

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS
ENSINO PROFISSIONAL MARÍTIMO

MÓDULO DE ESTABILIDADE
– EST –

UNIDADE DE ESTUDO AUTÔNOMO

1ª edição
Rio de Janeiro
2007

© 2007 direitos reservados à Diretoria de Portos e Costas

Autor: Professor **Adilson** da Silva **Coelho**

Revisão Pedagógica: Pedagoga **Thereza** Christina Corrêa

Revisão Ortográfica: Professora **Cláudia** Correia de Matos

Diagramação: Maria da **Conceição** de Sousa Lima Martins

Coordenação Geral: CMG (MSc) **Luciano** Filgueiras da Silva

_____ exemplares

Diretoria de Portos e Costas

Rua Teófilo Otoni, nº 4 – Centro

Rio de Janeiro, RJ

20090-070

<http://www.dpc.mar.mil.br>

secom@dpc.mar.mil.br

Depósito legal na Biblioteca Nacional conforme Decreto nº 1825, de 20 de dezembro de 1907

IMPRESSO NO BRASIL / PRINTED IN BRAZIL

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
METODOLOGIA – Como usar o módulo	7
UNIDADE 1 – O fenômeno físico e a matemática necessária à sua solução	11
1.1 – O fenômeno físico.....	11
1.2 – A matemática necessária à sua solução	14
Teste de auto-avaliação da unidade 1	19
UNIDADE 2 – Descrição e representação da forma de uma embarcação	21
2.1 – Características lineares do navio	21
2.2 – Planimetria do navio	22
2.3 – Coeficientes de forma do navio	28
Teste de auto-avaliação da unidade 2	32
UNIDADE 3 – Flutuabilidade, deslocamento e portes de uma embarcação	35
3.1 – Flutuabilidade – Reserva de flutuabilidade e borda livre do navio	35
3.2 – Os diversos conceitos de deslocamento de um navio	38
3.3 – Porte de uma embarcação	39
Teste de auto-avaliação da unidade 3	43
UNIDADE 4 – Estabilidade Transversal	45
4.1 – Estabilidade transversal e Identificação das cotas dos pontos notáveis da estabilidade transversal	45
4.2 – Tabela de dados hidrostáticos utilizada nos cálculos de estabilidade	48
4.3 – Cálculo das cotas dos pontos notáveis da estabilidade transversal	49
4.4 – Cálculo da altura metacêntrica transversal	51
4.5 – Condições de equilíbrio do navio.....	54
4.6 – Movimento do centro de gravidade do navio e seu efeito na estabilidade.....	59
4.7 – Efeito da superfície livre nos tanques	64
4.8 – Cálculo da redução da altura metacêntrica	66
4.9 – Banda permanente	68
4.10 – Cálculo da correção da banda permanente	72
4.11 – Análise da Curva de estabilidade transversal estática	76
Teste de auto-avaliação da unidade 4	80

UNIDADE 5 – Estabilidade Longitudinal	83
5.1 – Conceito de estabilidade longitudinal e seus pontos notáveis	83
5.2 – Toneladas por centímetro de imersão ou TPC e momento para compassar 1 centímetro ou MCC.....	88
5.3 – Variação do compasso devido ao movimento longitudinal de pesos	90
5.4 – Cálculo analítico dos calados e compasso	92
5.5 – Plano de compasso	101
5.6 – Esforços estruturais	105
5.7 – Reforços estruturais	108
Teste de auto-avaliação da unidade 5	109
 RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS PROPOSTOS	 113
Teste de auto-avaliação da unidade 1	113
Teste de auto-avaliação da unidade 2	113
Teste de auto-avaliação da unidade 3	114
Teste de auto-avaliação da unidade 4	114
Teste de auto-avaliação da unidade 5	115
 BIBLIOGRAFIA	 117
ANEXOS:	
Anexo 1 – Tabela de dados hidrostáticos.....	119
Anexo 2 – Tabela de correção da superfície livre	121
Anexo 3 – Tabela de razões trigonométricas	123
Anexo 4 – Curvas cruzadas	125
Anexo 5 – Plano de compasso	127

APRESENTAÇÃO

Neste módulo vamos conhecer os princípios básicos de estabilidade dos navios.

Se consultarmos o dicionário, verificaremos que estabilidade é sinônimo de segurança, firmeza.

Assim, ao dizermos que temos uma situação econômica, emocional ou amorosa estável, estamos dizendo que elas são seguras, firmes.

Do mesmo modo, ao estudarmos a estabilidade dos navios, estamos, na realidade, estudando as condições que os fazem seguros para o transporte de passageiros ou de cargas. Segurança que nos propiciará uma viagem tranqüila, sem motivo para sustos ou preocupações. Conhecer os fundamentos da estabilidade nos torna preparados e alertas, além de evitar que pratiquemos atos que possam vir a oferecer risco aos passageiros, à carga, ou a nós mesmos, como tripulantes, mesmo que inadvertidamente.

O conhecimento dos princípios da estabilidade é, portanto, fundamental para todos aqueles que, em maior ou menor grau, são responsáveis pela embarcação. De certa maneira, todos podem contribuir para a segurança do navio ou podem, por desconhecimento, levá-lo a uma situação de risco, conforme verificaremos no decorrer do nosso estudo.

Ao apresentarmos este trabalho, esperamos que você tenha prazer em estudar estabilidade e que, ao final do curso, possa colaborar de maneira efetiva na condução segura dos navios em que vier a trabalhar.

BOA SORTE.

COMO USAR O MÓDULO

I – Qual o objetivo deste módulo?

Proporcionar ao aluno conhecimentos mínimos de estabilidade de navios.

II – Como está organizado o módulo?

O módulo de Estabilidade foi estruturado em cinco unidades seqüenciais de estudo. Os conteúdos obedecem a uma seqüência lógica e, ao término de cada unidade, o aluno fará uma auto-avaliação.

III – Como você deve estudar cada unidade?

- ✓ Ler a visão geral da unidade.
- ✓ Estudar os conceitos da unidade.
- ✓ Responder às questões para reflexão.
- ✓ Realizar a auto-avaliação.
- ✓ Realizar as tarefas.
- ✓ Comparar a chave de respostas do teste de avaliação.

1. Visão geral da unidade

A visão geral do assunto apresenta os objetivos específicos da unidade, mostrando um panorama do assunto a ser desenvolvido.

2. Conteúdos da unidade

Leia com atenção o conteúdo, procurando entender e fixar os conceitos por meio dos exercícios propostos. Se você não entender, refaça a leitura e os exercícios. É muito importante que você entenda e domine os conceitos.

3. Questões para reflexão

São questões que ressaltam a idéia principal do texto, levando-o a refletir sobre os temas mais importantes deste material.

4. Auto-avaliação

São testes que o ajudarão a se auto-avaliar, evidenciando o seu progresso. Realize-os à medida que apareçam e, se houver qualquer dúvida, volte ao conteúdo e reestude-o.

5. Tarefa

Dá a oportunidade para você colocar em prática o que já foi ensinado, testando seu desempenho de aprendizagem.

6. Respostas dos testes de auto-avaliação

Dá a oportunidade de você verificar o seu desempenho, comparando as respostas com o gabarito que se encontra no fim da apostila.

IV – Objetivos das unidades

Unidade 1: REVISÃO DE FÍSICA E DE MATEMÁTICA.

Apresenta uma breve revisão de Física e de Matemática, necessária à compreensão do fenômeno da estabilidade e o embasamento matemático da solução dos problemas dele decorrentes.

Unidade 2: DESCRIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DA FORMA DE UMA EMBARCAÇÃO.

Apresenta os parâmetros e medidas dos navios necessários para os cálculos de estabilidade.

Unidade 3: FLUTUABILIDADE, DESLOCAMENTO E PORTE DE UMA EMBARCAÇÃO.

Apresenta os conceitos de flutuabilidade, deslocamento e porte de uma embarcação

Unidade 4: ESTABILIDADE TRANSVERSAL.

Apresenta os fundamentos da estabilidade transversal.

Unidade 5: ESTABILIDADE LONGITUDINAL.



Apresenta os fundamentos da estabilidade longitudinal.






V – Avaliação do módulo

Após estudar todas as Unidades de Estudo Autônomo (UEA) deste módulo, você estará apto a realizar uma avaliação da aprendizagem.

VI – Símbolos utilizados

Existem alguns símbolos no manual para guiá-lo em seus estudos. Observe o que cada um quer dizer ou significa.

	Este lhe diz que há uma visão geral da unidade e do que ela trata.
	Este lhe diz que há, no texto, uma pergunta para você pensar e responder a respeito do assunto.

	Este lhe diz para anotar ou lembrar-se de um ponto importante.
	Este lhe diz que há uma tarefa a ser feita por escrito.
	Este lhe diz que há um exercício resolvido.
	Este lhe diz que há um teste de auto-avaliação para você fazer.
	Este lhe diz que esta é a chave das respostas para os testes de auto-avaliação.

UNIDADE 1

REVISÃO DE FÍSICA E DE MATEMÁTICA

Nesta unidade, você vai aprender sobre:



- 📖 A Lei da Física que rege os problemas da estabilidade dos navios;
- 📖 as principais ferramentas matemáticas necessárias a solucioná-los.

Iniciaremos o nosso estudo com uma pergunta para reflexão: **POR QUE OS NAVIOS FLUTUAM?**

1.1 O FENÔMENO FÍSICO: A LEI DE ARQUIMEDES

Embora não fosse esse o questionamento de Arquimedes (282-212 a. C.), é devido a esse sábio grego o enunciado da lei básica da estabilidade:



“Todo corpo imerso em um fluido sofre uma impulsão (empuxo) vertical para cima, igual ao peso do volume de fluido, por ele desalojado (deslocado), qualquer que seja o fluido.” (Princípio de Arquimedes)

Note que a impulsão (empuxo) é uma força decorrente do volume de fluido deslocado pelo corpo e não do peso do corpo propriamente dito.

Dessa forma, jogando na água uma esfera de aço maciça, que tem um volume menor que o de uma balsa de mesmo peso, irá ao fundo. Já a balsa flutuará; pois, por ser maior o seu volume, deslocará uma massa fluida também maior, o que resultará em um empuxo suficiente para mantê-la flutuando.

Observemos a figura a seguir, em que tomamos como exemplo um submarino.

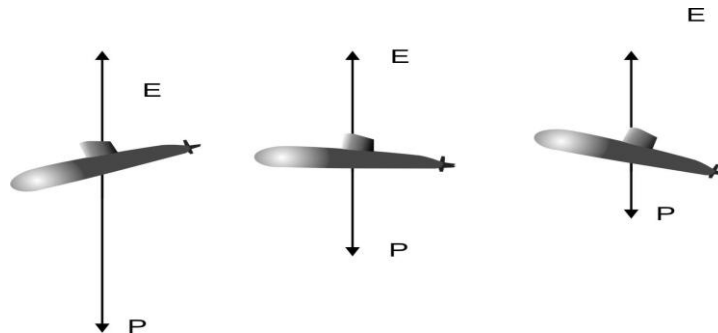


Figura 1.1 – Submarino em diversas condições de flutuabilidade.

Na primeira situação o submarino admite lastro a fim de que seu peso (**P**) fique maior que o empuxo (**E**). Conseqüentemente, ele vai para o fundo.

Na segunda, ele equilibra as duas forças e o navio fica na profundidade em que estiver, que pode, naturalmente, ser na superfície.

Finalmente, na terceira situação, o submarino, estando no fundo, expulsa o lastro com o intuito de que seu peso (**P**) se torne menor que o empuxo (**E**) e ele retorna à superfície.

A tabela a seguir, sintetiza as três situações:

Situação		Conseqüência
1	$P > E$	O corpo vai para o fundo.
2	$P = E$	Permanece na profundidade em que for deixado no fluido (inclusive na superfície).
3	$P < E$	Será conduzido à superfície.



É a existência do empuxo que faz com que os corpos mergulhados em um fluido pareçam pesar menos do que o que realmente pesam. É o que chamamos de peso aparente, expresso pela diferença entre o peso real e o empuxo.

$$P_{ap} = P_{real} - E$$

Como já sabemos a teoria do problema, precisamos escrevê-lo sob a forma matemática, para que possamos quantificar os parâmetros da estabilidade.

Sabemos que o peso de uma substância sólida, líquida ou gasosa **é a força que o faz ficar preso à superfície da Terra**. Ela é escrita matematicamente como o resultado do produto da massa da substância pela aceleração da gravidade:

$$P = m \cdot g$$

Onde:

P é o peso, (a unidade do S.I. é o Newton (N), mas também são usados o kgf = 9,8N e a Lbf = 4,45N, dependendo da origem dos planos do navio);

m é a massa; e

g é a aceleração da gravidade.

As duas forças apresentadas na **figura 1.1** são:

⇒ a do peso do corpo imerso (**P**); e

⇒ a do peso do fluido deslocado (**E**).



Vamos relembrar! Newton (N) é a força necessária a se aplicar a um corpo de 1kg de massa para que ele atinja a aceleração de 1m/s².

Já o Quilograma Força (kgf) é a força necessária a se aplicar a um corpo de 1kg de massa para que ele atinja a aceleração de 9,8m/s².

Na Libra Força (lbf), o corpo tem a massa de 1 lb (libra) e atinge a aceleração de 1ft (pé) por seg².

Você vai ter que se acostumar a conviver com os mais diversos tipos de unidades; pois, embora a Convenção do Sistema internacional de Medidas tenha entrado em vigor em 1975, a indústria ainda utiliza sistemas diferentes, de acordo com a tradição de cada país.

Já vimos que o princípio de Arquimedes relaciona o empuxo ao peso do volume de fluido deslocado. Desse modo, temos que escrevê-lo em termos de volume. Para isso, vamos lançar mão do conceito de massa específica.

A massa específica de uma substância é expressa pelo resultado da divisão de sua massa pelo volume por ela ocupado. Ela é representada pela letra grega ρ (rô) :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Escrevendo tanto o peso do corpo (**P**) como o empuxo (**E**), em termos de volume e massa específica, ficamos com:

Peso do corpo (c de corpo)

Empuxo (f de fluido)

$P = \rho_c V_c g$	$E = \rho_f V_f g$
--------------------	--------------------

Ao produto da massa específica pela aceleração da gravidade chamamos de peso específico, representado pela letra grega delta minúsculo: δ ($\delta = \rho g$). Substituindo esse valor na tabela teremos:

Situação		Conseqüência
1	$\delta_c V_c > \delta_f V_f$	O corpo vai para o fundo.
2	$\delta_c V_c = \delta_f V_f$	Permanece na profundidade em que for deixado no fluido.
3	$\delta_c V_c < \delta_f V_f$	Será conduzido à superfície.

A maioria dos livros prefere trabalhar com a definição de peso e empuxo em termos de massa específica ($P = \rho_c V_c g$ e $E = \rho_f V_f g$).

Quando o corpo está integralmente imerso no fluido, $V_c = V_f$, tudo dependerá do seu peso específico médio e o do fluido. Se o peso do corpo for maior que o do fluido ele irá para o fundo; se for igual, o corpo ficará estabilizado numa dada profundidade; se for menor ele virá para a superfície.

Você percebeu que fizemos questão de falar em peso específico médio do corpo porque é ele que realmente importa, e não o do material de que ele é constituído. Um navio é feito de aço, material que tem peso específico maior que o da água, mas o peso específico médio do navio é menor. Isso pelo fato de que no seu compute estão o casco, a carga, utensílios e, principalmente, espaços vazios, fazendo que o conjunto tenha peso específico menor que o da água.

Exemplo semelhante temos nos balões de festas juninas. O balão em si é mais pesado que o ar; mas o conjunto balão mais o gás quente proveniente da queima da bucha o faz mais leve, e ele flutua no ar. Quando a bucha apaga, o gás escapa e o ar toma seu lugar. A partir de então o novo conjunto (balão mais ar) se torna mais pesado que o ar e ele é atraído para a Terra. Por isso cai, como o submarino lastrado vai para o fundo.

Quando o navio está na superfície, parte de seu volume total fica submerso, deslocando uma certa quantidade de água cujo peso é igual ao do navio. **É o estudo da estabilidade que vai nos informar o quanto poderemos aumentar o seu peso, sem comprometer a segurança.**

1.2 A MATEMÁTICA NECESSÁRIA AO CÁLCULO DE ÁREAS E VOLUMES



Você sabe como podemos calcular os volumes?

Para calcularmos os volumes, necessitamos de conhecimentos básicos referentes à Matemática.

Considerando o navio um corpo geometricamente regular, utilizaríamos as fórmulas geométricas usuais. Vejamos o exemplo da **Figura 1.2**, que representa um convés ou um plano de flutuação típicos.

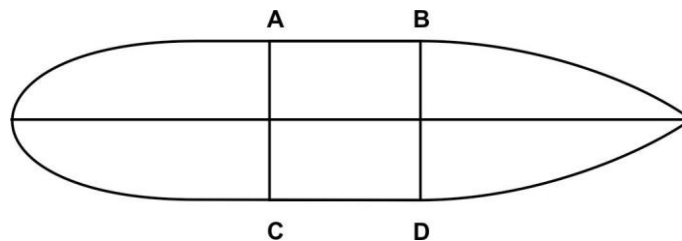


Figura 1.2

Sua área central tem praticamente a forma de um retângulo; mas, à proporção que se aproxima da proa ou da popa, seu contorno torna-se curvo, constituindo-se de diferentes curvas parabólicas que somente podem ser calculadas por um dos seguintes processos:

- fórmula trapezoidal ou dos trapézios; e
- fórmulas de Simpson.

Vamos prosseguir nosso estudo, lembrando a Regra dos Trapézios e as Fórmulas de Simpson.

1.2.1 Regra dos Trapézios

Ela é empregada unicamente quando a área que se deseja calcular tem a forma de um trapézio ou muito próxima conforme a **Figura 1.3**, abaixo.

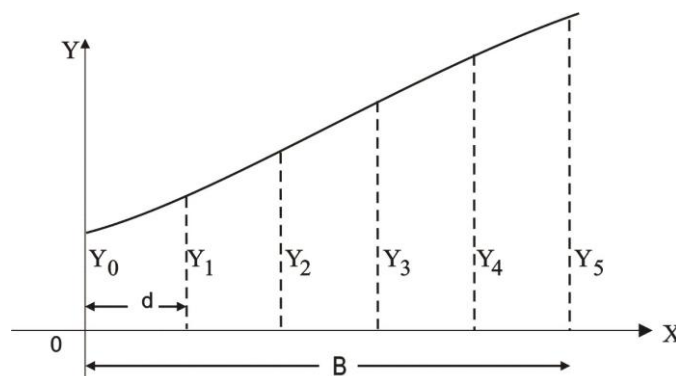


Figura 1.3

Considerando a figura anterior com seis ordenadas, a fórmula para cálculo da área total é:

$$A = d \{ (y_0 + y_n)/2 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + \dots y_{n-1} \}$$

d = é o intervalo comum ou a distância entre duas ordenadas consecutivas.

y_1 a y_n são as ordenadas consecutivas.

A maior precisão do valor da área será maior se for estabelecido um número maior de ordenadas consecutivas.

Essa fórmula também pode ser aplicada ao cálculo de volumes desde que sejam utilizadas ordenadas áreas.

$$V = d \{ (A_0 + A_n)/2 + A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots A_{n-1} \}$$

1.2.2 – Fórmulas de Simpson

As fórmulas de Simpson são oriundas do cálculo de diferenças finitas e sua demonstração, por sua complexidade, foge ao escopo deste trabalho. Elas serão aqui apresentadas em sua forma final, indicando-se quando cada uma delas nos dará um resultado com a aproximação conveniente para o nosso trabalho.

➤ Primeira Fórmula de Simpson

Deve ser utilizada quando a área for dividida num número ímpar de ordenadas. A propriedade para a aplicação da primeira fórmula de Simpson é a seguinte: a área entre três ordenadas consecutivas quaisquer é igual à soma das ordenadas extremas mais quatro vezes a ordenada média, multiplicada por um terço do intervalo comum. Na **figura 1.4**, a superfície foi dividida em seis espaçamentos (d) e, portanto, sete ordenadas. Aplicando a propriedade citada anteriormente a cada três ordenadas e integrando todas as áreas, a fórmula é expressa da seguinte maneira:

$$\text{Área total} = d/3 (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + 2y_4 + 4y_5 + Y_6)$$

Essa fórmula também pode ser aplicada no cálculo de volumes bastando, para isso, substituir as ordenadas **y por ordenadas áreas**, ou seja:

$$\text{Volume total} = d/3 (A_0 + 4A_1 + 2A_2 + 4A_3 + 2A_4 + 4A_5 + A_6)$$

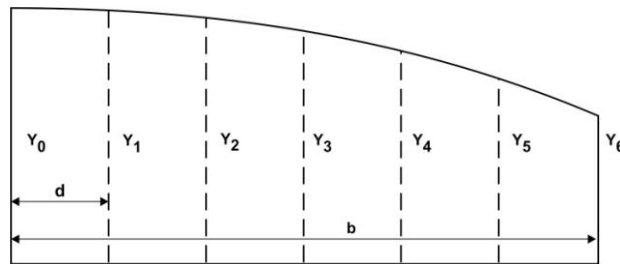


Figura 1.4

➤ **Segunda Fórmula de Simpson**

Deve ser utilizada quando o número de ordenadas for quatro; o número de ordenadas for um múltiplo de três mais um, ou ainda se a superfície de cuja área se deseje calcular for dividida num número de espaçamentos múltiplo de 3, conforme a **Figura 1.5**.

Ela segue a seguinte propriedade: a área entre quatro ordenadas consecutivas é igual à soma das ordenadas extremas mais três vezes cada ordenada média, multiplicadas por $3/8$ do intervalo comum.

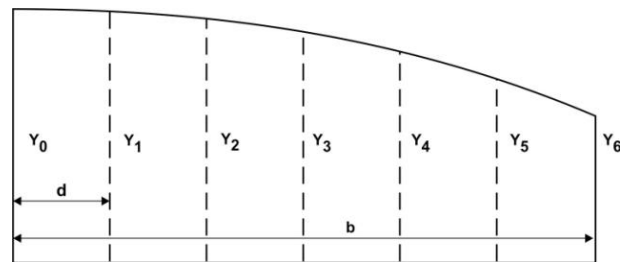


Figura 1.5

$$\text{Área total} = 3/8 d (y_0 + 3y_1 + 3Y_2 + 2y_3 + 3Y_4 + 3y_5 + y_6)$$

Essa fórmula também pode ser aplicada no cálculo de volumes desde que as ordenadas sejam substituídas por ordenadas áreas, como se mostra a seguir.

$$\text{Volume total} = 3/8 d (A_0 + 3A_1 + 3A_2 + 2A_3 + 3A_4 + 3A_5 + A_6)$$

Quando se deseja calcular volumes utilizando as fórmulas de Simpson, é necessário conhecer ou calcular previamente as áreas das seções em que o compartimento será subdividido. Essas áreas podem ser horizontais ou verticais conforme exemplificado na **Figura 1.6**.

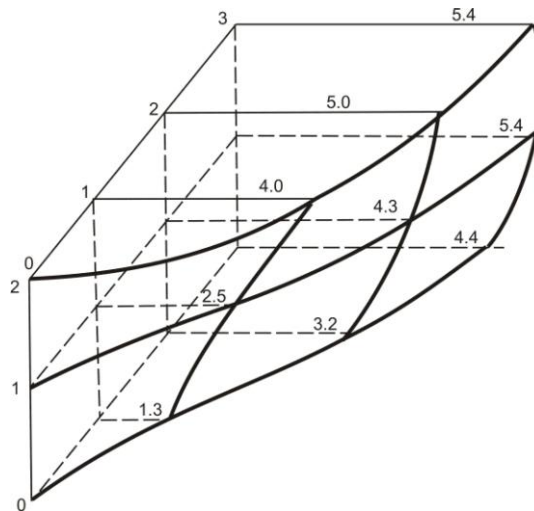


Figura 1.6

➤ **Terceira Fórmula de Simpson**

Essa fórmula é empregada apenas quando, tendo-se três ordenadas, se necessite calcular a área de apenas uma seção, **Figura 1.7**.

Tem o seguinte enunciado: A área entre duas ordenadas consecutivas é igual a cinco vezes a primeira ordenada, mais oito vezes a ordenada média, menos a ordenada externa, multiplicada por 1/12 do intervalo comum.

$$A_1 = d/12 (5y_0 + 8y_1 - y_2) \quad \text{ou} \quad A_2 = d/12 (5y_2 + 8y_1 - y_0)$$

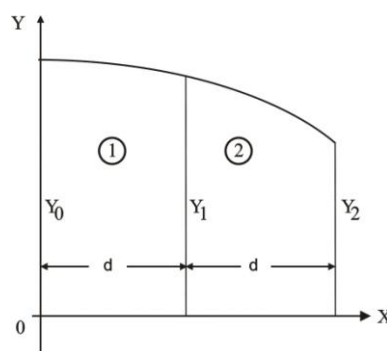


Figura 1.7



Essas três fórmulas podem ser utilizadas tanto para calcular áreas de convés, plano de flutuação, áreas de pisos ou anteparas de paióis, pisos de compartimentos de carga além dos cálculos de volumes da carena e de tanques, paióis e outros compartimentos existentes a bordo que tenham contornos curvos.

Poderíamos apresentar aqui alguns exemplos da utilização das fórmulas do trapézio ou de Simpson. Contudo, preferimos deixar isso para o final da Unidade 2, após você conhecer a terminologia usualmente empregada na estabilidade e que será usada nos exemplos.

Apresentaremos a seguir exercícios que abordam o Princípio de Arquimedes.

Exercícios resolvidos

- 1) Um objeto com massa de 10kg e volume de $0,0002\text{m}^3$ é colocado totalmente dentro da água ($\rho_f = 1.000\text{kg/m}^3$).
- a) Qual é o valor do peso do objeto?
 - b) Qual a intensidade da força de empuxo que a água exerce sobre o objeto?
 - c) Qual o valor do peso aparente do objeto?

(Considere $g = 10\text{m/s}^2$)

Resolução:

- a) O valor do peso do objeto é dado por:

$$\mathbf{P = mg = 10 \times 10 = 100N}$$

b) A intensidade da força de empuxo exercida pela água sobre o objeto é dada por:

$$E = \rho V g = 1.000 \times 0,0002 \times 10 = 2 \text{ N}$$

c) O valor do peso aparente é a diferença entre o peso real e o empuxo:

$$P_{ap.} = P - E \Rightarrow 100 - 2 = 98 \text{ N}$$

2) Um bloco cúbico de madeira, ($\rho_c = 650 \text{ kg/m}^3$), com 0,20 m de aresta, flutua na água ($\rho_f = 1.000 \text{ kg/m}^3$). Determine a altura do cubo que permanece dentro d'água.

Resolução:

O bloco está flutuando, portanto, $E = P$, conseqüentemente $\rho_c g V_c = \rho_f g V_i$ onde V_c e V_i são os valores do cubo e a parte de seu volume imerso.

Podemos escrever a relação acima da seguinte forma:

$$\frac{V_i}{V_c} = \frac{A_b h_i}{A_B h_c} = \frac{0,65}{1,0}$$

Logo, $h_i = h_c \times 0,65 = 2 \times 0,65 = 13 \text{ cm}$



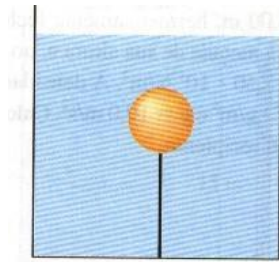
Teste de auto-avaliação da unidade 1

Faça o que se pede nos itens abaixo.

- 1.1) Um corpo com volume de $2,0 \text{ m}^3$ e massa $3,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$ encontra-se totalmente imerso na água, cuja massa específica é de $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determine a força resultante sobre o corpo.
- 1.2) Uma esfera maciça e homogênea flutua na água com $\frac{1}{4}$ de seu volume acima do nível da água. Qual é a massa específica do material de que é feita a esfera?



- 1.3) Uma bola com volume de $0,002 \text{ m}^3$ e de peso específico 200 kg/m^3 encontra-se presa ao fundo de um recipiente que contém água, através de um fio, conforme a figura. Determine a intensidade da tração no fio que segura a bola (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$).



- 1.4) Com uma M de ferro, cuja massa específica é $7,85 \text{ g/cm}^3$, constrói-se uma esfera oca de volume V . Sobre a massa específica dessa esfera é correto afirmar que:
- a) É igual a $7,85 \text{ g/cm}^3$;
 - b) é menor que $7,85 \text{ g/cm}^3$;
 - c) é maior que $7,85 \text{ g/cm}^3$;
 - d) pode ser maior, igual ou menor que $7,85 \text{ g/cm}^3$, dependendo dos valores de M e V .
- 1.5) Um cubo de madeira (massa específica = $0,80 \text{ g/cm}^3$) flutua num líquido de massa específica $1,2 \text{ g/cm}^3$. A relação entre as alturas emersa e imersa é de:
- a) $2/3$;
 - b) 2 ;
 - c) $1,5$;
 - d) $0,5$;
 - e) $3/2$.

UNIDADE 2

DESCRIÇÃO E REPRESENTAÇÃO DA FORMA DE UMA EMBARCAÇÃO

Nesta unidade, você vai aprender sobre:



- As características do navio, que são os parâmetros para o cálculo de estabilidade.
- Os principais planos que são a representação gráfica de determinadas superfícies do navio.

Para compreendermos o conteúdo que será apresentado nesta unidade, é importante ressaltarmos as dimensões principais do navio que são aplicadas aos cálculos de estabilidade e as medidas lineares que podem ser expressas em metros ou em pés. Vamos lá!

2.1 CARACTERÍSTICAS LINEARES DO NAVIO

COMPRIMENTO ENTRE PERPENDICULARES (Lpp)

É a distância longitudinal compreendida entre as perpendiculares a vante e a ré, medida na linha de calado de projeto, conforme mostra a **Figura 2.1**.

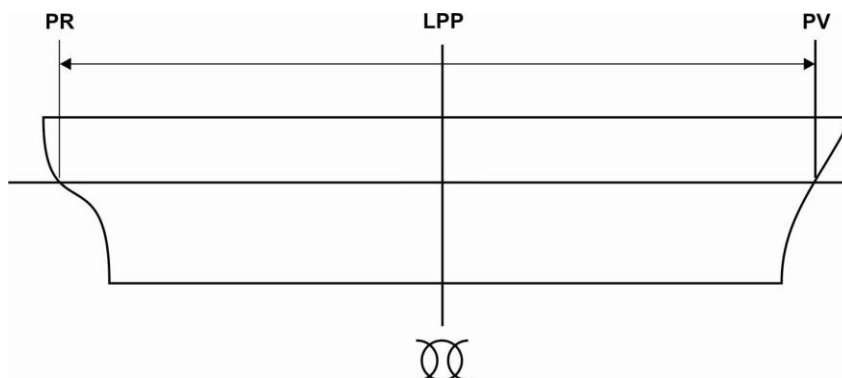


Figura 2.1

BOCA (B)

É a distância medida horizontalmente no sentido transversal do navio em um determinado ponto, mostrado na **Figura 2.1**.

