



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA NAVAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA NAVAL

RENAN ELIAS DA SILVA HAZIN

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE PESO LEVE PRELIMINAR POR
METODOLOGIA SIMPLIFICADA**

RECIFE, 2018

RENAN ELIAS DA SILVA HAZIN

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE PESO LEVE PRELIMINAR POR
METODOLOGIA SIMPLIFICADA**

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

ORIENTADOR: SILVIO EDUARDO GOMES
DE MELO

RECIFE, 2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

RENAN ELIAS DA SILVA HAZIN

**DETERMINAÇÃO DA CURVA DE PESO LEVE PRELIMINAR POR
METODOLOGIA SIMPLIFICADA**

Trabalho de Conclusão de Graduação, apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Naval da Universidade Federal de Pernambuco pelo aluno Renan Elias da Silva Hazin, sob a orientação do Professor Silvio Eduardo Gomes de Melo como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Naval.

Data da Aprovação: __/__/__**BANCA EXAMINADORA:**

Silvio Eduardo Gomes de Melo (Orientador)

Tiago José Medeiros de Araújo Lira (co-orientador)

Adriano Dayvson Marques Ferreira (membro interno)

Michel Pacheco de Andrade (membro externo)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida, por me conceder forças, pela oportunidade de adquirir conhecimentos e sabedoria para completar mais um ciclo.

Aos meus pais, Roberto Hazin e Vera Hazin, pelo empenho e incentivo em minha formação acadêmica, por entender as minhas ausências, por acreditar em mim, quando muitas vezes eu já não acreditava, pelo amor demonstrado diariamente.

Agradeço a minha namorada Raquel, que jamais me negou apoio, carinho e incentivo. Obrigado, por aguentar tantas crises de estresse e ansiedade. Sem você do meu lado nada disso seria possível.

A todos os amigos, especialmente Amanda Cavalcanti, Adler Resplande, Bruno Lima, Felipe Araújo, Felipe Modesto, Giovanni Maciel, Takeo Chikushi e Paulo Santos meu muito obrigado. Vocês foram fundamentais para minha formação, por isso merecem o meu eterno agradecimento.

Sou grato à empresa Estaleiro Atlântico Sul que me concedeu a chance de fazer estágio e assim conhecer um pouco mais da minha área de formação. Agradeço também a Tiago Araújo e Michel Andrade que mesmo não fazendo mais parte do quadro de funcionários da empresa sempre me trataram com todo carinho, dedicação e profissionalismo.

Ao professor Silvio Eduardo Gomes de Melo, meu orientador, pela disponibilidade, compreensão, pelo apoio e paciência, contribuindo assim para meu crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

A obtenção da curva de peso leve, nas fases preliminares do projeto do navio é normalmente executada de forma simplificada, a partir da forma inicial e utilizando-se várias estimativas, através de formulações encontradas na literatura. Apesar de produzir uma estimativa inicial bastante razoável para itens de massas particulares, a escolha errada da distribuição de massa do casco, pode anular todos os benefícios da utilização de formulações confiáveis para estimativas de massas. Neste trabalho propomos, realizar uma comparação entre uma metodologia simplificada de obtenção da curva de peso leve e itens de massa reais, obtidos durante a construção, de modo verificar sua adequação e realizar uma calibração do método para que o mesmo possa ser usado com maior confiabilidade na determinação preliminar da curva de massas.

Palavras-chaves: Projeto de Embarcações, Projeto Estrutural, Construção Naval, Peso Leve.

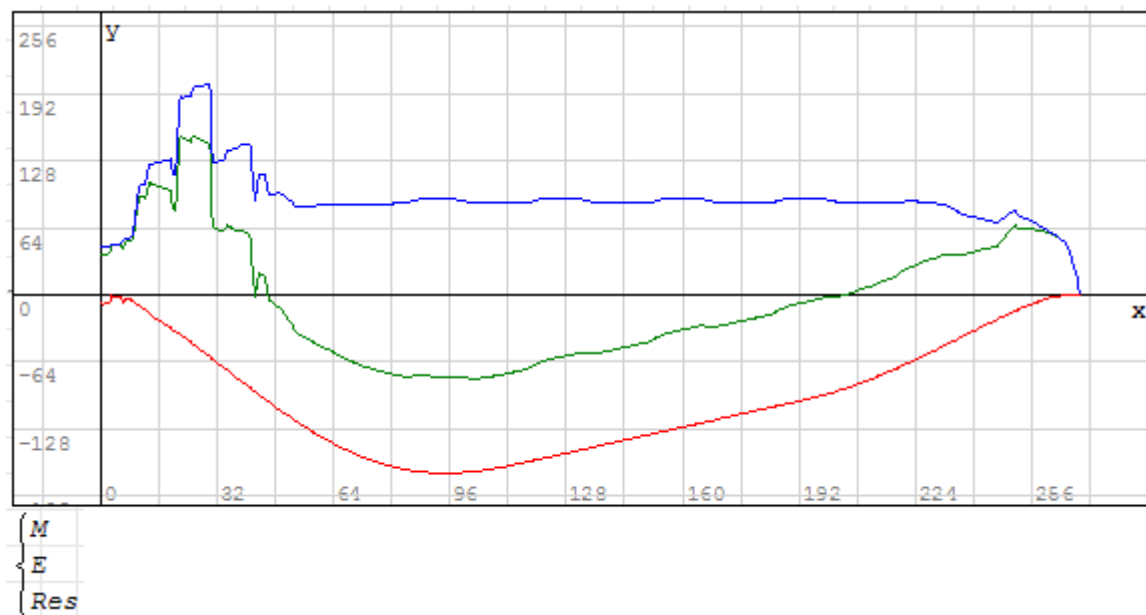
ABSTRACT

Obtaining the lightweight curve in the preliminary phases of the ship design is usually performed in a simplified way, starting from the initial form, and using several estimates, through formulations found in the literature. Despite producing a reasonable initial estimate for items of particular weights, the wrong choice of hull mass distribution may negate all the benefits of using reliable formulations for weight estimates. In this work, we propose a comparison between a simplified methodology for obtaining the light weight curve and real weight items obtained during the construction, to verify their suitability and carry out a calibration of the method so that it can be used with greater reliability in the preliminary determination of the weight curve.

Keywords: Vessel Design, Structural Design, Shipbuilding, Lightship.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Relação entre a massa do casco e numeral de equipamento (Fonte: Watson, 1998).....	5
Figura 2- Exemplificação da curva de massa do casco (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998).....	8
Figura 3 - Exemplificação da curva de massa do casco definida por Hansch (Fonte: Hansch, 2008).....	8
Figura 4- Disposição dos níveis da superestrutura (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998).....	11
Figura 5- Variação da massa de <i>outfits</i> com relação aos números quadrados de uma embarcação (Fonte: Watson, 1998).....	12
Figura 6- Relação da massa do motor principal e potência (Fonte: Watson, 1998).....	16
Figura 7-Fluxograma de aplicação da metodologia simplificada (Fonte: Autor).....	21
Figura 8- Curva de áreas seccionais (Fonte: Autor)	22
Figura 9- Curva de massa dos elementos longitudinais (Fonte: autor)	22
Figura 10- Curva de massa com inclusão dos anéis transversais (Fonte: Autor)	23
Figura 11- Distribuição de massa de cada antepara (Fonte: Autor)	24
Figura 12- Curva de massa com inclusão das anteparas transversais (Fonte: Autor) ..	24
Figura 13- Esquema de distribuição de massa (Fonte: Autor)	25
Figura 14- Exemplo de curva de Peso Leve (Fonte: Autor).....	26
Figura 15- Representação de Perfil soldado em T (Fonte: amesweb).....	30
Figura 16- Posicionamento dos prumos (Fonte: Autor)	31
Figura 17- Curva de Peso Leve estimada (Fonte: Autor).....	39
Figura 18- Distribuição média da massa do casco (Fonte: Autor)	40
Figura 19 - Curva de Peso Leve média (Fonte: Autor).....	40
Figura 20- Comparativo para a massa do casco entre curva média e curva criada pela metodologia (Fonte: autor).....	41
Figura 21- Comparativo entre a curva de massa médio e estimado (Fonte: Autor)	42
Figura 22- Comparativo entre a curva de Peso leve estimada e real (Fonte: Autor).....	43
Figura 23- Distribuição do erro relativo ao longo do comprimento do navio	45



- Figura 24- Curva de esforços para o peso leve estimado46
- Figura 25- Curva de esforços para o peso leve real.....46

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Faixa de valores adotados para K (Fonte: Watson, 1998).....6
- Tabela 2- Coeficiente volumétrico do convés X Razão de áreas dos conveses (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998) 10
- Tabela 3- Agrupamento de *outfits* fora da região da praça de máquinas (Fonte: Autor) 11
- Tabela 4-Relação entre as massas de escotilha de convés principal e suas dimensões (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)..... 13
- Tabela 5- Relação entre as massas da escotilha abaixo do convés principal e suas dimensões (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)..... 14
- Tabela 6- Relação entre as massas do guindaste e do seu raio de trabalho (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998) 14
- Tabela 7-Agrupamento na região de praça de máquinas (Fonte: Autor)..... 16
- Tabela 8-Área transversal dos elementos Longitudinais (Fonte: Autor).....27
- Tabela 9-Massa dos anéis na região de seção mestra (Fonte: Autor).....28
- Tabela 10- Valores para o cálculo da espessura da chapa transversal (Fonte: Autor)..30

Tabela 11-Valores para o cálculo do módulo de seção dos prumos (Fonte: Autor).....	30
Tabela 12- Propriedades dos prumos (Fonte: Autor)	31
Tabela 13- Comparativo de massa das anteparas transversais nas regiões de carga (Estimado X Real) (Fonte: Autor)	32
Tabela 14- Comparativo de massa do casco (Estimado X Real) (Fonte: Autor).....	33
Tabela 15- Comparativo entre a massa da superestrutura (Estimado X Real)	33
Tabela 16- Comparativo entre a massa dos <i>outfits</i> da superestrutura (Estimado X Real) (Fonte: Autor).....	34
Tabela 17- Comparativo das massas dos Guindastes (Estimado X Real) (Fonte: Autor)	35
Tabela 18- Comparativo das massas dos molinetes (Estimado X Real) (Fonte: Autor)	35
Tabela 19-Estimativa da massa do grupo IV de <i>outfits</i> (Fonte: Autor).....	36
Tabela 20- Massas reais dos elementos do sistema de Amarração e Fundeio (Fonte: Autor)	36
Tabela 21- Comparativo da linha de eixo (Estimativa X Real) (Fonte: Autor).....	37
Tabela 22- Comparativo da massa do hélice (Estimado X Real) (Fonte: Autor)	37
Tabela 23-Comparativo da massa do hélice (Estimado X Real) (Fonte: Autor).....	38
Tabela 24- Comparativo das massas da praça máquinas (Estimado X Real) (Fonte: Autor)	38
Tabela 25- Comparativo entre os valores de Peso Leve e LCG (Estimado X Real) (Fonte: Autor)	43
Tabela 26- Comparativo de esforço cortante e momento fletor	47

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ_L – Peso Leve;

V – Volume do casco;

$W_{Aço}$ – Massa do casco do navio

$W_{sup.est}$ – Massa da superestrutura

W_o – Massa dos *outfits*

W_m – Massa da praça de máquinas

W_r – Margem de Massa

L – Comprimento total do navio;

B – Largura total do navio;

T – Calado;

D – Pontal;

DWT – Peso morto;
 l1 – Comprimento da praça de máquinas;
 h1 – Altura da praça de máquinas;
 l2 – Comprimento da casaria;
 h2 – Altura da casaria;
 W_{st} – Massa do casco;
 E – Número de equipagem;
 C_B – Coeficiente de Bloco;
 C_{DH} – Coeficiente volumétrico de convés;
 F_u – Área acima do convés principal;
 F_0 – Área do convés principal;
 W_t – Massa da cobertura de escotilha de convés;
 W_d – Massa do motor principal sem os sistemas de lubrificação e resfriamento;
 W_{rem} – Massa das máquinas remanescente;
 MCR – Potência contínua máxima do motor principal;
 MCP – Motor principal;
 MCA – Motor auxiliar;
 LCG – Posição longitudinal do centro de gravidade;
 KG – Posição vertical do centro de gravidade;
 P_d – Potência entregue ao eixo principal;
 n – Rotação do eixo;
 W_{prop} – Massa do hélice;
 D – Diâmetro do hélice;
 $\frac{A_e}{A_0}$ – Razão de áreas;
 Z – Número de pás;
 W_{Agg} – Massa das unidades elétricas;
 A_{SM} – Área transversal dos elementos longitudinais;
 P_{SM} – Massa dos elementos longitudinais;
 t – Espessura da chapa de antepara;
 SM – Módulo de seção;
 Y – Tensão de escoamento;
 P_{ASM} – Massa da antepara transversal na região da seção mestra;

$\gamma_{aço}$ – Densidade do aço;

LPP – Comprimento entre perpendiculares;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. PESO LEVE.....	3
2.1.1. Massa do casco.....	4
2.1.2. Massa da superestrutura.....	9
2.1.3. Massa dos <i>Outfits</i>	11
2.1.4. Massa dos componentes da Praça de Máquinas.....	15
2.1.5. Margem de massa.....	20

3. METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA OBTENÇÃO DA CURVA DE PESO LEVE	
21	
4. COMPARAÇÃO ENTRE A CURVA DE PESO GERADA E A CURVA DE PESO REAL	
27	
4.1. MASSA ESTIMADA DO CASCO	27
4.2. MASSA ESTIMADA DA SUPERESTRUTURA.....	33
4.3. MASSA ESTIMADA DOS <i>OUTFITS</i>	34
4.4. MASSA ESTIMADA DA PRAÇA DE MÁQUINAS	36
4.5. CURVA DE PESO LEVE ESTIMADA	38
4.6. COMPARATIVO ENTRE CURVA REAL, MÉDIA E ESTIMADA	39
5. CONCLUSÕES.....	48
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXO I (SEÇÃO MESTRA).....	51
ANEXO II (ARRANJO GERAL)	53
ANEXO III (POSIÇÃO DOS COMPONENTES DO PESO LEVE ESTIMADO)	54
ANEXO IV (CURVAS DE ESFORÇO CORTANTE E MOMENTO FLETOR)	55

1. INTRODUÇÃO

Percebido a necessidade de um armador para se construir um navio que suprirá determinado perfil operacional, o primeiro grande esforço antes do início da construção do projeto, é o desenvolvimento do projeto básico. É nesta fase que são feitos e validados todos os cálculos de engenharia, para que fique assegurada uma resposta satisfatória do navio em determinadas condições de mar.

No decorrer desta fase, um dos principais requisitos a serem obtidos é o peso leve do navio e a posição do seu centro de gravidade. Além de tais informações serem extremamente necessárias para realização de análises primordiais, como, estabilidade transversal e longitudinal de uma embarcação, elas também possuem grande importância para análise de custos, viabilidade econômica, precificação de materiais (especificamente no caso do estaleiro) e para as demandas de balanceamento das oficinas de fabricação e montagem estrutural. A obtenção dos valores do peso leve e centro de gravidade dependem principalmente do dimensionamento e posicionamento de toda estrutura naval e dos principais elementos dos sistemas auxiliares.

Devido à complexidade do projeto, muitas vezes é necessário obter os valores de peso leve e centro de gravidade de uma embarcação bem antes de se concluir o arranjo e topologia estrutural. Diante da necessidade apresentada, os métodos de estimativas são muito úteis para se obter uma estimativa inicial dos valores procurados. Para tanto, existe uma variedade de relações empíricas que podem ser aplicadas para chegar ao objetivo final, porém é importante que se saiba quais informações são necessárias e qual a confiabilidade destas informações.

Normalmente, o valor da massa do casco é obtido por alguma formulação empírica, do tipo $P = kV^a\Delta^b$, onde k, a e b são constantes obtidas em extrapolações estatísticas, ensaios em tanques de provas ou através da análise de navios semelhantes. Definido o valor da massa do casco, costuma-se utilizar uma distribuição trapezoidal para esta, de modo que a área total da curva corresponda (por integração) a massa obtida pela formulação de estimativa. Este procedimento produz bons resultados, para navios convencionais de grande porte, com estrutura predominantemente longitudinal, onde os valores de k, a e b, puderam ser bem determinados.

No entanto, nem sempre é possível obter os valores confiáveis de k, a e b ou até mesmo obter algum valor para um determinado projeto, de modo que existe uma outra metodologia, que só depende de uma boa determinação da topologia estrutural na região da seção mestra e de alguns elementos estruturais na mesma região. Ao invés de utilizarmos uma distribuição trapezoidal, que para alguns tipos de casco é uma simplificação muito forte, pode-se representar

a distribuição longitudinal da massa do casco utilizando a distribuição de volume do casco, determinada normalmente nas fases iniciais do projeto, quando se faz o projeto de forma, utilizando em conjunto outras formulações para os demais itens de massa.

Neste trabalho, será apresentada uma metodologia confiável para se obter a curva de peso leve e, conseqüentemente, o peso leve e a posição longitudinal do centro de gravidade. A validação da metodologia proposta, será feita através de comparação entre uma curva de peso leve real gerada durante a construção, uma curva média de peso leve e a curva de peso leve de um navio tanque gerada pela metodologia. Para tal, foram utilizados os dados de projeto fornecidos pelo Estaleiro Atlântico Sul ao término da construção da série de dez navios tanque do tipo Suezmax.

Ao longo deste trabalho, em conjunto com a metodologia que será apresentada e através de referências bibliográficas, será descrito como o peso leve de uma embarcação de médio e grande porte é dividido. Também serão apresentadas as estimativas para diversos itens de massa, que serão utilizadas na construção da curva de peso leve. Por fim, será realizado uma comparação entre a curva de pesos obtida pela metodologia simplificada e a do Estaleiro Atlântico Sul (durante a construção do Suezmax), fazendo as devidas considerações e propondo os ajustes necessários.

