

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

LEONARDO BARRETO MARTINS

EFEITOS DA SUPERFÍCIE LIVRE

RIO DE JANEIRO

2014

LEONARDO BARRETO MARTINS

EFEITOS DA SUPERFÍCIE LIVRE

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.

Orientador (a): Henrique Vaicberg

RIO DE JANEIRO

2014

LEONARDO BARRETO MARTINS

EFEITOS DA SUPERFÍCIE LIVRE

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: (nome completo com titulação)

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico o minha monografia à minha família, que me ajudou muito em todos os momentos ruins e bons que passei. Dedico aos meus amigos que se foram Caio, Rafael e Thalís e aos que não completaram o curso comigo como Silveira Duarte e Pugian e mesmo assim foram muito importantes nesse período que agora estou finalizando.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, agradeço ao Prof. Henrique pela paciente orientação desta monografia. Seu direcionamento de pesquisa, suas sugestões e apontamentos para o bom desenvolvimento do trabalho. Agradeço aos meus pais ao meu irmão e meu primo por todos conselhos e por ter me iluminado em escolher esse caminho. Agradeço aos meus verdadeiros amigos, principalmente os que souberam como foi difícil essa minha caminhada e estavam ao meu lado sempre.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”
(AIRTON SENNA)

RESUMO

Quando uma embarcação sofre uma inclinação por motivos externos e tem um tanque parcialmente cheio, seu conteúdo se movimenta e o peso do líquido nele contido se desloca como se fosse um peso inserido lateralmente, concorrendo para acentuar a inclinação da embarcação. Esse efeito interfere na estabilidade do navio, podendo comprometer o andamento das operações e da navegação. Este efeito não ocorre se o tanque estiver totalmente cheio ou absolutamente vazio. Esse efeito também pode ser chamado de superfície livre.

Palavras-chave: Superfície livre. Estabilidade. Ângulo de repouso

ABSTRACT

When a vessel suffers a penchant for external reasons and has a partially filled tank moves its contents and the weight of the liquid contained therein moves like a weight inserted laterally, contributing to accentuate the slope of the vessel. This effect interferes with the stability the ship, which could compromise the progress of operations and navigation. Este effect does not occur if the tank is completely full or completely empty. This effect can also be called free surface.

Keywords: Free surface. Stability. Angle of repose

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Momento de inércia	12
Figura 2 - Braço de emborcamento	14
Figura 3 – Pequena banda	15
Figura 4 – Extrato do caderno de estabilidade	19
Figura 5 – Tabela de correção da GM	20
Figura 6 – Subdivisão dos tanques	25
Figura 7 – Estabilidade em tanques	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	NOÇÃO DE MOMENTO DE INÉRCIA	11
2.1	Momento de inércia	11
3	O EFEITO DA SUPERFÍCIE LIVRE	13
3.1	O efeito	13
3.2	Como calcular	13
3.3	Fórmula para o cálculo da elevação virtual do centro de gravidade	18
3.4	Como atenuar o efeito de superfície livre	21
3.5	Como minimizar esse efeito	22
4	CONSEQUÊNCIAS DA SUPERFÍCIE LIVRE	24
4.1	Consequência na Experiência de Inclinação	24
4.2	Consequência da forma irregular da superfície	25
4.3	Resultado da subdivisão dos tanques	25
5	INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE LIVRE NA CURVA DE ESTABILIDADE ESTÁTICA	27
5.1	Efeitos Dinâmicos	28
5.2	Cargas Móveis e Suspensas	28
6	ÂNGULO DE REPOUSO	29
6.1	Como funciona	29
7	COMUNICAÇÃO LIVRE	32
7.1	Como funciona	32
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

É comum, no estudo do equilíbrio das embarcações, assumirmos o seu centro de gravidade e tudo em seu interior como sendo imutável enquanto ela está sendo inclinada. Mas na prática o navio pode e deve estar carregando um líquido, tal como combustível para várias finalidades, água doce para consumo, água salgada como lastro ou carga líquida como petróleo. Se esses líquidos ocupassem todo o tanque em que são armazenados, não teriam nenhum outro efeito na estabilidade da embarcação do que o de um sólido de mesmo peso ocupando o mesmo volume, mas infelizmente, o preenchimento completo de qualquer tanque é raro ou nunca realizado na prática, logo, o líquido no tanque possui uma superfície livre, de modo que a sua forma possui liberdade para mudar enquanto o navio está sendo inclinado resultando na mudança da posição de seu centro de gravidade.

Sobre o efeito de superfície livre, um dos mais importantes a ser levado em consideração na hora de efetuarmos o carregamento do nosso navio, que uma vez que, quando com grande intensidade, é capaz de diminuir o braço de adriçamento do navio, induzindo o mesmo à um estado de pouca estabilidade, com importantes consequências à segurança.

Até este estágio o estudo de estabilidade pressupunha um navio com deslocamento constante; quase sempre consideramos também KG constante.

Serão estabelecidas as consequências de mudanças de pesos a bordo. A necessidade disto se torna evidente quando lembramos que um navio dificilmente fica em condição de carregamento constante; durante a viagem há gasto de combustível lubrificante, água, etc., de modo que é imperioso saber como um navio irá se comportar ao ser alterada a quantidade destes itens a bordo.

2 NOÇÃO DE MOMENTO DE INÉRCIA

2.1 Momentos 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.

Suponhamos um plano, dividido em infinitos quadrados, e calculamos a área de cada um desses quadrados. O momento necessário para se criar uma rotação será expresso por:

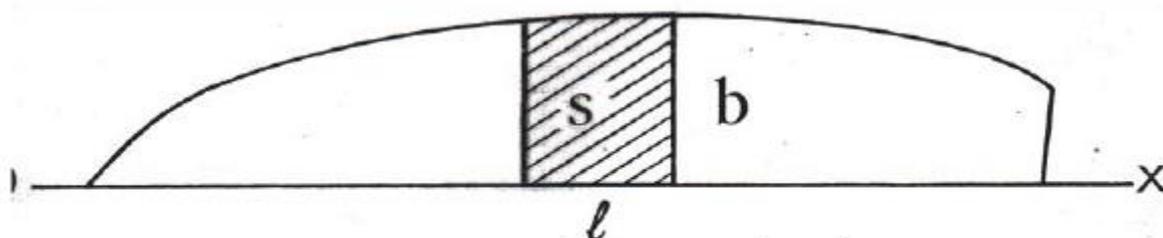
Momento = área de cada quadrado (cm²) x quadrado da distância da área em relação a um eixo (cm²).