CALADO (H)

É a distância vertical medida entre o plano de base e o plano de flutuação (**Figura 2.2**). Ele é marcado em escalas: a vante, a ré e a meio navio, geralmente fora das perpendiculares, sendo nesse caso denominado de calado aparente. Os valores dos calados são gravados no casco em pés e polegadas (BB) e em decímetros (BE).

PONTAL (D)

É a distância vertical, medida a meio navio, entre o convés e o plano de base do navio, **Figura 2**.

BORDA-LIVRE (BL)

É medida vertical compreendida entre o plano de flutuação ao mais alto convés contínuo estanque, medido em qualquer ponto do comprimento do navio. **Figura 2.2**.

O valor da borda-livre é muito importante porque ele serve para se determinar a reserva de flutuabilidade e pode ser calculado pela fórmula: $BL = D - H$, assunto a que daremos mais atenção na próxima unidade de ensino.

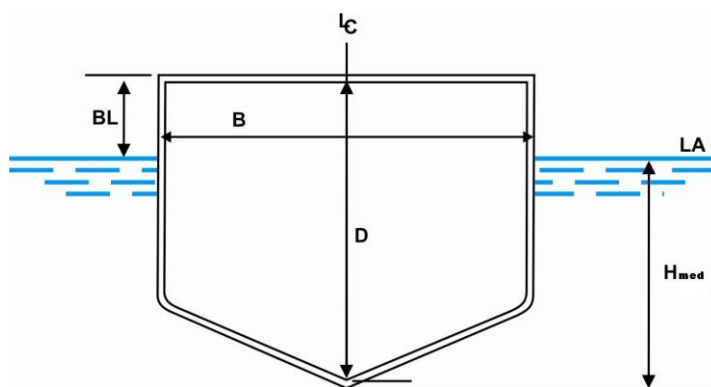


Figura 2.2

2.2 PLANIMETRIA DO NAVIO

Vamos prosseguir nosso estudo!

Neste t3pico estudaremos os principais planos que s3o a representa33o gr3fica de determinadas superf3cies do navio. Al3m desses aspectos ressaltaremos aqueles que s3o mais importantes.

Vamos l3!

PLANO DE BASE MOLDADA

3 um plano horizontal que passa pela quilha, conforme observado na **Figura 2.3**. Este plano serve de refer3ncia para todas as coordenadas verticais de qualquer ponto do navio que precisamos determinar. Por ser a origem de todas as cotas, al3m de refer3ncia para o alinhamento dos sensores de bordo, tais como radares, radiogni3metros e outros. Muitos o chamam de “plano principal do navio” ou de “master level”.

Nas figuras onde ser3o mostrados os pontos not3veis da estabilidade transversal, esse plano ser3 representado por **K**.

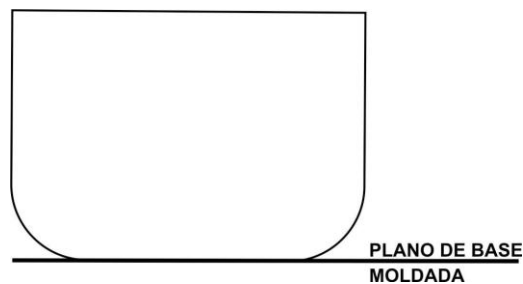


Figura 2.3

PLANO DIAMETRAL

3 um plano longitudinal, vertical, compreendido entre a proa e a popa. Veja a **Figura 2.4**. 3 um eixo de simetria do navio, divide a embarca33o nos corpos de bombordo e boreste e serve de origem para contagem das dist3ncias horizontais transversais, de qualquer ponto do navio que se necessite determinar.

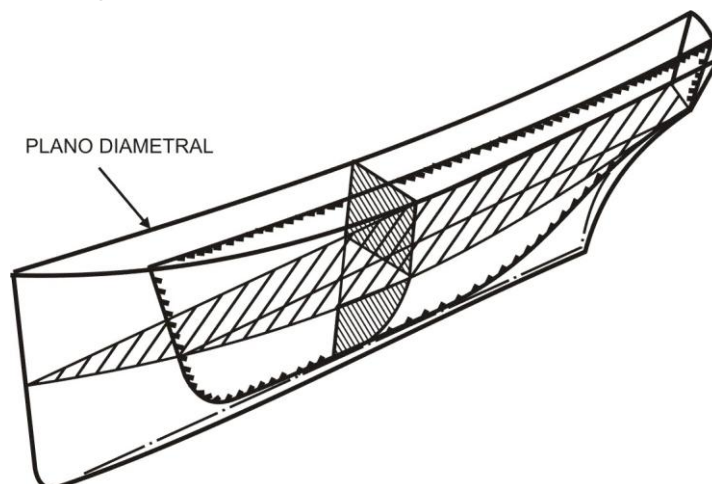


Figura 2. 4

PLANO DA SE333O TRANSVERSAL

É um plano transversal, vertical e, portanto, perpendicular ao plano de base e também ao plano diametral. Serve de referência para a contagem das coordenadas horizontais longitudinais de que necessitamos para determinar um ponto no navio. **Figura 2.5.**

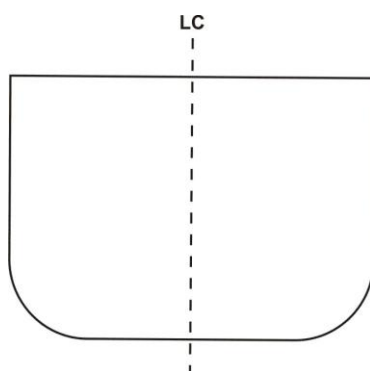


Figura 2.5

O plano de referência pode estar localizado numa das perpendiculares ou na seção mestra, portanto a meio navio, dividindo o corpo do navio nos corpos de proa e popa. Nesse plano se localiza o elemento aranha, que é representado pelo símbolo \otimes , **Figura 2.5.** Esse plano é dividido ao meio por uma linha vertical e perpendicular ao plano de base, sendo identificada pelo símbolo L.C, que é a abreviatura de linha central, conforme se apresenta na **Figura 2.5.**

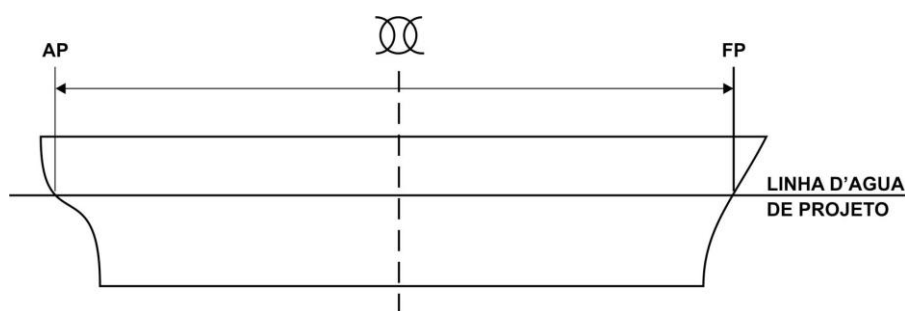


Figura 2.6

PLANO DE FLUTUAÇÃO

É o plano horizontal longitudinal que corresponde à superfície em que o casco do navio está flutuando. **Figura 2.7.** A superfície do casco que está submersa se chama obras vivas ou carena e, obras mortas a parte que fica fora d' água.

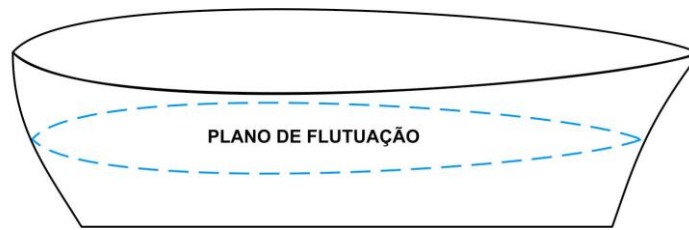


Figura 2.7

Agora que já conhecemos a terminologia básica da estabilidade, vamos apresentar os exemplos de utilização das fórmulas de cálculos de áreas e volumes prometidos na Unidade 1.

Exemplo 1:

Calcule a área total de um plano de flutuação que foi dividido em semi-ordenadas, espaçadas de 15 metros, conforme discriminadas abaixo. Utilize a fórmula de Simpson adequada.

$Y_1 = 1,2 \text{ m}$; $y_2 = 4,6 \text{ m}$; $y_3 = 8,4 \text{ m}$; $y_4 = 11,0 \text{ m}$; $y_5 = 12,0 \text{ m}$; $y_6 = 11,7 \text{ m}$; $y_7 = 10,3 \text{ m}$;
 $y_8 = 7,5 \text{ m}$; e $y_9 = 3 \text{ m}$.

Solução:

Observe que são nove ordenadas, portanto, utilize a primeira fórmula de Simpson.

$$\text{Área total} = d/3 (y_1 + 4y_2 + 2y_3 + 4y_4 + 2y_5 + 4y_6 + 2y_7 + 4y_8 + y_9)$$

$$\text{Área total} = 15 \text{ m}/3 (1,2 \text{ m} + 18,4 \text{ m} + 16,8 \text{ m} + 44,0 \text{ m} + 24,0 \text{ m} + 46,8 \text{ m} + 20,6 \text{ m} + 30,0 \text{ m} + 3 \text{ m})$$

$$\text{Área total} = 5 \text{ m} (204,80 \text{ m})$$

$$\text{Área total} = 1024 \text{ m}^2$$

Observe que a área calculada corresponde à metade da área do plano de flutuação, portanto, o valor da área total é **2048 m²**.

A solução também poderá ser desenvolvida empregando o seguinte dispositivo de cálculo:

Ordenadas	Valor da ordenada	Multiplicador Simpson	Produto para área
Y_1	1,2 m	1	1,2 m
Y_2	4,6 m	4	18,4 m
Y_3	8,4 m	2	16,8 m
Y_4	11,0 m	4	44,0 m

Y ₅	12,0 m	2	24,0 m
Y ₆	11,7 m	4	46,8 m
Y ₇	10,3 m	2	20,6 m
Y ₈	7,5 m	4	30,0 m
Y ₉	3,0 m	1	3,0 m
		▽	204,8 m

$$\text{Área total} = \frac{15}{3} \text{m} (204,8 \text{ m})$$

$$\text{Área total} = 1024 \text{ m}^2$$

Como foram utilizadas as semi-ordenadas, o valor da área de flutuação é o dobro do valor calculado, ou seja: **2048 m²**.

Exemplo 2:

Um tanque de fundo duplo com 0,50 m de altura foi dividido em áreas horizontais cujas áreas calculadas são:

$$A_1 = 18,40 \text{ m}^2;$$

$$A_2 = 29,60 \text{ m}^2;$$

$$A_3 = 33,60 \text{ m}^2;$$

$$A_4 = 36,80 \text{ m}^2;$$

$$A_5 = 38,40 \text{ m}^2; \text{ e}$$

$$A_6 = 40,00 \text{ m}^2.$$

Calcule quantas toneladas métricas de lastro de água salgada, cujo peso específico é 1,025 t/m³, podem ser colocadas neste compartimento. No cálculo do volume utilize a **fórmula dos trapézios**.

Solução:

Como inicialmente deverá ser calculado o volume do tanque de fundo duplo, as ordenadas da fórmula serão as áreas já calculadas indicadas no enunciado do problema.

$$V = d \{ (A_1 + A_6)/2 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \}$$

O intervalo comum é de 0,1 m porque o tanque tem 0,50 m de altura e seis ordenadas áreas.

$$V = 0,1 \text{ m} \{ (18,40 \text{ m}^2 + 40,0 \text{ m}^2)/2 + 29,60 \text{ m}^2 + 33,60 \text{ m}^2 + 36,80 \text{ m}^2 + 38,40 \text{ m}^2 \}$$

$$V = 0,1 \text{ m} \{ 29,20 \text{ m}^2 + 29,60 \text{ m}^2 + 33,60 \text{ m}^2 + 36,80 \text{ m}^2 + 38,40 \text{ m}^2 \}$$

$$V = 0,1 \text{ m} \times 167,60 \text{ m}^2 = \mathbf{16,76 \text{ m}^3}$$

No enunciado do problema, pede-se que se calcule quantas toneladas de lastro de água salgada deverão ser colocadas neste tanque; portanto, é importante que se recorde da física a fórmula $p = v \cdot \delta$, utilizada para se determinar o peso do lastro.

p = peso a ser calculado;

v = volume do líquido; e

δ = peso específico do líquido.

$$p = 16,76 \text{ m}^3 \cdot 1,025 \text{ t/m}^3 = \mathbf{17,18 \text{ t}}$$

Exemplo 3:

Calcule o volume da carena de um navio ao alcançar o calado médio de 12 metros sabendo-se que as obras vivas foram divididas em cinco áreas de flutuação, a saber:

$$A_1 = 1800 \text{ m}^2 ;$$

$$A_2 = 1900 \text{ m}^2;$$

$$A_3 = 2000 \text{ m}^2;$$

$$A_4 = 2100 \text{ m}^2; \text{ e}$$

$$A_5 = 2200 \text{ m}^2$$

Utilize a fórmula de Simpson adequada.

Solução:

Como o calado médio é de 12 metros, o intervalo comum corresponde de 3 metros; deverá ser aplicada a primeira fórmula de Simpson, porque a carena foi dividida em cinco áreas horizontais.

Ordenadas	Valor da ordenada	Multiplicador Simpson	Produto para volume
A ₁	1800 m ²	1	1800 m ²
A ₂	1900 m ²	4	7600 m ²
A ₃	2000 m ²	2	4000 m ²
A ₄	2100 m ²	4	8400 m ²
A ₅	2200 m ²	1	2200 m ²
		∇	24000 m ²

Quando se tratar de volume da carena usa-se o **símbolo ∇** e não v.

$$\nabla = d/3 (A_1 + 4A_2 + 2A_3 + 4A_4 + A_5)$$

$$\nabla = 3 \text{ m/3 (24000 m}^2 \text{)} = \mathbf{24000 \text{ m}^3}$$



**As Fórmulas de Simpson são muito trabalhosas.
Será que no dia a dia são realmente usadas?**

Esta é a indagação básica e o temor de todos aqueles que começam a estudar estabilidade.

Na realidade, aqueles cálculos são feitos na fase de projeto do navio. A partir de então são determinados coeficientes que definem o quanto o navio difere de uma figura geométrica conhecida. É o que veremos nas seções subseqüentes.

2.3 COEFICIENTES DE FORMA DO NAVIO

Os coeficientes de forma do navio são aplicados aos cálculos de áreas e volumes que apresentam formas irregulares. Para que eles sejam determinados é necessário que sejam estabelecidas relações entre volumes ou superfícies reais dos mesmos além dos cilindros, paralelepípedos ou retângulos circunscritos a eles.

Esses coeficientes variam com os diversos tipos de navios e podem ser calculados analiticamente ou obtidos no plano de curvas hidrostáticas. Eles são quatro, conforme discriminados abaixo:

COEFICIENTE DE BLOCO (C_b)

É a relação entre o volume da carena (∇) e o volume de um paralelepípedo que envolve a carena, **Figura 2.8**.

$$C_b = \nabla / L_{pp} \cdot B \cdot H_{med}$$

∇ = volume da carena

B = boca do navio

L_{pp} = comprimento entre perpendiculares

H_{med} = calado médio do navio

Quanto mais próximo da unidade for o coeficiente de bloco, mais a carena do navio se parece com um paralelepípedo flutuante.

É importante lembrar que o calado médio é obtido pela fórmula:

$$H_{med} = (H_{av} + H_{ar}) / 2, \text{ onde}$$

H_{av} = calado a vante

H_{ar} = calado a ré

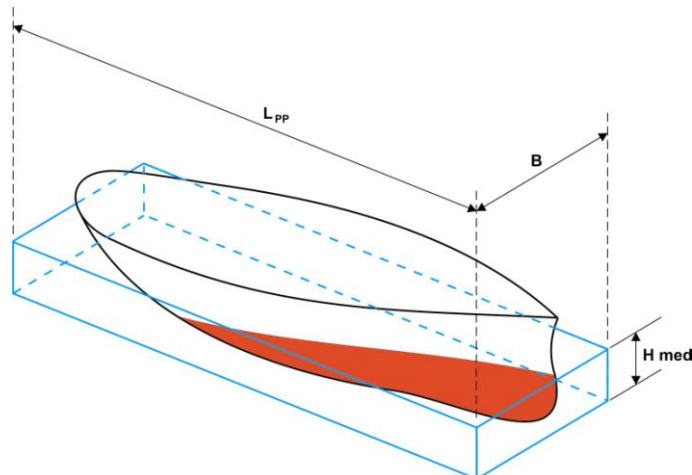


Figura 2.8

Com o conhecimento do coeficiente de bloco é possível calcular o valor do volume da carena em qualquer situação de calado, como exemplificado abaixo.

$$\nabla = L_{pp} \cdot B \cdot H_{med} \cdot C_b$$

COEFICIENTE DA ÁREA DE FLUTUAÇÃO (CAf)

É a relação entre a área do plano de flutuação correspondente a um calado médio e a área do retângulo cujos lados tenham as dimensões da boca (**B**) e do comprimento do navio (**L_{pp}**). **Figura 2.9**.

$$CAf = AF / L_{pp} \cdot B$$

AF = área de flutuação

L_{pp} = comprimento entre perpendiculares

B = boca do navio

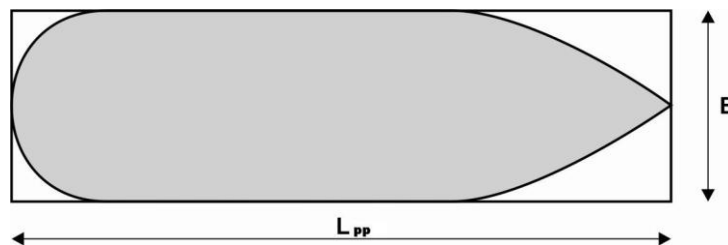


Figura 2.9

O valor desse coeficiente é necessário para o cálculo da área de flutuação do navio.

COEFICIENTE DA SEÇÃO A MEIO NAVIO (CAm)

É a relação entre a área da seção mestra ou a meio navio e a de um retângulo cujos lados tenham as dimensões da boca e do calado médio da carena, **Figura 2.10**.

$$CAm = Am / B \cdot H_{med}$$

Am = área da seção mestra
B = boca do navio
Hmed = calado médio

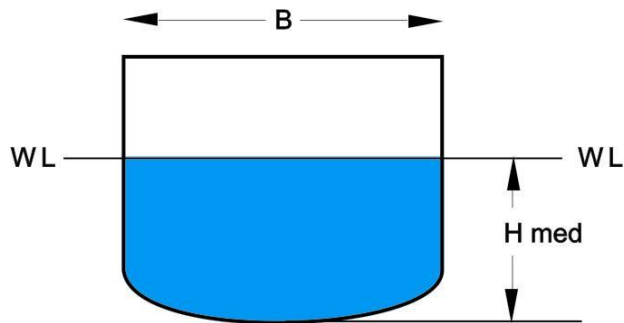


Figura 2.10

Essa informação é necessária para o cálculo da área da seção mestra, que é dado de entrada do coeficiente prismático (C_p), que veremos a seguir.

COEFICIENTE PRISMÁTICO (C_p)



Ao observarmos os navios pela proa, constatamos que alguns têm um perfil que parece que vão “cortar a água”, outros se assemelham mais a “empurradores de água”.

É claro que, para mesmas condições de deslocamento e velocidade, um “empurrador de água” demandará maior potência nos motores principais do que um “cortador de água”. O coeficiente prismático vem então em socorro ao projetista das máquinas, na escolha da potência adequada aos motores principais.

Assim, o coeficiente prismático é a relação existente entre o volume da carena (∇) e o volume de um prisma ou de uma seção longitudinal de um cilindro que tenha o mesmo comprimento entre perpendiculares (L_{pp}) que o comprimento da carena e uma seção transversal igual à seção transversal a meio navio. **Figura 2.11.**

$$C_p = \nabla / L_{pp} \cdot A_m$$

∇ = volume da carena

Lpp = comprimento entre perpendiculares

Am = área da seção mestra (área da seção transversal a meio navio)

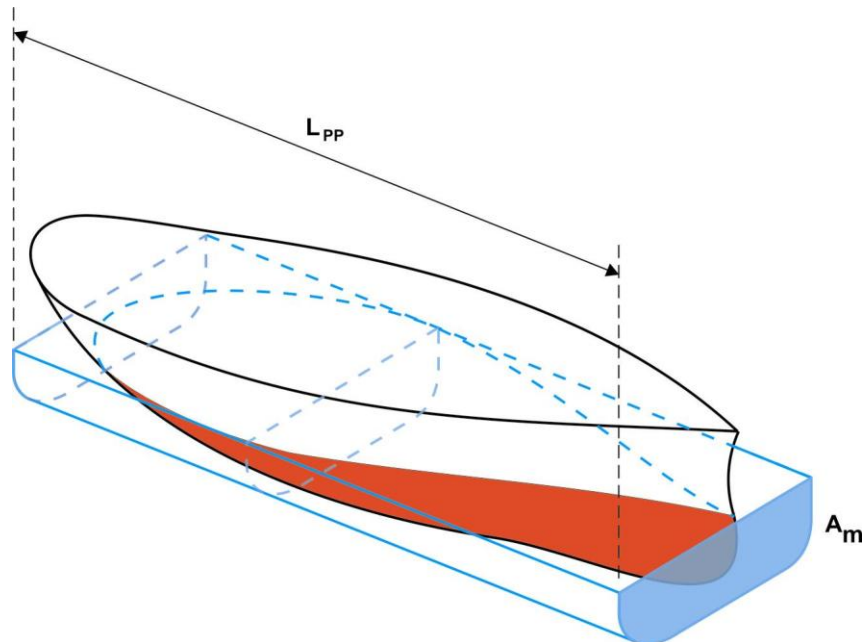


Figura 2.11

A seguir, veremos como aplicar os coeficiente de forma através de exemplos.

Exemplo 1:

Calcule o volume da carena, a área imersa da seção mestra e o coeficiente prismático de um navio no qual são conhecidos: $L_{pp} = 168$ m, $B = 25$ m, $H_{med} = 10,5$ m, coeficiente da seção a meio navio = $0,87$ e coeficiente de bloco = $0,595$.

Solução:

$$\nabla = L_{pp} \cdot B \cdot H_{med} \cdot C_b$$

$$\nabla = 168 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 10,5 \text{ m} \times 0,595 = 26239,5 \text{ m}^3$$

$$C_{Am} = A_m / B \cdot H_{med}$$

$$A_m = C_{Am} \cdot B \cdot H_{med} = 0,87 \times 25 \text{ m} \times 10,5 \text{ m} = 228,38 \text{ m}^2$$

$$C_p = \nabla / L_{pp} \cdot A_m$$

$$C_p = 26239,5 \text{ m}^3 / 168 \text{ m} \times 228,38 \text{ m}^2 = 0,684$$

Exemplo 2:

Calcule o coeficiente do plano de flutuação de um navio em que são conhecidos:

$L_{pp} = 110$ m, $B = 17,3$ m e área do plano de flutuação = 1550 m^2 .

Solução:

$$CAf = AF / Lpp \cdot B$$

$$CAf = 1550 \text{ m}^2 / 110 \text{ m} \times 17,3 \text{ m} = 0,814$$

Exemplo 3:

Um navio desloca 2304 m^3 em água salgada. Seu coeficiente de bloco é 0,6 e o da seção a meio navio 0,8. A área imersa da seção a meio navio é de $38,4 \text{ m}^2$ e a relação boca/calado é 3. **Calcule** o comprimento, a boca e o calado.

Solução:

$$\Delta = \nabla \cdot \delta$$

$$\Delta = 2304 \text{ m}^3 \cdot 1,025 \text{ t/m}^3 = 2361,6 \text{ t}$$

$$Cb = 0,6$$

$$Cam = 0,8$$

$$Am = 38,4 \text{ m}^2$$

$$B/H = 3$$

$$Am = B \cdot H \cdot Cam$$

$$B \cdot H = Am / Cam = 38,4 \text{ m}^2 / 0,8 = 48 \text{ m}^2$$

$$B/H = 3$$

$$B = 3 \cdot H \rightarrow 3 \cdot H \cdot H = 48 \rightarrow 3 H^2 = 48 \rightarrow H^2 = 16 \text{ m}^2$$

$$H = \sqrt{16 \text{ m}^2} \rightarrow H = 4 \text{ m}$$

$$B = 3 \cdot H = 3 \cdot 4 = 12 \text{ m}$$

$$\nabla = Lpp \cdot B \cdot H \cdot Cb$$

$$Lpp = (\nabla) / B \cdot d \cdot Cb$$

$$Lpp = 2304 \text{ m}^3 / 12 \text{ m} \cdot 4 \text{ m} \cdot 0,6$$

$$Lpp = 2304 \text{ m}^3 / 28,8 \text{ m}^2 = 80 \text{ m}$$



Teste de auto-avaliação da unidade 2

Faça o que se pede nos itens abaixo.

- 2.1) **Calcule** a área de uma chapa a ser substituída no convés, conhecendo-se as ordenadas abaixo discriminadas, separadas 20 m entre si: $y_1 = 5 \text{ m}$; $y_2 = 7 \text{ m}$; $y_3 = 9 \text{ m}$; $y_4 = 7 \text{ m}$; $y_5 = 5 \text{ m}$.
Empregue a fórmula de Simpson e a fórmula trapezoidal.





- 2.2) **Calcule** a área entre duas ordenadas consecutivas que apresentam intervalo comum de 12 metros. Essas ordenadas medem 16 m e 20 m e a ordenada externa mede 20 m.
- 2.3) Um convés de um saveiro tem 18 m de comprimento, tendo sido dividido em 10 semi-ordenadas, a saber: 1 m; 3 m; 3,5 m; 3,6 m; 4 m, 4,1 m; 3,8 m; 3,6 m; 3,5 m e 1 m. **Calcule** a área de flutuação desse convés.
- 2.4) **Calcule** o deslocamento de uma embarcação que flutua em água de peso específico $1,025\text{t/m}^3$, conhecendo-se as áreas das seguintes seções dos planos de flutuação, espaçadas de 0,3m. $A_1 = 100\text{ m}^2$; $A_2 = 90\text{ m}^2$; $A_3 = 80\text{ m}^2$ e $A_4 = 70\text{ m}^2$.
- 2.5) **Calcule** a quantidade de água salgada, de peso específico 1,025, que tem num tanque de lastro com 30 m de comprimento, que foi dividido em 5 seções transversais equidistantes, a saber: $A_1 = 12\text{ m}^2$; $A_2 = 25\text{ m}^2$; $A_3 = 36,5\text{ m}^2$; $A_4 = 50,5\text{ m}^2$ e $A_5 = 65\text{ m}^2$.
- 2.6) O convés de uma embarcação tem 18 m de comprimento, foi dividido em 9 semi-ordenadas, a saber: 1,5 m; 2 m; 2,5 m; 3 m; 3,5 m; 3 m; 2,5 m; 2 m e 1,5 m. Sabendo-se que 1 litro de tinta pinta 20 m^2 de superfície, **determine** quantos litros desta tinta serão necessários para revestir todo o convés.
- 2.7) Um tanque de um VLCC tem 48 m de comprimento, tendo sido dividido em seções transversais, a saber: 15 m^2 ; 20 m^2 ; 22 m^2 e 15 m^2 . Esse tanque está cheio com um produto de peso específico $0,986\text{t/m}^3$. A seguir ele foi descarregado e depois lastrado com água salgada de peso específico $1,025\text{t/m}^3$. **Calcule** a alteração no deslocamento do navio.
- 2.8) Um tanque de fundo duplo tem 0,5m de altura. As áreas horizontais igualmente espaçadas, a partir do fundo são: 18,4; 29,6; 33,6; 36,8; 38,4 e 40 metros quadrados. **Determine** o volume do tanque.
- 2.9) Um navio desloca 10500 t em plena carga e está em água salgada de peso específico $1,025\text{t/m}^3$ com os calados a vante = 6,30m e a ré = 6,82 m. Suas características são: $L_{pp} = 160\text{ m}$ e Boca = 15 m. **Determine** o coeficiente de bloco.
- 2.10) De um navio com deslocamento igual a 12000 t, obtivemos os seguintes dados: $C_b = 0,8$; $L_{pp} = 150\text{ m}$; $B = 20\text{ m}$ e $H_{av} = 4\text{ m}$; peso específico do local igual a 1 t/m^3 . Se calcularmos o calado a ré **encontraremos**:
- 2.11) **Calcule** o coeficiente da área da seção mestra de um navio que tem 20 m de boca e 6 metro de calado, cuja área da seção mestra foi dividida em 9 ordenadas a partir da linha de centro, a saber: 6 m; 7 m; 7,5 m; 8,5 m; 9 m; 9,5 m; 9,6 m; 9,8 m e 10 m.

UNIDADE 3

FLUTUABILIDADE – DESLOCAMENTO – PORTE

Nesta unidade, você vai aprender sobre:



-  A importância da reserva de flutuabilidade e da borda livre do navio, que são os elementos capazes de manter o navio flutuando;
-  A importância de se atender aos limites estabelecidos no certificado internacional de borda livre;
-  Os diversos conceitos de deslocamento de um navio;
-  A definição de porte de um navio e seus significados.

Para que uma embarcação flutue, como já afirmamos anteriormente na Unidade 1, é necessário que exista um equilíbrio entre o seu peso e a força de empuxo (Princípio de Arquimedes). Este equilíbrio deve ser mantido a todo custo, a fim de assegurar a flutuabilidade do navio.

Para que isso ocorra na prática, vamos estudar primeiramente o conceito de flutuabilidade, reserva de flutuabilidade e borda livre do navio.

3.1 FLUTUABILIDADE – RESERVA DE FLUTUABILIDADE E BORDA LIVRE DO NAVIO



Flutuabilidade

É a propriedade de um corpo permanecer na superfície do meio em que está imerso.

Conforme já sabemos, para que um navio permaneça flutuando deve existir sempre um equilíbrio entre o seu peso e a força de empuxo (Princípio de Arquimedes, visto na U.E.1).



Reserva de flutuabilidade

Recebe o nome de reserva de flutuabilidade, o volume da parte estanque das obras mortas, ou seja, a parte estanque do navio acima da linha d'água

A **Figura 3.1** nos mostra a reserva de flutuabilidade do navio.

É claro que, enquanto for mantido o equilíbrio entre o deslocamento (P) e a força de empuxo (E), o navio flutuará. Contudo, para que possamos ter a garantia de que estamos empreendendo uma viagem com segurança, devemos sempre deixar uma certa margem para os imprevistos. Nos casos de mau tempo, ocorrendo muito embarque de água no convés, teremos um aumento do deslocamento do navio e uma redução da reserva de flutuabilidade.



