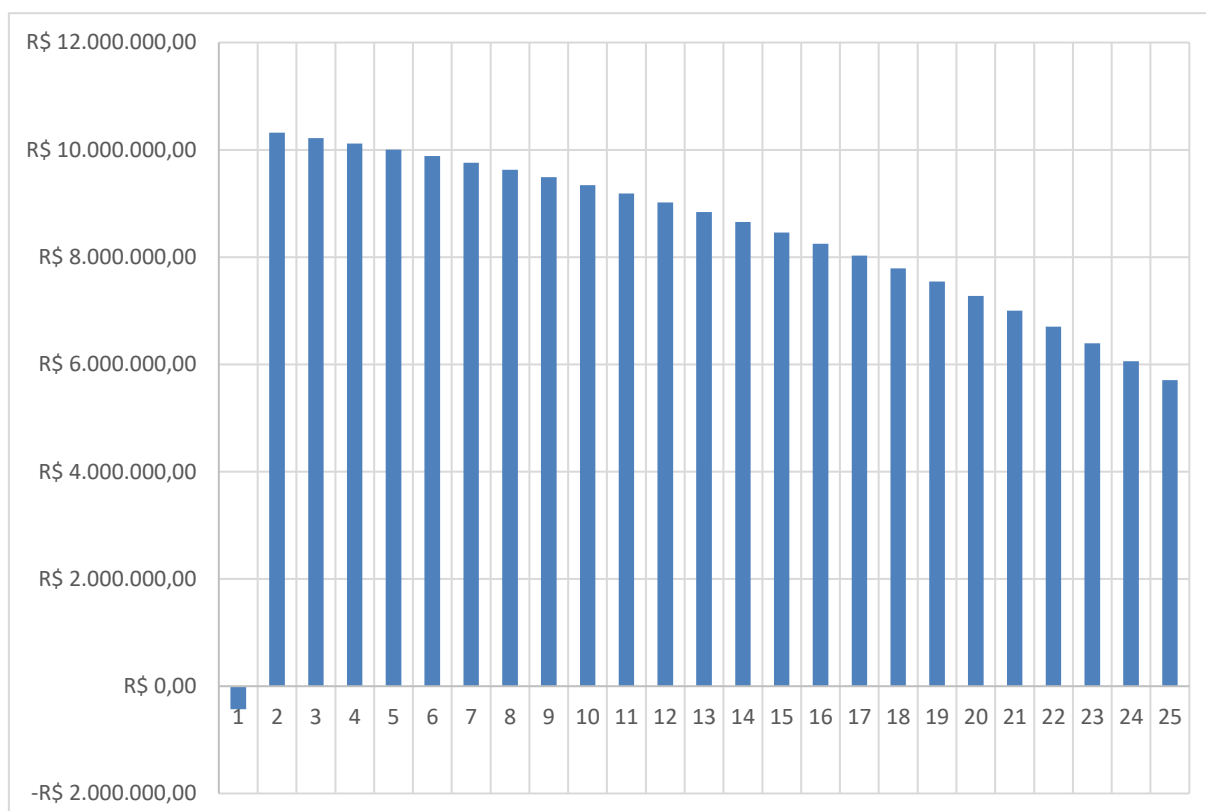
Tabela 8 - Estrutura do fluxo de caixa

	Ano zero	Anos seguintes
Receitas	Financiamento = 90% do preço de aquisição	Assumido que o valor é constante ao longo dos anos
Gastos	Capital próprio = 10% do preço de aquisição	Juros = 6% do saldo devedor no período anterior
		Amortização = valor constante igual ao financiamento dividido pelo número de parcelas
		Seguro = conforme Seção 3.1.3.
		Custo operacional = conforme Seção 3.1.3.
		Imposto de renda = 15% do lucro

Foi obtido o fluxo de caixa ilustrado na Figura 3. O fluxo de caixa pode ser interpretado da seguinte maneira: o fluxo negativo entre o ano 1 e 2, indica a parcela de entrada de 10% da

AFN, que corresponde a 10% do valor de aquisição da embarcação (o outros 90% são financiados); a partir o ano 2, o fluxo de caixa apresenta-se positivo, decaindo ao longo dos anos seguintes devido ao incremento dos custos com a inflação do país (i.e., o índice de preços ao consumidos amplo, ou IPCA) no cálculo das despesas, considerando que o valor do frete não subiria junto com a inflação (perspectiva de um investidor conservador). Apesar disso, o VPL apresenta-se como um valor alto e positivo (i.e., R\$ 59.480.010,95).

Figura 3 - Fluxo de caixa do investimento



O resultado do VPL (i.e., R\$ 59.480.010,95) significa que o investimento em uma embarcação com o projeto conceitual proposto, mostra-se viavelmente econômico para a AFN, pois ele apresentou-se positivo. Além disso, o fluxo de caixa médio anual (i.e., R\$ 7.719.031,60) representa em média o valor que a AFN economizaria por ano com frete de mercadorias, podendo assim utilizar este recurso em outros setores como saúde, educação, meio ambiente, turismo e saneamento. Ou seja, isso representaria uma economia de R\$ 192.975.790,10 ao longo de 25 anos (vida útil da embarcação).

### 3.3. Projeto Básico

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados do projeto básico da embarcação, tomando como base a aplicação da metodologia no caso de Fernando de Noronha.

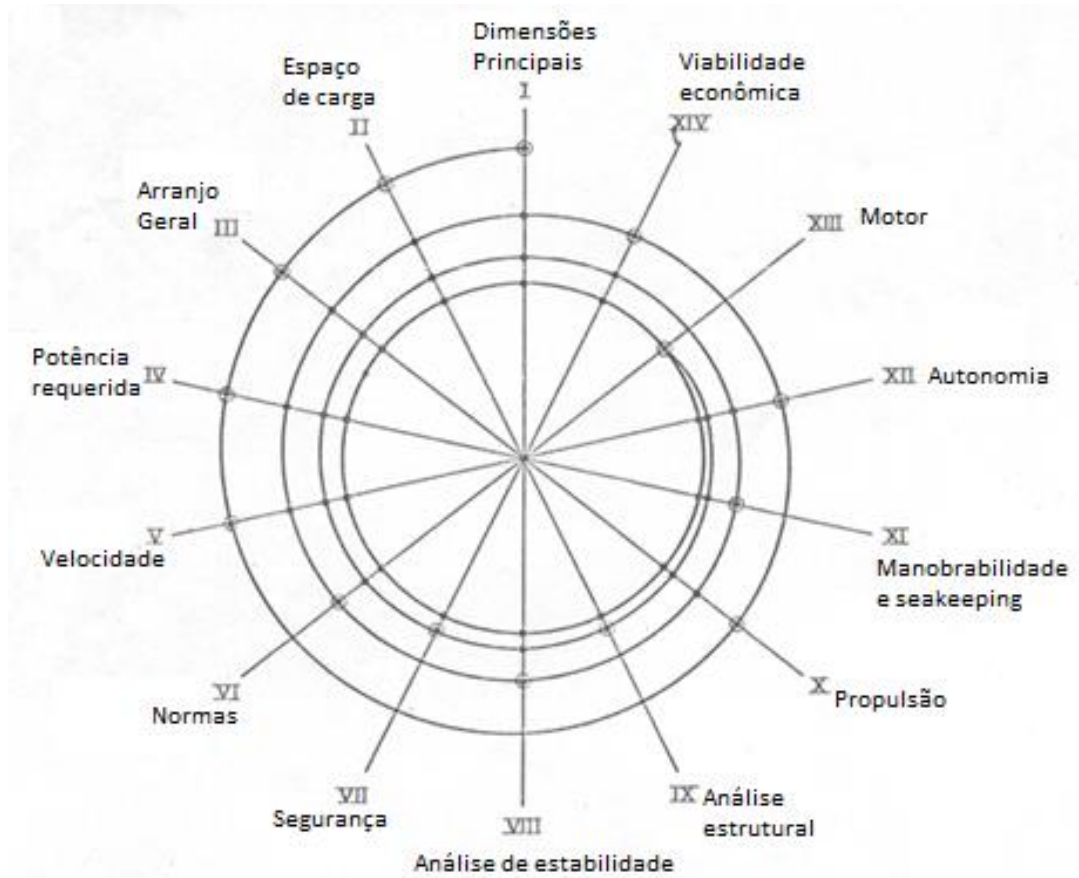
#### 3.3.1. Espiral de Evans

Para dar início a elaboração do Espiral de Evans do presente projeto, levou-se em consideração o fator mais limitante para atender ao objetivo do trabalho, ou seja, as restrições do porto de Fernando de Noronha. Dessa maneira o ponto de partida do espiral são as dimensões e formato da embarcação. Em seguida, tem-se os seguintes pontos importantes no projeto:

1. Demanda de carga da Ilha de Fernando de Noronha: para atender a demanda de carga da Ilha, a embarcação deve ter formato e espaço para transportar o máximo de carga possível ao seu destino. Juntamente a esse elemento, está relacionado ao arranjo geral e compartimentação da embarcação;
2. Tempo de viagem: para atender o mais rápido possível a demanda da Ilha, o tempo de viagem da embarcação deve ser minimizado, levando em consideração a integridade da carga, segurança dos tripulantes e condições de mar que o navio está suposto a passar durante seu trajeto. Com isso, a velocidade e potência requerida são elementos que deve ser avaliados e refinados no projeto da embarcação;
3. Segurança: a fim de não comprometer a carga e vida dos tripulantes, deve-se prezar pela segurança e estabilidade da embarcação durante toda a viagem, de modo que a carga não chegue avariada ou imprópria para consumo, visto que a embarcação transporta mantimentos para a Ilha. Conseqüentemente, análises estruturais, de estabilidade e seakeeping são de suma importância no projeto;
4. Autonomia: para atender a Ilha de Fernando de Noronha, a embarcação deverá ter autonomia de cerca de 60 horas por viagem, permanecendo apta a executar sua operação;
5. Custos: por fim, visa-se sempre a viabilidade econômica do projeto, uma vez que há exacerbado gasto da Administração da Ilha de Fernando de Noronha com fretes de embarcações. Logo, a cada iteração dada no espiral, são analisados os custos e retornos lucrativos a Ilha.

O espiral de Evans criado para ser aplicado ao caso de Fernando de Noronha é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Espiral de Evans do projeto



É válido salientar que as diversas etapas do projeto conceitual e preliminar da embarcação do presente projeto equivalem a uma segunda volta no Espiral de Evans, visto que já foi realizada a primeira volta em trabalhos anteriores (EDUARDO et al., 2018; SANTOS et al., 2018).

### 3.3.2. Fluxograma

Para utilização do método de síntese, análise e avaliação, foi elaborado um fluxograma linear, como é mostrado na Figura 5, onde os elementos de síntese são mostrados a seguir:

- Forma: A forma da embarcação influencia na maioria dos outros elementos do projeto. Através do formato do casco, são definidos parâmetros importantes para o projeto, como a sua resistência ao avanço, estabilidade, arranjo geral e dimensões principais;
- Compartimentação: A compartimentação da embarcação irá influenciar na organização de todos os compartimentos e acomodações, assim como o espaço para a carga que será transportada em operação;
- Arranjo Geral: O arranjo terá influência nas acomodações da embarcação. A localização da praça de máquinas, tanques de consumíveis e superestrutura terá grande

impacto na posição do centro de gravidade da embarcação, podendo alterar o comportamento da curva de estabilidade;

- Normas e Regulamentos: Atender todas as condições exigidas pelas sociedades classificadoras atuantes no Brasil faz-se necessário, a fim de garantir a segurança da embarcação, passageiros e meio ambiente;
- Estabilidade: A embarcação deve ter estabilidade nas diferentes condições de navegação que está sujeita em viagem;
- Topologia Estrutural: A partir do projeto da seção mestra é possível conseguir as curvas de peso, empuxo, momento e esforço cortante da embarcação. Essas curvas serão utilizadas para posteriores análises estruturais do casco;
- Seleção do Conjunto Propulsor: O propulsor deve gerar uma quantidade de empuxo suficiente para propelir a embarcação, satisfazendo assim a potência demandada pelo motor;
- Sistema Propulsivo: Deve proporcionar a melhor eficiência propulsiva a embarcação;
- Sistema de Governo: Influenciará na manobrabilidade da embarcação e análises de seu comportamento no mar (i.e., análises de seakeeping);
- Sistema Auxiliar: Têm como objetivo controlar a pressão de trabalho da praça de máquinas, garantindo que os motores operem da maneira mais eficiente;
- Sistema Gerador: Prevê a seleção dos motores que irão gerar toda a energia elétrica que for necessária para operação da embarcação;
- Viabilidade Econômica: Garantir que o projeto terá baixo custo e maior lucro possível para o armador após o investimento;

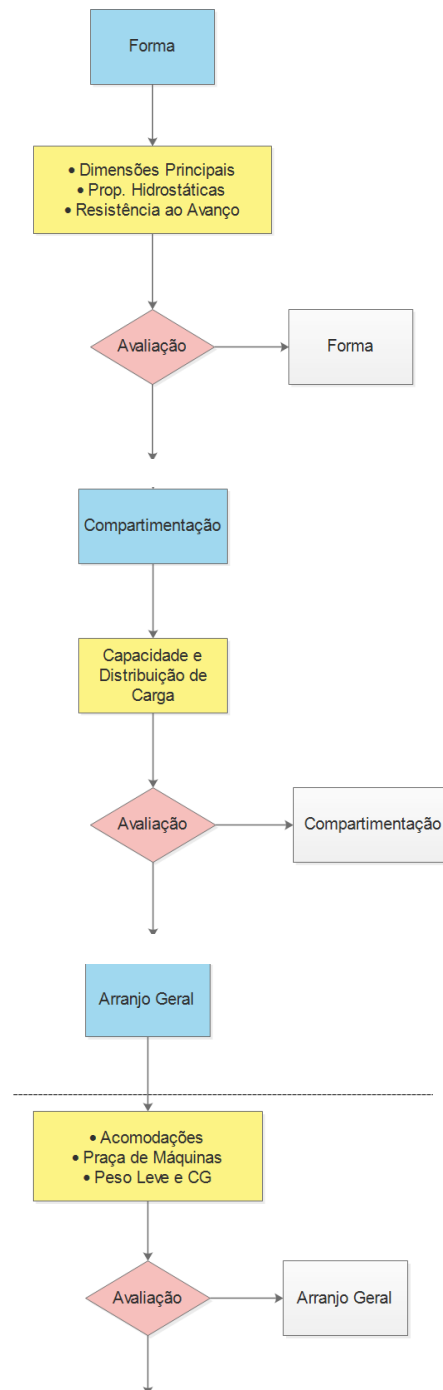
Os elementos de análise do fluxograma foram:

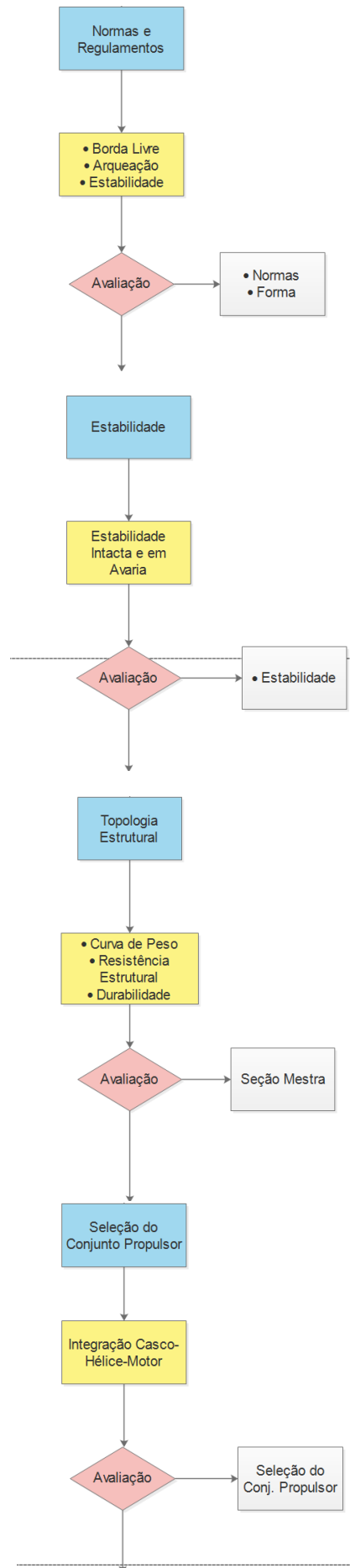
- Dimensões Principais: Dimensões ótimas da embarcação necessárias para operar dentro das limitações do porto;
- Propriedades Hidrostáticas: Permitem uma análise da estabilidade intacta da embarcação em diferentes condições de movimentação de carga a bordo;
- Resistência ao Avanço: Apresentar valores de resistência de modo que não haja consumo e gasto excessivo de combustível (i.e., perda de eficiência);
- Capacidade de Distribuição de Carga: Capacidade suficiente para o transporte de carga de Recife até Fernando de Noronha;
- Acomodações e Praça de Máquinas: Garantir espaço necessário para o conforto da tripulação durante toda a viagem e localização estratégica e espaço suficiente para todos os equipamentos e operações na praça de máquinas;
- Peso Leve e CG: Localização do centro de gravidade da embarcação para garantir a melhor estabilidade possível, levando em consideração o seu braço restaurador e altura metacêntrica;
- Borda Livre e Arqueação: A borda livre estabelece o nível máximo de imersão do casco de modo que a embarcação mantenha uma reserva mínima de flutuabilidade para resistir a alguma avaria;
- Estabilidade Intacta e em Avaria: Garantir que a embarcação seja estável em condições de navegação com seus compartimentos intactos e avariados;

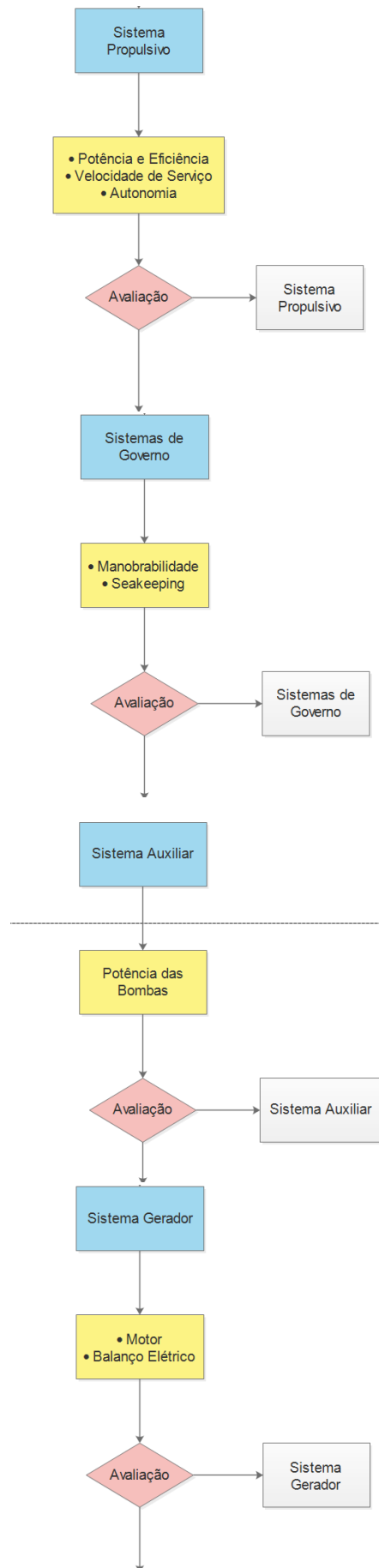


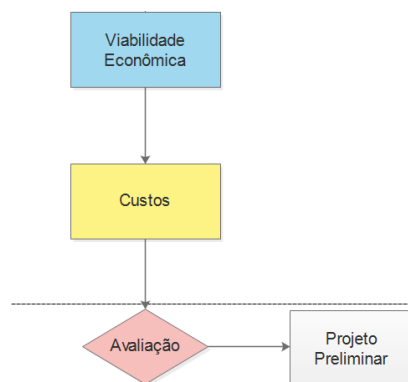
- Curva de Peso: A análise da curva de peso é importante para que seja possível a avaliação da resistência estrutural e de seu comportamento com a atuação dos momentos e esforços cortantes;
- Resistência Estrutural: Estrutura deve ser resistente aos esforços, garantindo uma longa vida útil a embarcação;
- Durabilidade: A embarcação deve ter boa estrutura e resistência para garantir sua vida útil;
- Integração Casco-Hélice-Motor: Os componentes do sistema propulsivo devem estar bem integrados para minimizar perdas de energia e eficiência devido a fenômenos como a cavitação, separação e vibrações;
- Potência e Eficiência: O motor deve gerar potência suficiente para que o propulsor tenha capacidade de propelir a embarcação;
- Velocidade de Serviço: A embarcação deve navegar a uma velocidade em que a resistência ao avanço não faça com que haja alto consumo de combustível. Além disso, o tempo de viagem para transporte da carga deve ser o menor possível de acordo com as condições de navegabilidade;
- Autonomia: É importante que a embarcação seja capaz de operar por um período determinado sem a necessidade de reabastecimento de consumíveis e suprimentos para a tripulação;
- Manobrabilidade: A manobrabilidade da embarcação é influenciada por diversos fatores (e.g. peso, formato do casco, sistema propulsivo, sistema de governo, superestrutura). Ela é analisada para garantir que a embarcação consiga atracar com segurança nos portos de embarque e desembarque;
- Seakeeping: A embarcação deve ter um comportamento estável nas diversas situações de mar, garantindo a segurança dos tripulantes e carga transportada;
- Potência das Bombas: As bombas do sistema auxiliar devem estar operando com potência necessária para regular a pressão dos sistemas da praça de máquinas;
- Balanço Elétrico: Analisa o consumo de energia para os diferentes grupos operacionais da embarcação durante operações de carregamento e descarregamento;
- Motor: Responsável pelo funcionamento dos equipamentos e operações de acordo com a finalidade da embarcação, fornecendo energia suficiente ao navio;
- Custos: O projeto só é viável para o armador se tiver um bom retorno lucrativo e baixo custo de investimento.

Figura 5 - Fluxograma de Síntese, Análise e Avaliação









### 3.3.3. Matriz QFD

A mostra a Figura 6, a forma da embarcação se relaciona com a maioria das outras características do projeto (e.g., dimensões principais, espaço de carga, velocidade de serviço, manobrabilidade). A partir dela são definidos o arranjo geral e sua compartimentação, características atreladas ao espaço de carga demandada. Além disso, tem forte influência na estrutura e estabilidade da embarcação.

O sistema propulsivo também é influenciado pela forma do casco, uma vez que a partir dela é possível estimar a resistência ao avanço e sua velocidade de serviço. Através desses dados, o sistema propulsivo pode ser dimensionado. A manobrabilidade também é fortemente influenciada pela forma da embarcação, pois suas dimensões principais caracterizam a estabilidade em manobra das embarcações.

O arranjo geral e compartimentação influenciam diretamente na estrutura e estabilidade do casco. A presença de uma superestrutura no convés da embarcação irá alterar a posição do seu centro de gravidade e influenciará na resistência devido ao aumento da área velica. A manobrabilidade também é afetada pela superestrutura, uma vez que sua presença pode gerar momentos rotacionais que podem prejudicar ou auxiliar manobras. A posição dos equipamentos da praça de máquinas e convés da embarcação influenciam na curva de peso leve e estabilidade.

Os diversos sistemas presentes na embarcação (e.g., propulsivo, elétrico, auxiliar, de governo) influenciam uns aos outros, uma vez que estão todos interligados na praça de máquinas. O sistema elétrico fornece toda a energia necessária para que a embarcação tenha autonomia necessária para a operação que foi projetada. O sistema propulsivo é responsável por propelir a embarcação e, juntamente com o sistema de governo, auxiliar na manobrabilidade e comportamento do navio no mar.

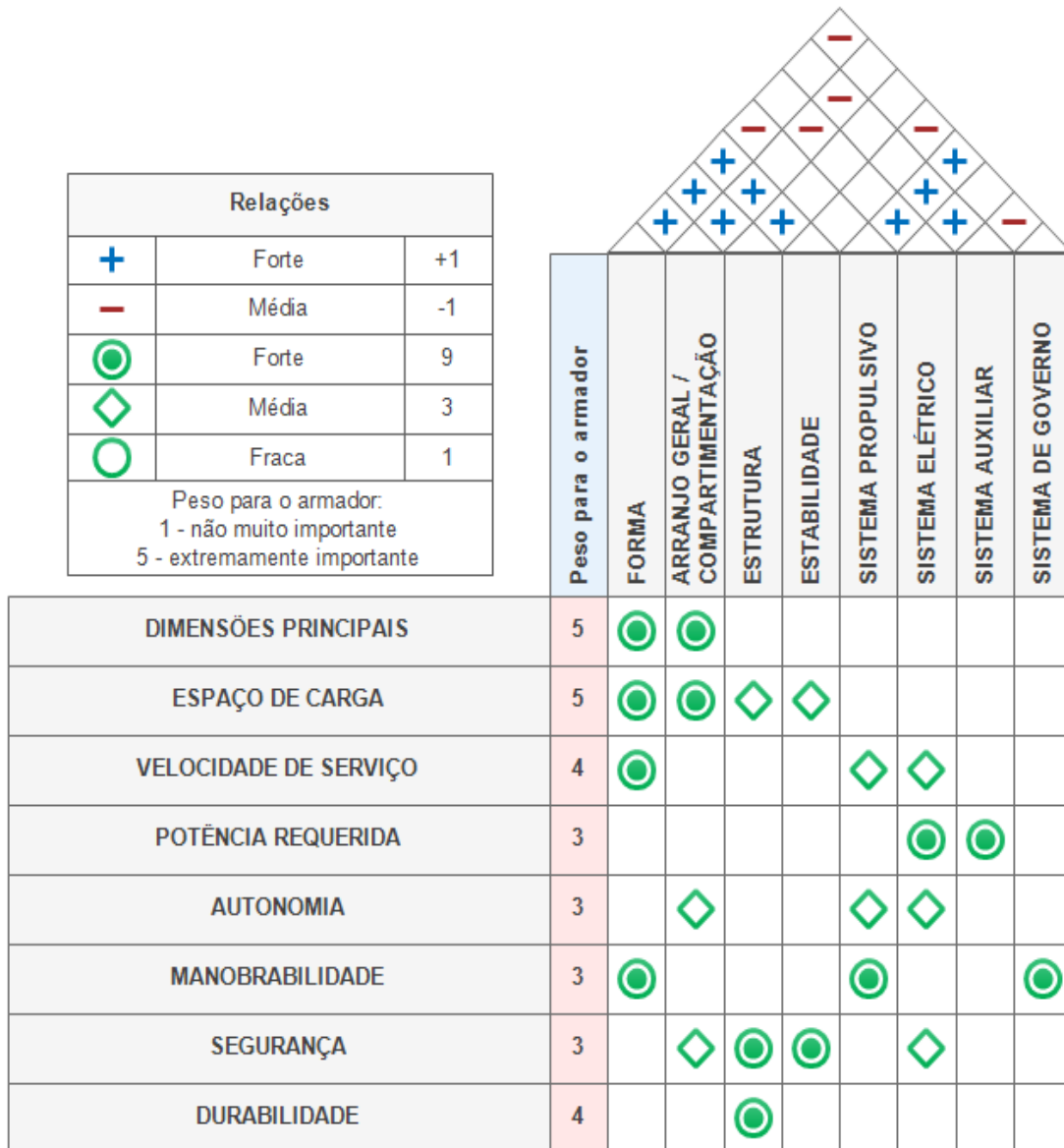
Tratando-se dos requisitos do armador, têm-se as dimensões principais e espaço de carga como um dos requisitos mais importantes do projeto, visto que o projeto está sendo aplicado ao caso de Fernando de Noronha. Tais características têm forte relação com a forma, arranjo e compartimentação do navio, além de afetarem na sua estrutura e estabilidade quando houver movimentação de carga no convés. Outro requisito do armador é a velocidade de serviço da

embarcação, que está relacionada com o formato do casco e sistema propulsivo, devido a sua potência requerida de projeto.

A autonomia irá depender do seu arranjo e dos sistemas propulsivo e elétrico, pois a partir deles será possível saber o consumo de combustível. A partir disso é possível estimar o tempo que a embarcação poderá ficar em viagem sem precisar do reabastecimento de suprimentos para operação e tripulantes.

A durabilidade e segurança estão relacionadas a estrutura da embarcação, pois ela deverá suportar os esforços e momentos sofridos no mar ao longo de sua vida útil. A segurança também estará fortemente relacionada a estabilidade, uma vez que a embarcação deve ser estável para garantir a segurança dos tripulantes, carga transportada e meio ambiente.

Figura 6 - Matriz QFD do projeto



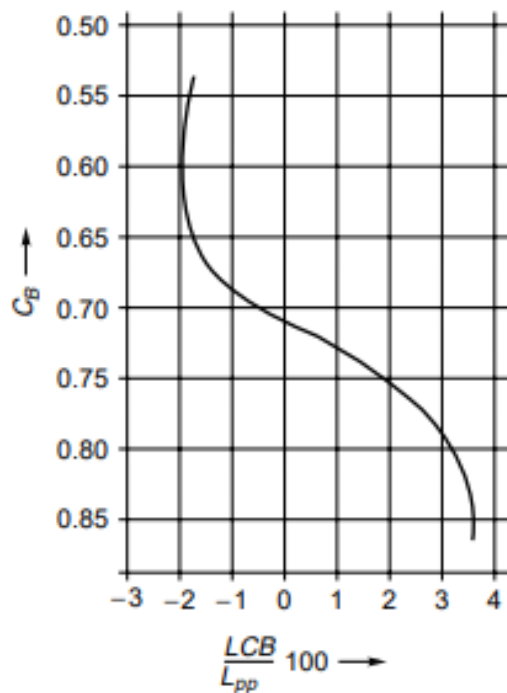
### 3.4. Projeto Preliminar

Nesta seção serão apresentados os resultados das etapas do projeto preliminar de uma embarcação de carga geral especializada aplicada ao caso de Fernando de Noronha.

#### 3.4.1. Projeto de Forma

O projeto do formato do casco foi realizado primeiramente, a partir de algumas estimativas, como é descrito na metodologia encontrada na Seção 2.4.1. A posição do LCB da embarcação foi estimada de acordo com a metodologia proposta por (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998). A Figura 7 mostra como é possível estimar a posição do LCB através do valor do coeficiente de bloco da embarcação. O resultado obtido foi que o LCB está localizado a aproximadamente 0,55 metros à ré da meia-nau da embarcação.