A soma destes infinitos momentos recebe o nome de momento de inércia em relação a um eixo.

O momento de Inércia é o produto da área pelo quadrado da distância. Logo, multiplicamos cm² por cm² e a unidade será expressa em cm⁴. Não se prende sempre a unidade em cm⁴. Ela pode variar para m⁴, que é mais comum nos navios, com valores expressos nas Tabelas de Superfície Livre e de Sondagem dos Tanques.

Assim como podemos ver na figura abaixo:

Figura 1 - Momento de inércia



$$S = l \times b$$

$$MI = S \cdot b^2$$

$$MI = l \times b \times b^2 = l \times b^3$$

CONSIDERANDO QUE O COEFICIENTE PARA O CÁLCULO DO M.I DO RETÂNGULO É :

$K = 1/12$; TEMOS:

$$I_t = K \cdot l b^3 \text{ ou}$$

$$I_t = \frac{l \cdot b^3}{12}$$

Fonte - ESTEVES, C. S. Estabilidade 2011 Completo. CIAGA: Nenhuma, 2011.

3 O EFEITO DA SUPERFÍCIE LIVRE

3.1 O efeito

Até este ponto, o estudo da estabilidade admitiu que todos os pesos de bordo permaneciam na mesma posição para qualquer banda do navio. Quando há carga geral, composta de itens sólidos com boa peação, é possível garantir esta situação. Já, considerando tanques parcialmente cheios, a hipótese não é necessariamente válida.

A causa fundamental que faz com que um tanque com superfície livre afete a estabilidade do navio é o fato de que, quando o navio recebe uma inclinação, o centro de gravidade do líquido não permanece na mesma posição em que estava com o navio sem banda. Ele se move.

É claro que quando o tanque está completamente cheio, a posição do centro de gravidade do líquido não muda. A presença de líquidos em tanques parcialmente cheios é que proporciona a aparição do “Efeito de Superfície Livre”. As consequências na estabilidade serão vistas no item abaixo.

3.2 Como calcular

Consideremos a figura 2 onde certos tanques, considerado propositalmente fora do plano central, tem superfície livre. Nesta fase vamos supor que a banda seja pequena.

Quando o navio aderna, a superfície do líquido permanece horizontal: toma a posição $w_1 l_1$. O centro de gravidade do líquido desloca-se de b para b_1 . Observe-se que bb_1 é paralela a gg_1 .

Quando o navio estava sem banda, o líquido no tanque exercia um momento de emborcamento igual a seu peso multiplicado pela distância transversal ao plano central. Na posição adernada este momento de emborcamento aumenta; o aumento

do conjugado de emborcamento, devido à propriedade do líquido de alterar a posição relativa de sua superfície é dado pelo produto:

Peso do líquido \times (br), sendo

br é a barra paralela a W_1L_1 e w_1l_1

Chamemos de:

W_w = peso do líquido no tanque;

V_w = volume do líquido no tanque;

N = volume específico do meio de flutuação
(ft³/t ou m³/t);

g = relação entre o peso específico do líquido

No tanque e o do meio de flutuação.

Figura 2 - Braço de emborcamento

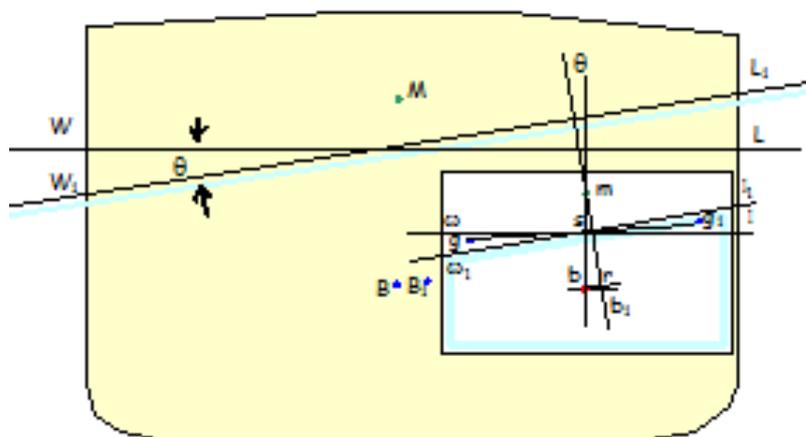


Fig. 4 (a) – Efeito de Superfície Livre

Fonte - MARTINS, M. R. **Hidrostática e estabilidade**. USP: USP, 2010. 154p.

Deste modo: $W_w = V_w / (N / g) = g (V_w / N)$

Assim sendo a variação no conjugado de emborcamento do líquido é dada por:

Ww . (br).

Esta variação é igual ao momento da cunha (l s l1) com relação ao centro de gravidade da cunha (w s w1), pois o líquido foi deslocado da posição (w s w1) para a posição (l s l1). Os volumes destas cunhas são iguais porque não há variação de volume no tanque.

Para uma banda pequena a variação do momento do volume do líquido é medida pela seguinte expressão:

$$\int_0^C (h/2) \cdot (h \operatorname{tg}\theta) \cdot dx \cdot (4/3)h = \operatorname{tg}\theta \cdot \int_0^C (2/3)h^3 dx$$

Onde:

h = meia largura do tanque – variável em função de x

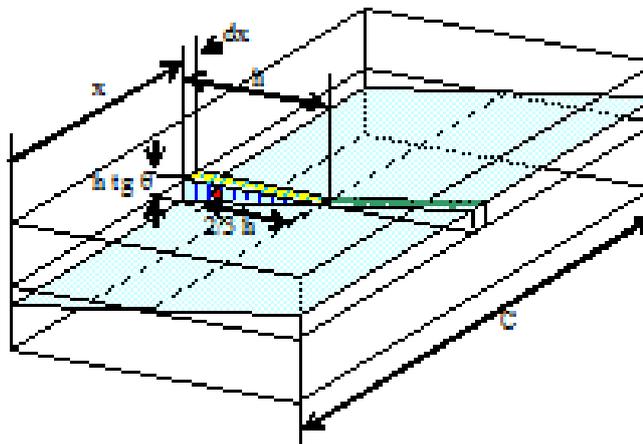
C = comprimento do tanque (limite para a integração)

A expressão acima se justifica pelo seguinte:

Área A de a base triangular (w s w1) = $(1/2) \cdot h \cdot w1 w$;

mas $w1 w = h \operatorname{tg}\theta$;

Figura 3 - Pequena banda



Fonte - MARTINS, M. R. **Hidrostatica e estabilidade**. USP: USP, 2010. 154p.

