

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE-EFOMM
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DE NÁUTICA

FERNANDO MOTTA PEREIRA NATAL
YAN BARCELOS BRANDÃO

ESTABILIDADE E SUAS COMPLICAÇÕES

RIO DE JANEIRO

2017

FERNANDO MOTTA PEREIRA NATAL
YAN BARCELOS BRANDÃO

ESTABILIDADE E SUAS COMPLICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.
Orientadora: Prof. Henrique Vaicberg

RIO DE JANEIRO
2017

FERNANDO MOTTA PEREIRA NATAL
YAN BARCELOS BRANDÃO

ESTABILIDADE E SUAS COMPLICAÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. Henrique Vaicberg

Assinatura do Orientadora

NOTA FINAL: _____

Dedicamos A Deus, nossos pais, familiares, amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por nos conceder sua graça e nos guiar em seus caminhos.

Aos nossos pais, Gabriela Marques Barcelos Brandão da Silva (Brandão), Evanilton Brandão da Silva (Brandão), Maria Rita Motta Pereira Natal (Natal) e Fernando José Teixeira Natal (Natal) por sempre estarem nos apoiando em todas as decisões por nós tomadas, por nos educar e ser nosso porto seguro nos momentos de tribulação. Amamos vocês!

Aos nossos irmãos Dan Barcelos Brandão (Brandão), Luana Barcelos Brandão (Brandão), Felipe Motta Pereira Natal (Natal) e Guilherme Motta Pereira Natal (Natal) que fizeram e fazem um papel importante em nossas vidas.

A todos os professores que fizeram parte da nossa formação, especialmente, o Professor Henrique Vaicberg, por todas as orientações, pela atenção e comprometimento e pelo conhecimento que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

Este trabalho de graduação visa destacar os elementos mais notáveis e importantes da estabilidade do navio, sublinhando a importância do seu estudo e análise, de modo que um grande cuidado, e talvez um maior cuidado ainda, continue a ser assumido no assunto por sociedades de classificação e engenheiros em todo o mundo, em suas inspeções e projetos, respectivamente. Não é absurdo afirmar que, sem navios mercantes, o transporte de frete nunca seria tão valioso e vital para o comércio internacional como hoje. Por conseguinte, é do interesse de todos que a devida diligência seja dada à segurança dos navios de todo o mundo, uma vez que a carga que chega ao seu destino através de um navio específico depende da integridade física desse navio, não sendo comprometida. O tema da estabilidade do navio compreende a espinha dorsal das medidas de segurança de um navio, e seu estudo é geralmente um dos assuntos mais importantes para cadetes de convés em Academias Marítimas em todo o mundo. Assim, a relevância deste trabalho é auto-evidente não só para aqueles que cuidariam para o transporte em geral, mas também aqueles que se importariam com uma economia mundial estável.

Palavras-chave: Estabilidade. Navio. Plataforma. Segurança. Avaria.

ABSTRACT

This undergraduate paper aims to highlight the most notable and important elements of ship's stability, underlining the importance of their study and analysis, so that great care, and perhaps greater care still, may continue to be taken on the matter by classification societies and engineers worldwide, on their inspections and projects respectively. It is not absurd to state that without merchant vessels, freight shipping would never be as valuable and vital to international trade as it is today. Therefore, it is of everyone's interest that due diligence be given to the safety of ships around the world, as cargo reaching its destination via a particular ship is dependent on that ship's physical integrity not being compromised. The topic of ship's stability comprises the backbone of a ship's safety measures, and its study is generally one the most important subjects for deck cadets on Maritime Academies all over the globe. Thus, the relevance of this paper is self-evident not only for those that would care for shipping in general, but also those that would care for a stable world economy.

Keywords: Stability. Ship. Platform. Safety. Damage.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IMO	International Maritime Organization (Organização Marítima Internacional)
Lpp	Comprimento entre perpendiculares
MA	Momento de Adriçamento
ME	Momento de Estabilidade
TPC	Toneladas por Centímetro de Imersão HN Hemisfério Norte
G	Centro de Gravidade
B	Centro de Carena
M	Metacêntrico
KG	Cota do Centro de Gravidade
KB	Cota do Centro de Carena
VT	Variação do Trim
MTC	Momento para variar o Trim
E	Empuxo
P	Peso
V	Volume
H	Calado
GM	Altura Metacêntrica
GZ	Braço de Adriçamento
Cb	Coeficiente de Bloco
Cp	Coeficiente Prismático
Csm	Coeficiente da Seção a Meio-Navio
Caf	Coeficiente de Área de Flutuação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Forças atuantes no Princípio de Arquimedes	13
Figura 2:	Deslocamento da água no Princípio de Arquimedes	14
Figura 3:	Reserva de Flutuabilidade	16
Figura 4:	Pontos notáveis da estabilidade na Seção Transversal	18
Figura 5:	Metacentro	19
Figura 6:	Centro de Gravidade	22
Figura 7:	Altura Metacêntrica Transversal.	23
Figura 8:	Pontos notáveis em equilíbrio estável	24
Figura 9:	Pontos notáveis em equilíbrio neutro	25
Figura 10:	Pontos notáveis em equilíbrio instável	26
Figura 11:	Atuação do vento de través	27
Figura 12:	Forças atuantes com manobra em alta velocidade	28
Figura 13:	Carga ou descarga de peso	30
Figura 14:	Efeito sobre o movimento de carga a bordo	31
Figura 15:	Pontos notáveis e a fórmula de Moseley	33
Figura 16:	Planos do navio	34
Figura 17:	Efeito de alquebramento	38
Figura 18:	Efeito de contraalquebramento	39
Figura 19:	Momento fletor	40
Figura 20:	Força cortante	41
Figura 21:	Forças dinâmicas sobre uma embarcação	42
Figura 22:	Disco de Plimsoll para a determinação da BL	47
Figura 23:	Curvas hidrostáticas	48
Figura 24:	Traçado da curva	51
Figura 25:	Sistema de eixos para correção da curva	52
Figura 26:	Representação dos critérios mínimos de segurança	53
Figura 27:	Navio adriçado com tanque de duplo-fundo	55
Figura 28:	Remoção transversal de peso	56
Figura 29:	Curva do KG máximo admissível	60
Figura 30:	Faixa de calados no manual de operações e zona de avaria	62
Figura 31:	Delimitação das áreas sujeitas a avarias	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	CONCEITOS BÁSICOS DE ESTABILIDADE	13
2.1	Definição e classificação da estabilidade	13
2.2	Coeficientes de Forma ou Finura	16
2.2.1	coeficiente de Bloco	16
2.2.2	coeficiente Prismático	17
2.2.3	coeficiente da Seção a Meio-Navio	17
2.2.4	coeficiente da Área de Flutuação	17
3	PONTOS NOTÁVEIS DA ESTABILIDADE	18
3.1	Pontos Notáveis da Estabilidade	18
3.2	Denominações Dadas às Distâncias Verticais Entre os Pontos Notáveis	18
3.3	Definição dos Pontos Notáveis da Estabilidade	19
3.3.1	centro de Gravidade	19
3.3.2	centro de Carena	19
3.3.3	metacentro	19
3.4	Tabela de Dados Hidrostáticos Utilizada nos Cálculos de Estabilidade	20
3.5	Determinação da posição do Centro de Gravidade	20
3.5.1	definição	20
3.5.2	componentes	20
3.6	Detalhamento para a Obtenção do Centro de Gravidade	21
3.6.1	centro de Gravidade de um Navio em Deslocamento Leve	21
3.6.2	centro de Gravidade do Óleo e da Aguada	21
3.6.3	centro de Gravidade da Carga	22
3.6.4	centro de Gravidade de Tudo que Existir a Bordo	22
3.7	Centro de Gravidade	22
3.8	Cálculo da Altura Metacêntrica Transversal	23
3.9	Estados de Equilíbrio dos Navios	24
3.10	Estabilidade Avariada	26
3.10.1	efeitos sobre a embarcação	26
3.10.2	forças naturais	27
3.11	Análise dos Estados de Equilíbrio	28
3.12	Efeitos da Carga na Estabilidade Transversal	30
3.13	Estabilidade Dinâmica	31
3.13.1	importância da Estabilidade Dinâmica	31
3.13.2	medida da Estabilidade Dinâmica	32
3.13.3	fórmula de moseley	32
3.14	Estabilidade Estática Longitudinal	34
3.15	Planos e Pontos Notáveis da Estabilidade Estática Longitudinal	34
3.15.1	plano diametral	35

3.15.2	plano de Flutuação	35
3.15.3	plano transversal de meia nau ou plano de seção mestra	35
3.15.4	plano de base moldada	35
3.16	Metacentro longitudinal	35
3.17	TRIM ou Compasso	35
3.18	Variação do TRIM	36
3.19	Momento para variar o TRIM	36
3.19.1	momento para variar o TRIM de 1 centímetro	36
3.19.2	cálculo da variação do TRIM causado por um Momento longitudinal M	36
3.20	Alterações do compasso devido à movimentação longitudinal de pesos	37
3.20.1	quando o centro de flutuação coincide com o plano transversal de meio navio	37
3.20.2	quando o centro de flutuação for à vante do plano transversal de meio navio	37
3.20.3	quando o centro de flutuação for à ré do plano transversal de meio navio	37
4	ESFORÇOS ESTRUTURAIS	38
4.1	Esforço Longitudinal	38
4.2	Esforço Transversal	39
4.3	Esforço Local	39
4.4	Momento Fletor	40
4.5	Força Cortante	41
5	FORÇAS DINÂMICAS	42
6	SOCIEDADES CLASSIFICADORAS	44
6.1	Finalidades	44
6.2	Vistorias que efetuam	44
6.3	Borda Livre	45
6.4	Borda Livre Mínima de Segurança	45
6.5	Marcação das Bordas Livres Mínimas de Segurança	46
6.6	Disco de Plimsoll	46
7	CURVAS HIDROSTÁTICAS	48
7.1	Determinação do Braço de adriçamento Pelo Método de Atwood	48
7.2	Curvas Cruzadas de Estabilidade	49
7.3	Construção da Curva de Braços de Estabilidade	49
7.4	Curva de Momentos de Estabilidade – Traçado da Curva	50
7.5	Correções à Curva de Braços de Estabilidade	51
7.6	Critérios Mínimos de Segurança	52
8	SUPERFÍCIE LIVRE	54
8.1	Noção de Momento de Inércia	54
8.2	Efeito da Superfície Livre	54
9	BANDA PERMANENTE	56
9.1	Banda Permanente Devido à Descentralização de Pesos	56
9.2	Banda Permanente Devido a $GM = 0$	56
9.3	Banda Permanente Devido à Altura Metacêntrica Inicial Negativa	57

10	DRAFT SURVEY	58
10.1	Introdução	58
10.2	Passos no Draft Survey	58
11	ESTABILIDADE PARA UNIDADES SEMI-SUBMERSÍVEIS	60
11.1	Estabilidade Intacta para Unidades Semi-submersíveis	60
11.2	Limite Operacional Devido à Velocidade do Vento	61
11.3	Extensão de Danos para Unidades Semi-submersíveis	61
11.4	Estabilidade em Avaria para Unidades Semi-submersíveis	63
11.4.1	critérios para avaria	63
11.4.2	critérios para alagamento	63
11.5	Providências em Caso de Alagamento	64
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de um navio se dá pela competência do mesmo de reconstituir seu equilíbrio inicial depois de uma alteração qualquer, seja esta por meios naturais – como correntes e ventos – ou até mesmo pela estiva inadequada da carga a bordo. Existem diversos critérios que retratam a respeito da estabilidade, pois ela é crucial para a navegação e por consequência é o principal ícone para que haja o funcionamento do transporte marítimo. As interações entre as forças que afetam a embarcação são estudadas há muitos anos e, através do Princípio de Arquimedes, teorias foram construídas para proporcionar melhores análises estruturais e mecânicas dos planos de construção dos navios. As dimensões lineares e volumétricas, os coeficientes de forma da embarcação, a física referente às forças atuantes somada ao cálculo constante até a finalização do plano do navio, além da laboração das Sociedades Classificadoras, respeitando as normas que regem as convenções, códigos e anexos, são bastante relevantes para a estabilidade.

O equilíbrio, por sua vez, também pode ser afetado pela Estabilidade Transversal inadequada, pela Superfície Livre, pela Banda Permanente e até mesmo na Estabilidade Longitudinal que, embora não ofereça variações tão significativas quanto a Estabilidade Transversal, proporciona perigo em relação aos Esforços Estruturais, que atuarão diretamente sobre o navio, e à variação de calado devido à variação do trim, além dos efeitos da remoção de pesos e dos efeitos de embarque ou desembarque de cargas. O estudo da estabilidade utiliza o Draft Survey como recurso, a fim de que os problemas de equilíbrio da embarcação possam ser corrigidos e, assim, o navio possa ser conduzido com segurança de um porto a outro. Para um piloto, é importante ter conhecimento acerca dos critérios estabelecidos pela IMO e apresentar ações corretivas, baseando-se, também, na Estabilidade Dinâmica relevantes à navegação. Tendo esse conhecimento, está o piloto capacitado a tomar as atitudes corretas e executar as ações precisas em eventos envolvendo tais fenômenos, salvaguardando a tripulação, a embarcação e a carga.

Dessa forma, com a compreensão relativa à estabilidade, os métodos de análise e correção são feitos de forma precisa, e possíveis avarias são, por conseguinte, evitadas; portanto, o funcionamento de uma embarcação está intimamente associado a todos esses conhecimentos e conceitos abordados nesse trabalho.

2 CONCEITOS BÁSICOS DA ESTABILIDADE

2.1 Definição e Classificação da Estabilidade

Estabilidade Transversal – Estuda o comportamento do navio no sentido transversal, isto é, de bordo a bordo.

Estabilidade Longitudinal – Estuda o seu comportamento longitudinal, isto é, no sentido de proa a popa.

Estabilidade Estática – Estuda as forças que afastam o navio da posição inicial.

Estabilidade Dinâmica – Estuda a estabilidade sob os efeitos das vagas e influências externas. Considera-se o trabalho necessário para levar o navio a uma determinada inclinação.

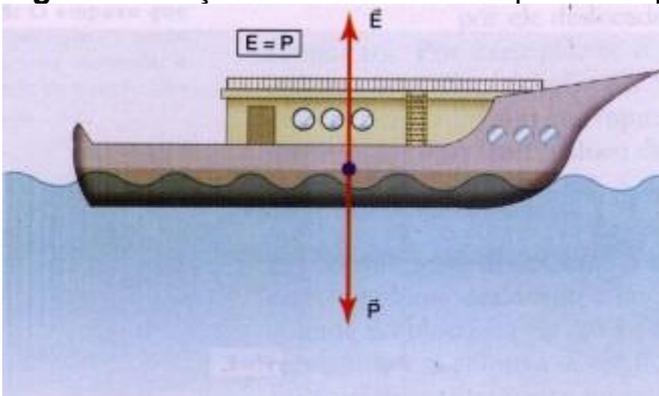
Princípio de Arquimedes - “Todo corpo imerso em um fluido sofre ação de uma força (empuxo) verticalmente para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.”

Empuxo - Um líquido exerce um empuxo sobre um corpo flutuante ou imerso nele porque a pressão na parte inferior do corpo é maior que a pressão na sua parte superior. A força de empuxo só depende da diferença de pressões entre a face inferior e superior do corpo. Não depende da profundidade, portanto o valor do empuxo é igual ao peso do líquido deslocado.

Peso - Grandeza originada pelo produto da massa de um corpo com a aceleração local da gravidade.

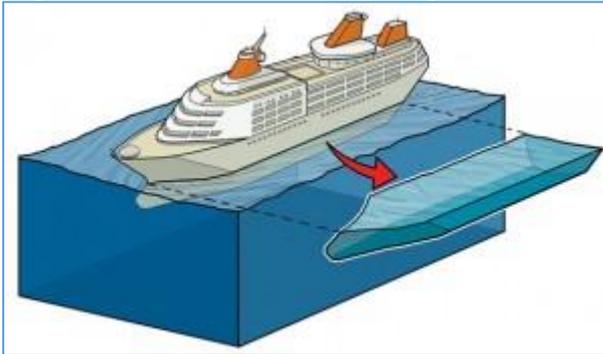
Volume - Espaço tridimensional ocupado por um corpo. É o número de unidades cúbicas contidas no objeto.

Figura 1: Forças atuantes no Princípio de Arquimedes.



Fonte: Instituto de Física da UFRGS, 2002.

Figura 2: Deslocamento da água no Princípio de Arquimedes.



Fonte: Azeheb Laboratório de Física, 2011.

Assim, se, por exemplo, o navio “pesa” 1500 toneladas, o seu volume terá que ser grande o suficiente para deslocar a mesma quantidade de água, que, por sua vez, reage com uma força equivalente às 1500 toneladas e empurra o barco para cima. Desse modo, o barco é sustentado por essa força contrária e flutua.