Figura 7 - Estimativa da posição do LCB



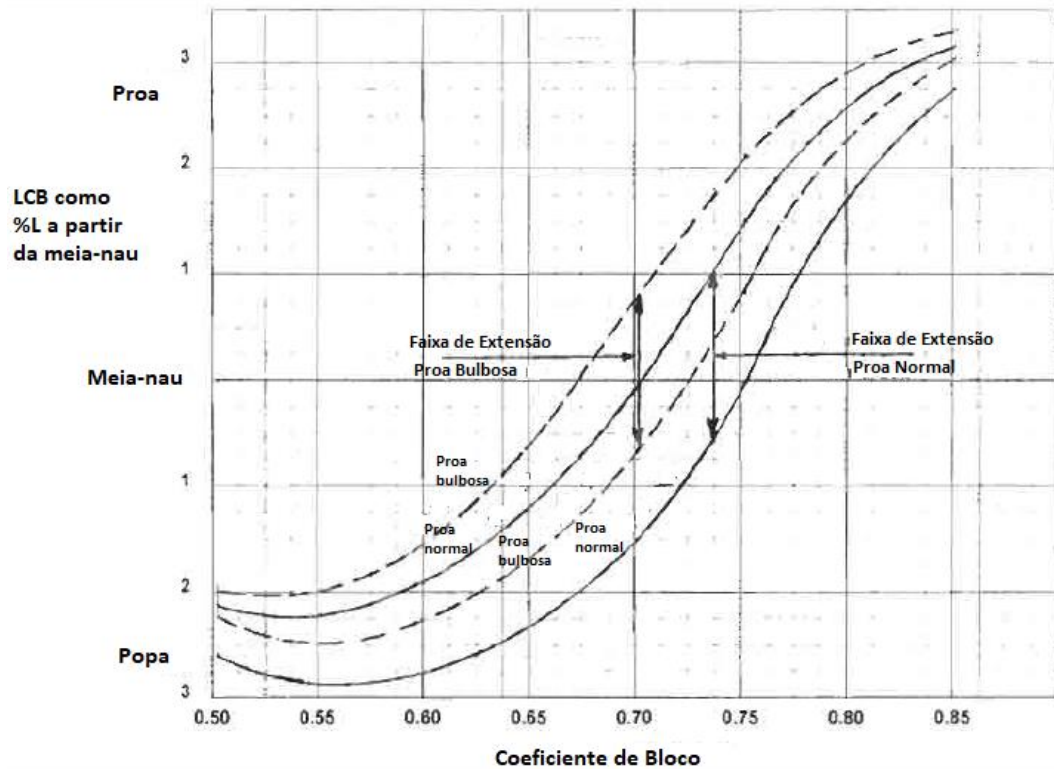
Fonte: (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998)

O resultado obtido mostrou-se consistente e aceitável, uma vez que também foi levado em consideração a posição da superestrutura da embarcação. Tomando como base embarcações semelhantes (i.e., PSVs e rebocadores), a casaria é localizada a vante do casco, visto que garante maior visibilidade de campo a frente do navio e auxilia nas manobras portuárias. Além disso, como a embarcação transportará carga sólida em fardos, será priorizada a área de maior carga do casco, ou seja, o seu corpo e ré.

A partir do resultado do LCB, é possível realizar análises quanto a necessidade de presença de bulbo na embarcação. A metodologia seguida para elaborar essas análises foi a

proposta por (WATSON, 1998). A Figura 8 mostra como a posição do LCB e o coeficiente de bloco da embarcação poderão influenciar na resistência atrelada a presença de uma proa normal ou bulbosa.

Figura 8 - Influência da resistência a partir da posição do LCB e Coeficiente de Bloco

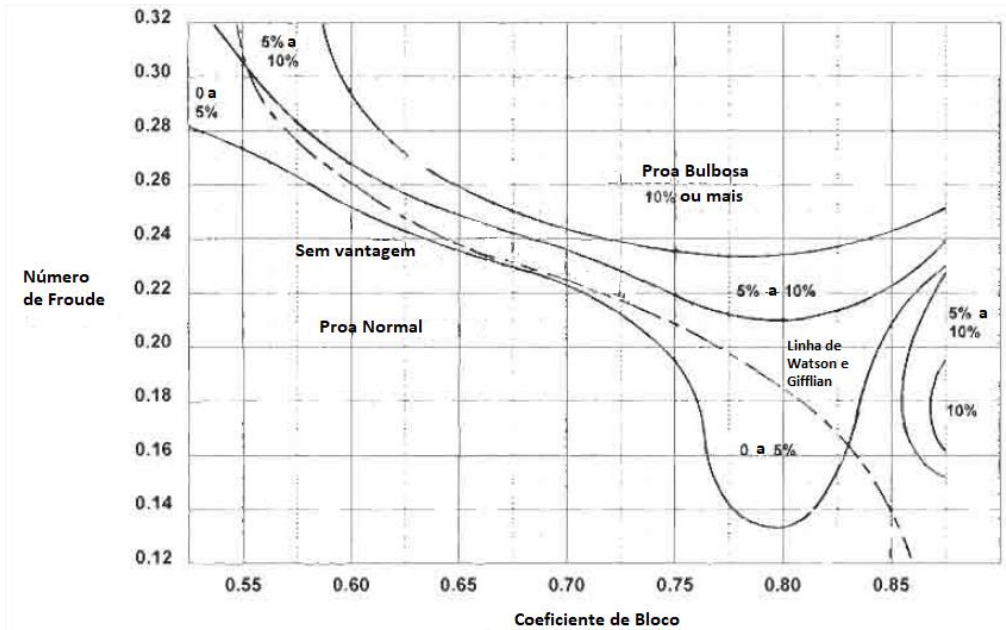


Adaptado de: (WATSON, 1998)

De acordo com o valor do LCB estimado e do coeficiente de bloco da embarcação, a análise ficou em um intervalo que se faz necessária outra análise. Dependendo da velocidade de serviço da embarcação, a presença do bulbo pode auxiliar ou prejudicar no desempenho dela. Através da metodologia também proposta por (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998) e a partir da Figura 9, é possível avaliar de quanto será essa influência do bulbo no desempenho da embarcação, relacionando a velocidade da embarcação e seu coeficiente de bloco.



Figura 9 - Combinação do número de Froude com Coeficiente de Bloco para análise da vantagem do bulbo

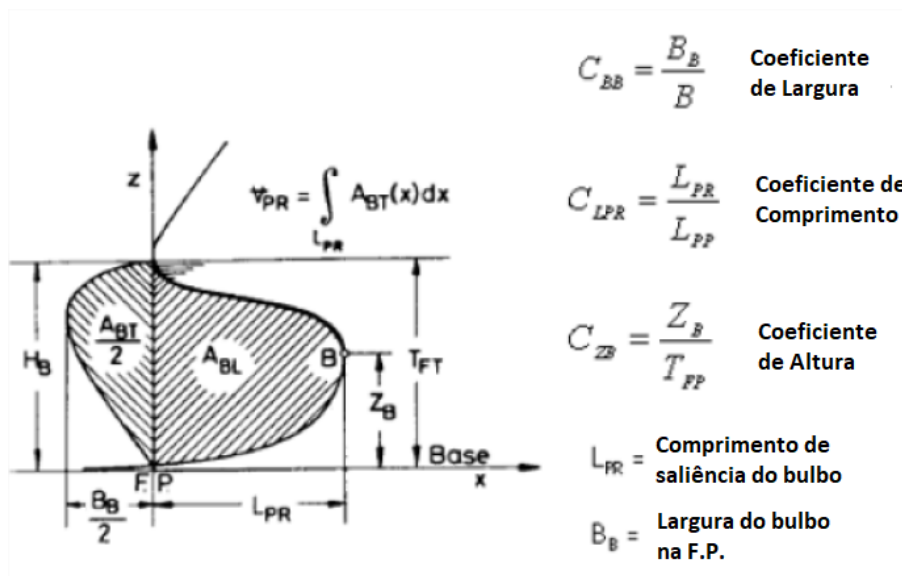


Adaptado de: (WATSON, 1998)

A segunda análise mostra que a presença de bulbo na embarcação terá eficiência significativa no seu desempenho, tornando necessária sua presença na proa. Com isso, tem-se os primeiros dados para definição do formato da proa do casco.

Para dimensionamento do bulbo foi utilizada a metodologia proposta por Kracht (KRACHT, 1978), onde são definidos coeficientes lineares de forma do bulbo para cálculo de suas áreas transversal e longitudinal. A Figura 10 mostra os coeficientes lineares utilizados para dimensionar o bulbo da embarcação.

Figura 10 - Coeficientes lineares de forma para projeto do bulbo



Adaptado de: (KRACHT, 1978)

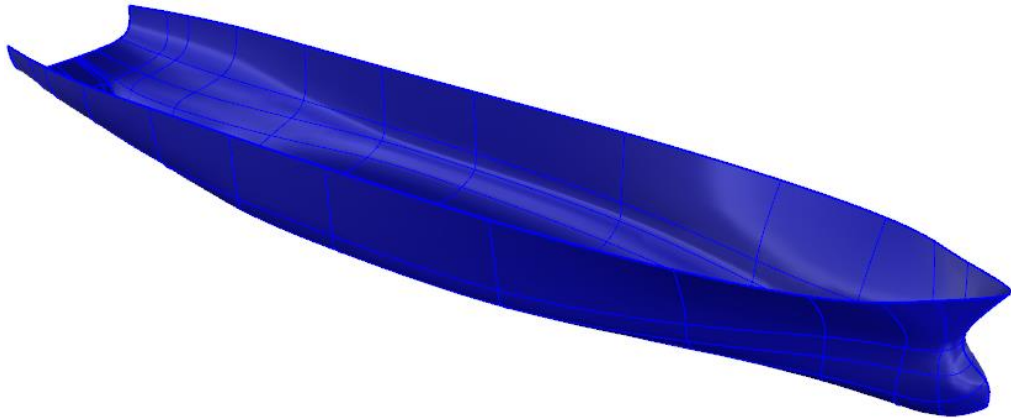
Com isso, os resultados obtidos para dimensões do bulbo são apresentados na Tabela 9.

*Tabela 9 - Coeficientes lineares de forma do bulbo obtidos*

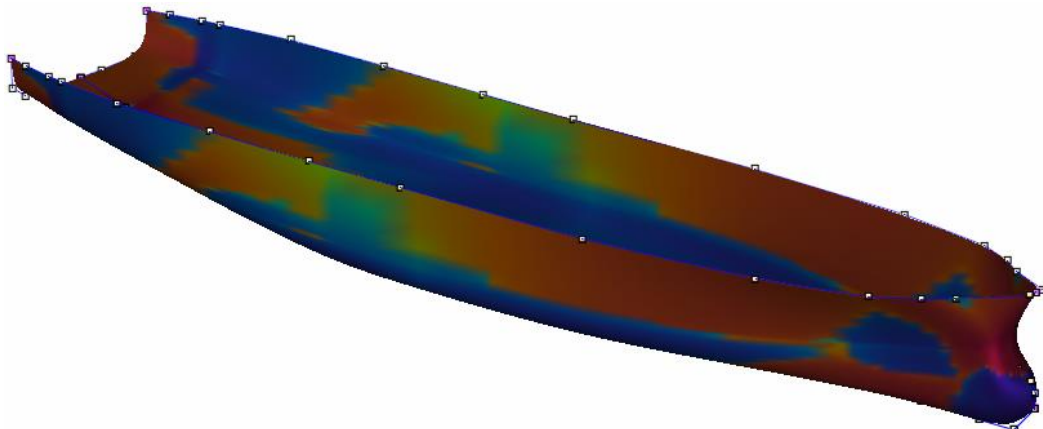
Coeficiente de largura	0,177
Coeficiente de comprimento	0,022
Coeficiente de altura	0,379
Área longitudinal	0,993 m <sup>2</sup>
Área transversal	1,457 m <sup>2</sup>

Para definir o formato da popa da embarcação, foi levado em consideração o sistema propulsivo utilizado. Nessa fase preliminar do projeto, tomou-se como base o sistema propulsivo utilizado em embarcações semelhantes (i.e., PSVs e rebocadores) para definir o formato da popa do navio. Dessa forma, através do software Maxsurf Modeler (BENTLEY SYSTEMS, 2019) e Rhinoceros 3D (MCNEEL & ASSOCIATES, 2019), foi modelado o casco da embarcação, como mostra a Figura 11 e a Figura 12.

*Figura 11 – Casco modelado no Rhinoceros 3D*



*Figura 12 – Casco renderizado com curvas Gaussianas no Maxsurf Modeler*



Com o formato do casco definido foi feita a análise das propriedades hidrostáticas da embarcação com auxílio do software Maxsurf Stability (BENTLEY SYSTEMS, 2019). Essa análise permite determinar os parâmetros hidrostáticos do casco para diferentes valores de calado. As curvas dos parâmetros hidrostáticos obtidos são apresentadas no APÊNDICE C – Propriedades Hidrostáticas.

É possível observar uma variação em algumas propriedades quando é referente ao calado próximo do pontal da embarcação. Essas alterações são dadas pelo formato do casco não uniforme ao longo do seu comprimento na altura equivalente ao pontal, ou seja, a proa da embarcação tem uma borda livre maior do que ao longo do casco e popa. No geral, as propriedades hidrostáticas se comportaram dentro do padrão para embarcações desse tipo e formato.

Por fim, obteve-se o plano de linhas da embarcação com o auxílio do software PolyCAD (POLYCAD, 2019), como é mostrado no APÊNDICE D – Plano de Linhas.

### 3.4.2. Compartimentação

Nessa fase do projeto são definidos pontos de partida para a compartimentação da embarcação. É válido salientar que os resultados aqui considerados são parâmetros base para essa etapa preliminar do arranjo da embarcação, sendo alterado e adaptado no decorrer do projeto.

A etapa de compartimentação deu início com o cálculo da borda livre, a fim de avaliar o calado máximo que a embarcação pode operar. Foram seguidos os regulamentos do Capítulo 3 da International Convention on Load Lines (ICLL, 1988). Os resultados obtidos para o valor da borda livre, correções adicionais e altura mínima da proa são mostrados na Tabela 10.

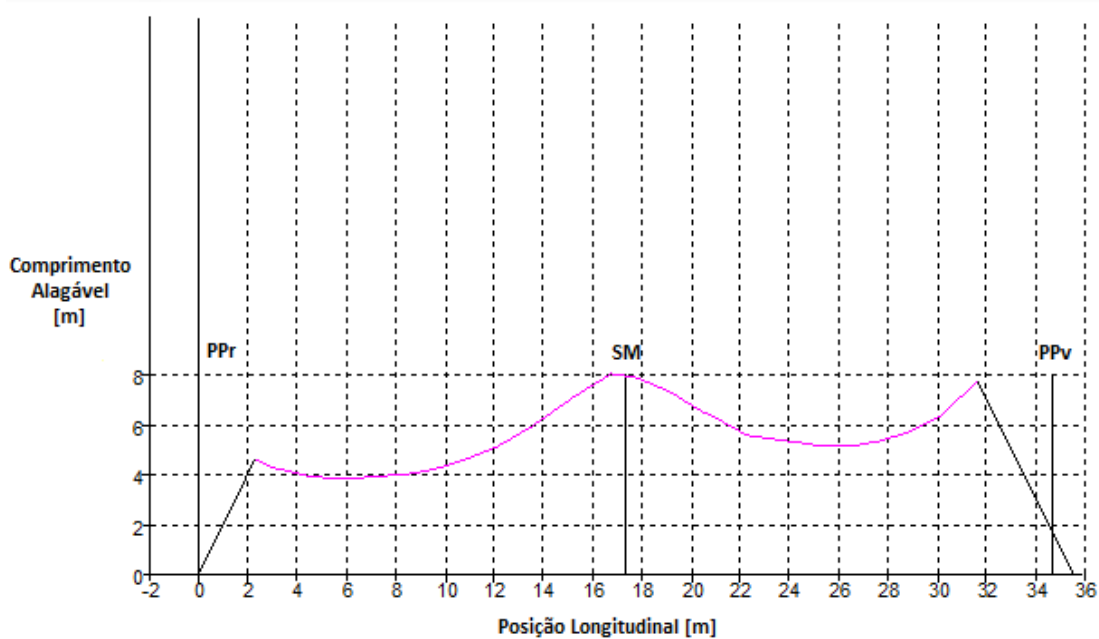
*Tabela 10 - Resultados para cálculo de Borda Livre*

DESCRIÇÃO	VALOR [m]	REFERÊNCIA
Borda Livre tabulada para Navios Tipo B	0,296	REGRA 27
Correção adicional	0,104	REGRA 29
Correção adicional	0,121	REGRA 31
Altura mínima da proa	1,855	REGRA 39

O valor final da borda livre mínima da embarcação é de 0,4 metros, o que resulta em um calado máximo de 3,6 metros. O valor se apresenta dentro das características físicas de projeto da embarcação, uma vez que ela possui um calado de projeto de 2,62 metros. A altura da proa, a partir da altura do calado da embarcação deve ser de no mínimo 1,855 metros. Essa altura será corrigida mediante a compartimentação e arranjo geral detalhado da embarcação, de acordo com a organização e localização dos equipamentos de convés e superestrutura.

Antes de definir o comprimento preliminar dos compartimentos da embarcação, faz-se necessária a análise da curva de comprimentos alagáveis do casco. Através dela é possível obter qual o tamanho máximo que cada compartimento deve ter ao longo de seu comprimento de forma que, no caso de avarias, não comprometa a estabilidade e segurança da embarcação. A Figura 13 mostra a curva obtida com o auxílio do software Maxsurf Stability (BENTLEY SYSTEMS, 2019).

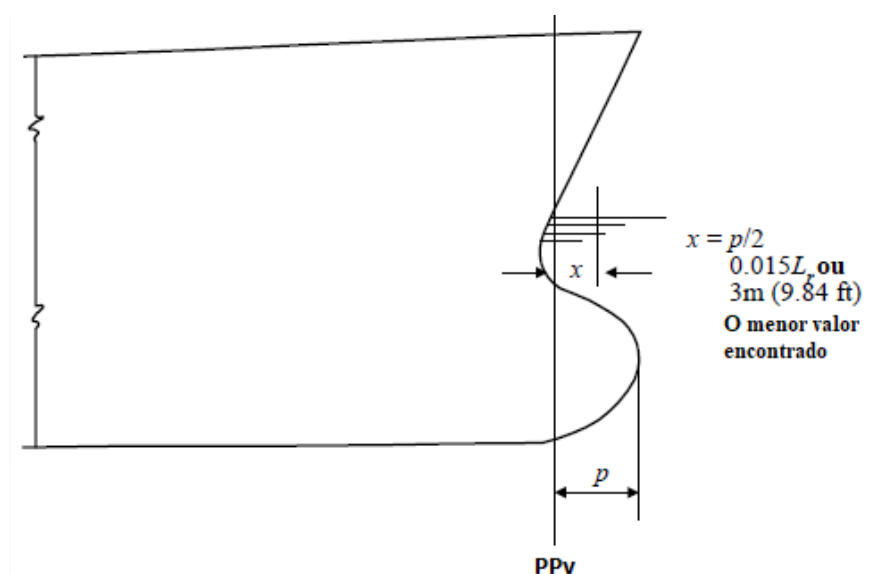
Figura 13 - Curva de comprimentos alagáveis da embarcação gerada no Maxsurf



A partir dos resultados obtidos na curva é possível dar início a compartimentação preliminar dos tanques e compartimentos da embarcação. Os primeiros elementos estruturais a serem definidos são o pique de vante e o pique de ré. A posição desses elementos é definida de acordo com os regulamentos da Parte 3 da American Bureau of Shipping para embarcações com menos de 90 metros de comprimento (ABS, 2008).

Para o pique de vante, ou antepara de colisão, é definido que ele deve estar a uma distância não inferior a 0,05 vezes o comprimento da embarcação na linha d'água do ponto de referência. A Figura 14 mostra como encontrar o ponto de referência  $x$  em embarcações que apresentam proa bulbosa.

Figura 14 - Ponto de referência de embarcações com proa bulbosa



Adaptado de: (ABS, 2008)

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos através dos regulamentos da norma. Com isso a antepara de colisão deve estar a uma distância mínima de 1,74 metros do ponto de referência da proa. Esse valor é definido ao longo da elaboração do arranjo dos compartimentos da embarcação.

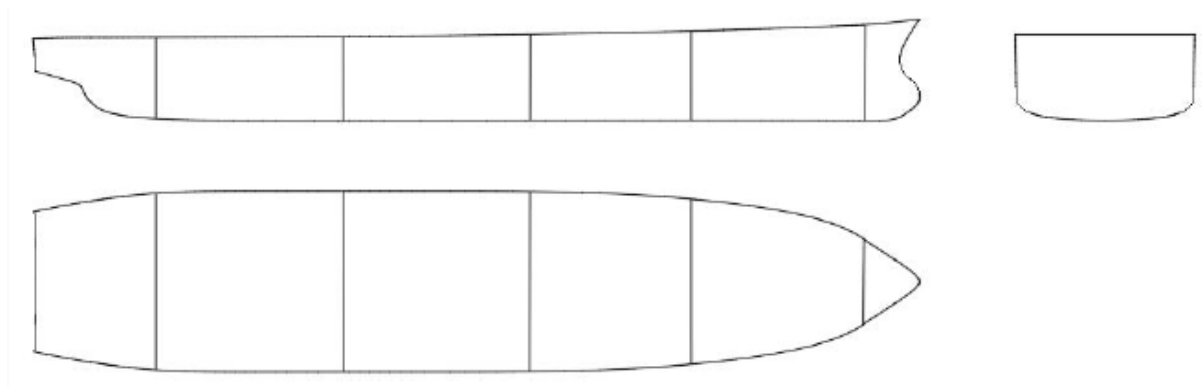
Tabela 11 - Resultados para posição da antepara de colisão

DESCRIÇÃO	VALOR [m]
$p$	0,786
$x$	0,393
Distância mínima do ponto de referência	1,740

A ABS (ABS, 2008) não define nenhum regulamento a ser seguido para definição da posição do pique de ré, sendo definido de acordo com o arranjo e curva de comprimentos alagáveis. É recomendado também que haja reforços ao longo do fundo interno da embarcação, a fim de proteger ao máximo a estrutura da embarcação, porém a utilização de fundo e costado duplo é optativa para embarcações desse porte, sendo necessária apenas se comprometer sua integridade estrutural.

Outro quesito definido pela norma é que a praça de máquinas deve ser um compartimento completamente cercado de anteparas estanques que devem se estender até o convés. Seu comprimento foi estimado previamente através de embarcações semelhantes, sendo uma média de 24% do comprimento total da embarcação. A Figura 15 mostra a compartimentação preliminar da embarcação.

*Figura 15 - Compartimentação preliminar da embarcação*



#### **3.4.2.1. Plano de Capacidades**

A partir da compartimentação preliminar, foi gerado o plano de capacidade volumétrica dos compartimentos do navio (i.e., pique de ré, tanque 1, tanque 2, tanque 3, praça de máquinas e pique de vante). A numeração dos tanques foi feita de popa a proa. O plano de capacidade é apresentado no APÊNDICE E – Plano de Capacidades.

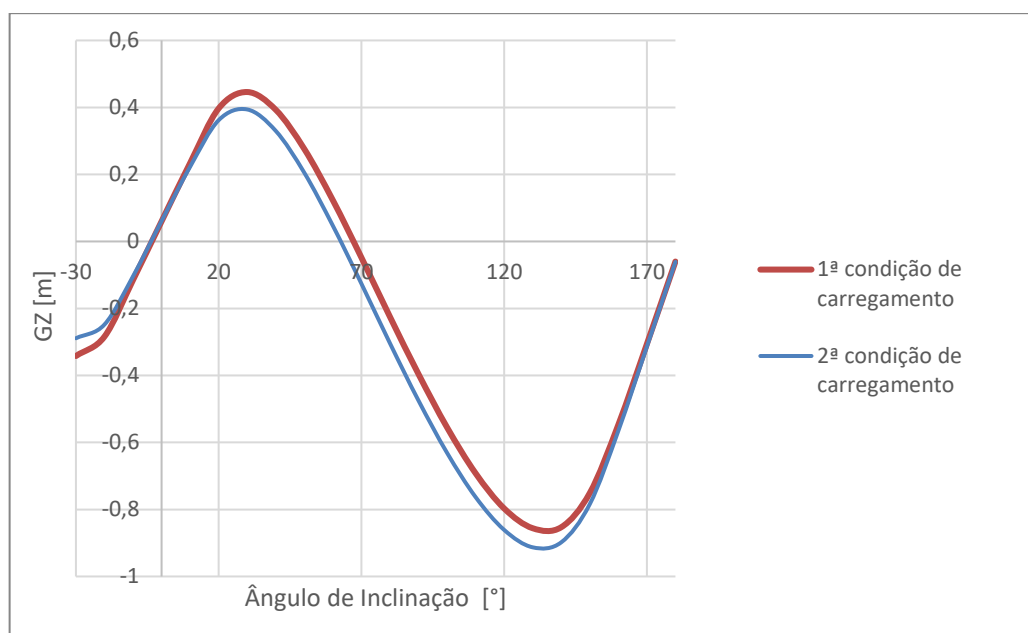
#### **3.4.3. Estabilidade**

Nesta seção são apresentados os resultados e discussões para as análises de estabilidade intacta e em avaria da embarcação. Todos os resultados foram obtidos através do software Maxsurf Stability (BENTLEY SYSTEMS, 2019).

##### **3.4.3.1. Intacta**

Para as duas condições de carregamento exigidas, obteve-se os resultados mostrados na Figura 16.

Figura 16 - Curvas de estabilidade da 1ª e 2ª condição de carregamento



É possível perceber que a embarcação apresenta estabilidade intacta nas duas condições, atendendo os critérios exigidos pela norma (apresentados na Metodologia - Seção 2.4.3.1). A Tabela 12 e Tabela 13 mostram respectivamente os resultados obtidos mediante os critérios de estabilidade da norma para a 1ª e 2ª condição de carregamento. Pela margem de porcentagem é possível confirmar a afirmação feita quanto a condição de carregamento que a embarcação apresenta mais estabilidade.

Tabela 12 - Critérios de estabilidade da 1ª condição de carregamento

Critério	Valor	Unidade	Atual	Status	Margem %
2.2.1: Área de 0 a 30°	0,055	m.rad	0,157	Aprovado	185,36
2.2.1: Área de 0 a 40°	0,09	m.rad	0,2314	Aprovado	157,12
2.2.1: Área de 30 a 40°	0,03	m.rad	0,0745	Aprovado	148,17
2.2.2: Máx. braço GZ a 30° ou maior	0,2	m	0,446	Aprovado	123
2.2.3: Ângulo de máximo braço GZ	25	deg	29,1	Aprovado	16,36
2.2.4: GMt inicial	0,15	m	0,984	Aprovado	556

Tabela 13 - Critérios de estabilidade da 2ª condição de carregamento

Critério	Valor	Unidade	Atual	Status	Margem %
2.2.1: Área de 0 a 30°	0,055	m.rad	0,1443	Aprovado	162,37
2.2.1: Área de 0 a 40°	0,09	m.rad	0,2086	Aprovado	131,74
2.2.1: Área de 30 a 40°	0,03	m.rad	0,0643	Aprovado	114,21
2.2.2: Máx. braço GZ a 30° ou maior	0,2	m	0,394	Aprovado	97
2.2.3: Ângulo de máximo braço GZ	25	deg	28,2	Aprovado	12,73
2.2.4: GMt inicial	0,15	m	0,916	Aprovado	510,67

### 3.4.3.2. Avaria

Para as seis condições de carregamento definidas, obteve-se os resultados mostrados na Tabela 14. É possível perceber que a embarcação possui estabilidade em avaria em todos os casos de compartimentos avariados.

*Tabela 14 - Resultados de estabilidade para casos de avaria*

	<b>Crítério</b>	<b>28.3.3 Faixa de estabilidade positiva</b>	<b>28.3.3 Braço de endireitamento residual</b>	<b>28.3.3 Área abaixo da curva GZ</b>
	Valor	20	0,1	0,0175
	Unidade	deg	m	m.rad
Condição 1	Atual	77,7	0,363	0,0707
	Status	Aprovado	Aprovado	Aprovado
	Margem	288,53	263	304,01
Condição 2	Atual	63,1	0,276	0,0619
	Status	Aprovado	Aprovado	Aprovado
	Margem	215,26	176	253,57
Condição 3	Atual	80	0,332	0,057
	Status	Aprovado	Aprovado	Aprovado
	Margem	299,97	232	225,91
Condição 4	Atual	78	0,332	0,0603
	Status	Aprovado	Aprovado	Aprovado
	Margem	289,82	232	244,52
Condição 5	Atual	64,5	0,272	0,0586
	Status	Aprovado	Aprovado	Aprovado
	Margem	222,73	172	235,1
Condição 6	Atual	75,1	0,298	0,06
	Status	Aprovado	Aprovado	Aprovado
	Margem	275,35	198	242,89

### 3.4.4. Sistema Propulsivo

Nesta seção serão apresentados a metodologia específica, os resultados e discussões atrelados ao sistema propulsivo da embarcação.

#### 3.4.4.1. Resistência ao Avanço

Como já foi descrito na metodologia (Seção 2.4.4), a partir da geometria do casco foi utilizada a extensão Resistance do software Maxusrf (BENTLEY SYSTEMS, 2019) para obter a resistência ao avanço da embarcação. O método utilizado para cálculo da resistência foi o de Holtrop, cujo algoritmo foi desenvolvido para prever a resistência de embarcações de carga geral, pesqueiros, rebocadores, navios contêiner e fragatas (BENTLEY SYSTEMS, 2013).



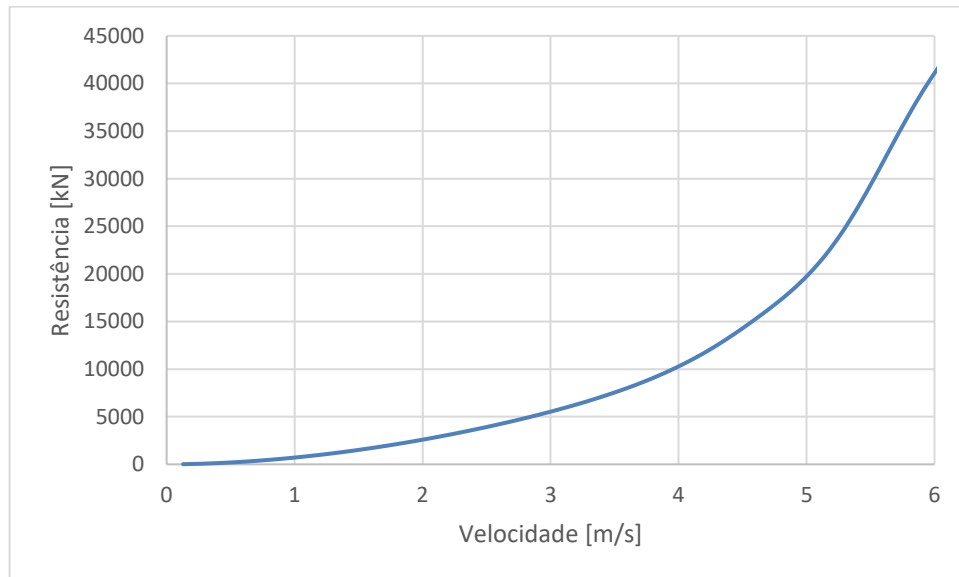
Além disso, as dimensões da embarcação se apresentam dentro do intervalo estabelecido pelo método, como é possível observar na Tabela 15.