Logo a área $A = (1/2)h(h \operatorname{tg}\theta)$

Deste modo o volume elementar $dV = (1/2) h (h \operatorname{tg} \theta) \cdot dx$; ao mesmo tempo devemos lembrar que: $gg_1 = (4/3)h$

Como o Momento Elementar = (Volume Elementar). (gg_1) fica justificada a integral indicada acima. Por outro lado, chamando de i o momento de inércia da área da superfície do líquido em relação a um eixo longitudinal passando pelo centroide da superfície livre tanque tem:

$$i = \int_0^C (2/3)h^3 \cdot dx$$

Logo, a Variação do Momento do Volume = $Vw \cdot (br) = i \cdot \operatorname{tg} \theta$

Já vimos que a variação no conjugado de emborcamento devida ao movimento do líquido é medida pelo produto: $Ww \cdot (br)$

Mas vimos também que: $Ww = g \cdot Vw / N$, de modo que a variação do conjugado vista acima passa a ser:

$$Ww \cdot (br) = g \cdot Vw \cdot (br) / N \quad (I)$$

Mas vimos ainda que o produto $Vw \cdot (br)$ se mede por:

$$Vw \cdot (br) = i \cdot \operatorname{tg} \theta$$

de modo que a integração (I) se torna:

$$Ww \cdot (br) = gi \cdot \operatorname{tg} \theta / N = \text{variação no conjugado de emborcamento.}$$

Por outro lado, a variação no braço de endireitamento (GZ) devida ao efeito de superfície livre é igual a: momento transversal / deslocamento, de modo que podemos escrever:

$$d(GZ) = Ww \cdot (br) / D = gi \cdot \operatorname{tg} \theta / D' \quad (II)$$

uma vez que: $D \cdot N = D'$.

Quando a banda é pequena podemos escrever:

$$GZ = GM \cdot \operatorname{sen} \theta \text{ e considerando um certo } \theta \text{ temos: } d(GZ) = \operatorname{sen} \theta \cdot d(GM)$$

(III)

Igualando as equações (II) e (III), temos:

$\sin\theta \cdot d(GM) = g_i \cdot \tan\theta / D'$. Como θ é pequeno $\sin\theta = \tan\theta$, logo:

$$d(GM) = g_i \cdot i / D'$$

Já sabemos que $GM = KM - KG$. Se $D' = \text{cte.}$ e $KM = \text{cte.}$ Teremos: $d(GM) = -d(KG)$

$$GGD' = -d(KG) = g_i \cdot i / D' \quad (IV)$$

O efeito da superfície livre no tanque é o mesmo que existiria se o centro de gravidade do navio estivesse em GV , situado acima de G , isto é: o efeito seria equivalente àquele produzido pela elevação do ponto G para uma posição virtual GV . (*)

(*) Trata-se de uma elevação virtual porque, na realidade, o centro de gravidade do navio não muda de posição. O que acontece é que o efeito da superfície livre do tanque na estabilidade pode ser equiparado a uma elevação do ponto G , sendo esta a maneira usual de abordar o problema, embora se saiba que o centro de gravidade tenha permanecido no mesmo lugar.

A EQ. (IV) mostra que, para deslocamento constante, a grandeza da elevação virtual de G depende de:

i = momento de inércia da área da superfície livre com relação ao eixo longitudinal que passa pelo centroide da superfície;

g = relação entre a densidade do líquido e a do meio em que o navio flutua;

D' = volume da carena

A equação (IV) mostra também que a elevação virtual do centro de gravidade não depende da posição do tanque a bordo do navio.

3.3 Fórmulas para o cálculo da elevação virtual do centro de gravidade

$$GGv = (l.b^3 / 12 V) . (\delta_1 / \delta_2)$$

Onde:

l – comprimento do tanque

b – largura do tanque

12 – Coeficiente

V – Volume de Carena

δ_1 – densidade do líquido no tanque

δ_2 – densidades da água em que o navio flutua

Sabendo que $\Delta = V \times \delta$ e que o fator $(l.b^3/12)$ é o momento de inércia (i) que podemos definir como o momento em que, em vez de ser tomar o braço de alavanca (distância), toma-se o seu quadrado. Assim, as distâncias ao eixo considerado são elevadas ao quadrado. Momento de Inércia é a soma dos produtos formados pela multiplicação das massas (áreas, volumes, etc...) de cada elemento de uma figura pelo quadrado da distância e uma linha específica. É também conhecido como Segundo Momento. Existem momentos de inércia de pesos, volumes, massas, etc.

Para nosso estudo, no que diz respeito à Estabilidade do navio, o que mais importa, sem dúvida, é o Momento de Inércia do plano de flutuação com relação aos eixos transversal, de meio-navio e diametral.

Vamos, então, substituir na fórmula o fator $(l.b^3/12)$ por i, isto porque os Cadernos de Estabilidade dos navios já trazem os valores destes Momentos de Inércia (i) calculados para os diversos tanques. A fórmula então fica:

$$GGv = i . \delta_1 / \Delta$$

Os planos de alguns navios dão o valor de $i \cdot \delta_1$ como uma constante para cada tanque, pois consideram i em seu valor máximo para o citado tanque (consideram a seção horizontal que produza o maior valor de i) e como cada tanque tem uma finalidade (água doce, lastro, óleo combustível, etc.) aplicam densidade padrão. O caderno de Estabilidade do navio SD-14 dá o valor de “i” máximo e o produto de “i” pelas densidades específicas. Temos então que dividir pelo deslocamento do navio.

O fator $i \cdot \delta_1$ é chamado Momento de Superfície Livre (t.m).