No desenho observamos o volume de água que é deslocado para um navio flutuar. A densidade desse volume de água, ou seja, seu peso (kg) dividido pelo volume que ocupa (m^3) é inferior à densidade do navio.

Assim, quando o empuxo é maior do que o peso do objeto, esse objeto flutua e, quando é menor ele afunda.

Densidade Absoluta de um corpo sólido ou líquido – É a relação existente entre a massa do corpo e a unidade do volume.

Densidade Relativa – Relação entre a massa específica da substância e a massa de igual volume de água doce.

A densidade média da água dos oceanos é de $1024,12 \text{ Kg/m}^3$. Mas nos cálculos de arquitetura naval, nas curvas e tabelas hidrostáticas do navio, considera-se a água salgada como tendo uma densidade relativa de 1025 Kg/m^3 e sendo a densidade relativa da água doce a 1. Para efeito de cálculo nesta pesquisa será adotado como peso específico da água do mar o valor de 1.025 t/m^3 e da água doce o valor de 1.000 t/m^3 .

Deslocamento – é o peso do navio. Peso da água deslocada. É dado pela expressão:

$$\Delta = V \cdot \delta$$

Onde: Δ - deslocamento.

V - volume de carena, ou seja, o volume de água deslocada.

δ - peso específico da água em que o navio flutua.

Flutuabilidade – É a propriedade de um corpo de permanecer na superfície da água. Esta flutuabilidade vai depender da igualdade entre o peso do corpo e o empuxo do líquido. Como no nosso caso o líquido é sempre a água, a flutuabilidade varia principalmente com o peso específico, isto é, o peso por unidade de volume.

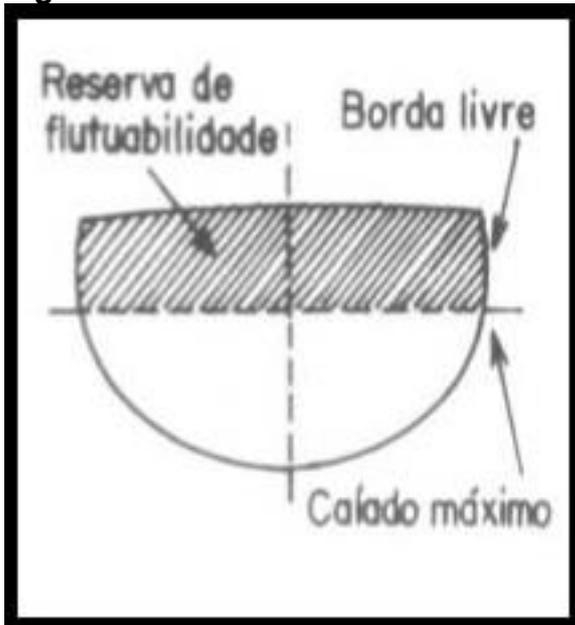
As madeiras leves têm peso específico menor que o da água, portanto um pedaço de madeira flutua sempre. Já o ferro tem um peso específico maior que o da água, por esta razão não flutua. Mas, tornando-se oco este material (ferro), se diminui o seu peso por unidade de volume, e portanto, aumenta-se a flutuabilidade. É possível assim, a construção de navios feitos de materiais mais pesados que a água, como o ferro e o aço.

Limite de Flutuabilidade – O navio tem um limite de flutuabilidade, determinado pelo máximo de volume que pode alcançar sua carena. Corresponde ao peso máximo que pode o navio transportar com as garantias e seguranças da exploração comercial e econômica do Armador.

Reserva de Flutuabilidade – É o volume dos compartimentos acima do plano de flutuação que limita a flutuabilidade no seu máximo. É uma garantia para os acidentes que podem ocorrer, como a entrada d'água por acidentes de navegação ou quando o navio navega em mar de grandes vagas. É a soma de todos os volumes estanques acima do plano de flutuação, que limita o máximo de flutuabilidade. Será tanto maior quanto maior forem as partes estanques acima do plano de flutuação.

Plano de Flutuação – Plano que contém a superfície das águas tranquilas em que o casco está flutuando.

Figura 3: Reserva de Flutuabilidade.



Fonte: Pesca de Oceano, 2016.

2.2 Coeficientes de Forma ou Finura

A fim de determinar certas qualidades hidrostáticas, ou para se calcular condições de estabilidade do navio, é necessário conhecer o volume da carena ou a área de alguns planos e, para isso, devemos utilizar os coeficientes de forma ou finura, podendo estes serem obtidos pelo Plano de Curvas Hidrostáticas ou pelas fórmulas apresentadas nesta parte.

2.2.1 coeficiente de bloco (Cb)

Coeficiente de Bloco é a relação entre o volume da carena (V) e o volume de um paralelepípedo (bloco) que envolve a carena.

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

As dimensões do paralelepípedo são:

L_{pp} = comprimento entre perpendiculares

B = boca

H_{med} = calado médio

C_b é sempre menor que a unidade, variando, nos navios mercantes, entre 0,6 a 0,8.

$$C_b = C_p \times C_{sm}$$

2.2.2 coeficiente prismático (Cp)

É a relação entre o volume da carena (V) e o volume de um prisma ou de uma seção longitudinal de um cilindro que tenha o mesmo comprimento (Lpp) que a carena e uma seção transversal igual à seção transversal a Meio-Navio.

$$C_p = \frac{V}{L_{pp} \cdot A_m}$$

Lpp = comprimento entre perpendiculares

A_m = área de seção mestra

C_p é sempre menor que a unidade.

2.2.3 coeficiente da seção a meio-navio (Csm)

É a relação entre a área da seção mestra e a de um retângulo cujos lados tenham as dimensões da boca e do calado médio da carena.

$$C_{sm} = \frac{A_m}{B \cdot H_{med}}$$

B = boca

A_m = área da seção mestra (imersa)

H_{med} = calado médio

C_{sm} é sempre menor que a unidade.

2.2.4 coeficiente da área de flutuação (Caf)

É a relação entre a área do plano de flutuação correspondente ao calado médio e a área do retângulo cujos lados tenham as dimensões da boca (B) e do comprimento (Lpp) do navio.

$$C_{af} = \frac{A_f}{L_{pp} \cdot B}$$

Lpp = comprimento entre perpendiculares do navio

B = boca do navio

C_{af} = é sempre menor que a unidade.

3 PONTOS NOTÁVEIS DA ESTABILIDADE

3.1 Pontos Notáveis da Estabilidade

São eles: G – Centro de Gravidade do navio

B – Centro de Carena

M – Metacentro

Observação: O ponto “K” não é um ponto notável, e sim um ponto pertencente ao plano de base, e que serve como referência para as distâncias verticais a partir dele (cotas).

3.2 Denominações dadas às distâncias verticais entre os pontos notáveis

KG – Cota do Centro de Gravidade

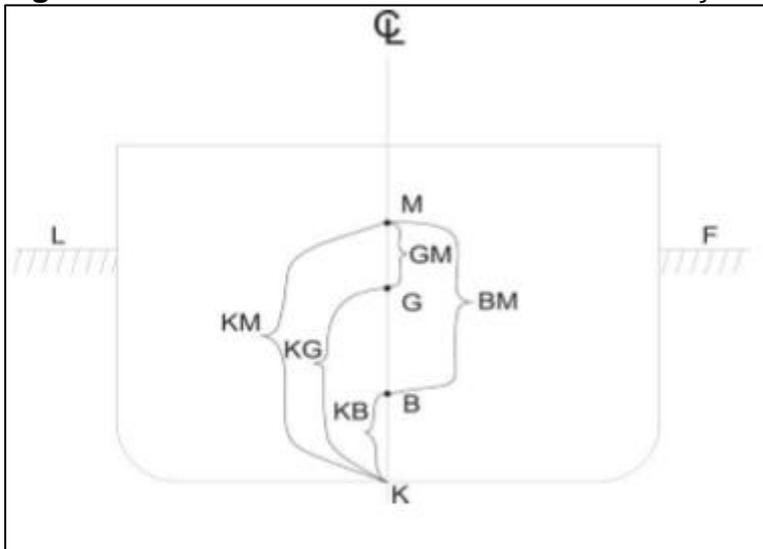
KB – Cota do Centro de Carena

KM – Cota do Metacentro

BM – Raio Metacêntrico

GM – Altura Metacêntrica

Figura 4: Pontos notáveis da estabilidade na Seção Transversa



Fonte: SIDNEI ESTEVES, 2011, p. 51.

GM – Altura Metacêntrica = $KM - KG$

KG – Cota do Centro de Gravidade = $KM - GM$

BM – Raio Metacêntrico

KB – Cota do centro de carena

KM – Cota do Metacentro – $KB + BM = KG + GM$

3.3 Definição dos pontos notáveis da estabilidade

3.3.1 centro de gravidade (G)

É o ponto de aplicação da resultante das forças gravitacionais que atuam no navio e em tudo que existir a bordo.

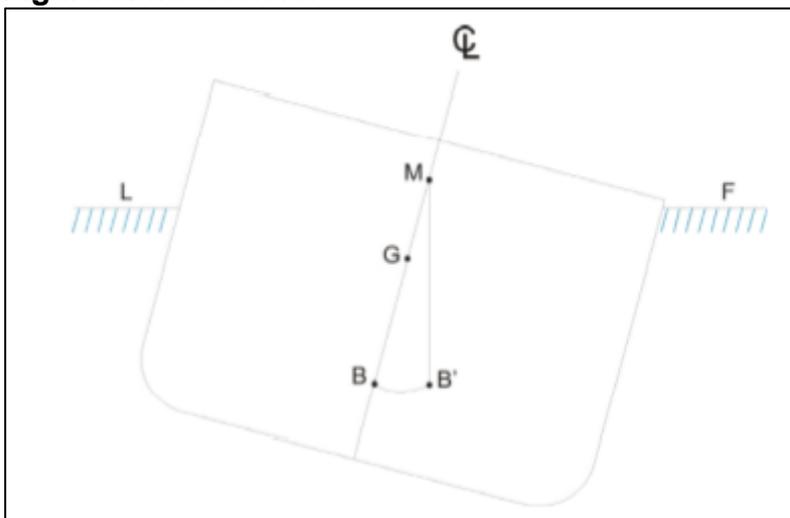
3.3.2 centro de carena (B)

É o ponto de aplicação da força de Empuxo. É o Centro geométrico do volume imerso.

3.3.3 metacentro (M)

É o ponto de encontro de dois raios de uma curva infinitamente pequena, descrita pelas sucessivas mudanças de posição do Centro de Carena de um navio que oscila em flutuações isocarenas.

Figura 5: Metacentro.



Fonte: SIDNEI ESTEVES, 2011, p. 52.

3.4 Tabela de Dados Hidrostáticos Utilizada nos Cálculos de Estabilidade

Esta tabela (ANEXO A), permite determinar uma série de valores hidrostáticos em função do calado médio ou do deslocamento conhecido.

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.

3.5 Determinação da posição do Centro de Gravidade

3.5.1 definição

É o ponto de aplicação da resultante das forças gravitacionais que atuam no navio e em tudo mais que existir a bordo.

3.5.2 componentes

As componentes que formam a resultante das forças gravitacionais que atuam em um navio são:

- Deslocamento leve do navio;
- Peso da aguada, óleo combustível e lubrificante;
- Peso da carga;
- Peso de tudo mais que existir a bordo.

Determinamos a posição do Centro de Gravidade de um navio, por intermédio de uma fórmula semelhante à usada na obtenção do centro de gravidade de volumes tendo, porém, o cuidado de bem definir os três eixos usados no posicionamento do centro de gravidade.

Ao construirmos um navio ou ao colocarmos a bordo qualquer quantidade de carga, temos por norma efetuar a distribuição dos pesos simetricamente em relação

ao plano diametral dando desta forma condições para que o navio possa flutuar em sua posição normal, isto é, adriçado, eliminando também a necessidade de efetuarmos cálculos para posicionar transversalmente o centro de gravidade do navio. Deveremos, portanto, determinar a distância do centro de gravidade ao plano de base moldada (para estabilidade transversal) e distância do centro de gravidade ao plano transversal de meio navio ou às perpendiculares de vante ou de ré (para a estabilidade longitudinal).

Fórmula para o Cálculo da cota do Centro de Gravidade (KG):

Onde:

$$KG = \frac{\sum MV}{\sum P}$$

KG = Cota do Centro de Gravidade.

Sendo:

$\sum MV$ = somatório dos Momentos Verticais (P x Kg)

$\sum P$ = somatório dos pesos

3.6 Detalhamento para a obtenção do centro de gravidade

3.6.1 centro de gravidade de um navio em deslocamento leve

Calculado pelo estaleiro construtor, em função da forma do navio, peso do material empregado, estrutura, acessórios etc.

O navio é dividido em planos transversais e calculam-se os momentos verticais de cada compartimento tendo-se como referência o plano de base moldada.

3.6.2 centro de gravidade do óleo e aguada

Calculado pelo pessoal de bordo em função da distribuição da massa líquida nos tanques.

Conhecendo-se o centro de gravidade e o peso da massa líquida colocada em cada tanque, calcula-se os momentos verticais de cada compartimento tendo-se como referência o plano de base moldada.

3.6.3 centro de gravidade de carga

Calculado pelo pessoal de bordo em função da distância vertical da carga, pelos locais a ela destinados.

Conhecendo-se a posição do centro de gravidade do peso da carga, calculam-se os momentos verticais provocados pela carga, após ter sido estivada, em relação ao plano de base moldada.

3.6.4 centro de gravidade de tudo que existir a bordo

Calculado pelo pessoal de bordo com o procedimento igual ao do item anterior.

$$KG = \frac{(\Delta L \cdot KGL) + (P1 \cdot Kg1) + (P2 \cdot Kg2) + (P3 \cdot Kg3)}{\Delta L + P1 + P2 + P3}$$

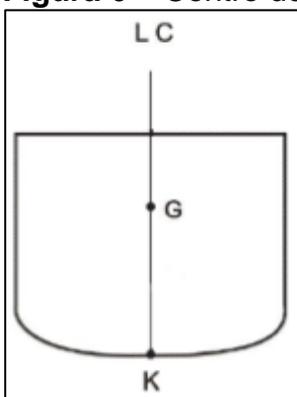
Emprego dos momentos na determinação do centro de gravidade de um navio

3.7 Centro de Gravidade

O ponto de aplicação da resultante de todos os pesos a bordo do navio, inclusive ele próprio, chama-se Centro de Gravidade. É como se todos os pesos do navio estivessem concentrados nesse ponto.

Com os pesos a bordo igualmente distribuídos em relação ao plano longitudinal a quantidade de pesos a BB é igual à quantidade dos pesos à BE. O centro de gravidade fica sobre o plano longitudinal.

Figura 6 – Centro de Gravidade.



Fonte: SIDNEI ESTEVES, 2011, p. 54.

Se o navio está adernado devido a uma distribuição assimétrica dos pesos a bordo, é óbvio que aquele ponto não está sobre o plano longitudinal. A distância KG, que vai do plano de base moldada (K) ao centro de gravidade G, medida sobre o plano longitudinal, é a cota do centro de gravidade. Esta cota é valor muito importante nos cálculos de estabilidade e é determinada pelo teorema dos momentos de Varignon.

“O Momento da Resultante é igual à soma dos momentos das componentes”.

$$KG \cdot \sum P = Kg_1 \cdot P_1 + Kg_2 \cdot P_2 + Kg_3 \cdot P_3 + \dots + Kg_n \cdot P_n$$

sendo: P1, P2, P3, ..., Pn, os diversos pesos; e

Kg1, Kg2, Kg3, ..., Kgn, suas distâncias respectivas ao Plano de base moldada.

$\sum P = \Delta$, então: $KG \times \Delta$ é o momento da resultante, logo:

$$KG = \frac{(Kg_1 \cdot P_1) + (Kg_2 \cdot P_2) + (Kg_3 \cdot P_3) + \dots + (Kg_n \cdot P_n)}{\Delta}$$

Se fizermos o numerador igual à $\sum MV$, ou seja, ao somatório dos momentos verticais, teremos:

$$KG = \frac{\sum \text{Momentos Verticais}}{\Delta}$$

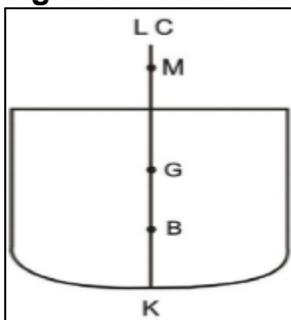
3.8 Cálculo da altura metacêntrica transversal

Observando a Figura 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 A, vamos resolver um cálculo clássico da altura metacêntrica ao final da operação de carga de um navio.

Figura 7 – Altura Metacêntrica Transversal.