*Tabela 15 – Limites do Método de Holtrop*

Intervalo			Atual
0,55	Cp	0,85	0,71
3,90	L/B	15,00	4,81
2,10	B/T	4,00	2,76

Sendo assim, foi obtida a seguinte curva de resistência da embarcação para a condição do calado de projeto, mostrada na Figura 17.

*Figura 17 - Curva de resistência da embarcação*



A resistência calculada pelo Maxsurf não considera a parcela de resistência pela formação de ondas e por apêndices. Dessa maneira, essa correção foi calculada através de formulações empíricas e somada na resistência total da embarcação em sua condição de projeto. A parcela da resistência por ondas incidentes é calculada pela formulação proposta por Kreitner (ITTC, 2005), mostrada a seguir.

$$R_{aw} = 0,64 * g * H_S^2 * B^2 * C_B * \rho * \frac{1}{L_{pp}} * \left( \frac{2}{3} + \frac{1}{3} * \cos \beta \right) \quad (15)$$

Onde:

$H_S$ : altura de onda da região (valores entre 1,5 a 2 metros);

$\beta$ : ângulo de aproamento;

$L_{pp}$ : comprimento na linha d'água;

$\rho$ : massa específica da água do mar;

$B$ : boca do navio;

$C_B$ : coeficiente de bloco.

A resistência por apêndices foi estimada a partir de uma porcentagem da resistência total do casco, proposta por (SNAME, 1990b). Essa estimativa ficou entre 5 a 9%. Com isso, temos os valores apresentados na para serem adicionados a resistência da embarcação.

*Tabela 16 - Valores obtidos de resistência na condição de projeto*

Resistência total do casco	21,9218 kN
Resistência por ondas incidentes	11,4544 kN
Resistência por apêndices	1,53453 kN
Resistência total corrigida	34,9107 kN

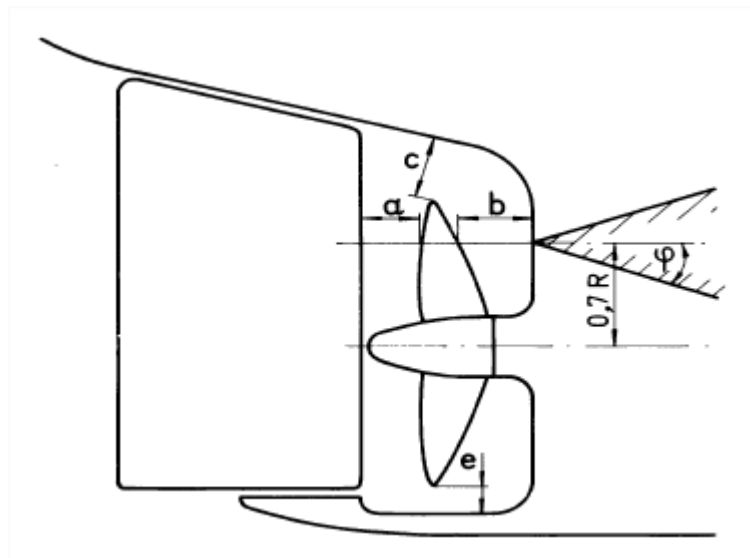
Com a resistência total calculada, foi possível estimar a potência efetiva da embarcação (EHP) através da seguinte formulação:

$$EHP = R_T * V_S \quad (16)$$

#### 3.4.4.2. Dimensionamento do Propulsor

O primeiro passo para dimensionamento do propulsor foi definir o diâmetro máximo possível para a embarcação. Tendo definido o tamanho e área do leme (Seção 3.4.4.5), foram utilizados os limites de folga da sociedade classificadora DNV (DNV, 2000) para definir o máximo diâmetro do propulsor. Tais folgas são apresentadas na Figura 18.

*Figura 18 - Folgas para dimensão do propulsor*



Fonte: (DNV, 2000)

Os valores mínimos para cada uma das medidas são apresentados na Tabela 17, onde “R” é o raio do propulsor em metros e “Z” é o número de pás do propulsor.

*Tabela 17 - Folgas mínimas para dimensões do propulsor*

<b>Para navios com um propulsor</b>	
$a \geq 0,2.R$	m
$b \geq (0,7-0,04.Z).R$	m
$c \geq (0,48-0,02.Z).R$	m
$e \geq 0,07.R$	m

Considerando um hélice de 4 pás, o diâmetro máximo permitido por norma na embarcação é de 1,4 metros. É partindo desse valor que será feito o seu dimensionamento. A metodologia utilizada foi a da Série B de Wageningen (BERNITSAS; RAY; KINLEY, 1981), considerando os seguintes dados de entrada para dimensionamento:

- Número de pás (Z);
- Diâmetro máximo do propulsor (D);
- Resistência ao avanço ( $R_t$ );
- Velocidade de serviço ( $V_s$ );
- Coeficiente de esteira ( $w$ );
- Coeficiente de dedução de impulso ( $t$ );
- Imersão do propulsor ( $h$ );
- Eficiência do casco ( $\eta_h$ ).

Para cálculo do coeficiente de esteira e de dedução de impulso, foram utilizadas as seguintes formulações propostas por Heckscher para navios de carga com um propulsor (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998):

$$w = 0,7 * C_p - 0,18 \quad (17)$$

$$t = 0,5 * C_p - 0,12 \quad (18)$$

A eficiência do casco foi obtida através da seguinte formulação (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998), que combina a influência da interação casco-propulsor:

$$\eta_H = \frac{(1 - t)}{(1 - w)} \quad (19)$$

Primeiramente foi utilizada a regra de Keller para cálculo da relação de área mínima para que não ocorra cavitação, utilizando a seguinte fórmula:

$$\left(\frac{A_D}{A_0}\right)_{\min} = \frac{(1,3 + 0,3 * Z) * T_{\max}}{(1025 * h + 10100) * D_{\max}^2} \quad (20)$$

Onde:

$T_{\max}$ : empuxo máximo requerido pelo casco, calculado através da resistência e o coeficiente de dedução de impulso, em kg.

O critério utilizado para dimensionar o propulsor ótimo nesta metodologia foi a de maior eficiência em águas abertas, de maneira que o  $K_{t\_requerido}$  seja igual ou o mais próximo possível do  $K_{t\_disponível}$ . Com os dados de entrada mencionados anteriormente, é possível definir um adimensional. Esse adimensional é calculado por não sabermos a faixa de rotação do sistema propulsivo nessa fase de projeto, e por ter sido decidido não estimar um valor inicial para que erros não se propagem ao longo do projeto e do dimensionamento do hélice ótimo.

Com isso, temos a seguinte manipulação de variáveis para por fim chegar ao adimensional definido como  $b_1$ :

$$K_t = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4} \quad (21)$$

$$J = \frac{V_A}{n * D} \quad (22)$$

$$b_1 = \frac{K_T}{J^2} = \frac{T}{\rho * n^2 * D^4} \cdot \left(\frac{V_A}{n * D}\right)^2 \quad (23)$$

$$b_1 = \frac{T}{\rho * D^2 * V_A^2} \quad (24)$$

Onde:

$K_T$ : Coeficiente adimensional de empuxo do hélice em águas abertas;

$J$ : Coeficiente adimensional de avanço;

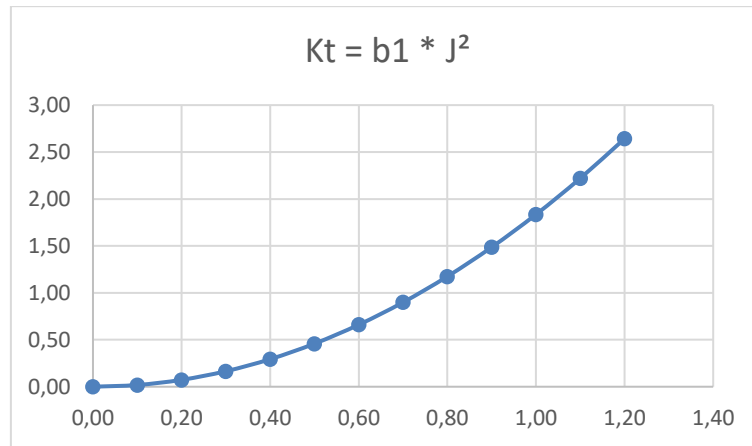
$V_A$ : velocidade de avanço, calculada a partir da velocidade de serviço e do coeficiente de esteira, em m/s;

$n$ : rotações em rps;

Tendo definido o coeficiente adimensional  $b_1$ , é utilizada a função de segundo grau  $K_T = b_1 * J^2$ , onde a partir dela serão obtidos valores de  $K_T$  que irão satisfazer a equação. Então,

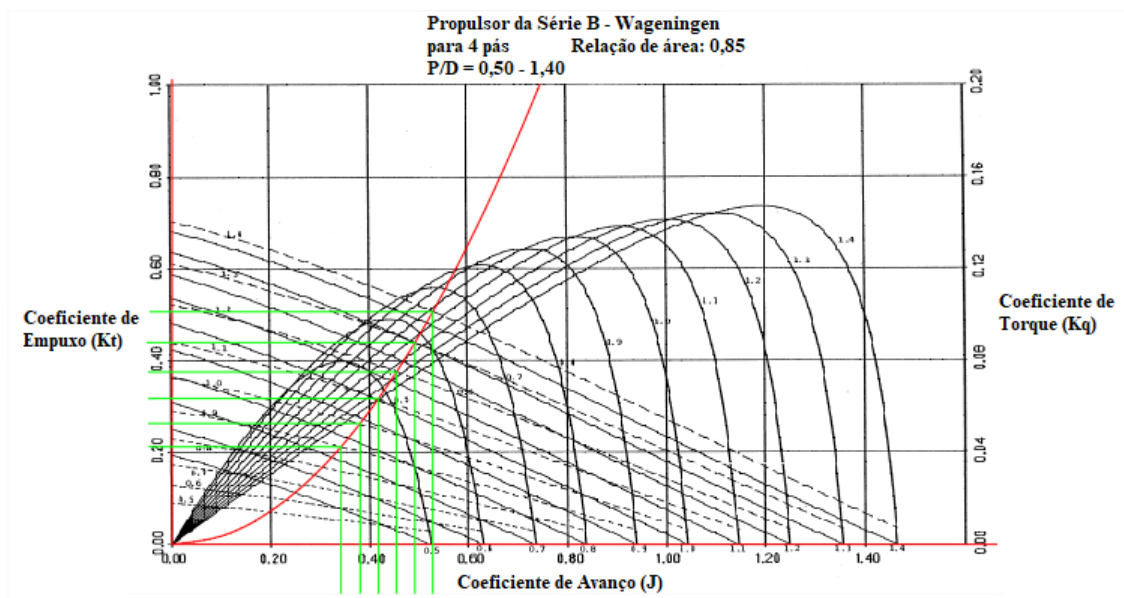
são calculados os valores de  $K_T$  para diferentes valores de  $J$ , criando-se então uma curva entre as variáveis ( $J \times K_T$ ), onde pode ser vista na Figura 19.

Figura 19 - Curva criada para dimensionamento ( $K_t \times J$ )



Após construída a curva, ela é jogada na curva da Série B (BERNITSAS; RAY; KINLEY, 1981) em águas abertas para a relação de área escolhida inicialmente após o uso da regra de Keller. Esse procedimento tem o intuito de encontrar para quais relações de passo-diâmetro, a equação  $K_T = b_1 \cdot J^2$  é satisfeita, através dos pontos de interseção entre a curva obtida e as curvas em águas abertas, como ilustra a Figura 20.

Figura 20 - Intersecção das curvas para seleção do propulsor



Adaptado de (BERNITSAS; RAY; KINLEY, 1981)

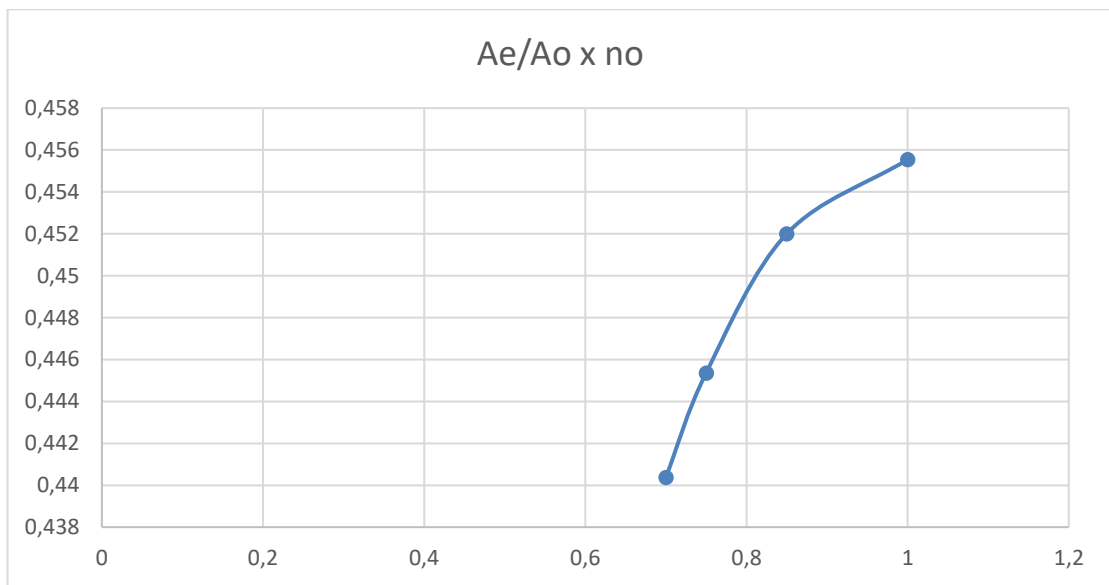
A partir dos pontos de interseção das duas curvas, são retirados os valores de  $J$ ,  $K_T$  e  $K_Q$  para todas as relações de passo-diâmetro que forem intersectadas. Com isso, é aplicado o critério para seleção do propulsor ótimo definido, ou seja, o de maior eficiência em águas abertas  $\eta_0$ . Para esse ponto de máxima eficiência, é definido o coeficiente de avanço ótimo,

juntamente com o valor de passo-diâmetro e coeficientes de torque e empuxo, podendo calcular a rotação, a potência entregue ao hélice, o empuxo e o torque.

Esse procedimento foi feito para 4 relações de área diferentes, para se ter um maior conjunto de valores ótimos de hélice e uma maior comparação para escolha do propulsor com maior eficiência em águas abertas. Primeiro foi encontrado o passo-diâmetro ótimo para cada relação de área, e depois foi comparada a melhor eficiência em águas abertas entre as 4 relações de área.

Com isso foi escolhida a relação de área que se obteve a maior eficiência em águas abertas. Essa comparação foi feita através de uma curva, que pode ser observada na Figura 21.

Figura 21 - Curva de relação de área em função da eficiência em águas abertas



É possível perceber que o gráfico se comporta de forma que a eficiência aumenta de acordo com o aumento da relação de área do propulsor. Não tendo encontrado um valor que fizesse com que a curva decaísse para ser escolhido o ponto mais alto da curva (i.e., o ponto ótimo) foi escolhida a última relação de área. Sendo assim, a Tabela 18 mostra quais foram as características do propulsor ótimo encontradas.

Tabela 18 - Dados do propulsor ótimo

EAR	1,0
P/D	1,4
D	1,40 m
$\eta_0$	0,46
n	4,39 rps
DHP	308,86 kW
T	40,01 kN

Com os dados do propulsor, foi gerada a geometria do mesmo (com o auxílio do PropCAD (INC, 2014), software utilizado para modelagem geométrica de hélices, fornecendo ferramentas para elaboração de desenhos de projeto 2D, 3D e propriedades geométricas. É

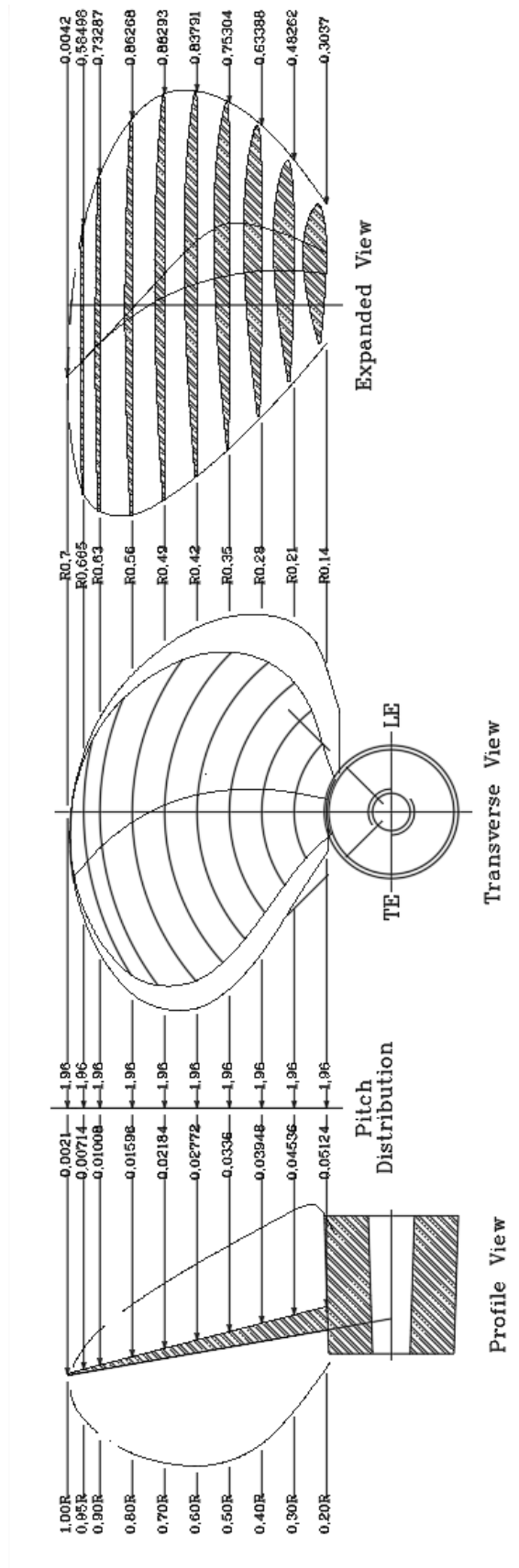
possível observar que o mesmo apresenta um ângulo de rake, usado para aumentar a folga entre a ponta da pá e o casco da embarcação, fazendo com que as folgas do propulsor estejam dentro dos limites estabelecidos. O peso do propulsor obtido pelo software é de 383 kg, sendo o hélice feito de bronze por ser mais leve e mais resistente. Esse valor será útil para a composição da curva de peso da embarcação.

Sendo assim, temos imagens da geometria do propulsor o software Rhinoceros 3D (MCNEEL & ASSOCIATES, 2019) mostrada na Figura 22. As vistas do propulsor e perfil de asa são mostradas na Figura 23, geradas pelo software PolyCAD.

*Figura 22 - Geometria do propulsor ótimo no Rhinoceros*



Figura 23 - Vistas do propulsor otimizado geradas no PropCAD





### 3.4.4.3. Motor

Primeiramente, foram estimadas outras eficiências necessárias para estimativa da potência do motor, que são a eficiência do eixo ( $\eta_s$ ), eficiência mecânica ( $\eta_m$ ) e eficiência rotativa relativa ( $\eta_{rr}$ ). Para cálculo da eficiência rotativa relativa foi utilizada a formulação proposta por Holtrop e Mennen para embarcações com um propulsor (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998), mostrada a seguir:

$$\eta_{rr} = 0,9922 - 0,05908 * \left(\frac{A_E}{A_0}\right) + 0,07424 * (C_p - 0,0225 * LCB) \quad (25)$$

A estimativa das eficiências do eixo e mecânica foram estabelecidas de acordo com a referência (SCHNEEKLUTH; BERTRAM, 1998). A Tabela 19 mostra os valores adotados.

*Tabela 19 - Valores adotados para eficiência*

Eficiência do Eixo	0,97
Eficiência Mecânica	0,95

Após dimensionamento do propulsor, é feita a seleção do motor através dos dados de eficiência calculados e potência efetiva da embarcação. A potência de saída do motor, ou BHP (Brake Horse Power), é estimado através da seguinte formulação:

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_H * \eta_{rr} * \eta_0 * \eta_s * \eta_m} \quad (26)$$

A Tabela 20 mostra os resultados obtidos para as eficiências e BHP do motor.

*Tabela 20 - Estimativa do BHP do motor*

EHP	179,58 kW
$nh$	1,12
$nrr$	0,96
$no$	0,46
$ns$	0,97
$nm$	0,95
BHP total	398,85 kW

Obtendo o BHP do motor, faz-se necessário estimar as margens de sua operação para calcular o MCR (Maximum Continuous Rating) que significa o valor máximo contínuo de potência que o motor pode entregar em condições normais de operação. O MCR é calculado a partir de folgas que são estimadas de acordo com porcentagens da potência de saída do motor e são acrescentadas a potência. A Tabela 21 mostra as margens consideradas e o MCR calculado.

*Tabela 21 – Margens consideradas para cálculo do MCR*

Margem de mar	5%
Margem do motor	10%
Margem de rotação	3%
MCR	470,65 kW

Na margem de mar, comumente tem o valor de 10%, pois é considerada a parcela da resistência adicional por ondas incidentes, porém, como essa parcela já foi calculada e acrescentada na resistência total ao avanço da embarcação, foi considerado apenas 5% para a margem de mar no cálculo do MCR. Com o valor do MCR, é escolhido o motor em catálogo que possua aquela faixa de operação de potência. Por ser uma embarcação relativamente pequena e pela rotação obtida, o motor será de alta rotação.

Através do catálogo é possível obter as curvas de potência e rotação do motor, sabendo então se a potência e rotação necessária para os hélices será atendida em uma condição que não seja a máxima do motor, visto que os motores não irão operar em 100%, e sim aproximadamente a 85% de sua faixa de potência. A partir desse layout básico de operação e carga no motor, também é possível ver se o sistema necessitará de caixa de redução ou terá ligação direta ao eixo propulsor.

Sendo assim, foi escolhido o motor D2868 LE 431 da MAN (RAIL; EN, 2019), como mostra a Figura 24. A Tabela 22 mostra suas especificações e dados operacionais.

*Figura 24 - Motor D2868 LE 431*



*Fonte: (RAIL; EN, 2019)*

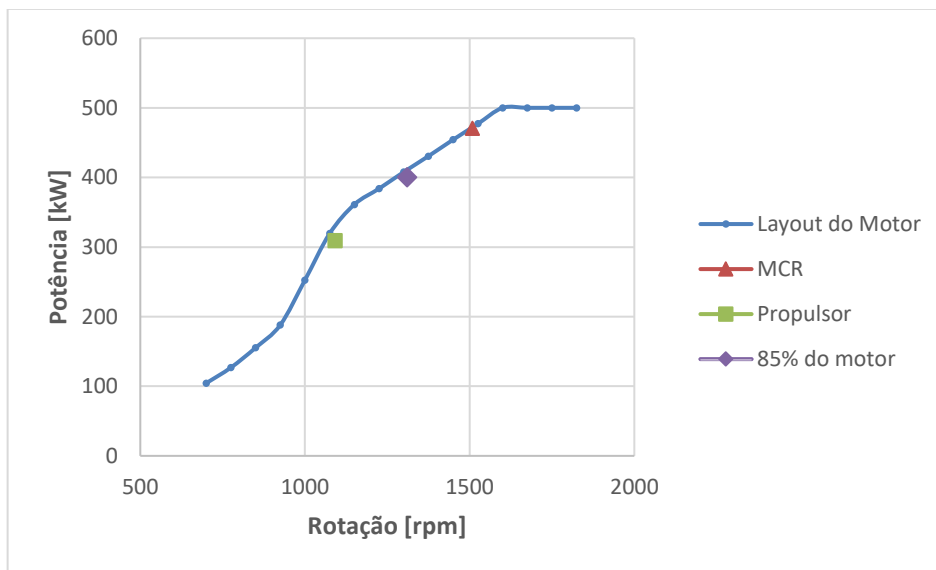
*Tabela 22 - Especificações de operação do motor*

Deslocamento	16,16 L
Potência nominal	500 kW
Rotações	1800 rpm
Torque	2,653 Nm
Torque máximo	2,985 Nm

Consumo específico de combustível	206 g/kWh
Consumo de combustível	123 L/h

Com o intuito de visualizar em qual faixa de operação o motor necessita operar para atender a demanda do propulsor, foi plotada a curva (Figura 25) de potência e indicados o MCR, o ponto de operação necessário para o hélice e o ponto de operação a 85% de carga, ponto em que o motor costuma operar. Através dela, é possível perceber que o motor consegue operar nas faixas demandadas pelo sistema propulsivo.

Figura 25 - Curvas de operação do motor



Tendo escolhido o motor da embarcação, nota-se que a rotação do motor é bem mais elevada do que a rotação do propulsor ótimo, sendo necessária a escolha de uma caixa de redução, com uma redução de 5 para 1. Sendo assim, foi escolhido o redutor RT410 da Tramontini (TRAMONTINI, 2019), como mostra a Figura 26.

Figura 26 - Redutor RT410



Fonte: (TRAMONTINI, 2019)

Suas especificações são apresentadas na Tabela 23.

*Tabela 23 - Especificações do redutor*

Potência máxima	410 CV
Rotação máxima	2000 rpm
Capacidade de óleo	16 L
Redução	3:1/4:1/5:1
Peso	510 kg

#### 3.4.4.4. Eixo

O dimensionamento do eixo propulsor deu-se início com a consideração de que o eixo será formado por dois tipos, sendo ele o eixo propulsivo e o eixo intermediário. Não foi considerado o eixo de empuxo que fica entre o motor e a redução, por supor que sejam ligados diretamente um no outro. Para dimensionamento dos diâmetros, foi utilizada a Parte 4 da norma American Bureau of Shipping (ABS, 2017) para navios de aço com comprimento menor de 90 metros. A metodologia de cálculo leva em consideração a rotação de saída do motor depois da redução e a potência entregue ao eixo, para mais detalhes, pode ser encontrada no Capítulo 3, Seção 1 da referência.

Sendo assim, a Tabela 24 mostra os resultados obtidos para diâmetro mínimo dos eixos considerados no projeto.

*Tabela 24 - Diâmetros dos eixos*

Eixo Intermediário	94,87 mm
Eixo Propulsivo	109,11 mm

Tendo definido o diâmetro e levando em consideração o comprimento do eixo propulsivo da embarcação, uma vez que a praça de máquinas é localizada a vante, serão necessários mancais intermediários ao longo de seu comprimento. Sua escolha foi feita através do catálogo fornecido pela Wartsila (WARTSILA, 2017). De acordo com o diâmetro do eixo intermediário, o mancal escolhido é o 165 do catálogo, como mostra a Figura 27.

Figura 27 - Modelo do mancal intermediário



Fonte: (WARTSILA, 2017)

A Figura 28 mostra suas especificações de operação e características.

Figura 28 - Características do mancal escolhido

Tamanho do Mancal	Diâmetro do Eixo				Comprimento		Peso		Especificações		
	Min		Max		mm	in	kg	lbs	Carga radial (kN)	Min rpm	Max rpm
	mm	in	mm	in							
165	100	3.94	165	6.5	120	4.72	106	233.69	19.8	80	347
210	166	6.54	210	8.27	150	5.91	142	313.06	31.5	62	273
240	211	8.31	240	9.45	180	7.09	176	388.01	43.2	54	239
270	241	9.49	270	10.63	200	7.87	219	482.81	54.0	47	212
300	271	10.67	300	11.81	230	9.06	267	588.63	69.0	43	191

Fonte: Adaptado de (WARTSILA, 2017)

### 3.4.4.5. Leme

O dimensionamento do leme é necessário para que se possa encontrar as folgas que permitem definir o diâmetro máximo do propulsor da embarcação. Sendo assim, foi utilizada a classificadora DNV (DNV, 2000) para dimensionar a área da pá do leme do navio, que foi calculada através da seguinte fórmula, também encontrada no PNA (SNAME, 1990a).

$$A_R = \frac{T * L_{pp}}{100} * \left( 1 + 25 * \left( \frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right) \quad (27)$$

Onde:

$A_R$  : área da pá do leme;

$T$  : calado da embarcação;

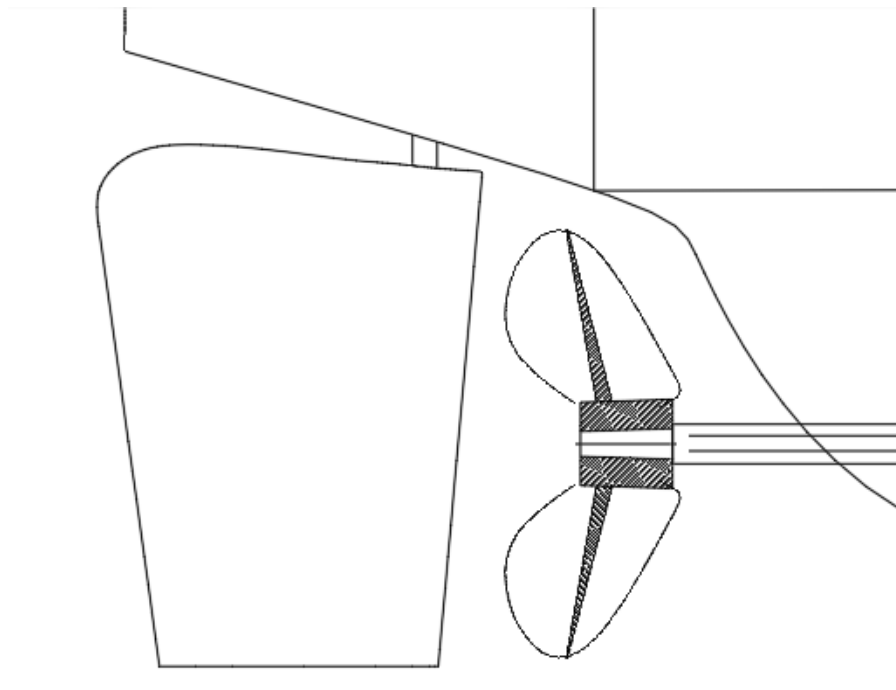
$L_{pp}$  : comprimento entre perpendiculares;

$B$  : boca da embarcação.

Além dessa formulação, também foi levado em consideração um outro fator, que define a porcentagem que a área do leme deve ter em relação as dimensões e tipo de determinadas embarcações, de acordo também com o PNA (SNAME, 1990a). Sendo assim, considerando que a embarcação do presente projeto possui dimensões semelhantes a um rebocador e deve possuir boa manobrabilidade, foi considerado um fator de 2% da medida  $T * L_{pp}$  da embarcação. Dessa maneira, para o calado de projeto, foi obtida uma área de 1,95 m<sup>2</sup>.

O tipo de leme também foi escolhido com base no PNA (SNAME, 1990a), e com o auxílio do software AutoCAD, foi desenhado o perfil de leme para a área calculada, na popa da embarcação. Com isso, é delimitado o espaço limitante do casco para localização do propulsor e suas dimensões. A Figura 29 mostra uma ilustração do perfil longitudinal do leme localizado na embarcação.