O estudo feito neste trabalho, contém inicialmente uma descrição detalhada de como é dividido o peso leve de um navio, metodologias empregadas e quais as limitações destas metodologias atualmente na literatura. Sendo utilizado como base principalmente o que está descrito em SCHNEEKLUTH e BERTRAM (1998) e WATSON (1998), para a estimativa da massa do casco, e os demais componentes.

Concluída a descrição dos componentes do Peso Leve da embarcação, a etapa seguinte será a descrição da metodologia a ser aplicada e quais foram os meios utilizados na tentativa de obter um melhor resultado para a curva de peso leve da embarcação.

Em seguida, será realizada uma comparação entre os dados fornecidos pelo Estaleiro Atlântico Sul e a metodologia apresentada, levantando hipóteses para as eventuais diferenças entre ambas.

Na conclusão do trabalho serão analisadas as situações identificadas propondo então quais os tópicos que podem ser tratados em trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entendida a necessidade de se obter o peso leve e as posições longitudinal e vertical do centro de gravidade (LCG e KG, respectivamente) de uma embarcação no decorrer do desenvolvimento do projeto, se fez importante durante a evolução do projeto naval, criar, refinar e selecionar meios para a obtenção de valores mais próximos dos reais.

Por causa da grande variedade de características de projetos navais para um determinado tipo de navio (dimensões, forma do casco, máquinas auxiliares e etc.), é extremamente difícil ser assertivo em valores que são estimados no início do projeto. Devido à essa complexidade, as literaturas mais atuais preferem dividir o peso leve do navio em grupos para que possam ser tratados com maior detalhe.

Neste capítulo foi apresentado a forma de como o peso leve da embarcação é desmembrado e quais os meios de estimativa que são aplicados na literatura para obtenção de cada componente de massa.

2.1. PESO LEVE

Como mencionado na introdução, um dos principais resultados nas fases preliminares do projeto do navio é o peso leve. Por possuir uma forma complexa, o cálculo de estimativa para a obtenção do peso leve do navio foi baseado tanto em Watson (1998) quanto em Schneekluth e Bertram (1998) da seguinte forma:

$$\Delta_L = W_{Aço} + W_{sup.est} + W_o + W_m + W_r \quad (1)$$

Onde:

$W_{Aço}$ – Massa do casco do navio (estrutural);

$W_{sup.est}$ – Massa da superestrutura (estrutural);

W_o – Massa dos *outfits*;

W_m – Massa da praça de máquinas;

W_r – Margem de Massa;

Decomposto o peso leve do navio nos itens descritos acima, criou-se a oportunidade de atacar cada item de forma detalhada, gerando uma expectativa de conseguir aproximar o valor obtido por estimativa na fase inicial do projeto e o valor real.

Segundo Watson (1998), antes do início dos cálculos de estimativas propriamente dito, é necessário concretizar algumas demarcações para evitar problemas e, conseqüentemente,

gerar divergências significativas entre os valores estimados e reais. É possível citar como exemplo, a dúvida rotineira de qual grupo determinada massa deve ser contabilizada ou se, determinado método contempla a massa de um item específico. Estas demarcações devem ser tratadas com o máximo de cuidado pelo encarregado da obtenção da curva de peso (que neste caso pode ser um escritório de projeto naval ou um estaleiro) para que não haja grande discrepância entre os valores, afetando a estimativa de peso leve.

A seguir, foram descritas as estratégias de estimativas adotadas para cada divisão do peso leve.

2.1.1. Massa do casco

Utilizando a definição proposta por Schneekluth e Bertram (1998) a massa estrutural pode ser definida como a soma de todo aço processado para a construção do navio, englobando desse modo toda massa do casco e da superestrutura.

Por se tratar da parte que mais influência no peso leve do navio, a massa estrutural deve ser calculada com um maior detalhamento, principalmente no que se refere à massa do casco, uma vez que esta é a que tem maior percentual no peso leve do navio.

Baseado nas literaturas estudadas, os métodos apresentados como estimativa fornecem uma boa variação de caminhos para descobrir a massa do casco de uma embarcação, podendo cada um ser aplicado em fases diferentes em que o projeto se encontra. Porém, tanto por Schneekluth e Bertram (1998) quanto Watson (1998) afirmam em seus trabalhos que, uma vez definida as dimensões principais e o formato do casco, é possível conseguir valores bem mais próximos da massa real obtendo o valor da área abaixo da curva de distribuição de massa do casco (por integração).

No decorrer deste tópico foram descritas as alternativas encontradas na literatura para estimar o valor da massa do casco para uma embarcação de médio a grande porte.

Inicialmente, para a aplicação do primeiro método apresentado em Watson (1998), é necessária a obtenção das dimensões principais e compartimentação inicial. Antes mesmo de se obter a massa do casco, foi preciso definir o parâmetro Numeral de equipamento (E), que é dado pela formulação:

$$E = L(B + T) + 0.85(D - T)L + 0.85 \sum l_1 h_1 + 0.75 \sum l_2 h_2 \quad (2)$$

Onde:

l_1, h_1 comprimento e altura da praça de máquinas

- l_2, h_2 comprimento e altura das casarias
 L Comprimento total do navio (Loa);
 D Pontal;
 B Boca;
 T Calado de projeto;

Definido o Numeral de equipamento, o método demonstra a relação existente entre tal variável e a massa do casco para diversos tipos de navio, como demonstrado no gráfico da Figura 1.

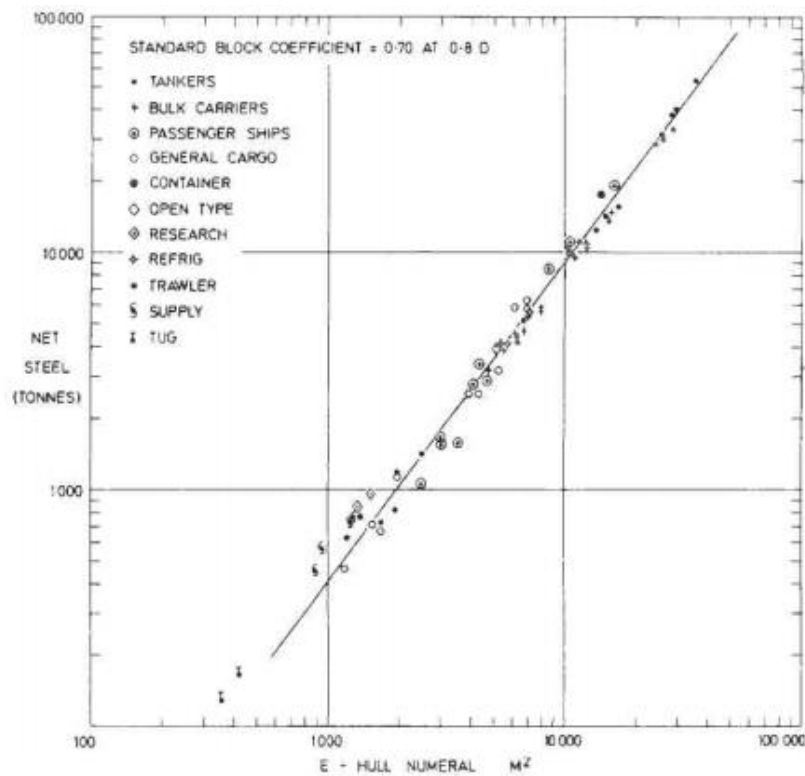


Figura 1-Relação entre a massa do casco e numeral de equipamento (Fonte: Watson, 1998)

Utilizando regressão, foi obtida a equação:

$$W_{st} = K \cdot E^{-1,36} \quad (3)$$

Onde K é uma constante que pode ser obtida na Tabela abaixo.

Tabela 1- Faixa de valores adotados para K (Fonte: Watson, 1998)

Tipo	K		Faixa para valores de E	Número de navios na amostra
	Valor médio	Variação		
Tanque	0,032	±0,03	1500-40000	15
Produtos químicos	0,036	±0,01	1900-2500	2
Cargueiro	0,031	±0,02	3000-15000	13
Contêiner	0,036	±0,03	6000-13000	3
Carga refrigerada	0,034	±0,02	4000-6000	6
Costeiro	0,03	±0,02	1000-2000	6
Suporte offshore	0,045	±0,05	800-1300	5
Rebocadores	0,044	±0,02	350-450	2
Navio de pesquisa	0,045	±0,02	1300-1500	2
Ro-Ro	0,031	±0,06	2000-5000	7
Passageiros	0,038	±0,01	5000-15000	4
Fragatas e corvetas	0,023	Desconhecido	-	-

Fundamentado em Runar e Stein (2010), para o cálculo da constante (K) utiliza-se uma amostra de navios que, dependendo do seu tamanho pode gerar problemas no momento na seleção da constante. Isto é justificado observando a Tabela 1 e percebendo que o valor da constante K, para um determinado tipo de embarcação, varia em um intervalo definido pelo número navios semelhantes, ou seja, quanto maior o número de embarcações de diferentes dimensões, melhor definido é o valor de K. Caso o tamanho da amostra utilizada para definir o valor da constante não esteja bem definido, existe a possibilidade de sua faixa estar superestimada ou subestimada, refletindo no valor da massa do casco.

Outro meio de estimativa comumente utilizado foi apresentado em Schneekluth e Bertram (1998) como Método dos Coeficientes. Neste caso, a massa do casco é obtido utilizando as equações que possuem a seguinte forma:

$$W_{st} = L^a B^b D^c C_B^d e \quad (4)$$

Tal que,

a-e constantes;

C_b Coeficiente de bloco;

A seguir são apresentadas algumas equações encontradas em Schneekluth e Bertram (1998) utilizadas para o cálculo da massa do casco de navios tanque.

- Det Norske Veritas (1972)

$$W_{st} = \Delta[\alpha_L + \alpha_T \left(1.009 - 0.004 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)\right) 0.006 \left(28.7 - \left(\frac{L}{D}\right)\right)] \quad (5)$$

Onde:

$$\alpha_L = \left[\left(0.054 + \frac{0.004L}{B}\right) 0.97 \right] / \left[0.189 \left(\frac{100L}{D}\right)^{0.78} \right];$$

$$\alpha_T = 0.029 + \left(\frac{0.00235\Delta}{100000}\right) \quad \Delta < 600000 \text{ t};$$

$$\alpha_T = 0.0252 \left(\frac{\Delta}{100000}\right)^{0.3} \quad \Delta > 600000 \text{ t}$$

Sendo esta formulação aplicada nas seguintes faixas:

L/D = 10-14, L/B = 5-7, L = 150- 480m;

- Sato (1967)

$$W_{st} = \left(\frac{C_b}{0.8}\right)^{\frac{1}{3}} \left[5.11L^{3.3} \frac{B}{D} + 2.56L^2(B + D)^2 \right] \quad (6)$$

O terceiro método, este também apresentado por Strohbusch (1928) *apud* Schneekluth e Bertram (1998), trata a estimativa da massa do casco empregando uma distribuição de massa (t/m) por todo comprimento do navio. Comparada com as formulações apresentadas até este momento, a curva de distribuição de massa tem maior assertividade no valor da massa do casco.

Diferentemente dos outros métodos, que precisam das dimensões principais e compartimentação inicial, este ainda precisará que a forma da embarcação esteja definida. Definidos estes parâmetros, obtém-se a curva de áreas seccionais no comprimento do casco.

O passo seguinte é a aplicação de alguns procedimentos que serão detalhados no próximo capítulo para converter a curva de áreas seccionais na curva de massa distribuída do casco (t/m). A curva de massa do casco contempla a maioria dos elementos estruturais que tem grande influência, como o caso dos reforçadores longitudinais, anéis (também nomeados de cavernas) gigantes e anteparas transversais. Os elementos que não aparecem na curva inicialmente, muitas vezes são dimensionados após a conclusão do projeto básico do navio. Definida a curva de massa do casco como mostrado na Figura 2, para obter o valor da massa, basta calcular a área abaixo da curva obtida.

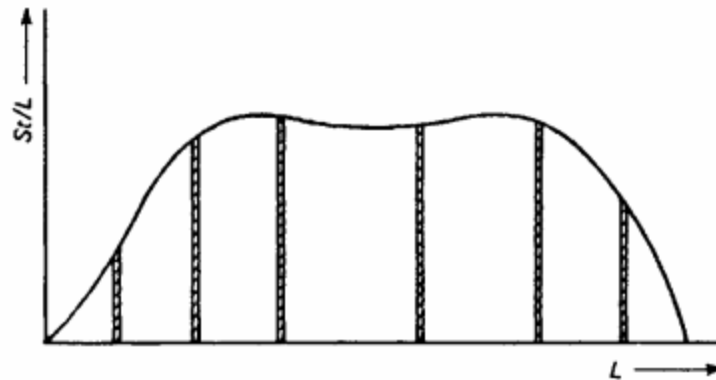


Figura 2- Exemplificação da curva de massa do casco (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)

Apesar da forma genérica definida em Strobusch (1928) *apud* Schneekluth e Bertram (1998) e ilustrada na Figura 2, atualmente, existem formas simplificadas que são bastante utilizadas para representar a curva de massa do casco. Como o que foi visto em Hansch (2008), a massa do casco deve ser obtida por estimativas e em seguida, distribuída em formato trapezoidal, com as dimensões do trapézio sendo definidas em função da massa do casco, como mostrado abaixo.

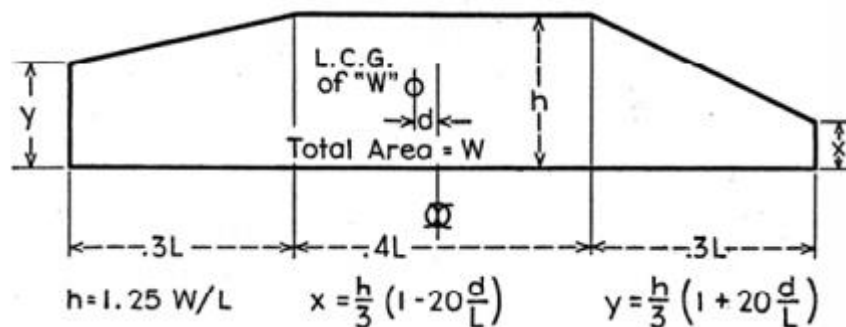


Figura 3 - Exemplificação da curva de massa do casco definida por Hansch (Fonte: Hansch, 2008)

A curva exemplificada por Hansch (2008) na Figura 3 tem sua aplicação para navios de carga e de passageiros de médio e grande porte sem nenhuma mudança de área seccional brusca. Pode-se concluir então que o tipo de curva apresentada não representa de forma apropriada cascos com geometrias mais acentuadas.

Ainda em Hansch (2008), descreve-se como os componentes do peso leve do navio devem ser somados com a curva de massa do casco para gerar da curva de peso leve.

A massa do casco é tradicionalmente definida como o peso leve menos a massa da âncora, máquina do leme e máquina principal de propulsão. A determinação da exata divisão da massa do casco deve ser baseada na densidade relativa do objeto em questão. Itens deixados de fora da massa do casco devem ser independentemente distribuídos como retângulos ou trapézios e devem ser combinados com a distribuição da massa do casco para determinar a distribuição total da massa do navio. (Hansch, 2008, p.4, tradução nossa).

Além da utilização da curva de massa do casco ser um método mais preciso com relação aos demais, este método ainda possui uma grande vantagem. Dependendo da fase em que se encontra o projeto, já se consegue estimar com certa precisão como se comporta a distribuição e quais os valores de massa dos acessórios, tubulações, equipamentos de praça de máquinas e casaria no comprimento do navio. Baseado no que foi definido em Hansch (2008), somando a distribuição de massas do casco e dos outros grupos, e em seguida, calculando o valor da área abaixo da curva por integração, é possível se obter o peso leve e a posição longitudinal do centro de gravidade (LCG) da embarcação.

2.1.2. Massa da superestrutura

Não muito diferente do que foi apresentado para a massa do casco, é possível também obter um valor aproximado da massa da superestrutura através dos métodos de estimativa.

Segundo Müller-Köster (1973) *apud* Schneekluth e Bertram (1998), o caminho apresentado na literatura para a estimativa de massa da superestrutura foi baseado em requisitos de construção solicitados pelas sociedades classificadoras, sendo necessário o valor de sua massa ser incrementado entre 10 a 25% do valor calculado.

O processo se inicia com a separação do convés mais baixo (tombadilho) dos demais, e só então é aplicado o método. A razão volumétrica para se obter a massa da estrutura do convés do tombadilho é dada por:

$C = 0.075 \text{ t/m}^3$ para conveses que estão a vante da praça de máquinas;

$C = 0.09 \text{ t/m}^3$ para conveses que cobrem a praça de máquinas e um porão;

Para o cálculo da massa estrutural dos demais conveses (G_{DH}) a, é utilizada a seguinte formulação.

$$G_{DH} = C_{DH} \cdot F_u \cdot h \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (7)$$

Onde:

C_{DH} Coeficiente volumétrico de cada convés;

h Altura do convés com relação ao convés principal;

F_u Área do convés acima do convés principal;

K_1 Correção para altura de conveses não padrão;

K_2 Correção para paredes internas não padrão;

K_3 Aplicado apenas em navios que possuem: $100 \leq L_{pp} \leq 230m$;

Os valores de K_1 , K_2 e K_3 são obtidos pelas seguintes relações:

$$K_1 = 1 + 0.02(h - 2.6)$$

$$K_2 = 1 + 0.05(4.5 - f_i), \text{ tal que } f_i \text{ é a soma do comprimento das paredes internas;}$$

$$K_3 = 1 + [(L_{pp} - 150)0.15/100];$$

Para a obtenção do coeficiente volumétrico (C_{DH}) de cada convés acima do convés principal, utiliza-se a razão entre a área do convés principal e a área dos conveses superiores ($\frac{F_0}{F_u}$), como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2- Coeficiente volumétrico do convés X Razão de áreas dos conveses (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)

F0/Fu	Convés				
	I	II	III	IV	Passadiço
1	0,057	0,056	0,052	0,053	0,04
1,25	0,064	0,063	0,059	0,06	0,045
1,5	0,071	0,07	0,065	0,066	0,05
1,75	0,078	0,077	0,072	0,073	0,055
2	0,086	0,084	0,078	0,08	0,06
2,25	0,093	0,091	0,085	0,086	0,065
2,5	0,1	0,098	0,091	0,093	0,07

Onde a numeração dos conveses acima do convés principal até o passadiço é apresentada na Figura 4.

