

**“A FOLGA DEBAIXO DA QUILHA”**  
**A SUA IMPORTÂNCIA NA PILOTAGEM**



## ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
INTRODUÇÃO .....	3
1 - FACTORES DE REDUÇÃO DA “FDQ” .....	4
2 - EFEITOS EM ÁGUAS RESGUARDADAS .....	5
2.1 - ALTERAÇÃO DA DENSIDADE DA ÁGUA .....	5
2.2 - SQUAT .....	5
2.2.1 - O SQUAT EM ÁGUAS ABERTAS .....	5
2.2.1.1 - INFLUÊNCIA DO SQUAT .....	9
2.2.1.2 - A DETERMINAÇÃO DO SQUAT EM ÁGUAS ABERTAS .....	10
2.2.2 - O SQUAT CAUSADO POR BLOQUEAMENTO .....	11
2.3 - CANAIS ESTREITOS - INTERACÇÃO E BOW CUSHION .....	13
2.4 - ADORNO .....	14
3 - EFEITOS EM ÁGUAS NÃO RESGUARDADAS .....	16
3.1 - DESCRIÇÃO DOS EFEITOS .....	16
3.2 - ESTIMATIVAS .....	17
3.3 - DIMENSÕES DAS ONDAS .....	19
BIBLIOGRAFIA .....	20

## INTRODUÇÃO

A folga debaixo da quilha, “**fdq**” ou “underkeel clearance”, foi sempre um dos primeiros factores a ser tomado em consideração em qualquer acto de pilotagem.

Num passado distante, os marítimos guiavam-se por marcas das marés escolhidas para o efeito, pelas fases da Lua e pelas suas próprias sondagens; hoje em dia temos simplesmente que interpolar a altura da água das Tabelas de Marés, juntar-lhe a sondagem local referida ao zero hidrográfico ( ou sondagem actualizada da área) e subtrair-lhe o calado do navio.

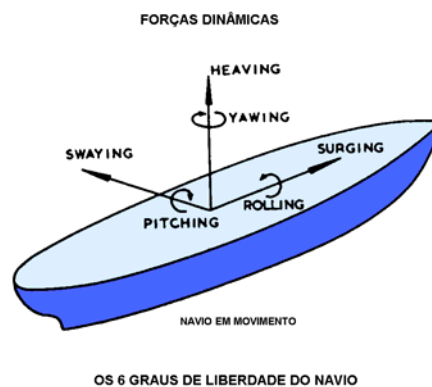
É sobejamente conhecido pelos marítimos que a manobrabilidade dum navio é bastante afectada negativamente quando a folga debaixo da quilha é inferior a 20% do calado do navio e que, como medida de segurança ela só deve ser da ordem dos 10% se a velocidade requerida para o navio governar for inferior a 5 nós, sendo as sondagens de confiança. Estas restrições presumem que o vento não afecta grandemente o governo do navio a baixa velocidade e que o mesmo não seja afectado pela ondulação ou vaga.

Com este trabalho pretende-se analisar as razões da perda de folga debaixo da quilha de uma forma prática e útil ao navegador pois da sua consciência e devida interpretação poderá depender a segurança do navio.

## 1 - FACTORES DE REDUÇÃO DA “FDQ”

Uma vez determinada a “fdq” devem ser considerados os factores que a possam reduzir ainda mais. Estes factores podem ser agrupados em:

- A) **Efeitos em águas resguardadas** - em que o navio que nelas navega não é afectado pela ondulação ou vaga - nomeadamente a alteração da densidade, o squat, o adorno na guinada e o adorno devido ao vento.
- B) **Efeitos em águas não resguardadas** - Nestes grupo devem ser considerados, não só os efeitos do grupo anterior mas também o comportamento do navio com movimentos de rotação em torno do ponto neutro como o rolo (**rolling**), o cabeceio (**pitching**) e a guinada (**yawing**) ou com translações em torno do ponto neutro tais como a arfagem (**heaving**), o avanço (**surging**) e o abatimento (**swaying**), considerando o ponto neutro nas proximidades do centro de gravidade do navio.