*Figura 29 - Ilustração do leme na embarcação no software AutoCAD*



Após definição da área do leme, foi calculado o torque necessário para o sistema de governo da embarcação. A metodologia utilizada é apresentada na Parte 3 da American Bureau of Shipping (ABS, 2008) para embarcações de aço com comprimento menor do que 90 metros. A metodologia de cálculo leva em consideração a área do leme e suas dimensões e a velocidade da embarcação, para mais detalhes, pode ser encontrada no Capítulo 2, Seção 11, Subseção 5 da referência.

Sendo assim, foi encontrado um torque de 5.477,6 N.m para o sistema de governo da embarcação. A máquina de leme escolhida foi a 300 Series do tipo 306 da Bonfiglioli (BONFIGLIOLI, 2019), cujo o mesmo trabalha numa faixa de torque de 8.500 N.m.

#### 3.4.4.6. Bow Thruster

Devido as condições operacionais restritas no porto de Fernando de Noronha, foi decidido dimensionar um sistema de propulsão do tipo Bow Thruster, com o intuito de facilitar a manobrabilidade da embarcação no porto. O dimensionamento desse sistema leva em consideração as forças ambientais atuantes no casco da embarcação (e.g., vento, correnteza e ondas), para poder estimar a força do Bow Thruster a ser instalado.

Para cálculo dessas forças, o primeiro passo foi a obtenção das áreas transversais e longitudinais da embarcação, tanto abaixo quanto acima da linha d'água. As forças de vento atuarão nas áreas acima da linha d'água e superestrutura. As forças de onda e correnteza atuarão nas áreas submersas do casco. As áreas foram obtidas a partir do arranjo geral até então elaborado no AutoCAD, e a Tabela 25 mostra as áreas obtidas do casco e superestrutura da embarcação.

*Tabela 25 - Áreas da embarcação em m<sup>2</sup>*

	Longitudinal	Transversal
Abaixo da LW	90,74	17,33
Acima da LW	50,65	23,89
Superestrutura	20,27	18,61

Foram consideradas as componentes de força longitudinais e transversais atuantes na embarcação para estimativa de força do Bow Thruster.

- Forças de Vento

A metodologia seguida para cálculo das forças ambientais causadas por vento no casco da embarcação é apresentada por (JOURNÉE; MASSIE, 2001), através das seguintes formulações:

$$F_{w_x} = \frac{1}{2} * \rho_{ar} * V_w^2 * C_{w_x}(\alpha_x) * A_T \quad (28)$$

$$F_{w_y} = \frac{1}{2} * \rho_{ar} * V_w^2 * C_{w_y}(\alpha_y) * A_L \quad (29)$$

Onde:

$F_{w_x}$ : Força de vento longitudinal em N;

$F_{w_y}$ : Força de vento transversal em N;

$\rho_{ar}$ : densidade do ar em kg/m<sup>3</sup>;

$V_w$ : velocidade do vento na região em m/s (SURFGURU, 2019) ;

$C_{w_x}(\alpha_x)$  e  $C_{w_y}(\alpha_y)$ : coeficientes dependentes da direção relativa do ar;

$\alpha_x$  e  $\alpha_y$ : direção relativa do ar na longitudinal e transversal;

$A_T$  e  $A_L$ : áreas transversal e longitudinal do casco acima da linha d'água em m<sup>2</sup>, respectivamente.

As forças de vento atuantes na superestrutura da embarcação foi calculada seguindo a metodologia proposta encontrada no Apêndice A da API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; API, 2005), através da seguinte formulação:

$$F_{wS_x} = C_w * C_s * C_H * A_{ST} * V_w^2 \quad (30)$$

$$F_{wS_y} = C_w * C_s * C_H * A_{SL} * V_w^2 \quad (31)$$

Onde:

$F_{wS_x}$  e  $F_{wS_y}$ : força de vento longitudinal e transversal atuantes na superestrutura em N;

$C_w$ : coeficiente de vento (0,615 N.s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>);

$C_s$ : coeficiente de forma de acordo com Tabela A-1 (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; API, 2005);

$C_H$ : coeficiente de altura de acordo com Tabela A-2 (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; API, 2005);

$A_{ST}$  e  $A_{SL}$ : áreas transversal e longitudinal da superestrutura em m<sup>2</sup>.

A Tabela 26 mostra os resultados encontrados para as forças de vento atuantes na embarcação. É possível observar que a maior parcela de força é a componente transversal, uma vez que a área longitudinal é maior e a força é proporcional ao tamanho da área de atuação.

*Tabela 26 - Resultados das forças ambientais de vento na embarcação*

Força longitudinal do vento no casco	0,52 kN
Força transversal do vento no casco	2,10 kN
Força longitudinal do vento na superestrutura	0,93 kN
Força transversal do vento na superestrutura	1,01 kN
<b>Força do vento longitudinal total</b>	<b>1,45 kN</b>
<b>Força do vento transversal total</b>	<b>3,11 kN</b>

- Forças de Correnteza



A metodologia seguida para cálculo das forças ambientais causadas pela correnteza no casco da embarcação é apresentada no Apêndice A da API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; API, 2005), através das seguintes formulações:

$$F_{c_x} = c_{cx} * A_{L\_sub} * V_c^2 \quad (32)$$

$$F_{c_y} = c_{cy} * A_{T\_sub} * V_c^2 \quad (33)$$

Onde:

$F_{c_x}$  e  $F_{c_y}$ : forças de correnteza na longitudinal e transversal em N;

$c_{cx}$ : coeficiente de força de correnteza na proa, 2,89 N.s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>;

$c_{cy}$ : coeficiente de força de correnteza no costado, 72,37 N.s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>;

$A_{L\_sub}$  e  $A_{T\_sub}$ : área longitudinal e transversal submersas do casco, em m<sup>2</sup>;

$V_c^2$ : velocidade da correnteza na região, em m/s (BECCARIO, 2019; SURFGURU, 2019).

A Tabela 27 mostra os valores obtidos para forças de correnteza na embarcação. Assim como na força de vento, é possível observar que a componente transversal da força de corrente é maior do que a longitudinal, devido a área longitudinal da embarcação ser maior.

*Tabela 27 - Resultados para forças de correnteza no casco*

Força longitudinal de correnteza no casco	0,008 kN
Força transversal de correnteza no casco	1,051 kN

- Forças de Ondas

As forças atuantes na embarcação por ondas possui uma certa complexidade de cálculos devido as 3 categorias de força que é composta, sendo elas: (i) forças de primeira ordem que oscilam na frequência das ondas induzindo movimentos de primeira ordem, sendo conhecidos como movimentos de alta frequência ou frequência de onda; (ii) forças de segunda ordem que oscilam com frequências abaixo da frequência das ondas induzindo movimentos de segunda ordem, conhecidos como movimentos de baixa frequência; e (iii) força constante de segunda ordem, conhecida como forças médias de desvio de onda (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; API, 2005).

Devido a sua complexidade de cálculo e necessidade de simulações com o modelo em softwares, foi considerado que a parcela devido a ondas estaria incluída no cálculo da resistência por ondas incidentes (Seção 3.4.4.1). Ainda assim, deve-se levar em consideração que o cálculo da resistência por incidência de ondas está sendo calculado com ângulo de incidência de 180°, ou seja, incidindo na proa da embarcação e que haverá ondas incidindo no costado da mesma. Sendo assim, foi considerado para cálculo preliminar do projeto o mesmo valor da força transversal de correnteza no casco, para a força de ondas atuando no costado

lateral da embarcação. Sendo assim tem-se uma força transversal de onda equivalente a 1,05 kN.

Somando todas componentes de força temos um total de 1,46 kN para forças ambientais atuando na longitudinal da embarcação, e um total de 5,21 kN atuando na transversal do casco. Foi considerado que o Bow Thruster deve suprir pelo menos metade da maior componente de força ambiental no casco, deixando o restante para o propulsor da embarcação. Sendo assim, foi escolhido um Bow de no mínimo 266 kgf. Foi escolhido o Bow Thruster elétrico SE 300 da Side-Power (SIDE-POWER, 2019), mostrado na Figura 30, com capacidade de operação de 300 a 350 kgf. Possui um diâmetro de 0,3 metros e peso de 73 kg.

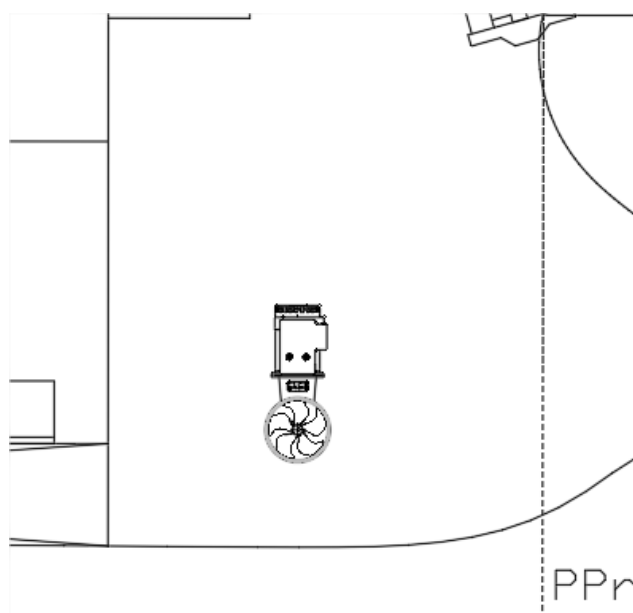
*Figura 30 - Bow Thruster SE 300*



*Fonte: (SIDE-POWER, 2019)*

A localização do Bow Thruster foi definida de acordo com os limites estabelecidos pelo manual de instrução do equipamento (SIDE-POWER, 2019). A Figura 31 mostra a posição do Bow Thruster na embarcação.

Figura 31 - Ilustração do Bow Thruster na embarcação



### 3.4.5. Balanço Elétrico

Para escolher a quantidade de equipamentos necessários em cada um dos grupos, foi feita a comparação de balanços elétricos feitos em PSVs, rebocadores e outras embarcações menores como pesqueiros. O balanço elétrico foi feito com o auxílio de uma planilha Excel, onde foram inseridos os quantitativos e potência necessária dos equipamentos utilizados nas diferentes condições de operação da embarcação. A Tabela 28 mostra os quantitativos gerais de cada grupo em cada uma das condições operacionais.

Tabela 28 - Balanço elétrico da embarcação

		No Mar		Em Manobra	Carga e Descarga	No Porto Fundeado	Limpeza de Tanques
		Essencial	Normal				
Grupo 1	Praça de Máquinas (Serviço Contínuo)	16,76	16,76	16,76	21,76	8,87	28,86
Grupo 2	Praça de Máquinas (serviço intermitente)	0,00	0,00	0,00	4,85	4,04	4,47
Grupo 3	Praça de Máquinas (Diversos)	0,93	2,18	3,15	3,15	0,74	0,21
Grupo 4	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado	0,00	38,35	38,35	38,35	38,35	18,75
Grupo 5	Frigorífica de Provisões (equipamentos)	0,00	2,26	2,26	0,00	0,00	0,00
Grupo 7	Máquinas de Convés	0,96	3,12	4,32	4,86	0,00	0,00
Grupo 8	Cozinha / Copa	0,00	16,49	0,55	0,55	0,55	0,55
Grupo 9	Lavanderia	0,00	1,65	0,00	0,00	1,65	0,00
Grupo 10	Oficinas	0,00	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Grupo 11	Iluminação	10,98	48,31	48,31	48,31	26,35	21,96
Grupo 12	Equipamentos Náuticos e de Auxílio à Navegação	9,91	9,91	7,78	3,76	5,40	1,63
Total		39,54	140,00	122,45	<b>126,56</b>	86,91	77,39

É possível observar que a situação de maior demanda de energia tem um consumo de 140 kW de potência ativa. A fim de escolher o gerador de energia da embarcação, foi considerado uma margem de 25% para a maior energia calculada, totalizando 175 kW de energia. Sendo assim foi escolhido dois do Grupo Gerador Marítimo a diesel C7.1 da Caterpillar (CATERPILLAR, 2019), que possui uma faixa de operação de 100 kW a 200 kW, cada um (Figura 32). Suas dimensões são apresentadas na Tabela 29.

*Figura 32 - Gerador marítimo C7.1*



*Fonte: (CATERPILLAR, 2019)*

*Tabela 29 - Dimensões do gerador*

Comprimento	1935	mm
Largura	956	mm
Altura	1263	mm
Peso	1840	kg

### **3.4.6. Projeto Estrutural**

Nessa seção são apresentados os resultados obtidos a partir do projeto estrutural da embarcação. Todas as análises e cálculos seguiram os regulamentos apresentados na Parte 3 da American Bureau of Shipping (ABS, 2008) para embarcações com comprimento menor de 90 metros. O software utilizado para elaboração de todos os cálculos foi o SMATH (IVASHOV, 2006).

#### **3.4.6.1. Espaçamentos entre Cavernas**

O espaçamento entre cavernas da embarcação foi definido com base nos regulamentos propostos pela Bureau Colombo Brasil – Regra para Construção e Classificação de Embarcações de Aço para Navegação em Mar Aberto (BUREAU COLOMBO BRASIL, 2008), pois a ABS não apresenta uma metodologia de cálculo para definir esse valor. Foi considerado

um valor único de espaçamento estrutural ao longo de toda a embarcação. O valor foi calculado a partir da seguinte formulação, apresentada na Seção 8, Subseção 8.1 – Estrutura Transversal.

$$s = \frac{LOA}{500} + 0,48 \quad (34)$$

Onde:

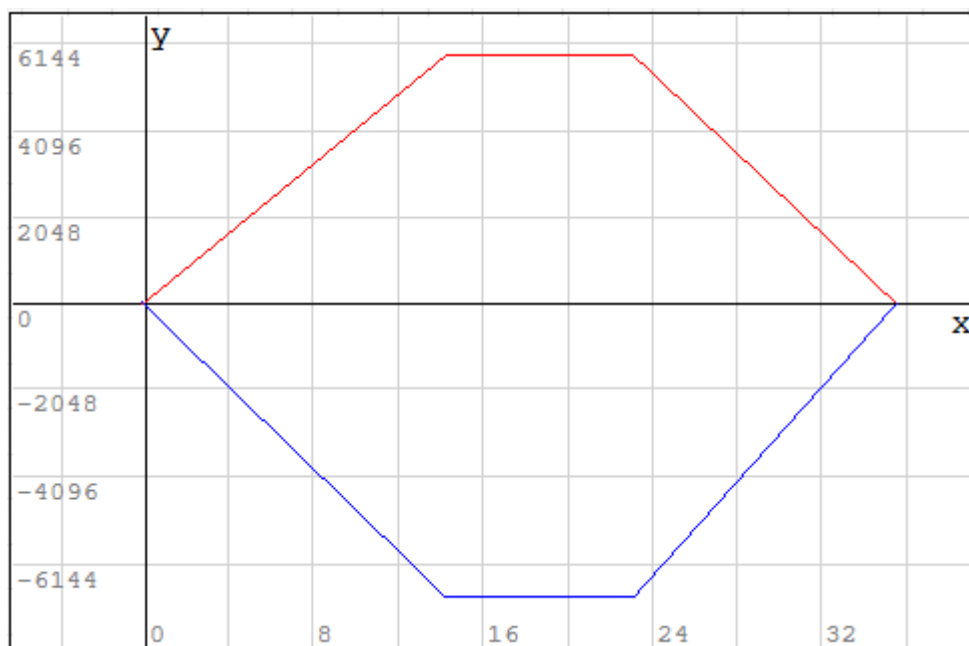
s: espaçamento das cavernas transversais, sendo o valor máximo permitido de 1 metro (BUREAU COLOMBO BRASIL, 2008).

O valor assumido foi de 0,555 metros. Todas as anteparas e estruturas transversais foram posicionadas de forma que estivessem em um valor múltiplo do encontrado, a fim de garantir uma maior integridade estrutural e padronização do arranjo geral e estrutural da embarcação.

### 3.4.6.2. Momento de Flexão

A metodologia de cálculo do momento de flexão de onda na embarcação é apresenta no Capítulo 2, Seção 1, Subseção 3.3.3(a). A partir dos cálculos foi gerado o gráfico do envelope de momento de alquebramento e tosamento ao longo do comprimento da embarcação, como mostra a Figura 33.

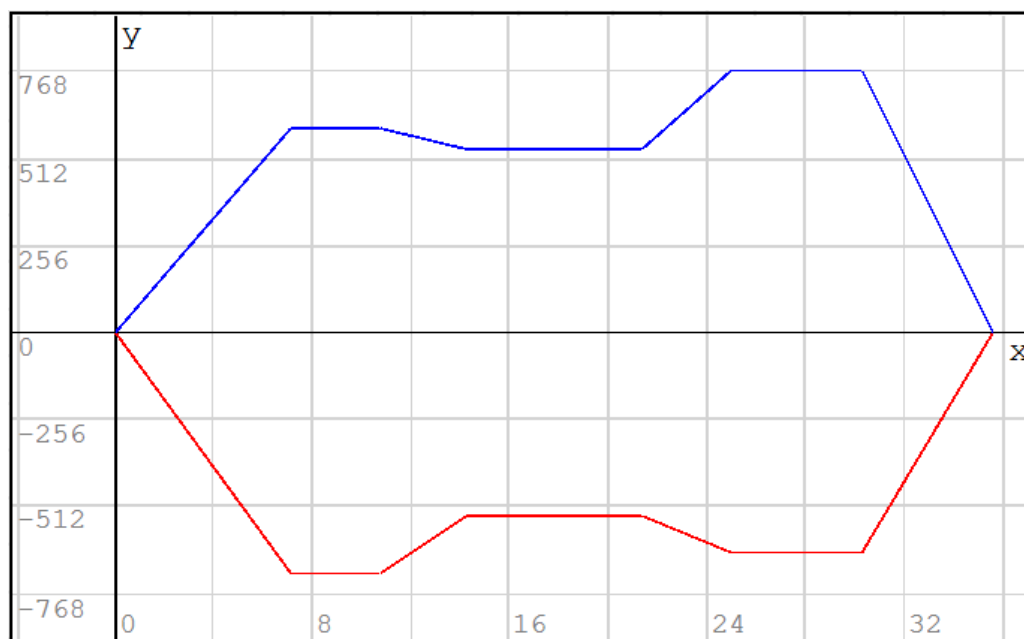
Figura 33 - Envelope de momentos



### 3.4.6.3. Força Cisalhante

A metodologia de cálculo da força cisalhante de onda na embarcação é apresenta no Capítulo 2, Seção 1, Subseção 3.3.3(c). A partir dos cálculos foi gerado o gráfico do envelope de esforço cisalhante positivo e negativo ao longo do comprimento da embarcação, como mostra a Figura 34.

Figura 34 - Envelope de esforço cortante



#### 3.4.6.4. Espessura dos Chapeamentos

A referência da norma (ABS, 2008) para a metodologia de cálculo da espessura ( $t$ ) das chapas da embarcação é apresentada na Tabela 30, assim como os resultados obtidos.

Tabela 30 - Espessura dos chapeamentos da embarcação

Capítulo	Seção	Subseção	$t$ [mm]	Elemento estrutural
2	2	3.3	6,87	Chapeamento do fundo
2	2	5.1	6,64	Chapeamento do costado
2	2	5.1	6,58	Chapeamento do costado a ré
2	2	5.7.1	5,82	Chapeamento da lateral do castelo de proa
2	2	5.7.2	2,26	Chapeamento da lateral do castelo de popa
2	3	3.1	5,63	Espessura do convés
2	4	1.3.1	7,49	Espessura da viga central a meia-nau
2	4	1.3.2	6,37	Espessura da viga central a vante e a ré da meia-nau
2	4	1.5	5,98	Vigas laterais
2	4	1.13	7,81	Espessura do reforço do fundo
2	4	3.3/3.3.1	7,24	Espessura das longarinas centrais
2	4	3.3/3.3.2	6,15	Espessura das longarinas centrais a vante e ré
2	7	5.1	8,05	Espessura das anteparas

#### 3.4.6.5. Módulos de Seção

A referência da norma (ABS, 2008) para a metodologia de cálculo do módulo de seção ( $SM$ ) dos reforços estruturais da embarcação é apresentada na Tabela 31, assim como os resultados obtidos e escolha dos perfis comerciais.

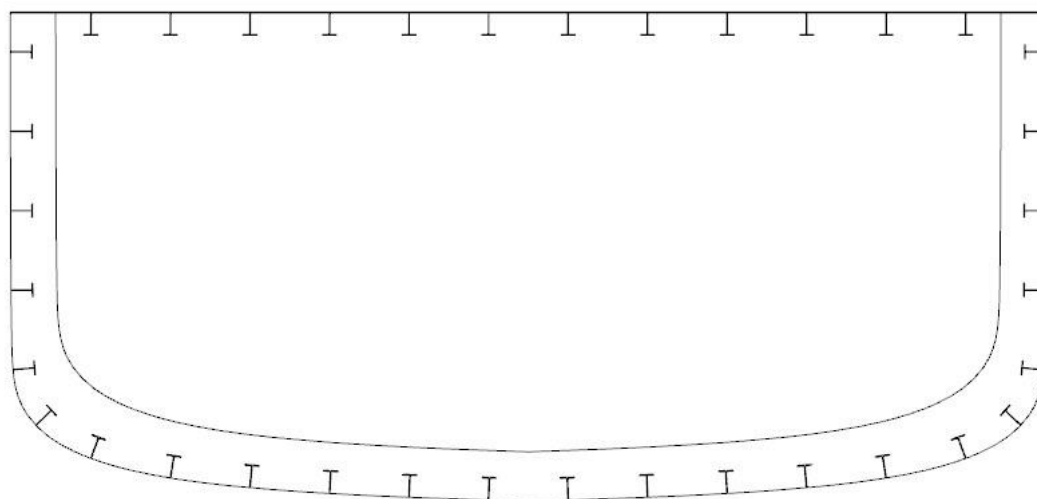
Tabela 31 - Reforços estruturais dimensionados

Capítulo	Seção	Subseção	SM [cm <sup>3</sup> ]	Reforço estrutural	Perfil
2	4	5.3.1	122,01	Longarinas do fundo	W 150x18,4
2	5	3.1	69,87	Reforços longitudinais das cavernas	W 150x13
2	5	5.1	69,87	Reforços transversais das cavernas	W 150x13
2	5	5.5.2	39,51	Cavernas a vante	W 150x13
2	5	5.5.2	17,73	Cavernas a ré	W 150x13
2	5	7.1	20,17	Cavernas gigantes	W 150x13
2	5	11.1	20,17	Escoas	W 150x13
2	7	5.3	45,82	Anteparas	W 150x13
2	8	5.3	69,87	Reforço dos tanques de fundo	W 150x13
2	9	3.3	59,83	Reforços da superestrutura	W 150x13

### 3.4.6.6. Seção Mestra

Tendo obtido os perfis estruturais e realizado a análise estrutural, foi feita a ilustração da seção mestra da embarcação, como mostra a Figura 35. É possível perceber que a embarcação não apresenta fundo e nem costado duplo, uma vez que a sociedade classificadora não exige tais elementos estruturais para embarcações desse porte, desde que a mesma suporte os carregamentos e esforços atuantes ao longo de seu comprimento.

Figura 35 - Seção mestra da embarcação



### 3.4.7. Arranjo Geral Detalhado

Nesta seção são apresentados a metodologia escolhida e os resultados encontrados para composição do arranjo geral detalhado da embarcação.

#### 3.4.7.1. Sistema de Amarração e Fundeio

Nesta seção será apresentada a metodologia de seleção e dimensionamento dos equipamentos do sistema de amarração e fundeio da embarcação. O sistema de amarração e fundeio é um conjunto de equipamentos necessários para uma embarcação se manter em um determinado local, seja atracada em portos ou operando em canais, rios e mar aberto. Esse sistema tem o intuito de evitar que a embarcação seja arrastada pela correnteza e vento.

#### 3.4.7.1.1. Número de Equipamentos

Para definir o número mínimo de equipamentos necessários para a embarcação, seguiu-se o regulamento proposto na Parte 3, Capítulo 5, Seção 1, Tópico 3 da American Bureau of Shipping (ABS, 2008) para embarcações com comprimento menor de 90 metros. O resultado obtido foi de 143 equipamentos. Para navios com quantidade de equipamentos menor do que 205, deve-se seguir os regulamentos dos Tópicos 3.3 e 3.5 (ABS, 2008). Com isso, foi encontrado um valor de 120 equipamentos para a embarcação.

#### 3.4.7.1.2. Seleção da Âncora

De acordo com o disposto na Parte 3, Capítulo 5, Seção 1, Tópico 19 da American Bureau of Shipping (ABS, 2008), o tipo de âncora é definido de acordo com o número de equipamentos. A Tabela 32 mostra os resultados obtidos para a âncora da embarcação.

*Tabela 32 - Dados para seleção das âncoras*

Quantidade de âncoras	2
Peso por âncora	300 kg
Diâmetro do elo das amarras	17,5 mm

Sendo assim, é possível selecionar as âncoras através de catálogos de fabricantes. O tipo de âncora escolhido foi o Danforth por ser um tipo utilizado em diversos tipos e tamanhos de embarcações, apresentando um poder de unhar maior que os outros tipos de âncoras (e.g., Almirantado, Patente) (FONSECA, 2006). Com base nisso e nos dados encontrados, foi escolhida a âncora da Guanheng (GUANHENG, 2019a), como ilustra a Figura 36 - Modelo de âncora escolhida.

*Figura 36 - Modelo de âncora escolhida*





Fonte: (GUANHENG, 2019a)

### 3.4.7.1.3. Seleção das Amarras

Através da seleção da âncora, têm-se o diâmetro dos elos das amarras para o sistema de amarração. De acordo com o descrito na Parte 3, Capítulo 5, Seção 1, Tabela 2 da ABS (ABS, 2008), tem-se definido na Tabela 33 as seguintes informações a respeito dos cabos de amarração e reboque.

Tabela 33 - Dados dos cabos de reboque e amarração

Comprimento do cabo de reboque	180 m
Número de cabos de reboque	1
Comprimento de cada cabo de amarração	120 m
Número de cabos de amarração	3
Comprimento total de cabos de amarração	360 m

Com isso, foi escolhida as amarras do mesmo fabricante da âncora, a Guanheng (GUANHENG, 2019b). Foi escolhida a corrente do tipo Studlink, comumente utilizada em embarcações de produção, carga e descarga, apresentando uma estabilidade maior com o aumento do ângulo de rotação da amarra (KULKARNI; CHHAPKHANE, 2013). A Tabela 34 mostra os dados de peso e força da amarra escolhida.

Tabela 34 - Dados das amarras

Carga de tração	89 kN
Carga de freio	127 kN
Peso específico	6 kg/m

### 3.4.7.1.4. Paiol de Amarras

O paiol de amarras é um compartimento localizado na proa da embarcação, onde são guardadas as amarras. Comumente é localizada abaixo do molinete e junto a antepara de colisão. A metodologia utilizada para definir o volume do paiol de amarras pode ser encontrada na referência (FONSECA, 2006), dada pela seguinte formulação:

$$V_a = \frac{L \cdot d^2}{c} \quad (35)$$

Onde:

$V_a$ : volume ocupado por uma amarra, em pés cúbicos (1 pé cúbico = 0,028 metros cúbicos);

$L$ : comprimento da amarra, em braças (1 braça = 1,83 metros);

$d$ : bitola da amarra, em polegadas (1 polegada = 2,54 centímetros);

$c$ : coeficiente de arrumação, sendo  $c = 3$  para arrumação cuidadosa;

$V_p$ : volume do paiol de amarras, que deve ser pelo menos 1,5 vezes o valor de  $V_a$ .

Seguindo essa metodologia, o valor mínimo calculado para o volume do paiol de amarras foi de 1,3 m<sup>3</sup>. Esse valor será utilizado na elaboração do arranjo geral detalhado da embarcação.

#### 3.4.7.1.5. Escovém

O escovém é a abertura na proa da embarcação que serve de passagem para as amarras da âncora e alojamento da âncora. Essa abertura deve ser localizada da proa a uma distância entre 1/20 e 1/30 do comprimento da embarcação. (FONSECA, 2006). O diâmetro da abertura foi estimado em no mínimo 10 vezes o diâmetro das amarras, sendo esse valor de 175 mm.

#### 3.4.7.1.6. Seleção do Molinete

Molinete é o equipamento que tem a função de suspender a âncora da embarcação com suas amarras. Para selecionar o molinete mais adequado, foi utilizada a metodologia proposta no Volume 1, Parte 3, Capítulo 5, Seção 8 da Lloyd's Register (REGISTER, 2015), que calcula quais as cargas que o molinete precisa suportar de acordo com o peso da âncora, diâmetro e comprimento das amarras. Sendo assim, foi escolhido o molinete mais adequado aos resultados encontrados no catálogo da Deyuan Marine (MARINE, 2019), como mostra a Figura 37. A Tabela 35 mostra os dados de operação do molinete.

Figura 37 - Modelo de molinete escolhido



Fonte: (MARINE, 2019)

Tabela 35 - Dados de operação do molinete

Diâmetro da corrente	17,5 mm
Carga de trabalho	13 kN
Carga máxima suportada	80 kN

Carga de deformação	8 kN
Potência do motor	5,5 kW
Peso aproximado	1000 kg

### 3.4.7.2. Equipamentos de Salvatagem

Para definir os equipamentos de salvatagem da embarcação, assim como a quantidade necessária, foram utilizados os regulamentos do Capítulo 3, Seção 3 da Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS, 1974) e o Capítulo 4 da NORMAM 01 (DPC, 2005).

Para embarcações menores de 100 metros de comprimento, o número mínimo de boias salva-vidas é 8. Como a tripulação é de 6 pessoas, foi assumido um total de 12 boias, tendo aproximadamente 2,5 kg cada uma. Além das boias, embarcações de passageiros devem conter coletes salva-vidas para no mínimo 5% do total de passageiros a bordo, pesando cada um aproximadamente 2,5 kg. Esses equipamentos, ilustrados na Figura 38 devem ser espalhados pelo convés e passadiço da embarcação.

*Figura 38 – Boia e colete salva-vidas*



*Fonte: (NÁUTICA, 2019)*

Tendo conhecimento das condições de mar que a embarcação está sujeita a operar, foi decidido acrescentar uma jangada salva-vidas para o caso de abandono da embarcação. esse tipo de jangada é armazenado em pequenos containers (Figura 39) que ao serem lançados no mar se abrem em uma jangada. A embarcação possuirá duas jangadas, uma em cada bordo.

Figura 39 - Jangada salva-vidas



Fonte: (VIKING, 2019)

### 3.4.7.3. Guindaste

Sabendo das limitações encontradas no porto de Fernando de Noronha para descarregar as mercadorias da embarcação (Seção 1.1), foi escolhido um guindaste com o intuito de facilitar a operação de carregamento e descarregamento. Nenhuma das embarcações que operam no trajeto Recife – Fernando de Noronha possuem guindaste.