3.9 Estados de equilíbrio dos navios

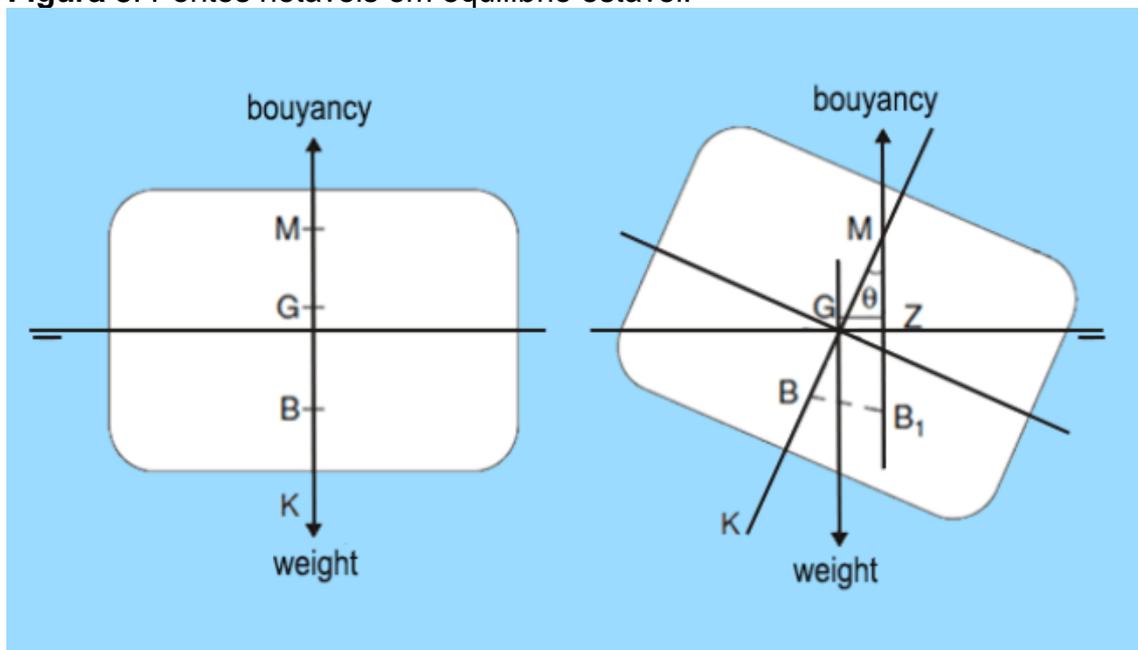
O estudo da estabilidade de um navio pode ser dividido em duas partes, a estabilidade intacta e a estabilidade avariada. A estabilidade intacta é o campo de estudo que lida com a estabilidade de um navio quando este mantém sua integridade física, não tendo sido nenhum compartimento ou tanque avariado e subsequentemente inundado.

Já o estudo da estabilidade avariada analisa os efeitos de uma inundação de um tanque ou compartimento, e como isso afeta a estabilidade, buscando assim prever o comportamento do navio neste tipo de cenário.

O conceito fundamental por trás da compreensão de estabilidade intacta é o equilíbrio. Há três tipos de condições de equilíbrio que podem ocorrer, todas em função da relação entre as posições do centro de gravidade (G) e do centro de carena (B).

1. Equilíbrio estável: É atingido quando a posição vertical do G for mais baixa do que a posição vertical do metacentro transversal (M).

Figura 8: Pontos notáveis em equilíbrio estável.



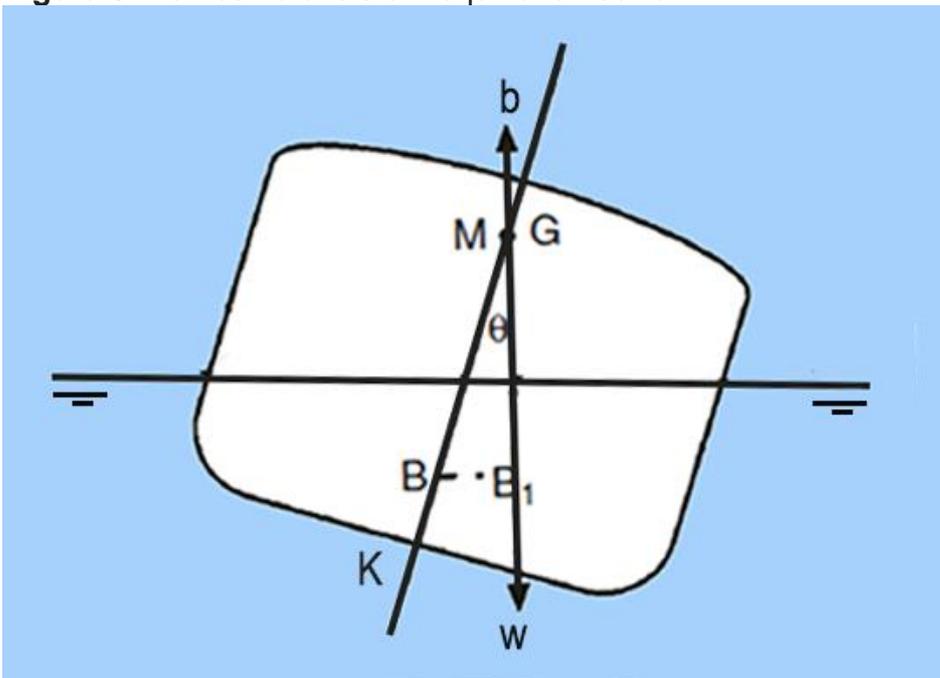
Fonte: Marine Insight, 2014.

Caso o navio sofra uma inclinação transversal de ângulo θ , o centro de carena irá se deslocar para a posição B1. A alavanca gerada pela distância lateral entre G e B1 nessa condição irá resultar em um momento que fará o navio retornar para sua

posição original, chamado de momento de adriçamento. O que causa este momento é a alavanca gerada pela distância entre as linhas verticais que passam por G e B1. Esta alavanca é chamada de braço de endireitamento, abreviado como GZ.

2. Equilíbrio indiferente ou neutro: Esta é a situação mais perigosa possível para qualquer navio, e todas as precauções devem ser tomadas para que seja evitada. Ocorre quando a posição vertical do centro de gravidade coincide com a posição vertical do metacentro transversal. Nesta condição, não há surgimento de braço de adriçamento para qualquer ângulo de banda. Por conta disto, o momento de adriçamento não será gerado por qualquer momento de banda, e o navio permanecerá na posição inclinada contanto que a estabilidade neutra prevaleça. O risco presente neste cenário é de que como a carga pode correr por conta desta inclinação, a movimentação repentina de peso é capaz de gerar uma condição de equilíbrio instável.

Figura 9: Pontos notáveis em equilíbrio neutro.

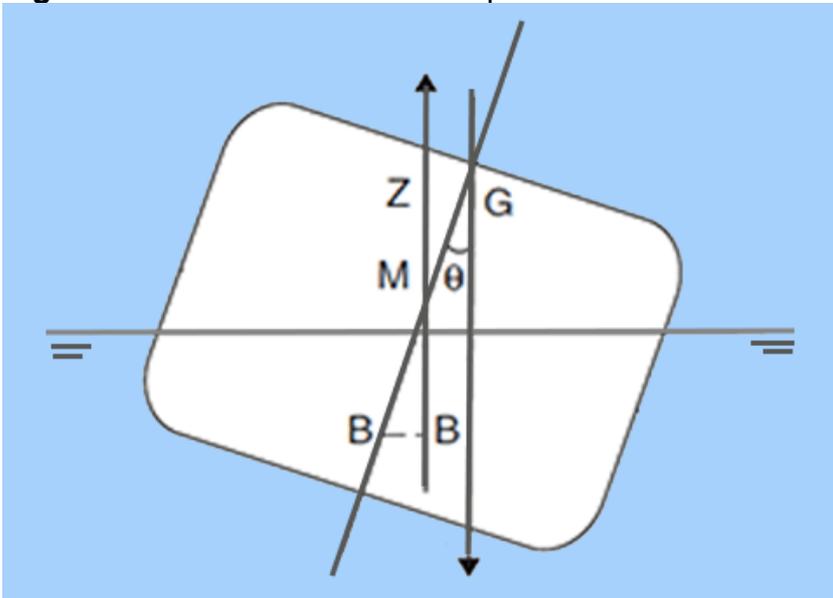


Fonte: Marine Insight, 2014.

3. Equilíbrio instável: É causado quando a posição vertical de G é mais alta do que a posição de M. Sendo assim, quando o navio inclina transversalmente para um ângulo Θ , o centro de carena B irá se deslocar para a posição B1. Nesse caso, a alavanca gerada será negativa, ou em outras palavras, o momento criado irá

aumentar a banda até que uma condição de equilíbrio estável seja atingida, e caso não seja atingida de que o convés fique imerso, o navio irá emborcar.

Figura 10: Pontos notáveis em equilíbrio instável.



Fonte: Marine Insight, 2014.

3.10 Estabilidade Avariada

3.10.1 efeitos sobre a embarcação

Mudança de calado: Água aberta resulta em entrada de água no compartimento danificado. Isso causará uma mudança de calado que fará com que o deslocamento da parte intacta do navio seja igual ao deslocamento original (antes de ocorrer água aberta) menos o peso da água que entrou no navio.

Mudança do trim: O ingresso de água em um compartimento pode ser considerado como um acréscimo de peso em qualquer ponto ao longo do navio. Isso causará uma alteração no trim.

Banda: O navio ficará com banda caso o compartimento danificado se situe de forma assimétrica com relação à linha de centro do navio. Se a altura metacêntrica do navio na condição de água aberta for negativa, este navio estará instável.

Mudança na estabilidade: A altura metacêntrica do navio muda caso este seja inundado. Isto pode ser evidenciado pela equação a seguir:

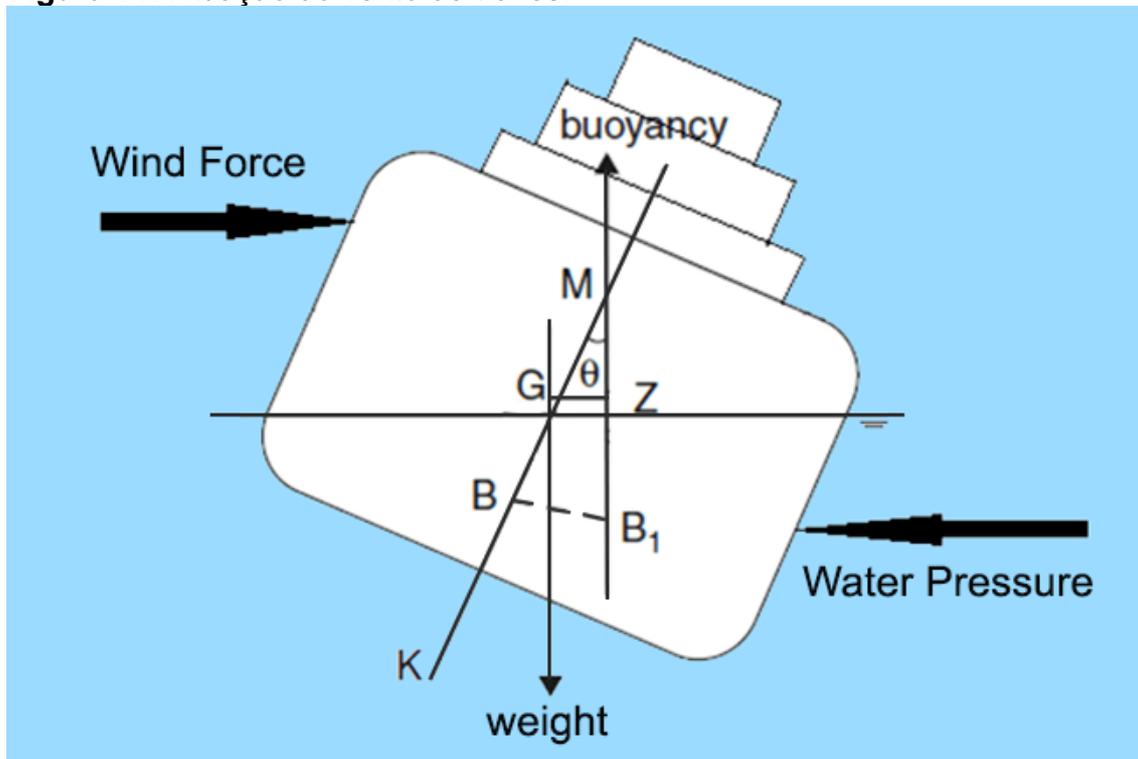
$$GM = KB + BM - KG$$

Mudança na borda livre: O aumento do calado do navio inundado resulta em uma redução da borda livre. Mesmo se a altura metacêntrica for positiva após a água aberta, redução da borda livre até o ponto em que o convés fique imerso irá acabar com a estabilidade do navio.

3.10.2 forças naturais atuantes

Ventos de través: Atuam sobre a porção do navio acima da linha d'água. A resistência age como uma força oposta à pressão da água na parte submersa do casco. Agora há duas forças e momentos correspondentes gerados.

Figura 11: Atuação do vento de través.

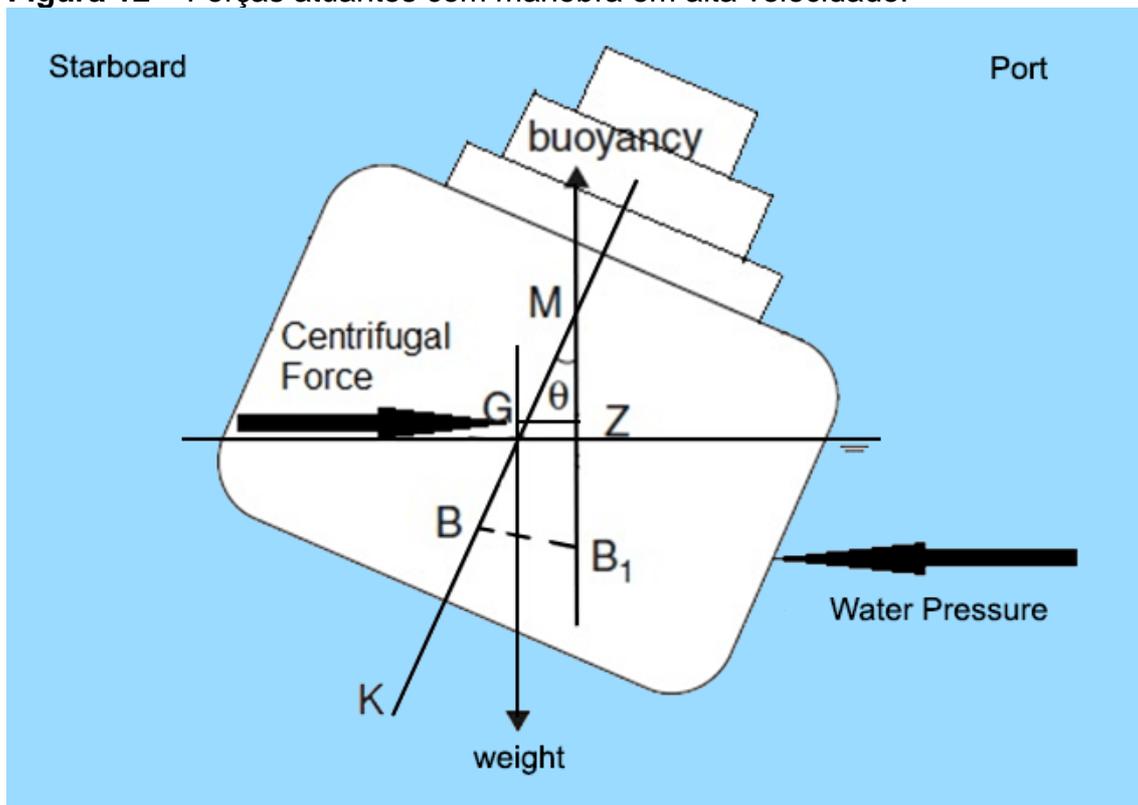


Fonte: Marine Insight, 2014.

O momento criado pela força do vento e pela pressão da água (horário) é o momento de banda, e o momento criado pelo peso e pelo empuxo (anti-horário) age como o momento de adriçamento. Assim, quando o navio experimentar ventos por través, irá inclinar até o ângulo no qual o momento de adriçamento anula o momento de banda.

Manobras de alta velocidade: Quando um navio guina, uma força centrífuga age horizontalmente sobre o centro de gravidade do navio, no sentido oposto aquele da guinada. Essa força é equilibrada pela pressão hidrodinâmica agindo no sentido oposto sobre a parte submersa do casco.

Figura 12 – Forças atuantes com manobra em alta velocidade.



Fonte: Marine Insight, 2014.

3.11 Análise dos Estados de Equilíbrio

Das três condições de equilíbrio expostos deduz-se, de imediato, que as condições de equilíbrio instável e indiferente são indesejáveis porque o navio, em ambas condições, perde sua capacidade de adriçar-se após cada inclinação.