O caderno de Estabilidade de um graneleiro tipo Docepolo, dá tanto o valor de “i” como a correção para a superfície livre em função do deslocamento para cada compartimento em que haja superfície livre. Há que multiplicar o valor encontrado pela densidade do produto contido no tanque.

Figura 4 - Extrato do caderno de estabilidade

EXTRATO DO CADERNO DE ESTABILIDADE							
NAVIO TIPO SD 14							
EFEITO DE SUPERFÍCIE LIVRE							
$\delta \Rightarrow t/m^3$							
NÚMERO DOS TANQ.	MOMENTO DE INÉRCIA i (m ⁴)	ÁGUA DE LASTRO i . 1,025	AGUA DOCE i . 1	OLEO COMBUSTI i . 0,9	OLEO DIESEL i . 0,9	OLEO LUBRIF. i . 0,9	OLEO DE CARGA i . 0,92
1-FD-C	4187	4291,7					
2-FD-C	968	992,2		871,2			
2-FD-BB	633	648,8					
2-FD-BE	633	648,8					
3-FD-C	1142			1027,8			
3-FD-BB	696			626,4			
3-FD-BE	696			626,4			
4-FD-BB	121				108,9		
4-FD-BE	121				108,9		
5-FD-BB	33		33				
5-FD-BE	33		33				
6-FD-C	564				507,6		
6-FD-BB	289	296,2					
6-FD-BE	289	296,2					
7-FD-C	7,6					6,8	
11-C-FP	451,6	462,9					
22-C	5290	5422,2					
21-C	174,5	178,9					160,5
21-BB	120	123					110,4
21-BE	120	123					110,4
6-BB	289	296,2		260,1			
6-BE	289	296,2		260,1			
12-C-AP	322	330,1	322				

Fonte - ESTEVES, C. S. **Estabilidade 2011 Completo**. CIAGA: Nenhuma, 2011. 280p.

Figura 5 - Tabela de correção da GM

EXTRATO DO CÁLCULO DE ESTABILIDADE DO "N.M. DOCEPOLO"						
TABELA DE CORREÇÃO DA GM POR EFEITO DE SUPERFÍCIE LIVRE (TANQUES DE CONSUMO)						
TANQUES	POS.	$i(m^4) \Delta$	24000	26000	28000	30000
TQ. Óleo comb. nº 1 "C"	BB	3 252	0,136	0,125	0,116	0,108
TQ. Óleo comb. nº 1 "C"	BE	3 252	0,136	0,125	0,116	0,108
TQ. Óleo comb. nº 2 "C"	BB	569	0,024	0,022	0,020	0,019
TQ. Óleo comb. nº 2 "C"	BE	907	0,038	0,035	0,032	0,030
TQ. Óleo Diesel "A"	BB	334	0,014	0,013	0,012	0,011
TQ. água potável	BB	209	0,009	0,008	0,007	0,007
TQ. água de lavar	BE	148	0,006	0,006	0,006	0,005
TQ. colisão de vante	C	14 298	0,596	0,550	0,511	0,477
TQ. Fundo duplo nº 1	C	20 323	0,847	0,782	0,726	0,677
TQ. Fundo duplo nº 2	C	20 857	0,869	0,802	0,745	0,695
TQ. colisão de ré	C	11 975	0,499	0,461	0,428	0,399
Porão de carga nº 2	C	27 925	1,164	1,074	0,997	0,931

Fonte - ESTEVES, C. S. **Estabilidade 2011 Completo**. CIAGA: Nenhuma 2011. 280p.

Então, sendo $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$, os momentos de inércia transversais de diversos compartimentos com superfície livre e $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$, as densidades dos líquidos armazenados nos respectivos compartimentos, a elevação virtual do centro de gravidade será:

$$GG_v = i_1 \cdot \delta_1 / \Delta + i_2 \cdot \delta_2 / \Delta + i_3 \cdot \delta_3 / \Delta + \dots + i_n \cdot \delta_n / \Delta$$

Calculada a elevação virtual do Centro de Gravidade, GG_v , temos:

$$GM_c = GM - GG_v$$

$$KG_c = KG + GG_v$$

$$GM_c = KM - KG_c \text{ onde:}$$

GM_c – altura metacêntrica inicial corrigida do efeito de superfície livre

KG_c – cota do centro de gravidade considerando o efeito de superfície livre.

KG – cota do centro de gravidade sem considerar o efeito de superfície livre (KG sólido)

KM – cota do metacentro transversal

GG_v – elevação virtual do centro de gravidade devido à superfície livre.

3.4 Como atenuar o efeito de superfície livre

Para se atenuar o efeito de superfície livre, devemos dividir o tanque por anteparas longitudinais.

Como é sabido, o momento de inércia de um tanque em relação ao plano é expresso pela fórmula:

$$i = l \cdot b^3 / 12$$

Se b é a boca do tanque e queremos dividi-lo em n partes, teremos:

$$i_1 = l \cdot (b/n)^3 / 12 = l \cdot b^3 / 12 \cdot n^3$$

O momento de inércia total será, então, o somatório dos momentos de inércia de cada uma das partes do tanque dividido em n partes. Como são n partes iguais, bastará multiplicar o momento de inércia de cada parte por n .

$$i_t = i_1 \cdot n = l \cdot b^3 / 12 \cdot n^3 \quad ; \quad i_t = l \cdot b^3 / 12 \cdot n^2 \quad \text{ou seja} \quad , \quad i_t = i / n^2$$

Com a divisão do tanque, a elevação virtual do centro de gravidade será:

$$GG_v = i \cdot \delta / \Delta \quad , \quad \text{logo } GG_v = i \cdot \delta / n^2 \cdot \Delta \quad \text{e} \quad , \quad GG_v' = GG_v / n^2$$

Onde:

GG_v' – elevação virtual do centro de gravidade do navio devido à superfície livre causada por um tanque dividido por anteparas longitudinais em “n” partes iguais.

GG_v – elevação virtual do centro de gravidade do navio depende à superfície livre num tanque sem divisões.

n – número de partes em que o tanque foi dividido.