Para definir suas dimensões, foi levado em consideração as dimensões do casco e altura do porto de Fernando de Noronha. Foi selecionado apenas um guindaste a bombordo da embarcação, por ser o lado que comumente as embarcações atracam na ilha. O modelo escolhido, ilustrado na Figura 40, do fabricante Macgregor, possui uma capacidade de sustentação de 3 a 4 toneladas de carga, pesando aproximadamente 8 toneladas, com um braço de alcance de até 10 metros de comprimento e altura. Com essas dimensões, é possível alcançar todos os compartimentos da embarcação e a altura do porto de Fernando de Noronha até mesmo em maré baixa.

Figura 40 - Guindaste Triplex KNC 30 TM



Fonte: (MACGREGOR, 2019)

#### 3.4.7.4. Planejamento das Acomodações

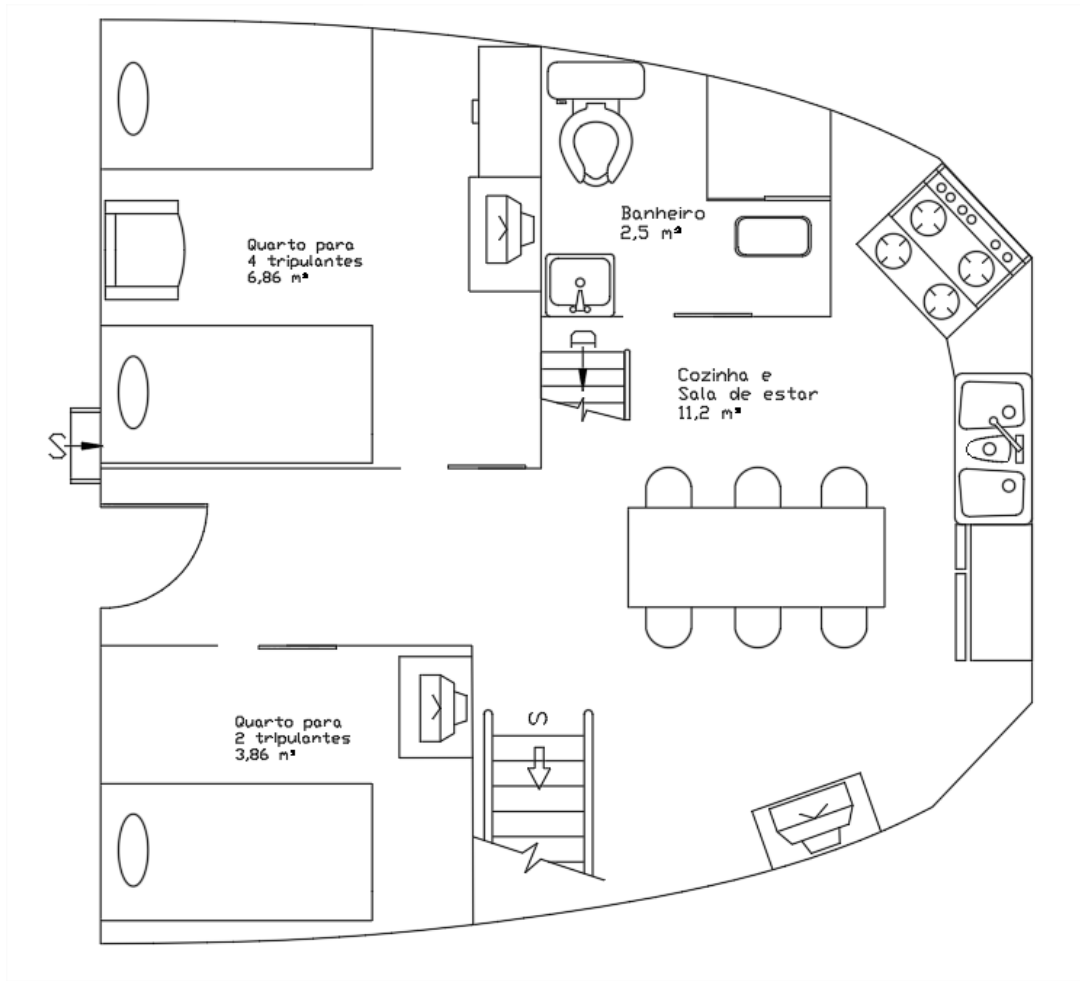
O planejamento das acomodações é realizado a partir da tripulação e espaço físico para a superestrutura da embarcação, que apresentará 2 pisos com uma altura de 2,5 metros, cada. As dimensões e posição das escadas de acesso aos pisos foram baseadas na embarcação Iporanga II (Figura 41), que também opera no trajeto de Recife para Fernando de Noronha.

*Figura 41 - Superestrutura da embarcação Iporanga II*



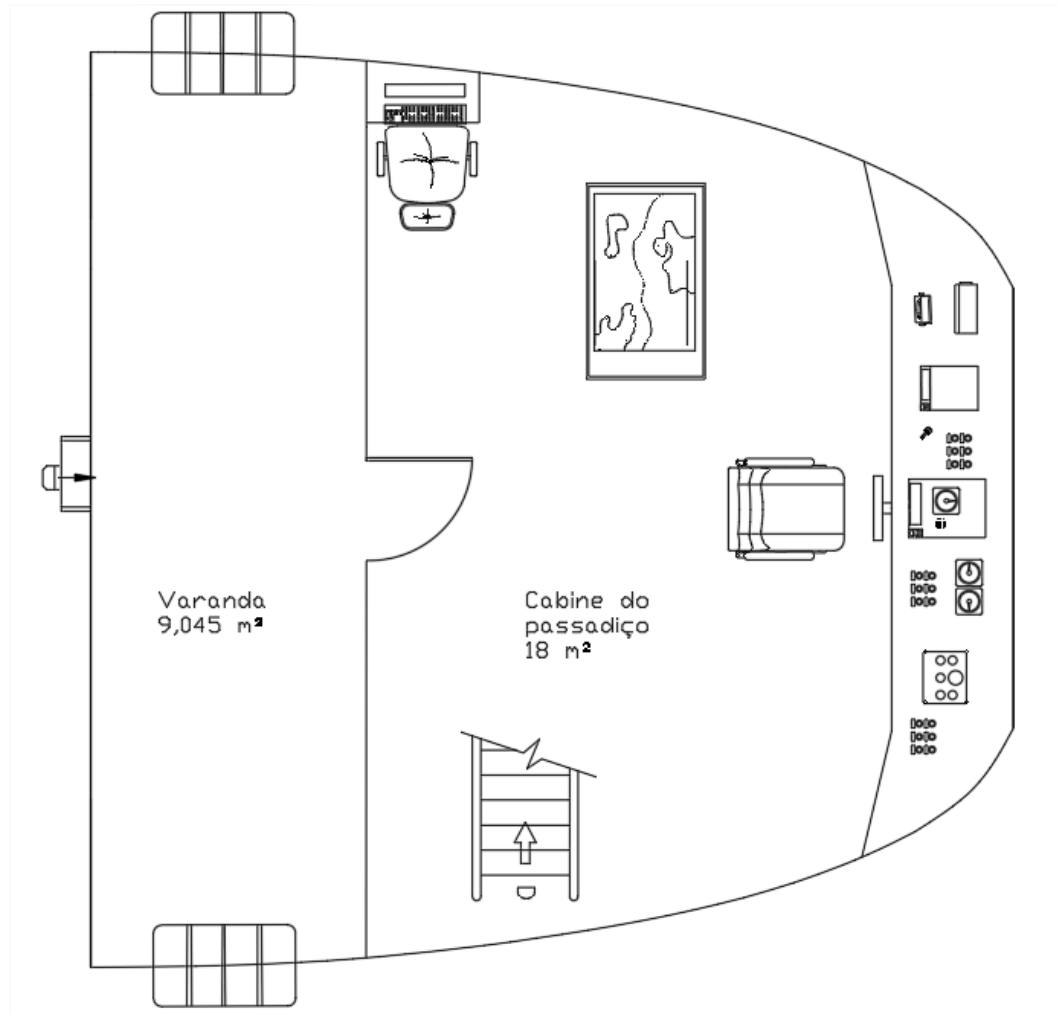
O arranjo das acomodações foi feito com base na embarcação Mr. NR, visitada no porto de Recife em maio de 2017. Pelo pouco espaço presente na embarcação para as acomodações dos tripulantes, o primeiro piso localizado no térreo, é composto por uma cozinha e sala de estar conjunta, um banheiro e dois quartos, como mostra a Figura 42. Um dos quartos possui dois beliches para 4 tripulantes (e.g., 2 marinheiros de convés, marinheiro de máquinas e cozinheiro) e o outro possui um beliche para 2 tripulantes (e.g., comandante e chefe de máquinas).

Figura 42 - Acomodações do 1º piso da casaria



O segundo piso é composto pelo passadiço e uma varanda, como mostra a Figura 43. No passadiço estão localizados os equipamentos necessários de navegação, apresentados no Anexo 4 da NORMAM 01 (DPC, 2005). As jangadas salva-vidas selecionadas (Seção 3.4.7.2) estão localizadas na varanda do 2º piso.

Figura 43 - Acomodações do 2º piso da casaria



A Tabela 36 mostra a área de cada um dos espaços definidos no arranjo das acomodações.

Tabela 36 - Área das acomodações

<b>Acomodação</b>	<b>Área [m²]</b>
Cozinha e sala de estar	11,2
Banheiro	2,5
Quarto para 4 tripulantes	6,86
Quarto para 2 tripulantes	3,86
Passadiço	18
Varanda	9,045

O cálculo do peso da superestrutura foi feito utilizando a seguinte formulação apresentada na referência (VENTURA, 2009), que estima o peso através da área ocupada pelos pisos da casaria.

$$P_{casaria} = P_s * A_s \quad (36)$$

Onde:

$P_{casaria}$ : peso da casaria, em kg;

$P_s$ : constante de peso específico, 190 kg/m<sup>2</sup> para casaria a vante da embarcação;

$A_s$ : área de cada piso da casaria, em m<sup>2</sup>.

Nessa estimativa foi acrescentado um percentual de 20% a fim de incluir também o peso dos móveis, eletrodomésticos e equipamentos do passadiço no valor encontrado. Sendo assim foi encontrado um valor de 10,26 toneladas como peso total da superestrutura da embarcação.

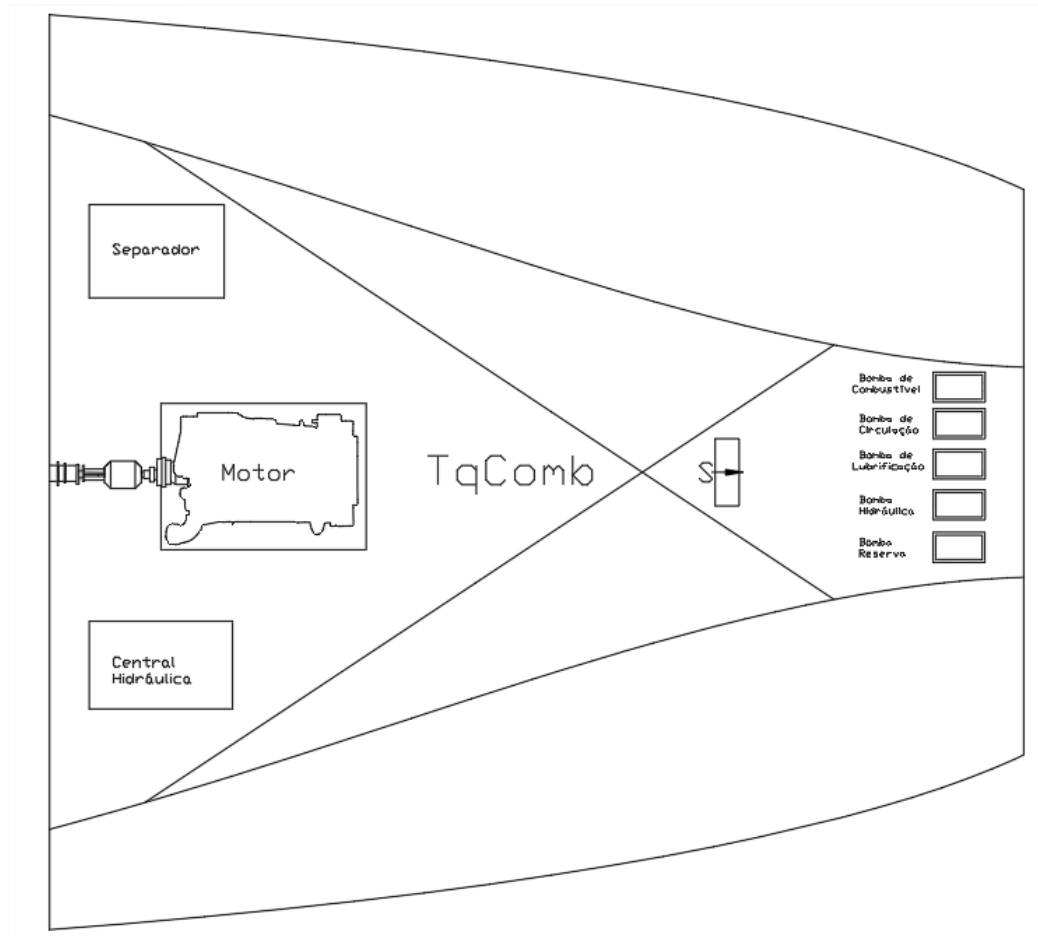
#### **3.4.7.5. Planejamento da Praça de Máquinas**

Nesta seção são apresentados o arranjo da praça de máquinas e escolha de alguns equipamentos necessários para funcionamento dos sistemas da embarcação, juntamente com seus pesos para análise da curva de peso. O arranjo da praça de máquinas de uma embarcação é uma das etapas mais complexas do projeto, uma vez que envolve diversos sistemas e equipamentos para serem dimensionados e posicionados em um espaço muitas vezes limitado.

O 1º piso da praça de máquinas tem uma área de 22,85 m<sup>2</sup>, e nele estão posicionados o motor principal, bombas, separador de água e óleo e uma central hidráulica para controle do guindaste e leme, como mostra a Figura 44. O separador de água e óleo possui aproximadamente 260 kg, as bombas escolhidas possuem em média 7 kg cada para auxiliar o sistema de combustível, circulação de água, lubrificação e sistema hidráulico. A central hidráulica possui aproximadamente 300 kg.

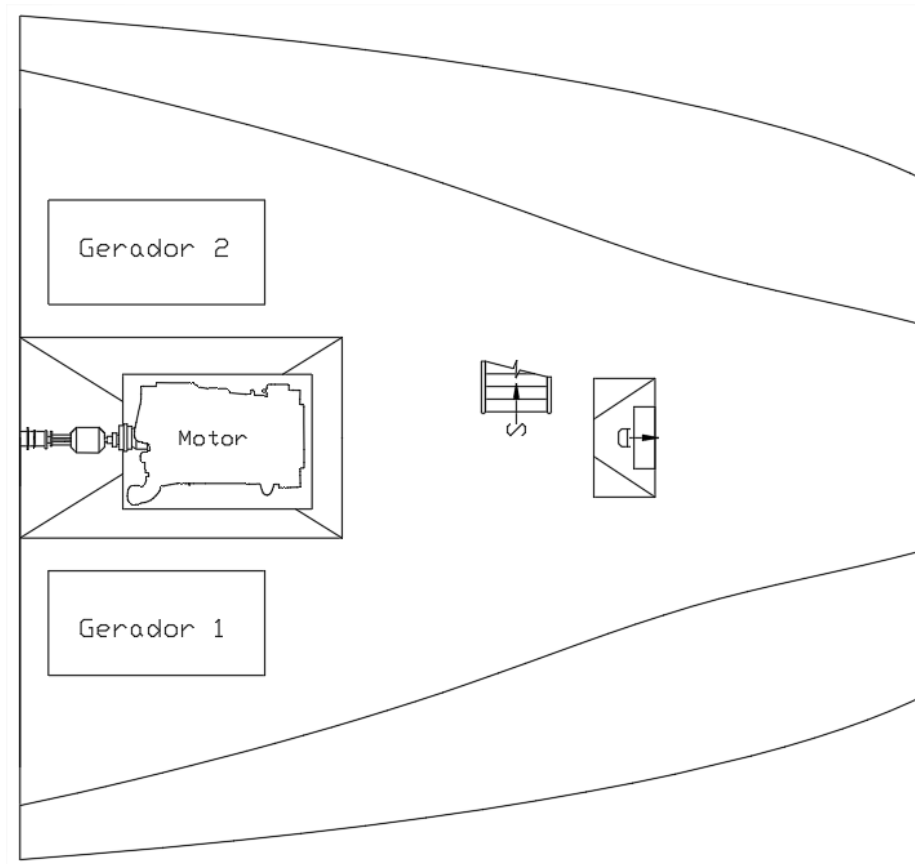


Figura 44 - 1º piso da praça de máquinas



O 2º piso da praça de máquinas possui 28 m<sup>2</sup>, e nele estão posicionados os dois geradores dimensionados no balanço elétrico do projeto (Seção 3.4.5), como é mostrado na Figura 45. O peso de cada um dos geradores é de 1840 kg.

Figura 45 - 2º piso da praça de máquinas



### 3.4.7.6. Tanques de Consumíveis

Nesta seção são apresentados o dimensionamento dos tanques de consumíveis da embarcação (e.g., óleo combustível, água doce). Para dimensionar o volume dos tanques, aplicou-se a seguinte formulação como metodologia básica. Foi considerado um acréscimo de 20% no volume dos tanques como margem de segurança, a fim de assegurar a autonomia da embarcação.

$$\text{Volume} = \frac{\text{consumo} * \text{potência} * \text{tempo de viagem}}{\text{densidade do fluido}} \quad (37)$$

Onde:

*consumo*: consumo do equipamento, em g/kWh;

*potência*: potência do equipamento, em kW;

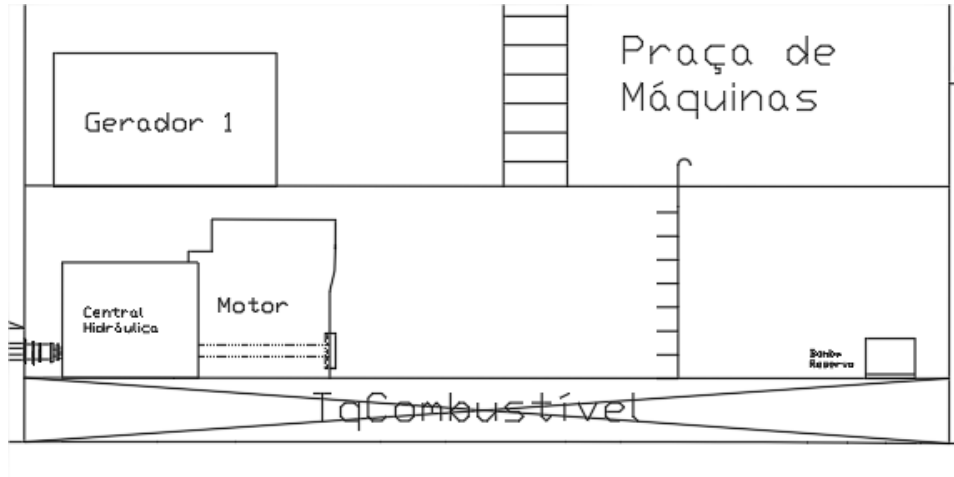
*tempo de viagem*: duração total da viagem de Recife para Fernando de Noronha, em horas;

*densidade do fluido*: densidade do fluido consumível, em g/m<sup>3</sup>.

O dimensionamento dos tanques de combustível levou em consideração os dados de consumo do combustível e potência do motor principal. Com isso, foi obtido um volume de

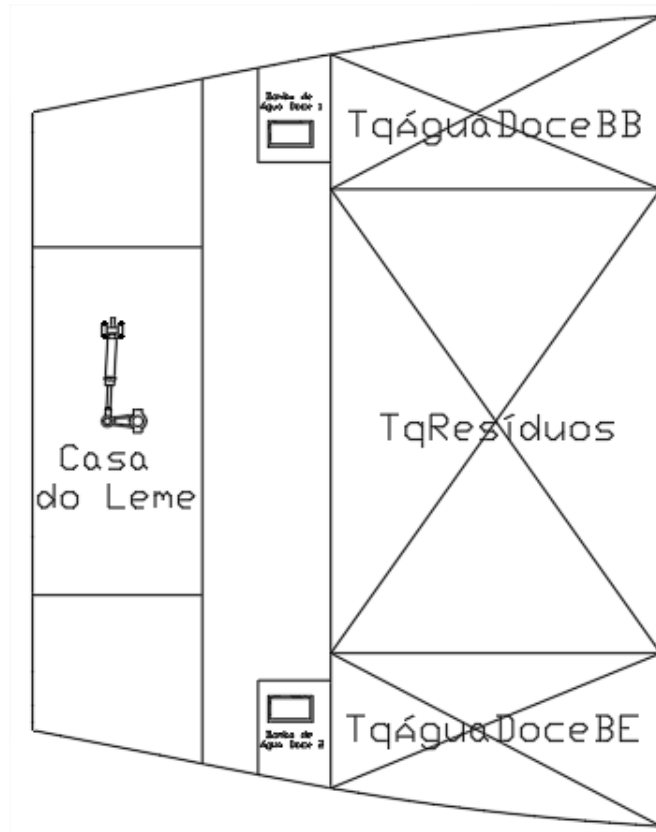
11,02 m<sup>3</sup> para o tanque de combustível, o que equivale a 8,82 toneladas de combustível. Esse tanque ficou localizado abaixo do 1º piso da praça de máquinas, como mostra a Figura 46.

Figura 46 - Vista longitudinal da praça de máquinas



Os tanques de água doce foram dimensionados levando em consideração os dias de viagem, consumo de água médio por tripulante e total da tripulação. O volume total dos tanques foi de 6,48 m<sup>3</sup>, o que equivale a 6,48 toneladas de água, sendo posicionados na popa da embarcação, como mostra a Figura 47, assim como a casa do leme e tanque de resíduos. Além disso, foram selecionadas duas bombas de água doce, com peso aproximado de 10 kg cada uma. O acesso a esse compartimento é dado por uma gaiuta no convés.

Figura 47 - Vista de planta dos tanques posicionados na popa



### 3.4.8. Estabilidade e Flutuabilidade

Nesta seção são apresentadas as novas análises de estabilidade e flutuabilidade da embarcação com a adição mais detalhada do peso dos equipamentos e estruturas, nas condições de projeto estabelecidas, apresentadas na metodologia (Seção 2.4.9). além de garantir a estabilidade, essa análise busca deixar a embarcação com o mínimo trim possível e para isso, alguns lastros foram posicionados na embarcação em cada condição de carregamento. A quantidade de lastros posicionados na embarcação foi de:

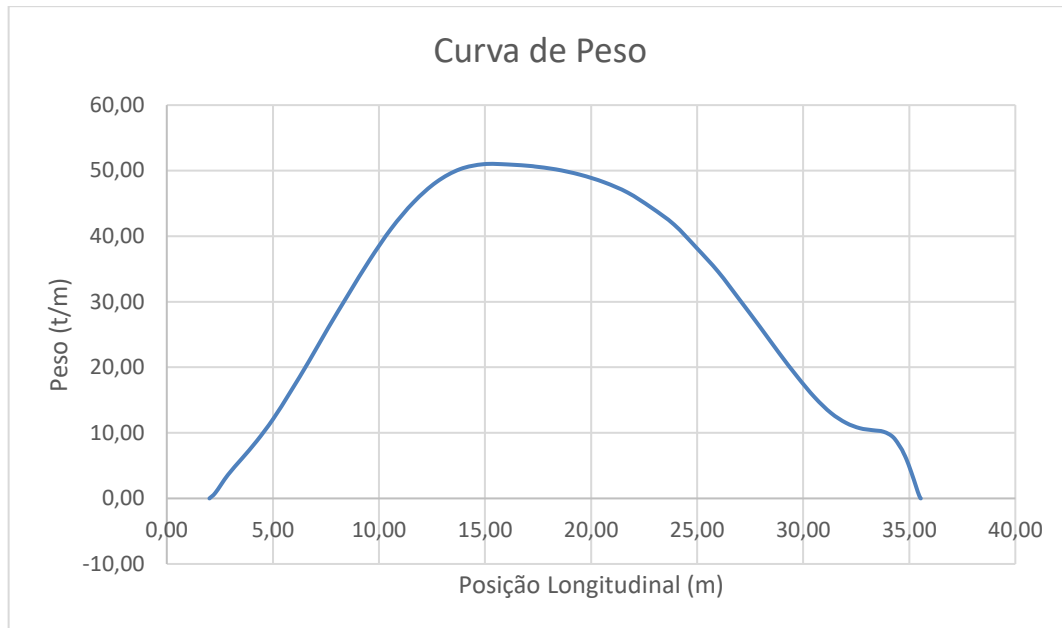
- Condição 1: adição de 13 toneladas de lastro, a vante da embarcação;
- Condição 2: adição de 20 toneladas de lastro a vante, da embarcação;
- Condição 3: adição de 150 toneladas de lastro, ao longo do comprimento da embarcação;
- Condição 4: adição de 260 toneladas de lastro, ao longo do comprimento da embarcação.

Essa disposição de lastros garantiu que a embarcação apresentasse estabilidade intacta nas condições de carregamento e apresentasse flutuabilidade, de maneira que a embarcação não possuísse trim e estivesse o mais próximo do seu calado de projeto. É possível concluir, através dos resultados que a embarcação deverá operar sempre nas condições 1 e 2 de carregamento, pois acaba não se tornando viável a operação nas outras condições devido a quantidade de lastros carregados. Como a embarcação levará carga de Recife para Fernando de Noronha, e voltará com lixo da ilha, sua operação se encaixa nas condições do projeto.

### 3.4.9. Peso Leve

Através do software Maxsurf foi gerada a curva de área da embarcação, e posteriormente, gerada a curva de peso, como mostra a Figura 48, a partir da troca de escala do eixo da área para tonelada por metro. Assume-se que a área da seção mestra da embarcação é a área de maior valor encontrada na curva.

Figura 48 - Curva de peso gerada através da curva de área



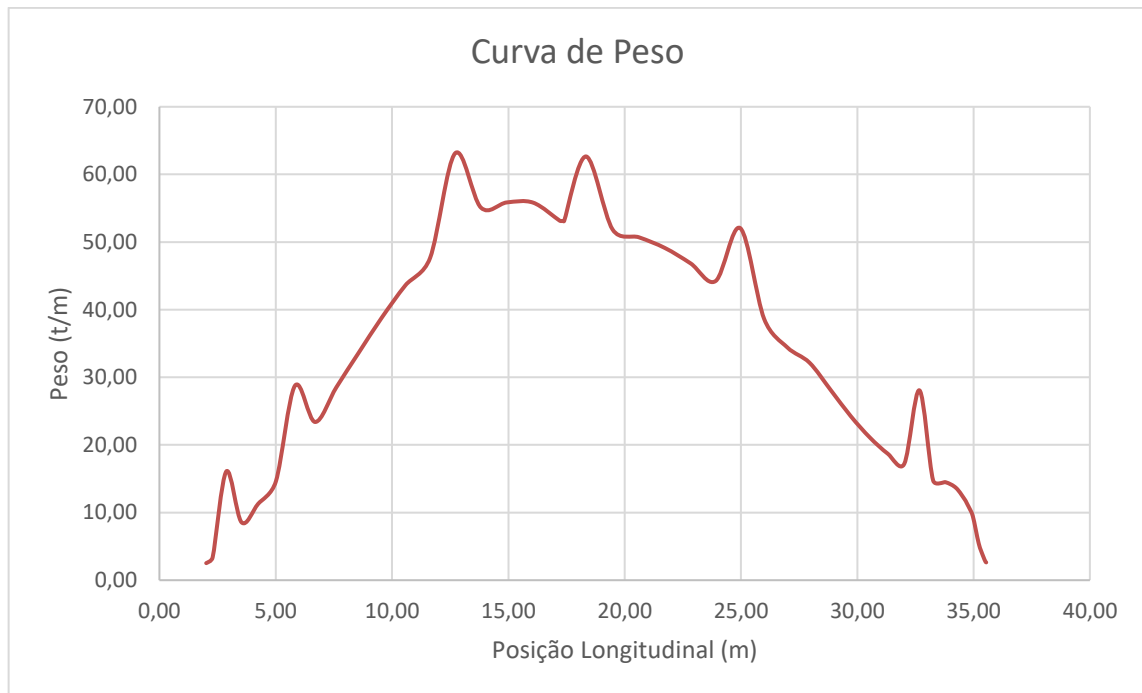
Para obtenção da curva de peso leve da embarcação, foi estimado primeiramente o peso da estrutura com base na dimensão e quantidade dos reforços, anteparas e chapeamentos, já definidos nas seções anteriores. A partir das dimensões do perfil, o peso de cada estrutura e reforço foi calculado em um total de 87,655 toneladas. O peso das anteparas transversais foi distribuído ao longo do comprimento da embarcação, nas posições anteriormente definidas na compartimentação, como mostra a Figura 49. Além disso, foram incluídos os elementos estruturais baseados na seção mestra, ao longo da embarcação.

Figura 49 - Curva de peso com adição das anteparas transversais e elementos estruturais



Por último, foram adicionados os pesos da superestrutura, praça de máquinas, equipamentos de salvatagem, amarração, ancoras, guindaste e propulsor, nas suas respectivas posições ao longo do comprimento da embarcação, como mostra a Figura 50. Com isso, a curva foi mais bem refinada, uma vez que as aproximações e considerações iniciais feitas apresentam erros quanto o peso distribuído na proa e popa da embarcação. Ainda assim, o resultado apresenta-se satisfatório para essa fase do projeto preliminar.

*Figura 50 - Curva de peso da embarcação*



### 3.4.10. Análise Estrutural dos Carregamentos

Nessa seção são apresentados os resultados da análise estrutural dos carregamentos da embarcação de acordo com os regulamentos da American Bureau of Shipping (ABS, 2008). Os cálculos foram feitos com o auxílio do software SMath (IVASHOV, 2006), por meio de integração numérica, sendo calculados o cortante (Figura 51) e momento (Figura 52), e comparados com o envelope da norma.