Qual o limite de carga de uma embarcação?

O limite de carga para as embarcações sempre foi motivo de preocupação, não só dos armadores, como também daqueles que têm responsabilidade sobre a segurança da navegação marítima.

O armador, interessado em maximizar o lucro, se pergunta:

“Será que eu não poderia ainda colocar um pouco mais de carga, mantendo a segurança?”

Os responsáveis pela segurança questiona:

“Se colocarmos um pouco mais de carga não vamos criar um problema ou um sinistro?”

Para sanar as dúvidas, foi feita uma convenção internacional, universalizando a maneira de proceder, independentemente do país onde está o navio.

É a Convenção Internacional das Linhas de Carga de 1966, em conformidade com a convenção de cada país faz a classificação de seus navios por uma entidade oficial ou através de agentes credenciados (Sociedades Classificadoras). É na emissão do Certificado Internacional de Borda Livre, onde ficam estipulados os valores máximos permitidos dos

deslocamentos e calados médios. Nele ficam determinados os valores das bordas livres permitidos para que o navio possa navegar com segurança nas zonas periódicas e permanentes incluídas no Anexo 3 desta Convenção.



Figura 3.1



Borda livre do navio

A borda livre determina o peso máximo que o navio pode alcançar, ou seja, o seu deslocamento máximo. Em outras palavras, a borda livre fixa qual a reserva de flutuabilidade mínima permitida ao navio, em uma dada situação.

O valor da borda livre pode ser calculado pela fórmula:

$$BL = D - H_{med}$$

BL = borda livre

D = pontal

H_{med} = calado médio

Exemplo:

Um navio tem um pontal de registro de 14 m e em certa condição de carregamento se encontra com um calado médio de 10 m, portanto, sua borda livre é de 4 m.

Por ocasião da classificação do navio, são estabelecidas as marcas de linhas de carga, que devem ficar ao lado do disco de Plimsoll, **Figura 3.2**, nos costados a bombordo e a boreste. As linhas de carga localizadas junto ao disco de Plimsoll limitam os calados máximos nas zonas de (V) verão, (T) tropical, (I) inverno, regiões de água salgada com massa específica igual a 1,025 t/m³, água doce e água doce tropical, cuja massa específica é de 1,00 t/m³.

Respeitados os limites estabelecidos pelas linhas de carga, temos certeza de que estamos minimizando a possibilidade de contratempos durante a viagem. Se eles vierem a ocorrer não será com a nossa contribuição. Além das autoridades dos portos de escala do navio, as linhas de carga são também alvo de atenção por parte das Companhias de Seguro, Casco e da Carga pois, caso desrespeitados os seus limites, terão elas um forte argumento para não cobrir os prejuízos na eventualidade de um sinistro.

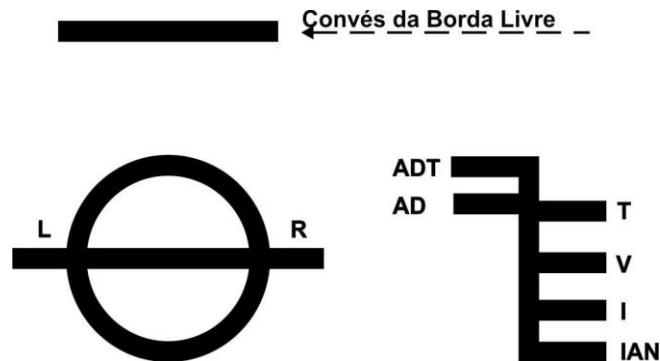


Figura 3.2

3.2 OS DIVERSOS CONCEITOS DE DESLOCAMENTO DE UM NAVIO

Agora, vamos para a segunda etapa do conteúdo desta unidade, que aborda o conceito dos diferentes deslocamentos.



Deslocamento

É o peso do volume de água deslocada pelo navio, o que corresponde ao seu próprio peso, expresso em toneladas.

O deslocamento pode ser expresso em toneladas métricas (de 1000 quilos) ou em toneladas inglesas (de 1016 quilos). No nosso estudo utilizaremos a tonelada métrica com a notação (t).

Observe que, anteriormente, verificamos que o volume de água deslocada pelo navio é idêntico ao seu volume de carena (obras vivas, parte imersa).

Ao peso desta água damos o nome de deslocamento. É representado pela letra grega Δ (delta) sendo igual ao produto do volume de carena pelo peso específico da água ($\delta=1,025 \text{ t/m}^3$). Mantida a situação de equilíbrio, tem que ser igual ao peso do navio.

Exemplificando: Ao calcular-se o volume da carena de um navio, constatou-se que o seu valor era 15200 m^3 . Qual é o deslocamento do navio flutuando em água salgada de peso específico igual a $1,025 \text{ t/m}^3$?

$$\Delta = 15200 \text{ m}^3 \cdot 1,025 \text{ t/m}^3 = 15580 \text{ t}$$

Dependendo das condições em que se encontrar o navio, temos diversas maneiras de considerar o deslocamento:



Deslocamento Leve (ΔL)

É o peso do navio totalmente vazio, ao final da construção.

Nele são considerados apenas o peso do casco, das máquinas e seus acessórios ou apêndices.



Deslocamento em Lastro (ΔLA)

É o peso do navio, sem carga, mas já incluindo o óleo combustível, o lubrificante a aguada e o lastro.



Deslocamento Atual (Δ)

É o peso do navio quando flutuando na linha d'água considerada, geralmente, entre a condição de lastro e parcialmente carregado.



Deslocamento em plena carga ou máximo (ΔPc ou ΔM)

É o peso do navio quando atinge o plano de flutuabilidade máximo, permitido pela linha de carga do local onde se efetua o carregamento.

Em suma, o deslocamento máximo agrega todos os pesos de bordo, sejam eles próprios do navio propriamente ditos, da carga, do óleo e da aguada.

Os tipos de deslocamento mais usuais, para a vida de bordo, podem ser obtidos na tabela de dados hidrostáticos que se encontram em anexo a esta apostila. Os demais constam nos planos do navio.

Embora para fins de planejamento das condições operacionais e de segurança do navio o deslocamento seja o parâmetro considerado, para efeitos comerciais muitas das vezes ele é superado pelo conceito de "PORTE DA EMBARCAÇÃO".

Vamos a terceira e última etapa desta unidade.

3.3 PORTE DE UMA EMBARCAÇÃO

Para iniciarmos, você precisa saber o que é porte.



Porte

É o peso que o navio pode transportar quando se encontra num determinado

calado.

Pode ser também chamado porte bruto atual, e é definido pela diferença entre o deslocamento atual, num determinado calado, que não seja o máximo, e o deslocamento leve.



Porte Bruto Máximo (PBM)

É o máximo de peso que o navio pode transportar. É a diferença entre o deslocamento máximo ou a plena carga e o deslocamento leve.

Embora seja um dado de registro do navio, com o tempo e na prática do dia a dia, temos que tomar um certo cuidado com o seu valor tabelado, pelo fato de que pode sofrer pequenas alterações como veremos a seguir.

No decorrer da vida do navio, vão sendo agregados novos pesos e retirados outros, o que fará com que o valor de registro do porte bruto altere para mais ou para menos. Um radar pode ser substituído por outro de peso diferente, as sucessivas pinturas feitas a bordo vão agregando peso ao navio, os pertences da guarnição vão aumentando ou diminuindo, etc. etc.. Ao somatório de todos esses pesos que, embora variem a longo prazo, no curto prazo permanecem praticamente constantes, dá-se o nome de **constante do navio** e é definida em toneladas. A seguir damos alguns exemplos de itens que fazem parte da constante do navio:

- Guarnição e seus pertences;
- Passageiros e seus pertences;
- Material de manutenção e limpeza;
- Víveres e bebidas;
- Líquidos remanescentes em condensadores, resfriadores de óleo, borra em tanques de óleo combustível.

O conhecimento da constante do navio é de grande importância para o oficial responsável pelo carregamento e estabilidade do navio, normalmente o imediato, para que faça seus cálculos com a maior precisão possível.



Porte Líquido (PL)

É o peso da carga, passageiros e bagagens que rendem frete.



Porte Operacional (PO)

É o peso de todos os elementos que são supridos ao navio para que ele possa operar.

Nele são computados os óleos combustíveis e lubrificantes, água potável, água destilada, a água de lastro (salgada ou doce), guarnição e seus pertences, rancho, material sobressalente ou quaisquer outros materiais que sejam fornecidos e que não seja carga.



Porte Comerciável (PC)

É o peso que falta em certa ocasião para o navio completar o seu porte bruto máximo.

O valor do porte bruto relativo a um determinado calado pode ser obtido diretamente na escala de porte.

Fórmulas utilizadas para os cálculos de deslocamentos e portes.

$$\Delta P_c = \Delta L + PBM$$

$$PBA = \Delta a - \Delta L$$

$$PBM = \Delta P_c - \Delta L$$

$$PB = PO + PL$$

$$PC = PBM - (PL + PO)$$

Agora vamos resolver alguns cálculos envolvendo os conhecimentos sobre deslocamentos e portes explicados nesta unidade de ensino.

Observe os seguintes exemplos:

Exemplo 1:

O deslocamento leve de um navio é 4509 t e seu deslocamento máximo permitido é 20700 toneladas. A guarnição e seus pertences pesam 20 t, a aguada de alimentação da caldeira 200 t, água potável 300 t, combustível e lubrificantes 600 t, carga 8000 t. **Calcule:**

- deslocamento em lastro;
- porte bruto atual;
- porte líquido; e
- porte bruto máximo.

Solução:

Primeiramente verificaremos as fórmulas que deverão ser utilizadas para o desenvolvimento e resolução do problema.

$$\Delta La = \Delta L + PO$$

$$PBA = PO + PL$$

$$PBM = \Delta Pc - \Delta L$$

➤ $\Delta La = 4509 \text{ t} + 20 \text{ t} + 200 \text{ t} + 300 \text{ t} + 600 \text{ t} = \mathbf{5629 \text{ t}}$

➤ $PBA = 20 \text{ t} + 200 \text{ t} + 300 \text{ t} + 600 \text{ t} + 8000 \text{ t} = \mathbf{9120 \text{ t}}$

➤ $PL = \mathbf{8000 \text{ t}}$

➤ $PBM = 20700 \text{ t} - 4509 \text{ t} = \mathbf{16191 \text{ t}}$.

Exemplo 2:

O deslocamento máximo de um navio é 27000 t e seu deslocamento leve é 10000 t. Ele chegou a um terminal possuindo a bordo 6000 t de carga geral, 1000 t de óleo de carga, 30 contêineres de 20 pés pesando 20 t cada unidade, 3200 t de trigo a granel, 10 t de passageiros e bagagens, 15 t de tripulantes e pertences, 1200 t de óleo pesado, 150 t de óleo diesel, 5 t de óleo lubrificante, 150 t de água potável e 150 t de lastro de água salgada.

Calcule ao chegar ao terminal:

- a) porte bruto
- b) porte líquido
- c) deslocamento em lastro
- d) porte comercial

Solução:

Fórmulas que devem ser utilizadas:

$$PB = PO + PL$$

$$\Delta La = \Delta L + PO$$

$$PC = PBM - \sum \text{pesos existentes a bordo}$$

a) $PB = 15 \text{ t} + 1200 \text{ t} + 150 \text{ t} + 5 \text{ t} + 150 \text{ t} + 150 \text{ t} + 6000 \text{ t} + 1000 \text{ t} + 600 \text{ t} + 3200 \text{ t} + 10 \text{ t}$
 $= \mathbf{12480 \text{ t}}$

b) $PL = \mathbf{10810 \text{ t}}$

c) $\Delta La = 10000 \text{ t} + 1670 \text{ t} = \mathbf{11670 \text{ t}}$

d) $PBM = \Delta Pc - \Delta L$ $PBM = 27000 \text{ t} - 10000 \text{ t} = 17000 \text{ t}$

$$PC = 17000 \text{ t} - (PO + PL) = 17000 \text{ t} - (1670 \text{ t} + 10810 \text{ t}) = 17000 \text{ t} - 12480 \text{ t}$$

PC = 4520 t.



Teste de auto-avaliação da unidade 3

Faça o que se pede nos itens abaixo.

- 3.1) Uma embarcação com carena em forma de caixa tem 105 m de comprimento, 30 m de boca e 20 m de pontal, flutua em água de peso específico 1 t/m^3 . Sabendo-se que ela desloca 19500 t, **determine** a reserva de flutuabilidade.
- 3.2) Sendo o deslocamento de um navio igual a 8199,79 t, **determine** o volume de carena quando este estiver flutuando em água de peso específico $1,026 \text{ t/m}^3$.
- 3.3) O deslocamento máximo de um navio para determinada viagem é de 16500 t. Seu deslocamento leve é 6300 t e a somatória dos pesos de combustível, aguada, lastro, provisões, sobressalentes, guarnição, pertences, etc., é de 1420 t. Até o momento ele tem a bordo 4300 t de carga.

Pergunta-se, qual o seu porte

- 3.3.1) bruto máximo?
 - 3.3.2) bruto atual?
 - 3.3.3) líquido atual?
 - 3.3.4) líquido na saída?
 - 3.3.5) operacional?
 - 3.3.6) comerciável atual? e
 - 3.3.7) comerciável na saída?
- 3.4) O deslocamento leve de um navio é 3000 t. A guarnição e seus pertences pesam 35 t, a água de alimentação da caldeira 250 t, a água potável 180 t, combustível e lubrificantes 600 t e a carga 4135 t.

Calcule o deslocamento em lastro, porte bruto e porte líquido.

- 3.5) Num navio com as características, $L_{pp} = 120 \text{ m}$; boca = 15 m; $C_p = 0,78$; $H_{med} = 6 \text{ m}$ e $C_{Am} = 0,98$. **Determine** o volume da carena e o deslocamento em água salgada de peso específico $1,025 \text{ t/m}^3$.

UNIDADE 4

ESTABILIDADE TRANSVERSAL

Nesta unidade, você vai aprender sobre:



- 📖 **Conceito de estabilidade transversal;**
- 📖 **Os pontos notáveis da estabilidade;**
- 📖 **A identificação das cotas dos pontos notáveis;**
- 📖 **A utilização da tabela de dados hidrostáticos;**
- 📖 **As diversas condições de estabilidade do navio;**
- 📖 **Os efeitos de superfície livre;**
- 📖 **O que é banda permanente e suas implicações.**

4.1 ESTABILIDADE TRANSVERSAL E IDENTIFICAÇÃO DAS COTAS DOS PONTOS NOTÁVEIS DA ESTABILIDADE TRANSVERSAL

4.1.1 Estabilidade Transversal

Dando continuidade ao nosso estudo, veremos nesta unidade a estabilidade transversal da embarcação que estuda as forças que afastam o navio da sua posição inicial de equilíbrio. Essas forças podem ser o vento, as vagas, um rebocador puxando o navio para um dos bordos, a movimentação, embarque ou desembarque de pesos por guindastes, paus de carga, cábreas ou qualquer outro aparelho de carga. O seu estudo envolve as condições de equilíbrio do navio e, para que possa ser efetuado, é necessário que sejam enunciados os seus pontos notáveis e calculadas as suas cotas, que sofrem alterações, quando são movimentados, embarcados e desembarcados pesos.

Esses pontos são representados graficamente num plano transversal, conforme veremos, a seguir.



Centro de Gravidade – G

É o ponto de aplicação da resultante das forças gravitacionais que atuam no navio sendo identificado pela letra **G**. **Figura 4.1.**

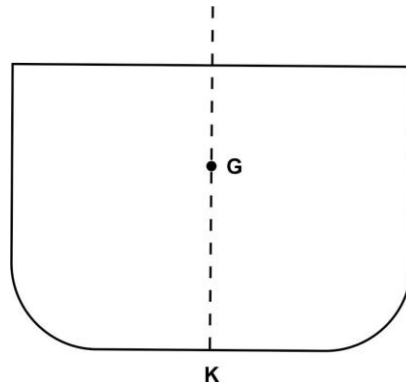


Figura 4.1

As forças gravitacionais que atuam no navio são: o próprio peso do navio, o das cargas, dos óleos combustíveis e lubrificantes, aguada, lastro, constante do navio, sobressalentes e todos os outros pesos existentes a bordo. Normalmente usa-se a letra **g** minúscula para identificar os pesos individuais de cada componente do **G** total do navio. **Figura 4.2.**

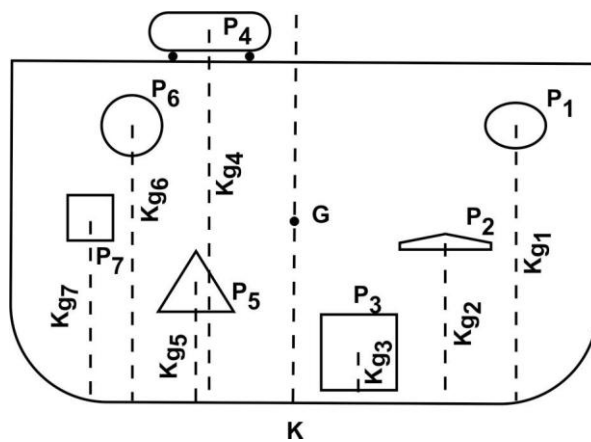


Figura 4.2



Centro de Carena

É o ponto de aplicação das forças de empuxo que atuam ao longo da carena, de baixo para cima, e que permitem a embarcação flutuar. **Figura 4.3.**

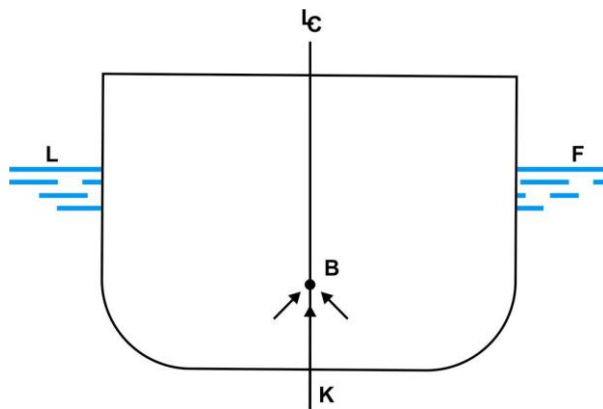


Figura 4.3

Metacentro



É o ponto de encontro de dois raios de uma curva infinitamente pequena, descrita pela sucessiva mudança de posição do centro de carena de um navio, que oscila em flutuações isocarenas, ou seja, de mesmo volume submerso. **Figura 4.4.**

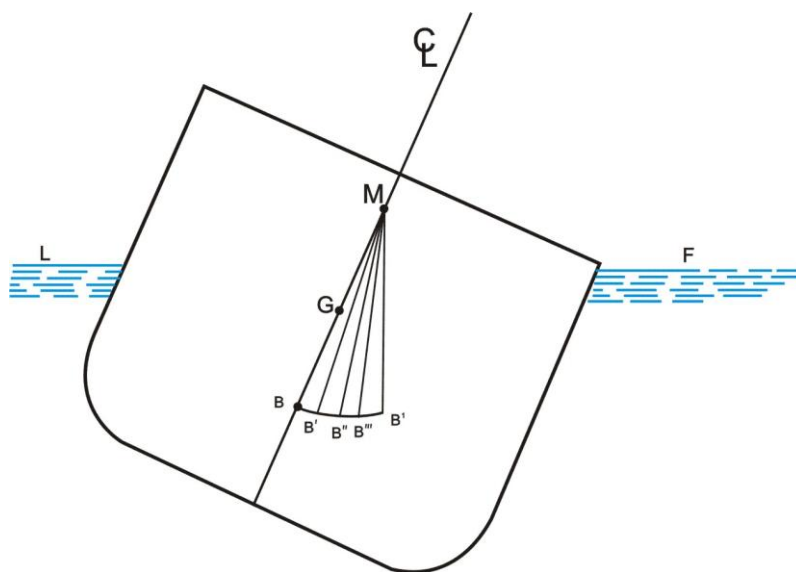


Figura 4.4

4.1.2 Identificação das cotas dos pontos notáveis da estabilidade transversal

Passemos agora a identificação das cotas dos Pontos Notáveis.

Identificação da cota do centro de gravidade do navio – (KG)



A cota do centro de gravidade do navio (**KG**) pode ser verificada numa representação gráfica, num plano da seção transversal, **Figura 4.5**, onde o valor do KG é obtido através da distância do centro de gravidade do navio, "**G**", até o ponto K (situado no plano de base).

Identificação da Cota do Centro de Carena – (KB)



A cota do centro de carena (**KB**) pode ser identificada num gráfico, no plano da seção transversal, **Figura 4.5**, sendo o valor dessa cota determinado através da distância do centro de carena, "**B**", até o ponto K (situado no plano de base).

Identificação da Cota do Metacentro – (KM)



No plano da seção transversal, **Figura 4.5**, pode ser identificada a cota do metacentro (**KM**), sendo o seu valor contado a partir do ponto K (situado no plano de base).

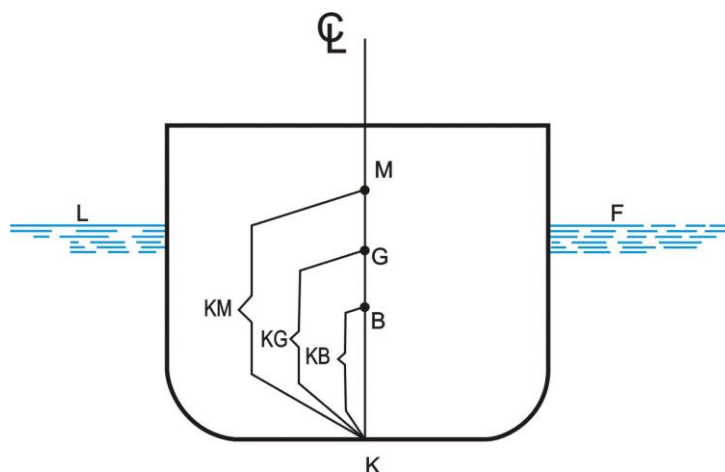


Figura 4.5

4.2 TABELA DE DADOS HIDROSTÁTICOS UTILIZADA NOS CÁLCULOS DE ESTABILIDADE

Esta tabela permite determinar uma série de valores hidrostáticos em função do calado médio ou do deslocamento conhecido.

Identifique no **Anexo 1** essa tabela.

A sua utilização é extremamente fácil. Basta entrar com o calado médio na primeira coluna da esquerda e identificar, na linha correspondente ao calado médio, os valores procurados, registrados.

Na primeira linha estão identificados os dados hidrostáticos representados pelas suas respectivas siglas, ou seja: Δ (deslocamento em água salgada com peso específico

1,025 t/m³), **TPC** (toneladas por centímetro de imersão), **MCC** (momento para compassar um centímetro), **KM** (cota do metacentro), **KB** (cota do centro de carena), **LCB** (distância longitudinal do centro de carena), **LCF** (distância longitudinal do centro de flutuação) e os seus valores hidrostáticos estão a partir da segunda linha.

No estudo da estabilidade transversal utilizaremos os valores hidrostáticos Δ (deslocamento), **KM** (cota do metacentro) e **KB** (cota do centro de carena), os outros valores serão aplicados na fase do estudo da estabilidade longitudinal.

Antes de terminar este assunto, é importante apresentarmos uma aplicação prática utilizando a tabela de dados hidrostáticos do **Anexo 1**.

Exemplo 1:

Qual é o deslocamento de um navio que, após ter recebido óleo combustível, aguada e lastro de água salgada, ficou com os $H_{av} = 8$ m e $H_{ar} = 9,6$ m.

Solução:

Inicialmente, calcula-se o calado médio, porque esse é o elemento de entrada para a determinação do deslocamento correspondente, utilizando a seguinte fórmula:

$$H_{med} = (H_{av} + H_{ar})/2$$

$$H_{med} = (8 \text{ m} + 9,6 \text{ m})/2 = 17,6 \text{ m}/2 = 8,8 \text{ m}$$

Procure o valor do calado médio de 8,8 m na primeira coluna da esquerda e veja, na segunda coluna, o deslocamento correspondente, que é **18754 t**.

4.3 CÁLCULO DAS COTAS DOS PONTOS NOTÁVEIS DA ESTABILIDADE TRANSVERSAL

Vamos aprender a calcular os valores das cotas dos pontos notáveis da estabilidade, que são muito importantes; porque, em função deles, podemos identificar as condições de equilíbrio do navio.



Cálculo da cota do centro de gravidade do navio (KG)

O seu valor somente pode ser obtido analiticamente e utilizando o teorema de "**Varignon** " cujo enunciado é o seguinte: o momento da resultante é igual à somatória dos momentos das componentes.

$$\text{Assim, } \Delta_{total} \cdot KG' = \Delta \cdot KG + p_1 K_{g1} + p_2 K_{g2} + \dots + p_n \cdot K_{gn}$$

$$\Delta_{total} = \Delta_{inicial} + p_1 + p_2 + p_n$$

$$KG' = \Sigma MV / \Delta_{total}$$

A seguir, verificaremos um exemplo do cálculo da cota do centro de gravidade do navio.

Exemplo 1:

Um navio terminou a operação de carregamento com um deslocamento de 19238 t e KG = 10,20 m. Após o término do carregamento ele recebeu : 1800 t de óleo pesado, 200 toneladas de óleo diesel, 435 t de água doce, 10 t de óleo lubrificante. **Calcule** o valor do **KG** ao terminar as operações de carga e abastecimento de óleo e aguada.

Descrição	Peso (t)	KG e Kg (m)	Momento vertical (t.m)
Deslocamento	19238	10,20	196227,6
TQ-5-LC-OC	1000	0,62	620
TQ-7-LC-OC	800	0,98	784
TQ-11-BB-OD	200	17,09	3418
TQ-17-LC-OL	10	17,38	173,8
TQ-20-BB-AD	200	16,80	3360
TQ-COL-RÉ	235	7,5	1762,5
	21683 t		ΣMV= 206345,9 t.m

$$KG' = 206345,9 \text{ t.m} / 21683 \text{ t} = 9,52 \text{ m}$$

Cálculo da cota do centro de carena (KB)



A cota do centro de carena pode ser calculada analiticamente utilizando fórmulas matemáticas; entretanto, nos cálculos de carregamento, esse valor é obtido utilizando a tabela de dados hidrostáticos conforme o exemplo do exercício proposto abaixo, com a utilização do **Anexo 1**.

Exemplo 1:

Um navio graneleiro cujo deslocamento leve é 4509 t, chegou a um terminal com 1236 t entre óleo combustível, aguada, rancho, tripulação e pertences e 3841 t de lastro de água salgada. **Calcule** os valores da cota do centro de carena ao chegar ao terminal e após alijar todo o lastro para uma barçaça. Empregue a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**.

Solução:

Primeiro, vamos somar todos os pesos para consultar a tabela de dados hidrostáticos e determinar o valor da cota do centro de carena (**KB**) por ocasião da chegada ao terminal.

$$\Delta_{\text{atual}} = \Delta_L + PO$$

$$\Delta_{\text{atual}} = 4509 \text{ t} + 1236 \text{ t} + 3841 \text{ t} = 9586 \text{ t}$$

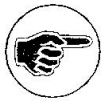
Consultando a tabela de dados hidrostáticos, verificamos que com o deslocamento de 9586 toneladas o **KB** é **2,49 m**.

Para a determinação do **KB** sem o lastro é suficiente somar, ao valor do deslocamento leve, o peso dos consumíveis, dos tripulantes e pertences, ou seja:

$$4509 \text{ t} + 1236 \text{ t} = 5745 \text{ t}.$$

Voltando a consultar a tabela de dados hidrostáticos com o deslocamento de 5745 t, verificamos que o **KB** é **1,56 m**.

Comparando os dois valores da cota do centro de carena, verificamos que reduzindo o calado médio também diminui o valor do **KB**.



Cálculo da cota do metacentro transversal (KM)

Existem fórmulas matemáticas que podem calcular analiticamente o valor desta cota; entretanto, nos cálculos de estabilidade transversal, o **KM** é obtido na tabela de dados hidrostáticos.

A seguir, vamos apresentar um exemplo de cálculo da cota do metacentro transversal.

Exemplo 1:

Um navio cujo calado médio leve é 2,40 m chegou a um terminal de carga onde recebeu 2491 toneladas de óleo combustível e água potável. Durante a estadia no porto foram embarcados nos seus porões 12238 t de trigo a granel. **Calcule**, utilizando a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, o valor da cota do metacentro transversal ao final dessas operações.

Solução:

Inicialmente verificamos, na tabela de dados hidrostáticos, que o calado médio leve de 2,40 metros corresponde ao deslocamento leve de 4509 t.

A seguir, calcula-se o deslocamento total utilizando a fórmula:

$$\Delta_{\text{total}} = \Delta_L + \text{PO} + \text{PL}$$

$$\Delta_{\text{total}} = 4509 \text{ t} + 2491 \text{ t} + 12238 \text{ t} = 19238 \text{ t}$$

Consultando a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, verificamos que com o deslocamento de 19238 t o **KM** é **8,51 m**.

Podemos então concluir que a tabela de dados hidrostáticos é muito importante porque é a maneira mais prática de se calcular os valores de KB e KM, além disso, concluímos como trabalhar com essas duas cotas e com KG a fim de se verificar a estabilidade transversal do navio.

4.4 CÁLCULO DA ALTURA METACÊNTRICA TRANSVERSAL

Nas unidades anteriores, você teve a oportunidade de aprender a trabalhar com a tabela de dados hidrostáticos e calcular as cotas dos pontos notáveis da estabilidade transversal, que são os elementos indispensáveis para calcular a altura metacêntrica, cujo valor serve para analisar as condições de equilíbrio do navio.

Cálculo da altura metacêntrica transversal



Observando a **Figura 4.6**, verificamos que se conhecemos **KM** e **KG**, efetuando a subtração, determinamos **GM** – que é identificada como altura metacêntrica.

A altura metacêntrica – **GM** estabelece a verdadeira condição de estabilidade transversal do navio, por isto, é, por alguns, chamada de **medida da estabilidade**.

Aproveitando que já sabemos utilizar a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, vamos resolver um cálculo clássico da altura metacêntrica ao final da operação de carga de um navio.