3.5 Como minimizar esse efeito

Para a minimização desse efeito é possível à utilização de anteparas longitudinais ou pranchas encaixadas em perfis metálicos, denominados "shifting boards", na parte superior dos tanques. Se o navio não possui dispositivo para evitar esse "escorregamento" progressivo da carga e isso começarem a acontecer durante umas tempestades, nada poderá ser feito para evitar uma banda progressiva, que pode eventualmente levar o navio ao emborcamento. Por esse motivo, este efeito deve ser sempre considerado, quer nos cálculos de estabilidade, quer no dimensionamento geométrico dos tanques.

A presente invenção é para a melhoria ou relacionados com os meios para suportar ou transportar placas de deslocamento ou outro semelhante num estimado segurar. Placas "shifting" são um acessório bem conhecido, usado em uns navios são titulares, de modo a controlar: ou limitar a movimentação de cargas a granel, tais como grãos, que se não for controlada pode prejudicar a estabilidade do navio. Em geral, um centro deslocando estribo numa direção dianteira ao longo da linha de centro do navio é fornecido.

A presente invenção está particularmente preocupada com melhorias nos postes ou como membros entre e por que as placas de deslocamento são realizadas e apoiadas. Até agora tem sido a prática de ter estas colunas ou semelhantes que se estende de cima para baixo da reserva. Na prática, no entanto, mesmo com uma carga a granel completo não é necessário que as placas movediças para estender

mais do que um terço ou metade da profundidade do porão da braçola. Por outro lado, com placas de deslocamento de carga da peça a granel pode ser necessário que se estendem para cima, um terço ou metade da profundidade do porão do topo ou do fundo do tanque. Um objeto da presente invenção consiste em satisfazer estas duas condições alternativas, enquanto poupando bastante em tamanho, peso e custo dos postes.

De acordo com a presente invenção, proporciona-se num ou para uso em navios de segurar um membro de realização, as placas de deslocamento da linha de centro de divisões de grãos ou outros semelhantes, que é substancialmente menor em comprimento que a profundidade do porão, e tem meios para um dos suas extremidades, através da qual ele pode ser fixado a uma viga de escotilha de modo a ser suspenso ou, alternativamente, daí para o chão ou preensão de alças de modo a projetar-se da mesma.

De acordo com outra característica da presente invenção proporciona-se uma preensão estimado ter uma série de membros de comprimento substancialmente menor do que a profundidade do porão e suspensos nas vigas de escotilha ou projeção para cima do porão ou tanque e topos de apoio ou adaptado para apoiar entre eles placas de deslocamento ou de linha de centro de grãos ou similares.

De acordo com ainda outra característica da presente invenção é fornecida ou para uso em navios de manter um feixe de escotilha ou semelhante que tem um componente de acordo com isso e de profundidade substancialmente inferior do que a espera durante o qual o feixe de escotilha é para ser montada, e adaptado para servir como um suporte para uma placa de deslocamento ou outro semelhante.

Convenientemente os membros para apoiar e desenvolver as placas movediças ou similares é de canal ou de seção de canal duplo, o fim ou extremidades das placas movediças no canal ou canais.

4 CONSEQUÊNCIAS DA SUPERFÍCIE LIVRE

É evidente que a consequência da superfície livre, provocando uma condição análoga à elevação do centro de gravidade, é a diminuição do GM de uma grandeza igual à GG_V.

Se houver vários tanques com superfície livre o efeito de cada um deles é computado separadamente, de tal modo que:

$$GVM = GM - S(GGV), \text{ onde: } S(GGV) = S(g \cdot i) / D' \text{ sendo:}$$

GM = altura metacêntrica sem superfície livre, para as mesmas condições de carregamento.

GVM = altura metacêntrica existente quando há vários tanques com sup. livre

O leitor deve observar que na tabulação apresentada no item quatro deste capítulo a última coluna é referente ao efeito da superfície livre. Assim, se algum item da tabulação representa um tanque com superfície livre deve-se lançar na coluna 10 da tabulação o momento de inércia da superfície com relação a um eixo longitudinal. Conhecendo os valores de i podem-se calcular os valores de GG_V para os diversos tanques por meio da Equação (IV) e somá-los como indicado acima. Este procedimento possibilitará o cálculo da “CORREÇÃO DE GM (sup. livre)” indicada no pé da tabulação do item quatro.

4.1 Consequências na Experiência de Inclinação

Quando vimos a preparação para esta Experiência foi lembrado que havia necessidade de precauções com os líquidos nos tanques.

A subida virtual de G por causa da superfície livre é que provoca a necessidade da experiência de inclinação sem superfície livre nos tanques; caso não seja possível eliminar a superfície livre, é preciso fazer com que os tanques que tenham líquidos fiquem com o nível a cerca de 50% de modo que se possa computar claramente a correção necessária.

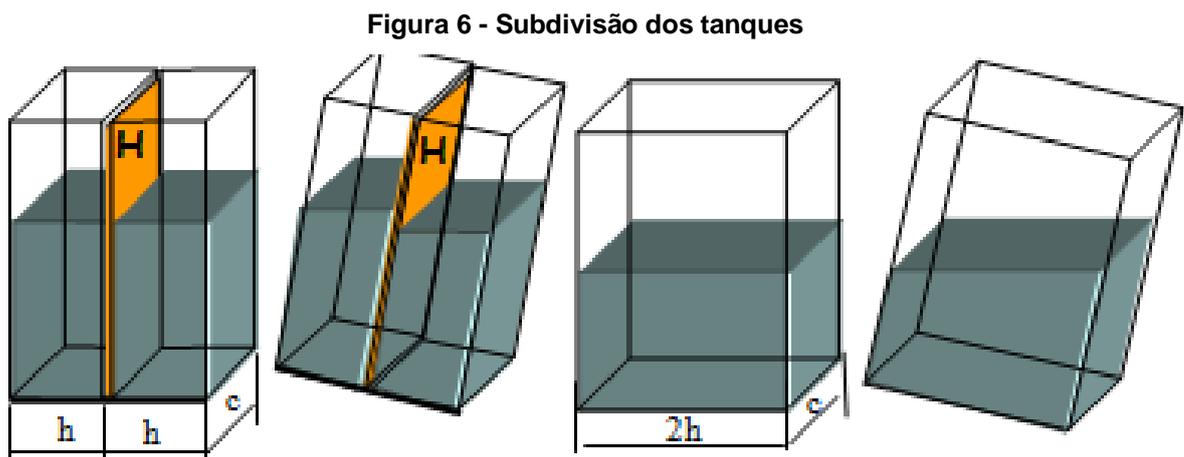
4.2 Consequências da forma irregular da superfície

Se a forma da superfície onde o líquido está livre for de tal natureza que haja regiões onde apareçam objetos protundindo, deve-se efetuar uma correção no efeito. O exemplo típico é o de uma praça de máquinas alagada até certo nível, na qual fiquem aparecendo equipamentos que excluem água de certos trechos da superfície. Neste caso usa-se o valor $(ms.i)$ em vez de (i) , onde ms é chamada permeabilidade superficial e representa a relação entre a área efetiva e a área total do compartimento.