Figura 51 - Esforço cortante atuante na embarcação

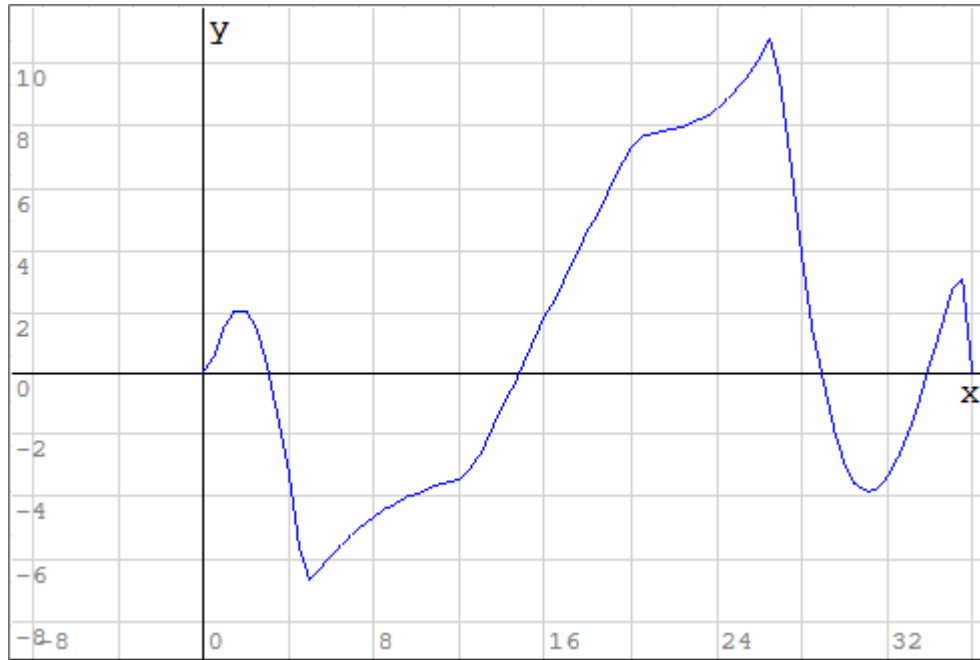
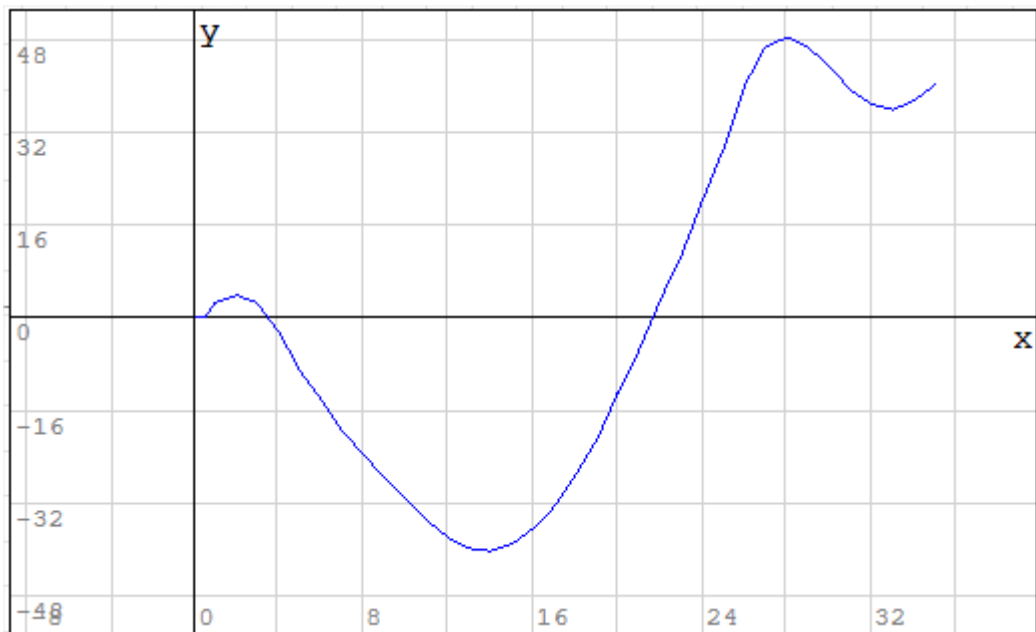


Figura 52 - Momento fletor atuante



A partir da Figura 53 e Figura 54, é possível concluir que para os carregamentos propostos pela norma, a embarcação apresenta seus esforços atuantes dentro dos limites dos envelopes, garantindo que o arranjo estrutural projetado suporta os carregamentos.

Figura 53 - Envelope do momento e momento atuante

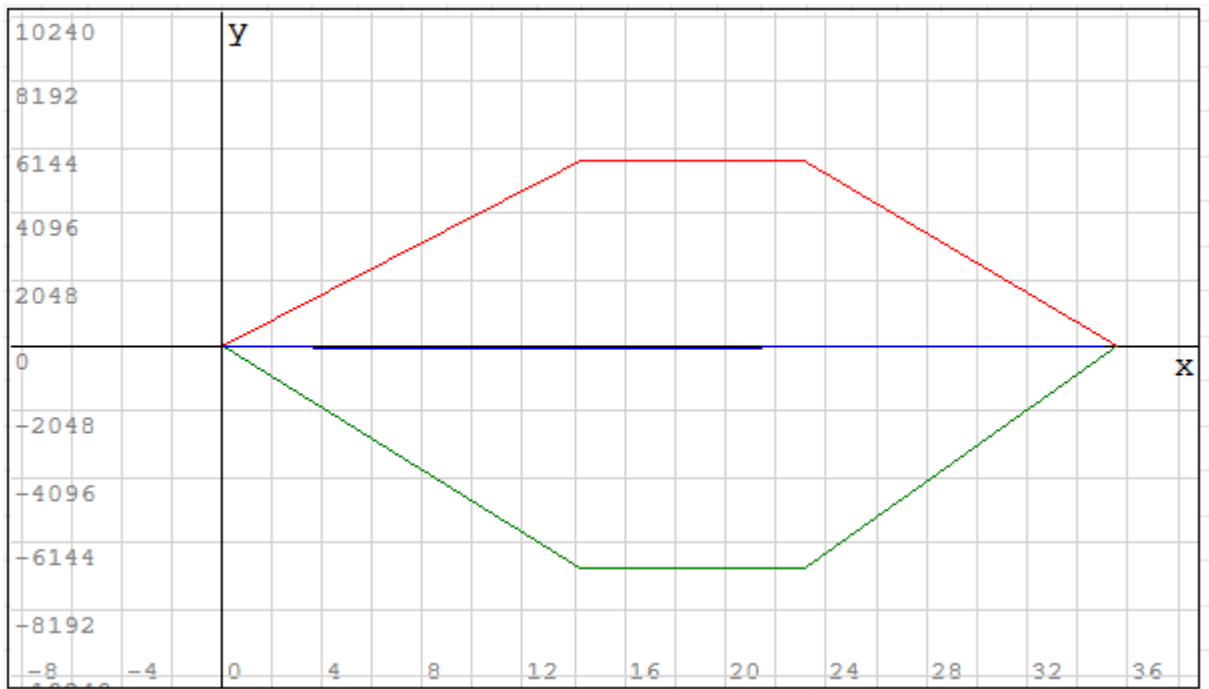
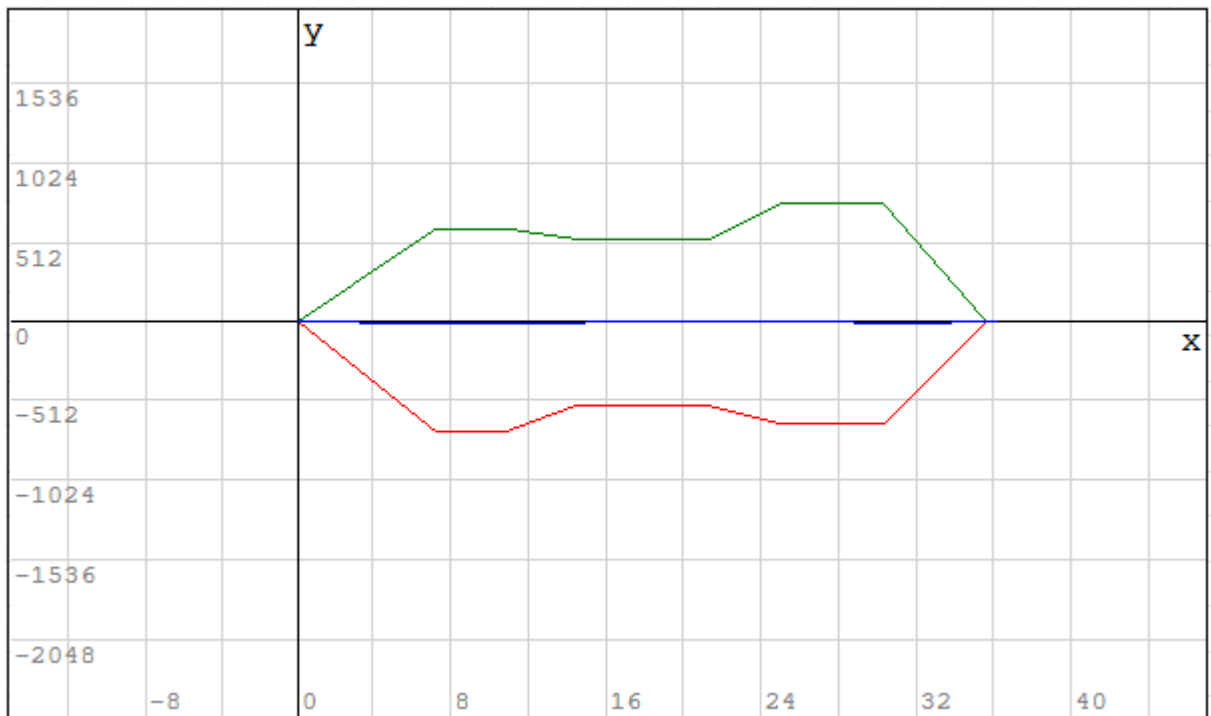


Figura 54 - Envelope do cortante e cortante atuante

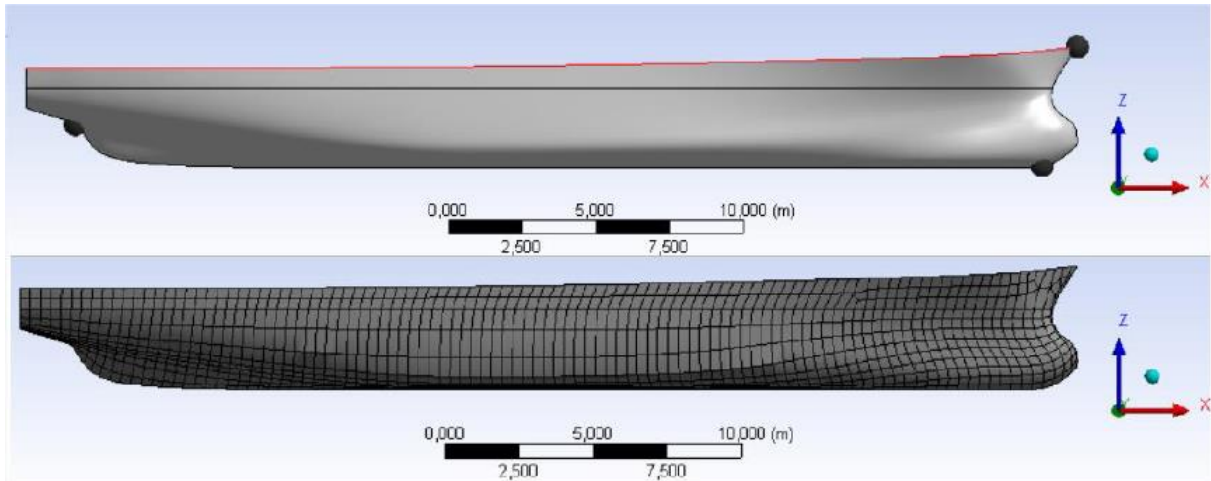




### 3.4.11. Análise de Seakeeping

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através da metodologia de cálculo escolhida, para análise de seakeeping da embarcação. Foi utilizado o Aqwa do software ANSYS (ANSYS, 1970) para criação da malha (Figura 55) e simulação das condições de mar e obtenção dos espectros de deslocamento e velocidade da embarcação.

Figura 55 - Geometria e malha da embarcação no Aqwa



#### 3.4.11.1. Estado de Mar

A rota da embarcação do presente projeto é do Porto do Recife, para a Ilha de Fernando de Noronha, como mostra a Figura 56, sendo de aproximadamente 550 km a distância entre os dois pontos. As características do mar foram coletadas com auxílio das referências (BECCARIO, 2019; SURFGURU, 2019), sendo elas:

- Período de ondas = 13 a 15 segundos;
- Altura significativa de onda = 3 a 4 metros.

Figura 56 - Rota entre Recife e Fernando de Noronha



Fonte: (TRAFFIC, 2019)

### 3.4.11.2. Probabilidade dos Fenômenos

Após obtidos os espectros de velocidade e deslocamento para cada uma das simulações dos fenômenos de seakeeping, foram calculadas as probabilidades de ocorrência, apresentadas na Tabela 37. Nota-se que as probabilidades obtidas foram altas, sendo necessárias algumas modificações na análise e projeto da embarcação.

Tabela 37 - Resultados de seakeeping

Fenômeno	Probabilidade
Água no Convés	58,89%
Emersão do Propulsor	15,62%
Batida de Proa	9,04%

A fim de obter resultados melhores (i.e., valores menores de probabilidade de ocorrência desses fenômenos), foi feita uma mudança na análise em relação a velocidade. Foi utilizada uma velocidade equivalente a metade da sua velocidade de serviço na condição de mar crítico, mostrando uma solução aceitável para a ocorrência dos fenômenos. Para isso, foi realizado o cálculo através do efeito da frequência de encontro no espectro de mar, obtendo os espectros para a metade da velocidade de serviço da embarcação. As seguintes formulações foram utilizadas:

$$S(\omega_e)\delta\omega_e = S(\omega)\delta\omega \quad (38)$$

$$S(\omega_e) = \frac{S(\omega)}{1 - \frac{2\omega U}{g} \cos\mu} \quad (39)$$

Através da equação da conservação de energia, é possível obter o espectro de mar na velocidade desejada. Sendo assim, é recomendado que a embarcação deverá navegar com no máximo, metade da sua velocidade de serviço em condições de mar crítico.

Posteriormente foi percebido que a borda livre da embarcação estava pequena (aproximadamente 1,4 metros) para as condições de mar crítico. Dessa maneira, baseando-se nos resultados obtidos da análise de seakeeping, foi escolhido o valor mais alto das análises de cada fenômeno como sendo o mínimo que a embarcação deveria ter. Com isso, a borda livre na proa da embarcação foi alterada para 2,9 metros, e a da popa foi alterada para 1,6 metros.

Após as mudanças, uma nova análise foi feita, sendo obtidos resultados mais satisfatórios em comparação aos anteriores, como mostra a Tabela 38.

*Tabela 38 - Resultados de seakeeping após modificações de projeto*

<b>Fenômeno</b>	<b>Probabilidade</b>
Água no Convés	4,64%
Emersão do Propulsor	3,88%
Batida de Proa	3,84%

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo de otimização e a AVE apresentam resultados satisfatórios economicamente e sugerem que seja dada continuidade ao projeto, seguindo para sua próxima fase (i.e., Projeto Preliminar). Mesmo utilizando um modelo de otimização com uma abordagem conservadora, os resultados mostraram que a AFN pode em média, economizar por ano um valor de R\$7.719.031,60, podendo investir em outros problemas em FN como conservação do meio ambiente e saneamento básico.

A embarcação ótima resultante do modelo tem as seguintes dimensões: 35,55 m de comprimento, 7,14 m de boca, 4,00 m de pontal, 2,62 m de calado, 453,18 t de DWT e coeficiente de bloco de 0,66. Além destes resultados quantitativos, para realização deste trabalho foi necessária comunicação pessoal com comandantes de outras embarcações, de forma que foi possível identificar outros requerimentos qualitativos desejáveis para embarcação, i.e.: convés largo, podendo alocar o máximo de carga, para facilitar a manobra de descarga no precário porto de Santo Antônio em FN; ter um guindaste ou mecanismo a bordo de cerca de 2 a 10 toneladas de capacidade para facilitar a descarga em FN, bem como para permitir a descarga de automóveis; sistema propulsivo que garanta a manobrabilidade, pois esta embarcação é relativamente grande para as dimensões do porto de Santo Antônio, podendo ter dificuldades na atracação e desatracação.

O modelo matemático é determinístico e apresenta algumas limitações mostradas a seguir:

- Alguns parâmetros como os custos apresentados na Tabela 6, foram estimados com base em opinião de especialista, o que é suficiente para a fase de projeto conceitual e análise de viabilidade econômica, conforme sugerido na metodologia proposta. Ao longo das próximas fases do projeto naval, ou seja, o projeto detalhado, estes parâmetros poderão ser estimados com mais precisão através de coleta de dados de campo;
- A ocorrência de ondas de grande comprimento (i.e., marulhos ou “swell”), não é considerada no modelo. Estas ondas, que são formadas por ciclones próximos à costa dos Estados Unidos, normalmente atingem a costa de Fernando de Noronha todos os anos na estação do verão no hemisfério sul e chegam a atingir mais de 4 metros de altura, impossibilitando a entrada no porto nesse período, o que pode durar semanas (LOBO; SOARES, 2007). Esse fator influenciaria diretamente no tempo de espera da embarcação no porto de Fernando de Noronha, aumentando o custo de combustível, reduzindo o número total de viagens e a receita anual. Essa limitação poderia ser combatida através da implementação de uma modelagem probabilística e simulação de Monte Carlo (KALOS; WHITLOCK, 2008);
- O modelo não considera custos atrelados a acidentes como colisões, abalroamento, encalhe e naufrágios. Esses eventos podem ocorrer a qualquer momento durante a viagem, causando prejuízo ao armador, uma vez que há riscos de danos ou perda da carga, multas, indenizações e processos trabalhistas. Essa limitação poderia ser combatida através de análise quantitativa de riscos marítimos (H. O. DUARTE; E. L. DROGUETT; M. ARAÚJO, 2012).

- Não foi considerado no modelo matemático e na análise de viabilidade econômica a volta da embarcação com lixo para o porto do Recife. Essa limitação poderia ser combatida incluindo receitas na viagem de volta e simulando cenários em que haja a variação no tempo de carregamento da embarcação no porto de Recife, pois seria necessário incluir o tempo de limpeza dos compartimentos que voltaram com lixo de Noronha, além da implementação de possíveis custos atrelados a essa limpeza.

Dentro do projeto preliminar, é válido salientar três pontos de extrema importância para garantir a operacionalidade, viabilidade e segurança da embarcação:

- No projeto estrutural da embarcação, foi definido que a necessidade de fundo e costado duplo da embarcação não era necessário, a não ser que a embarcação não apresentasse integridade estrutural mediante os esforços e momentos sofridos. Já na análise de estabilidade em avaria com a compartimentação preliminar, pode-se concluir que a embarcação apresentou estabilidade mesmo com os tanques avariados, prosseguindo com a decisão de manter o casco sem os tanques de fundo. Após as análises estruturais, a embarcação apresentou-se dentro dos limites do envelope de momento e esforço cortante, garantindo sua integridade mediante os esforços sofridos, não sendo necessário os fundo e costado duplos no casco;
- Mediante os resultados da análise de estabilidade e flutuabilidade da embarcação (Seção 3.4.8), a mesma deve sempre operar próximo ou com 100% de seu carregamento, tornando sua operação mais viável, uma vez que não precisará adicionar uma quantidade tão elevada de lastros para garantir sua segurança e operação;
- Em condições de mar crítico, a embarcação deverá operar com no máximo a metade de sua velocidade de serviço, uma vez que mediante os resultados da análise de Seakeeping (Seção 3.4.11.2), se a embarcação operar com velocidade de serviço nesse caso, aumenta a probabilidade de ocorrência dos fenômenos.

Quanto a viabilidade de construção, os principais estaleiros brasileiros com capacidade para construir uma embarcação desse porte sem dificuldades (e.g., obtenção e conformação das chapas do casco) são: INACE (Fortaleza, CE), Detroit Brasil (Itajaí, SC), Rio Maguarí (Belém, PA) e Erin (Manaus, AM). Para embarcações desse porte, o leme geralmente é fabricado no próprio estaleiro, sendo uma placa simples e reforçada, uma vez atendendo aos requisitos de área mínima estabelecido pela sociedade classificadora e o peso e velocidade da embarcação não justificarem a construção de um perfil hidrodinâmico. A fabricação do hélice não é economicamente viável, portanto é comum encontrar fabricantes que fornecem hélices padronizados em tamanhos e tipos compatíveis ao projeto.

## 5. REFERÊNCIAS

ABS. **Rules for Building and Classing Steel Vessels Under 90 Meters ( 295 Feet ) in Length - Part 3**, 2008.

ABS. **Rules for Building and Classing Steel Vessels Under 90 Meters ( 295 Feet ) in Length - Part 4**, 2017.

AGEMAR. **AGEMAR - Transporte Marítimo**. Disponível em: <<http://www.agemar.com.br/servicos/transporte-maritimo>>. Acesso em: 13 maio. 2018.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE; API. **Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures**, 2005. Disponível em: <[http://www.api.org/~media/files/news/hurricane/2sk\\_add.pdf](http://www.api.org/~media/files/news/hurricane/2sk_add.pdf)>

ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, G. N. E B.-. Boletim Trimestral de Preços e Volumes de Combustíveis. p. 1–14, 2019.

ANSYS, I. **ANSYS**, 1970.

APRH. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**. Disponível em: <[http://www.aprh.pt/rgci/index\\_eng.html](http://www.aprh.pt/rgci/index_eng.html)>.

BARRASS, C. B. **Ship Design and Performance for Masters and Mates**. [s.l: s.n.].

BDE. **Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade, por grupos de idade**. Disponível em: <[http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao\\_formato2.aspx?CodInformacao=1112&Cod=3](http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=1112&Cod=3)>.

BECCARIO, C. **Earth Nullschool**. Disponível em: <<https://earth.nullschool.net/pt/>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

BENTLEY SYSTEMS. **Maxsurf Resistance User Manual**, 2013.

BENTLEY SYSTEMS. **MAXSURF**, 2019.

BERNITSAS, M. M.; RAY, D.; KINLEY, P. **Kt, Kq and Efficiency Curver by the Wageningen B-Series Propellers**. [s.l: s.n.].

BNDES. **Financiamento à marinha mercante e à construção naval**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-marinha-mercante>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

BONFIGLIOLI. **Product Range - Mobile Solutions**Italy, 2019.

BRASIL. **Atlas de Cartas Piloto: Oceano Atlântico - De Trindad ao Rio da Prata**. 2ª ed. Rio de Janeiro: DHN, 1993.

BUREAU COLOMBO BRASIL. Regras Para Construção E Classificação De Embarcções De Aço Para Navegação Navegação Em Mar Aberto. n. 21, p. 521, 2008.

CABRERA, J. H.; MEDINA, C. M. Analysis of Operational and Seakeeping aspects in the Design of PSV type for the Colombian Caribbean Sea. **Ciencia y tecnología de buques**, v. 10,

n. 19, p. 47, 2016.

CAPRACE, J.-D.; RIGO, P. **Optimization of Ship Structures**. Liege: [s.n.].

CATERPILLAR. **Grupo Gerador Marítimo C7.1**. Disponível em: <[https://www.cat.com/pt\\_BR/products/new/power-systems/marine-power-systems/marine-generator-sets/18494395.html](https://www.cat.com/pt_BR/products/new/power-systems/marine-power-systems/marine-generator-sets/18494395.html)>.

COELHO, T. **O lugar onde ninguém faz selfie: para onde vai o lixo de Fernando de Noronha**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/desafio-natureza/noticia/2019/01/23/o-lugar-onde-ninguem-faz-selfie-para-onde-vai-o-lixo-de-fernando-de-noronha.ghtml>>.

COELHO, T. **Fernando de Noronha, lado B: série do G1 mostra desafios do lixo no “paraíso”**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/natureza/desafio-natureza/noticia/2019/01/22/fernando-de-noronha-lado-b-serie-do-g1-mostra-desafios-do-lixo-no-paraíso.ghtml>>. Acesso em: 20 maio. 2019b.

CONDEPE. Perfil Municipal - Fernando de Noronha. p. 4–5, 2012.

CONNECTOR, M. **Maritime Connector**. Disponível em: <[maritime-connector.com](http://maritime-connector.com)>. Acesso em: 18 maio. 2017.

DNV. Classification of Ships Part 3 Chapter 3 (DNV). **Det Norske Veritas**, p. 1–50, 2000.

DPC. **NORMAM-01 - Normas de Autoridade MARítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto**. Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas (DPC). **Anais...DPC**, 2005

EDUARDO, S. et al. **Projeto Preliminar de Embarcações Especializadas para Transporte de Carga entre Recife e Fernando de Noronha** 27º Congresso Internacional de Transporte Aquaviário , Construção Naval e Offshore. [s.l: s.n.].

EXECUTIVE, M. **Ship Operating Costs Set to Rise, Crew Expenses a Big Factor**. Disponível em: <<https://www.maritime-executive.com/article/crew-expenses-big-factor-ship-operating-costs-are-set-rise>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

FINDER, V. **Vessel Finder**. Disponível em: <<https://www.vesselfinder.com/>>. Acesso em: 18 maio. 2017.

FLEETMON. **FleetMon**. Disponível em: <<https://www.fleetmon.com/>>. Acesso em: 18 maio. 2017.

FONSECA, M. (CAPITÃO-DE-MAR-E-GUERRA). **Arte Naval Moderna Volume I e II. Arte Naval**, v. I & II, n. Cic, 2006.

GLASSDOOR. **Salários de Marinheiro de Máquinas**. Disponível em: <[https://www.glassdoor.com.br/Salários/marinheiro-de-máquinas-salário-SRCH\\_K00,22.htm](https://www.glassdoor.com.br/Salários/marinheiro-de-máquinas-salário-SRCH_K00,22.htm)>. Acesso em: 9 jul. 2019.

GUANHENG. **Danforth B type HHP Anchor**. Disponível em: <[http://www.cqguanheng.com/Anchor/2015/0422/Danforth\\_B\\_type\\_HHP\\_Anchor.html](http://www.cqguanheng.com/Anchor/2015/0422/Danforth_B_type_HHP_Anchor.html)>. Acesso em: 1 nov. 2019a.

GUANHENG. **Anchor chain for marine ship application**. Disponível em:

<[http://www.cqguanheng.com/Chain\\_sling/2015/0512/Anchor\\_chain\\_for\\_marine\\_ship\\_application.html](http://www.cqguanheng.com/Chain_sling/2015/0512/Anchor_chain_for_marine_ship_application.html)>. Acesso em: 1 nov. 2019b.

H. O. DUARTE; E. L. DROGUETT; M. ARAÚJO, & S. F. T. Quantitative Ecological Risk Assessment of Industrial Accidents: The Case of Oil Ship Transportation in the Coastal Tropical Area of Northeastern Brazil. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, n. 19, p. 1457–1476, 2012.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/fernando-de-noronha/pesquisa/38/47001?tipo=ranking>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

ICLL. **Convenção Internacional sobre Linhas de Carga , 1966 , como modificada pelo Protocolo de 1988**, 1988.

IMO. **Code on intact stability for all type of ships covered by IMO instruments Resolution A.749(18)**, 1993.

INC., L. S. **LINGO**, 2019.

INC, H. **PropCAD**, 2014.

ITTC. **Full Scale Measurements, Speed and Power Trials, Analysis of Speed/Power Trial Data (7.5-04 \n-01-01.2)ITTC - Recommended Procedures and Guidelines**. [s.l: s.n.].

ITTC. **Seakeeping Committee - Final report and recommendations to the 27th ITTC Proceedings of the 27th International Towing Tank Conference**. [s.l: s.n.].

IVASHOV, A. **SMath Studio**, 2006.

JOURNÉE, J. M. J.; MASSIE, W. W. **Offshore Hydromechanics**. First ed. [s.l: s.n.].

KALOS, M. H.; WHITLOCK, P. A. **Monte Carlo Methods**. 2ª ed. Weinheim: Wiley - VCH, 2008.

KRACHT, A. **Design of Bulbous Bows** SNAME Transactions. [s.l.] Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1978.

KULKARNI, S. S.; CHHAPKHANE, P. N. K. Comparision Of Studless And Studed Chain Using Finie Element Analysis. **International Journal of Engineering Research e Technology**, v. 2, n. 8, p. 1619–1622, 2013.

LAMB, T. **Design/Production Integration**. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.

LEWIS, E. V. **Principles of Naval Architecture Second Revision Volume I • Stability and Strength**. Second ed. Jersey City: The Society of Naval Architects amd MARine Engineers, 1988. v. I

LLOYD’S LIST. Total Cost of Operation. n. September, p. 1–18, 2018.

LOBO, P. R. V.; SOARES, C. A. **Meteorologia e Oceanografia - Usuário Navegante**. 2. ed. Rio de Janeiro: DHN, 2007.

MACGREGOR. **Triplex cargo rail cranes**. Disponível em:



<<https://www.macgregor.com/Products-solutions/products/offshore-deck-handling-equipment/cargo-rail-cranes/>>. Acesso em: 3 out. 2019.

MARINE, D. **Marine Hydraulic Anchor Windlass with Double Gypsy and Warping End**. Disponível em: <<https://www.deyuanmarine.com/Marine-Hydraulic-Anchor-Windlass-With-Double-Gypsy-And-Warping-End-pd604254.html>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MARPOL. Anexo I da MARPOL 73/78. v. 78, n. 56, 2008.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 3<sup>a</sup> ed. [s.l: s.n.].

MCNEEL & ASSOCIATES, R. **Rhinoceros 3D**, 2019.

MENDES, E. R. **Procedimento para Seleção Otimizada de um Propulsor da Série B**. Joinville: [s.n.].

MERCHANTMARINE, D. **Stichting Maritiem-Historische Databank**. Disponível em: <[marhisdata.nl](http://marhisdata.nl)>. Acesso em: 17 maio. 2019.

NÁUTICA, A. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.ativanautica.com.br/produtos.php>>. Acesso em: 3 out. 2019.

NORONHA. **Taxa de Ancoragem**. Disponível em: <<http://www.noronha.pe.gov.br/turAncoragem.php>>. Acesso em: 24 maio. 2017.

NUMBER, S. **Ship Number**. Disponível em: <[shipnumber.com](http://shipnumber.com)>. Acesso em: 18 maio. 2017.

PAPANIKOLAOU, A. Holistic ship design optimization. **Computer-Aided Design**, v. 42, n. 11, p. 1028–1044, 2010.

PAPANIKOLAOU, A. **Ship Design Methodologies of Preliminary Design**. Athenas: [s.n.].

PASSOS, R. DE B. **Seleção de Propulsores em Situações Genéricas da Engenharia Naval**. Rio de Janeiro: [s.n.].

PEREIRA, C. **Dimensionamento de Caixa d'água**. **Escola Engenharia**. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/dimensionamento-caixa-dagua/>>. Acesso em: 17 maio. 2017.

POČUČA, M. **Methodology of day-to-day ship costs assessment** **Promet - Traffic - Traffico**. Ljubljana: [s.n.].

POLYCAD. **PolyCAD**, 2019. Disponível em: <<https://www.polycad.co.uk/index.html>>

PROFISSÕES, C. E. **Quanto ganha um cozinheiro?** Disponível em: <<https://www.cursoseprofissoes.com/quanto-ganha-um-cozinheiro/>>. Acesso em: 17 maio. 2017.

RAIL, C.; EN, D. I. N. Man Diesel D2868. p. 39–42, 2019.