Resta como desejável a condição de equilíbrio estável, ou seja, $KM > KG$ com uma GM positiva.

Cabe ao oficial encarregado do carregamento o dever e a prerrogativa de providenciar a distribuição de pesos a bordo de forma a proporcionar tal condição ao navio. Compete-lhe, porém, fazê-lo de tal forma que a GM não seja exagerada.

Valores de GM normais na prática. (Regra de Mandelli)

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

Determinamos que MA (Momento de Adriçamento) = $\Delta \cdot GZ$; e pela figura 7:
 $GZ = GM \cdot \sin \theta$; logo:

$$MA = \Delta \cdot GM \cdot \sin \theta$$

Terminado o carregamento e suprimento do navio, o deslocamento não mais se alterará, porém, analisando as fórmulas, verificamos que, para uma mesma banda, maior será o MA quanto maior for o valor de GM. Maior (MA) significa maior velocidade de retorno à posição de adriçado, isto é, balanços mais rápidos.

Uma GM exageradamente grande poderá causar balanços violentos, com consequências indesejáveis, das quais destacamos:

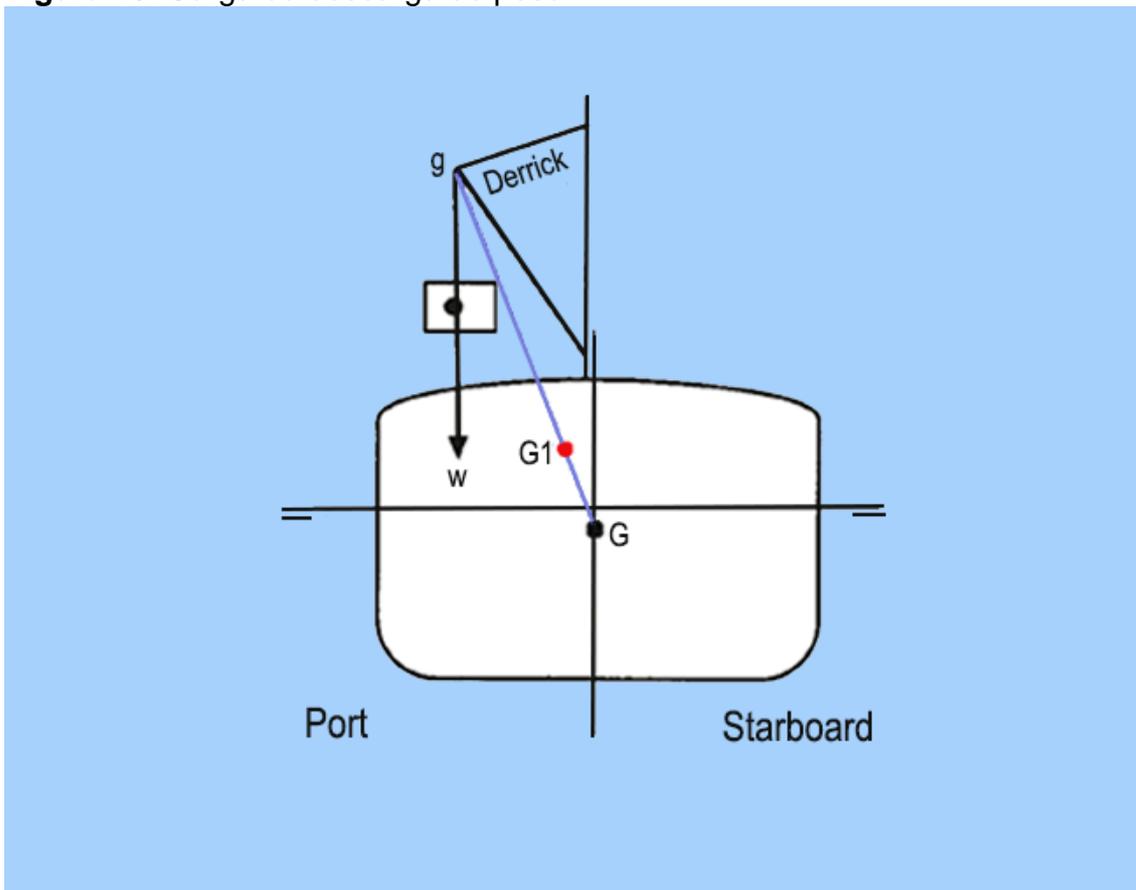
- 1) Desconforto para tripulantes e passageiros;
- 2) Dificuldades e até impossibilidade de confecção da alimentação;
- 3) Prejuízos para a estrutura do navio;
- 4) Riscos de danos à máquinas e, principalmente, nos equipamentos de precisão;
- 5) Avarias à carga ou sua embalagem, motivada por peação partida ou compressão entre os volumes estivados;
- 6) Mal governo e perda de velocidade.

Hoje, está se tornando comum aparecerem indicados nos cadernos de estabilidade, valores de GM selecionados para os respectivos carregamentos que o navio possa apresentar. Ao final da construção do navio, o Estaleiro construtor fornece ao navio um folheto, denominado Caderno de Estabilidade onde são dados os valores ideais de: GM e KG, assim como a respectiva curva de estabilidade estática para as diversas condições de carregamento em que o navio possa se encontrar. A IMO estabelece o valor mínimo de 0,15m para a GM de todos os navios, com exceção dos graneleiros com carga de grãos cujo valor mínimo da GM é de 0,30m. Alguns países têm critérios de GM com relação a navios especiais. Na Alemanha e em mais alguns países do norte europeu a GM mínima para “full-containers” é de 0,40m.

3.12 Efeitos da carga na estabilidade transversal

Erguendo pesos transversalmente: Pesos são geralmente carregados ou descarregados pelos bordos do navio quando estas operações são realizadas pelo guindaste do convés. Neste caso, um momento de banda é causado pelo deslocamento do centro de gravidade.

Figura 13: Carga ou descarga de peso.

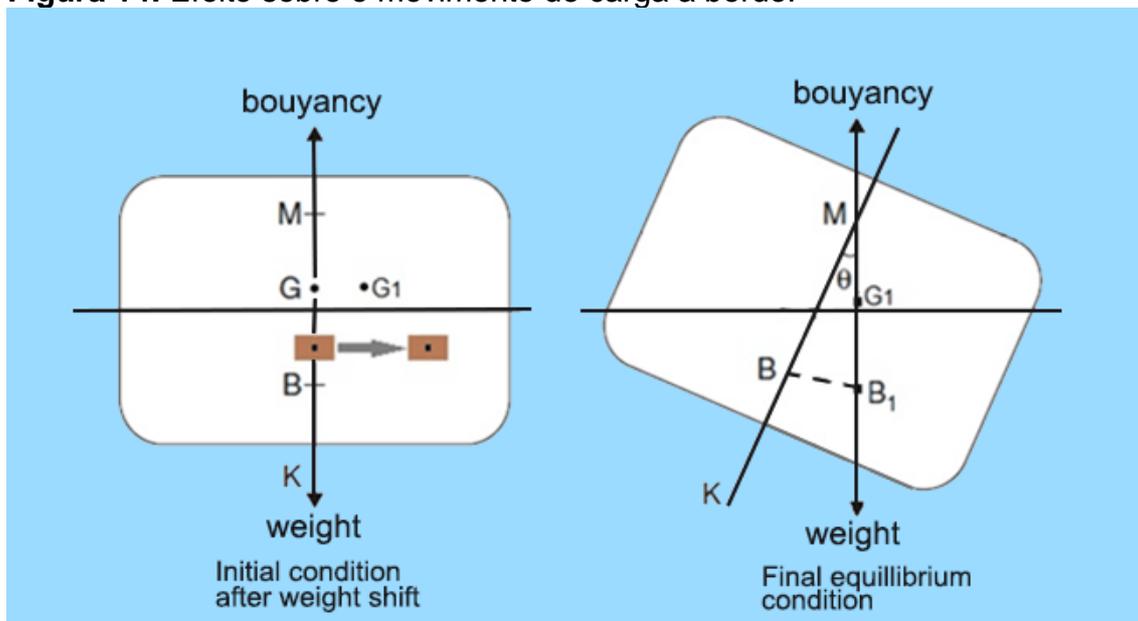


Fonte: Marine Insight, 2014.

Movimento transversal de peso: Mover qualquer peso no sentido transversal irá alterar a posição do centro de gravidade do navio (de G para G1), como mostrado na figura abaixo. O braço inicial criado pelo peso em G1 e o empuxo em B irá criar o momento de banda. O navio irá inclinar até um ponto em que o novo centro de empuxo (B1) estará em uma posição tal que o peso e o empuxo coincidirão verticalmente. Isso também ocorre quando água de lastro é transferida de um bordo para o outro, ou quando água de lastro é admitida somente em um lado de um tanque. No caso de navios de passageiros, aglomeração de muitos passageiros em apenas um bordo

pode ser também analisada como um movimento transversal de peso. É importante entender que mesmo que esta seja uma condição de equilíbrio, um cenário onde o navio se encontra com banda não é desejável. Portanto, medidas corretivas devem ser tomadas afim de trazer o navio de volta para uma posição adriçada.

Figura 14: Efeito sobre o movimento de carga a bordo.



Fonte: Marine Insight, 2014.

3.13 Estabilidade dinâmica

3.13.1 importância da estabilidade dinâmica

Estabilidade dinâmica é o trabalho necessário para adernar o navio. No estudo de estabilidade dinâmica supõe-se que o movimento de inclinação seja suficientemente lento para que se anulem as resistências passivas do ar e da água, assim como as velocidades inicial e final da inclinação sejam zero.

Fazendo essas hipóteses, o momento do conjugado necessário a adernar o navio até um ângulo θ é igual ao momento resistente criado por estarem o empuxo e gravidade atuando em verticais diferentes.

3.13.2 medida da estabilidade dinâmica

Suponhamos o navio adriçado. Partimos dessa posição de equilíbrio para uma inclinação qualquer θ . O trabalho efetuado para adernar o navio de um ângulo muito pequeno $d\theta$ é igual a:

$$dT = \Delta \cdot GZ \cdot d\theta$$

pois sabemos da física que trabalho é conjugado ($\Delta \cdot GZ$) vezes rotação ($d\theta$). O trabalho total para levar o navio de uma inclinação zero a uma inclinação θ , será:

$$T = \int_0^\theta \Delta \cdot GZ \cdot d\theta$$

Suponhamos, agora, que o ângulo θ pertence à faixa de estabilidade inicial (menor que 12° , aproximadamente)

$$GZ = GM \sin \theta$$

sendo θ pequeno, o seno se confunde com o arco medido em radianos

$$\sin \theta = \theta$$

$$\text{E teremos que: } T = \frac{\Delta \cdot GM \cdot \theta^2}{2}$$

Nesta fórmula, que só serve para a faixa de estabilidade inicial temos que:

Δ = deslocamento em toneladas

GM = altura metacêntrica em metros

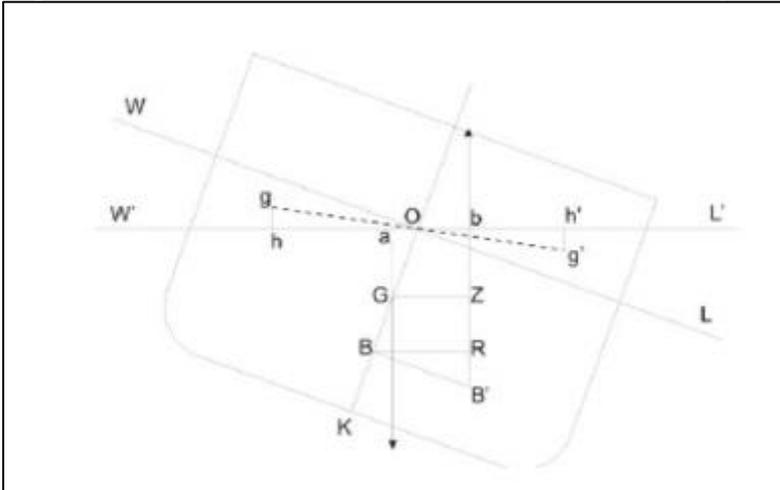
θ = ângulo de banda temporária, em radianos

T = momento de estabilidade dinâmica, em toneladas x metros x radianos.

3.13.3 fórmula de moseley

A fórmula anterior só se emprega na faixa de estabilidade inicial. Para grandes bandas usa-se a fórmula de Moseley.

Figura 15: Pontos notáveis e a fórmula de Moseley.



Fonte: SIDNEI ESTEVES, 2011, p. 201.

Quando o navio aderna, G sobe e B desce em relação à linha d'água. É como se o peso do navio se tivesse movimentado para cima da distância que o centro de gravidade subiu em relação ao plano de flutuação, e para baixo da distância que o centro de carena se movimentou em relação ao dito plano de flutuação.

O trabalho efetuado para adernar o navio, ou seja, a estabilidade dinâmica é igual ao peso do navio vezes o aumento na separação vertical entre G e B. Assim:

$$T = \Delta(B'Z' - BG)$$

$$T = \Delta(B'R + RZ - BG)$$

mas B'R é o deslocamento vertical do centro de carena, que como sabemos de dedução anterior é:

$$B'R = \frac{v \cdot (gh + g'h')}{v}$$

e

$$RZ = pG = BG \cos \theta$$

Substituindo, vem:

$$T = \Delta \left(\frac{v \cdot (gh + g'h')}{v} + BG \cos \theta - BG \right)$$

Evidenciando BG, temos a fórmula de Moseley.

$$T = \Delta \left(\frac{v \cdot (gh + g'h')}{v} + BG(\cos \theta - 1) \right)$$

Nessa fórmula:

Δ = deslocamento

v = volume da cunha que imerge ou emerge

$gh + g'h'$ = deslocamento vertical do centro de gravidade da cunha, ou seja, a distância vertical que se deslocou o centro da cunha.

BG = distância vertical entre o centro de carena e o centro de gravidade

V = volume de carena

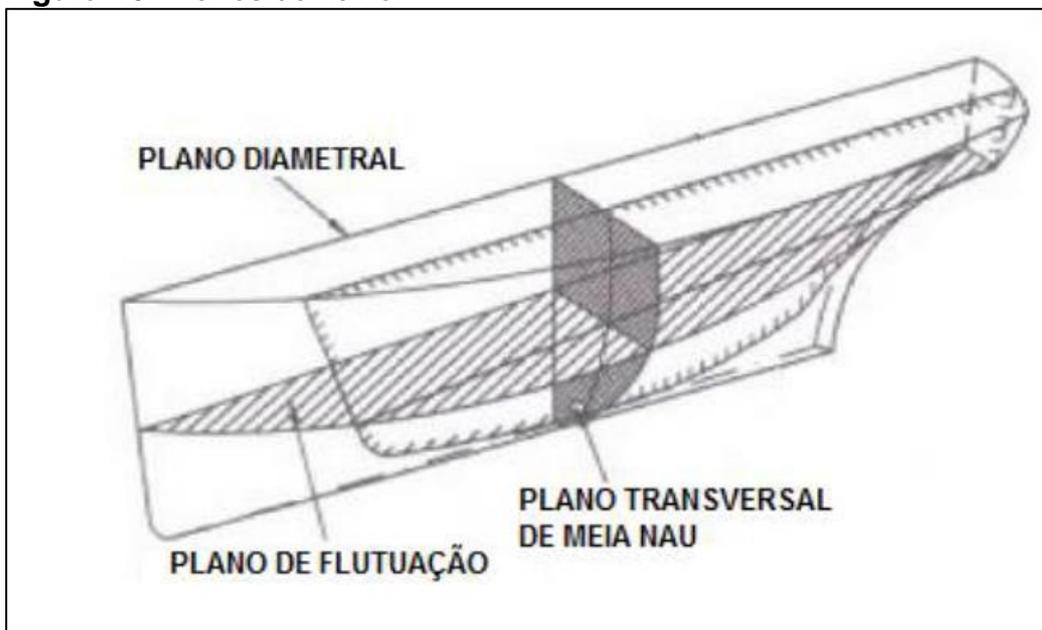
Essa fórmula não é usada a bordo, pois não dispomos de meios para calcular v e $(gh + g'h')$.

3.14 Estabilidade estática longitudinal

Conforme mencionamos anteriormente, estabilidade estática é o estudo das forças que afastam a embarcação da sua posição inicial e estabilidade longitudinal é o estudo do comportamento do navio no sentido longitudinal, no sentido de proa a popa, quando existe o trim. Logo estabilidade estática longitudinal será o estudo das forças que afastam a embarcação da sua posição inicial no sentido longitudinal.

3.15 Planos e pontos notáveis da estabilidade estática longitudinal

Figura 16: Planos do navio.



Fonte: SIDNEI ESTEVES, 2011, p. 39.

3.15.1 plano diametral

É o plano longitudinal que divide a embarcação em duas partes iguais bombordo e boreste, como mostrado na figura 15.