4.3 Resultados da subdivisão dos tanques

A intensidade do efeito da superfície livre de um tanque pode ser diminuída pela redução do momento de inércia da superfície livre do tanque, dividindo-se a superfície do tanque por uma ou mais anteparas longitudinais.

No caso da figura 6, se houver uma antepara H separando os dois tanques o efeito da superfície livre será soma dos dois efeitos, ou:



Fonte - MARTINS, M. R. **Hidrostatica e estabilidade**. USP: USP, 2010. 154p.

$$i_1 = 2 \times \left[\left(\frac{1}{12} \right) h^3 n \right] = \left(\frac{1}{6} \right) h^3 n$$

Caso não haja a antepara, ou seja, feita nela uma abertura, o efeito será o de

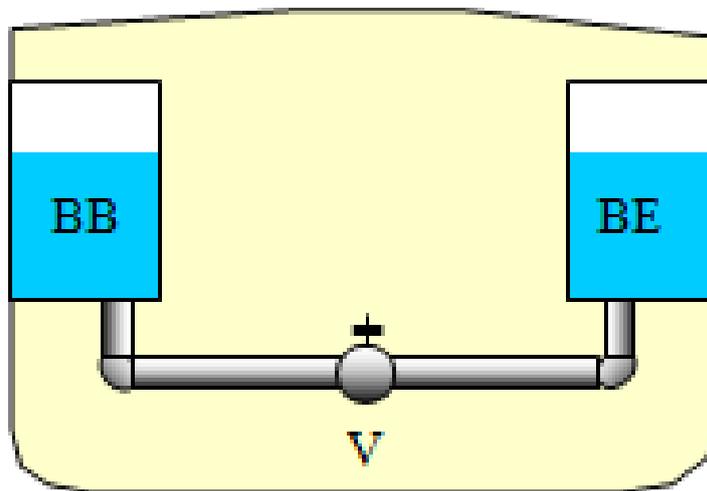
uma superfície única, ou:

$$i_2 = (1/12) \cdot (2h)^3 \cdot n = (8/12) h^3 n \quad i_2 = 4i_1$$

A subida virtual do centro de gravidade no 2º caso é quatro vezes maior do que quando existe a antepara.

A condição se aplica igualmente no caso da figura. 6. Se a válvula V for aberta, em vez de termos duas superfícies livres, agindo em cada tanque, teremos uma única cujo momento de inércia deve ser computado com relação ao eixo central longitudinal. É claro que o efeito será análogo ao que foi avaliado acima, com auxílio da Figura 7.

Figura 7 - Estabilidade em tanques



Fonte - MARTINS, M. R. **Hidrostática e estabilidade** . USP: USP, 2010. 154p.

5 INFLUÊNCIA DA SUPERFÍCIE LIVRE NA CURVA DE ESTABILIDADE ESTÁTICA

- Inclinação na origem

O primeiro efeito é diminuir a inclinação da curva na origem devido à diminuição de GM, a qual é igual à elevação virtual GGV.

- Bandas elevadas

Não é correto diminuir todos os braços de endireitamento GZ, para valores altos de banda, como se a elevação virtual GGV fosse uma elevação real, decorrente da mudança efetiva de um peso conhecido. O procedimento é outro.

Em qualquer condição de carregamento na qual são conhecidos os tanques com superfície livre, calcula-se a redução do braço de endireitamento decorrente da influência de cada um deles. Obtém-se a redução total e subtrai-se este valor do braço de endireitamento na mesma inclinação. Obtém-se, assim, a curva de estabilidade estática para o navio na condição especificada de carregamento, incorporando-se o efeito da superfície livre.

Pode parecer que a descrição do procedimento feita acima conduzirá exatamente a um mesmo valor GGV, já que o efeito de superfície livre só depende do momento de inércia da área da superfície livre e do peso específico do líquido. Acontece, porém que se os tanques estiverem razoavelmente cheios ou vazios a forma da superfície muda quando a banda é elevada, e o valor do momento da inércia varia, de modo que a elevação virtual do ponto G também será afetada.

Quando em determinada condição de carregamento todos os tanques têm cerca de 50% da capacidade este efeito não ocorre e a correção devida à superfície livre pode não ser muito diferente quando a banda é elevada. Mesmo nesta situação é importante que os responsáveis pelo estudo das alterações impostas pela superfície livre à curva de estabilidade analisem as formas de cada tanque buscando saber se haverá ou não variação sensível no valor do momento de inércia da área da superfície livre para condições de banda elevada.

O efeito descrito acima é chamado por alguns de embolsamento. Em função da possibilidade de ocorrer o embolsamento é que se recomenda que na Experiência de Inclinação os tanques fiquem com 50% da carga, caso não seja possível eliminar toda a superfície livre.

Quando um tanque está com menos de 5% ou mais do que 95% de sua

capacidade é usual desprezar o efeito da superfície livre, em decorrência do que foi mencionado acima.

5.1 Efeitos Dinâmicos

Quando um navio joga, o líquido é movimentado e no fim de cada movimento choca-se com a estrutura produzindo um efeito análogo a martelo hidráulico. Para diminuir este efeito são implantadas anteparas com grandes aberturas, chamadas Anteparas Diafragma, que têm a finalidade de atenuar a intensidade do choque do líquido contra a estrutura. As anteparas diafragma têm apenas este propósito. Elas não afetam a subida virtual do centro de gravidade, ou seja, não atenuam o efeito de superfície livre.