RAWSON, K. J.; TUPPER, E. C. **Basic Ship Theory**. 5a. ed. [s.l: s.n.]. v. 1

RAY, T.; GOKARN, R. P.; SHA, O. P. **A global optimization model for ship design** **Computers in Industry - Elsevier**. Kharagpur: [s.n.].

REGISTER, L. Rules and Regulations for the Classification of Naval Ships. v. 1, n. January,

2015.

RODRIGUES, M. V. **Ações para a Qualidade**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SALÁRIO. **Segundo Oficial de Náutica (comandante) - Salários e Mercado de Trabalho 2019**. Disponível em: <<https://www.salario.com.br/profissao/segundo-oficial-de-nautica-comandante-cbo-215115/>>. Acesso em: 9 jul. 2019a.

SALÁRIO. **Comandante da Marinha Mercante - Salários e Mercado de Trabalho 2019**. Disponível em: <<https://www.salario.com.br/profissao/comandante-da-marinha-mercante-cbo-215115/>>. Acesso em: 9 jul. 2019b.

SALÁRIO. **Marinheiro de Maquinas - Salários e Mercado de Trabalho 2019**. Disponível em: <<https://www.salario.com.br/profissao/marinheiro-de-maquinas-cbo-782710/>>. Acesso em: 9 jul. 2019c.

SALES, M. **Maritime Sales, Inc**. Disponível em: <<http://www.maritimesales.com/>>. Acesso em: 28 maio. 2017.

SANTOS, V. M. F. DE S. et al. **Dimensões Principais e Análise de Viabilidade Econômica de uma Embarcação Especializada para o Transporte de Carga entre Recife e Fernando de Noronha** 27º Congresso Internacional de Transporte Aquaviário , Construção Naval e Offshore. [s.l: s.n.].

SCANIA. **Marine Diesel Engines**. Disponível em: <[http://www.plaquet.be/images/stories/PDF/Scania/di12\\_59m\\_4001.pdf](http://www.plaquet.be/images/stories/PDF/Scania/di12_59m_4001.pdf)>. Acesso em: 22 maio. 2017.

SCHNEEKLUTH, H.; BERTRAM, V. **Ship Design for Efficiency and Economy**. 2ª ed. [s.l.] Elsevier Ocean Engineering, 1998.

SHELTERMAR. **Salários de Aquaviários da Marinha Mercante**. Disponível em: <<https://www.sheltermar.com.br/dicas/empregos/marinha-mercante/salarios/>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

SHIPCOSTS. **Crewing costs**. Disponível em: <<https://shipcosts.com/vessel-operating-costs/cost-optimisation/crewing-costs.html>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SHIPSPOTTING. **Shipspotting**. Disponível em: <[shipspotting.com](http://shipspotting.com)>. Acesso em: 18 maio. 2017.

SIDE-POWER. **SE-300/300T Bow Thruster Installation Manual** Normay, 2019.

SNAME. **Motions in Waves and Controllability. Vol. III**. [s.l: s.n.].

SNAME. **Principles of Naval Architecture. Vol. II**. [s.l: s.n.].

SOLAS. **Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar**, 1974.

SURFGURU. **Previsão - Fernando de Noronha**. Disponível em: <<https://www.surfguru.com.br/previsao/brasil/fernando-de-noronha/vila-dos-remedios/>>. Acesso em: 7 ago. 2019.

TRAFFIC, M. **Marine Traffic**. Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/>>. Acesso em: 18 maio. 2017.

TRAFFIC, M. **Apocalypse**. Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:774404/mmsi:710000011/vessel:APOCALIPSE>>. Acesso em: 1 nov. 2019.

TRAMONTINI. **Reversor Hidráulico (Linha Pesada) RT410**. Disponível em: <<https://tramontini.com.br/portfolio-item/reversor-hidraulico-rt410-linha-pesada/>>. Acesso em: 6 ago. 2019.

TRAN, H. N. **A Preliminary Ship Design Model for Cargo Throughput Optimization**. [s.l: s.n.].

VAGAS. **Chefe de Máquinas**. Disponível em: <<https://www.vagas.com.br/cargo/chefe-de-maquinas>>. Acesso em: 9 jul. 2019a.

VAGAS. **Marinheiro de Convés**. Disponível em: <<https://www.vagas.com.br/cargo/marinheiro-de-conves>>. Acesso em: 9 jul. 2019b.

VAGAS. **Marinheiro de Máquinas**. Disponível em: <<https://www.vagas.com.br/cargo/marinheiro-de-maquinas>>. Acesso em: 9 jul. 2019c.

VENTURA, M. **Métodos de Estimativa no Projecto de Navios**. Lisboa: [s.n.]. Disponível em: <<https://goo.gl/uQ2Zaj>>.

VIKING. **Viking Throw Overboard Liferaft, Type DK+, 6-8 Persons**. Disponível em: <<https://www.viking-life.com/en/throw-overboard/liferafts-/liferafts-/4854-1000d0001-viking-throw-overboard-liferaft-type-dk-6-8-persons-orange-6-persons>>. Acesso em: 3 out. 2019.

WARTSILA. **Wärtsilä Linesafe Bearing**, 2017.

WATSON, D. G. M. **Practical Ship Design**. [s.l.] Elsevier Ocean Engineering, 1998. v. 1

XUAN, Z. et al. **Collaborative multidisciplinary decision making based on game theory in ship preliminary design**. Dalian: [s.n.].

## 6. APÊNDICE

## APÊNDICE A – Banco de Dados das Embarcações Coletadas

Nome	Nacionalidade	LOA (m)	Lpp (m)	Boca máxima (m)	Calado (m)	Pontal	Vs (kts)	DWT (ton)	Fn	Cb	BHP (kW)	Deslocamento (ton)	Gross Tonnage	L/Lpp	d/t	L/B	B/D	B/T	L/D
Minik Arctica	Dinamarca	45,32	40,00	13,05	4,40	7,91	7,80	650,00	0,19	0,80	700,19	1877,95	1194,00	1,13	1,80	3,47	1,65	2,97	5,73
SLB Harmonia	Brasil	36,00	32,74	10,00	2,20	6,06	13,00	500,00	0,36	0,54	596,56	400,23	255,00	1,10	2,75	3,60	1,65	4,55	5,94
Alro	Suíça	24,00	23,00	6,00	3,00	3,64	7,70	70,00	0,26	0,62	169,05	264,47	137,00	1,04	1,21	4,00	1,65	2,00	6,60
Elita	Georgia	26,50	23,53	6,59	2,60	3,99	7,50	75,00	0,24	0,67	103,46	277,49	106,00	1,13	1,54	4,02	1,65	2,53	6,64
Albatros	Alemanha	28,15	26,74	6,89	2,00	4,18	6,20	162,00	0,19	0,80	111,97	300,32	102,00	1,05	2,09	4,09	1,65	3,45	6,74
Maungaroa II	Noruega	29,02	27,57	7,00	3,50	4,24	8,00	225,00	0,24	0,66	169,89	455,65	153,00	1,05	1,21	4,15	1,65	2,00	6,84
Anette Christina	Panamá	25,65	21,35	6,05	3,00	3,67	9,00	56,00	0,29	0,58	85,20	228,52	104,00	1,20	1,22	4,24	1,65	2,02	7,00
SK Seahawk	Malasia	47,00	43,75	11,00	2,50	6,67	6,00	482,00	0,14	0,84	387,19	1038,46	499,00	1,07	2,67	4,27	1,65	4,00	7,05
Aquafisk CR	Noruega	30,00	28,50	7,00	4,00	4,24	9,80	228,00	0,29	0,57	174,93	469,16	189,00	1,05	1,06	4,29	1,65	1,75	7,07
Mr. NR	EUA	30,45	26,30	7,10	2,67	3,35	8,00	151,35	0,24	0,67	279,64	345,31	315,00	1,16	1,25	4,29	2,12	2,66	9,09
Folla 2	Noruega	52,00	44,29	12,00	5,50	7,27	10,00	500,00	0,23	0,71	789,74	2118,13	977,00	1,17	1,32	3,33	1,65	2,18	7,15
Toste R	Dinamarca	45,70	43,87	10,50	3,00	6,36	6,70	632,00	0,16	0,83	437,97	1174,64	556,00	1,04	1,12	4,35	1,65	3,50	7,18
RSS Cormorant	S. C. e Nevis	35,97	30,79	8,21	4,10	4,98	7,80	168,00	0,21	0,75	296,51	795,26	334,00	1,17	1,21	4,38	1,65	2,00	7,23
Langsund	Noruega	43,89	41,26	10,00	3,50	6,06	9,50	650,00	0,24	0,68	376,82	1010,65	499,00	1,06	1,73	4,39	1,65	2,86	7,24
Ranger III	USA	45,77	30,79	10,37	3,00	6,28	12,10	168,00	0,29	0,57	210,01	563,25	648,00	1,49	2,09	4,41	1,65	3,46	7,28
Aquarius G	Panamá	40,10	35,15	9,00	3,10	5,45	9,70	250,00	0,25	0,64	239,17	641,48	499,00	1,14	1,76	4,46	1,65	2,90	7,35
Turgoyak	Rússia	31,85	23,00	7,08	2,20	4,29	7,10	70,00	0,21	0,77	104,87	281,27	190,00	1,38	1,95	4,50	1,65	3,22	7,42
Thistle	Reino Unido	27,00	25,65	5,95	1,20	3,61	5,90	152,00	0,19	0,80	56,23	150,82	82,00	1,05	3,01	4,54	1,65	4,00	8,52
Havgull	Noruega	32,62	34,19	7,04	3,50	4,27	9,70	230,00	0,28	0,59	189,72	508,82	255,00	0,95	1,22	4,63	1,65	2,01	7,65
Ulvos	Noruega	31,55	29,97	6,71	3,50	4,07	8,20	203,00	0,24	0,67	180,24	483,42	153,00	1,05	1,16	4,70	1,65	1,92	7,76
SN6	Rússia	33,00	28,05	7,00	3,50	4,24	10,00	127,00	0,29	0,58	152,65	409,42	190,00	1,18	1,21	4,71	1,65	2,00	7,78
Sanka	Dinamarca	30,98	29,12	6,50	2,20	3,94	7,00	240,00	0,21	0,77	121,95	327,07	150,00	1,06	1,79	4,77	1,65	2,95	7,86
Marmorholm	Holanda	29,00	27,55	6,00	2,30	3,64	5,10	191,00	0,16	0,83	121,28	325,29	130,00	1,15	1,58	4,83	1,65	2,61	7,98
SN3	Estônia	34,00	26,59	7,00	2,90	4,24	9,50	108,25	0,27	0,61	124,96	335,16	170,00	1,28	1,46	4,86	1,65	2,41	8,01
SN2	Japão	31,20	29,64	6,40	3,00	3,88	8,20	269,00	0,24	0,67	144,87	388,55	102,00	1,05	1,29	4,88	1,65	2,13	8,04
Frederik	Dinamarca	38,40	21,60	7,80	2,00	4,73	7,60	58,00	0,20	0,78	100,12	268,53	258,00	1,78	2,36	4,92	1,65	3,00	8,12
Caroline S	Dinamarca	32,00	30,08	6,48	2,10	3,93	7,10	249,00	0,21	0,77	120,02	321,89	159,00	1,06	1,87	4,94	1,65	3,09	8,15
Djeneberang	Holanda	36,58	32,63	7,32	2,13	4,44	9,50	200,00	0,26	0,62	178,97	325,25	176,00	1,12	2,08	5,00	1,65	3,44	8,25
Sonagas UNO	Panamá	40,00	35,15	8,00	3,50	4,85	12,80	250,00	0,33	0,55	206,96	555,07	283,00	1,14	1,39	5,00	1,65	2,29	8,25
Pyotr Gusenkov	Rússia	45,45	40,87	8,96	2,40	5,43	6,60	393,00	0,16	0,83	279,08	748,50	394,00	1,11	2,26	5,07	1,65	3,73	8,37
Cormorant	Holanda	30,51	28,98	6,01	1,99	3,64	8,00	200,00	0,24	0,68	89,51	240,08	140,00	1,05	1,83	5,08	1,65	3,02	8,38
Rottum	Holanda	32,46	30,10	6,33	2,17	2,54	7,50	245,00	0,22	0,74	120,00	314,24	196,00	1,08	1,17	5,13	2,49	2,92	12,78
Krebs Helios	Alemanha	48,80	33,74	9,50	4,00	5,76	9,90	221,00	0,23	0,69	338,72	908,47	493,00	1,45	1,44	5,14	1,65	2,38	8,48
Scan Viking	Noruega	36,00	19,08	7,00	3,90	4,24	7,10	40,00	0,19	0,79	157,48	422,38	317,00	1,89	1,09	5,14	1,65	1,79	8,49
Gelios	Rússia	45,45	40,87	8,80	2,20	5,33	7,60	393,00	0,19	0,81	243,53	653,16	394,00	1,11	2,42	5,16	1,65	4,00	8,52
Roberta	Holanda	37,96	34,74	7,33	2,63	2,91	9,00	370,00	0,24	0,67	325,00	459,65	248,00	1,09	1,11	5,18	2,52	2,79	13,04
aldebaran	holanda	32,68	29,42	6,31	2,54	3,82	7,00	255,00	0,20	0,78	120,00	417,77	199,00	1,11	1,51	5,18	1,65	2,48	8,55
carina	finlândia	40,00	33,92	7,72	2,40	4,68	8,60	410,00	0,22	0,72	206,00	547,42	266,00	1,18	1,95	5,18	1,65	3,22	8,55
Herm	Holanda	36,00	34,20	6,90	2,60	4,18	9,00	295,00	0,25	0,65	145,41	409,68	211,00	1,05	1,61	5,22	1,65	2,65	8,61
hollandia	holanda	33,42	30,94	6,28	2,10	3,81	8,90	200,00	0,25	0,64	120,00	286,85	163,00	1,08	1,81	5,32	1,65	2,99	8,78
Poseidon	Alemanha	60,70	36,81	11,40	4,70	6,91	6,60	287,00	0,14	0,84	636,49	1707,11	1105,00	1,65	1,47	5,32	1,65	4,83	8,79
Don Felipe	México	32,00	25,90	6,00	3,50	3,64	9,10	100,00	0,26	0,61	127,12	340,93	132,00	1,24	1,04	5,33	1,65	1,71	8,80
Selur I	Islândia	32,00	30,08	6,00	2,40	3,64	5,80	192,00	0,17	0,82	136,46	366,00	131,00	1,06	1,52	5,33	1,65	2,50	8,80
Osjford	Noruega	47,05	46,51	8,82	3,90	5,35	7,50	579,00	0,18	0,81	496,76	1332,32	469,00	1,01	1,37	5,33	1,65	2,26	8,80
Castor	México	47,24	37,97	8,84	3,00	5,36	5,70	315,00	0,14	0,85	325,52	873,07	320,00	1,24	1,79	5,34	1,65	2,95	8,82
Nerona	Alemanha	38,22	34,19	7,13	3,29	4,32	8,50	230,00	0,23	0,71	219,24	586,07	233,00	1,12	1,31	5,36	1,65	2,17	8,84
Yare	Holanda	41,15	39,32	7,62	2,20	4,62	9,00	350,00	0,23	0,70	223,71	472,07	331,00	1,05	2,10	5,40	1,65	3,46	8,91
brandaris	holanda	39,00	36,75	7,17	2,59	4,35	9,50	320,00	0,25	0,64	180,00	476,89	248,97	1,06	1,68	5,44	1,65	2,77	8,97
alida	holanda	29,61	25,24	5,40	2,01	3,27	5,00	153,00	0,15	0,84	40,00	275,99	110,00	1,17	1,63	5,48	1,65	2,69	9,05
Ransel	Holanda	39,55	37,72	7,19	2,44	2,88	8,00	353,00	0,21	0,76	200,00	515,89	258,00	1,05	1,18	5,50	2,50	2,95	13,73
Globe	holanda	35,66	32,89	6,48	2,37	3,93	8,50	250,00	0,23	0,69	120,00	386,31	200,00	1,08	1,66	5,50	1,65	2,73	9,08
Fiat	Holanda	35,50	33,58	6,44	2,28	2,35	8,00	245,00	0,22	0,73	135,00	368,45	197,00	1,06	1,03	5,51	2,74	2,82	15,11
Nysand	Noruega	48,14	45,72	8,67	5,20	5,25	10,30	550,00	0,24	0,66	518,63	1390,98	469,00	1,05	1,01	5,55	1,65	1,67	9,16
Antje	Holanda	30,00	28,50	5,40	2,14	3,27	6,00	190,00	0,18	0,81	59,66	274,15	144,00	1,05	1,53	5,56	1,65	2,52	9,17
mary	holanda	33,99	28,48	6,10	2,28	2,49	7,50	229,00	0,21	0,75	120,00	365,68	174,00	1,19	1,09	5,57	2,45	2,68	13,65
Francesca Prior	Reino Unido	27,87	26,48	5,00	3,00	3,03	5,40	280,00	0,17	0,82	125,18	335,73	172,00	1,05	1,01	5,57	1,65	1,67	9,20
marva	holanda	40,30	37,87	7,20	2,39	4,36	9,00	375,00	0,23	0,69	195,00	491,24	307,00	1,06	1,83	5,60	1,65	3,01	9,24
Dolfin	Holanda	30,30	28,79	5,40	2,19	3,27	7,00	170,00	0,21	0,76	55,93	265,44	139,00	1,05	1,49	5,61	1,65	2,47	9,26
Liv Marit	Noruega	57,45	52,06	10,22	3,30	6,19	8,80	812,00	0,19	0,80	800,00	1434,42	804,00	1,10	1,88	5,62	1,65	3,10	9,28
Heimtun 2	Noruega	45,00	44,84	8,00	4,50	4,85	8,70	519,00	0,21	0,75	462,83	1241,33	415,00	1,00	1,08	5,63	1,65	1,78	9,28
Niumath	Palau	45,00	40,42	8,00	3,40	4,85	7,10	380,00	0,17	0,82	344,08	922,85	392,00	1,11	1,43	5,63	1,65	2,35	9,28
Rom	Panamá	46,60	44,29	8,24	2,00	4,99	5,20	500,00	0,13	0,85	237,32	636,51	438,00	1,05	2,50	5,66	1,65	4,12	9,33
Jura	holanda	37,61	33,69	6,61	2,50	4,01	8,50	250,00	0,23	0,71	150,00	450,60	197,00	1,					

Nome	Nacionalidade	LOA (m)	Lpp (m)	Boca máxima (m)	Calado (m)	Pontal	Vs (kts)	DWT (ton)	Fn	Cb	BHP (kW)	Deslocamento (ton)	Gross Tonnage	L/Lpp	d/t	L/B	B/D	B/T	L/D
Holland	Holanda	43,69	39,88	7,40	2,56	4,48	8,50	365,00	0,21	0,75	148,39	584,53	327,00	1,10	1,75	5,90	1,65	2,89	9,74
Olwe	Holanda	41,55	38,08	7,03	2,43	4,26	9,00	325,00	0,23	0,70	195,00	510,81	288,00	1,09	1,75	5,91	1,65	2,89	9,75
trompenburgh	holanda	49,50	46,27	8,37	2,66	5,07	9,50	550,00	0,22	0,73	400,00	819,36	385,00	1,07	1,91	5,91	1,65	3,15	9,76
karel	holanda	47,22	43,69	7,93	3,20	4,81	9,00	538,00	0,22	0,74	360,00	914,43	399,00	1,08	1,50	5,95	1,65	2,48	9,83
Doggersbank	Holanda	43,69	39,88	7,29	2,44	4,42	8,50	365,00	0,21	0,75	149,14	548,84	309,00	1,10	1,81	5,99	1,65	2,99	9,89
santa lucia	holanda	45,00	42,30	7,50	3,13	3,75	9,00	505,00	0,22	0,73	300,00	789,95	379,00	1,06	1,20	6,00	2,00	2,40	12,00
Anda	Holanda	36,00	34,20	6,00	2,00	3,64	7,10	345,00	0,19	0,79	124,06	332,73	195,00	1,05	1,82	6,00	1,65	3,00	9,90
crescendo	holanda	45,30	42,58	7,55	2,39	4,58	9,00	435,00	0,22	0,73	240,00	613,06	348,00	1,06	1,91	6,00	1,65	3,16	9,90
triton	holanda	47,30	43,58	7,85	2,68	4,76	9,00	509,00	0,21	0,75	300,00	759,90	400,00	1,09	1,78	6,03	1,65	2,93	9,94
Reestborg	Holanda	48,49	45,87	8,03	3,00	3,26	9,00	530,00	0,21	0,75	400,00	851,87	400,00	1,06	1,09	6,04	2,46	2,68	14,87
alja	holanda	49,51	45,76	8,19	2,75	4,96	9,50	575,00	0,22	0,73	360,00	829,11	459,00	1,08	1,80	6,05	1,65	2,98	9,97
johan	holanda	47,47	44,46	7,83	3,10	4,75	9,00	550,00	0,21	0,75	350,00	881,14	434,00	1,07	1,53	6,06	1,65	2,53	10,00
algarve	holanda	48,87	38,77	8,04	3,05	4,87	10,00	640,00	0,23	0,68	400,00	840,93	472,00	1,26	1,60	6,08	1,65	2,64	10,03
Seyryumaru	Japão	61,00	52,23	10,00	2,50	6,06	11,60	820,00	0,24	0,66	328,38	880,72	270,00	1,17	2,42	6,10	1,65	4,00	10,07
Pascholl	Holanda	39,91	37,35	6,54	2,62	2,73	8,50	325,00	0,22	0,73	150,00	477,35	250,00	1,07	1,04	6,10	2,40	2,50	14,62
margaretha	holanda	43,02	38,37	7,04	2,25	4,27	8,00	350,00	0,20	0,78	150,00	544,65	194,00	1,12	1,90	6,11	1,65	3,13	10,08
Ebisu Maru No.3	Niue	48,92	41,11	8,00	3,00	4,85	7,20	400,00	0,17	0,82	310,63	833,12	155,00	1,19	1,62	6,12	1,65	2,67	10,09
Kunihisa 21	Japão	61,50	50,00	10,00	4,00	6,06	11,10	850,00	0,23	0,69	529,12	1419,13	250,00	1,23	1,52	6,15	1,65	2,50	10,15
Roelof Holwerda	Holanda	49,41	46,69	8,02	2,75	3,00	9,00	547,00	0,21	0,76	376,00	799,23	383,00	1,06	1,09	6,16	2,67	2,92	16,47
Pacific	Holanda	43,28	40,13	7,01	2,88	4,25	8,00	400,00	0,20	0,78	265,00	699,45	362,00	1,08	1,48	6,17	1,65	2,43	10,19
johanca	holanda	52,20	49,68	8,44	3,29	5,12	9,50	670,00	0,22	0,74	395,00	1102,65	499,00	1,05	1,55	6,18	1,65	2,57	10,20
skagerrak	holanda	42,95	39,70	6,94	2,62	4,21	9,00	370,00	0,23	0,71	225,00	571,40	295,00	1,08	1,61	6,19	1,65	2,65	10,21
steady	holanda	48,07	43,17	7,70	2,70	4,67	8,50	474,00	0,20	0,78	220,00	796,61	370,00	1,11	1,73	6,24	1,65	2,85	10,30
bonaire	holanda	51,18	47,01	8,19	2,99	4,96	9,50	600,00	0,22	0,74	360,00	945,64	400,00	1,09	1,66	6,25	1,65	2,74	10,31
Scan Trans	Noruega	52,00	50,70	8,00	3,90	4,85	9,90	750,00	0,23	0,71	431,63	1157,66	499,00	1,03	1,24	6,50	1,65	2,05	10,73
diannel	holanda	50,75	44,90	7,77	2,27	4,71	9,00	490,00	0,21	0,76	300,00	701,01	397,00	1,13	2,07	6,53	1,65	3,42	10,78
Bugra	Turquia	42,00	40,02	6,20	1,88	3,76	8,50	369,00	0,22	0,74	132,50	355,38	198,00	1,05	2,00	6,77	1,65	3,30	11,18
Toh Lam	Holanda	41,02	35,15	5,95	2,75	3,61	7,50	250,00	0,19	0,79	149,14	468,35	205,00	1,17	1,31	6,89	1,65	2,16	11,38

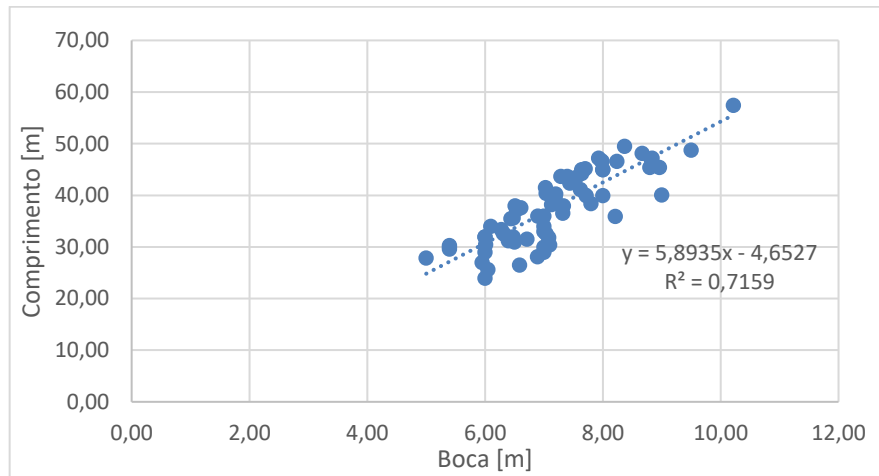
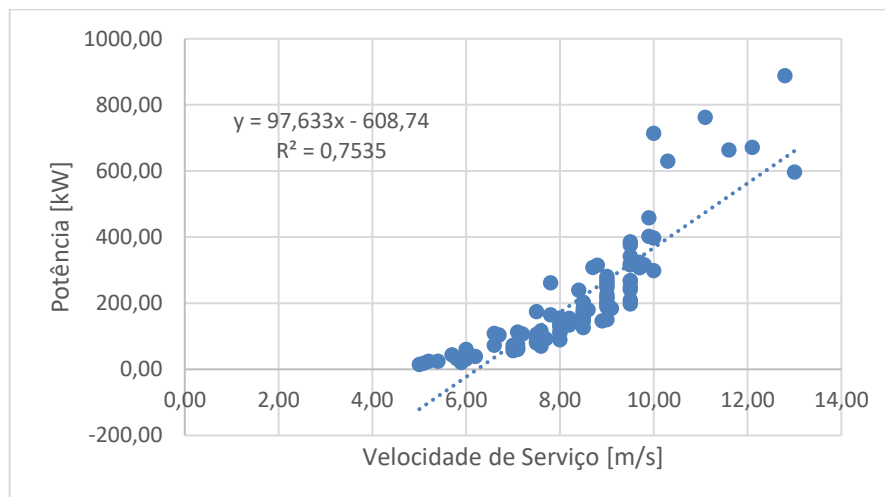
**APÊNDICE B – Curvas de Correlação***Figura 57 - Curva de relação entre comprimento e boca**Figura 58 - Curva de relação entre potência e velocidade de serviço*