3.15.2 plano de flutuação

É o plano horizontal que contém a superfície que a embarcação está flutuando este plano divide a embarcação em duas partes distintas, a que pertence a parte que fica fora da água é chamada de obras mortas e a outra parte que fica abaixo da superfície da água é chamada de obras vivas, como pode ser observado na figura 15.

3.15.3 plano transversal de meia nau ou plano de seção mestra

É o plano vertical perpendicular ao plano diametral que divide a embarcação em duas partes, proa e popa. Costuma ser representado pelo símbolo, “aranha”.

3.15.4 plano de base moldada

É o plano perpendicular ao plano diametral e a seção de meio navio passando pelo ponto mais baixo da superfície do casco pertencente ao plano da seção de meio navio.

3.16 Metacentro Longitudinal

É o centro da curva descrita pelo centro de carena, à medida que o navio inclina-se longitudinalmente, em torno de um eixo transversal.

3.17 Trim ou Compasso

Também chamado de compasso, é a diferença entre o calado a ré e o calado a vante, podendo ser expresso da seguinte forma:

$$\text{Trim} = \text{Calado a ré} - \text{Calado a vante}$$

3.18 Variação do TRIM

É a alteração nos calados devido a movimentações de pesos a bordo. Esta variação, também chamada de compasso, pode ser representada pela diferença entre o trim final e o trim inicial.

$$VT = t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$$

Ao embarcar ou desembarcar pesos, na posição do plano que pertence ao centro de flutuação, o trim varia uniformemente e a embarcação imerge ou emerge paralelamente.

3.19 Momento para variar o TRIM

3.19.1 Momento para variar o TRIM de 1 centímetro (MTC ou MCC)

É o momento longitudinal, em toneladas x metro por centímetro, necessário para variar o trim de 1 centímetro. O MTC mede a intensidade com que o navio retorna ao calado primitivo e é utilizado para medidas de comparação de estabilidade longitudinal.

O valor do MTC é obtido nas tabelas hidrostáticas correspondente a cada embarcação.

3.19.2 cálculo da variação do trim causado por um momento longitudinal M.

A movimentação a bordo de um peso qualquer P, em uma distância longitudinal d, provoca um momento longitudinal M:

$$M = P \cdot d$$

Esta movimentação provocará uma variação no trim da embarcação, e pode ser calculado pela expressão:

$$VT = \frac{M}{MTC} = \frac{P \cdot d}{MTC}$$

3.20 Alterações do compasso devido à movimentação longitudinal de pesos

3.20.1 quando o Centro de Flutuação Coincide com o plano transversal de meio navio

Consideremos um peso posicionado no plano transversal de meio navio. Caso este peso seja deslocado para vante ou a ré, isto provocará uma alteração no compasso ou trim da embarcação e que nesse caso será igual, ou seja, a variação do calado a vante será igual a variação do calado a ré.

3.20.2 quando o centro de flutuação for à vante do plano transversal de meio navio

Caso seja deslocado um peso em uma embarcação, onde o centro de flutuação está a vante do plano transversal de meio navio, isto provocará uma variação do trim à vante menor do que a variação do trim à ré.

3.20.3 quando o centro de flutuação for à ré do plano transversal de meio navio

Caso seja deslocado um peso em uma embarcação, onde o centro de flutuação está a ré do plano transversal de meio navio, isto provocará uma variação do trim à ré menor do que a variação do trim à vante.

Quando movimentamos pequenos pesos longitudinalmente, a bordo, podemos considerar que a posição do centro de flutuação permanece fixa e o valor do MTC não se altera depois da manobra. Porém quando a movimentação envolve pesos consideráveis, essas grandezas deixam de ser constante. Nesta pesquisa definem-se pequenos pesos, aos pesos cujo valor máximo não ultrapasse 5% do deslocamento da embarcação.

4 ESFORÇOS ESTRUTURAIS

O navio moderno é constituído por seções de chapas de aço e vigas tão conectadas que proporcionam força adequada em todas as partes para suportar as forças que atuam no navio sob todas as condições de serviço. As forças que atuam em um navio podem ser estáticas ou dinâmicas. As forças estáticas são devidas à diferença de peso e empuxo, que afetam todo o navio. As forças dinâmicas são causadas pelo movimento do navio no mar e a ação do vento e da onda.

Essas forças criam:

- 1) Esforço longitudinal
- 2) Esforço transversal
- 3) Esforço local

O maior esforço estabelecido no navio como um todo é devido à distribuição da carga ao longo do navio, causando flexão longitudinal.

4.1 Esforço longitudinal

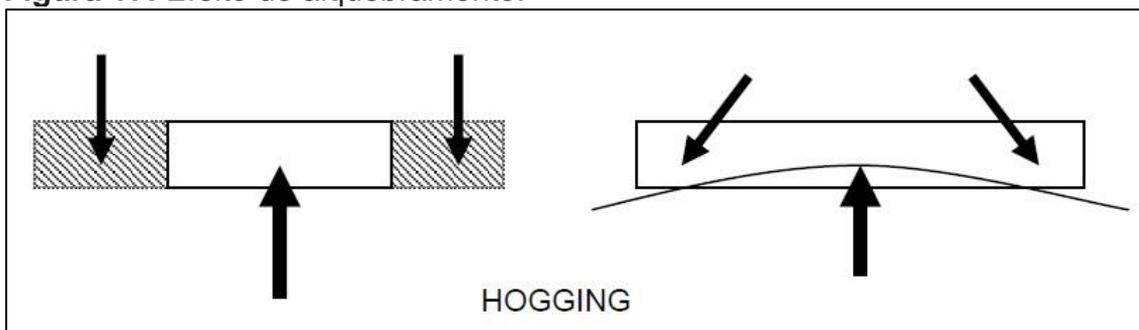
As forças atuantes são duas, o peso do navio e tudo o que carrega atuando para baixo e o componente vertical da pressão hidrostática.

Dependendo da direção em que o momento de flexão atua, o navio estará Hog ou Sag.

Hogging:

Se o empuxo no meio do navio exceder o peso devido ao carregamento, o navio estará Hog, assemelhando-se a uma viga equilibrada no meio com pesos em cada extremidade.

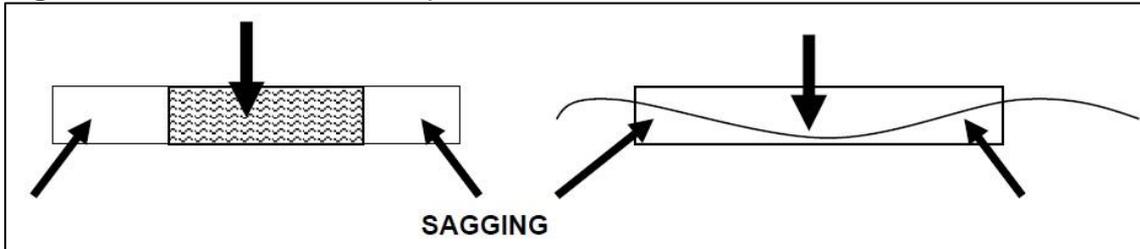
Figura 17: Efeito de alquebramento.



Fonte: Marine Engineering Online, 2012.

Sagging: Se o peso no meio do navio exceder o empuxo, o navio estará Sag, como uma viga equilibrada nas extremidades e suportando um peso a um comprimento médio.

Figura 18: Efeito de contraalquebramento.



Fonte: Marine Engineering Online, 2012.

4.2 Esforço transversal

Uma seção transversal de meio navio é submetida a pressão estática devido à água circundante, bem como a carga interna devido ao peso da estrutura, carga etc.

As partes da estrutura, que resistem esforços transversais, são:

- 1) Antepara transversal.
- 2) Pavimento no fundo duplo.

Suporte entre a viga de convés e a estrutura lateral, juntamente com o suporte entre o quadro lateral e o revestimento do tanque, ou placa de margem.

Os pilares no buraco e no convés.

4.3 Esforço local

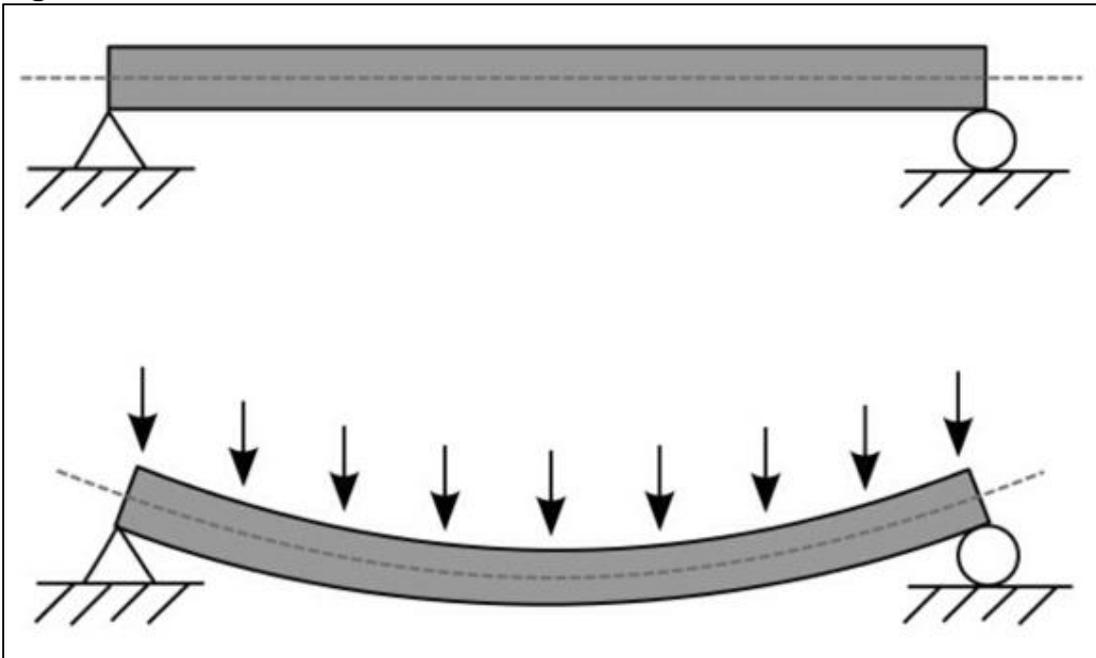
Estes são criados pelos seguintes itens:

- 1) Carga concentrada pesada como caldeira, motor etc.
- 2) Carga morta como madeira
- 3) Vibração do casco
- 4) Navio sobre o picadeiro em um dique (estresse estático).

4.4 Momento Fletor

O momento fletor representa a soma algébrica dos momentos relativos a seção YX, gerados por cargas aplicadas transversalmente ao eixo longitudinal. Produzindo esforço que tende a curvar o eixo longitudinal, provocando tensões normais de tração e compressão na estrutura.

Figura 19: Momento fletor.



Fonte: Marine Engineering Online, 2010.

CÁLCULO DO MOMENTO FLETOR: (BENDING MOMENT)

$$MF = ME - ML - MC \text{ (1) OU } MF = MC + ML - ME \text{ (2)}$$

Em (1): MF (+) Contra-alquebrado (sagged, SAG)

MF (-) Alquebrado (hogged, HOG)

Em (2): MF (+) Alquebrado (hogged, HOG)

MF (-) Contra-alquebrado (sagged, SAG)

Os programas e/ou manuais de carregamento usam uma das duas expressões.

ME = Momento da parcela de empuxo em relação a seção (fornecido pelo estaleiro com ajustes tabulares).

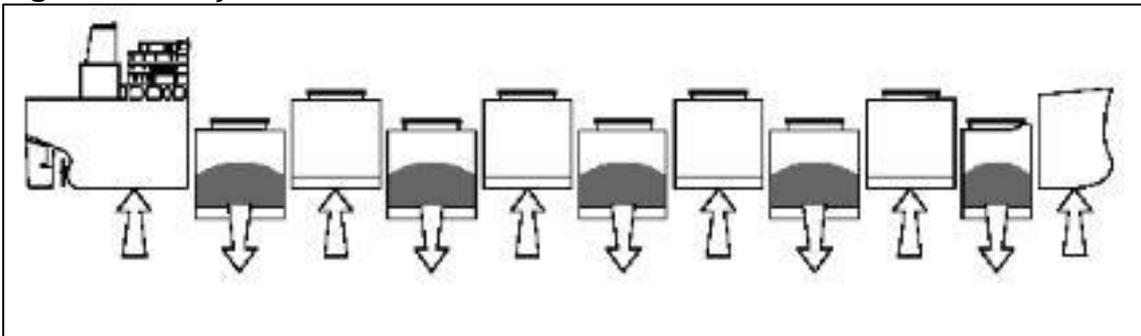
ML = Momento da parcela do deslocamento leve em relação a seção (fornecido pelo estaleiro).

MC = Momento da parcela de carga, óleo e água em relação a seção (calculado por bordo).

4.5 Força Cortante

A Força Cortante representa a soma algébrica de todas forças contidas no plano YZ, perpendicular ao eixo longitudinal. Produzindo esforço que tende a deslizar uma seção em relação a outra, provocando tensões de cisalhamento.

Figura 20: Força cortante.



Fonte: Marine Engineering Online, 2010.

CÁLCULO DA FORÇA CORTANTE: (SHEAR FORCE)

$$FC = L + C - E \quad (1) \quad \text{OU} \quad FC = E - L - C \quad (2)$$

Em (1): Peso (+) e Empuxo (-)

Em (2): Peso (-) e Empuxo (+)

Os programas e/ou manuais de carregamento usam uma das duas expressões.

L = Parcela do deslocamento leve, considerada desde a seção até a extremidade de proa (fornecida pelo estaleiro).

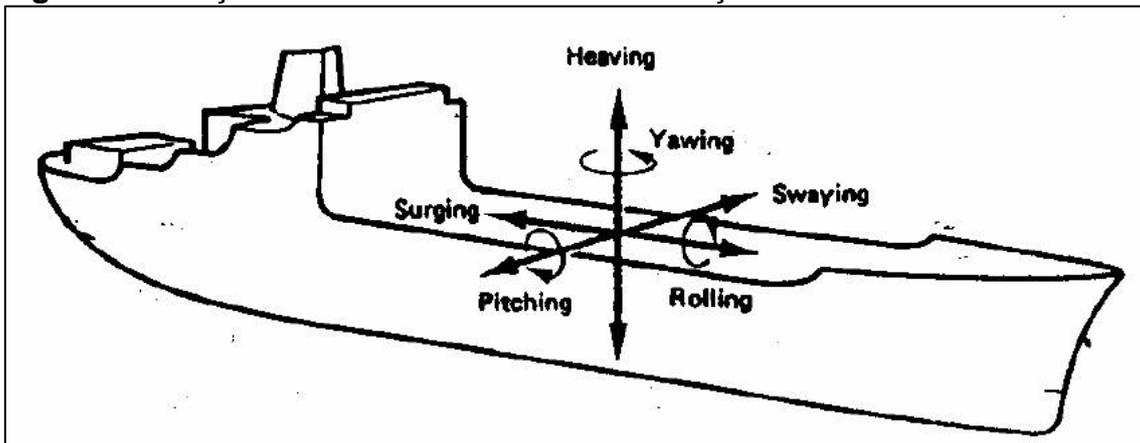
C = Parcela de carga, óleo e água, considerada desde a seção até a extremidade de proa (calculado por bordo).

E = Parcela de empuxo, considerada desde a seção até a extremidade de proa. (fornecida pelo estaleiro com ajustes tabulares).

5 FORÇAS DINÂMICAS

Os efeitos dinâmicos decorrem do movimento do próprio navio. Um navio entre ondas tem três movimentos lineares.

Figura 21: Forças dinâmicas sobre uma embarcação.



Fonte: Marine Engineering Online, 2010.

- + Surging: O movimento linear para a frente e para trás (ao longo de x) de um navio é chamado de surging.
- + Heaving: O movimento linear vertical para cima e para baixo (ao longo de y) de um navio é chamado de heaving.
- + Swaying: O movimento linear lado a lado (ao longo de z) de um navio é chamado de swaying.
- + Rolling: O movimento rotacional de um navio em torno do eixo longitudinal é chamado de rolling.
- + Yawing: O movimento rotacional de um navio sobre eixo vertical é chamado de yawing.
- + Pitching: O movimento rotacional de um navio em torno do eixo transversal é chamado pitching.

Quando os movimentos do navio são grandes, podem ser criadas forças dinâmicas consideráveis na estrutura.

À medida que a onda passa ao longo do navio, eles causam variação na pressão da água, que tende a criar um movimento para dentro e para fora no casco.

As regras das sociedades classificadoras exigem uma rigidez adicional, no final do navio, sob a forma de vigas, suportes, etc., a fim de reduzir a possibilidade de danos.

Em tempo pesado, a extremidade dianteira do navio emerge da água e reentra com um efeito de batida.

O reforço adicional é necessário na parte dianteira para reduzir a possibilidade de danos.