Müller-Köster (1973) *apud* Schneekluth e Bertram (1998) ainda faz menção aos conveses que comportam os guindastes de provisões, estes devem ter sua massa incrementada em 70%.

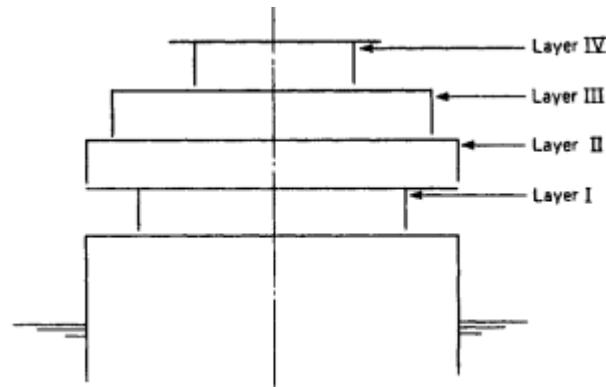


Figura 4- Disposição dos níveis da superestrutura (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)

2.1.3. Massa dos *Outfits*

Com relação aos *outfits* fora da região de praça de máquinas, tanto Schneekluth e Bertram (1998) quanto Watson (1998) definem que, as tratativas para obtenção da estimativa de massa podem ter diversos níveis de detalhamento, entretanto, tendo sempre como base um banco de dados com um número de navios semelhantes razoável. Comumente, os métodos de menor complexidade e conseqüentemente de menor precisão devem ser aplicados nas fases iniciais do projeto básico e, os métodos mais detalhistas, devem ser aplicados em fases mais avançadas, uma vez que estes necessitam de uma maior quantidade de *inputs* para gerar resultados mais precisos. A Tabela 3, mostra como cada autor agrupa detalhadamente os *outfits* fora da praça de máquinas.

Tabela 3- Agrupamento de *outfits* fora da região da praça de máquinas (Fonte: Autor)

Agrupamento de <i>outfits</i>	
Watson	Schneekluth e V. Bertram
- Estrutura	- Escotilhas não estruturais
- Carga	- Equipamentos de carga e acesso
- Área de acomodação	- Área de acomodação
- Máquinas de convés	- Diversos

Discutindo os meios de estimativa para o cálculo de massa, a tratativa mais simples apresentada é a utilização de relações gráficas e formulações obtidas por regressões, contemplando de forma geral todos os *outfits*. Já os meios mais complexos, também são calculados utilizando regressões, porém, os cálculos são feitos em grupos separados de *outfits* como apresentado na Tabela 3, de modo a se obter um valor mais próximo do real.

Baseado no que foi descrito em Watson (1998), é possível obter a massa dos *outfits* relacionando apenas os “números quadrados” ($L \times B$) e o tipo de navio, como mostrado na Figura 5.

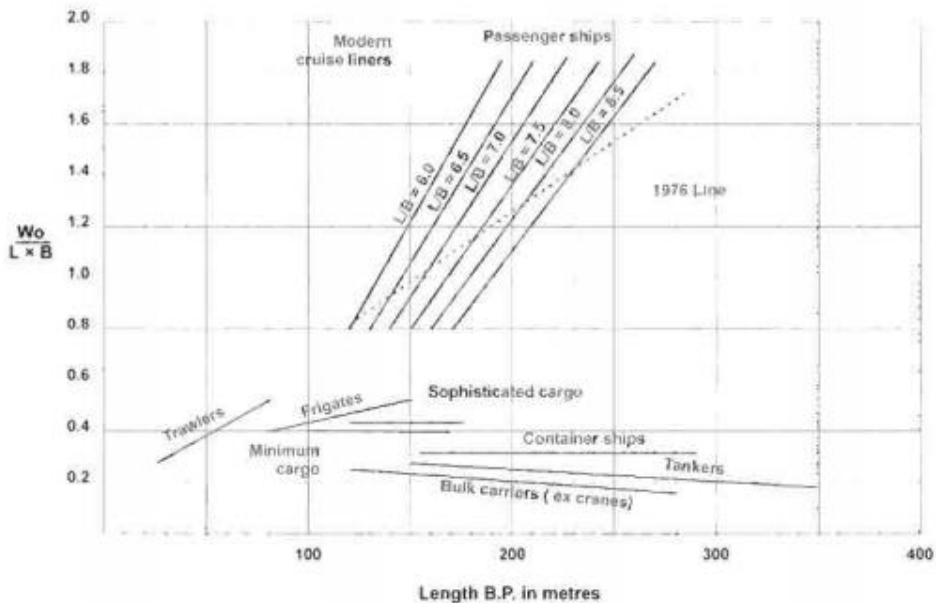


Figura 5- Variação da massa de *outfits* com relação aos números quadrados de uma embarcação (Fonte: Watson, 1998)

Além do gráfico apresentado, em Watson (1998) são criados agrupamentos de *outfits* como mostrado na Tabela 3, porém não é exposta nenhuma formulação para estimativa de massa desses grupos.

Schneekluth e Bertram (1998) por sua vez, apresentam um outro meio para se obter a massa dos *outfits* fora da praça de máquinas, aplicando a seguinte formulação.

$$W_0 = K. L. B \quad (8)$$

Tal que a constante K é definida nas seguintes situações:

$K = 0.40-0.45 \text{ t/m}^2$ navios de carga;

$K = 0.34-0.38 \text{ t/m}^2$ navios porta contêiner;

$K \cong 0.28 \text{ t/m}^2$ navios petroleiros com comprimento em torno de 150 metros;

$K \cong 0.17 \text{ t/m}^2$ navios petroleiros com comprimento em torno de 300 metros;

Com o intuito de obter valores mais refinados para a estimativa da massa dos *outfits* do navio foi esboçado em Schneekluth e Bertram (1998) uma divisão de grupos, sendo estes já mostrados na Tabela 3. A seguir serão detalhados quais tipos de *outfits* cada grupo abrange.

Grupo I (Cobertura de escotilha) – Este primeiro grupo contempla todas escotilhas não estruturais e seus mecanismos de movimentação. Para escotilhas localizadas no convés principal, com único mecanismo de puxar, a sua massa pode ser extraída da Tabela 4.

Tabela 4-Relação entre as massas de escotilha de convés principal e suas dimensões (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)

Massa das escotilhas em kg/m					
Largura da escotilha (m)	6	8	10	12	14
Carregamento 1,75 t/m ²	826	1230	1720	2360	3150
1 Camada de contêiner	826	1230	1720	2360	3150
2 Camadas de contêiner	945	1440	2010	2700	3550

Além da obtenção de massa das coberturas com único mecanismo de puxar através da Tabela 4 ainda é possível obter a estimativa da massa através da formulação proposta por Malzahn.

$$\frac{W_t}{l} = 0,0533 \cdot d^{1,53} \quad (9)$$

Tal que:

W_t Massa da cobertura da escotilha;

l Comprimento da cobertura;

d Largura da cobertura;

Para escotilhas que estão posicionadas em conveses abaixo do convés principal, é possível obter a estimativa de sua massa através da seguinte Tabela 5:

Tabela 5- Relação entre as massas da escotilha abaixo do convés principal e suas dimensões (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)

Massa das escotilhas em kg/m					
Largura da cobertura (m)	6	8	10	12	14
Carregamento normal	826	1230	1720	2360	3150
Operada por guindastes	900	1350	1870	2540	3360
2 Camadas de contêiner	930	1390	1940	2600	3460

Grupo II (equipamentos de carga e acesso) - Este grupo abrange equipamentos de carga, como paus de carga, guindastes, guinchos, cabos e molinetes de amarração. Ainda que seja preferido que se utilize a massa informada pelos fabricantes destes equipamentos, é possível ainda estimar as massas de alguns dos componentes deste grupo.

Para os guindastes é possível obter a estimativa de sua massa em função do raio de operação, como é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6- Relação entre as massas do guindaste e do seu raio de trabalho (Fonte: Schneekluth e Bertram, 1998)

Carregamento máximo (t)	Massa (T) no máximo raio de trabalho			
	15 m	20 m	25 m	30 m
10	18	22	26	-
15	24	28	34	-
20	-	32	38	45
25	-	38	44	54
30	-	42	48	57
35	-	46	52	63

Já para os molinetes, a massa estimada é em função da capacidade de içamento do equipamento. No caso dos molinetes mais comuns, pode-se assumir que a massa varia de 0.6-1 toneladas por tonelada de içamento.

Grupo III (acessórios de acomodação) – Neste, são contemplados os acessórios que estão fixados dentro da casaria. Podendo-se destacar: cabines, forros, isolamentos, portas, janelas, portinholas, acessórios de cozinha e banheiro, dutos de ar, tubulações e etc.. Para obter a estimativa de massa deste grupo, pode-se aplicar as seguintes razões entre massa e área e massa e volume.

- Navios de carga geral ou tanque de pequeno e médio porte: 160-170 kg/m² ou 60-70 kg/m³;

- Navios de carga geral ou tanque de grande porte: 180-200 kg/m² ou 80-90 kg/m³;

Grupo IV (Diversos) - Por fim, neste último grupo estão incluídos: todos os itens de atracação (âncoras, amarras, escovens, molinetes, mordentes, cabeços de amarração e buzinas), máquina do leme, consoles do passadiço e controle, plantas de refrigeração, sistema de sauvatagem (incluindo baleeiras e botes salva-vidas), combate a incêndio e geradores de CO₂ e seus suportes, escadas, suportes, portas, escotilhas, válvulas, tubos, equipamentos de sondagem que estão localizados fora da praça de máquinas. Estão incluídos ainda os aparatos eletrônicos do sistema de navegação e sinalização. O cálculo da estimativa para as massas incluídas no grupo IV, é dado por:

$$\begin{aligned} W_{IV} &= (L \cdot B \cdot D)^{2/3} \cdot C & 0.18t/m^2 < C < 0.26t/m^2; \\ W_{IV} &= W_{st}^{2/3} \cdot C & t^{1/3} < C < 1.2t^{1/3}; \end{aligned} \quad (10)$$

Independentemente do método de estimativa utilizado para a massa dos *outfits*, algumas precauções devem ser tomadas. Devido à grande quantidade de itens que são considerados, é de grande importância saber qual o conjunto de *outfits* que o método aplicado está abrangendo, e por fim, obter a massa restante dos itens restantes que não foram incluídos no método utilizado.

2.1.4. Massa dos componentes da Praça de Máquinas

Com relação aos meios de estimativa da massa da Praça de Máquinas, estes não são muito distantes dos que já foram apresentados para os *outfits*, possuindo assim, formas mais ou menos detalhadas. Porém, independentemente do método escolhido, um ganho relevante na estimativa de massa da região de praça de máquinas é a obtenção das massas mais significativas, sendo estas, pertencentes ao sistema propulsivo (motor, hélice, eixos, caixa de redução e etc.), que melhor atende as condições de operação. Para obtenção destes valores, o único caminho é a validação dos cálculos propulsivos, e em seguida, a utilização do catálogo de fabricantes.

Além de um tratamento geral, ainda é possível estimar a massa de forma individual, ou em grupos. Em se tratando do cálculo individual das massas, este procedimento é bastante enfadonho uma vez que devem ser incluídos a massa de todos equipamentos, tubulações e *outfits* da Praça de Máquinas. Já no tratamento por grupos, descritos por Schneekluth e Bertram (1998) e Watson (1998), a massa da praça de máquinas é dividida em grupos por determinadas características, em seguida, a massa de cada grupo é estimada. Os grupos são divididos conforme mostrado na Tabela 7:

Tabela 7-Agrupamento na região de praça de máquinas (Fonte: Autor)

Agrupamento na região de Praça de Máquinas	
Watson	Schneekluth e V. Bertram
- Máquinas de propulsão	- Máquinas de propulsão
- Máquinas auxiliares	- Máquinas elétricas
- Estruturas relacionadas	- Outras massas
	- Massas especiais

Caso não haja a possibilidade da utilização de catálogos, em Watson (1998) é possível encontrar inicialmente uma estimativa de massa do motor principal sem os sistemas de resfriamento e lubrificação (*dry engine*) pela formulação:

$$W_d = 12 \left(\frac{\text{MCR}}{\text{RPM}} \right)^{0.84} \quad (11)$$

Onde:

MCR Potência máxima contínua de operação em KW;

RPM Rotação por minuto do eixo na saída do motor principal;

A obtenção da formulação acima é feita através do gráfico da Figura 6:

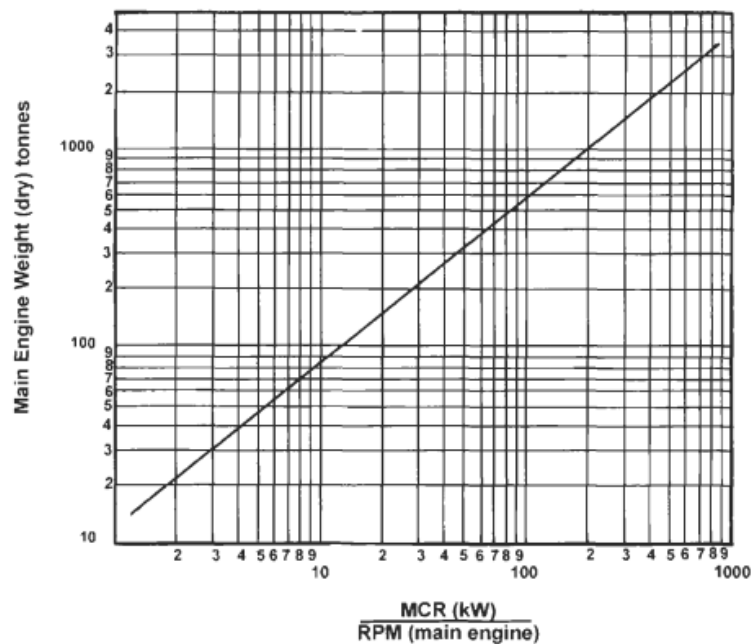


Figura 6- Relação da massa do motor principal e potência (Fonte: Watson, 1998)

O resultado gerado pela fórmula apresentada para o cálculo da massa do motor principal, é menor do que o apresentado no gráfico, devendo ser acrescido de 5 a 10%.

Outro caminho ainda é fornecido em Watson (1998) para estimar a massa do motor principal nas condições propostas anteriormente, sendo utilizadas as seguintes relações de massa e potência entregue na saída do eixo do motor.

- Motores diesel de baixa rotação: 0.035-0.045t/KW, sendo 0.037 t/KW a mais utilizada;
- Motores diesel de média rotação: 0.010-0.020t/KW, sendo 0.013 t/KW a mais utilizada;
- Motores diesel de alta rotação: 0.03-0.004t/KW ou 250-330 KW/t
- Turbina a gás: 0.001 t/KW ou 1000 KW/t;

Definido a massa da máquina principal, para se obter a massa restante da praça de máquinas é preciso ainda contabilizar a massa dos demais elementos presentes na praça de máquinas. Isto pode ser feito pela seguinte fórmula:

$$W_{REM} = K \cdot MCR^{0,7} \quad (12)$$

Onde a constante K tem seu valor definido por:

K = 0,72 – Para navios tanques;

K = 0,83 – Para navios de passageiros;

K = 0,19 – Para navios de guerra;

No intuito de compor ainda as tratativas mais simples de estimativa para obtenção da massa da região de Praça de Máquinas, foram acrescentados dois métodos. O primeiro, apesar de pouco preciso segundo Schneekluth e Bertram (1998), cria-se uma relação entre a potência do motor principal e a massa da praça de máquinas, como mostrado abaixo.

- Baixa rotação (110-140 rpm) 0.016-0.045 t/KW;
- Média rotação em série (400- 500 rpm) 0.012-0.20 t/KW;
- Média rotação em V (400-500 rpm) 0.008-0.015 t/KW;

O segundo método por sua vez, também mencionado por Krause e Danckwardt (1965) *apud* Schneekluth e Bertram (1998), utiliza a potência nominal dos equipamentos da região de praça de máquinas para estimar a massa dos mesmos. Sendo utilizada uma faixa de 0.1-0.2 t/KW.

Além dos métodos já apresentados para estimativa geral de massa dos componentes da praça de máquinas, em Schneekluth e Bertram (1998) anteriormente foram descritos dois métodos, que possivelmente oferecem valores mais precisos em relação aos últimos apresentados. O primeiro é a obtenção de massa de cada componente na região de praça de máquinas e o segundo utiliza o conceito da estimativa de massa por grupos, ambos já apresentados no início deste tópico e na Tabela 7.

Os elementos que compõem o método de estimativa por grupos proposto em Schneekluth e Bertram (1998) podem ser descritos como:

- Unidade Propulsiva – O grupo da unidade propulsiva contempla os principais de massa do sistema propulsivo, tais como: motor principal, caixa de redução, eixo e hélice. Diferentemente da massa do motor e da caixa de redução que devem ser obtidos utilizando os catálogos de fabricantes, o eixo e o hélice tem suas massas obtidas através das seguintes relações.