Figura 59 - Curva de relação entre deslocamento e comprimento

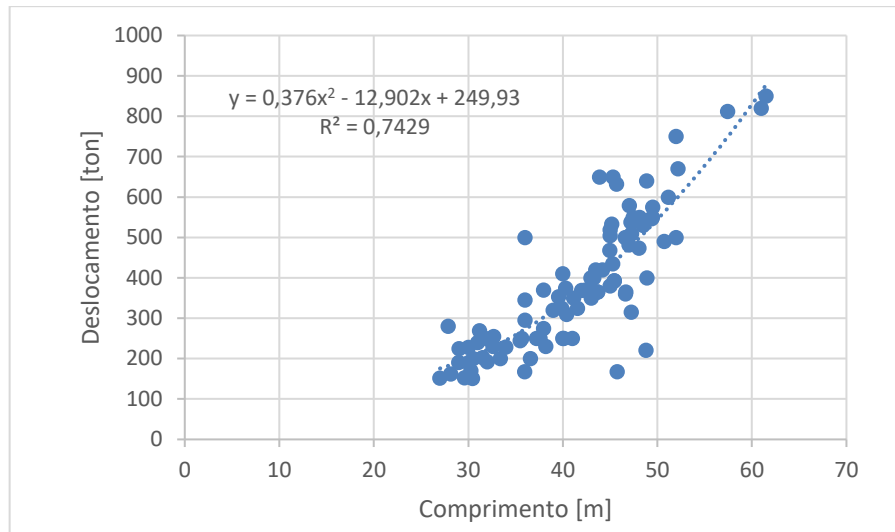
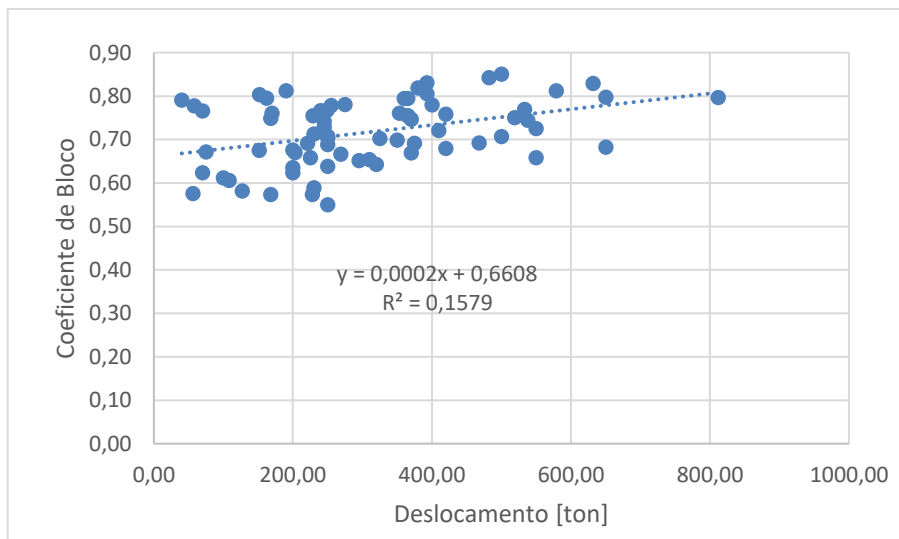
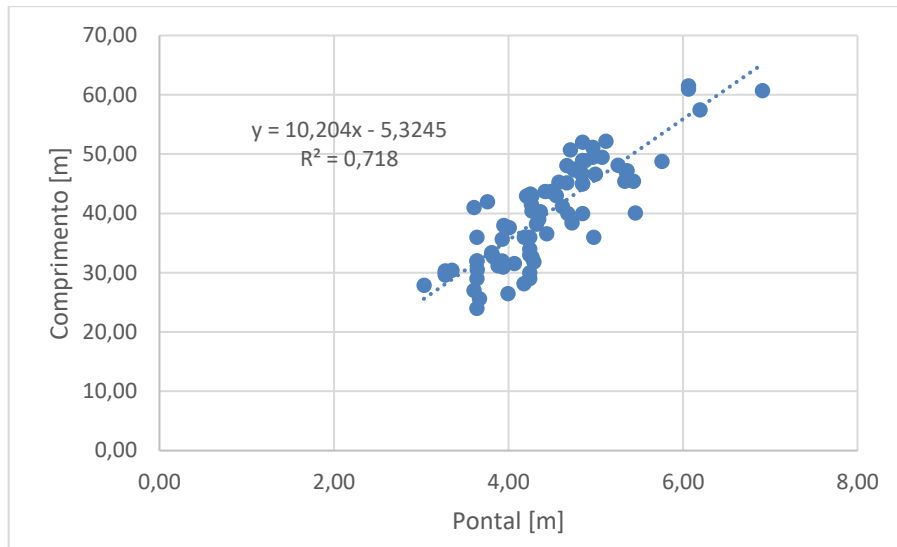
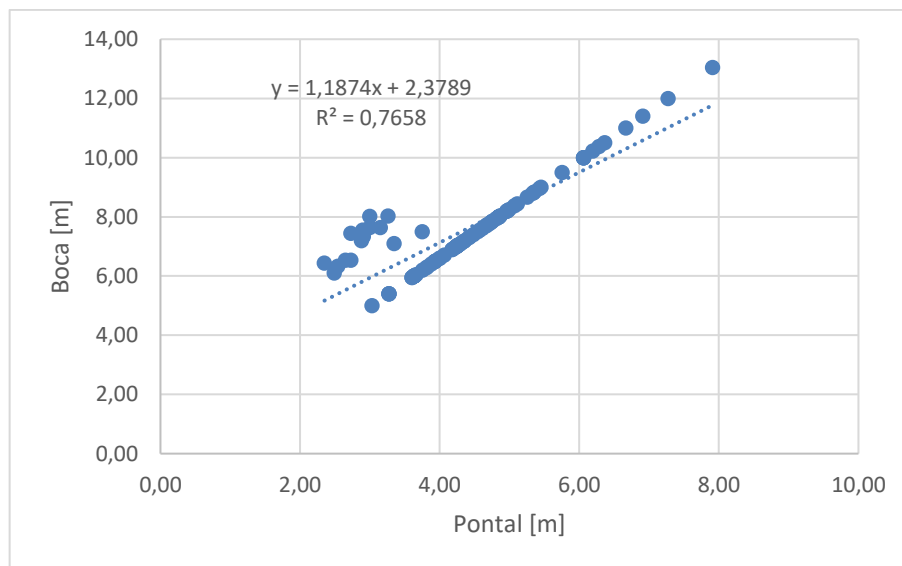
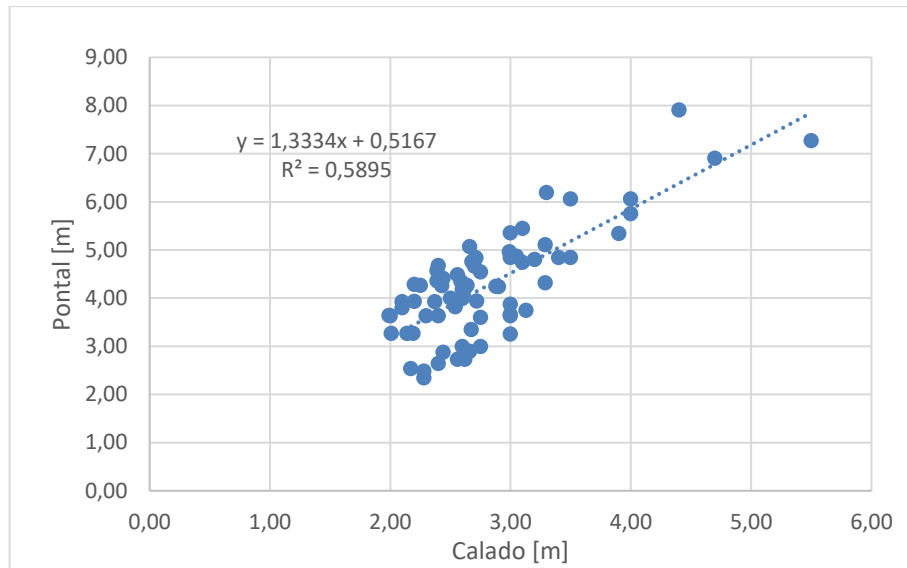
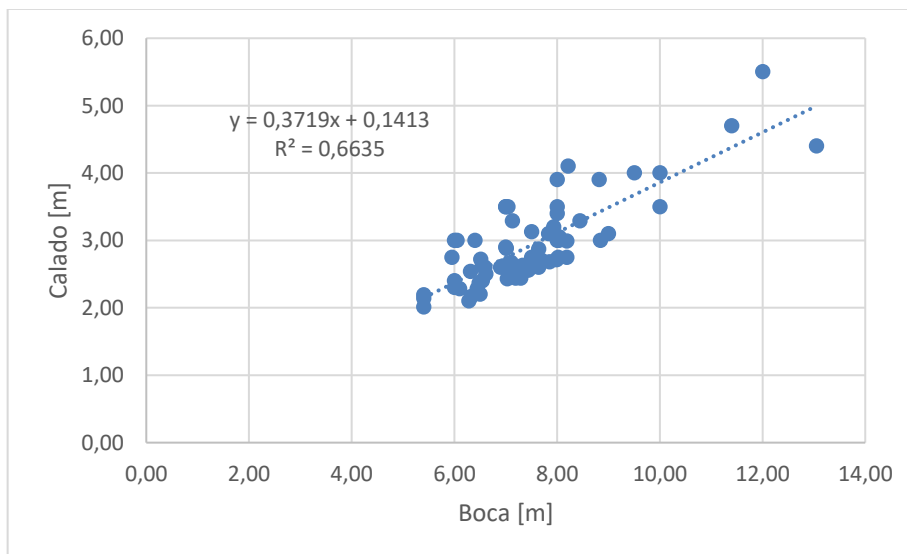


Figura 60 - Curva de relação do coeficiente entre bloco e deslocamento



*Figura 61 - Curva de relação entre comprimento e pontal**Figura 62 - Curva de relação entre boca e pontal*



*Figura 63 - Curva de relação entre pontal e calado**Figura 64 - Curva de relação entre calado e boca*

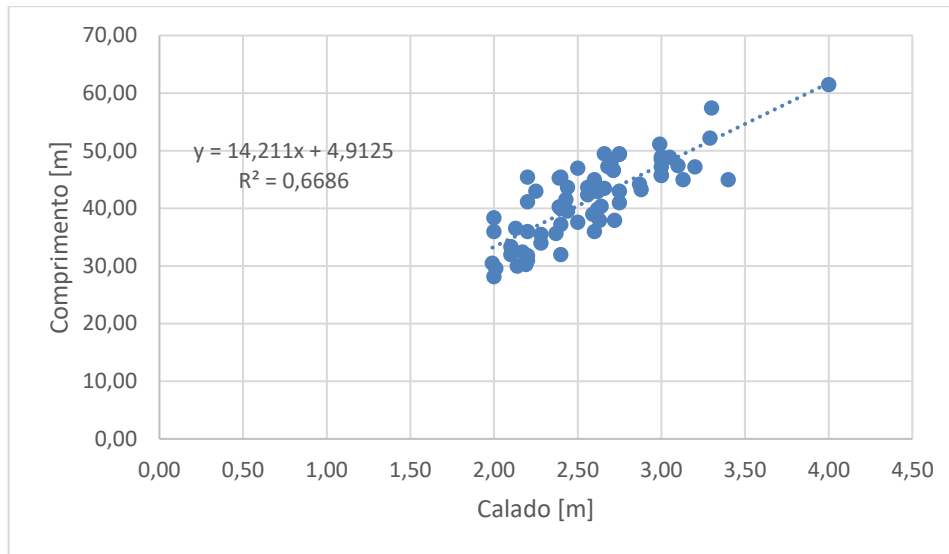
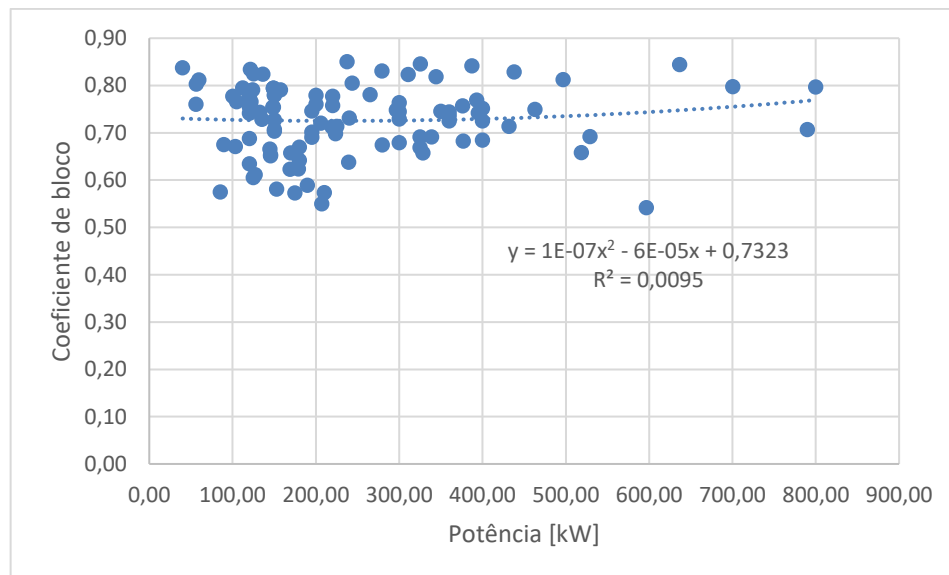
*Figura 65 - Curva de relação entre comprimento e calado**Figura 66 - Curva de relação entre coeficiente de bloco e potência*

Figura 67 - Curva de relação entre deslocamento e pontal

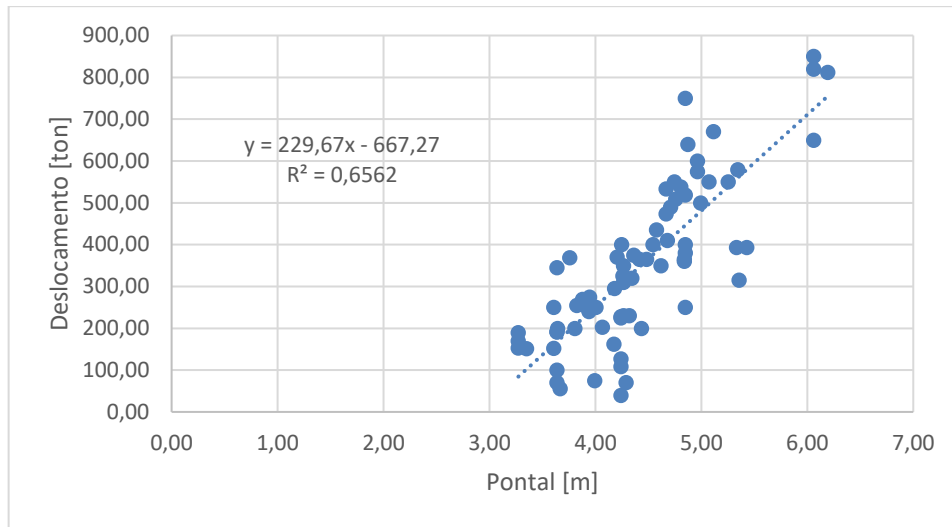
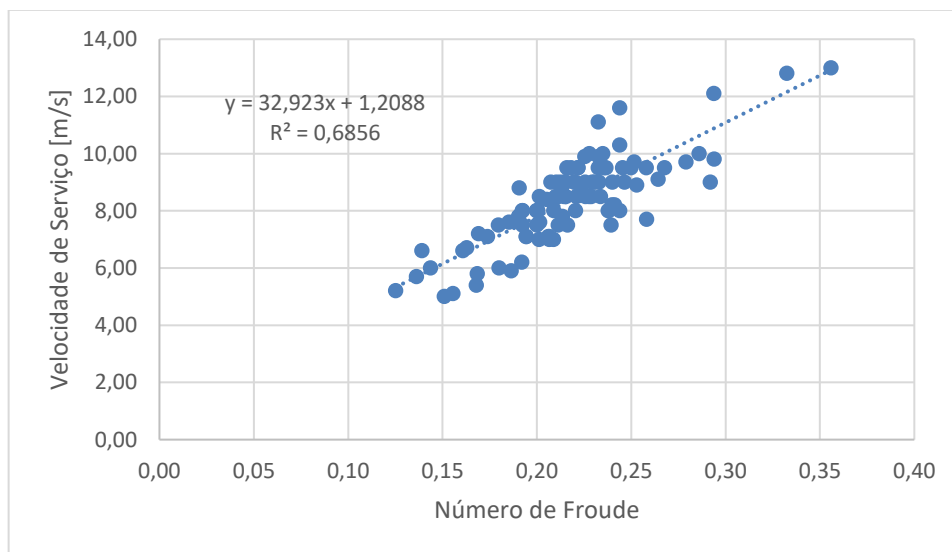
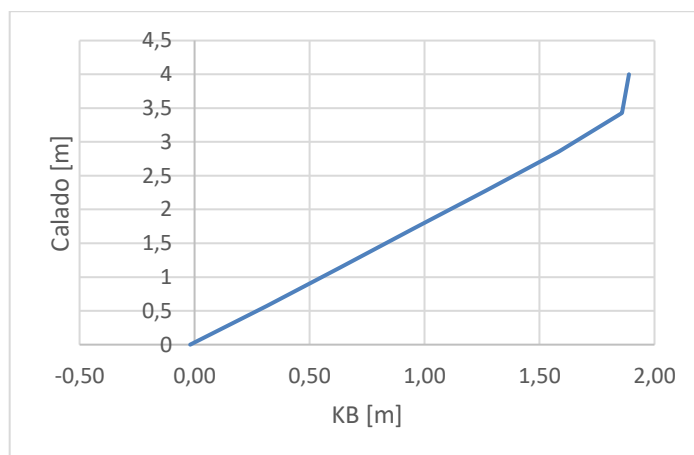
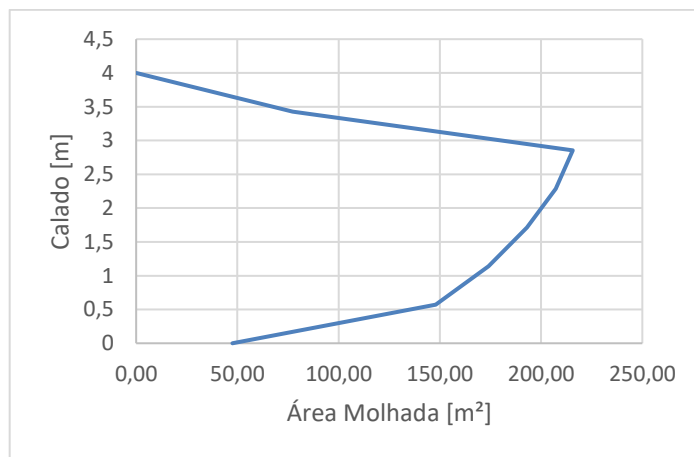
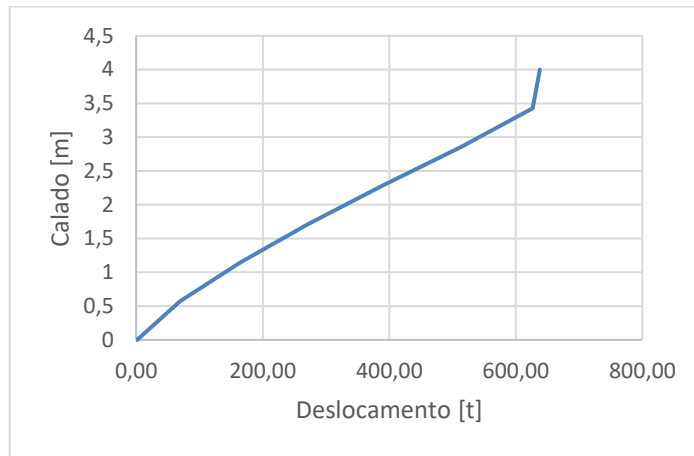
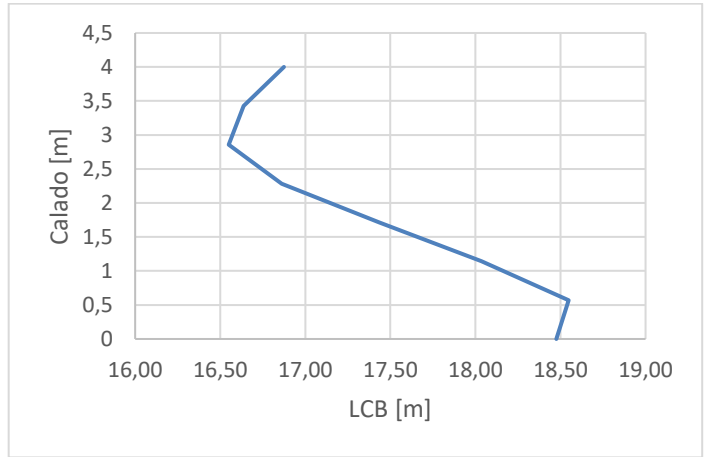
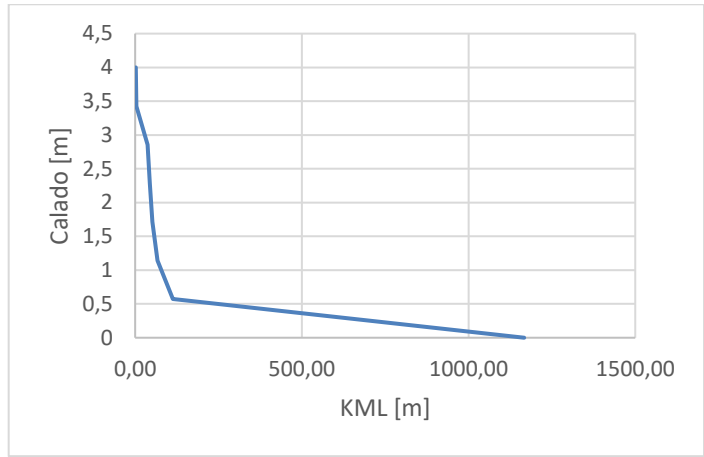
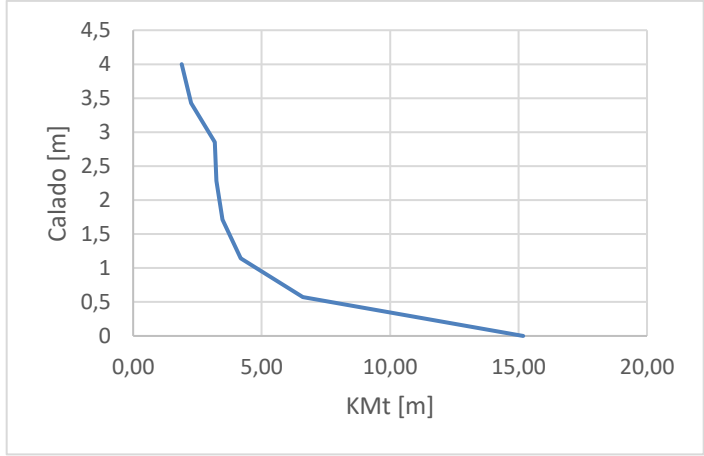
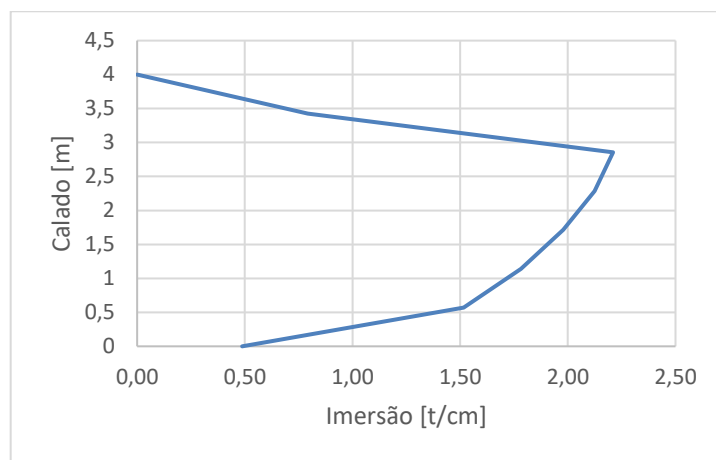
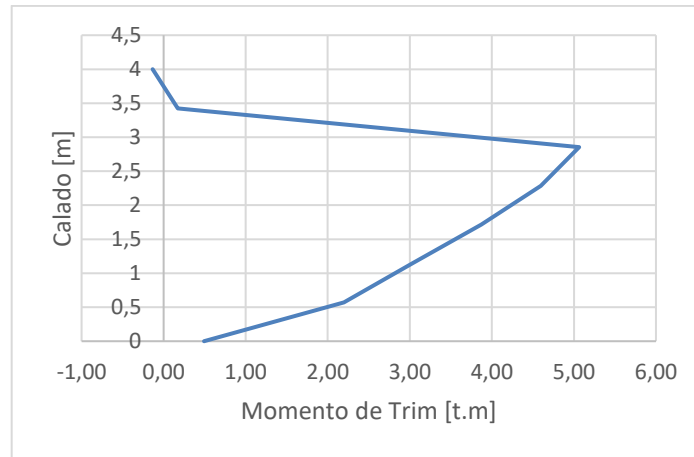


Figura 68 - Curva de relação da velocidade de serviço e número de Froude

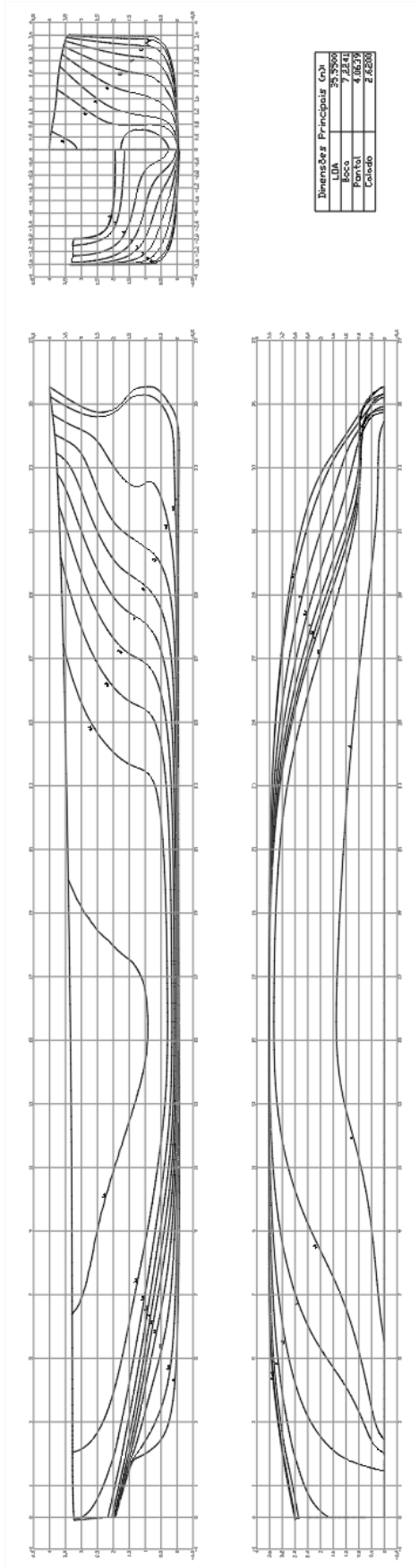


**APÊNDICE C – Propriedades Hidrostáticas**





### APÊNDICE D – Plano de Linhas



## APÊNDICE E – Plano de Capacidades

Tabela 39 - Plano de capacidade do Pique de Ré

SONDAGEM [m]	% DE CHEIO	CAPACIDADE [ton]	LCG [m]	VCG [m]
3,25	100,00	57,82	2,82	2,29
3,21	98,00	56,67	2,82	2,27
3,21	97,90	56,61	2,82	2,27
3,20	97,35	56,29	2,83	2,27
3,00	86,33	49,92	2,86	2,16
2,80	75,35	43,57	2,90	2,04
2,60	64,47	37,28	2,96	1,93
2,40	53,73	31,07	3,03	1,81
2,20	43,21	24,99	3,14	1,68
2,00	33,06	19,12	3,30	1,54
1,80	23,83	13,78	3,51	1,38
1,60	16,39	9,47	3,70	1,22
1,40	10,78	6,23	3,84	1,05
1,20	6,83	3,95	3,92	0,87
1,00	4,23	2,45	3,96	0,71
0,80	2,59	1,50	4,00	0,57
0,60	1,48	0,86	4,07	0,43
0,49	1,00	0,58	4,12	0,36
0,40	0,68	0,39	4,18	0,30
0,20	0,17	0,10	4,37	0,17
0,00	0,00	0,00	4,71	0,03

Tabela 40 - Plano de capacidade do Tanque 1

SONDAGEM [m]	% DE CHEIO	CAPACIDADE [ton]	LCG [m]	VCG [m]
3,32	100,00	151,54	8,93	1,86
3,24	98,00	148,51	8,93	1,83
3,24	97,90	148,36	8,93	1,83
3,20	96,45	146,16	8,93	1,81
3,00	89,27	135,28	8,95	1,70
2,80	82,10	124,42	8,97	1,60
2,60	74,95	113,58	8,99	1,49
2,40	67,82	102,77	9,02	1,39
2,20	60,72	92,01	9,05	1,28
2,00	53,66	81,31	9,08	1,17
1,80	46,65	70,70	9,13	1,06
1,60	39,73	60,21	9,19	0,95
1,40	32,94	49,91	9,26	0,84
1,20	26,33	39,91	9,35	0,72
1,00	20,06	30,40	9,47	0,60
0,80	14,33	21,71	9,59	0,48
0,60	9,33	14,13	9,70	0,36
0,40	5,15	7,81	9,79	0,24
0,20	1,89	2,87	9,91	0,12
0,13	1,00	1,52	9,99	0,07
0,00	0,00	0,00	10,34	0,00



Tabela 41 - Plano de capacidade do Tanque 2

<b>SONDAGEM [m]</b>	<b>% DE CHEIO</b>	<b>CAPACIDADE [ton]</b>	<b>LCG [m]</b>	<b>VCG [m]</b>
3,41	100,00	175,39	16,26	1,73
3,40	99,97	175,34	16,26	1,73
3,30	98,00	171,89	16,25	1,70
3,29	97,90	171,71	16,25	1,70
3,20	95,04	166,69	16,25	1,65
3,00	88,86	155,86	16,25	1,55
2,80	82,69	145,03	16,25	1,45
2,60	76,52	134,21	16,25	1,35
2,40	70,35	123,40	16,25	1,25
2,20	64,19	112,59	16,25	1,15
2,00	58,03	101,78	16,25	1,05
1,80	51,87	90,98	16,25	0,95
1,60	45,72	80,19	16,25	0,85
1,40	39,57	69,40	16,25	0,74
1,20	33,43	58,63	16,25	0,64
1,00	27,29	47,86	16,25	0,54
0,80	21,17	37,14	16,26	0,43
0,60	15,12	26,53	16,26	0,33
0,40	9,29	16,29	16,26	0,22
0,20	3,96	6,95	16,27	0,11
0,06	1,00	1,75	16,29	0,03
0,00	0,00	0,00	16,30	0,00

Tabela 42 - Plano de capacidade do Tanque 3

<b>SONDAGEM [m]</b>	<b>% DE CHEIO</b>	<b>CAPACIDADE [ton]</b>	<b>LCG [m]</b>	<b>VCG [m]</b>
3,55	100,00	141,00	23,13	1,83
3,41	98,00	138,18	23,11	1,80
3,41	97,90	138,04	23,11	1,80
3,40	97,61	137,64	23,11	1,79
3,20	91,25	128,66	23,10	1,69
3,00	84,95	119,78	23,09	1,58
2,80	78,72	111,00	23,09	1,48
2,60	72,55	102,30	23,08	1,37
2,40	66,44	93,68	23,08	1,27
2,20	60,39	85,15	23,07	1,17
2,00	54,39	76,69	23,07	1,06
1,80	48,44	68,30	23,06	0,96
1,60	42,54	59,98	23,06	0,86
1,40	36,67	51,70	23,06	0,75
1,20	30,83	43,47	23,05	0,65
1,00	25,02	35,27	23,04	0,55
0,80	19,25	27,14	23,03	0,44
0,60	13,60	19,17	23,03	0,33
0,40	8,24	11,62	23,02	0,22
0,20	3,47	4,89	23,01	0,11
0,07	1,00	1,41	23,00	0,04
0,00	0,00	0,00	22,98	0,00

Tabela 43 - Plano de capacidade da Praça de Máquinas

SONDAGEM [m]	% DE CHEIO	CAPACIDADE [ton]	LCG [m]	VCG [m]
4,00	100,00	8,47	34,16	2,07
3,81	98,00	8,30	34,15	2,03
3,81	97,90	8,30	34,15	2,03
3,80	97,58	8,27	34,15	2,02
3,60	89,78	7,61	34,15	1,88
3,40	82,75	7,01	34,16	1,74
3,20	76,41	6,48	34,17	1,62
3,00	70,84	6,00	34,18	1,50
2,80	65,88	5,58	34,19	1,40
2,60	61,53	5,21	34,20	1,30
2,40	57,61	4,88	34,22	1,22
2,20	53,89	4,57	34,23	1,15
2,00	50,05	4,24	34,25	1,08
1,80	45,77	3,88	34,26	1,00
1,60	40,80	3,46	34,27	0,91
1,40	35,10	2,97	34,27	0,82
1,20	28,88	2,45	34,26	0,72
1,00	22,46	1,90	34,24	0,61
0,80	16,17	1,37	34,20	0,49
0,60	10,31	0,87	34,15	0,37
0,40	5,32	0,45	34,08	0,25
0,20	1,70	0,14	33,98	0,12
0,14	1,00	0,08	33,95	0,09
0,00	0,00	0,00	33,87	0,00

Tabela 44 - Plano de capacidade do Pique de Vante

SONDAGEM [m]	% DE CHEIO	CAPACIDADE [ton]	LCG [m]	VCG [m]
3,79	100,00	87,97	29,38	2,10
3,61	98,00	86,21	29,33	2,07
3,60	97,90	86,12	29,33	2,06
3,60	97,86	86,08	29,33	2,06
3,40	90,01	79,18	29,29	1,94
3,20	82,17	72,29	29,27	1,81
3,00	74,80	65,80	29,25	1,68
2,80	67,87	59,70	29,23	1,56
2,60	61,35	53,97	29,22	1,43
2,40	55,24	48,59	29,21	1,32
2,20	49,48	43,52	29,20	1,20
2,00	44,02	38,72	29,20	1,09
1,80	38,80	34,13	29,19	0,98
1,60	33,76	29,70	29,20	0,87
1,40	28,85	25,38	29,20	0,77
1,20	24,05	21,15	29,20	0,66
1,00	19,33	17,01	29,21	0,55
0,80	14,73	12,96	29,21	0,45
0,60	10,30	9,06	29,21	0,34
0,40	6,18	5,43	29,20	0,22

0,20	2,54	2,24	29,15	0,11
0,10	1,00	0,88	29,10	0,05
0,00	0,00	0,00	29,03	0,00