6 SOCIEDADES CLASSIFICADORAS

As Sociedades Classificadoras não fazem seguro.

Não são entidades oficiais – são pessoas jurídicas de direito privado e geralmente sem fins lucrativos.

6.1 Finalidades

- a) Fixar regras sobre a construção do casco e das máquinas propulsoras e auxiliares das embarcações;
- b) Fiscalizar a construção dos navios;
- c) Apreciar as qualidades dos navios já construídos;
- d) Proporcionar aos compradores, carregadores, afretadores, tribunais, companhias de seguros, etc. informações sobre o estado e valor do navio;
- e) Fazer inspeções periódicas (vistorias) a fim de fiscalizar a observância de suas regras e garantir a manutenção de suas qualidades náuticas;
- f) Expedir certificados quanto às regras e inspeções;
- g) Determinar a borda livre – quando um governo lhe delegar tal atribuição;
- h) Publicar um registro detalhado das embarcações por ela classificadas.

Gozam, quase todas, de prestígio universal em razão da reputação de eficiência e honorabilidade que constituíram em 2 séculos de existência.

6.2 Vistorias que efetuem

- a) Inicial – permanentemente, durante toda a construção do casco, máquinas e equipamentos, inclusive testes finais;
- b) Classificação – geralmente a cada 4 anos e revestidas de extremo rigor:
 - I. As chapas que apresentam espessura igual ou inferior a $\frac{3}{4}$ da espessura primitiva, devem ser substituídas;
 - II. Duplo fundo e tanques de aguada e combustível são testados sob pressão;
 - III. As máquinas são vistoriadas no estrado e as caldeiras são testadas sob pressão igual a 1,5 vezes a pressão de regime.

Atualmente, quase todas as Sociedades Classificadoras estão substituindo esta vistoria pela classificação contínua na qual, evitando uma longa paralização dos navios, os Armadores podem parcela-las, dentro dos 4 anos previstos, condicionado a que no final todos os quesitos sejam completados e que não haja intervalos maiores de 4 anos para o quesito.

- c) Em seco – em dique-seco, geralmente a cada 2 anos:
 - I. Inspeção do casco, roda de proa, cadaste e leme;
 - II. Inspeção da máquina e equipamentos auxiliares, caldeiras, aparelho de governo, aspirações e descargas;
 - III. Aparelho de fundeio e salvatagem.
- d) Especiais – sempre que o navio sofra acidente grave ou seja submetido a reparos ou modificações importantes.

6.3 Borda Livre

Borda livre é a distância vertical, medida no costado, entre a Linha de Flutuação e o Convés, é uma medida da Reserva de Flutuabilidade.

Quando não for especificado o convés e em que ponto foi medida, subentende-se que é referida ao Convés Principal e a Meio-Navio.

O convés de referência é denominado Convés de Borda Livre.

Assim como há mais de uma Reserva de Flutuabilidade, há mais de uma BL:

- a) Borda Livre Mínima de Segurança (BLM) – estipulada em Certificado e objeto de Convenção Internacional;
- b) Borda Livre Atual – a que o navio possua no momento.

6.4 Borda Livre Mínima de Segurança (BLM)

Instituída em 1876 devido à sucessão de acidentes ocasionados por carregamento excessivo. Proposta por Lord Plimsoll por cujo nome o disco marcado no costado é até hoje conhecido. (Disco de Plimsoll).

Rege-se por uma Convenção Internacional de Linhas de Carga.

Por ela, os navios são obrigados a ostentar, cravada no costado, uma marcação (Disco de Plimsoll) e exibir o Certificado Internacional de Linhas de Carga (ou de Borda Livre), emitido segundo modelos e normas fixados pela Convenção.

No Brasil, a DPC (Diretoria de Portos e Costas) do Comando da Marinha é a autoridade competente para expedir esses Certificados, geralmente delegando tal atribuição de acordo com a Convenção, às Sociedades Classificadoras.

6.5 Marcação das Bordas Livres Mínimas de Segurança (BLM)

O objetivo principal do estabelecimento das BLM é a segurança, dotando os navios de uma reserva de flutuabilidade.

Esta varia nas diferentes regiões e com as diferentes estações climáticas – em água doce permite-se que seja menor não só porque a menor densidade ocasiona maior imersão para um mesmo deslocamento, mas também porque os locais de água doce são mais abrigados.

Tabela 1: Marcações do Disco de Plimsoll

Marcas	Símbolo	Símbolo Inglês
Tropical	T	T
Verão	V	S
Inverno	I	W
Inverno no Atlântico Norte	IAN	WNA
Água doce	AD	FW
Água doce tropical	ADT	TFW

Fonte: Autoria própria

Quase todas as regiões oceânicas onde se aplicam essas marcas têm seus limites móveis, conforme a estação climática, fixando a Convenção, as datas em que prevalecem esses limites.

6.6 Disco de Plimsoll

O Disco de Plimsoll, conforme veremos mais adiante, contém as seguintes marcas:

- 1) Marca do Convés de BL: linhas horizontais cravadas a Meio-Navio, em ambos os bordos; limbo superior coincidindo com a superfície do convés de BL – medidas 300mm de comprimento x 25mm de espessura.
- 2) Disco de Plimsoll propriamente dito: anel cravado a Meio-Navio com raio de 300mm e espessura de 25mm – deve ser interceptado por uma marca horizontal

medindo 450mm x 25mm, o limbo superior desta marca passando pelo centro do Disco, o centro do Disco distará verticalmente do limbo superior da marca de convés de BL a medida determinada para sua Borda Livre de Verão (V).

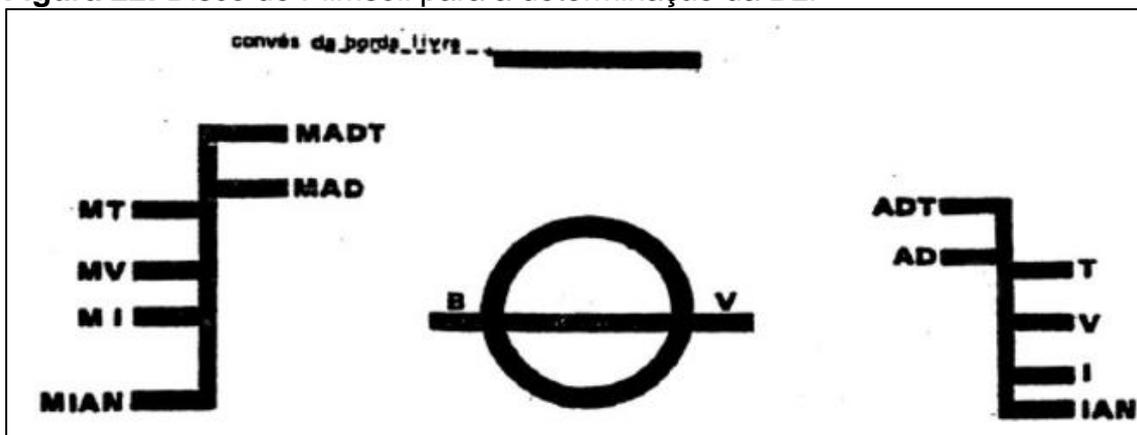
- 3) Linhas de Carga: são marcas horizontais medindo 230mm x 25mm e devem ser cravadas perpendicularmente a outra marca vertical cravada a 540mm à vante do Disco de Plimsoll e tendo 25mm de espessura.
- I. Linha de Verão (V) – é demarcada na mesma altura da marca horizontal que intercepta o centro do Disco de Plimsoll;
 - II. Linha de Inverno (I) – é paralela e logo abaixo da Linha de Verão;
 - III. Linha Tropical (T) – é paralela e logo acima da Linha de Verão;
 - IV. Linha de Inverno no Atlântico Norte (IAN) – é paralela e logo abaixo da Linha de Inverno;
 - V. Linha de Água Doce (AD) – é paralela e logo acima da Linha Tropical;
 - VI. Linha de Água Doce Tropical (ADT) – é paralela e acima da de Água Doce.

As quatro primeiras são demarcadas para vante da marca vertical, as duas últimas (água doce) são demarcadas para ré da marca vertical.

As distâncias verticais entre essas marcas são determinadas pelo Certificado Internacional de Borda Livre no Navio.

Nenhum navio pode penetrar em qualquer das Regiões Oceânicas demarcadas no mapa tendo submersas a marca correspondente.

Figura 22: Disco de Plimsoll para a determinação da BL.

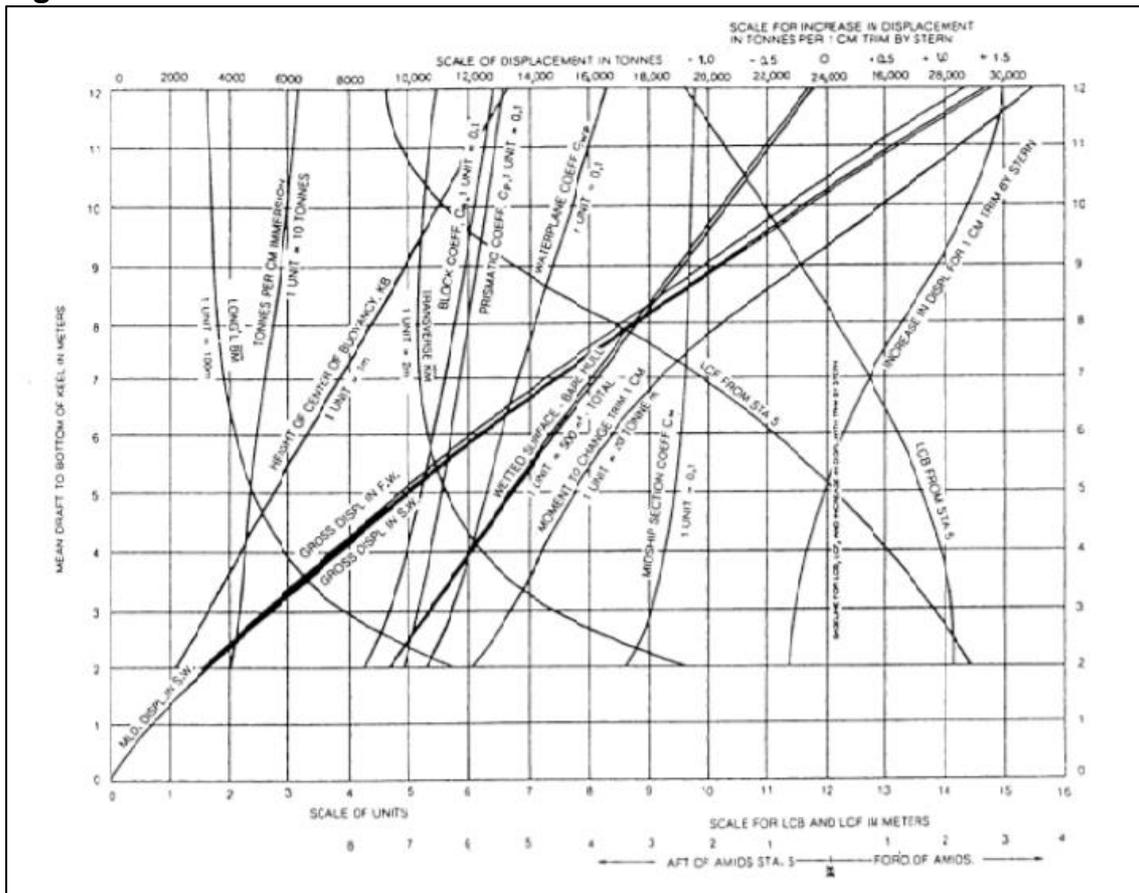


Fonte: Bureau Veritas, 2009.

7 CURVAS HIDROSTÁTICAS

As curvas hidroestáticas têm por finalidade apresentar de forma direta as propriedades hidroestáticas do navio em função de seu calado. Através destas curvas obtêm-se rapidamente as propriedades hidroestáticas para condições diferentes de operação.

Figura 23: Curvas hidroestáticas



Fonte: Marine Engineering Online, 2012.

7.1 Determinação do braço de adriçamento pelo método de Atwood

A fórmula $GZ = GM \times \sin \theta$ só é válida para a faixa de estabilidade inicial (até 12° de banda). Para ângulos maiores, podemos usar a fórmula de Atwood.

$$GZ = \frac{v \cdot hh'}{\nabla} - BG \cdot \sin \theta$$

Essa é a fórmula de Atwood, que é utilizada pelos engenheiros na construção das curvas cruzadas.

7.2 Curvas cruzadas de estabilidade

Até 12°, aproximadamente, determinamos os braços de estabilidade (GZ) por meio de fórmulas simples. Para ângulos maiores não se usa, a bordo, nem a fórmula de, e nem a fórmula dos “costados perpendiculares” (pois na proa e na popa os costados dos navios não são perpendiculares), embora essa última dê resultados bastante aproximados. A bordo, para determinar o valor do braço de estabilidade para ângulos maiores de 12° usa-se o plano de “curvas cruzadas”, também conhecido como “curvas isóclinas” e “curvas de Dahlman” (nome de seu inventor). Essas curvas nos dão os valores dos braços de estabilidade para uma posição assumida do centro de gravidade, isto é, assumem um valor de KG.

7.3 Construção da curva de braços de estabilidade

A construção dos ângulos de banda e braços de estabilidade correspondentes num sistema de eixos retangulares nos dá a curva de braços de estabilidade, que permite visualizar as condições de estabilidade estática do navio para um dado carregamento. Essa representação também é chamada de “diagrama de estabilidade”. Ela é conhecida erroneamente, também, como curva de braços de adriçamento: é errado assim chamar por que ela pode conter braços de adriçamento, de banda e de emborcamento. Para construir a curva de braços de estabilidade para uma determinada condição, necessitamos de:

- Valor e posição dos centros de gravidade de todos os pesos a bordo relativamente à linha de base;
- Plano de curvas hidrostáticas ou tabelas hidrostáticas;
- Plano ou tabela de curvas cruzadas de estabilidade.

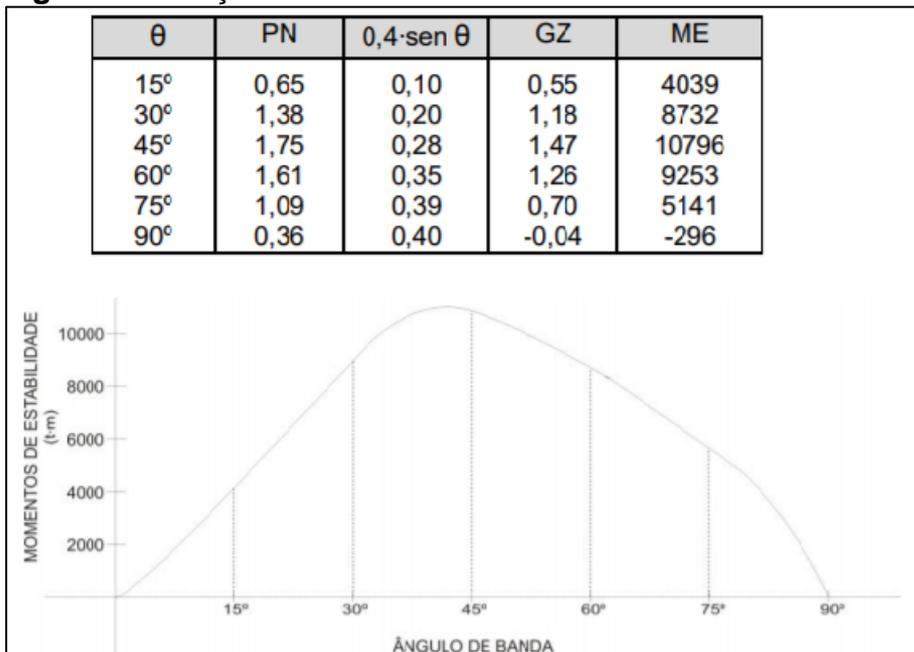
Opera-se a seguinte maneira:

- 1) Calcula-se o KG do navio. Obtém-se o KM e o deslocamento no plano/tabela de curvas hidrostáticas.
- 2) Determina-se a altura metacêntrica inicial fazendo a subtração: $GM = KM - KG$
- 3) Prepara-se um gráfico – sistema de eixos retangulares onde no eixo X–X serão marcados os ângulos, e o eixo Y–Y serão marcados os braços de estabilidade. A escala é arbitrária.