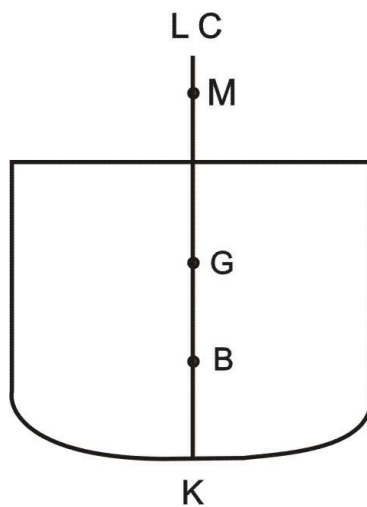


Figura 4.6

$$GM = KM - KG$$

Exemplo 1:

Um navio graneleiro atracou num terminal deslocando 8719 t e $KG = 8,66$ m. Neste local ele embarcou 9075 t de produtos siderúrgicos nos seus cinco porões cujo Kg é 7,20 m. Antes da saída do navio, recebeu os seguintes consumíveis: 2500 t de óleo combustível nos tanques nº 5 BB/ BE cujo Kg é 0,6 m; 200 t de óleo diesel nos tanques nº 15 BB/BE cujo Kg é 11,0 m; 6 t de óleo lubrificante no tanque nº 21 central cujo Kg é 17 m e 200 t de água potável no pique tanque de ré cujo Kg é 8,0 m. **Calcule** a altura metacêntrica transversal – **GM**, utilizando a tabela de dados hidrostáticos.

Solução:

Primeiro devemos calcular a cota do centro de gravidade do navio **(KG)** e para isto utilizaremos o dispositivo de cálculo conforme mostrado no tópico 4.3 da Unidade 4.

Descrição	Peso (t)	KG e Kg (m)	Momento vertical (t.m)
Deslocamento	8719	8,66	75506,54
Carga	9075	7,20	65340
Óleo combustível	2500	0,6	1500
Óleo diesel	200	11,0	2200
Óleo lubrificante	6	17,0	102
Aguada	200	8,0	1600
	20700 t		ΣMV= 146248,54 t.m

Conforme já tinha sido mencionado anteriormente, a cota do centro de gravidade do navio deve ser calculada pela fórmula:

$$KG' = \Sigma MV / \Delta_{total}$$

$$KG' = 146248,54 \text{ t.m} / 20700 \text{ t.}$$

$$KG' = \mathbf{7,06 \text{ m}}$$

Considerando que a questão proposta é o cálculo da altura metacêntrica (**GM**), devemos utilizar a fórmula já apresentada, ou seja: **GM = KM – KG**, portanto falta a outra, isto é, parcela, a cota do metacentro (**KM**).

Conforme sabemos, o valor de **KM** deverá ser obtido na tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, tendo como elemento de entrada o deslocamento calculado com todos os pesos a bordo, ou seja, **20700 t**. Consultando esta tabela verificamos que o valor de KM é 8,62 m e aplicando a nossa fórmula $GM = KM - KG$, isto é, **GM = 8,62 m – 7,06 m = 1,56 m**.



Um dado muito importante que você deve considerar é que o valor da altura metacêntrica vai estabelecer a condição de equilíbrio do navio conforme veremos a seguir.

O valor da altura metacêntrica calculada, ao que tudo indica, parece ser segura por ser positiva e o seu tamanho (**1,56 m**) poderá gerar boa estabilidade em alto mar; entretanto, a maneira de se confirmar se ela inspira confiança é consultar um documento de bordo chamado **caderno ou manual de estabilidade** do navio, onde estão registrados os valores da GM para diversas situações de deslocamento.

Procure sempre consultar esse documento ao efetuar os seus cálculos de estabilidade.

4.5 CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO DO NAVIO

Agora já conhecemos os elementos necessários ao estudo de um dos tópicos mais importantes da estabilidade transversal, que abrange os estados de equilíbrio do navio, podendo ser **estável**, **indiferente** ou **instável**.

Para o entendimento do equilíbrio do navio é importante entender que, quando o navio aderna, existe um braço **GZ** do binário, que é formado pelas forças de gravidade atuando simultaneamente em **G** e a força de empuxo exercida em **B**, que dão ao navio condição para voltar à sua posição normal de equilíbrio, o que é mostrado na **Figura 4.7**. Em função dos valores das cotas do centro de gravidade do navio e da carena, podem ocorrer valores positivos, nulos e negativos para o braço daquele binário, que chamamos de braço de adriçamento ou de estabilidade **GZ**. O valor desse braço é que determinará a condição de equilíbrio do navio, conforme estudaremos a seguir.



Equilíbrio Estável

É a condição ideal de estabilidade; porque o navio, ao balançar, volta à sua posição normal de equilíbrio. Nesta condição temos: **GM > 0**; **KM > KG**; **GZ ≠ 0** e **MA > 0**.

Na **figura 4.6** o navio está adriçado e na **figura 4.7** já adquiriu banda, formando o binário de forças.

No binário resultante, verifica-se que, enquanto a força de empuxo força o bordo da banda a retornar à sua posição normal para cima, a força da gravidade faz o outro bordo inclinar para baixo.

O navio balança, porque é criado um **momento de estabilidade (ME)** ou de **adriçamento (MA)**, que é identificado pelo produto $\Delta \cdot GZ$.

Nessa condição a **GM** é **positiva** e o navio se encontra **estável**.

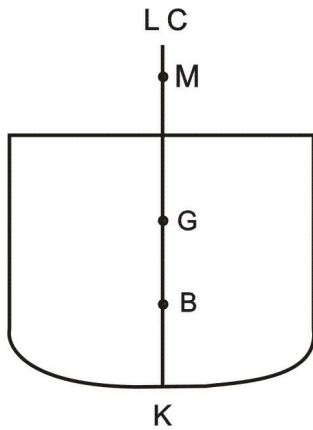


Figura 4.6

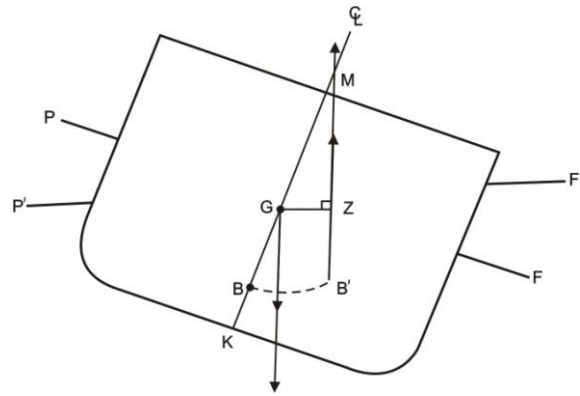


Figura 4.7

Sendo o momento de adriçamento determinado pela fórmula ($\Delta \cdot \mathbf{GZ}$), quanto mais baixo estiver o centro de gravidade do navio, maior será o valor deste momento e, conseqüentemente, quando o navio for retirado da sua condição de equilíbrio, mais rapidamente tenderá a ela voltar. (**Figura 4.8**)

Em primeira análise, isso seria o ideal. Contudo não podemos esquecer que, temos seres humanos a bordo do navio, que também têm um sistema de manutenção de seu próprio equilíbrio. Se o navio responde a um estímulo, que o tirou de sua condição de equilíbrio mais rapidamente que o sistema do organismo humano, os dois vão conflitar.

Assim, a condição de máximo conjugado de adriçamento, embora pareça ser a mais adequada sob o aspecto de estabilidade, não o é sob o enfoque de habitabilidade.

Quando o navio se encontra nessa situação diz-se que ele está com **excesso de estabilidade**.

É importante ressaltar que um navio com excesso de estabilidade balança violentamente, causando, além do desconforto à tripulação, dificuldade de governar, prejuízo ao desempenho do motor principal e auxiliares, a outros acessórios da praça de máquinas, avaria nos equipamentos de navegação e, até mesmo, à carga, que pode ter sua peça afetada.

Para evitar essa situação, o comandante determina que o navio fique com uma altura metacêntrica que dê segurança à navegação, mas que não incida em excesso de estabilidade.

Alguns tipos de navios que, pelas características de cargas embarcadas, são mais suscetíveis ao excesso de estabilidade, como os graneleiros, quando transportando minérios são providos de tanques de lastro elevados, de modo que se consiga elevar o centro de gravidade, reduzindo assim o braço de adriçamento e o seu momento.

Cabe ao oficial encarregado na distribuição da carga, normalmente o imediato, o cuidado de distribuir os pesos a bordo de forma a proporcionar um momento de estabilidade adequado e seguro. No caso de ter que ser utilizado lastro devem ser escolhidos tanques

cujo centro de gravidade (**g**) se localize acima do centro de gravidade (**G**) do navio, normalmente os tanques elevados.

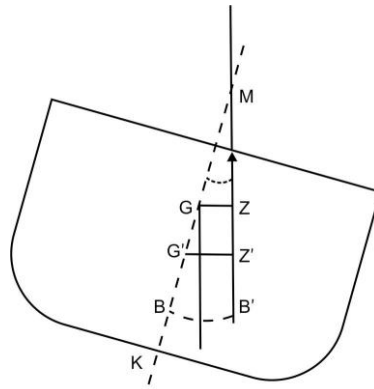


Figura 4.8

Aproveitando a explicação sobre a condição estável, podemos resolver o problema do exemplo abaixo.

Exemplo 1:

Nos cálculos de carregamento de um navio porta-contêiner, o imediato verificou que, ao terminar as operações de carga, o Hmed era 8,20 m e o KG = 7,45 m.

Calcule o valor da **GM** transversal e **analise** as condições de equilíbrio do navio. É importante ressaltar que esse oficial utilizou a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**.

Solução:

O imediato, ao consultar a tabela de dados hidrostáticos utilizou o Hmed = 8,20 m, na coluna correspondente ao deslocamento verificou que era 17315 t e na coluna referente à cota do metacentro indicava o valor 8,45 m.

Utilizando a fórmula: **GM = KM - KG** \Rightarrow $GM = 8,45 \text{ m} - 7,45 \text{ m} = 1,0 \text{ m}$

Considerando que o seu valor é positivo, indica uma condição estável, entretanto, o imediato deve consultar o caderno de estabilidade para saber se está próxima da GM estabelecida para esse deslocamento.

Essa condição é a ideal, desde que não esteja com excesso de estabilidade.

A seguir veremos como são identificadas as condições de instabilidade.



Equilíbrio indiferente

Nessa condição o navio poderá ficar em equilíbrio seja qual for a sua posição, adriçado ou com banda, conforme **Figura 4.9**.

Isto ocorre, quando:

$$\mathbf{GM = 0; \quad GZ = 0; \quad MA = 0 \quad e \quad KG = KM}$$

Na **Figura 4.9**, verifica-se que não há binário de forças, porque **B** se encontra na mesma vertical que **M** e **G**. **M** tem a mesma cota de **G**. As forças da gravidade e de empuxo continuam atuando na mesma vertical, anulando-se e isto ocorre com qualquer inclinação na estabilidade inicial.

O navio se encontra em equilíbrio com essa banda, da mesma forma que estava quando adriçado e assim ficará com qualquer inclinação, não havendo tendência a retornar à posição de adriçamento.

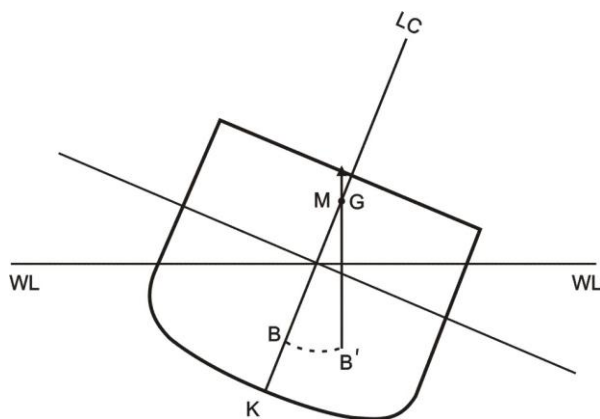


Figura 4.9

Acompanhe o exemplo abaixo para melhor compreender a condição de equilíbrio indiferente.

Exemplo 1:

Um navio deverá efetuar um carregamento de carga geral ocupando o convés. Por isso, o imediato decidiu fazer os cálculos, antecipadamente, para verificar as condições de equilíbrio que a embarcação terá quando esta carga for estivada no convés. O deslocamento considerado era 20209 t e $KG = 8,57$ m.

Consultando a tabela de dados hidrostáticos, observou-se que $KM = 8,57$ m, que é igual a KG e por isto a GM é zero, logo $GZ = 0$. O momento de estabilidade é zero, porque $MA = 20209 \text{ t} \cdot 0$. Como já foi explicado anteriormente, esta é uma condição de equilíbrio indiferente e com essa altura metacêntrica não convém efetuar o carregamento. A solução, portanto, deverá ser lastrar tanques de fundo-duplo conforme explicaremos oportunamente.



Equilíbrio instável

É a condição totalmente indesejável e que afeta a segurança da embarcação podendo levá-la ao emborcamento. **Figura 4.10.**



Figura 4.11

Vamos ao exemplo desta última condição de estabilidade.

Exemplo 1:

Ao terminar os cálculos de estabilidade num navio de carga geral, o imediato verificou os seguintes dados: deslocamento 21191 t e $KG = 8,87$ m.

Solução:

Consultando a tabela de dados hidrostáticos, do **Anexo 1**, constatou que a cota do metacentro era 8,67 m e, aplicando a fórmula conhecida $GM = KM - KG$, calculou a altura metacêntrica, ou seja, $GM = 8,67 \text{ m} - 8,87 \text{ m} = -0,20 \text{ m}$.

Ao verificar que a altura metacêntrica era **negativa**; portanto, afetando a condição de segurança do navio, o imediato deverá efetuar uma operação de lastro para que o navio tenha uma condição estável conforme estudaremos a seguir.

O navio deve, ao final de qualquer operação, se apresentar na condição estável desde que não fique com excesso de estabilidade. A verificação da **GM** adequada pode ser constatada no caderno de estabilidade ou utilizando uma regra prática estabelecida por Antônio Mandelli, Engenheiro Naval, que considera normais os valores da GM conforme a tabela abaixo.

Navios de passageiros	GM = 4% a 5% da Boca
Navios de carga geral e Porta-Contêiner	GM = 5% a 7% da Boca
Navios petroleiros e graneleiros	GM = 8% a 9% da Boca
Rebocadores	GM = 10% a 12% da Boca

Passemos agora ao estudo do movimento do centro de gravidade do navio.

4.6 MOVIMENTO DO CENTRO DE GRAVIDADE DO NAVIO E SEU EFEITO NA ESTABILIDADE

Como já estudado, ao ser constatado que o navio se encontra nas condições de estabilidade indiferente, instável ou até mesmo estável, mas com uma pequena altura metacêntrica, o seu comando deverá fazer uma operação de lastro para dar mais estabilidade à embarcação. Esse lastro causará o movimento do centro de gravidade do navio.

Verificamos também que quanto menor a altura metacêntrica pior será a condição de estabilidade e, por isto, o centro de gravidade do navio deve ser movimentado para baixo, reduzindo o valor do **KG**. Quando há a necessidade de se aumentar o valor da GM, por questões de redução de custos, é sempre conveniente operar com lastro de água salgada e, para isto, o navio possui tanques próprios para esta operação, localizados no fundo-duplo.

O imediato, na prática, utiliza a fórmula abaixo, para saber quantas toneladas de lastro o navio deverá embarcar a fim de ficar com uma altura metacêntrica desejada pelo comandante.

Fórmula indicada:

$$p = \frac{\Delta (GM_e - GM_c)}{d - (GM_e - GM_c)}$$

p = peso que deverá ser utilizado como lastro;

Δ = deslocamento do navio ao terminar a operação de carga;

GM_e = altura metacêntrica que o navio deverá ficar, ou seja, a desejada pelo imediato;

GM_c = altura metacêntrica calculada ao final do carregamento, antes da operação de lastro;

d = distância entre os centros de gravidade do navio (**KG**) e do tanque a ser lastrado. O valor da cota do centro de gravidade do tanque (**Kg**) é obtido no plano de capacidade do navio.

Essa fórmula é muito aplicada porque possibilita ao imediato informar rapidamente ao chefe de máquinas a quantidade de lastro a ser utilizada. É importante ressaltar que o estudo da estabilidade deve ser numa fase de planejamento ou simulação, antes da operação de carga ou descarga. Com isso evitaremos que uma situação de instabilidade ocorra durante a operação ou ao seu final.

Vejamos os exemplos abaixo, considerando sempre que os dados foram obtidos após **simularmos** o carregamento e que será utilizada a **tabela de dados hidrostáticos, Anexo 1:**

Exemplo 1:

Num navio porta-contêineres, o imediato verificou os seguintes dados ao final de uma operação de cargas: deslocamento = 18273 t com um KG = 8,47 m e tem disponível um tanque de lastro para água salgada cujo Kg é 0,47 m. Calcule quantas toneladas de lastro de água salgada deverão ser colocadas nesse tanque para o navio ficar com uma GM de 0,30 m.

Com relação aos dados apresentados,

- a) **Analise** a condição de estabilidade e;
- b) **calcule** a quantidade de lastro que deverá ser utilizada.

Solução:

O primeiro passo é determinar o valor de **KM** para, em seguida, calcular a altura metacêntrica.

Com o deslocamento de 18723 t, consultando a tabela de dados hidrostáticos, verificamos que **KM** = 8,47 m, portanto, **GM** = 8,47 m – 8,47 m = **0**.

A primeira resposta já temos, ou seja, o navio ficaria em equilíbrio **indiferente** porque a altura metacêntrica é **nula**, **GZ** = **0**. Desta forma não existe momento de adriçamento, pois **MA** = $\Delta \cdot \mathbf{GZ}$ ou **MA** = 18723 t x 0 = **0**. Não há segurança para a navegação e o navio poderá adquirir uma inclinação permanente no próprio terminal, porque não existe momento de adriçamento.

Constatada essa condição foi determinado que fosse efetuada a operação de lastro para o navio ficar com uma **GM positiva** de **0,30 m**. Para saber a quantidade de lastro a ser embarcado, utilizaremos a fórmula:
$$p = \frac{\Delta (\mathbf{GM}_e - \mathbf{GM}_c)}{\mathbf{d} - (\mathbf{GM}_e - \mathbf{GM}_c)}$$
, onde

$$\Delta = 18723 \text{ t}$$

$$\mathbf{GM}_c = \mathbf{0} \text{ (altura metacêntrica calculada)}$$

$$\mathbf{GM}_e = \mathbf{0,30 m}$$

$$\mathbf{d} = \mathbf{KG} - \mathbf{Kg} = 8,47 \text{ m} - 0,47 \text{ m} = \mathbf{8,00 m}$$

$$p = \frac{18723 \text{ t} (0,30 \text{ m} - 0)}{8,0 \text{ m} - (0,30 \text{ m} - 0)}$$

$$p = \frac{18723 \text{ t} \times 0,30 \text{ m}}{8,0 \text{ m} - 0,30 \text{ m}}$$

$$p = \frac{5616,9 \text{ t.m}}{7,7 \text{ m}}$$

$$p = 729,47 \text{ t}$$

Exemplo 2:

Num navio de carga geral, o imediato, ao terminar os cálculos de estabilidade numa operação de carga, constatou os seguintes dados:

Deslocamento = 16369 t e KG = 8,52 m. **Analise** a estabilidade do navio e, em caso de instabilidade, **calcule** quantas toneladas de lastro de água salgada deverão ser colocadas no tanque central nº 8 cujo Kg é 0,52 m, para o navio ficar com uma GM de 0,80 m.

Solução:

Inicialmente você deverá verificar na tabela de dados hidrostáticos o valor de KM para calcular a GM.

Com o deslocamento de 16369 t, o valor de **KM** é **8,42 m**, assim o valor da altura metacêntrica calculada é: $GM = 8,42 \text{ m} - 8,52 \text{ m} = -0,10 \text{ m}$.

Verificamos que o navio está com uma GM negativa e na condição instável, podendo emborcar no terminal e por isso não será possível sair do porto.

Como constatamos, a providência a ser tomada é lastrar tanque de fundo-duplo e para saber a quantidade a ser utilizada nesta operação deverá ser empregada a fórmula já explicada:

$$p = \frac{\Delta (GM_e - GM_c)}{d - (GM_e - GM_c)}$$

p = peso do lastro de água salgada

Δ = deslocamento do navio ao final do carregamento

GM_e = altura metacêntrica desejada

GM_c = altura metacêntrica calculada

d = distância entre **KG** e **Kg**

$$\Delta = 16369 \text{ t}$$

$$GM_e = 0,80 \text{ m}$$

$$GM_c = -0,10 \text{ m}$$

$$d = 8,52 \text{ m} - 0,52 \text{ m} = 8,00 \text{ m}$$

$$p = \frac{16369 \text{ t} (0,80 \text{ m} - (-0,10 \text{ m}))}{8,0 - (0,80 \text{ m} - (-0,10 \text{ m}))}$$

$$p = \frac{16369 (0,90 \text{ m})}{8,00 - 0,90 \text{ m}}$$

$$p = \frac{14732.1 \text{ t.m}}{7,10 \text{ m}} = 2074,94\text{t}$$

Nesses dois exemplos anteriores, calculamos a estabilidade de um navio que se encontrava nas condições indiferente (exemplo 1) e instável (exemplo 2) e a solução foi lastrar tanques de fundo-duplo, mas o navio também pode se encontrar com excesso de estabilidade que, por paradoxal que pareça, não é uma condição segura porque o navio dará balanços violentos devido a grandes **GM**, **GZ** e **MA**. Essa condição somente poderá ser verificada consultando o caderno de estabilidade ou pela experiência do comandante que geralmente segue o percentual máximo da boca, conforme a regra de Antonio Mandelli mostrada anteriormente.



Conforme anteriormente informado, o cálculo é simples e rápido, contudo é importante sempre efetuar os cálculos por ocasião do planejamento do carregamento para não colocar o navio em risco, adquirindo assim, uma situação de estabilidade indesejável.

Vejam agora um exercício envolvendo excesso de estabilidade, tomando como exemplo, um navio graneleiro que embarcou minério de ferro e, como consequência, ficou com excesso de estabilidade.

Exemplo 3:

Num navio graneleiro, transportando minério de ferro, o imediato ao calcular a estabilidade transversal estática verificou os seguintes dados: deslocamento 16369 t, KG = 5,93 metros e GM = 2,49 m. Consultando o caderno de estabilidade, constatou que a GM ideal seria igual a 2,00 m e, para chegar a esse valor, deveriam ser lastrados os dois tanques elevados nº 4 BB/BE cujos Kg eram 15,93 m. **Calcule** quantas toneladas de lastro de água salgada deverão ser colocadas em cada tanque elevado nº 4.

Solução:

Ao utilizar a fórmula destinada ao cálculo do peso do lastro, verificou que a altura metacêntrica calculada era maior que a altura metacêntrica desejada, por isto, no numerador a GM desejada deveria ser subtraída da GM calculada, porque o centro de gravidade do navio deve ficar numa posição mais elevada, desta maneira a fórmula utilizada deve ser:

$$p = \frac{\Delta (GM_c - GM_e)}{d - (GM_c - GM_e)}$$

p = peso do lastro de água salgada;

Δ = deslocamento ao final do carregamento;

GM_c = altura metacêntrica calculada;

GM_e = altura metacêntrica desejada; e

d = (**Kg – KG**) distância entre o centro de gravidade dos tanques elevados e o centro de gravidade do navio.

Após estas considerações, substituindo na fórmula, temos:

$$\Delta = 16329 \text{ t}$$

$$GM_c = 2,49 \text{ m}$$

$$GM_e = 2,00 \text{ m}$$

$$d = Kg - KG = 15,93 \text{ m} - 5,93 \text{ m}$$

$$d = 10 \text{ m}$$

$$p = \frac{16369 \text{ t} (2,49 \text{ m} - (2,00 \text{ m}))}{10 - (2,49 \text{ m} - 2,00 \text{ m})}$$

$$p = \frac{16369 (0,49 \text{ m})}{10,0 \text{ m} - 0,49 \text{ m}}$$

$$p = \frac{18020,81 \text{ t.m}}{9,51 \text{ m}}$$

$$p = 843, 41 \text{ t}$$

Como o imediato deve lastrar os dois tanques elevados nº 4, cada tanque deverá ser lastrado com **421,71 t**.

Agora, vamos prosseguir nosso estudo.

Vamos ao conceito de Efeito da Superfície Livre.

4.7 EFEITO DA SUPERFÍCIE LIVRE NOS TANQUES

Conceito



É a superfície do líquido que fica em contacto com o ar no tanque que não está completamente cheio. Como existe um espaço entre a superfície do líquido e o teto do tanque, quando o navio balança, ocorre um deslocamento desta massa, de um bordo para o outro, chocando-se contra as anteparas do tanque. Tal fato, além de provocar balanços violentos no navio, pode vir a ter conseqüências mais danosas, visto que o movimento do líquido prejudicar a estrutura do tanque causando o efeito *sloche*.

Verificamos, na **Figura 4.12**, um navio adriçado com um tanque de fundo-duplo contendo líquido até a metade de sua altura, estando o centro de gravidade do líquido localizado em **g**.

Se o navio se inclinar, conforme **Figura 4.13**, o centro de gravidade **G** do navio se desloca paralelamente e no mesmo sentido da mudança do centro de gravidade do líquido no tanque, ou nos tanques, passando para **G'**. Desta forma, a força de gravidade passará a atuar segundo a vertical que passa por **G'** e não mais aquela que passa por **G**. O braço de adriçamento que seria **GZ**, caso o centro de gravidade do navio não tivesse se deslocado, passa a ser **G'Z'**, consideravelmente menor e, por isso, comprometendo a estabilidade.

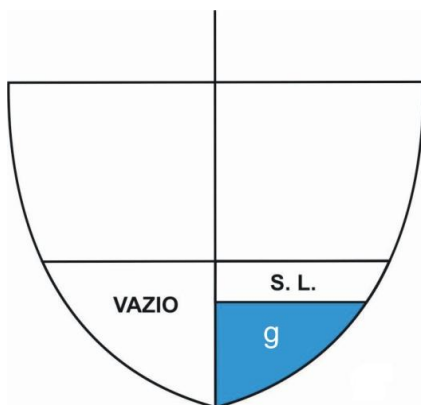


Figura 4.12

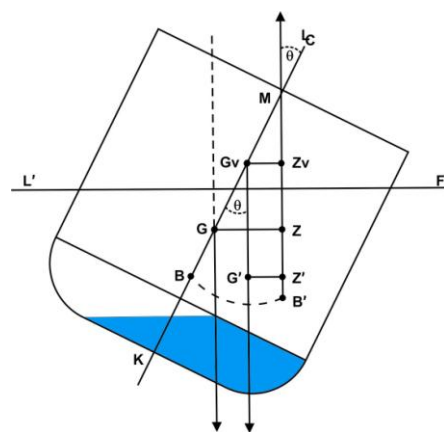


Figura 4.13

Na **figura 4.13** verificamos que **G'Z'** corresponde a um braço virtual denominado **G_vZ_v** menor do que **GZ**, e, portanto correspondendo a uma **GM** menor que passa a ser **G_vM**

e, assim, reduzindo a estabilidade do navio. Essa elevação é virtual, mas é considerada nos cálculos da GM inicial.

Nos cálculos de estabilidade o imediato pode calcular o valor de $G_v Z_v$, utilizando a fórmula: $GG_v = \frac{I \cdot b^3 \cdot \delta}{12 \cdot \Delta}$, que envolve o momento de inércia no tanque.

GG_v = elevação virtual do centro de gravidade do navio

I = comprimento do tanque

b = largura do tanque

12 = coeficiente de inércia calculado por integração

Δ = deslocamento do navio considerando também o peso do líquido no tanque

Na prática, o valor de GG_v é calculado por uma tabela, conforme o **Anexo 2**, onde os valores do momento de inércia ($I \cdot b^3/12$) são calculados para cada tanque na pior situação de superfície livre que ocorra, ou seja, quando o tanque está com cinquenta por cento de líquido.

Para calcularmos a altura metacêntrica corrigida, basta subtrairmos da GM inicial os efeitos da superfície livre, $GM_v = GM - GG_v$

Posteriormente, efetuaremos o cálculo da redução da GM devido ao efeito da superfície livre no tanque, quando calcularemos o valor de GG_v .

A única maneira de se evitar a superfície livre no tanque seria atestá-lo completamente, entretanto, isto não é possível devido à expansão do líquido. O que se pode fazer é preencher o tanque com 98% do seu volume, pois a existência de superfície livre fica atenuada. Outra forma de se reduzir o movimento transversal do líquido é instalar no tanque pelo menos uma antepara longitudinal.

4.7.1 Causas da Superfície Livre

As principais causas que provocam o efeito da superfície livre no tanque são as seguintes:



Tanques parcialmente cheios

Quando o navio recebe óleo combustível, procura-se preencher pelo menos 98% da capacidade de cada tanque, entretanto, às vezes, alguns destes compartimentos ficam parcialmente cheios causando superfície livre. Durante a viagem, devido ao consumo de óleo combustível, o nível do tanque vai baixando e isto também acarreta surgimento de superfície livre. Neste caso, o comando deve determinar que inicialmente seja consumido o óleo combustível de tanques menores, com pouca largura e se possível evitar transferência dos tanques menores para os maiores, pois estes, caso tenham muita largura, causarão um efeito de superfície livre mais grave. Deve-se evitar deixar tanques elevados,

que são geralmente existentes apenas nos navios graneleiros, parcialmente lastrados ou com óleo quando são tanques de serviço; pois, normalmente, como seus centros de gravidade estão localizados acima do centro de gravidade do navio, os efeitos da superfície são mais sentidos e dependendo da GM do navio poderá afetar a segurança da embarcação.

Na **Figura 4.14**, podemos observar tanques de fundo-duplo e elevados parcialmente cheios. Esses tanques devem estar sempre cheios ou completamente vazios.

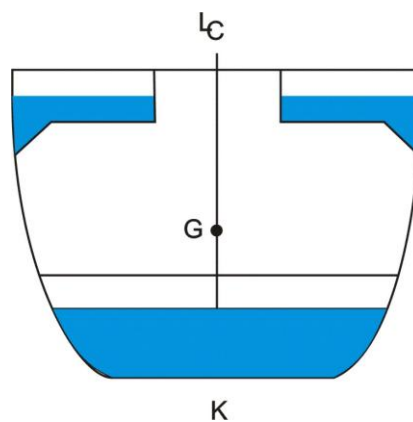


Figura 4.14

Falta de Estanqueidade ou água aberta



O embarque de água nos porões deve ser evitado. Isto ocorre quando não há estanqueidade no convés ou no casco. A água que penetra nos porões ou quaisquer outros compartimentos se acumula nos seus interiores e, dependendo da quantidade, iniciará um movimento transversal causando riscos à segurança devido ao efeito de superfície livre.

4.8 CÁLCULO DA REDUÇÃO DA GM



Já vimos quais são os efeitos adversos do surgimento da superfície livre e como afetam a segurança da embarcação. Podemos passar a verificar, através de cálculos, que este fator reduz consideravelmente a altura metacêntrica que, quanto menor for, mais a embarcação estará correndo risco de emborcar.

Ao terminar qualquer cálculo de estabilidade, o oficial deverá verificar se existe efeito de superfície livre nos tanques: de carga, óleo combustível, óleo diesel, aguada e lastro e isto é verificado através de sondagens nos compartimentos que contenham esses líquidos.