Primeiro para os eixos:

$$\frac{M}{l} \left[\frac{\text{ton}}{\text{m}} \right] = 0.081 \left(\frac{P_d}{n} \right)^{2/3} \quad (13)$$

Tal que:

$\frac{M}{l}$ Distribuição de massa do eixo;

P_d Potência entregue ao eixo em Kw;

n Rotação do eixo em rpm;

Em seguida para o hélice:

$$W_{\text{prop}} = D^3 \cdot K \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right) \quad (14)$$

Onde:

D Diâmetro do propulsor [m];

A constante K pode ser obtida nas seguintes condições:

A. Para hélices de passo fixo.

$$K \approx 0.18 \left(\frac{A_E}{A_0} \right) - \left(\frac{z-2}{100} \right)$$

ou

$$K \approx \left(\frac{d_s}{D} \right) \cdot \left(\frac{1.85A_E}{A_0} \right) - \left(\frac{z-2}{100} \right) \quad (15)$$

Tal que:

d_s Diâmetro do eixo propulsivo;

$\frac{A_E}{A_0}$ Razão de área expandida;

Z Número de pás do hélice;

B. Para hélices de passo variável.

Para navios de carga: $K \approx 0.12 - 0.14$

Para navios de guerra $K \approx 0.21 - 0.25$

- Unidades elétricas – Este grupo abrange apenas o conjunto do motor e gerador que são na maioria dos casos montados na mesma base. Cabos e quadros elétricos serão levados em consideração apenas no grupo posterior. Para a estimativa de massa das unidades geradoras tem-se que:

$$W_{\text{Agg}} = 0.001 \cdot \frac{P}{\text{KW}} \cdot \left(15 + 0.014 \cdot \frac{P}{\text{KW}} \right) \quad (16)$$

Sendo P a potência de saída de cada gerador em quilowatts.

- Outras massas – Neste grupo estão inclusas as massas que não foram incluídas nos demais grupos, como mostra a descrição abaixo.

Bombas, tubos, absorvedores de som, cabos, distribuidores, sobressalentes, escadas, plataformas, estrados, tanques de serviço diário, ar condicionados, compressores, desengordurantes, resfriadores de óleo, sistema de resfriamento de água, equipamentos de controle, sala de controle, isolamentos de som e calor dentro da praça de máquinas, tubos de água e óleo, motores e caldeiras. (Schneekluth e Bertram, 1998, p.176, tradução nossa)

A estimativa de massa deste grupo é em função da potência de propulsão e tem a seguinte formulação:

$$M = 0.04 - 0.07P \text{ t/Kw} \quad (17)$$

- Massas especiais – Este grupo compreende as bombas de carga e lastro que devem ter o valor de suas massas extraídas de catálogos, também neste grupo está contemplado o sistema de refrigeração para navios porta contêineres.

2.1.5. Margem de massa

Diferentemente dos grupos até aqui apresentados, este não tem a função de estimar a massa de nenhum componente específico do navio, e sim, garantir o peso morto especificado mesmo havendo uma subestimativa do peso leve ou uma superestimativa do deslocamento total. (Watson, 1998).

Com relação a subestimativa do peso leve, esta margem deve garantir que nenhuma massa significativa deixe de ser incluída, como por exemplo, a região de cementação dos tanques de colisão de vante e ré ou até uma diferença de massa expressiva de determinados equipamentos. (Schneekluth e Bertram, 1998)

É recomendado que para navios mercantes, a margem de massa deve variar em torno de 2 a 3% do valor do peso morto, chegando a valores mais altos caso o estaleiro responsável pela construção não possua conhecimento dominante no delineamento e construção para este determinado tipo de navio.

3. METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA OBTENÇÃO DA CURVA DE PESO LEVE

Para a aplicação da metodologia descrita neste capítulo, deve-se considerar que já se tenha o projeto estrutural de seção mestra definido, e que todos os elementos estruturais foram determinados em sua geometria e posição.

Na Figura 7 está representado um fluxograma de aplicação da metodologia simplificada e, em seguida uma descrição detalhada desta aplicação.

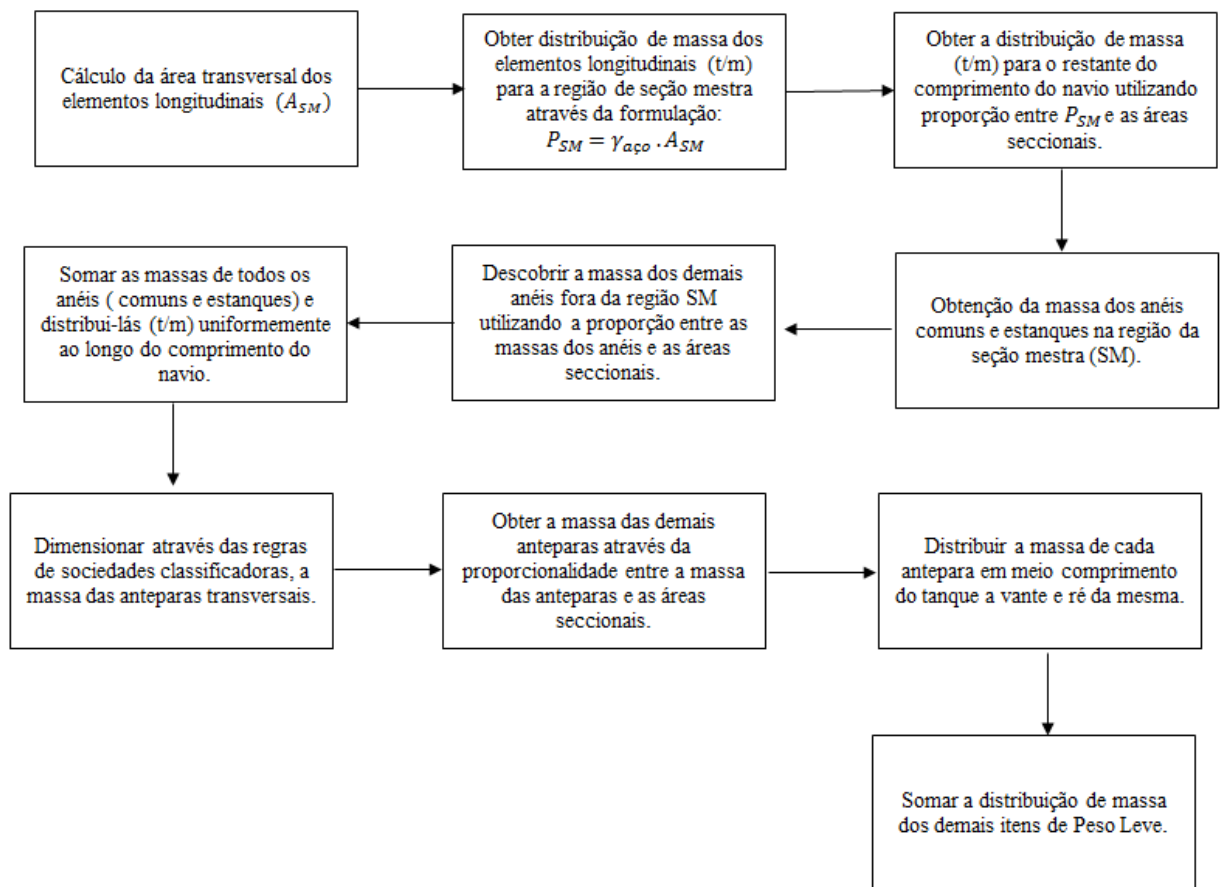


Figura 7-Fluxograma de aplicação da metodologia simplificada (Fonte: Autor)

Necessita-se primeiramente determinar a área transversal dos elementos longitudinais da seção mestra (A_{SM} , em m^2), e logo em seguida multiplicar esta área por um valor médio de densidade do aço (por exemplo, $7,85 \text{ t/m}^3$). Caso seja possível, utiliza-se as densidades reais de cada elemento longitudinal, caso não, o valor médio já fornece uma aproximação bem razoável. Assim obteremos uma massa por metro (P_{SM} , em t/m). De forma mais simples, a equação que define P_{SM} , é:

$$P_{SM} = \gamma_{aço} \cdot A_{SM} \quad (18)$$

Onde $\gamma_{aço}$ é a densidade média do aço utilizado.

Outro fator primordial para aplicação desta metodologia é que já se tenha a forma do casco totalmente definida, pois necessita-se da curva de áreas seccionais do casco obtidas até o pontal (em m²), como exemplificado na Figura 8. Com esta curva, é feita uma mudança de escala, mantendo a forma da curva, trocando a escala de áreas das ordenadas por t/m, onde o valor máximo da curva será o valor P_{SM} . Assim, ao invés da curva de área teremos uma curva de massa por metro, como a mostrada na Figura 9.

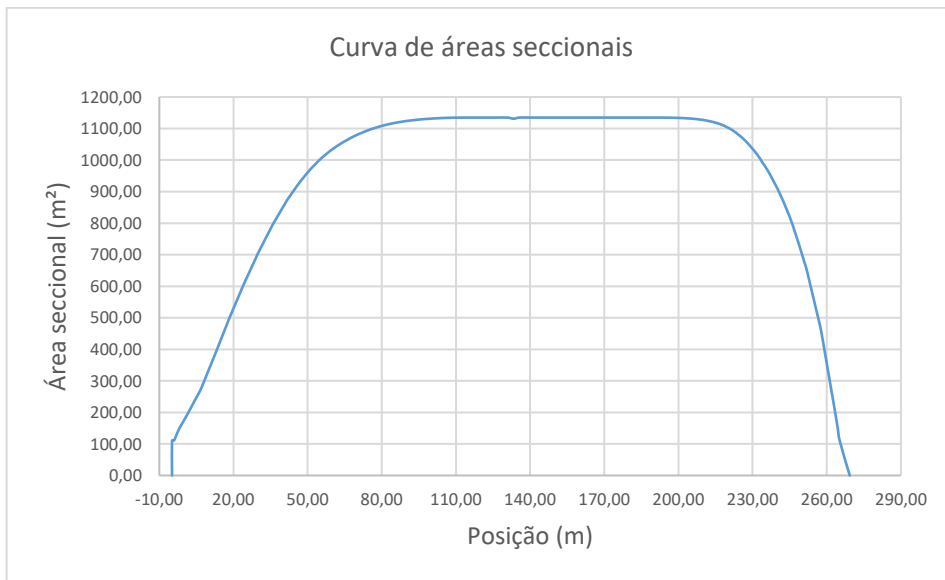


Figura 8- Curva de áreas seccionais (Fonte: Autor)

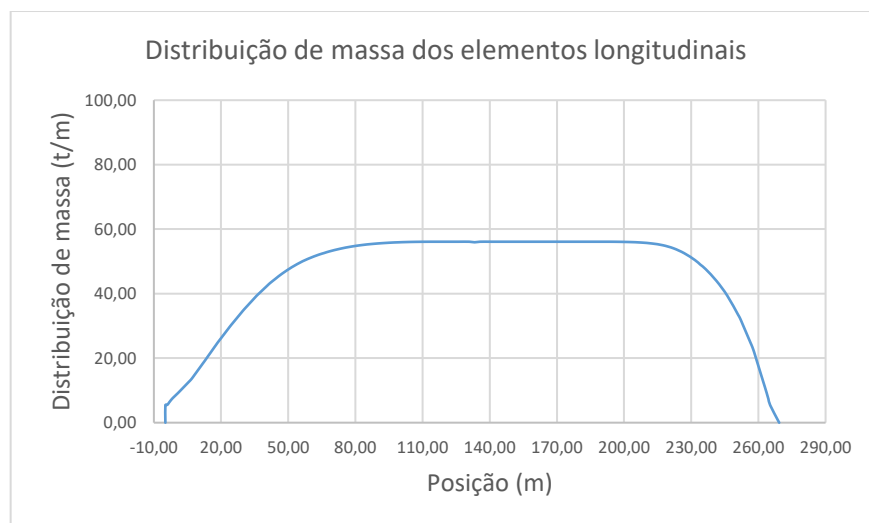


Figura 9- Curva de massa dos elementos longitudinais (Fonte: autor)

É bem razoável adotar que a massa (por metro) de qualquer seção do navio, considerando apenas seus elementos longitudinais é proporcional à área da seção. Há um pequeno erro, nesta metodologia, nas extremidades, pois nestas regiões o cavernamento é transversal ou misto, mas é bem razoável em quase todo o comprimento da embarcação.

O próximo passo é a inclusão da massa dos itens transversais, como por exemplo, as anteparas, os anéis (ou cavernas) gigantes e os anéis transversais comuns. No entanto, não é necessário dimensionar todos os elementos, bastando fazer isto na região da seção mestra.

Para a inclusão da massa dos anéis transversais gigantes, deve-se realizar o seguinte procedimento: dimensionar um anel gigante na região da seção mestra e determinar sua massa. Em seguida, determinar as massas dos demais anéis gigantes, considerando o mesmo critério de proporcionalidade com as áreas transversais. A seguir, deve-se somar todas estas massas e dividir pelo comprimento do navio, considerando esta média como uniformemente distribuída ao longo do casco. Se o navio tiver cavernas comuns deve ser feito o mesmo procedimento para as cavernas comuns. Estas massas, devem ser somados a curva de massa do casco. A forma da curva agora passa a ser como mostrado na Figura 10.

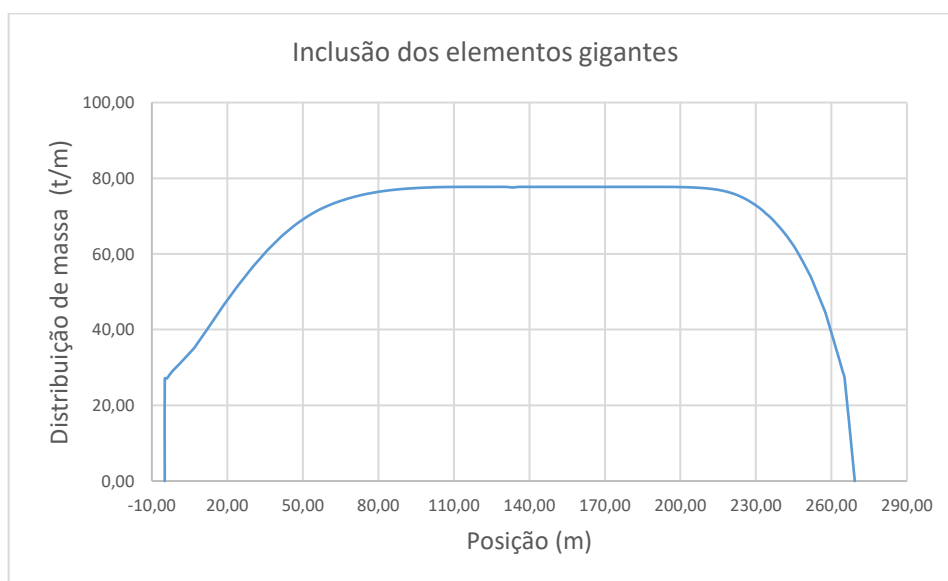


Figura 10- Curva de massa com inclusão dos anéis transversais (Fonte: Autor)

Para a inclusão das massas das anteparas transversais, faz-se um procedimento semelhante. Primeiramente deve ser calculado a massa da antepara que está posicionada na região de seção mestra (P_{ASM}), através do dimensionamento estrutural padrão por sociedade classificadora, em seguida, aplicar a proporcionalidade com a curva de áreas seccionais para obter a massa das anteparas que não estão na região de seção mestra.

Definida a massa de cada antepara transversal, distribui-se uniformemente esta massa (de cada antepara) por um comprimento que vai até meio porão a vante e meio porão a ré da respectiva antepara transversal, como mostrado na Figura 11. A justificativa para utilização deste artifício é criação de uma distribuição de massa das anteparas mais uniforme e conseqüentemente, menos concentrada. Somando-se as respectivas massas na curva de massa anterior, passando agora a termos a configuração como mostrado na Figura 12.

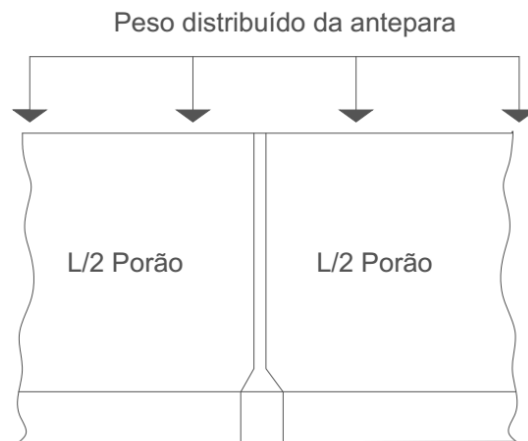


Figura 11- Distribuição de massa de cada antepara (Fonte: Autor)

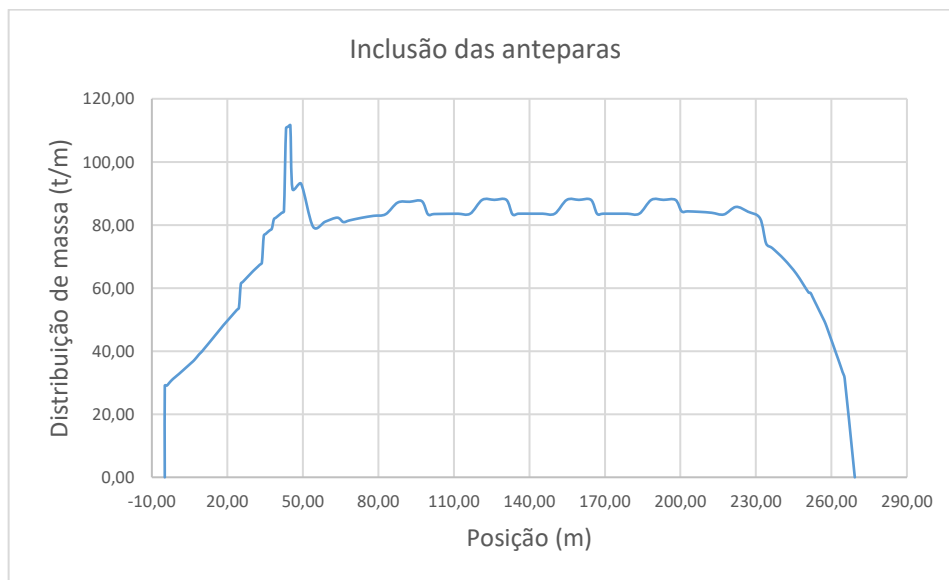


Figura 12- Curva de massa com inclusão das anteparas transversais (Fonte: Autor)

Por fim, se deve considerar a massa da superestrutura, da praça de máquinas (com equipamentos) e dos *outfits*, na curva de massa. Para isto, é possível o uso das formulações de estimativas, como definidos no capítulo anterior, distribuindo as respectivas massas,

uniformemente ao longo de suas regiões. Deve-se incluir as massas conhecidas (MCP, MCA's, caldeiras, máquinas do leme, âncoras, amarras, molinetes, etc.), distribuindo suas massas nas respectivas regiões de instalação como foi esquematizado na Figura 13.