5.2 Cargas Móveis e Suspensas

As cargas tais como grãos, granéis etc., podem correr com o jogo do navio. Eles não provocam um efeito análogo à do líquido com superfície livre, mas podem provocar banda permanente, caso sofram deslocamento. Por esta razão os navios que transportam estas cargas devem incorporar em sua estrutura condições para atenuar o possível deslocamento de carga. Caso o navio não seja dotado deste recurso é possível completar o carregamento dos porões com sacos contendo grãos para dificultar o movimento da carga.

As cargas suspensas são consideradas como se tivessem o centro de gravidade no ponto de onde estão pendurados. Assim uma carga apoiada no convés tem o centro de gravidade pouco acima do mesmo; caso esta carga seja içada por um pau de carga considera-se (para efeito de estudo de estabilidade) que o centro de gravidade foi transferido para a extremidade do pau de carga do qual pende a carga.

6 ÂNGULO DE REPOUSO

O ângulo formado pela superfície livre com o plano horizontal é o ângulo de repouso do produto, definido pelos grãos menos instáveis e não confinados situados próximos ou na superfície. Este corresponderia, portanto, ao ângulo de atrito interno para o caso de pressões de confinamento praticamente nulas, ou ainda, ao ângulo de atrito interno do produto depositado em um estado completamente solto. O ângulo de repouso do produto difere do ângulo de atrito interno em função das pressões impostas, referentes às condições internas da massa de grãos, dependendo do nível de pressões médias aplicadas a todos os grãos. O objetivo deste trabalho foi de determinar, avaliar e comparar os ângulos de atrito interno e de repouso dos grãos de café com pergaminho de duas variedades, em função do teor de umidade. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que: os ângulos de atrito interno e de repouso dos grãos de café de ambas as variedades, aumentam linearmente com o incremento do teor de umidade e o ângulo de atrito interno é superior estatisticamente ao de repouso em praticamente todos os teores de umidade, exceto para o menor, para ambas as espécies.

6.1 Como funciona

O atrito é a fricção entre dois corpos, designação comum aos fenômenos em que o movimento relativo entre duas superfícies em contato é freado pelas forças de adesão existentes entre as superfícies (força de atrito), qualquer força que resiste ao movimento relativo de substâncias que estão em contato mútuo. Este atrito pode ser de escorregamento, que ocorre entre duas superfícies sólidas em contato e que deslizam uma sobre a outra; de rolamento, entre uma superfície sólida e outra superfície que rola sobre ela; e atrito interno de um fluido, ou seja, viscosidade. De acordo com a citação de Mohsenin (1986), as leis básicas que descrevem o fenômeno de atrito foram enunciadas primeiramente por Amontons e posteriormente verificadas por Coulomb, e estes declaram que a força de atrito é: proporcional a carga normal; independente da área da superfície de deslizamento; completamente independente da velocidade de deslizamento; depende da natureza

dos materiais em contato. Posteriormente Sherwood, citado pelo mesmo autor, resumiu os conceitos mais comuns aceitos sobre atrito. Sherwood utilizou métodos e equipamentos considerados mais “modernos” e “precisos” determinando que: a força de atrito pode ser definida como a força que atua no plano que contém o ponto ou pontos de contato e pode ser tal que resista ao movimento relativo das superfícies em contato; a força de atrito pode ser considerada como sendo composta por dois componentes principais, uma força necessária para deformar e cisalhar as “asperezas” das superfícies em contato e outra força necessária para superar a adesão ou coesão entre as superfícies; a força de atrito é diretamente proporcional a real área de contato; a força de atrito depende da velocidade de deslizamento das superfícies de contato, devido ao efeito da velocidade na temperatura dos materiais em contato; a força de atrito depende da natureza dos materiais em contato; e a força de atrito não depende da aspereza das superfícies, exceto para casos extremos de superfícies muito lisas (polidas) ou muito ásperas (rugosas). Como conclusão final, Sherwood declara que, apesar das novas descobertas, as de Couloumb’s sobre atrito continuavam sendo úteis, embora estas não expliquem completamente muitos dos eventos observados, como o mecanismo de atrito e a influência de vários fatores nos coeficientes de atrito.

Segundo Boumans (1985), dois tipos de atrito podem ser distinguidos, que são: o externo, que é o atrito do produto armazenado (ex.: grão) contra o material da parede do silo ou equipamento, e o interno, que é o atrito do produto armazenado contra outro, ou seja, atrito grão contra grão. O atrito interno (ex.: grão/grão) é diferente para cada produto, sendo muito dependente do tipo e da superfície do produto, da pressão na superfície do produto (compressão) e da umidade do mesmo. Para o atrito externo, outro fator deve também ser considerado, o material da superfície que simula a parede do silo. O ângulo de repouso (ϕ_R) pode ser medido pelo amontoado de produto granular ou pulverulento formado pelo seu basculamento sobre uma superfície plana. Este somente estará em equilíbrio se os grãos menos estáveis situados na superfície estiverem em equilíbrio estático. Desta forma, o ângulo formado pela superfície livre com o plano horizontal é o ângulo de repouso do produto, definido pelos grãos menos instáveis e não confinados situados próximos ou na superfície. Este corresponderia, portanto, ao ângulo de atrito interno para o caso de pressões de confinamento praticamente nulas, ou ainda, ao ângulo de atrito interno do produto depositado em um estado completamente solto.

De acordo com Gomes (2001), o ângulo de repouso do produto difere do ângulo de atrito interno em função das pressões impostas, referentes às condições internas da massa de grãos, dependendo do nível de pressões médias aplicadas a todos os grãos. O aumento das pressões de confinamento irá tornar a massa de grãos mais densa com menor índice de vazios, aumentando assim, o ângulo de atrito interno, sendo este normalmente maior que o ângulo de repouso. Já Gaylord & Gaylord (1984), afirmam que para produtos granulares, o ângulo de repouso equivale ao ângulo de atrito interno. O objetivo foi de determinar, avaliar e comparar as propriedades físicas ângulos de atrito interno e de repouso dos grãos de café com pergaminho de duas variedades, em função do teor de umidade.