Após efetuar a sondagem consulta-se a tabela, **Anexo 2**, onde, em função dos valores encontrados, são determinados os volumes nos tanques. Após isso, são selecionados os tanques que estão com superfície livre e então consulta-se a tabela onde estão os valores do momento de inércia para a pior situação de superfície livre que é com a metade do tanque preenchido. Na **primeira coluna** estão relacionados os números dos tanques: óleo vegetal, óleo combustível, óleo diesel, óleo lubrificante, água doce e lastro, na **segunda coluna** os números das cavernas que limitam o comprimento dos tanques; na **terceira coluna** o momento de inércia da superfície do líquido no tanque; na **quarta coluna** o produto do peso específico do lastro de água salgada ($1,025 \text{ t/m}^3$) pelo momento de inércia do líquido; na **quinta coluna** o produto do peso específico da água doce ($1,000 \text{ t/m}^3$) pelo momento de inércia do líquido; na **sexta coluna** o produto do peso específico do óleo combustível ($0,9 \text{ t/m}^3$) pelo momento de inércia do líquido; na **sétima coluna** o produto do peso específico do óleo lubrificante ($0,9 \text{ t/m}^3$) pelo momento de inércia do líquido e na **oitava coluna** o produto do peso específico do óleo vegetal ($0,92 \text{ t/m}^3$) pelo momento de inércia do líquido. t/m^3

Na prática utilizamos o valor real do peso específica do óleo recebido, informado na documentação de entrega do óleo, seja ele tipo que for, seja ele de abastecimento ou de carga.

Como vimos, devido ao efeito da superfície livre, a altura metacêntrica é reduzida de um valor que corresponde ao GG_v que é calculado conforme o exemplo abaixo.

Exemplo 1:

Um navio de carga deslocava 16841 t ao terminar uma operação de carga. Antes da saída recebeu 200 t de óleo combustível cujo peso específico era $0,9 \text{ t/m}^3$ no tanque de combustível nº 3 – FD – C. Ao ser efetuada a sondagem, verificou-se que ele apresentava superfície livre.

Calcule o valor da elevação virtual do centro de gravidade do navio utilizando o Anexo 2 e a fórmula ensinada na unidade de ensino 4.7.

Solução:

O primeiro passo é consultar o **Anexo 2** para a determinação do produto da peso específico pelo momento de inércia do produto.

Identificamos na **primeira coluna** o tanque que recebeu o óleo combustível, ou seja, o tanque de combustível nº 3 – FD – C; na **terceira coluna** determina-se o valor do momento de inércia do líquido, ou seja, 1142 m^4 ; na **sexta coluna** verifica-se que o produto do momento de inércia do líquido pelo peso específico $0,9 \text{ t/m}^3$ é ($1142 \text{ m}^4 \times 0,9 \text{ t/m}^3$), ou seja, o seu valor é $1027,8 \text{ t.m}$.

Vamos agora calcular o valor de GG_v utilizando a fórmula adequada, ou seja:

$$GG_v = (i \cdot \delta) / \Delta$$

$$\Delta = 16841 \text{ t} + 200 \text{ t} = 17041 \text{ t}$$

$$GG_v = 1027,8 \text{ t} \cdot \text{m} / 17041 \text{ t} = 0,06 \text{ m}$$

Esse valor deverá ser subtraído da altura metacêntrica.

Num navio nem sempre o abastecimento de óleo e aguada, assim como lastro, é efetuado num só tanque. Neste caso o método é o mesmo e apenas cabe acrescentar que no numerador da fórmula será lançada a somatória dos produtos dos momentos de inércia pelos diversos pesos específicos, conforme o próximo exemplo.

Exemplo 2:

Um navio terminou uma operação de carga deslocando 12235 t. Após o carregamento recebeu, nos tanques discriminados abaixo, os seguintes produtos:

Tanque	Produto	Tonelagem	Peso específico
Tanque Nº 12 – C	Água doce	200 t	1,000
Tanque Nº 3 – FD -C	Óleo combustível	800 t	0,925
Tanque Nº 4 – FD – BB	Óleo diesel	55 t	0,9
Tanque Nº 7 – FD – C	Óleo lubrificante	5 t	0,9
Tanque Nº 1 – FD - C	Lastro de água salgada	440 t	1,026

Calcule a altura metacêntrica corrigida do efeito da superfície livre sabendo-se que ao final do abastecimento o navio deslocava 13735 t com uma $GM = 0,50 \text{ m}$ e que deverá ser utilizada a Folha do **Anexo 2**.

Solução:

Consultando a folha do **Anexo 2**, determinamos os seguintes valores:

Tanques	Momento de inércia m^4	Produto $i \times \delta$
Nº 12 – C	322	322
Nº 3 – FD – C	1142	1056,35
Nº 4 – FD – BB	121	108,9
Nº 7 – FD – C	7,6	6,8
Nº 1 – FD – C	4187	4295,86

Σ 5789.91 t.m

A fórmula a ser aplicada é a seguinte:

$$GG_v = \Sigma (i \times \delta) / \Delta$$

$$GG_v = 5789,91 \text{ t.m} / 13735 \text{ t} = 0,42 \text{ m}$$

$$G_vM = GM - GG_v = 0,50 \text{ m} - 0,42 \text{ m} = 0,08 \text{ m.}$$

4.9 BANDA PERMANENTE

Vamos agora estudar o conceito e as causas da banda permanente.

4.9.1 Conceito e causas da banda permanente

A banda permanente surge quando o centro de gravidade do navio se desloca da sua linha central para um dos bordos ou quando ele está muito elevado.

A remoção transversal, o embarque ou desembarque de pesos podem provocar uma banda permanente.



Considere um navio flutuando, adriçado conforme ilustra a **Figura 4.15**. O centro de gravidade do navio e o centro de carena estão na mesma linha central e o momento resultante sobre G é nulo.

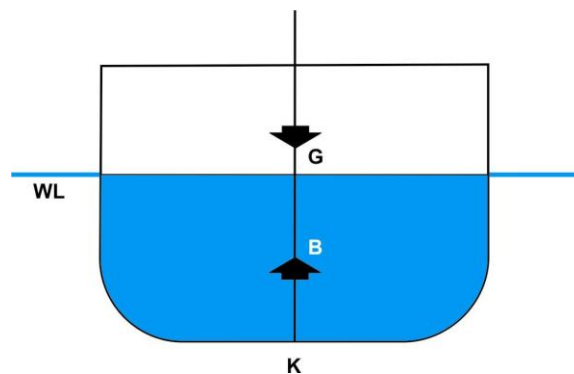


Figura 4.15

Consideremos agora que um peso foi removido transversalmente, embarcado ou desembarcado de um dos bordos, conforme a **Figura 4.16**.

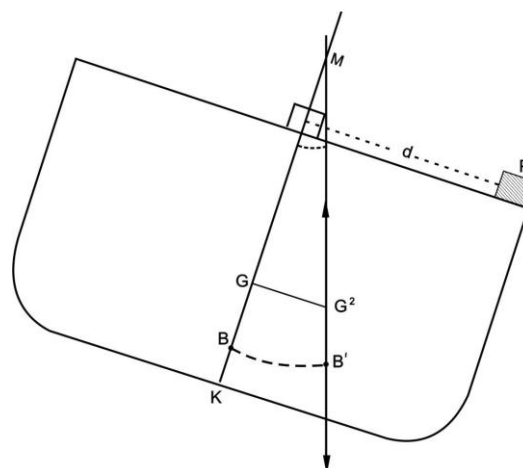


Figura 4.16

Na **Figura 35**, tiramos no triângulo retângulo GMG_2 , a relação:

$$\operatorname{tg} \theta = GG_2 / GM \quad \textcircled{1}$$

como $GG_2 = \frac{p \cdot d}{\Delta}$

Substituindo em ①, temos a fórmula:

$$\text{tg } \theta = \frac{p \cdot d}{\Delta \cdot GM}$$

Onde:

θ = ângulo de banda permanente

d = distância entre o centro de gravidade do peso e o plano diametral por ocasião do embarque ou desembarque do peso ou a distância entre os dois centros de gravidade do peso, quando ele for apenas movimentado transversalmente a bordo.

Δ = deslocamento total

GM = altura metacêntrica já corrigida do efeito da superfície livre

4.9.2 Principais causas da banda permanente

Ocorrendo uma banda permanente, é preciso que o oficial responsável pelo carregamento faça um estudo para saber a sua causa. Durante as operações de carga e descarga no navio algumas situações podem levar a embarcação, a adquirir uma banda permanente e nós veremos as mais comuns que são as seguintes:

Má distribuição transversal de pesos a bordo



Isto ocorre quando são concentrados mais pesos num bordo, o que fará com que o centro de gravidade do navio se desloque para o bordo em que foi ou foram embarcados mais pesos, **Figura 4.16**. O efeito é o mesmo quando embarcados ou desembarcados pesos de um só bordo.

É muito importante que o imediato, que é o responsável pela distribuição da carga a bordo, faça um bom planejamento do carregamento garantindo que a estivagem seja simétrica, ou seja, que a quantidade de toneladas estivadas num bordo seja a mesma no outro bordo ou então que os momentos transversais sejam iguais nos dois bordos. Caso seja constatada a banda permanente, as seguintes providências devem ser tomadas: aliviar lastro do bordo em banda de um momento igual ao valor achado ou criar um momento igual no bordo oposto.

GM = 0



Ocorre quando há grande concentração de pesos acima do centro de gravidade do navio e ele fica com equilíbrio indiferente. Verificando que a banda é causada por **GM** nula, deverão ser tomadas as seguintes providências: estando o navio no porto, **embarcar** pesos abaixo do **G**. Esta é uma providência viável e recomendável, seja estivando a carga a ser embarcada nos compartimentos mais baixos, ou **recebendo** óleo combustível, aguada e lastro de água salgada nos tanques de duplo-fundo. O abastecimento de óleo deve ser feito com

cautela, devendo completar os tanques para evitar o efeito da superfície livre; **aliviar** pesos localizados acima do centro de gravidade do navio; **remover** para baixo pesos que estão situados acima do **CG**; **aliviar** lastro de água salgada dos tanques elevados; **remover** lastro de água salgada que esteja em tanques elevados para tanques de fundo-duplo.

GM < 0



Devido à má distribuição vertical dos pesos a bordo e constatado que **KG > KM**, ocorrerá uma banda permanente e, a seguir, o emborcamento porque o navio estará na condição instável. As providências que o responsável pelo carregamento deverá tomar são as mesmas as condições de equilíbrio anterior.

As duas últimas providências tomadas quando **GM = 0** e **GM < 0** são muito boas porque são rápidas, econômicas e feitas com os recursos de bordo, uma vez que remover carga do convés ou da coberta para o cobro (piso do porão) nem sempre é possível e só excepcionalmente será admissível devido ao aumento dos custos com a operação de estiva.



Quando verificar que a banda foi causada por superfície livre, jamais lastrar, ou receber óleo combustível ou aguada em tanque do outro bordo, ou ainda efetuar transferência para o bordo oposto sem saber o valor da altura metacêntrica.

A operação de lastro ou recebimento de consumíveis deve começar por um tanque central e de pequena capacidade, lastrando tanque do bordo oposto apenas quando se certificar de que o navio está com uma GM positiva, dentro dos parâmetros estabelecidos no caderno de estabilidade, além de que não há risco de perda de estabilidade. Quando o valor da GM for seguro, é possível completar algum tanque do bordo da banda permanente desde que ela seja pequena, pois adicionando peso no fundo-duplo o centro de gravidade do navio desce e, com isto, tem-se um maior braço de adriçamento. **Figura 4.17.**



É sempre importante enfatizar que todos os cálculos de estabilidade transversal devem ser simulados nos programas de computador existentes a bordo antes da carga ou descarga das mercadorias, do suprimento de *bunker*, aguada e lastro.

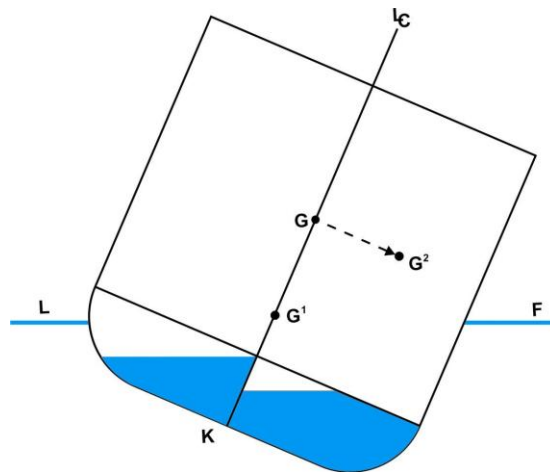


Figura 4.17

Má peação e escoramento da carga



Ocorrerá quando a carga não for bem fixada com cabos de arame de aço ao piso e às anteparas do local de estivagem, ou seu escoramento com madeira utilizando as técnicas corretas. Ao final do carregamento o imediato deverá fazer inspeções para verificar se as cargas foram convenientemente peadas e escoradas, inspecionando as tensões nos cabos e, ainda, se os barrotes estão realmente fixando corretamente as cargas, entre elas, e contra as anteparas dos locais de estivagem.

Quando ocorre alguma irregularidade na peação e escoramento durante a viagem, a carga poderá correr para um dos bordos, causando uma **banda permanente**. Por isso, durante a viagem devem ser feitas inspeções periódicas para se certificar se as condições de peação estão sendo mantidas. Qualquer tripulante que perceber qualquer peso a bordo cuja peação pareça suspeita, deve informar imediatamente ao Imediato do navio, para que ele tome as providências necessárias. Conforme frisamos na apresentação desta apostila, a segurança do navio depende de todos, pois todos estão no mesmo barco **Veja a figura 4.18.**

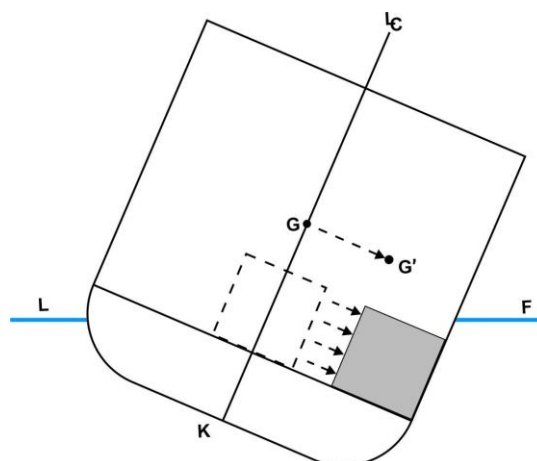


Figura 4.18

4.10 CÁLCULO DA CORREÇÃO DA BANDA PERMANENTE

Agora estudaremos os cálculos da correção da banda permanente através de remoção, embarque e desembarque de pesos a bordo com a finalidade de anular a banda permanente, trazendo o centro de gravidade do navio para a linha central e assim adriçar a embarcação.



Fórmula do cálculo da banda permanente e da sua correção

Quando ocorre a banda permanente, procura-se identificar a sua causa e se o navio não está em condições de instabilidade, isto é, com **GM = 0** ou **GM < 0**. Ao se dar a banda permanente, com certeza ocorreu má distribuição transversal dos pesos e os momentos transversais são diferentes, ou ainda, carga mais pesada, mais óleo combustível, aguada ou lastro nos tanques, em um bordo do que em outro. O oficial encarregado do cálculo de estabilidade deve procurar igualar os momentos transversais utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{tg } \theta = \frac{p \times d}{\Delta \times \text{GM}}$$

Resta-nos como incógnita: $p \times d = \text{MH}$ (momento horizontal ou transversal)

Logo $p \times d = \text{tg } \theta \times \Delta \times \text{GM}$

Conhecido o MH, resta apenas optar entre as seguintes providências:

- Aliviar lastro de água salgada do bordo em banda de um momento igual ao valor achado; e
- criar um momento transversal igual no bordo oposto com embarque ou desembarque de peso ou pesos.

Agora vamos efetuar alguns cálculos utilizando a fórmula para cálculos da banda permanente e da correção da banda.

Exemplo 1:

Um navio graneleiro chegou a um terminal de carga, cujo peso específico é $1,025 \text{ t/m}^3$, adriçado, deslocando 12800 t com $\text{KG}_v = 7,20 \text{ m}$ e $\text{KM} = 7,5 \text{ m}$.

Calcule a banda permanente causada após a transferência de 15 t de lastro residual de água salgada de BB para BE na distância de 16 metros compreendida entre os centros de gravidade dos tanques laterais de lastro nº 5 FD.

Solução:

Primeiro vamos calcular a altura metacêntrica para determinar a condição de estabilidade, utilizando a fórmula adequada, ou seja $G_vM = KM - KG$, portanto, $G_vM = 7,50 \text{ m} - 7,20 \text{ m} = 0,30 \text{ m}$.

Aplicando a fórmula:

$$\text{tg } \theta = \frac{p \times d}{\Delta \times G_vM}$$

Onde:

$$p = 15 \text{ t}$$

$$d = 16 \text{ m}$$

$$\Delta = 12800 \text{ t}$$

$$G_vM = 0,30 \text{ m}$$

Substituindo esses valores na fórmula, temos:

$$\text{tg } \theta = \frac{p \times d}{\Delta \times GM}$$

$$\text{tg } \theta = \frac{15 \text{ t} \times 16 \text{ m}}{12800 \text{ t} \times 0,30 \text{ m}}$$

$$\text{tg } \theta = \frac{240 \text{ t.m}}{3840 \text{ t.m}}$$

$$\text{tg } \theta = 0,063$$

Para calcular o valor do ângulo de banda, foi utilizada a tabela do **Anexo 3** e feita a interpolação utilizando até a terceira casa decimal.

$$\theta = 3^\circ 37' \text{ BE}$$

No próximo exemplo, num tanque de lastro calcularemos a distância que o seu centro de gravidade ficou afastado do plano diametral, ocasionando a banda permanente.

Exemplo 2:

Um navio desloca 16000 t e apresenta também os seguintes dados: $KG_v = 9,20 \text{ m}$ e $KM = 9,60 \text{ m}$. Antes de iniciar as operações de carga foram deslastradas 150 t de água

salgada de um tanque elevado localizado a BE, cujo Kg é 9,20 m. Se a banda produzida foi de 9°, **calcule** a quantos metros estava afastado o centro de gravidade deste peso.

Solução:

A fórmula a ser utilizada é a seguinte:

$$d = \frac{\Delta \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot G_v M}{p}$$

Precisamos verificar a $\operatorname{tg} \theta$ na tabela das razões trigonométricas do **Anexo 3**, calcular o valor da altura metacêntrica e o deslocamento com a retirada do lastro, ou seja,

$$\operatorname{tg} 9^\circ = 0,158$$

$$G_v M = 9,60 \text{ m} - 9,20 \text{ m} = 0,40 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{total}} = 16000 \text{ t} - 150 \text{ t} = 15850 \text{ t}$$

Substituindo na fórmula acima, temos:

$$d = \frac{15850 \text{ t} \cdot 0,158 \cdot 0,40 \text{ m}}{150 \text{ t}}$$

$$d = 6,68 \text{ m}$$

Em certas ocasiões, durante o abastecimento de óleo combustível, água e operação de lastro, o navio pode estar adernado e a distribuição destes produtos deverá ser feita de maneira que a embarcação termine a operação adriçada. Vejamos, no exemplo abaixo, como é simples e importante a sua aplicação nessas operações a bordo.

Exemplo 3:

Um navio graneleiro deslocando 13750 t e $GM = 0,75 \text{ m}$ está adernado $2,5^\circ$ para boreste e ainda deve ser abastecido com 250 t de óleo diesel.

Ainda existe espaço nos tanques laterais número 3 de fundo-duplo cujos c.g ficam distanciados 6,10 m do plano diametral.

Calcule quantas toneladas de óleo diesel devem ser carregados em cada um destes tanques para que o navio fique adriçado.

Solução:

Consideremos p o peso a ser carregado no tanque 3 BB e $250 - p$ o peso a ser colocado no tanque 3 BE, porque como o navio se encontra adernado para boreste, o tanque de BB deverá receber mais peso, portanto, no 3 BE receberá $(250 - p)$.

Na **Figura 4.19**, verificamos no **triângulo GG_1M** a seguinte relação que determinará GG_1 ou o braço do momento adernador, pois o navio está adernado $2,5^\circ$ para BE.

$$GG_1 = GM \cdot \text{tg } \theta$$

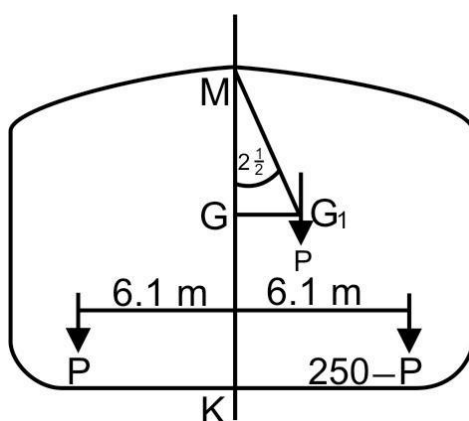


Figura 4.19

Consultando a tabela, **Anexo 3**, com as relações trigonométricas verificamos que a tg de $2,5^\circ$ é 0,0437 e, substituindo os outros valores da fórmula, temos:

$$GG_1 = 0,75 \text{ m} \times 0,0435 = 0,0328 \text{ m}$$

A seguir, apresentaremos um dispositivo de cálculo indicando os momentos transversais em relação ao plano diametral para o cálculo dos pesos que deverão ser colocados em cada um dos tanques número 3.

Momento Adernador

Peso (t)	Distância transversal (m)	BB (t. m)	BE (t.m)
13750	0,0328	*****	451
p (BB)	6,1	6,1 p	*****
250-p (BE)	6,1	*****	1525 – 6,1p

Como o navio deve ficar adriçado ao final da operação de abastecimento, devemos igualar os momentos transversais; portanto, momento de BB = momento de BE.

Resolvendo a igualdade, temos:

$$6,1p = 1976 - 6,1p$$

$$12,2p = 1976$$

$$p = 1976 \text{ t.m} / 12,2 \text{ t}$$

$$p = \mathbf{161,97 \text{ t (tanque 3 BB)}}$$

$$p' = 250 \text{ t} - 161,97 \text{ t}$$

$$p' = \mathbf{88,03 \text{ t (tanque 3 BE)}}$$

4.11 ANÁLISE DA CURVA DE ESTABILIDADE TRANSVERSAL ESTÁTICA

Vamos estudar a importância da curva de estabilidade no que se refere à estabilidade transversal; pois, através dela, nós verificamos as condições de equilíbrio do navio.

Anteriormente verificamos as condições de equilíbrio do navio, com a plotagem dessa curva constatamos se existem braços de estabilidade ou de banda que dependam muito do valor de KG.



Conceito

É um gráfico em forma de senóide onde é possível analisar as condições de estabilidade de um navio para um determinado carregamento. **Figura 4.20.**

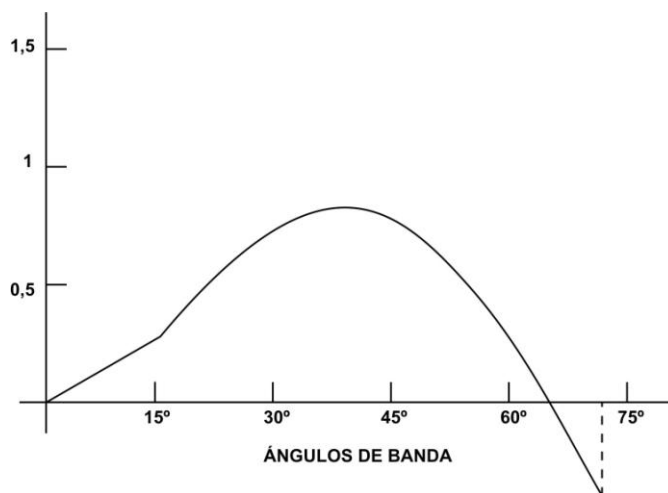


Figura 4.20

4.11.1 Plotagem da curva de estabilidade

Ela é plotada num sistema de eixos cartesianos em cujo eixo dos " X " são estabelecidos os valores dos ângulos de banda. No eixo dos " Y " são representados os valores dos braços de adriçamento ou de estabilidade acima do eixo das abscissas, além dos braços de banda e de emborcamento abaixo deste mesmo eixo.

Para construir a curva de estabilidade transversal estática são necessários:

- Valor do KG ao final da operação de lastro ou carga, calculado pelo teorema de Varignon; e
- determinar o braço de adriçamento aplicando a fórmula:

$$GZ = KN - KG \text{ sen } \theta$$

Na fórmula, KN é um braço virtual, que é obtido no plano de curvas cruzadas, tendo como elemento de entrada o deslocamento atual. **Anexo 4.**

O outro passo é calcular os valores de $KG \cdot \text{sen } \theta$ para os ângulos que constam na tabela de curvas cruzadas. A seguir, subtraem-se ou somam-se os valores obtidos desse produto do valor de KN. Desta forma, temos os valores de GZ para os ângulos estabelecidos. No sistema de eixos cartesianos, marcam-se os pontos de acordo com os valores de GZ e unindo-os temos a plotagem da curva de estabilidade.

No exercício abaixo calcularemos os braços de estabilidade e de emborcamento para a plotagem do gráfico dessa curva de estabilidade.

Exemplo 1:

Construa a curva de estabilidade estática do navio "Alegrete" que desloca 35000 t com um $KG_v = 9,00$ m, utilizando a curva cruzada do **Anexo 4** para a determinação do valor de **KN**.

Solução:

Utiliza-se a fórmula: $GZ = KN - KG \text{ sen } \theta$ para a determinação dos braços de adriçamentos que serão marcados como cotas a partir do eixo dos "X" nos valores dos ângulos de banda que são estabelecidos nas curvas cruzadas.

O segundo passo é determinar o valor de KN para cada ângulo de banda estabelecido no **Anexo 4**, da seguinte forma: levanta-se uma perpendicular no eixo horizontal a partir do deslocamento de **35000 t** e onde esta perpendicular corta as curvas cruzadas para 05°, 10°, 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 75° e 90°.

O dispositivo de cálculo para a determinação dos braços de adriçamento mais utilizado é o mostrado abaixo.

Ângulo Banda	KN	Sen θ	KG sen θ	GZ = KN - KG.sen θ
05°	0,9	0,087	0,783	0,12 m
10°	2,0	0,174	1,566	0,43 m
15°	3,2	0,259	2,331	0,87 m
20°	4,4	0,342	3,078	1,32 m
30°	6,5	0,5	4,5	2,00 m
45°	8,7	0,707	6,363	2,39 m
60°	9,7	0,866	7,794	1,91 m
75°	9,4	0,966	8,694	0,71 m
90°	8,4	1,000	9,000	-0,60 m

Obtidos os valores de GZ, plotam-se os seus valores a partir do eixo horizontal, identificando-os na escala vertical onde foi estabelecida a escala para representação dos braços de estabilidade. O outro passo é unir os pontos entre eles no eixo cartesiano para dar contorno à curva. Verifique abaixo o traçado do gráfico na **Figura 4.21**.

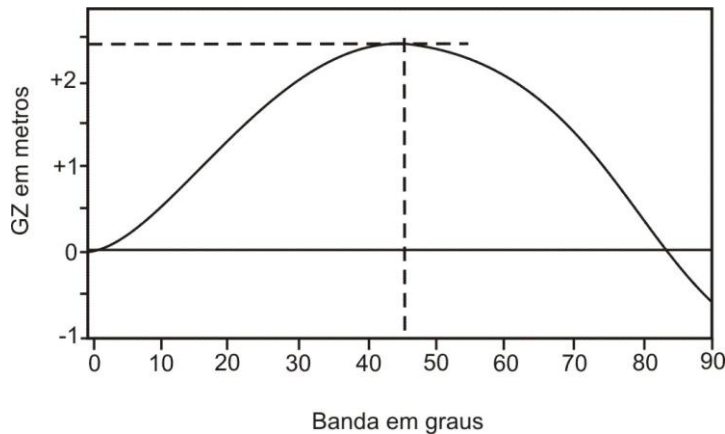


Figura 4.21

4.11.2 Análise da curva de estabilidade transversal estática

Já aprendemos a traçar a curva de estabilidade transversal estática. A partir desta plotagem, seremos capazes de analisar diversos elementos contidos no gráfico e, assim, identificar as condições de equilíbrio do navio.

Ao se fazer a plotagem da curva de estabilidade transversal estática exemplificada na **Figura 4.21**, na sua análise, podemos **definir** e **identificar** os seguintes valores:



Faixa de Estabilidade

É o comprimento tomado no eixo dos " X " na parte positiva da curva, medida em graus, no nosso exemplo **00° a 83.7°**.



Limite de Estabilidade

São os pontos da curva cortados pelo eixo dos " X ", ou seja, onde os **GZ** são zero. Em nosso exemplo são os pontos onde os ângulos medem **00° e 83.7°**.



Máximo Braço de Adriçamento

É o maior valor da ordenada, ou seja, **2,39 m**.



Ângulo onde ocorre o maior GZ

É lido na **Figura 4.21**, correspondente ao máximo braço de adriçamento, ou aos 45°. A partir deste ângulo, os valores de **GZ** vão decrescendo e a estabilidade vai reduzindo.



Ângulo de Emborcamento

É o ângulo onde termina a faixa de estabilidade, na **Figura 4.21** esse ângulo é 89°; a partir dele os braços passam a ser de emborcamento tendendo a fazer com que o navio emborque. Esse ângulo é um dos limites da faixa de

estabilidade.



Teste de auto-avaliação da unidade 4

Faça o que se pede nos itens abaixo.

4.1) O navio “Loide Brasil” chegou ao porto de Santos deslocando 20.200 t e $KG = 8,2$ m. Nesse porto ele:

descarrega: 4000 t ($KG = 4,5$ m)

3000 t ($KG = 6,5$ m)

400 t ($KG = 9,0$ m)

e carrega: 2000 t ($KG = 2,5$ m)

3500 t ($KG = 6,0$ m)

70 t ($KG = 9,8$ m)

Na estadia ele consome 10t de diesel ($KG = 0,5$). **Determine** o KG ao final das operações.

4.2) O navio “Loide Argentina”, deslocando 12000 t, recebeu o seguinte carregamento:

porção 1 = 1000 t ($KG = 7,0$ m)

porção 2 = 2000 t ($KG = 4,0$ m)

porção 3 = 3000 t ($KG = 8,0$ m)

Sabendo-se que após este carregamento o KG do navio passou a ser 7,0 m, **determine** o KG antes do carregamento.

4.3) O navio “Loide Uruguai”, deslocando 7200 t apresenta um $KG = 6,8$ m e $KM = 7,3$ m. **Determine** a quantidade de carga que pode ser embarcada num ponto do navio ($KG = 10,0$ m) para que ele fique com uma GM de 0,3 m.