- 4) No eixo das abscissas (eixo X–X) marca-se o valor de um radiano ($57,3^\circ$) e por ele suspende-se uma ordenada. Marca-se sobre essa ordenada o valor de GM, já calculado, medida na mesma escala em que serão medidos os GZ. (braços de estabilidade).
- 5) Pelo ponto assim determinado nessa ordenada traça-se uma reta ligando-o à origem. Essa reta se confundirá com o primeiro ramo da curva (até uns 12° aproximadamente) de braços de estabilidade que iremos traçar.
- 6) Com o deslocamento do navio entra-se nas curvas cruzadas e determina-se o KN (ou PN) para os diversos ângulos que ela trouxer.
- 7) Calculam-se os valores de $(KG \times \sin\theta)$ ou $(KG - KP) \cdot \sin\theta$ para os mesmos ângulos.
- 8) Subtraem-se (ou somam-se) os valores obtidos em (7) com os obtidos em (6). Tem-se os vários braços de estabilidade (GZ).
- 9) No gráfico já preparado marcam-se os pontos – ângulos contra braços de estabilidade e, unindo-os, ter-se-á a curva de braços de estabilidade. Lembramos que o primeiro ramo da curva deve confundir-se com a reta traça de acordo com a explicação em (5).

7.4 Curva de momentos de estabilidade – traçado da curva

O traçado da curva de momentos de estabilidade é igual ao da curva de braços de estabilidade, e elas são parecidas, pois: $ME = \Delta \cdot GZ$. Apenas o gráfico será em momentos em vez de braços de estabilidade e, no quadro, colocaremos mais uma coluna, que será do produto dos braços de estabilidade pelo deslocamento.

Figura 24: Traçado da curva.

Fonte: Marine Engineering Online, 2012.

Para se conhecer a condição de estabilidade do navio não é necessário o traçado da curva dos momentos de estabilidade. É suficiente traçar o diagrama de estabilidade estática. O presente item é dado com fim ilustrativo.

7.5 Correções à curva de braços de estabilidade

Excetuando os fatores externos como o vento, constante (pouco importante nos navios de propulsão mecânica, mas importantíssimo para os veleiros) existem, considerada a estabilidade, dois motivos para que um navio adquira banda permanente e, ambos, são resultados da distribuição de pesos a bordo. Esses motivos são:

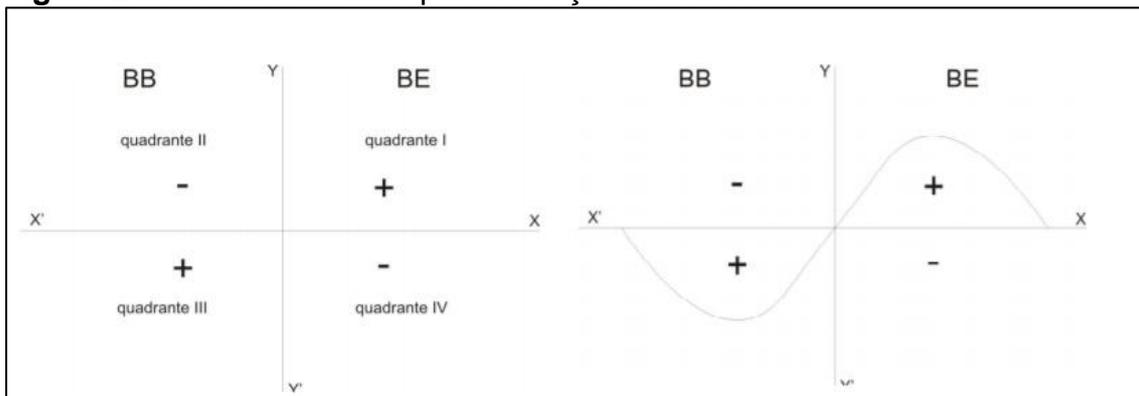
- a) Pesos descentralizados;
- b) Altura metacêntrica inicial igual a zero ou negativa.

A água aberta (compartimento aberto ao mar abaixo da flutuação) quase sempre produz banda permanente. Mas é um caso de avaria, e não é produzido por falta de estabilidade, e sim por perda de flutuação que, por sua vez influenciará na estabilidade. A distribuição transversal de pesos pode causar banda permanente e até mesmo levar o navio a emborcar, quando a resultante de todos os pesos a bordo (inclusive o peso do próprio navio) for aplicada num ponto que esteja localizado fora

da linha de centro. Para um navio convencional, teremos que, se o somatório dos momentos dos pesos a BB não for igual ao somatório dos momentos a BE, com referência a linha de centro, haverá banda permanente. A distribuição vertical de pesos causará banda permanente e da mesma maneira poderá levar o navio a emborcar no caso de termos altura metacêntrica inicial zero ou negativa.

O sistema de eixos perpendiculares forma quatro quadrantes. Os quadrantes da direita do eixo dos Y representam as bandas para BE (bandas medidas sobre o eixo das abscissas) e os da esquerda de Y representam as bandas para BB (também medidas sobre o eixo das abscissas). As ordenadas são positivas nos quadrantes I e III e negativas nos quadrantes II e IV. Assim, a curva de braços de estabilidade para um navio com o centro de gravidade na linha de centro toma o aspecto mostrado na figura a seguir, quando traçada para ambos os bordos.

Figura 25: Sistema de eixos para correção da curva.



Fonte: Marine Engineering Online, 2012.

Ainda mais, fazem que todas as correções aditivas sejam traçadas nos quadrantes negativos, e as subtrativas sejam traçadas nos quadrantes positivos, para facilitar a leitura dos braços de estabilidade residuais. Chama-se braço de estabilidade residual o que sobrou de um braço de estabilidade para determinada banda, depois da curva corrigida, seja para movimento vertical, seja para movimento transversal de pesos.

7.6 Critérios mínimos de segurança

A IMO (Organização Marítima Internacional) estabelece os padrões mínimos de segurança cujo cumprimento é responsabilidade dos países membros (Governos).

Como o nível uniforme de segurança nem sempre é possível ou prático de ser alcançado, critérios especiais para determinados tipos de navios foram adotados.

O quadro 2 abaixo, relaciona os padrões mínimos de segurança IMO para navios offshore, conforme RESOLUÇÃO MSC.267(85) adotada em 4 de Dezembro de 2008.

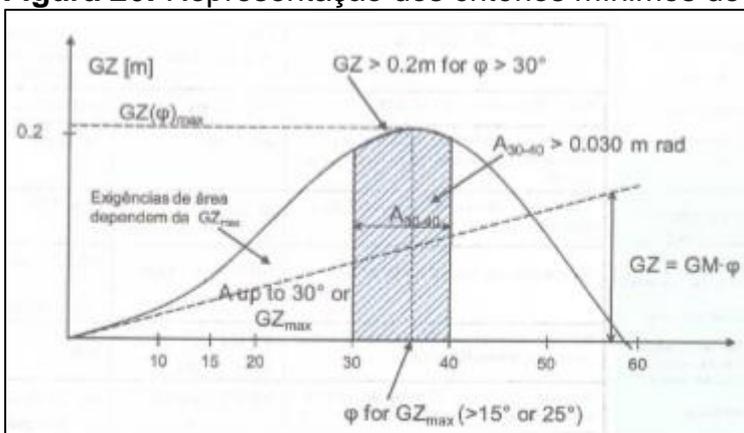
Tabela 2: Critérios mínimos de segurança para navios offshore, conforme resolução IMO MSC.206(85)

CRITÉRIOS	Cap. 3.1, Requisitos Gerais	Cap. 4.6, Requisitos para Navios de Suprimento Offshore (L<100 m)
Altura Metacêntrica Inicial GM_0	> 0.15 m	> 0.15 m
O braço de adriçamento GZ em um ângulo de inclinação igual ou maior do que 30°	>0.2 m	>0.2 m
O braço máximo de adriçamento GZ_{max} deve ocorrer a	$\varphi > 25^\circ$ (preferivelmente 30°)	$\varphi > 15^\circ$
A área sob a curva GZ up to $\varphi=30^\circ$	>0.055 m-rad (3.151 m-graus)	>0.055 m-rad, se GZ_{max} ocorre a 30° ou acima (3.151 m-graus)
A área sob a curva GZ up to $\varphi=40^\circ$ ou o ângulo de down-flooding	>0.09 m-rad (5.157 m-graus)	NA
A área sob a curva GZ entre ângulos de inclinação $\varphi=30^\circ$ e $\varphi=40^\circ$ ou o ângulo de down-flooding	>0.03 m-rad (1.719 m-graus)	>0.03 m-rad (1.719 m-graus)
A área sob a curva GZ up to $\varphi=15^\circ$ (quando GZ_{max} ocorre a 15°)	NA	0.070 m-rad (4.011 m-graus)
A área sob a curva GZ up to the GZ_{max} ângulo (quando GZ_{max} ocorre entre 15° e 30°)	NA	$0.055+0.001 \times (30^\circ - \varphi_{max})$ m-rad

Fonte: Código IS de 2008, p. 29.

Neste sentido é possível observar estas condições na figura 26 a seguir.

Figura 26: Representação dos critérios mínimos de segurança.



Fonte: Código IS de 2008, p. 13.

8 SUPERFÍCIE LIVRE

A superfície livre que, uma vez que, quando com grande intensidade, é capaz de diminuir o braço de adriçamento do navio, induzindo o mesmo a um estado de pouca estabilidade, com importantes consequências à segurança.

8.1 Noção de momento de inércia

Ao adquirir banda, um navio que transporte carga sólida não sofrerá alterações no seu Centro de Gravidade.

O mesmo acontecerá se transportar carga líquida, desde que os tanques estejam completamente cheios, isto porque não tendo o líquido para onde se expandir, comportar-se-á como um sólido.

Transportar cargas líquidas em tanques incompletos importa em deixar espaços para a expansão do líquido.

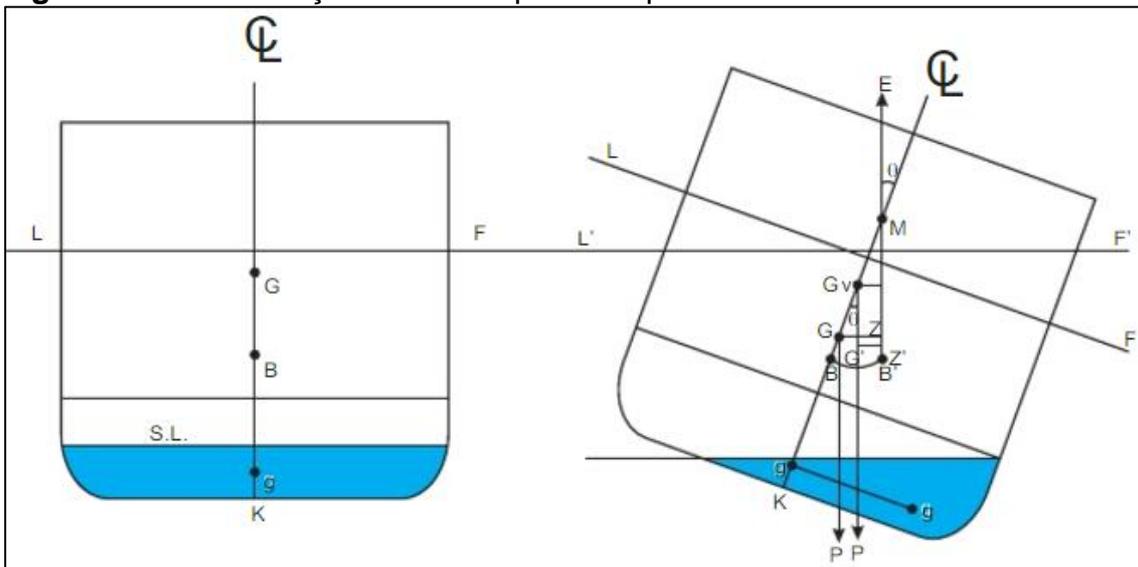
A carga transportada tem superfície livre e seus efeitos na estabilidade do navio serão a seguir analisados.

8.2 Efeito da superfície livre

Vemos, na figura 25 a seguir, um navio adriçado com um tanque de duplo-fundo contendo óleo apenas até a metade de sua altura, e o Centro de Gravidade do líquido é g .

Se houver um balanço o Centro de Gravidade do navio (G) deslocar-se-á paralelamente e no mesmo sentido da mudança do centro de gravidade do líquido no tanque, passando para G' . Assim, a gravidade passará a atuar segundo a vertical que passa por G' e não mais pela que passa por G .

Figura 27: Navio adriçado com tanque de duplo-fundo.



Fonte: ADILSON COELHO, 2010, p. 78.

O braço de adriçamento que seria GZ , caso o CG do navio não tivesse deslocado, será agora $G'Z'$, sensivelmente menor.

Também menor será o momento de adriçamento (MA)

$$MA = \Delta \cdot GZ \text{ (Sem superfície livre)}$$

$$MA = \Delta \cdot G'Z' \text{ (Com superfície livre)}$$

Sendo a gravidade e o empuxo forças paralelas, são equidistantes em toda extensão da figura já vista.

Assim, $G'Z' = GvZv$ (Gv é ponto de corte de prolongamento da gravidade com a linha de centro).

Gv é chamado CG Virtual do navio com superfície livre.

É válido, portanto, expressar:

$$MA = \Delta \cdot GvZv$$

$$MA = \Delta \cdot GvM \cdot \text{sen}\theta$$

Seria $MA = \Delta \cdot GM \cdot \text{sen}\theta$, se não houvesse superfície livre; onde GvM é nitidamente menor do que GM .

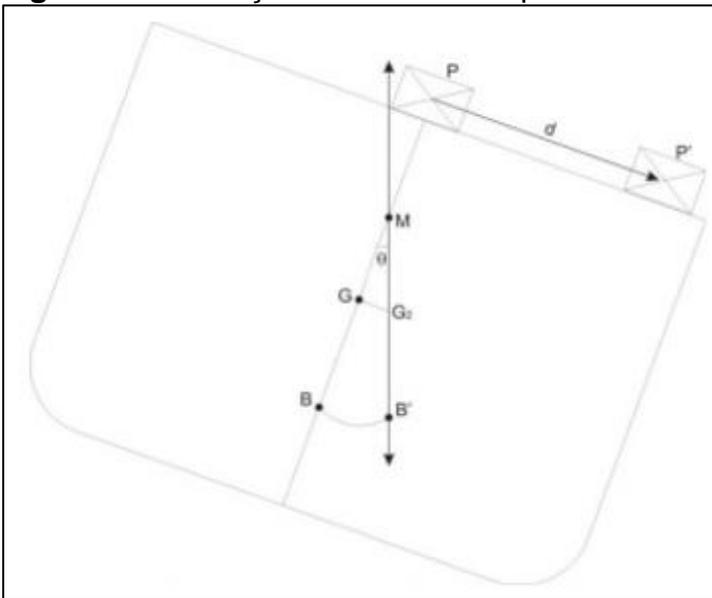
O efeito de superfície livre equivale, logo, a uma elevação virtual de G e redução de GM e conseqüentemente redução da estabilidade do navio.

9 BANDA PERMANENTE

9.1 Banda permanente devido à descentralização de pesos

A remoção transversal, o embarque ou desembarque de pesos provocam uma banda permanente que pode ser calculada pela relação indicada, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 28: Remoção transversal de peso.



Fonte: SIDNEI ESTEVES, 2011, p. 84.

A distribuição transversal de pesos pode causar banda permanente e, até mesmo, levar o navio a emborcar, quando a resultante de todos os pesos a bordo (inclusive o próprio peso do navio) for aplicada num ponto que esteja localizado fora da linha de centro do navio, ou seja, fora do plano longitudinal (diametral).

Quando o somatório dos pesos a BB não for igual ao somatório dos pesos a BE da linha central, haverá uma banda permanente.

9.2 Banda permanente devido a $GM = 0$

Quando o navio tem altura metacêntrica igual a zero, ele está em equilíbrio indiferente. Teoricamente ele ficará com qualquer inclinação numa faixa que vai de 0°

até o ponto em que o metacentro começa a subir, criando uma GM positiva e, portanto, um braço de adriçamento.

Na prática, observa-se que o navio com GM inicial igual a zero, fica adernado no ponto em que o metacentro inicia sua ascensão, e qualquer tentativa para tirá-lo dessa posição movendo cargas horizontalmente no plano transversal, para o bordo oposto ao da banda, fará com que o navio se volte violentamente para esse bordo, ficando novamente adernado com banda permanente maior que a original, e talvez até emborcando.

Para conseguir que o navio adquira altura metacêntrica positiva, o que se deve fazer é mover o centro de gravidade do navio para baixo, iniciando com a eliminação das superfícies livres que por caso existirem.

9.3 Banda permanente devido à altura metacêntrica inicial negativa

Num navio com altura metacêntrica inicial negativa, temos que:

$$GM = KM - KG$$

$$KG > KM$$

Com a inclinação do navio, o centro de carena move-se para o lado mais baixo. Se o centro de carena se mover para uma posição além da vertical que passa por G, o momento adernador desaparecerá. O ângulo de inclinação em que isso ocorre também é chamado de “ângulo de indiferença”. No ângulo de indiferença o GZ é igual a zero. Se o navio aderna além do ângulo de indiferença, o centro de carena vai além da vertical que passa por G, sempre em direção ao bordo da banda, e haverá momentos de adriçamento. O navio vai oscilar em torno do ângulo de indiferença em vez de o fazer em torno da vertical. E se o centro de carena não se mover o bastante para ficar na mesma vertical e abaixo de G, o navio emborcará.