7 COMUNICAÇÃO LIVRE

7.1 Como funciona

Superfície livre existe e, além disso, a água entra ou sai do navio durante o seu jogo desse modo acrescentando ou retirando pesos de bordo, isto cria uma perda adicional de estabilidade chamada efeito de comunicação livre. Para determinar a perda em estabilidade proveniente de um compartimento aberto para o mar é necessário avaliar tanto o efeito de superfície livre como o efeito de comunicação livre. Este acréscimo de água afeta a estabilidade exatamente como se fosse um peso lateral, faz com que o centro de gravidade do modelo afaste-se ainda mais do plano de centro longitudinal, para aqui. Se giramos o modelo para o outro bordo, a cunha irá se transferir novamente para o lado baixo, mas agora certa quantidade de água sai do navio. Isto afeta a estabilidade exatamente como no caso de remoção de um peso lateral. Novamente o centro de gravidade afasta-se ainda mais, para aqui. À medida que se inclina o modelo para outros pequenos ângulos de inclinação as quantidades variáveis de água que entram e saem do navio produzirão um centro de gravidade diferente para cada inclinação. Se prolongarmos as linhas de ação da gravidade, elas se interceptarão no mesmo ponto do plano de centro longitudinal. Exatamente como no caso de superfície livre, este ponto é a posição virtual de G e pode ser empregada em lugar das numerosas posições do centro de gravidade Real. Assim a perda em GM causada por água com superfície livre em um compartimento com água aberta é constituída por duas parcelas: a elevação virtual de G devido a superfície livre mais elevação virtual de G devido a comunicação livre. As duas parcelas variarão com a largura e o comprimento do compartimento, em um compartimento duas vezes mais comprido sabemos que o efeito de superfície livre é de duas vezes maior. O efeito de comunicação livre também é duas vezes maior porque a quantidade de água acrescentada ou retirada de um compartimento de comprimento duplo é duas vezes maior. Aumentemos em seguida a largura do compartimento sem alterar a distancia de seu centro ao plano de centro longitudinal.

Quando dobramos a largura sabemos que o efeito de superfície livre aumenta 8x, mas o efeito de comunicação livre aumentará somente de duas vezes porque a quantidade de água acrescentada ou retirada será duas vezes maior. Deste modo o efeito de comunicação livre é diretamente proporcional à largura do compartimento, embora o efeito de superfície livre cresça com o cubo da largura. A localização do compartimento não altera o efeito da superfície livre enquanto a largura e o comprimento forem os mesmos, o valor da cunha e as distancias de que é deslocada permanecerão os mesmos. O mesmo não se passa com o efeito de comunicação livre aqui a água entrando ou saindo afeta a estabilidade como um acréscimo ou retirada de peso lateral. Quando um peso é acrescentado lateralmente o centro de gravidade desloca-se, se este peso fosse acrescentado mais para a borda G deslocar-se-ia mais, com um peso maior o deslocamento seria ainda maior. De modo semelhante quando um compartimento com água aberta está situado fora do plano de centro longitudinal tanto a distancia a este plano como o valor do peso aumentarão. Deste modo o deslocamento de G e a correspondente perda em GM são consideravelmente maiores. Resumindo a perda de estabilidade em pequenos ângulos de inclinação proveniente do efeito de superfície livre varia com o cubo da largura do compartimento e com o seu comprimento enquanto o efeito de comunicação livre varia diretamente com a largura e o comprimento da superfície e ao quadrado de sua distancia ao plano de centro longitudinal. Até agora tratávamos de perda em GM ou de estabilidade inicial causada por um compartimento com água aberta. A perda em GM devido ao efeito de superfície livre reduz em parte os braços de adriçamento para pequenos ângulos de inclinação e a perda adicional devido ao efeito de comunicação livre reduz ainda mais os braços de adriçamento. Mas sabemos também que o efeito de superfície livre reduz os braços de adriçamento em todos os ângulos de inclinação e como o efeito de comunicação livre aumenta a elevação virtual de G ainda mais a perda em cada braço de adriçamento deverá ser proporcionalmente maior. Mas mesmo em um compartimento com água aberta dá-se o efeito de embolsamento em um determinado ângulo de inclinação. Isto reduz de algum modo à largura da superfície livre e a perda de estabilidade para maiores ângulos de inclinação não é tão grande. O efeito de embolsamento com tudo nunca restaura o comprimento original dos braços de adriçamento, assim sendo a água com superfície livre existente em um compartimento prejudica a estabilidade total reduzindo o comprimento dos braços de adriçamento para todos os ângulos de

inclinação e diminuindo o limite de estabilidade. Em síntese, quando o casco do navio estiver com um rombo à estabilidade estará sempre prejudicada pelos efeitos combinados de superfície livre e de comunicação livre em um compartimento lateral do navio e como foi acrescentado um peso o navio passará a calar mais. Lembrem-se de que o fator importante para determinar a perda em estabilidade devida ao efeito de superfície livre é a largura do compartimento, e de que o fator importante na determinação da perda de estabilidade devido ao efeito de comunicação livre, é a distância desse compartimento ao plano de centro longitudinal. A água com superfície livre a bordo de um navio pode ser perigosa, estudem suas consequências, pois sua vida pode depender deste conhecimento.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que o efeito de superfície livre é um problema constante e deve muita atenção de todos os tripulantes durante as diversas formas que ela pode se manifestar.

Torna-se evidente que não se dá somente em tanques de carga e descarga, também pode ocorrer em grão, quando o navio tem águas abertas e até no tanque de combustível.

Evidenciou-se nesse trabalho, o papel fundamental do estudo desse fenômeno, para não ocorrer e comprometer a estabilidade a bordo.

Foi mostrado como ocorre, como calcula e as consequências desse efeito, além de alguns tipos específicos que podem ocorrer e até como pode minimizar esse efeito.

Esperamos que em breve esse problema não seja mais um grande e evidente além de que não ocorra mais nas embarcações, com o avanço da tecnologia e a maior atenção dos tripulantes para tal problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALIL-JÚNIOR *et al.* **ÂNGULO DE REPOUSO, ATRITO INTERNO E EFETIVO DOS GRÃOS. ÂNGULO DE REPOUSO, ATRITO INTERNO E EFETIVO DOS GRÃOS**, São Paulo, n.15178595, p.17, 2006.

ESTEVES, C. S. **Estabilidade 2011 Completo**. CIAGA: Nenhuma, 2011. 280p.

IDENTIFICADO, N. **Mecânica do navio Parte IV**. UFF: UFF, 2010. 11p.

MARTINS, M. R. **Hidrostática e estabilidade**. USP: USP, 2010. 154p.