4.4) O navio “Loide Paraguai”, numa determinada condição desloca 4600 t. As ordenadas de sua curva de braços de estabilidade tem as seguintes medidas: 0,20 m; 0,42 m; 0,65 m; 0,63 m; 0,42 m; 0,17 m, respectivamente para ângulos de banda de 15, 30, 45, 60, 75 e 90 graus. Trace a curva de braços de estabilidade e **determine** o ângulo de máximo braço de adriçamento e o ângulo de emborcamento.

- 4.5) A curva de braços de adriçamento do navio “Loide Chile” tem para os ângulos de 00° , 15° , 30° , 35° , 45° e 60° , as seguintes ordenadas 00, 0,9 m, 1,92 m, 2,02 m, 1,65 m e $-0,75$ m. **Trace** a curva de braços de estabilidade e **determine**: o ângulo de máximo braço de adriçamento, o ângulo de estabilidade máxima e o limite de estabilidade.
- 4.6) O navio “Loide Equador” está com deslocamento de 7200 t, calado médio = 5,1 m, KG = 5,5 m e KM tirado das Curvas Hidrostáticas igual a 7,35 m. Existem a bordo quatro tanques com superfície livre, todos com combustível de peso específico $0,96\text{t/m}^3$.

Tanque	i (m^4)
nº 2 BB/BE	439,45
nº 4 BB/BE	335. 85

Determine a elevação virtual do centro de gravidade e a altura metacêntrica corrigida.

- 4.7) O navio “Loide Colômbia” desloca 8200 t, apresentando uma GM de 0,9m. Possui dois tanques laterais com capacidade de 30 t cada um, estando BB cheio e BE vazio. **Calcule** a banda permanente nesse navio ao serem transferidas 30 t para o tanque de BE, sabendo-se que os centro de gravidade dos tanques estão afastados 3,5 m do plano diametral.
- 4.8) O navio “Loide Veneza” desloca 16000 t com KG = 9,2 m, tem KM = 9,6 m e mede de boca 20 m. Nesta ocasião, uma carga pesando 250 t (Kg = 12 m) foi descarregada de um ponto a BE do plano diametral. Sabendo-se que a banda produzida foi de 10° , **determine** a distância que esta carga estava afastada daquele plano ao ser descarregada.
- 4.9) O navio “Loide Panamá”, deslocando 6000 t e com KG = 7,00 m, operou em carga, embarcando:
- 300 t Kg = 7,0 m; afastamento BE = 6,0 m
- 200 t Kg = 8,0 m; afastamento BE = 3,0 m
- 200 t Kg = 8,5 m; afastamento BB = 3,0 m
- Calcule** a banda permanente, sabendo-se que o KM com esses pesos embarcados é 8,07m.
- 4.10) O navio “Loide Guatemala”, deslocando 8000t, tem um KG = 7,6 m. Durante uma operação de carga, os seguintes pesos foram embarcados e desembarcados:

Embarque: 250 t; afastamento = 7,6 m BE

300 t; afastamento = 6,1 m BB

Desembarque: 50 t; afastamento = 4,6 m BB

Calcule a banda permanente, considerando que todos os Kg das cargas estão no mesmo plano horizontal, que contém o KG anterior do navio, e que o KM final é de 8,7 m.

4.11) O navio “Loide México” tem 8200 t de deslocamento e KG = 6,3 m. é necessário aderná-lo 3º para BE e para isso um peso de 15 t deve ser movimentado transversalmente. Determine essa distância, sabendo-se que o KM = 6,5 m.

4.12) O navio “Loide Cuba” está deslocando 9500 t com:

calado médio = 6,0 m; KG sólido = 5,35 m e KM = 7,78 m. Sabe-se que possui os seguintes tanques com superfície livre nº 1 central (lastro de água salgada peso específico 1,025 t/m³) $i = 4187 \text{ m}^4$, nº 4 central (óleo combustível peso específico 0,9 t/m³) $i = 968 \text{ m}^4$, nº 3 BB/BE (óleo combustível peso específico 0,9 t/m³) $i = 696 \text{ m}^4$, nº 3 central (óleo combustível peso específico 0,9 t/m³) $i = 1141 \text{ m}^4$ e nº 11 central (lastro água salgada peso específico 1,025 t/m³) $i = 451,6 \text{ m}^4$. **Determine** a altura metacêntrica corrigida para o efeito de superfície livre.

4.13) Ao término do planejamento de carregamento de um navio de carga, foi constatado que o navio se encontrava em equilíbrio indiferente. Em face desta GM, o imediato pretendia deixar essa embarcação com a altura metacêntrica 0,90 m. **Calcule** o volume de água salgada a colocar num tanque de fundo duplo, de forma quadrangular, com altura 1,20 m, sabendo-se que KG = 6,60 m, deslocamento 6000 t e que o navio se encontra em água parcelhas.

UNIDADE 5

ESTABILIDADE LONGITUDINAL

Nesta unidade, você vai aprender sobre:



- Os conceitos de estabilidade longitudinal;
- Os seus pontos notáveis;
- A identificação das cotas desses pontos;
- Os meios de obtenção do calado e compasso do navio;
- A avaliação dos esforços estruturais decorrentes do movimento de cargas a bordo.

Finalmente chegamos a quinta e última unidade que trata da Estabilidade Longitudinal.

Então, vamos dar início ao nosso estudo pelo conceito de Estabilidade Longitudinal

5.1 CONCEITO DE ESTABILIDADE LONGITUDINAL E SEUS PONTOS NOTÁVEIS

A partir de agora iremos iniciar o estudo da estabilidade longitudinal utilizado nos cálculos dos calados do navio, do seu compasso e de seus pontos notáveis.

O principal objetivo desta unidade de ensino é torná-lo consciente dos problemas inerentes à estabilidade longitudinal.



Definição de estabilidade longitudinal

É a propriedade que o navio tem de voltar a sua posição de equilíbrio longitudinal, quando dela se afastar ou, em outras palavras, é a tendência que a

embarcação tem de voltar ao calado original quando dele sair por qualquer motivo externo, ou ainda, o estudo do comportamento longitudinal do navio.

Devido ao fato de as dimensões do navio, no sentido longitudinal, serem muito maiores que no sentido transversal (comprimento maior do que a boca), resulta que os ângulos de inclinação em torno do eixo transversal (caturros) são muito menores que aqueles em relação ao eixo longitudinal (balanço ou jogo) e, dada a grande dimensão do raio metacêntrico longitudinal (BML), sempre haverá uma grande altura metacêntrica longitudinal positiva (GML). **Figura 5.1.**

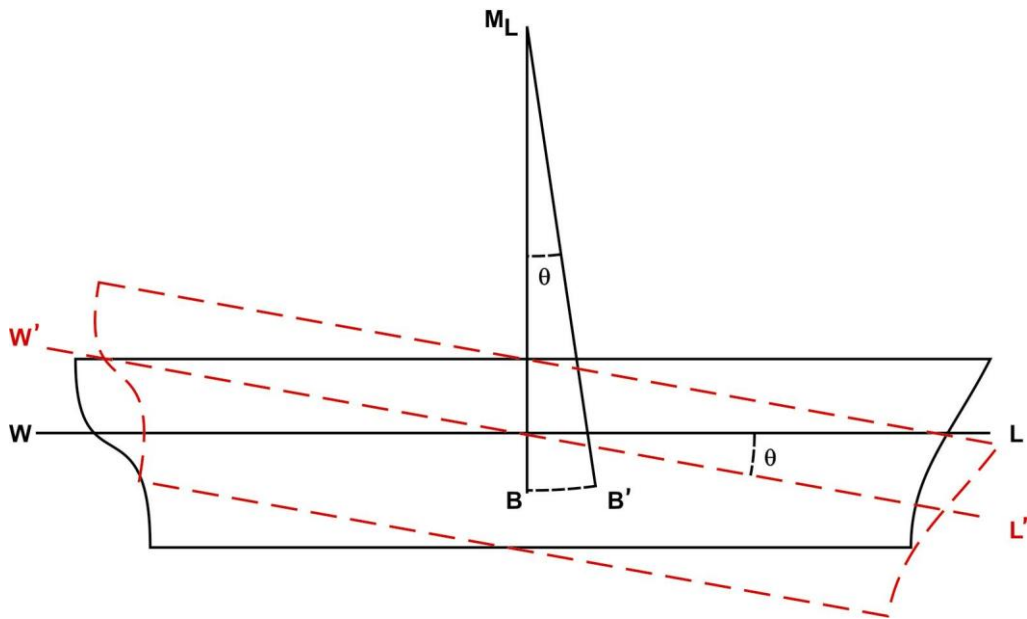
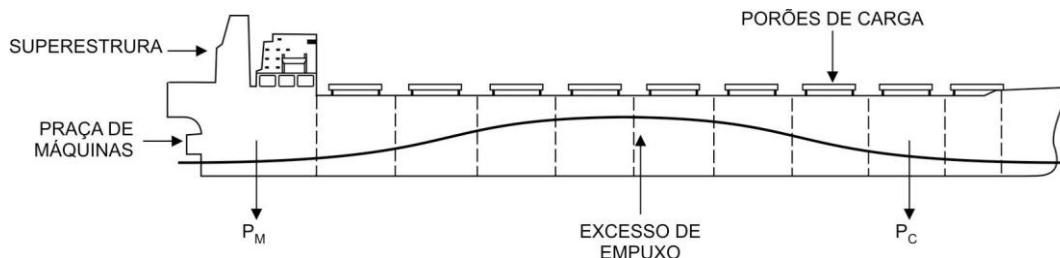


Figura 5.1

O estudo da estabilidade longitudinal não visa, propriamente, à segurança do navio sob o aspecto de embarque de água; pois, por pior que seja a distribuição longitudinal de pesos, o navio não afundará de proa ou popa, a menos que ocorra uma situação de água aberta naquelas regiões.

Contudo ele não é menos importante para a segurança da embarcação, pois a distribuição incorreta, e de maneira não homogênea dos pesos a bordo, provoca esforços desiguais na estrutura do navio, o que, em condições adversas de mar, podem levá-lo a esforços insuportáveis em sua estrutura que, com a continuidade do processo podem levá-lo a partir.

Para visualizar a situação, podemos modelar o navio como uma viga, conforme figura a seguir:



- Do lado esquerdo colocaremos pesos representando as máquinas, simbolizados pela letra M, sendo seu peso P_M ;
- do lado direito outros pesos representando a carga, simbolizados pela letra C, e seu peso P_C ;
- no centro vamos colocar um ponto de apoio, representado por uma onda, onde, temporariamente, será aplicado um excesso de empuxo.

Fica evidente que o navio sofrerá um esforço na sua estrutura, devido à não uniformidade da distribuição de pesos. Temos que considerar também que o navio está se movendo e a onda também, o que fará com que toda a estrutura do navio seja testada pela passagem da onda, conseqüentemente, o ponto mais fraco poderá não resistir ao esforço e partir.



Será que o problema tem solução?

Quando analisamos a estabilidade transversal, fizemos menção ao problema do excesso de estabilidade e informamos que uma solução para evitá-la era o adicionamento de lastro em tanques elevados ou alívio de pesos nos tanques de fundo-duplo. Contudo, é claro que esse lastro vai reduzir o limite de carga rentável do navio, caso não se tenha uma disponibilidade de borda livre.

Como resolver então o problema?

Neste caso, principalmente nos navios que transportam granéis sólidos e de alto peso específico, a única solução é o carregamento total em porões alternados. Com isso é possível carregar o navio até a sua capacidade máxima de deslocamento e, como alguns porões estão carregados até a altura máxima permitida, se consiga elevar o CG, reduzindo o braço de adriçamento. Contudo, obrigaremos a estrutura do navio a ter que suportar um esforço maior, o que será um fator de risco; nos obrigando a ficar atentos às condições de tempo a que vamos submeter o navio durante a viagem.

Um outro problema afetado pela pouca importância que, muitas das vezes, dedicamos à estabilidade longitudinal é que, se os pesos não forem homogeneamente distribuídos, o navio apresentará calados diferentes a vante e a ré, o que poderá ser um fator limitador para a entrada e saída de alguns portos.

5.1.2 Pontos notáveis da estabilidade longitudinal

Alguns pontos notáveis da estabilidade transversal são também importantes no estudo da estabilidade longitudinal. Esses pontos notáveis são os seguintes:

Centro de Gravidade



A localização da coordenada no sentido proa/popa do centro de gravidade do navio também é determinada utilizando-se o teorema de **Varignon**, já estudado na unidade 4.3 (estabilidade transversal estática).

Se lá utilizamos a notação KG para definição da cota do centro de gravidade, na estabilidade longitudinal usamos a notação LCG ou χG . Para a carga Lcg ou χg .

Tanto o centro de gravidade do navio (LCG) quanto o da carga (Lcg) podem ficar por ante a vante quanto por ante a ré da seção mestra transversal do navio. Se localizado por ante a vante a sua localização recebe sinal **negativo** e se por ante a ré **positivo**. Logicamente, se ele estiver exatamente na seção mestra, terá valor nulo. **Figura 5.2.**

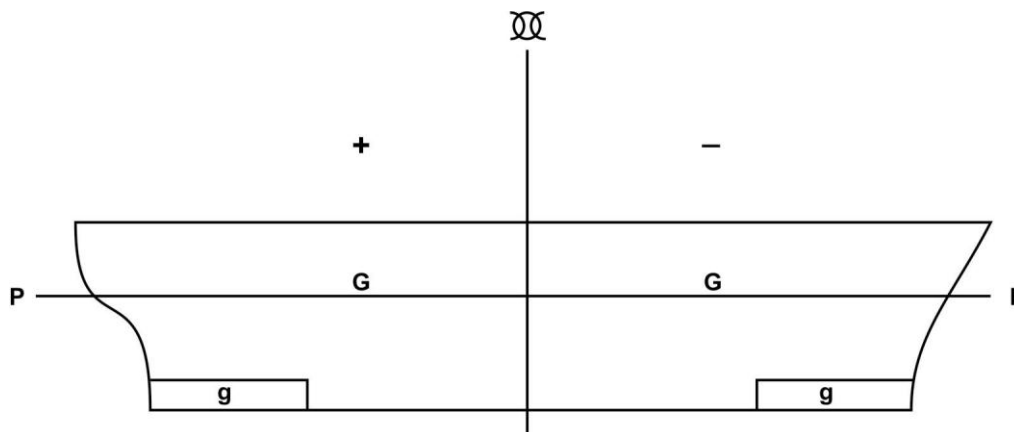


Figura 5.2

Os centros de gravidade dos pesos são obtidos no plano de capacidade ou no caderno de estabilidade da embarcação. O centro de gravidade do navio é calculado conforme exemplificado abaixo:

Exemplo 1:

Um navio graneleiro encerrou as operações de carga deslocando 15150 t com LCG = 2,69 m.

Antes da saída, recebeu óleo diesel no tanque 2FD BB, água doce no tanque de colisão a ré e lastro de água salgada no tanque de colisão a vante, conforme discriminados na tabela abaixo. **Calcule** o valor do LCG após o abastecimento e lastro.

Solução

A seguir, no dispositivo de cálculo, verificamos como é calculado o momento longitudinal final utilizando o teorema de Varignon como já foi mencionado nesta aula.

Descrição	Peso	LCG e Lcg	Momento Longitudinal
Deslocamento	15190 t	+ 2,69 m	40863,79 t.m
Lastro	400 t	- 128,94 m	- 51576 t.m
Óleo diesel	180 t	+ 57,34 m	+ 10321,2 t.m
Água Doce	200 t	+ 89,15 m	+ 17830 t.m
	15970 t		$\Sigma ML = + 17438,99 \text{ t.m}$

Utilizando a fórmula $\Delta G' = \Sigma ML / \Delta$, temos:

$$\Delta G' = 17438,99 \text{ t.m} / 15970 \text{ t} = + 1,09 \text{ m}$$

Centro de Carena



Esse ponto notável, LCB ou ΔB também pode ficar localizado a uma distância longitudinal horizontal a partir da seção mestra ou plano transversal a meio navio, seguindo a mesma regra de sinais, ou seja, negativo a vante, positivo a ré e nulo quando situado sobre esta seção transversal, **Figura 5.3**. O seu valor pode ser obtido na tabela de dados hidrostáticos. **Anexo 1**.

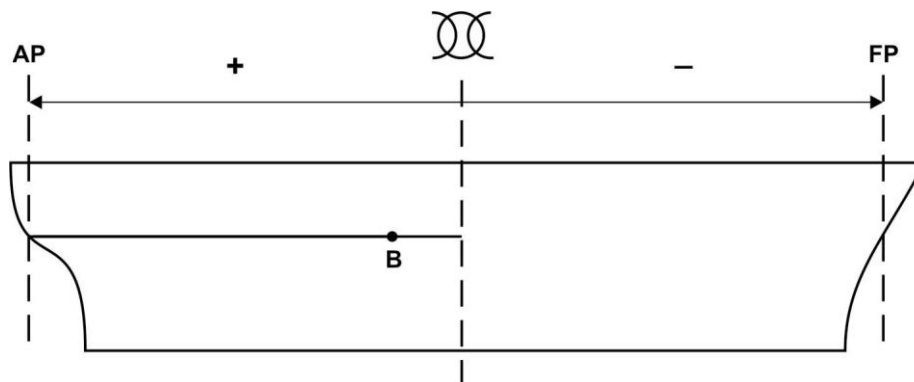


Figura 5.3



Centro de Flutuação

É o centróide da área de flutuação, sua notação é F, ficando localizado sobre o plano diametral do navio sendo identificado na tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, e identificado como LCF ou LCF (F), podendo estar localizado a vante, a ré da seção mestra ou sobre essa área transversal a meio navio. **Figura 5.4**.

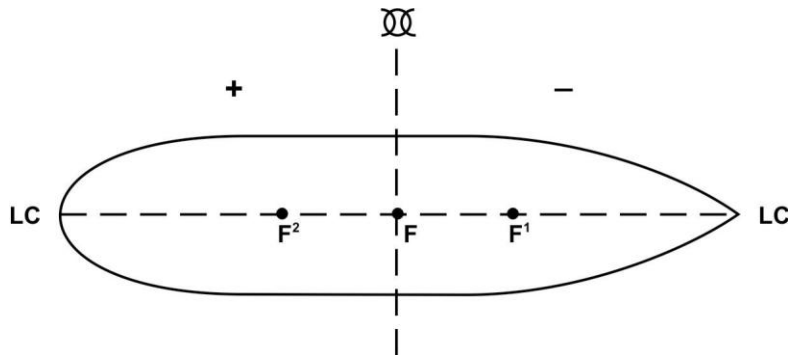


Figura 5.4

No **Anexo 1**, os valores de LCF (B) e LCF (F) estão determinados em relação à perpendicular de ré; portanto, para que saibamos os seus valores em relação ao plano transversal a meio navio ou seção mestra, é necessário subtrair o valor registrado na tabela de dados hidrostáticos da metade do comprimento entre perpendiculares, conforme exemplo abaixo:

Exemplo 2:

Um navio cargueiro cujo comprimento entre perpendiculares é 134,18 m, terminou uma operação de recebimento de óleo e lastro com um calado médio de 5,20 m. **Determine** os valores de LCF (B) e LCF (F), utilizando a tabela de dados hidrostáticos. **Anexo 1**.

Solução:

Consultando a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, tendo como elemento de entrada o calado médio, $H_m = 5,20$ m, verificamos que $\text{LCB} = 70,37$ m e $\text{LCF} = 68,69$ m, pois eles são contados a partir da perpendicular de ré.

Como desejamos: LCF (B) e LCF (F), devemos adotar o seguinte procedimento:

Calculamos a metade do comprimento entre perpendiculares, isto é, 67,09 m e, subtraindo dos valores obtidos na tabela de dados hidrostáticos, temos:

LCF (F) = $68,69$ m – $67,09$ m = **1,60 m** (negativo porque está a vante da seção mestra), portanto, **- 1,60 m**.

LCF (B) = $70,37$ m – $67,09$ m = **3,28 m** (negativo porque está a vante da seção mestra), assim seu valor é **- 3,28**.



Como saber o calado final, antes que o embarque ocorra?

É evidente que se faz necessário sabermos o que ocorrerá com o navio, antes que efetuemos o embarque ou desembarque de pesos, mesmo que seja de uma maneira aproximada.

Para isso, um elemento importante é termos tabelado quantos centímetros o navio afunda por cada tonelada embarcada e também qual o momento necessário para alterar o calado em uma seção do navio em um centímetro. É o que chamamos de “Toneladas por Centímetro” (TPC) e o “Momento para Compassar um Centímetro” (MCC), que serão objetos de nosso estudo.

5.2 TONELADAS POR CENTÍMETRO DE IMERSÃO OU TPC

Vamos estudar agora Toneladas por Centímetro!



O TPC, que é a sigla de Toneladas por Centímetro de Imersão, é o peso em toneladas métricas ou longas capaz de fazer o calado variar em um centímetro.

O valor do TPC, embora possa ser calculado analiticamente, também é obtido na tabela de dados hidrostáticos, alertando que esse valor como todos os outros foram calculados para a água salgada de peso específico igual a 1,025 t/m³.

Ele é muito utilizado nas operações de embarque e desembarque de pesos, porque conhecendo-se o TPC, é possível calcular o novo calado médio aplicando a fórmula:

$$i = p/TPC$$

Essa imersão ou emersão causada pelo embarque ou desembarque de peso é denominada imersão paralela, ou seja, se considera que a alteração ocorreu sobre o centro de flutuação (F).



Aplicação do TPC nos cálculos dos calados do navio

Na **Figura 5.5**, digamos que foi embarcado um determinado peso no navio, causando a imersão da área do plano de flutuação de 1 cm ou 1/100 m.

Inicialmente, vamos calcular o acréscimo no volume de carena decorrente do aumento de 1cm no calado médio:

$$v = A_f \cdot h = A_f \cdot 1/100$$

Porém, sabemos que o peso específico da água do mar é o quanto pesa a sua unidade de volume:

$$\delta = p / v, \text{ conseqüentemente,}$$

$$p = v \cdot \delta.$$

Agora, substituindo o valor de v , obtido anteriormente, podemos obter qual o peso, em toneladas necessário a provocar a variação de 1 centímetro no calado, em termos da área de flutuação, tabelada do navio e do peso específico da água do mar:

$$p = A_f \cdot 1/100 \cdot \delta \Rightarrow p = A_f \cdot 1/100 \cdot 1,025$$

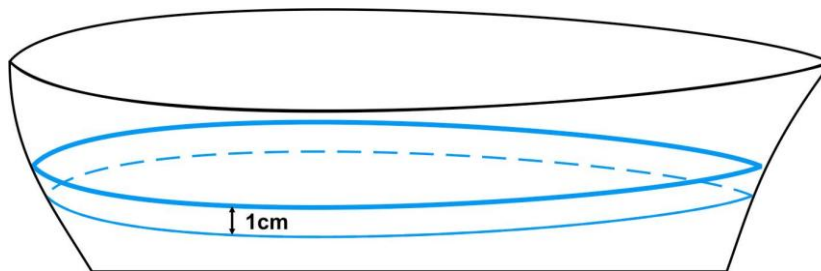


Figura 5.5

No exemplo a seguir, mostraremos como é importante o conhecimento do valor do TPC nos cálculos de abastecimento de óleo combustível, aguada e lastro no navio.

Exemplo 1:

Num navio graneleiro, após terminar as operações de carga e descarga, o calado médio era 8,20 m. Depois das operações o navio recebeu: 500 t de óleo combustível, 100 t de óleo diesel, 200 t de água potável e 200 t de lastro de água salgada. **Calcule** o calado médio de saída, utilizando a tabela de dados hidrostáticos. **Anexo 1.**

Solução:

Consultando a tabela de dados hidrostáticos, **Anexo 1**, verificamos que, com o $H_{med} = 8,20$ m, o valor do TPC é 23,78 t/cm.

Verificamos que o navio recebeu $500 \text{ t} + 100 \text{ t} + 200 \text{ t} + 200 \text{ t} = 1000 \text{ t}$.

Aplicando a fórmula: $i = p/TPC$ e substituindo os valores, temos:

$$i = 1000 \text{ t} / 23,78 \text{ t/cm}$$

$$i = 42,05 \text{ cm}$$

$$i = 0,42 \text{ m}$$

Portanto, o **Hmed** = 8,20 m + 0,42 m = **8,62 m**.

5.3 VARIAÇÃO DO COMPASSO DEVIDO AO MOVIMENTO LONGITUDINAL DE PESOS

Nas flutuações isocarenas, as inclinações longitudinais do navio se fazem em torno de um eixo que passa pelo centro de flutuação (F).

Na **Figura 5.6**, verificaremos como é possível calcular o ângulo de inclinação longitudinal conforme deduzido abaixo:

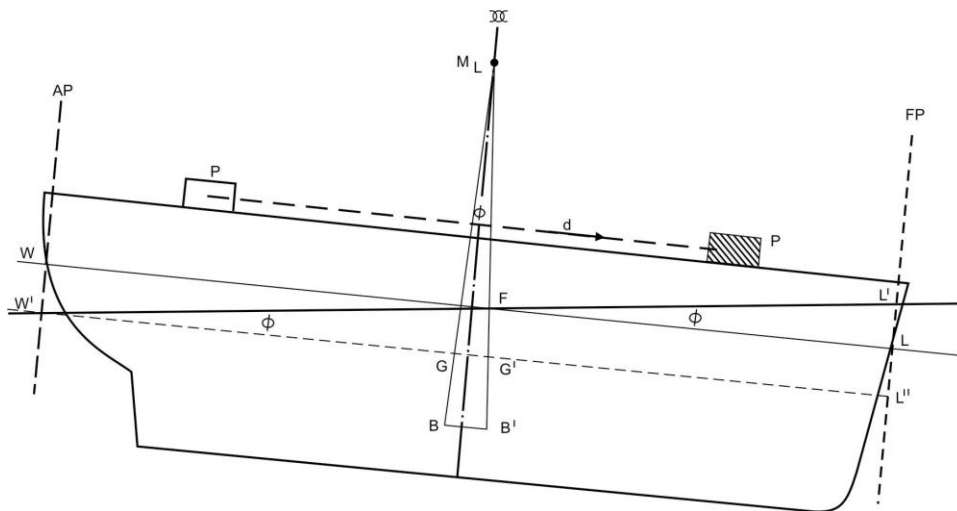


Figura 5.6

Na Figura acima, foi feita uma movimentação longitudinal para vante de um peso **P**, transferido segundo uma distância longitudinal **d**. O centro de gravidade **G** se deslocou para **G'** e o navio embicará até que **B'** e **G'** fiquem novamente na mesma vertical. $GG' = (p \cdot d) / \Delta$, mas pela fórmula, na **figura 5.6**, também observamos que no triângulo retângulo **GGM_LG'**

$$GG' = GM_L \cdot \text{tg } \theta$$

temos que $\text{tg } \theta = vt / Lpp$

então: $GG' = GM_L \cdot vt / Lpp$

$$GG' = (GML \cdot vt) / Lpp$$

porém $vt = 1 \text{ cm}$, pois se deseja o momento para variar o compasso de 1 cm, ou $1 \text{ cm} = 1 \text{ m}/100$

Logo $vt = 1 \text{ m}/100$, então: $GG' = (GM_L \cdot 1) / 100 \cdot Lpp$

Sabemos que $GG' = (p \cdot d) / \Delta$, logo

$$(p \cdot d) / \Delta = GM_L / 100 \cdot Lpp$$

$$p \cdot d = (\Delta \cdot GM_L) / 100 \cdot Lpp$$

$p \cdot d =$ momento para compassar 1cm, então $MCC = (\Delta \cdot GM_L) / 100 \cdot Lpp$

Sabendo-se o valor de MCC, é fácil calcular a variação do compasso ou do trim, utilizando a fórmula: $vt = (p \cdot d) / MCC$

Quando essa fórmula é utilizada, o valor de MCC é obtido na tabela de dados hidrostáticos.

Além da fórmula da variação do trim ou compasso, também utilizaremos as fórmulas das variações a vante e a ré dos calados, conforme verificaremos na dedução abaixo ilustrada pela **Figura 5.7**.

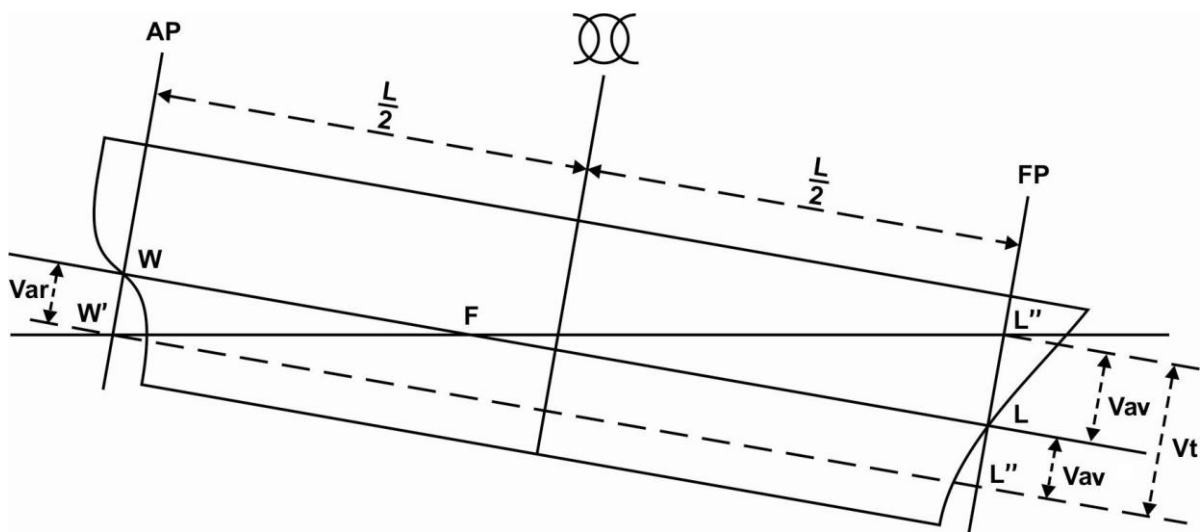


Figura 5.7

Para melhor compreensão da demonstração utilizaremos a seguinte **Simbologia**:

V_{av} = variação do calado a vante

V_{ar} = variação do calado a ré

V_t = variação do trim ou compasso (V_c), que é diferença entre a variação do compasso inicial e o compasso final

H_{med} = $(H_{av} + H_{ar}) / 2$

H_{medr} = calado médio real é aquele medido na altura do centro de flutuação, também chamado calado correspondente.

$\alpha(F)$ = distância entre o plano transversal a meio navio (plano aranha) e o centro de flutuação

θ = ângulo formado entre a linha d' água inicial e a linha d' água final.