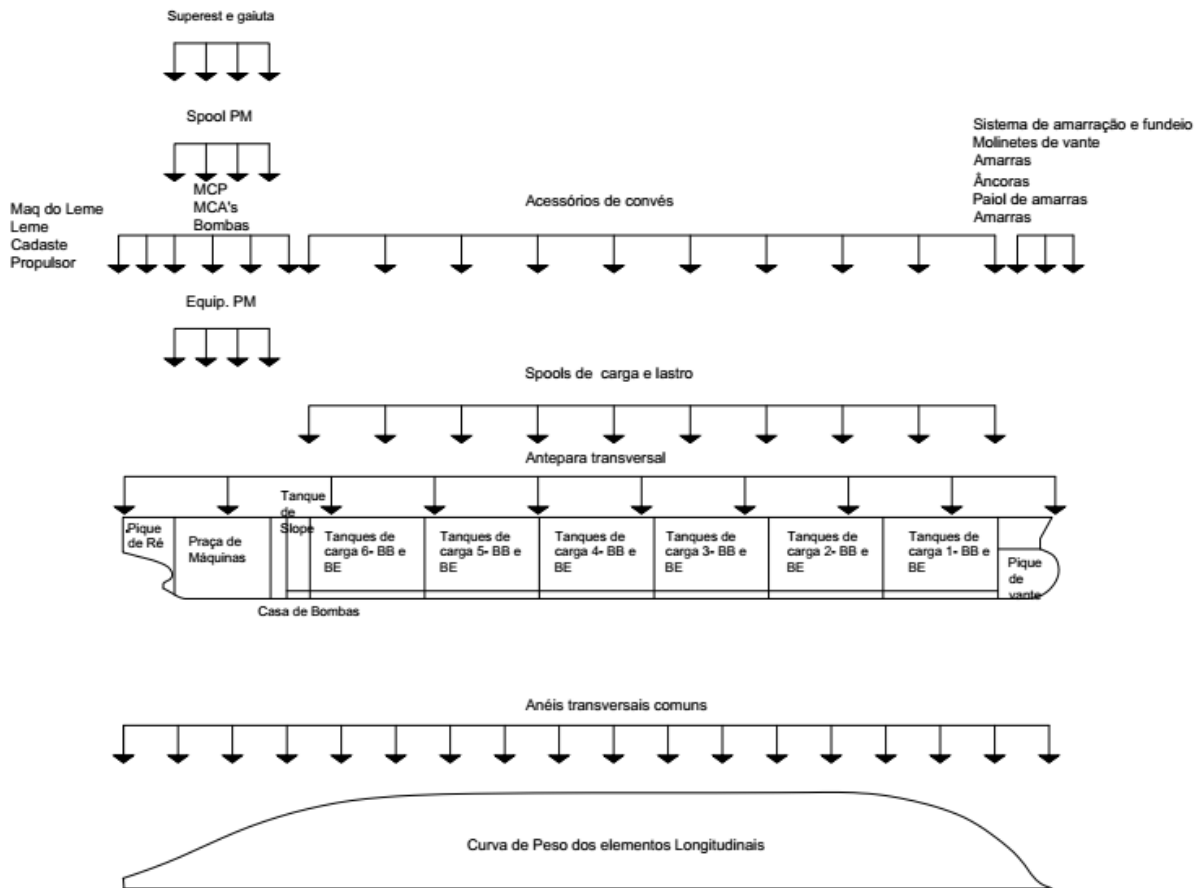


Figura 13- Esquema de distribuição de massa (Fonte: Autor)

Desta forma, ao final da inclusão destas massas obtém-se uma curva, semelhante ao mostrado na Figura 14.



Figura 14- Exemplo de curva de Peso Leve (Fonte: Autor)

Para as extremidades, sabe-se que existe um pequeno erro, pois a massa distribuída nestas duas regiões está sendo um pouco subestimada, porém iremos demonstrar no próximo capítulo que a curva de peso leve estimada, como a mostrada na Figura 14 é semelhante à curva de peso leve real de um navio construído do mesmo tipo e com os mesmos dados utilizados na metodologia.

4. COMPARAÇÃO ENTRE A CURVA DE PESO GERADA E A CURVA DE PESO REAL

Concluída a descrição da metodologia a ser aplicada para geração de uma curva estimada de Peso Leve, neste capítulo está descrito de forma detalhada como a metodologia foi aplicada ao caso do navio analisado e conseqüentemente, quais métodos dentre os apresentados, foram utilizados para a obtenção dos complementos da curva de Peso leve estimada. No decorrer da apresentação dos resultados estimados, sempre que possível, estes foram comparados com os valores reais de um navio tanque construído.

Em seguida, a curva gerada pela aplicação da metodologia será comparada com duas outras curvas. A primeira construída utilizando distribuição de massas médias para a massa do casco, e valores reais fornecidos pelo estaleiro para os demais componentes do peso leve, e a segunda, fornecida pelo estaleiro, onde está contemplado o Peso Leve e LCG real.

Por fim, obtidas as curvas de peso leve estimada e real, foram calculadas as curvas de esforços e conseqüentemente comparado os valores máximos e mínimos dos esforços cortantes e momentos fletores.

4.1. MASSA ESTIMADA DO CASCO

Baseado na metodologia apresentada no capítulo anterior, para realizar a estimativa da massa do casco foi preciso inicialmente extrair do desenho da seção mestra (Anexo I) fornecido, a área transversal (A_{SM}) dos elementos longitudinais (reforçadores e chapeamentos), como indicado na Tabela 8.

Tabela 8-Área transversal dos elementos Longitudinais (Fonte: Autor)

Área transversal chap. (m ²)	4,343
Área total dos perfis longitudinais (m ²)	2,804
Soma das áreas elementos transversais ou A_{sm} (m ²)	7,148

Em seguida, foi utilizada a equação 18 para gerar os primeiros pontos da curva de massa (em t/m) dos elementos longitudinais na região da seção mestra que tem o valor de 56,11 t/m. Para a obtenção dos demais valores de massa distribuído no comprimento do navio, foi utilizado a proporcionalidade entre a área seccional e a massa distribuído naquela posição. Feito isso, obteve-se, a curva mostrada na Figura 9.

O próximo passo foi a inclusão da massa dos anéis gigantes comuns e estanques. Inicialmente nesta etapa, foram obtidas as áreas dos anéis comuns e estanques na região seção

mestra. Em seguida, multiplicou-se a área do anel pela sua respectiva espessura e pela densidade média do aço naval (7.85 t/m^3), encontrando desta forma a massa destes elementos na região da seção mestra (Tabela 9).

Tabela 9-Massa dos anéis na região de seção mestra (Fonte: Autor)

Massa da caverna típica (t.)	54,823
Massa da caverna estanque (t.)	154,485

Para a obtenção da massa dos anéis comuns e estanques em todas as outras posições do navio, utilizou-se novamente do artifício da proporcionalidade com as áreas seccionais, porém desta vez relacionando-as com a massa das cavernas típicas e estanques. Obtido a massa dos anéis típicos e estanques de todo navio, o passo seguinte foi somar a massa de todos eles e distribuir uniformemente ao longo do comprimento do navio, resultando na curva apresentada na Figura 10.

O passo seguinte foi a inclusão das anteparas transversais. Para a obtenção da massa das anteparas foram utilizadas inicialmente as regras da classificadora *American Bureau of Shipping*¹, esta por sua vez, trata a massa da antepara transversal sendo somente como a soma de massas da chapa transversal e seus prumos. As equações que definem a espessura da chapa transversal e módulo de seção dos prumos transversais são apresentadas abaixo.

Primeiramente para a espessura da chapa:

$$t = \frac{sk\sqrt{qh}}{c} + 1.5 \text{ mm} \quad (19)$$

Onde:

t = Espessura da chapa transversal;

s = Espaçamento entre reforçadores;

$$k = \frac{3.075\sqrt{\alpha} - 2.077}{\alpha + 0.272} \text{ para } 1 \leq \alpha \leq 2; 1 \text{ para } \alpha > 2;$$

α = razão de aspecto do painel;

q = $235/Y \text{ N/mm}^2$

Y = Tensão de escoamento;

¹ ABS, 5.1 e 5.3 da seção 9 do capítulo 2

h = Distância entre a aresta de menor altura da antepara e a linha de flutuação na condição máxima de equilíbrio;

$c = 254$ para anteparas de colisão;

$c = 290$ para anteparas estanques;

Em seguida para módulo de seção dos prumos:

$$SM = 7.8chs^2 \quad (20)$$

Tal que,

$c = 0,30$ para prumos que possuam borboletas em suas extremidades;

$c = 0,43$ para prumos que sejam soldados em um apenas uma extremidade e parafusados na outra;

$c = 0,56$ para prumos aparafusados nas duas extremidades;

$c = 0,60$ para reforçadores que não sejam parafusados e para reforçadores que estejam no fundo.

s = espaçamentos entre os prumos;

h = distância entre o meio de l e a linha de flutuação em uma condição de avaria;

l = distância entre escoas;

Definida as variáveis necessárias para o cálculo da espessura e módulo de seção e, adotando o total de 24 prumos por antepara (número definido no projeto do Suezmax), a espessura da chapa transversal e o módulo de seção dos prumos tem valores mostrados na Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10- Valores para o cálculo da espessura da chapa transversal (Fonte: Autor)

t (mm)	23,21
s (mm)	855
k	2,38
q	0,66
h (m)	14,45
C	290
Y (N/mm ²)	355
a	1,05

Tabela 11-Valores para o cálculo do módulo de seção dos prumos (Fonte: Autor)

SM (cm ³)	1986,58
c	0,3
S (m)	0,85
h (m)	21,6
l (m)	6,8

Obtido os valores da espessura da chapa transversal e o módulo de seção dos prumos, se fez necessário dimensionar um perfil T com módulo de seção semelhante ao que foi calculado, uma vez que, perfis T com módulo de seção próximos a 1986,58 cm³ não são encontrados facilmente em catálogos de fabricantes. O resultado das características do perfil T dimensionado são apresentadas na Tabela 12 e as dimensões ilustradas na Figura 15.

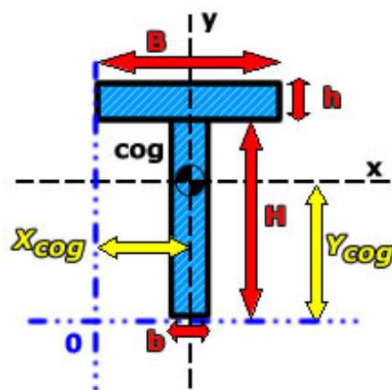
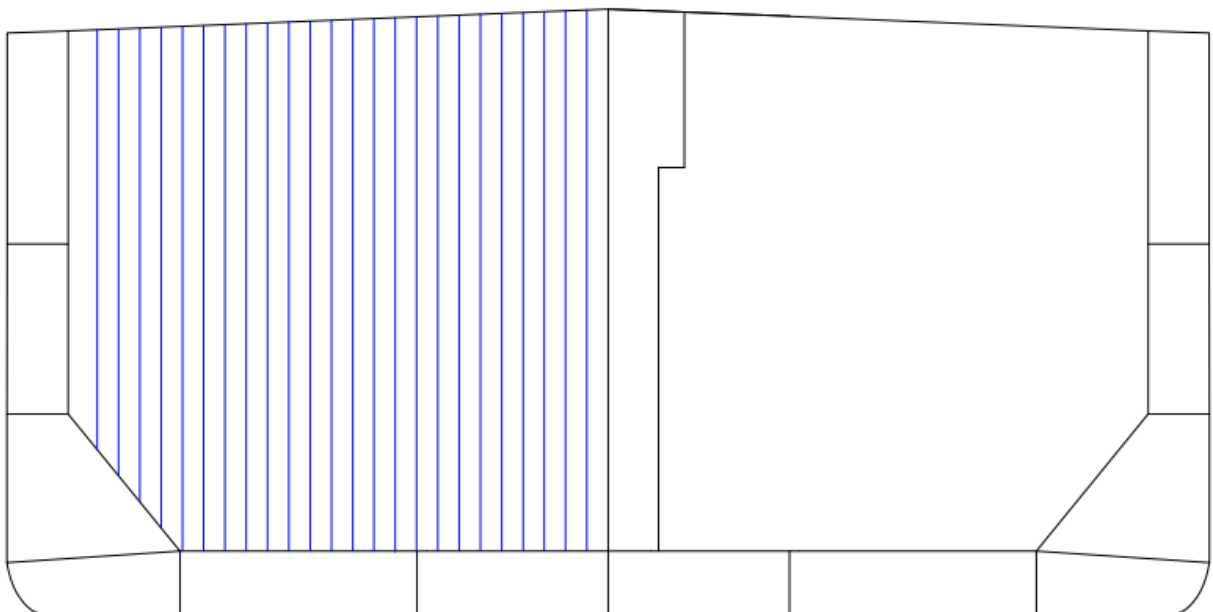


Figura 15- Representação de Perfil soldado em T (Fonte: amesweb)

Tabela 12- Propriedades dos prumos (Fonte: Autor)

B (mm)	400
h(mm)	24
H (mm)	600
b(mm)	20
SM (mm ³)	2020587
SM (cm ³)	2020,59
Área transversal (mm ²)	22000
Densidade do aço (kg/m ³)	7850
Massa/ comprimento (kg/m)	0,17
Massa/ comprimento (t/m)	0,000173

Definidas as características dos prumos e espessura de chapa transversal, finalmente foi possível calcular a massa da antepara transversal na região da seção mestra. Para a massa da chapa foi utilizado a área transversal (aproximadamente 444,279 m² para cada bordo) na região carga obtida nos escantilhões fornecidos pelo Estaleiro Atlântico Sul, em seguida, a área da antepara foi multiplicada pela espessura obtida pelas normas da ABS e em seguida, também multiplicada pela densidade média do aço naval (7,85 t/m³). No caso dos prumos, estes por terem a razão de massa por comprimento já fornecidas, foi necessário apenas posicioná-los e medir seus comprimentos (do fundo duplo até o convés) como esquematizado na Figura 16.

**Figura 16- Posicionamento dos prumos (Fonte: Autor)**

Feito isso, a massa da antepara transversal da seção mestra foi obtido pela soma de massa da chapa e dos prumos, tendo seu valor apresentado abaixo.

$$P_{ASM} = 196,76 \text{ t}$$

Para descobrir a massa das anteparas que não se encontram na seção mestra, foi utilizado mais uma vez a proporcionalidade entre áreas seccionais. Na Tabela 13, encontra-se o comparativo entre as massas estimadas e reais das anteparas na região de carga.

Tabela 13- Comparativo de massa das anteparas transversais nas regiões de carga (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Localização	Massa das anteparas da região de carga estimado (t)	Massa das anteparas da região de carga reais (t)	Δ real- estimado (t)
Slope-Tq6	165,41	127,576	-37,83
Tq6-Tq5	193,15	208,167	15,02
Tq5- Tq4	196,76	207,608	10,85
Tq4- Tq3	196,76	200,854	4,09
Tq3 - Tq2	196,76	206,869	10,11
Tq2- Tq1	192,95	203,443	10,49

Utilizando como base o que foi descrito nos capítulos anteriores, a massa do casco pode ser obtida através do cálculo da área abaixo da curva de distribuição de massa que inclui os elementos longitudinais e transversais (Figura 12). Porém, para as tentativas de justificar os desvios entre a massa do casco estimado e real, preferiu-se calcular a massa do casco em duas situações distintas, com e sem a inclusão das anteparas transversais uma vez que, observando a Tabela 13, notou-se que o desvio total entre os massas estimadas e reais das anteparas está em torno de 12,73 toneladas.

Concluída a estimativa da massa das anteparas, foi possível enfim obter a massa do casco com e sem anteparas por integração das curvas apresentadas nas Figuras 10 e 12 e compará-las com os valores reais.

Tabela 14- Comparativo de massa do casco (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Massa estimada do casco sem antepara (tonelada)	Massa estimada do casco com antepara (tonelada)
18540,53	19989,34
Massa real do casco sem antepara (tonelada)	Massa real do casco com antepara (tonelada)
20651,84	22062,83

4.2. MASSA ESTIMADA DA SUPERESTRUTURA

A massa total estimada da superestrutura foi dividida em duas ramificações. Uma contemplando a massa estrutural e a outra a massa dos *outfits*. Para estimar ambos os valores, foi preciso obter inicialmente do arranjo geral (Anexo II) do Suezmax a área total de cada convés (A, B, C e passadiço) acima do convés principal, e a razão de áreas entre o convés principal e os conveses superiores $\left(\frac{F_0}{F_u}\right)$.

Obtido do arranjo geral os parâmetros mencionados no parágrafo acima e utilizando as informações contidas na Tabela 2, foi possível calcular através da equação 7 a massa da superestrutura, como é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15- Comparativo entre a massa da superestrutura (Estimado X Real)

Região	F0/Fu	Cdh (t/m ³)	Fu	h (m)	K1	K2	K3	GDH	Massa Estimada da superestrutura (tonelada)	Massa real da superestrutura (tonelada)
Convés A	1	0,06	394	3	1,01	1,07	1	72,97	324,44	578,87
Convés B	1	0,06	394	3	1,01	1,07	1	71,69		
Convés C	1	0,05	394	3	1,01	1,07	1	66,57		
Passadiço	2,34	0,07	168,07	3	1,01	1,12	1	64,9		

Já a estimativa de massa dos *outfits* presentes na superestrutura foi baseada na mesma metodologia na qual foi feito para todo o resto do navio: estimar por grupos, com o intuito dos valores estimados serem mais próximos dos valores reais (Schneekluth e Bertram, 1998). Como apresentado na seção 2.1.3, a massa dos *outfits* que estão contidos na superestrutura pertencem ao grupo III, para tal, foi utilizada a razão de massa por área para navios de carga,

com valor de 180 Kg/m², obtendo desta forma a massa final estimada como mostrado na Tabela 16.