10 DRAFT SURVEY

10.1 Introdução

O peso da carga a bordo, conforme o caso, pode ser determinado por um dos seguintes métodos:

- 1) Pesando cada volume da carga embarcado, como pode ser feito nos carregamentos de carga geral, usando os pesos indicados nos conhecimentos de embarque;
- 2) Pesando a carga em terra, por meio de balança, como se faz em alguns carregamentos de granéis sólidos;
- 3) Por medição indireta, medindo o volume dos tanques de terra, nos casos de granéis líquidos;
- 4) Por medição indireta, determinando-se o volume ocupado nos tanques de bordo, nos casos de granéis líquidos;
- 5) Através de medida do calado, feito para os casos dos granéis sólidos.

A arqueação da carga também é um método indireto para se obter o peso das mercadorias a bordo. Determina-se o calado correspondente; o deslocamento corrigido para a densidade da água em que o navio flutua; os pesos dos objetos, materiais, pessoas a bordo; e o peso do navio leve.

O embarcador, o recebedor, o afretador, o dono da carga ou outra pessoa nela interessada, pode indicar um técnico para efetuar a arqueação da carga. A essa pessoa chamaremos de “inspetor” ou “arqueador”; em inglês chama-se “draft surveyor”.

10.2 Passos no Draft Survey

A “draft survey” é uma operação continuada. Isso significa que ela deve ser feita de uma só vez; os passos que a compõem devem ser efetuados seguidamente.

Não se deve, por exemplo, ler os calados pela manhã e somente de tarde tomar a densidade da água do mar. Os passos são efetuados um imediatamente após o outro. Esses são os passos:

- 1) Leitura dos calados nas marcas do costado;
- 2) Determinação da densidade em que o navio flutua;

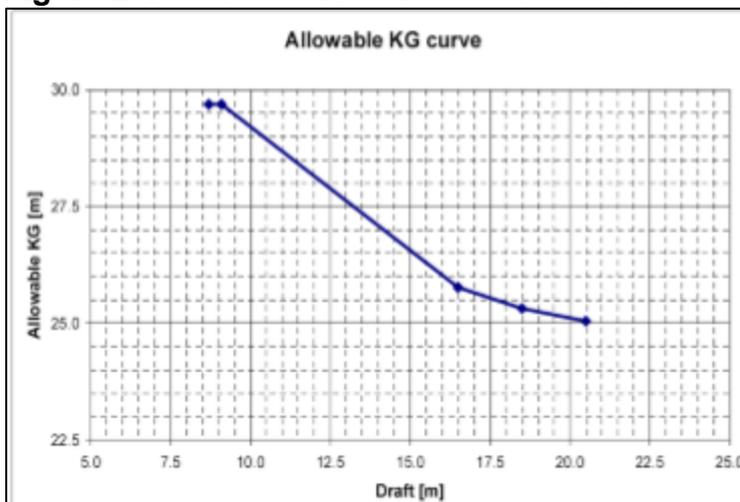
- 3) Determinação da “constante do navio”;
- 4) Determinação do peso dos “consumíveis”;
- 5) Cálculo do calado correspondente;
- 6) Determinação do deslocamento real do navio; e
- 7) Determinação do peso da carga.

11 ESTABILIDADE PARA UNIDADES SEMI-SUBMERSÍVEIS

11.1 Estabilidade Intacta para unidades Semi-submersíveis

A análise da Estabilidade da Embarcação está sujeita a requisitos legais ou estatutários, que são impostos pelos órgãos reguladores (IMO e Sociedade Classificadora). Os requisitos de Estabilidade incluem uma Curva que representa os valores do chamado “KG admissível”). Essa curva indica de uma maneira gráfica os valores de (KG) comparados com os valores de diversos calados.

Figura 29: Curva do KG máximo admissível.



Fonte: Estabilidade de Plataformas semi-submersíveis, Teoria e controle de emergências

Durante o lastro ou deslastro, enquanto a plataforma estiver passando por calados intermediários, é importante manter a altura metacêntrica (GM) positiva, em qualquer condição.

É importante que o responsável pela Estabilidade a bordo faça simulações antes de passar pela região de calados críticos, para garantir que o (GM) estará acima do valor mínimo aceitável.

As Sociedades Classificadoras utilizam critérios de valores de (GM) diferentes. A classificadora DNV (Det Norske Veritas), por exemplo, determina que em condições permanentes de operação, a altura metacêntrica (GM) mínima é de 1,0 metro. A mesma Sociedade Classificadora, estabelece que em condições de mudanças de calado (condição temporária) o valor de GM não seja, menor que 0,3 metros.

11.2 Limite operacional devido à velocidade do vento

O primeiro critério considerado é a velocidade do vento, de acordo com parágrafo 3.2.4 do Código MODU (Código para Construção e Equipamento de Unidades Móveis de Perfuração Marítima). Importante ressaltar que é considerada a direção mais desfavorável do vento para os critérios. Sendo assim:

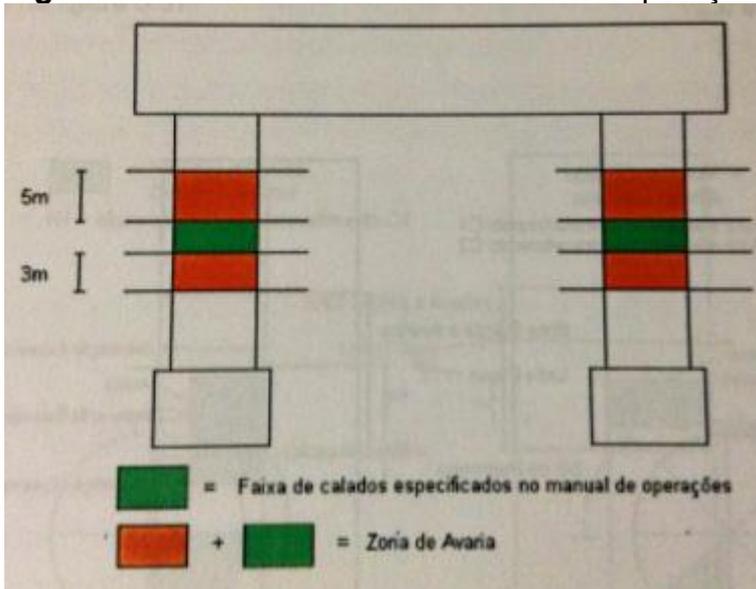
- a) Plataforma em operação normal: deve suportar ventos ≤ 70 nós.
- b) Plataforma em condição de sobrevivência: deve suportar ventos entre 70 e 100 nós (tempestade).
- c) Operação restrita: Considera apenas um modo de operação, com ventos máximos de no máximo 50 nós em qualquer modo de operação.

11.3 Extensão de danos para unidades Semi-submersíveis (parágrafo 3.5.1 MODU)

Na avaliação da Estabilidade de unidades semi-submersíveis, os seguintes critérios serão assumidos:

- a) Somente as colunas, pontoons e bracings (túneis que interligam os submarinos) da unidade devem ser assumidas como em situação de avaria, quando ocorrer na parte exposta desses elementos estruturais.
- b) Colunas e bracings devem ser assumidos como avariados, tendo uma extensão vertical de 3 metros, ocorrendo entre 5 metros acima e 3 metros abaixo dos calados especificados no Manual de Operações da Unidade. Se houver separação estanque nessa região, a avaria deve ser assumida como ocorrendo em ambos os compartimentos.

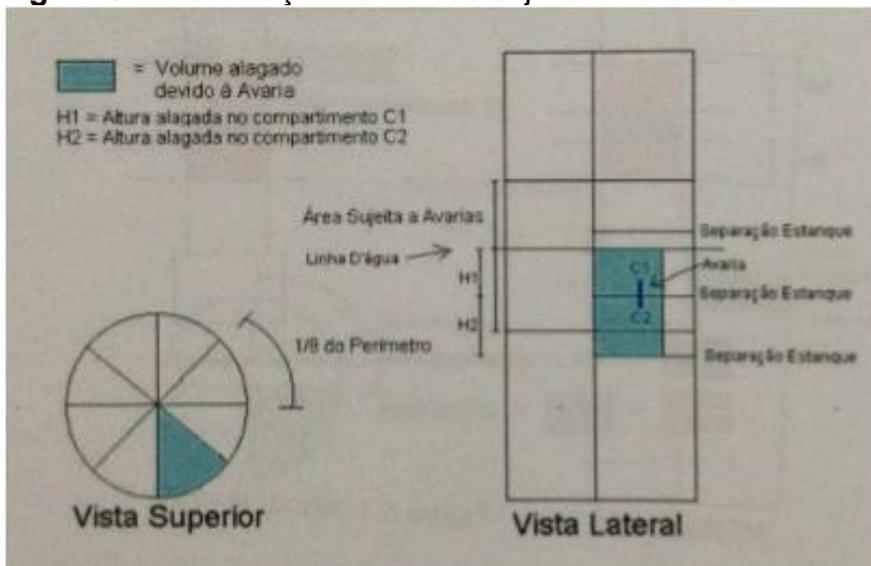
Figura 30: Faixa de calados no manual de operações e zona de avaria.



Fonte: Apostila do Instituto de Ciências Náuticas.

- c) Penetração horizontal dos danos deve ser assumida como sendo 1,5 metros.
- d) Nenhuma divisão vertical deve ser assumida avariada, exceto quando seu espaçamento for menor que um oitavo do perímetro da coluna no calado considerado, medido no perímetro exterior.
- e) Qualquer duto ou passagem localizada dentro da região de avaria deve ser considerado avariado e os compartimentos a ele ligados devem ser considerados alagados, a menos que um meio de fechamento adequado seja utilizado.

Figura 31: Delimitação das áreas sujeitas a avarias.



Fonte: Apostila do Instituto de Ciências Náuticas.

11.4 Estabilidade em avaria para unidades semi-submersíveis

Existem regras diferenciadas para Estabilidade em casos de Avaria e de Alagamento. A avaria ocorre geralmente na região da linha d'água, como consequência de uma colisão, por exemplo. Já o alagamento, ocorre em qualquer compartimento adjacente à água ou que passe alguma tubulação.

11.4.1 Critérios para Avaria (Código MODU, parágrafo 3.4.3)

Após a avaria ser ocasionada (mau tempo, colisão etc), os critérios a seguir são especificados.

- a) A banda ocasionada após a avaria, definida pela extensão dos danos, não deve ser maior que 17 graus.
- b) Qualquer abertura abaixo da linha d'água deve ser estanque a água (watertight) e aberturas no espaço de 4 metros acima da linha d'água devem ser estanques ao tempo (weathertight).
- c) A curva de Momento de Emborcamento deverá ter uma faixa de no mínimo 7 graus. A curva de Momento de Adriçamento deverá ter um valor de no mínimo duas vezes o Momento de Emborcamento, para o mesmo ângulo.

11.4.2 Critérios para Alagamento (Código MODU parágrafo 3.4.4)

A unidade deve fornecer fluabilidade e estabilidade suficientes em qualquer condição de operação, para suportar o alagamento de qualquer compartimento estanque, total ou parcialmente abaixo da linha de água, como salas de bombas, salas dos propulsores ou qualquer compartimento adjacente ao mar, tendo as seguintes considerações:

- a) A banda após o alagamento depois do alagamento não deve ser superior a 25 graus.
- b) Qualquer abertura abaixo da linha d'água final deve ser estanque.
- c) Após a avaria, a plataforma deverá ter uma faixa de estabilidade positiva, de pelo menos 7 graus.

11.5 Providências em caso de Alagamento

O Comandante ou OIM (Gerente Offshore) deverão comunicar à fiscalização a bordo, aos responsáveis em terra (incluindo os grupos de apoio à contingências) e plataformas próximas. A comunicação deverá conter a situação atual dos danos, as providências a serem tomadas e deverá ser feita a requisição do apoio de um rebocador em sobre aviso.

Se a origem ou a extensão do alagamento for desconhecida efetuar imediatamente, a partir da coluna que estiver avariada, as seguintes providências:

- a) Fechar todas as válvulas de caixa de mar.
- b) Fechar todas as passagens para tornar os compartimentos estanques: ventilações (dampers), portas estanques, etc.
- c) Limitar ou retardar o alagamento, fechando válvulas de passagem e suspiros dos compartimentos alagados.
- d) Deverá ser feita a compensação de trim e banda, se possível com o deslastro dos tanques, o mais próximo possível da região alagada, afim de não aumentar o calado. Em último caso, lastrar tanques diametralmente opostos à região alagada.
- e) Verificar e promover a estanqueidade dos compartimentos obrigatoriamente estanques, a partir dos compartimentos mais próximos à região alagada.
- f) Acionar o gerador de emergência (caso este não tenha entrado automaticamente), a fim de utilizar as bombas de lastro para efetuar lastro e deslastro em emergência
- g) Monitorar e verificar continuamente as tensões das Amarras (plataformas fixas) ou o Sistema de Posicionamento Dinâmico (plataformas DP). Caso seja necessário, realizar a desconexão do poço.
- h) Monitorar condições ambientais.
- i) Acompanhar as condições de Estabilidade e superfície livre total.
- j) Se possível, inspecionar os tanques adjacentes ao tanque avariado, a fim de avaliar possíveis danos estruturais. Após a plataforma ter sido adriçada, analisar a possibilidade de inspecionar ou reparar a avaria, expondo-a através de mudança de calado, trim e banda;

Quaisquer processos adicionais, mesmo que possam vir a retardar as operações da plataforma, mas que contribuam para manter a estabilidade da embarcação e o conforto da tripulação, devem ser utilizados.

Uma grande banda da plataforma deverá sempre ser evitada. Uma embarcação pode suportar um aumento considerável no calado quando adriçado, mesmo para além calado máximo operacional. No entanto, mesmo os pequenos ângulos de banda podem provocar inundação progressiva e perda definitiva da plataforma.

Importante ressaltar que iniciar as operações de lastro pelo bordo oposto à banda é errado e extremamente perigoso à Estabilidade e Segurança.

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que um navio seja capaz de navegar e operar, presume-se que o mesmo tenha estabilidade. Pudemos neste trabalho evidenciar os aspectos mais notáveis quanto a estabilidade de embarcações mercantes, bem como analisar as consequências decorrentes de uma possível perda da mesma, e o efeito catastrófico que isto teria. O estudo da estabilidade de embarcações é algo milenar, outrora uma arte fundamentada no método empírico, e hoje uma ciência embasada na física e no cálculo. Não é ao acaso que sempre foi um tópico de suma importância na área marítima. A história da navegação comprova que a busca pela compreensão da estabilidade de embarcações é algo que o homem sempre buscou, e provavelmente continuará buscando, visando sempre aprimorar os projetos dos navios, pois este estudo é de fato o que possibilita a existência da navegação em si. Se navegar é preciso, a estabilidade é necessária.

REFERÊNCIAS

Azeheb. **Princípio de Arquimedes**. Disponível em: <<http://azeheb.com.br/blog/como-os-navios-flutuam/>>. Acesso em: 11/08/2017.

BARBOSA, Mauro. **Módulo de Estabilidade – EST 01** – Unidade de Estudo Autônomo. 1 ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas, 2008.

COMITÊ DE SEGURANÇA MARÍTIMA, RESOLUÇÃO MSC.267(85) - adotada em 4 de Dezembro de 2008. Adoção Do Código Internacional Sobre Estabilidade Intacta, 2008 - Código IS de 2008.

COELHO, Adilson da Silva. **Apostila de Técnica de Transporte Marítimo**. Rio de Janeiro, 2006, Volume 1 e 2.

FIKSDAL, Gisle A.H. **Manual de Operações LODIC**. Noruega, 2009.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 7. ed. Rio de Janeiro, 2005, Volume 1.

Marine Insight. **Types of Stress on Ships**. Disponível em: <<http://marineengineeringonline.com/types-of-stress-on-ships/>>. Acesso em: 06/08/2017

Marine Engineering Online. **Intact Stability of Surface Ships**. Disponível em: <<http://www.marineinsight.com/naval-architecture/intact-stability-of-surface-ships/>>. Acesso em: 19/08/2017.

MODU Code. **Código para Construção e Equipamento de Unidades. Móveis de Perfuração Marítima**. Resolução IMO A.1023(26), 2009.

NOGUEIRA, Sérgio. **Estabilidade em plataformas semi-submersíveis: Teoria e controle de emergências**. Disponível em: <www.oceanica.ufrrj.br/.../Apostila_Sergio_Nogueira_Petrobras.doc>. Acesso em: 14 ago. 2017.

PEREIRA, Sidnei Esteves. **Apostila de estabilidade para embarcações mercantes**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011.

UFRJ. **Estabilidade.** Disponível em:
<http://www.deno.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/DanielQ+Leticia/relat1/ESTABILIDADE.htm>. Acesso em: 15/08/2017.