λ = distância entre o F e a perpendicular a vante (P_{av})

λ' = distância entre o F e a perpendicular a ré (P_{ar})

Onde, $V_{av} = (Lpp / \pm) \alpha (F)$, na figura 5.8 é mais.

$V_{ar} = (Lpp / \pm) \alpha (F)$, na figura 5.9, é menos.

$Vt = Lpp \cdot \text{tg } \theta$ ou $\text{tg } \theta = vt / Lpp$

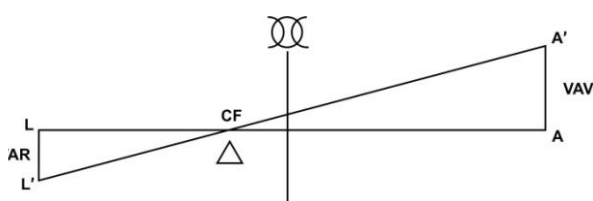


Figura 5.8

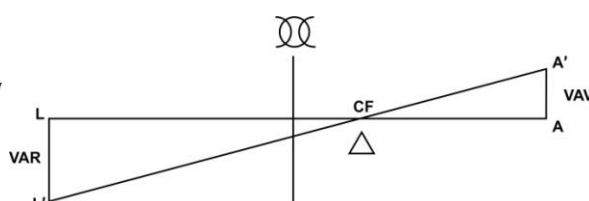


Figura 5.9

5.4 CÁLCULO ANALÍTICO DOS CALADOS E COMPASSO

Vamos verificar quais são os passos utilizados para serem calculados os calados após remoção e embarque de pequenos pesos, além do respectivo compasso.

Quando ocorre remoção de pesos não há necessidade de se aplicar o valor da imersão paralela, porque o deslocamento e o calado médio não são alterados; por isso o cálculo é mais simples. Bastará calcularmos os valores das variações a vante e a ré, conforme mostraremos oportunamente.



Cálculo dos calados após remoção ou transferência de peso

Inicialmente, verificaremos como são calculados os calados e compasso após remoção de pequenos pesos, quando não são alterados o deslocamento e calado médio do navio, pois não ocorre imersão paralela.

Quando um pequeno peso é removido, para calcularmos os calados finais, são observados os seguintes passos:

- Com os calados a vante e a ré, determina-se o calado médio (Hmed);
- Com o calado médio (Hmed), determinamos na tabela de dados hidrostáticos, os seguintes valores: LCF ou $\alpha (F)$ e MCC ou MTC;
- Calcula-se a variação total do trim ou compasso, aplicando-se a fórmula:

$$vt = (p \cdot d)/MCC$$

- Com a fórmula $V_{av} = (\lambda \cdot V_t) / L_{pp}$ e $V_{ar} = (\lambda' \cdot vt) / L_{pp}$, calculamos as variações a vante e a ré para somarmos ou subtraímos dos calados H_{av} (a vante) e H_{ar} (a ré), respectivamente.
- Observa-se o sentido do movimento do peso que corresponde ao momento trimador ou compassador. Se ele é movimentado para a vante, o calado a vante aumenta e o de ré diminui, então soma-se a V_{av} ao H_{av} e subtrai-se a V_{ar} do H_{ar} . Quando o peso é movimentado para ré procede-se de modo contrário.

Resolva o exercício abaixo para fixar a explicação acima:

Exemplo 1:

Os calados de um navio eram: $H_{av} = 6,00$ m e $H_{ar} = 6,20$ m. O seu L_{pp} era 108 m. Nele foram transferidas 50 t de óleo combustível dos tanques centrais, número 10 para o número 3, cuja distância entre os centros de gravidade é de 43,20. **Calcule** os calados finais após esta transferência.

Solução:

1. O primeiro passo é calcular o calado médio:

$$H_{med} = (H_{av} + H_{ar})/2$$

$$H_{med} = (6,00 \text{ m} + 6,20 \text{ m}) / 2 = 12,20 \text{ m} / 2 = 6,10 \text{ m}$$

2. Consultando a tabela de dados hidrostáticos do navio, que não corresponde ao anexo 1, tendo como elemento de entrada o calado médio de 6,10 m, foram obtidos os seguintes valores hidrostáticos:

$$\chi F = + 1,12 \text{ m e } MCC = 108 \text{ t.m/cm};$$

3. Cálculo da variação do compasso ou do trim;

$$vt = (p \cdot d) / MCC$$

$$vt = (50 \text{ t} \cdot 43,2 \text{ m}) / 108 \text{ t.m/cm} = 20 \text{ cm}$$

determinações das V_{av} e V_{ar} ;

4. Determinação das V_{av} e V_{ar}

$$V_{av} = (\lambda \cdot v_t) / L_{pp},$$

$$\text{onde } \lambda = L_{pp}/2 + \chi F = 54 \text{ m} + 1,12 \text{ m} = 55,12 \text{ m}$$

Desta forma,

$$V_{av} = (\lambda \cdot v_{tt}) / L_{pp} = (55,12 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m}) / 108 \text{ m} = \mathbf{0,102 \text{ m}}$$

$$V_{ar} = (\lambda' \cdot v_t) / L_{pp},$$

$$\text{Onde } \lambda' = (L_{pp}/2 - \chi F)$$

$$\lambda' = (108 \text{ m} / 2 - 1,12 \text{ m} = 54 \text{ m} - 1,12 \text{ m} = 52,87 \text{ m}, \text{ portanto,}$$

$$V_{ar} = (\lambda' \cdot vt) / L_{pp} = (52,87 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m}) / 108 \text{ m} = \mathbf{0,098 \text{ m}}$$

Na figura 5.10, é possível verificar-se a determinação de λ e λ' .

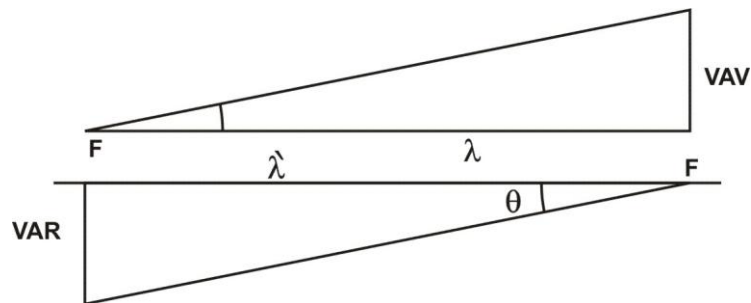


Figura 5.10

5. Como o peso foi movimentado de ré para vante, o calado a vante aumenta e o calado a ré diminui, conforme calcularemos, a seguir:

A Vante	A Ré
$H_{av} = 6,00 \text{ m}$	$H_{ar} = 6,20 \text{ m}$
$V_{av} = 0,10 \text{ m}$	$V_{ar} = -0,10 \text{ m}$
$H_{av} = 6,10 \text{ m}$	$H_{ar} = 6,10 \text{ m}$

Este método é aplicado quando se remove ou movimenta-se quantidade razoável de peso, desde que se considere o centro de flutuação e MCC como constantes. Na prática, quando o valor do centro de flutuação é aproximadamente de até 1 metro, o cálculo é feito do modo mostrado acima e as variações a vante e a ré têm o mesmo valor.

O compasso ou trim é determinado pela fórmula:

$$\mathbf{t = H_{ar} - H_{av}}$$

ou seja,

$$t = 6,10 \text{ m} - 6,10 \text{ m} = \mathbf{0}.$$

Como podemos verificar, o navio, ao terminar a transferência do óleo combustível, ficou em águas parelhas.

5.4.1 Cálculo analítico dos calados após embarque ou desembarque de pequenos pesos



O método apresentado abaixo somente pode ser aplicado quando o peso ou soma dos pesos é menor do que 5% do deslocamento no momento da operação de carga ou descarga.

Inicialmente, calcula-se o efeito da imersão paralela como se o peso estivesse sendo embarcado ou desembarcado sobre o centro de flutuação. O restante dos cálculos é igual ao cálculo efetuado quando é removido um peso, utilizando as mesmas fórmulas para a determinação das variações a vante e a ré.

No exemplo abaixo, constataremos que, quando se embarca ou desembarca um peso, teremos que considerar sempre o efeito da imersão paralela (no embarque) e o da emersão paralela (no desembarque).

Exemplo 1:

Num navio com comprimento entre perpendiculares de 120 m e calados iniciais: $H_{av} = 5,00$ metros e $H_{ar} = 6,00$ m, foram embarcadas 100 t de óleo combustível num tanque de fundo-duplo cujo centro de gravidade ficava a 10 m a vante do plano transversal a meio navio (ΔF). Calcule os calados finais após essa operação.

Solução:

Os seguintes passos devem ser seguidos para a determinação dos calados finais após o embarque do peso.

1. Cálculo do calado médio, utilizando a fórmula:

$$H_{med} = (H_{av} + H_{ar}) / 2$$

$$H_{med} = (5,00 \text{ m} + 6,00 \text{ m}) / 2 = 11,00 \text{ m} / 2 = 5,50 \text{ m}.$$

2. Consultando a tabela de dados hidrostáticos, que não corresponde ao anexo 1, utilizando o calado médio de 5,50 m, como elemento de entrada, são obtidos os seguintes valores hidrostáticos:

$$TPC = 50 \text{ t/cm}, \Delta F = 2,00 \text{ m e } MCC = 120 \text{ t.m/cm}.$$

3. Neste navio, foi embarcado um peso de 100 t a uma distância longitudinal de 10 m a vante do plano transversal a meio navio, sendo que o centro de flutuação está localizado a 2,00 metros a ré deste plano. Neste cálculo, como foi embarcado um pequeno peso, deve ser considerado, inicialmente como embarcado o peso sobre o centro de flutuação; portanto, uma imersão paralela, devendo, o valor da imersão, ser somado aos valores dos calados a vante e a ré.

A imersão paralela é calculada pela fórmula:

$$i = p/TPC, \text{ ou seja, } i = 100 \text{ t} / 50 \text{ t/cm} = 2 \text{ cm.}$$

$$H_{AV} = 5,00 \text{ m} \quad H_{Ar} = 6,00 \text{ m}$$

$$i = 0,02 \text{ m} \quad i = 0,02 \text{ m}$$

$$H_{AV} = 5,02 \text{ m} \quad H_{Ar} = 6,02 \text{ m}$$

4. Cálculo da variação do trim devido ao embarque do peso.

Para o cálculo desta variação, aplicaremos a fórmula:

$$Vt = (p \cdot d) / MCC$$

Quando um peso é embarcado ou desembarcado, o momento compassador ou trimador é determinado pelo produto do peso pela distância entre o centro de gravidade do mesmo e o centro de flutuação, conforme mostrado na **figura 5.11**.

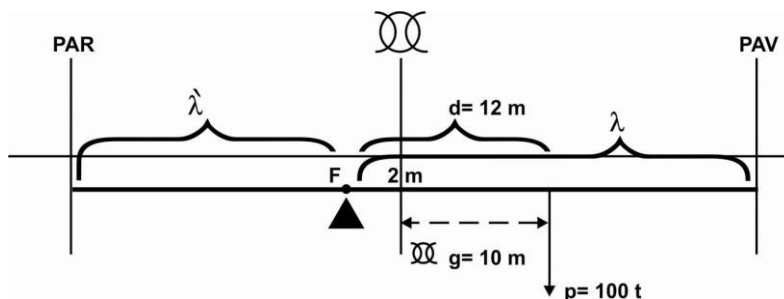


Figura 5.11

Assim, a distância é determinada da seguinte forma:

$$d = g + F$$

$d = 10 \text{ m} + 2 \text{ m} = 12 \text{ m.}$, essa é a distância do peso ao centro de flutuação, substituindo na fórmula $vt = (p \cdot d) / MCC$, temos:

$$vt = (100 \text{ t} \cdot 12 \text{ m}) / 120 \text{ t.m/cm} = 1200 \text{ t.m.} / 120 \text{ t.m/cm} = 10 \text{ cm}$$

5. Cálculo das variações a vante e a ré.

$$V_{av} = (\lambda \cdot vt) / L_{pp} = (62 \text{ m} \cdot 0,10 \text{ m}) / 120 \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

$$V_{ar} = (\lambda' \cdot vt) / L_{pp} = (58 \text{ m} \cdot 0,10 \text{ m}) / 120 \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

Na figura 51, acima, podem ser verificados como foram obtidos os valores de λ e λ'

6. Como o centro de gravidade do peso está localizado a vante do centro de flutuação, o valor da variação a vante deverá ser somado ao calado a vante e a variação a ré subtraída do calado a ré.

$$\begin{array}{ll}
 H_{av} = 5,02 \text{ m} & H_{ar} = 6,02 \text{ m} \\
 V_{av} = 0,05 \text{ m} & V_{ar} = - 0,05 \text{ m} \\
 \mathbf{H_{av} = 5,07 \text{ m}} & \mathbf{H_{ar} = 5,97 \text{ m}}
 \end{array}$$

O compasso é calculado pela fórmula: $t = H_{ar} - H_{av}$

$$t = 5,97 \text{ m} - 5,07 \text{ m} = \mathbf{0,90 \text{ m.}}$$

Quando ocorrerem desembarques, serão utilizadas as mesmas fórmulas. Entretanto, o sinal da emersão será negativo e os sinais das variações a vante e a ré serão positivos ou negativos em função da posição do centro de gravidade do peso estar a a ré ou avante do centro de flutuação.

5.4.2 Cálculo dos calados durante embarque ou desembarque de grandes pesos



Quando ocorrerem embarques ou desembarques de pesos consideráveis, 5% acima do deslocamento atual, não poderemos considerar constantes os valores hidrostáticos obtidos na tabela de dados hidrostáticos, nem utilizar o plano de compasso.

Para calcularmos os calados finais, teremos que calcular as posições finais do centro de gravidade do navio (LCG) e do centro de Carena (LCB), pois podem ocorrer as seguintes hipóteses:

- **BG = 0 (Figura 5.12)**

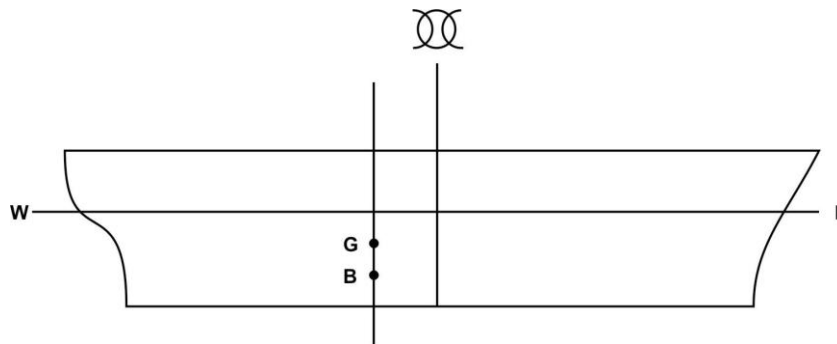


Figura 5.12

No cálculo, encontramos o centro de carena e o centro de gravidade do navio sobre uma mesma vertical, logo o navio estará em águas parelhas. Esta vertical poderá estar avante ou a ré da seção transversal a meio navio, assim como poderá coincidir com ela.

- ✓ **BG < 0 (Figura 5.13)**

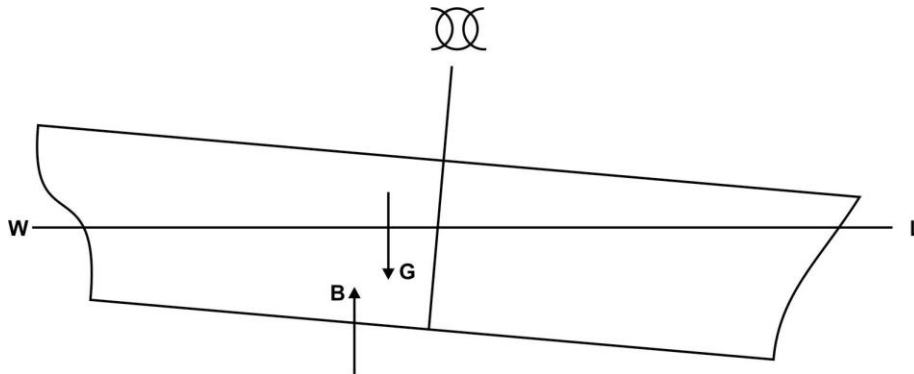


Figura 5.13

No cálculo, poderemos encontrar o centro de gravidade do navio **G** e o centro de carena **B**, **Figura 5.13**. Nesta situação, o navio embicará e o centro de carena procurará se posicionar na mesma vertical que o centro de gravidade do navio, ficando assim, compassado pela proa. É calculado pela fórmula: $vt = (\Delta \cdot BG) / MCC$, onde BG representa a distância longitudinal relativa que o centro de carena se desloca em relação à G. O valor de BG é determinado pela fórmula $BG = (G - B)$.

Com o centro de gravidade a vante do centro de carena, o navio embica e o **B** procura a sua nova posição, deslocando-se para vante até se posicionar na mesma vertical que **G**, quando o navio passa a ficar com o compasso negativo. **Figura 5.13**.

➤ **BG > 0 (Figura 5.14)**

Na terceira hipótese, o centro de gravidade do navio **G** se coloca a ré do centro de carena **B**.

O navio compassará para ré até que o centro de carena, deslocando-se para ré, se posicione na mesma vertical de **G**. A distância longitudinal relativa, que o centro de carena se deslocou, é representada por BG. Então, o navio ficará com um compasso pela popa, que poderá ser determinado pela fórmula:

$$vt = (\Delta \cdot BG) / MCC.$$

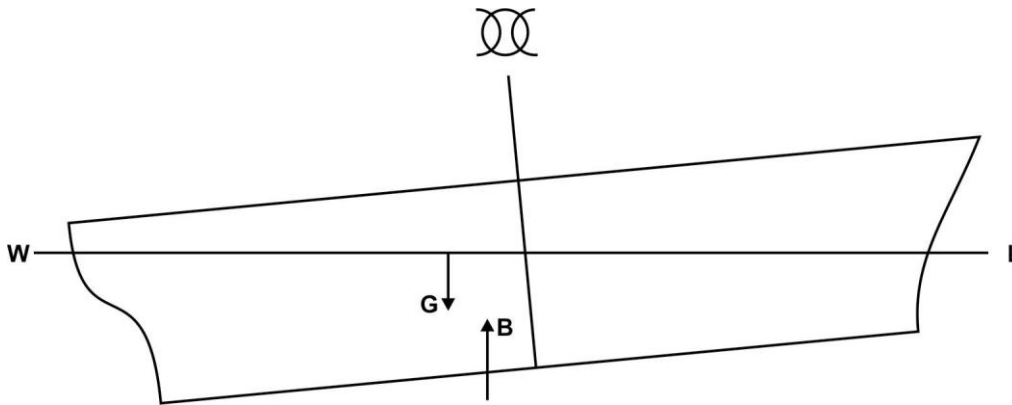


Figura 5.14

Na figura 5.14, **G** se encontra a ré de **B** com o navio derrabado. **B** desloca-se para ré até se posicionar na mesma vertical de **G**, quando isto ocorrer, o navio ficará derrabado.

Processo dos cálculos dos calados:

1. Calcula-se o afastamento longitudinal do centro de gravidade do navio carregado, aplicando-se o teorema de Varignon, obtendo-se $\chi(G)$ ou LCG quando calculado em relação a uma das perpendiculares;
2. Na tabela de dados hidrostáticos, utilizando-se o deslocamento final como elemento de entrada, são obtidos: o H_{med} , MCC, $\chi(B)$ ou LCB, e $\chi(F)$ ou LCF;
3. Determina-se a distância horizontal BG, aplicando a fórmula:

$$BG = \chi(G) - \chi(B);$$

4. Fazendo-se $BG = d$ e $p = \Delta$, substituindo na fórmula $vt = (p \cdot d) / MCC$, tem-se:

$$vt = (\Delta \cdot BG) / MCC$$

Com a fórmula de vt , calcula-se o trim; pois, neste caso, parte-se de um trim teórico igual a zero para o trim real do navio.

Esse trim terá sinal indicado pelas posições de **B** e **G**.

5. Determinam-se as variações a vante e a ré pelas fórmulas:

$$vav = (\lambda \cdot vt) / Lpp \quad \text{e} \quad var = (\lambda' \cdot vt) / Lpp ; \text{ e}$$

6. Aplicando-se essas variações ao calado médio (H_m), obtém-se respectivamente os calados a vante e a ré.

A seguir, resolveremos um exercício com a determinação dos calados finais depois do recebimento de óleo pesado, óleo diesel, água potável e lastro. Deve-se considerar o navio carregado e pronto para iniciar a viagem.

Exemplo 1:

Um navio graneleiro, cujo comprimento entre perpendiculares é 108 m, encerrou as operações de carga deslocando 8263 t com seu centro de gravidade a 2 metros a ré da seção transversal a meio navio. Após encerrar as operações de carga, o navio deverá receber óleo, aguada e lastro conforme tabela abaixo. **Calcule** os calados e compasso finais.

Solução:

Descrição	Peso	Δ g	Momento Longitudinal
Deslocamento	8263 t	2 m	16526 t . m
O.C.TK- 4 LC	300 t	5 m	1500 t . m
O.C.TK- 5 LC	200 t	10 m	2000 t . m
O.D.TK- 9 LC	100 t	15 m	1500 t . m
A.D. TK- 2 BB	150 t	- 20 m	- 3000 t . m
LASTRO A.S PTK A VANTE	200 t	- 52 m	- 10400 t . m
	9213 t		Σ ML 8126 t . m

Verificamos que os pesos embarcados ultrapassam 5% do deslocamento atual, portanto, devemos considerar como grandes, pesos e devemos seguir os seguintes passos:

- O primeiro passo é calcular o valor da distância longitudinal do centro de gravidade do navio em relação à seção transversal a meio navio, aplicando a fórmula:

$$\Delta(G) = \Sigma ML / \Delta;$$

$$\Delta(G) = 8126 \text{ t.m} / 9213 \text{ t} = 0,88 \text{ m}.$$
- Com o deslocamento de 9213 t, consultando a tabela de dados hidrostáticos, que não corresponde ao anexo 1, foram obtidos os seguintes valores: $H_{med} = 6,10 \text{ m}$, $\Delta(B) = -1,12 \text{ m}$, $MCC = 104 \text{ t.m}$ e $\Delta(F) = 1 \text{ m}$;
- Cálculo do BG

$$BG = \Delta(G) - \Delta(B)$$

$$BG = 0,88 \text{ m} - (-1,12 \text{ m}) = 2,00 \text{ m};$$
- Verificamos que o centro de gravidade do navio **G** está a ré do centro de carena **B**, portanto o navio deverá ficar derrabado;
- Cálculo das variações a vante e a ré.
Inicialmente, calculamos a variação do compasso ou trim e os valores de λ e λ' .

Para o cálculo da variação do trim, aplicaremos a fórmula:

$$Vt = (\Delta \cdot BG) / 100MCC$$

$$Vt = \frac{9213t \times 2m}{104 t.m \times 100} = 1,77m$$

Verifiquem que o valor do MCC foi multiplicado por 100 para que a vt seja expressa em metros.

Para calcularmos as variações dos calados utilizaremos as fórmulas conhecidas, que são:

$$Vav = (\lambda \cdot vt) / Lpp \quad e \quad Var = (\lambda' \cdot vt) / Lpp$$

$$Vav = (55 m \cdot 1,77 m) / 108 m = \mathbf{0,90 m}$$

$$Var = (53 m \cdot 1,77 m) / 108 m = \mathbf{0,87 m}$$

6. Cálculo dos calados finais e compasso:

Como sabemos que o navio deverá ficar derrabado, somaremos a variação a ré no calado médio e subtrairemos a variação a vante no calado médio, como segue abaixo:

$$Hmed = 6,10 m \quad Hmed = 6,10 m$$

$$Vav = -0,90 m \quad Var = 0,87 m$$

$$Hav = 5,20 m \quad Har = 6,97 m$$

O compasso é calculado pela fórmula: $t = Har - Hav$

$$t = 6,97 m - 5,20 m \Rightarrow \mathbf{t = 1,77 m}$$

Estudaremos, a seguir, a aplicação do plano de compasso nos cálculos de calados quando são embarcados pequenos pesos. Verificaremos que ele substitui os cálculos analíticos e os seus resultados são plenamente corretos e por um processo rápido, quando utilizado nas operações de transferências, embarques e desembarques de óleo pesado, óleo diesel, água potável e operações de lastro e deslastro de água tanto salgada como doce, além de embarque de cargas com pequenos pesos.

5.5 PLANO DE COMPASSO



É um plano operacional, **Anexo 5**, destinado aos cálculos das variações a vante e a ré, que deverão ser somados ou subtraídos dos calados iniciais por ocasião de remoção, embarque ou desembarque de pequenos pesos que serão considerados quando a sua somatória for igual ou menor do que 5% do deslocamento no momento da operação efetuada. Ele é projetado para a embarcação flutuando em água salgada de peso específico $1025 t/m^3$; sua vista é de perfil; e nele constará o peso, em toneladas métricas, para cujo embarque foi calculado, normalmente o peso considerado é de 100 t.

No plano de base, estão assinalados os números das cavernas e os compartimentos de óleo, aguada e lastro para identificação do centro de gravidade de cada tanque, que corresponde a cada coluna onde estão assinaladas as variações dos calados.

A partir da esquerda, na primeira coluna, estão assinalados os valores dos calados médios entre 2,00 m e 15,00 m; e na segunda coluna as variações **av** e a **ré** é, a seguir, os valores numéricos dessas variações.

Os sinais (positivo e negativo) indicam quando o valor da variação deve ser somado ou subtraído dos calados iniciais.

Para se obter os valores das variações a vante e a ré, opera-se da seguinte forma: plotada a posição do peso de 100 t, que é localizada a partir do seu centro de gravidade, baixa-se uma perpendicular até encontrar os valores das V_{av} e V_{ar} com seus respectivos sinais, correspondentes ao calado médio de entrada que foi selecionado na primeira coluna da esquerda.

Nos cálculos dessas variações, que são chamadas de totais, estão incluídos o resultado da soma das variações a vante e a ré com o valor da imersão paralela. Como já foi mencionado anteriormente, os valores das variações **av** e **a ré** foram calculados para cada 100t embarcadas; portanto, se forem embarcados pesos diferentes de 100 t, arma-se uma proporção da seguinte forma: $V_{av}/100 = \text{Variação real}/\text{peso embarcado}$. Na proporção acima, a variação do calado a vante foi obtida no plano de compasso e a variação real é o valor que desejamos calcular para aplicar ao calado inicial. O mesmo procedimento deve ser adotado para o cálculo da variação real a ré.

A seguir, verificaremos a aprendizagem através de alguns exercícios propostos considerando: embarque, desembarque e remoção de pesos.

5.5.1 Aplicação do plano de compasso para efetuar os cálculos dos calados finais após embarque de peso

Exemplo 1:

Num navio graneleiro, classe Panamax, o Chefe de Máquinas mandou lastrear o tanque de colisão a ré com 200 t de água doce. Antes da operação de lastro, o calado a vante era 6,50m e o calado a ré era 7,50 m.

Calcule os calados finais ao término desta operação.

Solução:

Para efetuar os cálculos, será utilizado o plano de compasso, conforme **Anexo 5**.

Verificamos que as variações dos calados são para cada 100 t de peso embarcado.

Inicialmente, determinamos o calado médio, que é a média aritmética dos calados a vante e a ré, portanto, 7,00 m.

Conforme já foi explicado nesta aula, na primeira coluna da esquerda, estão expressos os valores dos calados médios, que devem ser utilizados para determinarmos as variações dos calados. Ao consultarmos o plano de compasso do Anexo 5, localizamos o tanque de colisão a ré e, baixando uma perpendicular até cruzar a linha horizontal referente ao calado médio de 7,00 m, verificamos que os valores das V_{av} e V_{ar} para cada 100 t embarcadas são respectivamente: $-4,2$ cm e $+7,7$ cm.

É fácil calcular as variações totais, pois como foram embarcadas 200 t, multiplicamos por dois as variações encontradas, ou seja:

$$V_{av} = 2 \times (-4,2 \text{ cm}) = -8,4 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad -0,08 \text{ m}$$

$$V_{ar} = 2 \times (+7,7 \text{ cm}) = +15,4 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad +0,15 \text{ m}$$

Os calados finais são assim determinados:

$$H_{av} = 6,50 \text{ m} \quad H_{ar} = 7,50 \text{ m}$$

$$V_{av} = -0,08 \text{ m} \quad V_{ar} = 0,15 \text{ m}$$

$$H_{av} = 6,42 \text{ m} \quad H_{ar} = 7,65 \text{ m}$$

No exemplo acima foi considerado apenas o embarque de um peso. Se ocorrerem os embarques de diversos pesos o método é o mesmo, apenas teremos que fazer a soma algébrica das variações e aplicaremos aos calados iniciais.

5.5.2 Aplicação do plano de compasso após embarque e desembarque de pesos

Exemplo 2:

Num navio graneleiro, classe Panamax, cujos calados conhecidos são: $H_{av} = 3,80$ m e $H_{ar} = 6,20$ m, foram feitas as seguintes operações de lastro e deslastro, nos seguintes tanques:

Tanque de colisão a ré: lastrado com 200 t;

Tanque de colisão a vante lastrado com 280 t; e

Tanque nº 1 /DF deslastro com 200 t.

Calcule os calados finais após essas operações de lastro e deslastro.

Solução:

O primeiro passo é calcular o calado médio para utilizá-lo como elemento de entrada no plano de compasso. Verificamos que o calado médio é 5,00 m, pois é a média aritmética entre os calados a vante e a ré.

Inicialmente, localizaremos na primeira coluna da esquerda, o valor do calado médio de 5,00 m para a determinação das variações a vante e a ré.

Localizamos no plano de compasso esses tanques baixando uma perpendicular até cruzar com a linha do calado médio correspondente de 5,00 m. Verificamos, então, as seguintes variações totais para cada 100 t embarcadas:

Tanque de colisão a ré.

$$V_{av} = -4,4 \text{ cm} \quad Var = +8 \text{ cm}$$

Como foi lastrado com 200 t, multiplicamos essas variações por 2, ou seja:

$$V_{av} = 2 \times (-4,4 \text{ cm}) = -8,8 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad -0,09 \text{ m}$$

$$Var = 2 \times (+8 \text{ cm}) = +16 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad +0,16 \text{ m}$$

Tanque de colisão a vante:

$$V_{av} = +6,7 \text{ cm} \quad Var = -4,1 \text{ cm}$$

O tanque foi lastrado com 280 t, portanto, as variações totais são:

$$V_{av} = 2,8 \times (+6,7) = +18,76 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad +0,19 \text{ m}$$

$$Var = 2,8 \times (-4,1 \text{ cm}) = -11,48 \text{ cm} \quad \text{ou} \quad -0,11 \text{ m}$$

Tanque nº 1 – FD - Lastro:

$$V_{av} = -5,7 \text{ cm} \quad Var = +3 \text{ cm.}$$

Como foi efetuada uma operação de deslastro (desembarque), os sinais que são determinados no plano de compasso são invertidos conforme mostrado acima.