Tabela 16- Comparativo entre a massa dos *outfits* da superestrutura (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Região	Área (m ²)	Massa estimada dos <i>outfits</i> da superestrutura (t)	Massa real dos <i>outfits</i> da superestrutura (t)
Convés principal	394	313,93	184,046
Convés A	394		
Convés B	394		
Convés C	394		
Passadiço	168,07		
Área total	1744,06		

Observado os resultados obtidos nas estimativas de toda a massa da superestrutura percebeu-se que o método aplicado subestima os valores estruturais e superestima os valores de *outfits*. Uma justificativa plausível para a diferença destes valores é o fato de que, se a massa estrutural da superestrutura for comparada apenas com a massa da parte habitável (casaria) que tem massa real de 423,440 toneladas, a massa estimada já teria seu valor bastante aproximado.

Para o caso da massa real dos *outfits*, se fossem incluídas as 155,434 toneladas da gaiuta, a diferença entre o valor estimado e real seria pequena. O restante da massa que é de aproximadamente 25,50 toneladas poderia ser justificado pela massa dos elementos que na descrição do próprio grupo III já são contemplados, como por exemplo, forrações, isolamentos, cementação e mobiliário.

4.3. MASSA ESTIMADA DOS *OUTFITS*

Na finalidade de se obter valores mais precisos para a massa dos *outfits*, a estimativa realizada foi baseada no método de separação de grupos (I, II, III e IV) apresentado em Schneekluth e Bertram (1998) como já mencionado na seção anterior. Para o caso dos grupos I e III, estes não foram comentados neste tópico, uma vez que a estimativa do grupo III já foi descrita no tópico anterior e, o grupo I, que aborda a massa das escotilhas não estruturais, não é aplicado para o tipo de navio em análise.

Tratando inicialmente da massa do grupo II (equipamentos de carga e acesso), e utilizando como base o arranjo geral (Anexo II), foram levados em consideração dois guindastes de meia nau, guindastes de provisões e um total de oito molinetes (número de molinetes baseado no Suezmax) que se encontram fixados em todo comprimento do navio. Para os guindastes, foram utilizadas as relações de raio de trabalho e massa do equipamento, já para os molinetes foi utilizada a relação entre carga içada e sua massa, com isto foi obtido para os guindastes, a massa estimada na Tabela 17.

Tabela 17- Comparativo das massas dos Guindastes (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Guindaste	Raio (m)	Carga de operação/SWL (t)	Massa (t)	Qte	Massa do grupo (t)	Massa estimada dos guindastes (t)	Massa real dos guindastes (t)
Meia Nau	17,1	15	20	2	40	57,1	70,4
Provisões BB	17,5	6,3	12,6	1	12,6		
Provisões BE	15	2,5	4,5	1	4,5		

E para os molinetes (Tabela 18):

Tabela 18- Comparativo das massas dos molinetes (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Região	Nº	Capacidade (t)	Massa estimada dos molinetes (t)	Massa real dos molinetes (t)
Convés superior (vante)	2	20	160	134,07
Convés principal (meia nau)	3	20		
Convés principal (ré)	3	20		

Fazendo um comparativo entre a massa estimada (217,1 toneladas) e real (204,47 toneladas) do grupo II de *outfits*, pôde-se garantir que os resultados para este grupo estão coerentes com os valores reais.

Para a realização da estimativa de massa do grupo IV (diversos), foram utilizadas as relações entre o número quadrado (LxB) do navio estudado e uma constante de proporcionalidade que teve seu valor definido como valor médio (0,22) da faixa possível de

valores, como apresentado na seção 2.1.3. Definido o valor da constante (C) obtém-se o apresentado na Tabela 19.

Tabela 19-Estimativa da massa do grupo IV de *outfits* (Fonte: Autor)

L (m)	274,2
B (m)	48
D (m)	23,2
C	0,22
Massa estimada IV (t)	997,59

Determinada a massa do grupo IV e, baseado na metodologia, sabe-se que é necessário subtrair do grupo IV a massa dos principais itens do sistema de fundeio e amarração para que suas massas sejam distribuídas apenas na região de vante. Para a obtenção destas massas, foram utilizados os valores fornecidos pelo estaleiro, uma vez que estes itens podem ser dimensionados e suas massas obtidas através de catálogos. Na Tabela 20, encontra a lista de itens que foram subtraídos do grupo IV.

Tabela 20- Massas reais dos elementos do sistema de Amarração e Fundeio (Fonte: Autor)

Máquinas de atracação de vante (t)	70
Mordentes (t)	6,7
Âncoras (t)	25
Amarras (t)	167,65

Obtida pela subtração do valor estimado na Tabela 19 pela massa dos itens descritos na Tabela 20, o novo valor da massa estimada do grupo IV é de 728,24 toneladas. Pelo ao fato deste grupo abranger uma infinidade de itens espalhados pela região de carga, lastro e passadiço, não foi possível realizar um comparativo entre o valor estimado e o real.

4.4. MASSA ESTIMADA DA PRAÇA DE MÁQUINAS

Para a estimativa da massa praça de máquinas foi utilizado o mesmo conceito apresentado nos *outfits*, então, foi utilizado o método descrito em Schneekluth e Bertram (1998) para se obter valores mais precisos.

A estimativa aplicada, inicialmente trata de obter o valor da massa do sistema propulsivo, que para este caso específico é composto por máquina principal, eixos e hélice. Como a massa do motor principal é obtido através de catálogos, então o valor real de 635

toneladas pôde ser utilizado. Porém as massas dos eixos e hélice tiveram de ser estimadas. Para tais, foram utilizadas as equações 13 e 14, obtendo desta forma os valores mostrados nas Tabelas 21 e 22.

Tabela 21- Comparativo da linha de eixo (Estimativa X Real) (Fonte: Autor)

Rotação do eixo- n (rpm)	Comprimento do eixo propulsivo (m)	Comprimento do eixo intermediário (m)	Break Horse Power/BHP (Kw)	Massa estimada do eixo propulsivo estimado (t)	Massa estimada do eixo Intermediário (t)	Massa real do eixo propulsivo estimado (t)	Massa real do eixo Intermediário (t)
91	8,62	8,506	22920	27,847	27,478	22,175	18,421

Tabela 22- Comparativo da massa do hélice (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Diâmetro do hélice -D (m)	Razão de áreas - Ae/A0	Nº de pás do hélice (Z)	K	Massa estimada do propulsor	Massa real do propulsor
8,6	0,469	4	0,0463853	29,5036	38,37

O passo seguinte foi a obtenção de massa das unidas geradoras de eletricidade, para este caso foram contabilizados 4 geradores (MCA's), sendo três deles para geração de energia contínua e um apenas para situações de emergência. Para a estimativa de massa unitário desses equipamentos foi utilizado a equação 16 que leva em consideração a potência de geração de energia, que neste caso é em torno de 950 Kw, obtendo assim o seguinte valor apresentado na Tabela 23.

Tabela 23-Comparativo da massa do hélice (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Potência de geração (KW)	Massa unitária estimada (t)	Número de unidades geradoras de energia (t)	Massa estimada total (t)	Massa real total (t)
925	26,885	4	107,54	76,4

Por fim, para concluir a estimativa da massa da praça de máquinas foram inclusos a massa das máquinas mais leves, e todos os outros *outfits*. Para tal, foi utilizado a equação 17 correlacionando a massa estimado com o BHP. Obtida a estimativa de massa deste último grupo, foi confrontado então a massa final da praça de máquinas (Tabela 24).

Tabela 24- Comparativo das massas da praça máquinas (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Estimada						Real			
Massa do motor principal (t)	Massa da linha de eixo (t)	Massa do hélice (t)	Massa das unidades geradoras (t)	Outras Massas (t)	Praça de Máquinas (t)	Máquinas (t)	Tubulação (t)	Acessórios (t)	Praça de Máquinas (t)
635	55,32521	38,37	107,54	916,8	1715,739	996,534	275,845	240,117	1512,496

Finalizada a estimativa de massa da praça de máquinas, pôde-se concluir que apesar dos grupos de massas estimados não seguirem a mesma separação dos valores reais (máquinas, tubulação e acessórios) o método se mostrou muito coerente em comparação aos valores reais ($\cong 13\%$) como se pôde conferir observando a Tabela 24.

4.5. CURVA DE PESO LEVE ESTIMADA

Estimadas as massas que irão compor a curva de peso leve gerada pela metodologia simplificada, o passo seguinte foi soma-los à curva estimada de massa do casco, de modo a obter a curva de peso leve. Para incluir estas massas na curva, foi necessário distribuí-las em suas devidas posições (Anexo III), para isso, foi utilizado o arranjo geral fornecido pelo Estaleiro (Anexo II). Desta forma foi gerada a curva apresentada na Figura 17.



Figura 17- Curva de Peso Leve estimada (Fonte: Autor)

4.6. COMPARATIVO ENTRE CURVA REAL, MÉDIA E ESTIMADA

Obtida a forma da curva de Peso leve estimada, enfim foi possível fazer um comparativo entre a curva gerada pela metodologia, curva construída com valores médios e curva fornecida pelo Estaleiro Atlântico Sul. Comparadas, foi então possível observar e levantar hipóteses dos desvios ocorridos. Por fim, ainda foram confrontados a massa total da embarcação e o LCG dos valores estimados e reais e em seguida, utilizados critérios práticos fornecidos pelo estaleiro para certificar-se que a diferença entre os valores se encontram em faixas aceitáveis.

Antes de se iniciar as comparações, foi percebida a necessidade de descrever o processo construtivo da curva média de massa. Esta curva segue, em princípio, a mesma ideia de inclusão de massas distribuídas apresentada na metodologia simplificada, porém de forma mais exata, uma vez que, para esta curva são aplicados os valores e posições de massas reais dos itens que compõem o Peso Leve, apenas com exceção da massa do casco. Para a massa do casco foram utilizadas massas reais, porém a distribuição de sua massa está diretamente vinculada a estratégia construtiva adotada pelo estaleiro para o navio Suezmax. Como a fase final de montagem foi feita através de emendas de mega anéis (megabloco), a massa por megabloco foi distribuída linearmente em seu comprimento, obtendo então a forma mostrada na Figura 18.

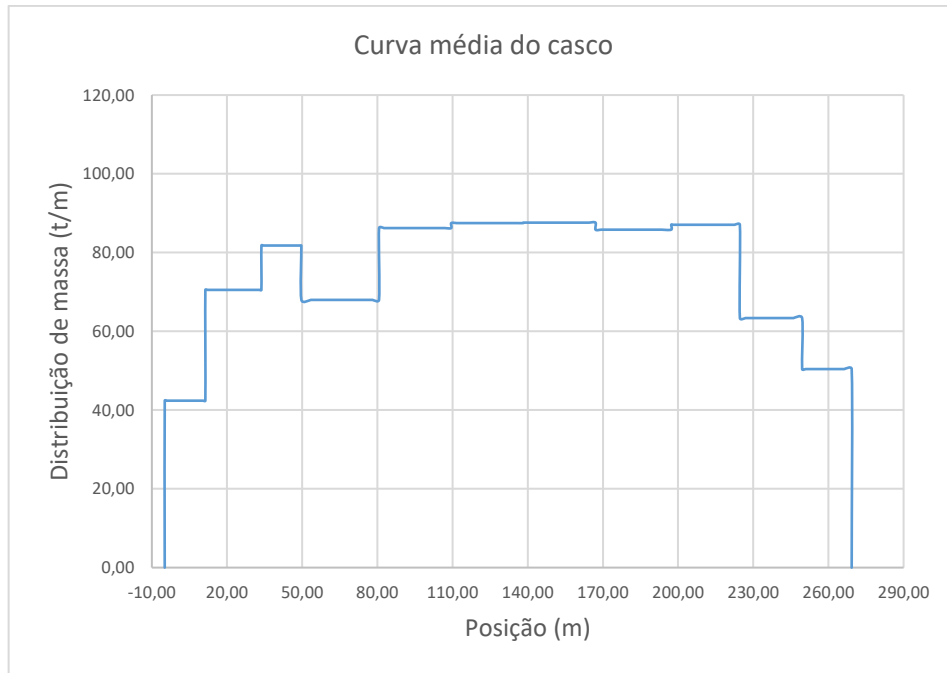


Figura 18- Distribuição média da massa do casco (Fonte: Autor)

Em seguida, novamente, com as posições extraídas do arranjo geral (Anexo II) foi aplicada uma distribuição de massa real dos outros componentes de peso leve. Feito isso, foi possível obter a forma da curva de Peso leve média como mostrado na Figura 19.



Figura 19 - Curva de Peso Leve média (Fonte: Autor)

Depois de obtidas as curvas de peso médio, a curva média de peso do casco foi plotada em conjunto com a curva estimada de peso casco (Figura 20).

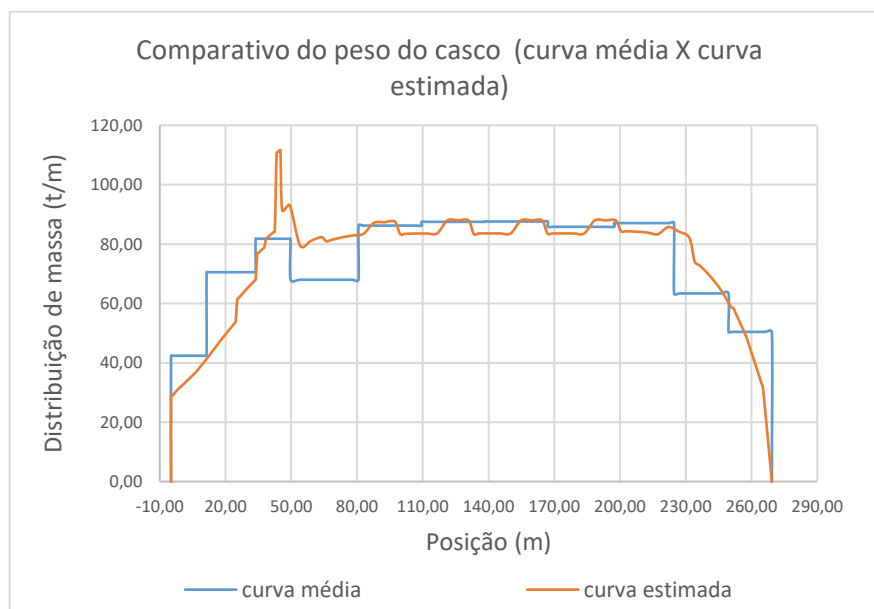


Figura 20- Comparativo para a massa do casco entre curva média e curva criada pela metodologia (Fonte: autor)

Observando as curvas plotadas na Figura 20 e os valores apresentados da massa real e estimada do casco na Tabela 14, foi possível criar e avaliar as hipóteses que geraram a diferença entre as curvas.

A hipótese inicialmente levantada observando o comparativo das curvas, é que a curva gerada pela estimativa deixa de levar em consideração massas importantes, como cavernamentos longitudinais nas regiões de pique de colisão de vante, colisão de ré e praça de máquinas. Outro ponto que a metodologia não abrange são as massas dos conveses abaixo do convés principal na região de praça de máquinas e seus respectivos reforços, como os “pés de carneiro” e reforçadores transversais. Além da parte estrutural, nestas regiões ainda estão inclusos alguns itens que possuem massas significativas para este desvio, como por exemplo os jazentes, fundidos e cadaste. As justificativas para essas hipóteses podem ser observadas pela diferença de elevação entre as curvas, principalmente no primeiro, segundo e último trecho da curva média (representam respectivamente as regiões de pique de colisão de ré, praça de máquinas e pique de colisão de vante) onde a curva média está acima da curva estimada em todos os trechos.

Outra hipótese levantada que possivelmente poderia contribuir com redução do desvio da massa do casco, seria a inclusão da estimativa da massa da solda que para o estaleiro é cerca

de 1,5% da massa do casco, chegando a valores próximos a 3% em algumas regiões. Também pode-se levar em consideração reforçadores de baixa massa, como borboletas, que em grandes quantidades podem gerar uma diferença de massa significativa.

Finalizados os comentários sobre os possíveis motivos que levaram a divergência entre os valores da massa médio e estimado do casco, em seguida, foram plotadas na Figura 21, as curvas apresentadas nas Figuras 17 e 19 para verificar se a curva gerada a partir da utilização da metodologia, estará ou não nas proximidades dos valores médios após a inclusão dos demais itens de massa.

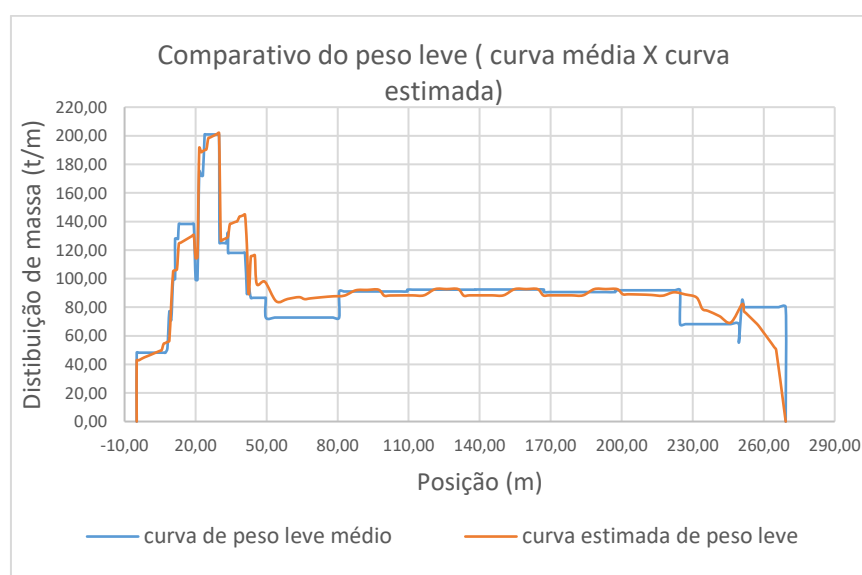


Figura 21- Comparativo entre a curva de massa médio e estimado (Fonte: Autor)

Observado o comparativo feito entre as curvas plotadas na Figura acima, alguns pontos podem ser observados. Primeiramente com relação à massa estrutural e de *outfits* da superestrutura. Como mencionado anteriormente, apesar dos métodos de estimativa aplicados possivelmente considerarem a massa da casaria como estrutural e, considerarem a da gaiuta como massa de *outfit*, nestas regiões, não houve nenhum desvio significando da curva estimada com o valor médio.