Considerando que foram deslastradas 200 t, os valores das variações são multiplicados por 2, portanto temos:

$$V_{av} = 2 \times (-5,7 \text{ cm}) = -11,4 \text{ cm ou } -0,11 \text{ m}$$

$$V_{ar} = 2 \times (+3 \text{ cm}) = +6,0 \text{ cm ou } +0,06 \text{ m}$$

Para a determinação das variações totais, fazemos as somas algébricas, como abaixo:

$$V_{av} = -0,09 + 0,19 \text{ m} + (-0,11 \text{ m}) = -0,01 \text{ m}$$

$$V_{ar} = +0,16 \text{ m} + (-0,11) + (0,06) = +0,11 \text{ m}$$

$$H_{av} = 3,80 \text{ m} \quad H_{ar} = 6,20 \text{ m}$$

$$V_{av} = -0,01 \text{ m} \quad V_{ar} = +0,11 \text{ m}$$

$$H_{av} = 3,79 \text{ m} \quad H_{ar} = 6,31 \text{ m}$$

5.5.3 Aplicação do plano de compasso após transferência de peso a bordo

Exemplo 3:

Calcule os calados finais num navio graneleiro após a transferência de 300 t de água doce do tanque de colisão a vante para o tanque de colisão a ré, sabendo-se que os calados iniciais eram: $H_{av} = 10 \text{ m}$ e $H_{ar} = 8 \text{ m}$.

Solução:

O primeiro passo é calcular o calado médio, ou seja, $H_{med} = (H_{av} + H_{ar})/2$.

$$H_{med} = (8 \text{ m} + 10 \text{ m})/2 = 9,00 \text{ m}.$$

Consultando o plano de compasso, Anexo 5, encontramos, na primeira coluna da esquerda, o valor do calado médio de 9,00 m e, no campo correspondente às V_{av} e V_{ar} , referentes aos centros de gravidade do tanque colisão a vante para o tanque de colisão a ré. Passos a seguir:

Com o calado médio de 9 m, verificamos que a variação a vante é 6,5 cm e a variação a ré 3,8cm; invertendo-se os sinais da tabela, porque devemos efetuar uma operação de desembarque, pois são transferidas 300 t, devemos multiplicar esses valores por 3, assim temos: $V_{av} = -19,5 \text{ cm}$ ou $-0,195 \text{ m}$ e $V_{ar} = 3,8 \text{ cm}$ ou $11,4 \text{ cm}$, transformando-se em metros, temos: 0,114 m.

A seguir, embarcamos as 300 t no tanque de colisão a ré. Consultando a tabela do plano de compasso, verificamos que a variação a vante é 4,1 cm e a variação a ré 7,3 cm. Devemos multiplicar esses valores por 3, pois estamos embarcando 300 t, porque sabemos que os valores apresentados na tabela são para cada 100 t embarcadas. Assim, temos convertidos para metros, $V_{av} = 0,123 \text{ m}$ e $V_{ar} = 0,219 \text{ m}$. Verificando-se que embarcamos o lastro no tanque de colisão a ré, consideramos o sinal da variação a vante (-) e o sinal da variação a ré é (+).

Para calcularmos os calados finais, fazemos a soma algébrica das V_{av} e V_{ar} e aplicamos esses valores aos calados iniciais, ou seja:

$$V_{av} = -0,195 \text{ m} + (-0,123 \text{ m}) = -0,318 \text{ m}$$

$$V_{ar} = +0,114 \text{ m} + (+0,219 \text{ m}) = +0,333 \text{ m}$$

$H_{av} = 10 \quad m$	$H_{ar} = 8 \quad m$
$V_{av} = - 0,318 \quad m$	$V_{ar} = 0,333 \quad m$
$H_{av} = 9,682 \quad m$	$H_{ar} = 8,333 \quad m$

5.6 ESFORÇOS ESTRUTURAIS LONGITUDINAIS

5.6.1 Efeitos dos esforços longitudinais

Vamos agora estudar os fatores que provocam esforços longitudinais, quais são as suas conseqüências sobre o casco do navio e as formas de minimizá-los.

Este assunto está intimamente ligado à forma correta de carregamento nos porões, de abastecimento de óleo combustível, aguada e, principalmente, quando há necessidade de se efetuar operação de lastro nos tanques de fundo-duplo, tanques de colisão e tanques elevados.

Forças Deformadoras

Um navio pode sofrer influências de forças que tendem a deformar sua estrutura, dentre essas forças podemos destacar:



- O peso do casco, do combustível, da aguada, da carga, dos acessórios de convés e das máquinas e de outros pesos existentes a bordo;
- A força de empuxo;
- Os efeitos do mar e do vento, que causam os balanços, caturros e arfagem; e
- As ações das máquinas e do propulsor quando em movimento.

Como podemos verificar, a estrutura do casco deve ser de tal forma reforçada para que possa suportar as forças deformadoras, não só pela resistência e qualidade do material que a constituem, como também pelos reforços estruturais.

No nosso estudo apenas nos reportaremos aos esforços estruturais longitudinais.

Esforços Longitudinais



Eles causam flexão no casco no sentido do comprimento do navio, provocando no próprio casco deformações chamadas de alquebramento e contra-alquebramento, conforme as **Figuras 5.15 e 5.16**.

O alquebramento ocorre quando são concentrados mais pesos nas extremidades e menos força de empuxo nesta região.

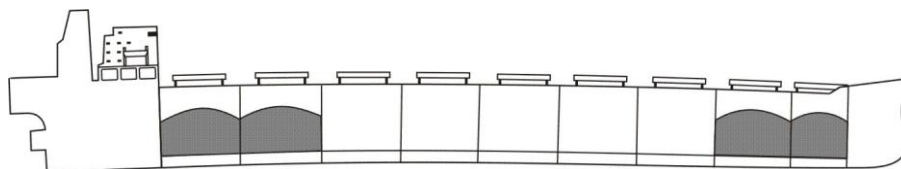


Figura 5.15

O contra-aquebramento ocorre quando são concentrados mais peso a meio navio e menos força de empuxo nesta região.

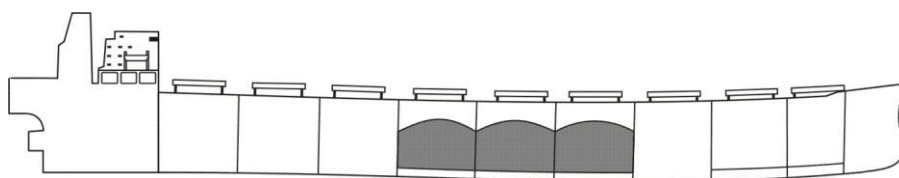


Figura 5.16



Figura 5.17

Na **Figura 5.17**, pode se constatar o naufrágio de um navio, que sofreu o efeito de força cortante, partindo o casco na altura da seção a meio navio.

Na **Figura 5.18**, analisando-se os valores dos calados médio e a meio navio; calculando-se a diferença entre esses dois valores, é possível verificar que no navio ocorre uma flecha causada pela flexão do casco, mostrando que o navio **está alquebrado**.

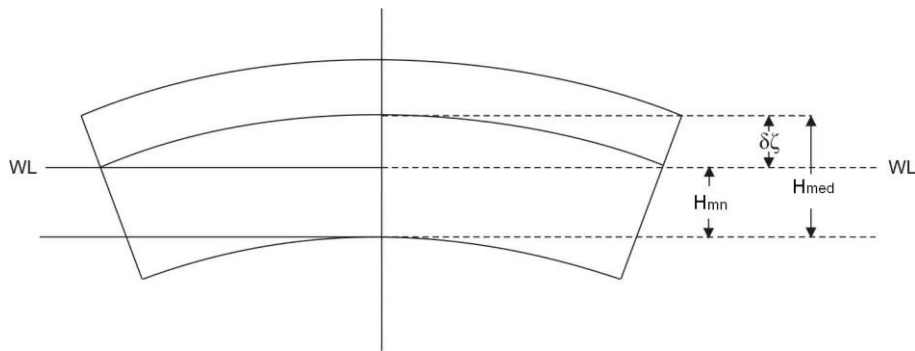


Figura 5.18

Quando o calado médio é maior que o calado a meio navio.

O contra-alquebramento pode ser constatado na **Figura 5.19**, analisando os valores dos calados médio e a meio navio. A diferença entre esses dois calados determina uma flecha que possibilita verificar a curvatura do casco face a esse contra-alquebramento.

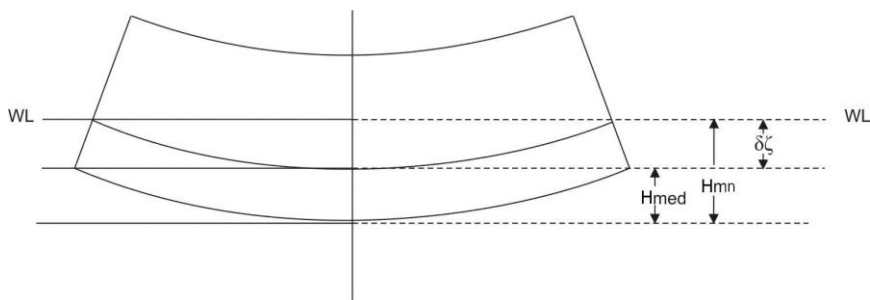


Figura 5.19

Quando o calado médio é menor do que o calado a meio navio.

A seguir mostraremos dois exercícios onde poderemos constatar as condições de alquebramento e contra-alquebramento analisando os valores dos calados médio e a meio navio.

Exemplo 1:

Um navio graneleiro, ao final da construção, lastrou os tanques de colisão a vante e a ré, quando foram constatados os seguintes calados: $H_{med} = 5,25$ m e o $H_{mn} = 4,15$ m. **Identifique** o esforço de flexão do casco.

Considerando que o calado médio é maior do que o calado a meio navio, identifica-se que o navio está alquebrado.

Exemplo 2:

Num navio de carga geral, ao final de uma operação de lastro, foram verificados os seguintes calados: $H_{med} = 5,80$ m e $H_{mn} = 6,70$ m. **Identifique** o esforço de flexão do casco.

Verificamos que o calado médio é menor do que o calado a meio navio e, portanto, o navio está contra-alquebrado.

Quando o calado médio é igual ao calado a meio navio, o valor da flecha é zero e o navio não apresenta flexão do casco.

Quando é identificada a condição de alquebramento ou contra-alquebramento, o imediato pode consultar o caderno de estabilidade para efetuar a operação de lastro adequada ou mesmo uma operação de carga, sem causar deformação no casco.

5.7 REFORÇOS ESTRUTURAIS

Vamos verificar quais os reforços estruturais aplicáveis ao navio e as formas pelas quais podemos aumentar a resistência estrutural de modo a permitir que ele resista às forças deformadoras.

5.7.1 Reforços estruturais e formas de evitar a deformação do casco



Reforços Longitudinais

As estruturas que suportam os esforços longitudinais são, principalmente: a chapa do trincaniz, a quilha, a chapa do convés, as longarinas, os vaus e as sicordas, **Figura 5.20**.

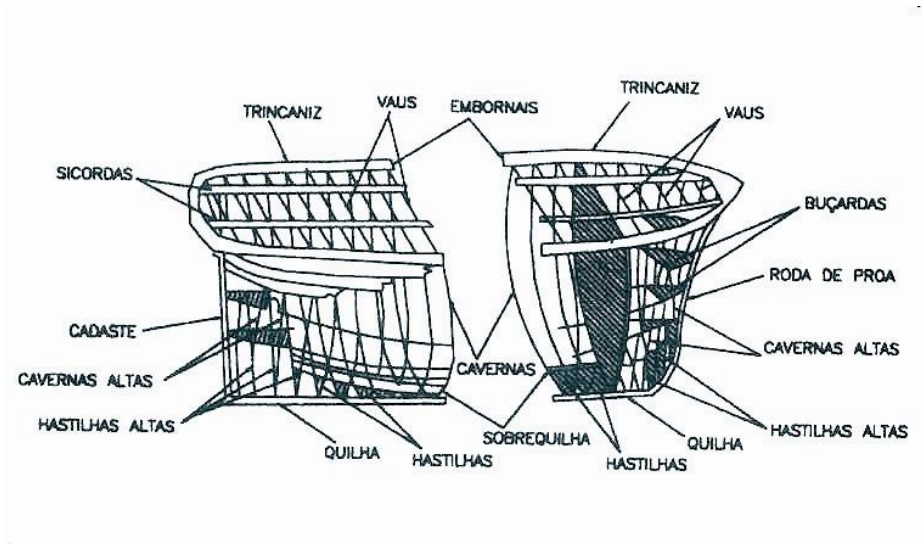


Figura 5.20

Para ser evitada a deformação do casco, a fim de que ele suporte as forças deformadoras, deve ser efetuada corretamente uma distribuição longitudinal de pesos.



Teste de auto-avaliação da unidade 5

Faça o que se pede nos itens abaixo.

- 5.1) No navio graneleiro “Doce Alfa”, o imediato, ao interromper um carregamento de grãos, verificou que os calados lidos no costado eram $Hav = 7,06$ m, $Har = 7,38$ m e $Hmn = 7,48$ m. **Informe** se o navio está alquebrado ou contra-alquebrado e **por quê?**
- 5.2) No navio graneleiro “Sirius”, cujos calados lidos são $Hav = 4,80$ m e $Har = 5,2$ m, o chefe de máquinas determinou que o tanque de colisão a ré fosse lastrado com 400 t de água doce.

Calcule os calados finais após essa operação de lastro. Utilize o plano de compasso (Anexo 5)

- 5.3) Um navio flutua com $Hav = 5,40$ m e $Har = 6,86$ m. **Determine:**
- calado médio; e
 - compasso.
- 5.4) Um navio flutua com $Hav = 5,00$ m, $Har = 6,00$ m. Depois de operações de carga, o navio ficou com os $Hav = 5,8$ m, $Har = 6,20$ m. **Calcule** os calados médios e os compassos antes e depois da operação de carga, a imersão e a variação do compasso causados por essas operações.
- 5.5) **Calcule** o calado médio e o compasso de um navio que tem : $Hav = 5,20$ m, $Har = 4,60$ metros. Do mesmo modo, **calcule** o valor da alteração do compasso, tendo em vista que depois da operação de carga o navio ficou com $Hav = 5,80$ m e $Har = 5,40$ m.
- 5.6) Um navio tem $Hav = 5,96$ m e $Har = 6,16$ m. Depois de operações de carga e descarga o navio ficou com $Hav = 5,59$ m $Har = 5,39$ m. **Determine** os calados médios e compassos antes e depois das operações, a variação no compasso e a imersão (ou emersão).
- 5.7) O deslocamento leve de um navio de 128 m de comprimento é 4300 t e o centro de gravidade está 62 m a partir da perpendicular de ré. **Determine** os calados finais após o embarque dos seguintes pesos:

Nome	Peso	Distância à AP
Água de lastro	1600 t	65,5 m

Combustível	1000 t	61,0 m
Água doce	200 t	64,0 m

O calado médio de 4,8 m estabelece deslocamento = 7100 t;

χ B = - 1 m;

χ F = + 2 m;

MCC = 110 t.m/cm

- 5.8) **Determine** a que distância do plano transversal de meio navio um peso pode ser embarcado ou desembarcado sem alterar o calado a ré. O comprimento do navio é 90 m, TPC = 6,6 t, MCC = 40 t.m e χ F = + 5,5 m.
- 5.9) O deslocamento leve de um navio de 140 m de comprimento é 4175 t e seu centro de gravidade está 2,5 m AR de MN. Seu deslocamento máximo é de 16700 t com um calado correspondente de 8,75 m. O porte bruto tem seu centro de gravidade 1,2 m AV de MN.
- a) **Determine** os Hav e Har para o deslocamento máximo, sabendo-se que para essa condição: TPC = 20 t/cm, MCC = 140 t.m, χ B = - 1,2 m, χ F = + 3 m.
- b) Depois de totalmente carregado navio seguiu viagem na qual consumiu 600 t de combustível com χ g = - 25 m. **Determine** os calados na chegada ao próximo porto.
- 5.10) Um navio de 150 m de comprimento flutua em calado uniforme de 8,20 m. Um peso de 200 t é embarcado a 29 m a vante de meio navio. O centro de flutuação está 3 m AR de MN; MCC = 400 t.m, TPC = 50 t.
- Determine** os novos calados AV e AR.
- 5.11) Um navio de 125 m de comprimento chega a um porto com calados de 6,2 m (águas parselhas): MCC = 110 t.m, TPC = 16 t e χ F = - 2m. Foram desembarcados os seguintes pesos: 440 t (χ g = - 12 m) e 180 t χ g = + 28 m). **Calcule** os calados finais.
- 5.12) Um navio de 132 m de comprimento flutua com Hav = 7,2 m Har = 7,8 m AR. Nessa condição TPC = 24 t, MCC = 160 t.m, χ F = - 1,2 m. Quando um peso é desembarcado do navio de um ponto a 60 m AR do centro de flutuação (F), o calado na popa passa a ser 7,57 m. Qual o valor do peso e do calado final a vante?
- 5.13) Um navio flutua em Hav = 8,2 m e Har = 8,6 m. O centro de flutuação está a MN. **Determine** os novos calados AV e AR quando os seguintes pesos forem desembarcados:

30 t	25 m	AR de MN
45 t	38 m	AR de MN
60 t	2 m	AR de MN
20 t	12 m	AV de MN
80 t	45 m	AV de MN

sendo $MCC = 180 \text{ t.m}$ e $TPC = -20 \text{ t/cm}$.

- 5.14) **Determine** que peso colocado a 8 m AV de MN terá o mesmo efeito que um peso de 15 t colocado a 10 m da perpendicular de vante, sendo o comprimento do navio 120 m e o centro e flutuação estando 2 m AV de MN.
- 5.15) Um navio de 107,5 m de comprimento, 14,6 m de boca, está com calado em água salgada 6 m AV e 6,8 m AR; $TPC = 15 \text{ t/cm}$; $MCC = 90 \text{ t.m}$; $\chi F = -2 \text{ m}$. São descarregadas:
- Porão 1: 60 t com centro de gravidade 42 m a vante de MN
- Porão 2: 80 t com centro de gravidade 12 m a vante de MN
- Porão 3: 70 t com centro de gravidade 12 m a ré de MN
- Calcule** os calados após a operação de descarga.

Finalmente chegamos ao fim do nosso estudo de estabilidade.

Agora, faça uma revisão geral de todas as unidades de ensino e procure tirar eventuais dúvidas que ainda possam existir com o tutor da disciplina.

RESPOSTAS DOS TESTES DE AUTO-AVALIAÇÃO



TESTE DE AUTO-AVALIAÇÃO DA UNIDADE 1

- 1.1) 10^4 N
- 1.2) $0,75 \text{ g/cm}^3$
- 1.3) 16 N
- 1.4) é menor que $7,85 \text{ g/cm}^3$
- 1.5) 0,5



TESTE DE AUTO-AVALIAÇÃO DA UNIDADE 2

- 2.1) 560 m^2 .
- 2.2) 220 m^2 .
- 2.3) $122,85 \text{ m}^2$.
- 2.4) 78,41 t.
- 2.5) 1158,25 t.
- 2.6) 4,5 litros.
- 2.7) 36,504 t.
- 2.8) $16,9 \text{ m}^3$.
- 2.9) 0,65.
- 2.10) 6 m.
- 2.11) 0,86.



TESTE DE AUTO-AVALIAÇÃO DA UNIDADE 3

- 3.1) 43500 m^3 .
- 3.2) 7992 m^3 .
- 3.3) 10200 t ; 5720 t ; 4300 t ; 8780 t ; 1420 t ; 4480 t ; zero.
- 3.4) 4065 t ; 5200 t ; 4135 t .
- 3.5) 8255 m^3 ; $8461,9 \text{ t}$.



TESTE DE AUTO-AVALIAÇÃO DA UNIDADE 4

- 4.1) $8,24\text{m}$.
- 4.2) $7,25\text{m}$.
- 4.3) 480 t .
- 4.4) 51° ; 99° .
- 4.5) $35,5^\circ$; $59,5^\circ$.
- 4.6) $0,21\text{m}$; $\text{GMc} = 1,64 \text{ m}$.
- 4.7) $1^\circ 36'$ BE.
- 4.8) $4,94 \text{ m}$.
- 4.9) $15^\circ 11'$ BE.
- 4.10) $1^\circ 34'$ BE.
- 4.11) $5,73 \text{ m}$.
- 4.12) $1,60 \text{ m}$.
- 4.13) $1032,9 \text{ m}^3$.



TESTE DE AUTO-AVALIAÇÃO DA UNIDADE 5

- 5.1) Navio está contra-alquebrado porque $HMED < HMN$.
- 5.2) 4,48m; 5,38m.
- 5.3) 6,13m; 1,46m.
- 5.4) 5,50m; 1m; 6m; 0,40m; 0,50m.
- 5.5) 4,9m; 0,6m; 0,20m.
- 5.6) 6,06m; 5,49m; 0,20m pela popa; 0,20m pela proa; 0,40m pela popa; 0,57m.
- 5.7) 4,04m; 5,52m.
- 5.8) 8,31m a vante da seção a meio navio.
- 5.9) a) 8,17m e 9,28m; b) 7,25m e 9,55m.
- 5.10) 8,32m; 8,16m
- 5.11) 8,85m; 5,76m.
- 5.12) 96 t; 7,34m.
- 5.13) 8,05m; 8,52m.
- 5.14) 120 t.
- 5.15) 5,74m; 6,79m.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Ministério da Marinha. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. **Estabilidade**. Elab. [por] José Roberto Steinberger; François Armand de Souza; Sidnei Esteves Pereira e Henrique de Freitas Guimarães. 1. ed. Rio de Janeiro: CIAGA, 1990. 218p. il.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Estabilidade**. Rio de Janeiro: DPC, 1996. Módulo 1, Ensino à Distância.

GOMES, Carlos Rubens Caminha. **Arquitetura Naval para Oficiais da Marinha Mercante**. 3. ed. Rio de Janeiro: Sindicato dos Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, 1981. 422 p. il.

SEARS e ZEMANSKY. **Física II**. Editora Addison Wesley, 2003. Atualizada [por] Hugh D. Young e Roger A. Freedman.

CARRON, Wilson e GUIMARÃES, Oswaldo. **As faces da Física**. Editora Moderna

DALTON GONÇALVES et al. **Testes orientados de Física**. Ao Livro Técnico, 1974.

ANEXO 1

TABELA DE DADOS HIDROSTÁTICOS

<i>dm (m)</i>	<i>Δ (t)</i>	<i>TPC (t)</i>	<i>MCC (t.m)</i>	<i>KM (m)</i>	<i>KB (m)</i>	<i>LCB (m)</i>	<i>LCF (m)</i>
2,00	3695	20,13	127,2	16,72	1,03	71,67	70,73
2,20	4100	20,30	129,6	15,31	1,13	71,57	70,58
2,40	4509	20,44	131,8	14,24	1,24	71,47	70,44
2,60	4919	20,57	133,9	13,39	1,35	71,38	70,29
2,80	5331	20,71	136,0	12,64	1,45	71,29	70,17
3,00	5745	20,83	137,9	12,06	1,56	71,20	70,04
3,20	6163	20,94	139,,8	11,57	1,66	71,12	69,91
3,40	6584	21,06	141,6	11,14	1,76	71,03	69,79
3,60	7005	21,18	143,3	10,77	1,87	70,95	69,67
3,80	7431	21,28	145,0	10,45	1,97	70,88	69,55
4,00	7859	21,39	146,7	10,15	2,07	70,81	69,43
4,20	8288	21,48	148,5	9,90	2,17	70,73	69,31
4,40	8719	21,59	150,3	9,66	2,28	70,65	69,19
4,60	9150	21,69	152,0	9,46	2,38	70,58	69,97
4,80	9586	21,79	153,8	9,28	2,49	70,51	68,95
5,00	10022	21,89	155,6	9,13	2,59	70,44	68,82
5,20	10460	21,99	157,6	8,99	2,70	70,37	68,69
5,40	10903	22,09	159,7	8,87	2,80	70,30	68,56
5,60	11346	22,19	162,0	8,76	2,91	70,23	68,42
5,80	11790	22,29	164,4	8,66	3,02	70,16	68,28
6,00	12235	22,41	167,1	8,60	3,12	70,09	68,11
6,20	12684	22,52	169,9	8,55	3,22	70,02	67,93
6,40	13135	22,64	172,7	8,50	3,33	69,95	67,75
6,60	13590	22,77	175,7	8,47	3,43	69,87	67,53
6,80	14047	22,90	178,7	8,44	3,54	69,79	67,31
7,00	14507	23,03	181,6	8,41	3,65	69,70	67,08
7,20	14968	23,17	184,6	8,40	3,75	69,62	66,86
7,40	15432	23,30	187,6	8,40	3,86	69,53	66,64
7,60	15900	23,43	190,5	8,41	3,97	69,44	66,44
7,80	16369	23,55	193,5	8,42	4,07	69,35	66,25
8,00	16841	23,67	196,4	8,44	4,18	69,27	66,08
8,20	17315	23,78	199,3	8,45	4,29	69,17	65,91
8,40,	17794	23,90	202,1	8,46	4,40	69,08	65,76
8,60	18273	24,01	204,9	8,47	4,50	68,99	65,61
8,80	18754	24,12	207,5	8,48	4,61	68,91	65,47
9,00	19238	24,22	210,1	8,51	4,71	68,82	65,34
9,20	19723	24,32	212,6	8,53	4,82	68,73	65,21

9,40	20209	24,43	215,1	8,57	4,93	68,64	65,09
9,60	20700	24,52	217,5	8,62	5,04	68,56	64,96
9,80	21191	24,61	219,9	8,67	5,16	68,47	64,87
10,00	21683	24,70	222,2	8,72	5,27	68,39	64,69

ANEXO 2

TABELA DA CORREÇÃO DA SUPERFÍCIE LIVRE

Tanque Número	Caverna Número	Momento de Inércia (i) m ⁴	Água de Lastro 1,025.i t.m ⁴	Água Doce de l. i t.m ⁴	Óleo Combustível 0,9.i t. m ⁴	Óleo Lubrificante 0,9.i t.m ⁴	Óleo Vegetal 0,92.i t.m ⁴
1 – FD C	138-159	4187	4291,7				
2 – FD C	99-138	968	992,2		871,2		
2 – FD BB	99-138	633	642,8				
2 – FD BE	99-138	633	648,8				
3 – FD C	53- 99	1142			1027,8		
3 – FD BB	53- 99	696			626,4		
3 – FD BE	53- 99	696			626,4		
4 – FD BB	43- 53	121			108,9		
4 – FD BE	43- 53	121			108,9		
5 – FD BB	38- 42	33		33			
5 – FD BE	38- 42	33		33			
7 – FD C	38- 50	7,6				6,8	
11 – C	169- FP	451,6	462,9				
22 – C	89- 99	5290	5422,2				
21 – C	84- 89	174,5	178,8				160,5
21 – BB	84- 89	120	123,0				110,4
21 – BE	84- 89	120	123,0				110,4
6 – BB	17- 37	289	296,2		260,1		
6 – BE	17- 37	289	296,2		260,1		
12 – C	9- AP	322	330,1	322			

ANEXO 3

TABELAS DE RAZÕES TRIGONOMÉTRICAS

<i>Ang.</i>	<i>sen</i>	<i>cos</i>	<i>tg</i>	<i>Ang.</i>	<i>sen</i>	<i>cos</i>	<i>tg</i>
1°	0,017	1,000	0,017	46°	0,719	0,695	1,036
2°	0,035	0,999	0,035	47°	0,731	0,682	1,072
3°	0,052	0,999	0,052	48°	0,743	0,669	1,111
4°	0,070	0,998	0,070	49°	0,755	0,656	1,150
5°	0,087	0,996	0,087	50°	0,766	0,643	1,192
6°	0,105	0,995	0,105	51°	0,777	0,629	1,235
7°	0,122	0,993	0,123	52°	0,788	0,616	1,280
8°	0,139	0,990	0,141	53°	0,799	0,602	1,327
9°	0,156	0,988	0,158	54°	0,809	0,588	1,376
10°	0,174	0,985	0,176	55°	0,819	0,574	1,428
11°	0,191	0,982	0,194	56°	0,829	0,559	1,483
12°	0,208	0,978	0,213	57°	0,839	0,545	1,540
13°	0,225	0,974	0,231	58°	0,848	0,530	1,600
14°	0,242	0,970	0,249	59°	0,857	0,515	1,664
15°	0,259	0,966	0,268	60°	0,866	0,500	1,732
16°	0,276	0,961	0,287	61°	0,875	0,485	1,804
17°	0,292	0,956	0,306	62°	0,883	0,469	1,881
18°	0,309	0,951	0,325	63°	0,891	0,454	1,963
19°	0,326	0,946	0,344	64°	0,899	0,438	2,050
20°	0,342	0,940	0,364	65°	0,906	0,423	2,145
21°	0,358	0,934	0,384	66°	0,914	0,407	2,246
22°	0,375	0,927	0,404	67°	0,921	0,391	2,356
23°	0,391	0,921	0,424	68°	0,927	0,375	2,475
24°	0,407	0,914	0,444	69°	0,934	0,358	2,605
25°	0,423	0,906	0,466	70°	0,940	0,342	2,747
26°	0,438	0,899	0,488	71°	0,946	0,326	2,904
27°	0,454	0,891	0,510	72°	0,951	0,309	3,073
28°	0,469	0,883	0,532	73°	0,956	0,292	3,271
29°	0,485	0,875	0,554	74°	0,961	0,276	3,487
30°	0,500	0,866	0,577	75°	0,966	0,259	3,732
31°	0,515	0,857	0,601	76°	0,970	0,242	4,011
32°	0,530	0,848	0,625	77°	0,974	0,225	4,332
33°	0,545	0,839	0,649	78°	0,978	0,208	4,705
34°	0,559	0,829	0,675	79°	0,982	0,191	5,145
35°	0,574	0,819	0,700	80°	0,985	0,174	5,671
36°	0,588	0,809	0,727	81°	0,988	0,156	6,314
37°	0,602	0,799	0,754	82°	0,990	0,139	7,115
38°	0,616	0,788	0,781	83°	0,993	0,122	8,144
39°	0,629	0,777	0,810	84°	0,995	0,105	9,514
40°	0,643	0,766	0,839	85°	0,996	0,087	11,430

41°	0,656	0,755	0,869	86°	0,998	0,070	14,301
42°	0,669	0,743	0,900	87°	0,999	0,052	19,081
43°	0,682	0,731	0,933	88°	0,999	0,035	28,636
44°	0,695	0,719	0,966	89°	1,000	0,017	57,290
45°	0,707	0,707	1,000				

ANEXO 4

CURVAS CRUZADAS