Com relação a distribuição de massa na região de praça de máquinas, devido ao fato da massa estimado ficar próximo ao valor real, as curvas estão próximas também nesta faixa, com exceção de alguns pontos, que terão seus desvios analisados mais adiante.

Se tratando de *outfits* fora da região de praça de máquinas, ainda que o grupo II se aproxime do valor real, devido ao baixo valor de sua massa e como ele foi distribuído (linearmente por todo o convés), não é facilmente perceptível a sua influência sobre a curva de

massa estimada. Já o grupo IV por sua vez, possui um alto valor, porém, por abranger itens de quase toda a extensão do navio não foi possível se ter clareza em seus resultados.

Após comparada com a curva de massa médio, a curva estimada foi plotada em conjunto com a fornecida pelo estaleiro, em seguida, foram obtidas através da aplicação do método dos trapézios que tem sua formulação apresentada a seguir, a área abaixo de cada curva e a posição de seus centroides (LCG).

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x) dx \approx \frac{h}{2} [f_{x_0} + f_{x_1}] + \frac{h}{2} [f_{x_1} + f_{x_2}] + \dots + \frac{h}{2} [f_{x_{n-1}} + f_{x_n}] \quad (21)$$

E por fim, foram comparadas utilizando como base os critérios práticos utilizados pelo Estaleiro Atlântico Sul. A seguir são apresentadas as curvas mencionadas (Figura 22), e o comparativo entre o valor estimado e real de Peso Leve e LCG (Tabela 25).

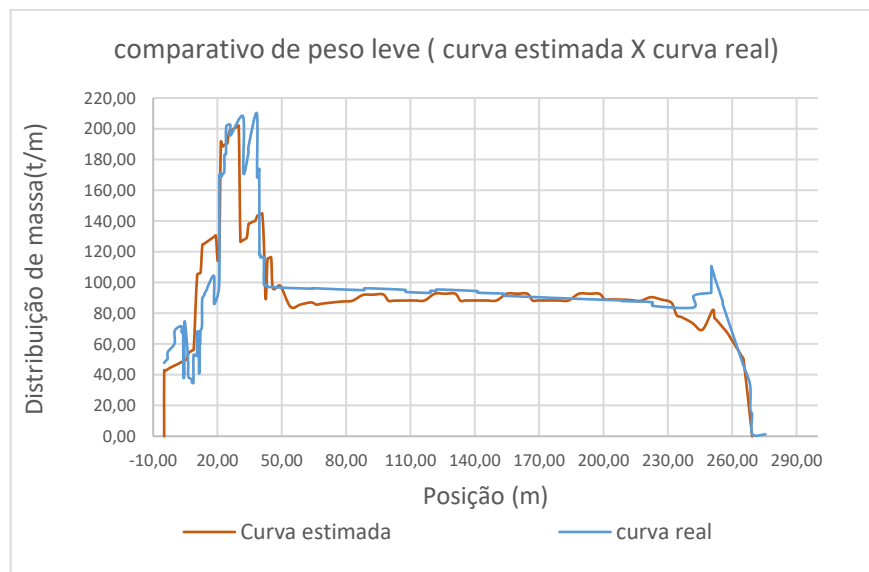


Figura 22- Comparativo entre a curva de Peso leve estimada e real (Fonte: Autor)

Tabela 25- Comparativo entre os valores de Peso Leve e LCG (Estimado X Real) (Fonte: Autor)

Peso leve estimado (t)	LCG estimado (m)
25054,36	123,05
Peso leve real (t)	LCG real (m)
25952,88	123,77

Verificada a plotagem das curvas na Figura 22, é possível concluir que a curva estimada e a fornecida pelo estaleiro tem seus valores muito próximos na região central de carga (entre as posições de 49,27 até 250,87 metros) e divergindo um pouco mais nas regiões mais distantes da região da seção mestra.

É observado também nas regiões do pique de vante, pique de ré e praça de máquinas, que as curvas estão destoadas, possivelmente por elementos estruturais não contabilizados pela metodologia como já mencionado anteriormente.

O maior desvio entre as curvas está entre as posições de 30 a 40 metros. Havendo a possibilidade para duas justificativas plausíveis. A primeira seria um desvio de origem estrutural, uma vez que já se sabe que nestas regiões não foram levados em consideração alguns reforços estruturais, e a segunda, é com relação a má distribuição da massa de um equipamento. Com as informações fornecidas pelo estaleiro, entre estas posições avaliadas, está situada a casa de bombas e, neste compartimento é onde está montado o condensador a vácuo, que é um equipamento de aproximadamente 2,2 toneladas que deveria ter sua massa distribuída apenas no comprimento dessa região, produzindo possivelmente um maior pico na localização mencionada.

Na tentativa de quantificar as hipóteses mencionadas dos desvios entres as curvas, foi utilizada a formulação de erro relativo entre todos os pares de ponto (ponto da curva real e ponto da curva estimada) em suas determinadas posições. A formulação utilizada para o cálculo do erro relativo é encontrada abaixo.

$$\text{erro relativo \%} = \sqrt{\left(\frac{\text{valor real} - \text{valor estimado}}{\text{valor real}}\right)^2} \cdot 100 \quad (22)$$

Admitido um valor de 5% de erro relativo, foi apresentada na Figura 23 a distribuição de erro para todo o comprimento do navio.

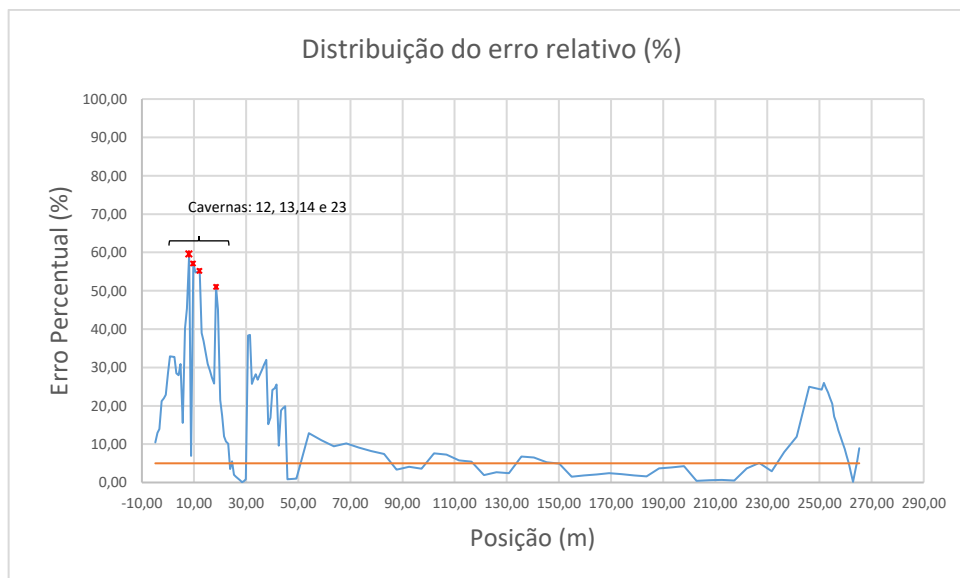


Figura 23- Distribuição do erro relativo ao longo do comprimento do navio

Comentadas as divergências observadas entre as massas estimados e reais, por fim, foram confrontados o peso leve e LCG estimado e real. Recebidos do estaleiro os critérios adaptados do artigo de Dispensa de Realização de Prova de Inclinação para séries de embarcações, presentes na Normas Da Autoridade Marítima Para Embarcações Empregadas Na Navegação Em Mar Aberto (NORMAM)², o peso leve e LCG do projeto e da embarcação construída não devem divergir mais do que 1% do valor do peso leve e mais do que 0,5% do comprimento entre perpendiculares (LPP). Neste caso, avaliando os resultados apresentados na Tabela 25, pode-se afirmar que o desvio entre o peso estimado e real é maior que do que o permitido ($\cong 3,46\%$), já o desvio do LCG ($\cong 0,26\%$) está dentro da faixa permitida pelo critério.

Além da avaliação feita utilizando os critérios práticos do Estaleiro Atlântico Sul, ainda foram geradas as curvas de esforços para curva de peso leve estimada e real, como mostrado na Figura 24 e Figura 25, onde a curva em azul representa a curva de peso leve, a curva em vermelho representa o empuxo e a curva em verde a resultante.

² NORMAM - 01, capítulo 3, seção II, artigo 316

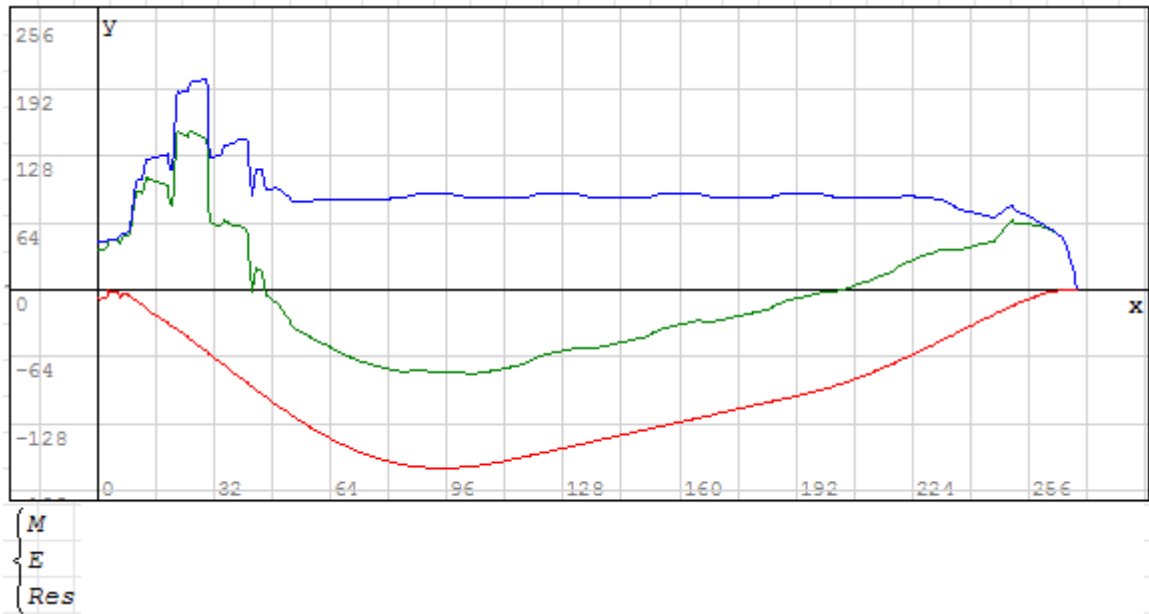


Figura 24- Curva de esforços para o peso leve estimado

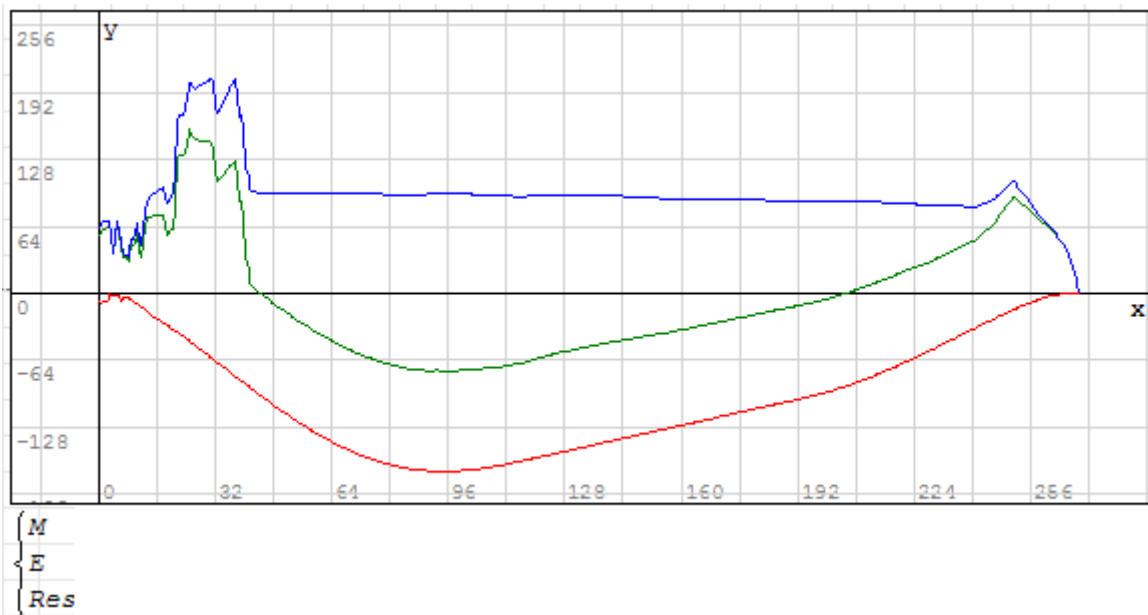


Figura 25- Curva de esforços para o peso leve real

Obtido os esforços, foi possível gerar as curvas de esforço cortante e momento fletor (Anexo IV), e seguida, comparar os maiores e menores valores dos esforços cortantes e momentos fletores, como mostrado na Tabela 26.

Tabela 26- Comparativo de esforço cortante e momento fletor

Curva Solicitada	Esforço cortante		Momento Fletor	
	V _{máx} (t)	V _{min} (t)	Mf máx (tm)	Mf min (tm)
Real	3782,7726	-3019,1368	236060	-74542,7836
Estimado	3713,7257	-3665,1946	221350	-196150
Real/Estimado	1,0185924	0,8237317	1,06645584	0,380029486

Com base na distribuição de erros relativos apresentados na Figura 23 e, analisando o comparativo entre os valores contidos na Tabela 16, é possível concluir que apesar das curvas estarem significativamente distantes principalmente na região mais a ré da embarcação, os valores dos esforços cortantes e momentos fletores se aproximam de forma razoável, com exceção do momento fletor mínimo que, o valor estimado é consideravelmente maior do que o valor real.

5. CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido neste trabalho possibilitou a validação da curva de peso leve desenvolvida pela metodologia simplificada, comparando-a com a curva de peso leve real fornecida pelo Estaleiro Atlântico Sul para navios do tipo tanque da série Suezmax.

No intuito de estimar os valores das massas que fazem parte da curva de peso leve, foram buscados em Schneekluth e Bertram (1998) e Watson (1998) uma variedade razoável de formulações para estimativas de massa destes itens, porém, para geração da curva estimada, foram utilizados apenas os métodos mais detalhados. Os benefícios gerados por essa decisão ficaram visíveis quando foram comparados os valores estimados com os reais, principalmente se tratando de massa do casco, praça de máquinas e superestrutura, fazendo uma pequena ressalva apenas ao grupo IV de *outfits* que não houve muitos recursos para confrontar o valor de sua massa estimada com o real.

Realizado o comparativo entre a curva estimada, média e fornecida pelo estaleiro, as hipóteses de divergência levantadas no âmbito da massa estrutural, praça de máquinas, e *outfits* ganharam mais força no momento em que foi possível visualizar nas plotagens estes desvios.

Aplicando o método prático utilizado pelo Estaleiro Atlântico Sul para limitar os desvios entre o peso leve e o LCG definidos pelo projeto e da embarcação construída (para este caso, curva estimada e curva real), e obtendo a área abaixo da curva real e estimada, pôde se concluir que a embarcação real ficou em torno de 3,46% mais pesada do que a estimada e seu centro de gravidade longitudinal (LCG) ficou cerca de 0,2% deslocado para a vante.

Apesar de compor o Peso Leve, a margem de massa que está na faixa de 2 a 3% do peso morto (DWT) não foi aplicada na metodologia, uma vez que estas relações seriam válidas apenas para embarcações que nunca foram construídas.

Então, concluiu-se que, apesar dos valores de Peso Leve estimado e real divergirem mais de 1% como foi proposto pela regra, a metodologia cumpriu seu objetivo de estimar valores próximos ao peso leve real, apenas com informações que podem ser obtidas nas fases iniciais de projeto.

Como desafio para trabalhos futuros, há ainda a possibilidade de refinar a metodologia apresentada de forma que se obtenham valores mais razoáveis nas extremidades da embarcação, levando em consideração os conveses abaixo do convés principal e seus reforçadores. Além disto, achou-se necessário também um refino nos métodos de estimativa da massa estrutural e *outfits* da superestrutura, de modo que as estimativas consigam gerar valores mais próximos dos reais. Ainda se tratando de estimativas, compreendeu-se que um desmembramento do grupo

IV de *outfits* em menores grupos poderia ser feito de forma a poder comparar seus valores com valores reais, uma vez que este foi o único grupo que não foi confrontado com nenhum valor. Por fim, para confirmar a eficiência da metodologia apresentada neste trabalho, seria bastante interessante aplica-las em outros tipos de navios.

BIBLIOGRAFIA

AASEN, R.; BJØRHOVDE, S. **Early stage weight and cog estimation using parametric formulas and regression on historical data.** n. 3505, p. 35, 2010.

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING. **Rules For Building And Classing: Part 3-Hull Construction And Equipment.** p. 374, 2018.

AMESWEB. **Section Properties Calculator - T Beam (Tee Section).** Disponível em: <<https://www.amesweb.info/SectionalPropertiesTabs/SectionalPropertiesTbeam.aspx/>>.

BAI, Y.. **Marine Structural Design,** Elsevier, 2003.

CHAME, M. E. F., **Projeto Conceitual Otimizado de Embarcações Utilizando Fórmulas Empíricas.** Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Naval, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2014.

DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS, M DO B. **Normas Da Autoridade Marítima Para Embarcações Empregadas Na Navegação Em Mar Aberto: Normam-01/Dpc.** p. 562, 2005.

HANSCH, D. Methods of determining the longitudinal weight distribution of a ship. **Hampton Roads Chapter of the Society of Allied Weight Engineers,** p. 1–24, 2008.

KUPRAS, L. K. **Optimization Method and Parametric Study in Precontract Ship Design.** International Shipbuilding Progress, 1971

LEWIS, Et All. **Principles of Naval Architecture: Volume I a III, The Society of Naval Architects and Marine Engineers – SNAME.** Second Revision, 1988.

RAWSON, K. J., TUPPER, E. C., **Basic Ship Theory: Volume I e II.** Butterworth-Heinemann, 2001.

SCHNEEKLUTH, H. BERTRAN, V., **Ship Design for Efficiency & Economy.** 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, 1998.

TAGGART, R.. **Ship Design and Construction.** SNAME, N.Y., 1980.

TUPPER, E. C. **Introduction to Naval Architecture.** Butterworth-Heinemann, 1996.

VENTURA, M., **Métodos de Estimativa no Projecto de Navios.** Apostila de Projecto de Navios I, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

WATSON, D. G. M., **Practical Ship Design.** Vol. 1, Elsevier Ocean Engineering Book Series, 1998.

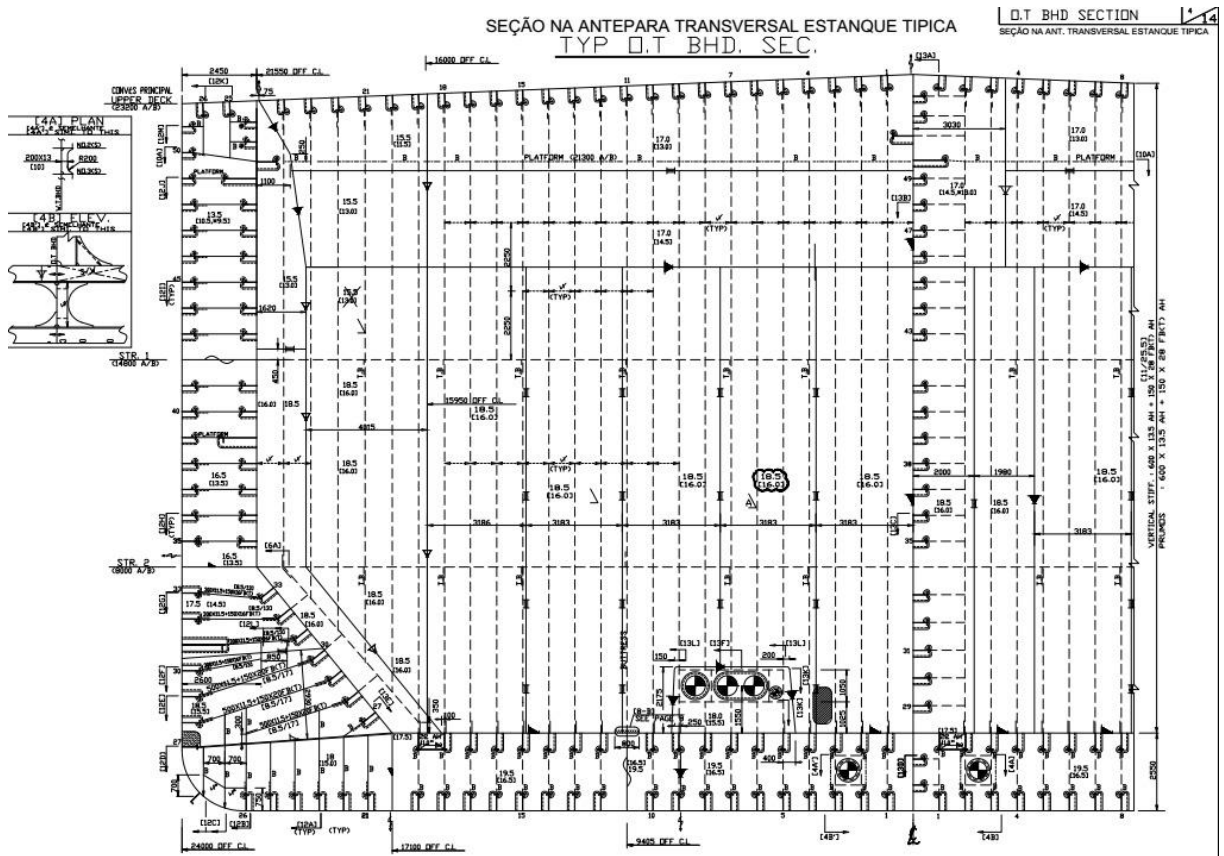
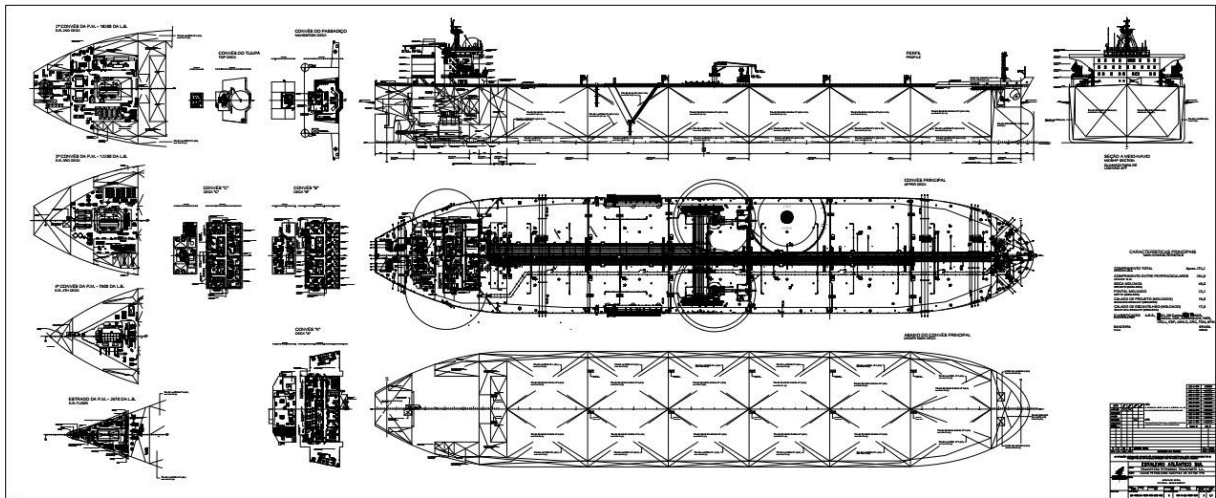


Figura - Seção na antepara transversal estanque (Fonte: Estaleiro Atlântico Sul)

ANEXO II (ARRANJO GERAL)**Figura – Arranjo geral (Fonte: Estaleiro Atlântico Sul)**

ANEXO III (POSIÇÃO DOS COMPONENTES DO PESO LEVE ESTIMADO)

Tabela - Posição dos componentes do peso leve estimado

Componente de Peso Leve		Comprimento de distribuição de massa	
		Em metros	Em cavernas
Massa da antepara 1 (t)	54,45	-4,86 a 24,59	Cav -6 a Cav 31
Massa da antepara 2 (t)	132,23	25,35 a 37,67	Cav 32 a Cav 48
Massa da antepara 3 (t)	152,93	38,47 a 45,02	Cav 49 a Cav 57
Massa da antepara 4 (t)	165,41	45,87 a 63,67	Cav 58 a Cav 62
Massa da antepara 5 (t)	193,15	68,47 a 97,27	Cav 63 a Cav 69
Massa da antepara 6 (t)	196,76	99,67 a 130,87	Cav 69,5 a Cav 76
Massa da antepara 7 (t)	196,76	113,27 a 164,47	Cav 76,5 a Cav 83
Massa da antepara 8 (t)	196,76	166,87 a 198,07	Cav 83,5 a Cav 90
Massa da antepara 9 (t)	192,95	200,47 a 231,67	Cav 90,5 a Cav 97
Massa da antepara 10 (t)	117,63	234,07 a 265,27	Cav 97,5 a Cav 119
Massa da máquina do Leme (t)	20,30	-4,86 a 8,91	Cav -6 a Cav 11
Massa do Cadaste (t)	48,17	-4,86 a 8,91	Cav -6 a Cav 11
Massa do Hélice (t)	29,50	-4,86 a 8,91	Cav -6 a Cav 11
Massa do leme (t)	91,28	-4,86 a 8,91	Cav -6 a Cav 11
Massa do Mcp (t)	635,00	21,55 a 29,91	Cav 27 a Cav 38
Massa dos Mca's (t)	107,54	12,92 a 19,24	Cav 16 a Cav 24
Massa dos eixos (t)	55,32	6,48 a 21,55	Cav 8 a Cav 27
Massa da Praça de Máquinas	912,25	9,72 a 32,95	Cav 12 a Cav 42
Massa das máquinas (de carga e descarga)	217,10	42,47 a 250,87	Cav 54 a Cav 101
Massa dos acessórios e tubulação de convés (t)	768,24	42,47 a 250,87	Cav 54 a Cav 101
Massa das Máquinas de atracação de vante (t)	70,00	250,87 a 265,27	Cav 101 a Cav 119
Massa dos Mordentes (t)	6,70	250,87 a 265,27	Cav 101 a Cav 119
Massa das Âncoras (t)	25,00	250,87 a 265,27	Cav 101 a Cav 119
Massa das Amarras (t)	167,65	250,87 a 265,27	Cav 101 a Cav 119
Massa da Casaria e Gaiuta (t)	324,44	10,53 a 40,87	Cav 13 a Cav 52
Massa dos Acessórios e tubulação da casaria (t)	331,07	10,53 a 40,87	Cav 13 a Cav 52
Massa das Bombas de carga e lastro e turbinas de acionamento (t)	4,55	33,71 a 41,67	Cav 43 a Cav 53

ANEXO IV (CURVAS DE ESFORÇO CORTANTE E MOMENTO FLETOR)

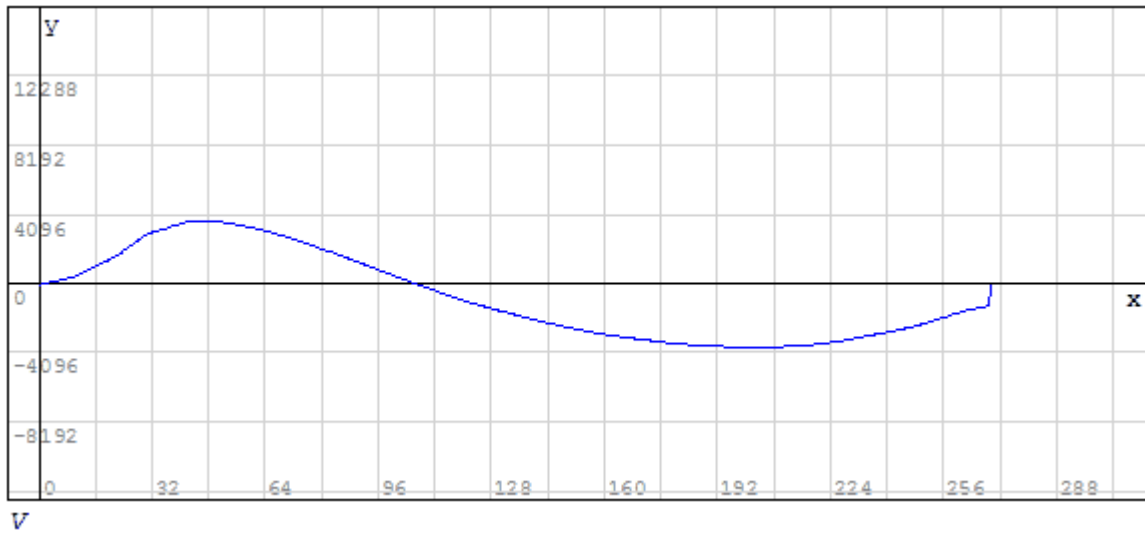


Figura - Curva de esforço cortante para a curva estimada de peso leve

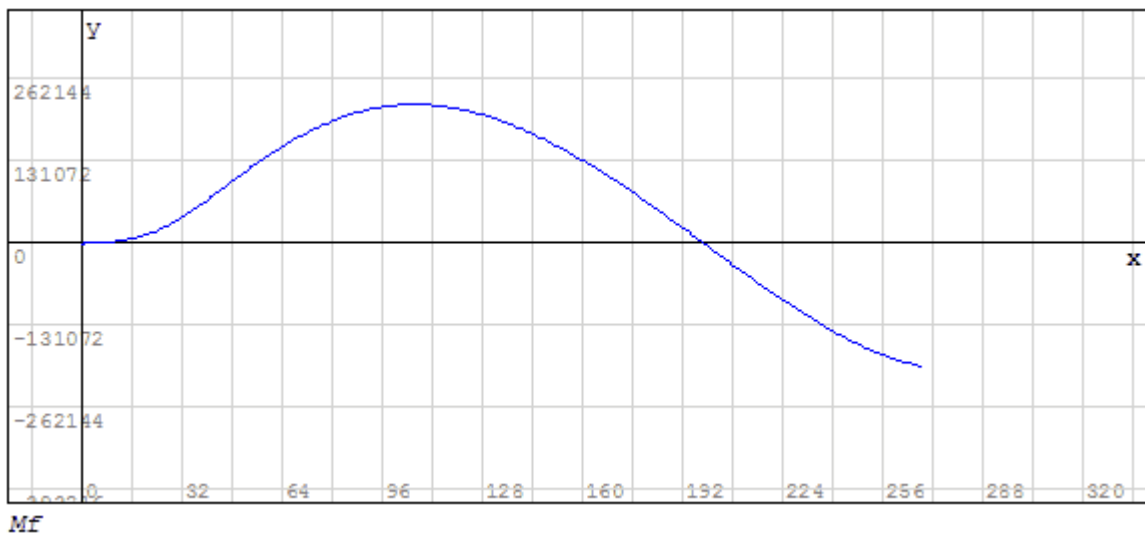


Figura - Curva de momento fletor para a curva estimada de peso leve

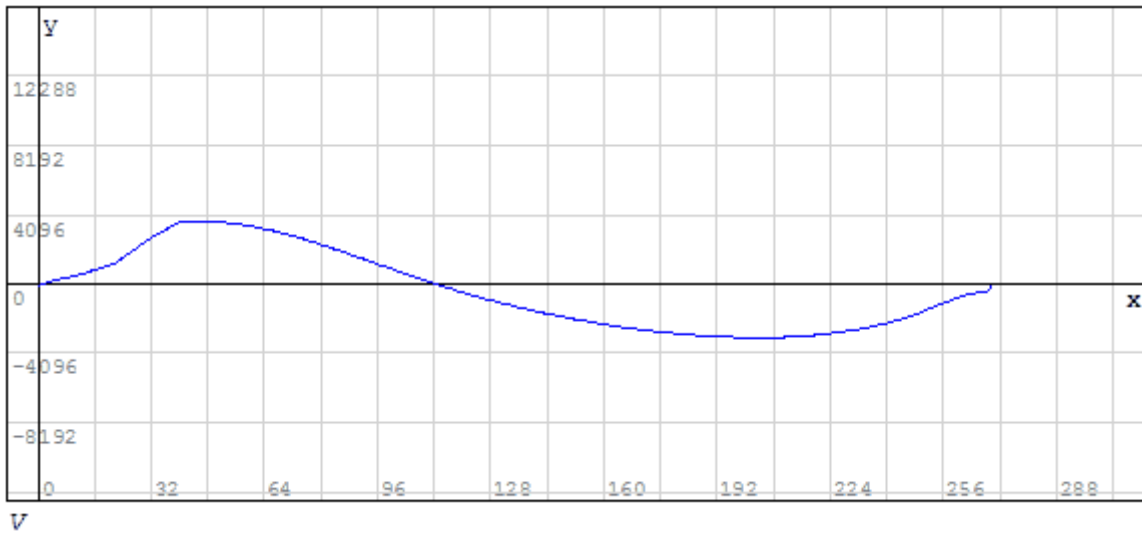


Figura - Curva de esforço cortante para a curva real de peso leve

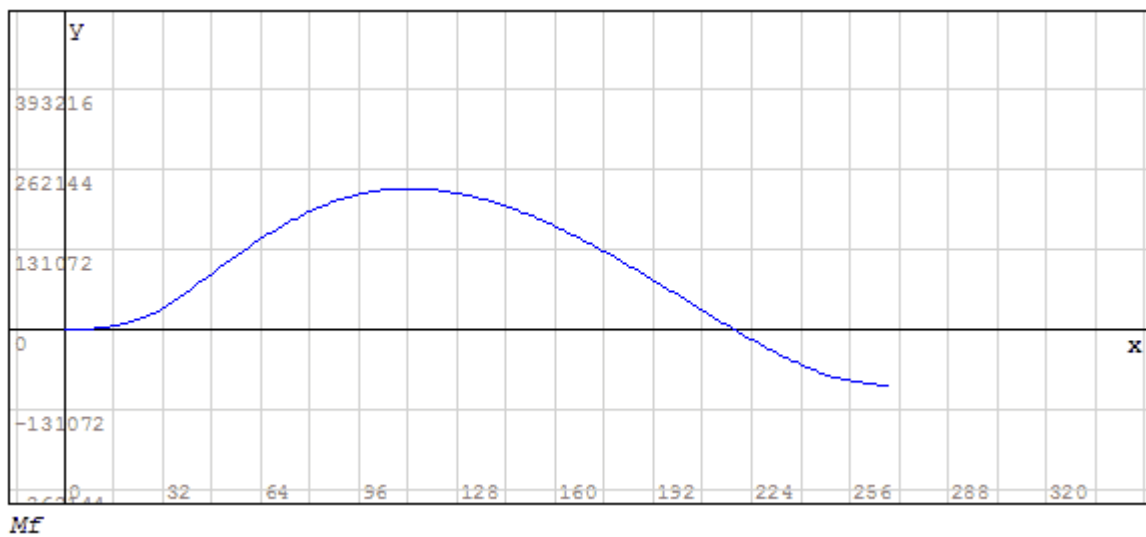


Figura - Curva de momento fletor para a curva real de peso leve