OS 6 GRAUS DE LIBERDADE DO NAVIO

Fig. 1 - Graus de liberdade de um navio

## 2 - EFEITOS EM ÁGUAS RESGUARDADAS

### 2.1 - ALTERAÇÃO DA DENSIDADE DA ÁGUA

A alteração da densidade da água está associada ao movimento vertical do navio de cima para baixo (imersão) e a uma alteração do caimento quando ele passa de água salgada para água doce. Durante o acto de pilotagem deve ter-se presente este factor (fresh water allowance) quando a densidade da água varia consideravelmente. Se o navio for de grande comprimento, o que envolve uma distância longitudinal considerável entre o centro de querena ( $b$ ) e o centro de flutuação ( $f$ ), deve considerar-se igualmente a correcção ao caimento.

A variação de caimento iguala os factores:

$$P \times LCb = \frac{LCf}{Mct} \quad \text{onde} \quad P = Tpc \times I \times \frac{\delta}{1025}$$

Sendo:

$P$	- Peso embarcado
$I$	- Imersão
$LCb$	- Posição long. do centro de querena
$LCf$	- Posição long. do centro de flutuação
$Mct$	- Momento de variação do caimento
$Tpc$	- Ton. por centímetro de imersão
$\delta$	- Densidade da água do porto

Em situações de aumento de imersão, o centro de querena original  $b$  avança na direcção de  $f$ , posição média do centro de flutuação entre as duas flutuações. Conforme  $f$  se encontra para vante ou para ré do centro de querena  $b$  o caimento será respectivamente a vante ou a ré.

### 2.2 - SQUAT

O efeito de squat é similar à variação de densidade e conforme  $f$  se desloca para vante ou para ré do centro de querena  $b$  o efeito traduzir-se-á respectivamente por um abicamento ou por um empopamento.

O termo “squat” foi traduzido na Convenção Internacional sobre Normas de Formação, de Certificação e de Serviços de Quarto para Marítimos, 1978, como “**empopamento**”, o que não é correcto.

#### 2.2.1 - O SQUAT EM ÁGUAS ABERTAS

O squat é a variação da imersão e do caimento do navio devido à sua marcha, agravada pela presença de fundos baixos e/ou de bloqueamento de águas em canais.

Qual a sua razão? Quando um navio navega, empurra a água à sua frente. A fim de não ficar num “buraco”, aquele volume da água desalojada tem que ser preenchido ao longo do casco do navio, costado e fundo. Os filetes líquidos de retorno são acelerados sob o navio provocando uma queda de

pressão fazendo com que o navio se afunde verticalmente. Além do movimento vertical o navio sofre uma alteração no seu caimento e, conseqüentemente na imersão à proa e à popa.

Por outras palavras, quando um navio se desloca na água forma uma onda à proa e outra à popa. O aumento da velocidade faz aumentar a distância entre estas duas ondas e a respectiva depressão entre elas registando-se um acréscimo de imersão em relação ao nível médio da água quer nas extremidades quer a meia-nau. Isto é devido, por um lado ao aumento da velocidade relativa da água quando flui sob o navio e, por outro lado, à interação dos sistemas de ondas de proa e de popa e, quando o navio se desloca, flutua numa depressão gerada pelo seu próprio movimento. Como efeito imediato deste aumento da imersão média, a imersão a vante será maior que a imersão a ré e o navio abica ligeiramente. Se ao aumentar a velocidade o navio ultrapassa a “**velocidade crítica**” (relação  $V/\sqrt{L} = 2,1$ )<sup>1</sup> a proa começa a emergir rapidamente enquanto o inverso se regista com a popa. Este fenómeno, denominado “*squatting*” tem efeitos precisos na resistência do navio ao movimento e na sua velocidade.

Na deslocação do navio produz-se um sistema de ondas conhecido por “sistema de ondas de Kelvin” exemplificadas nas figuras abaixo.

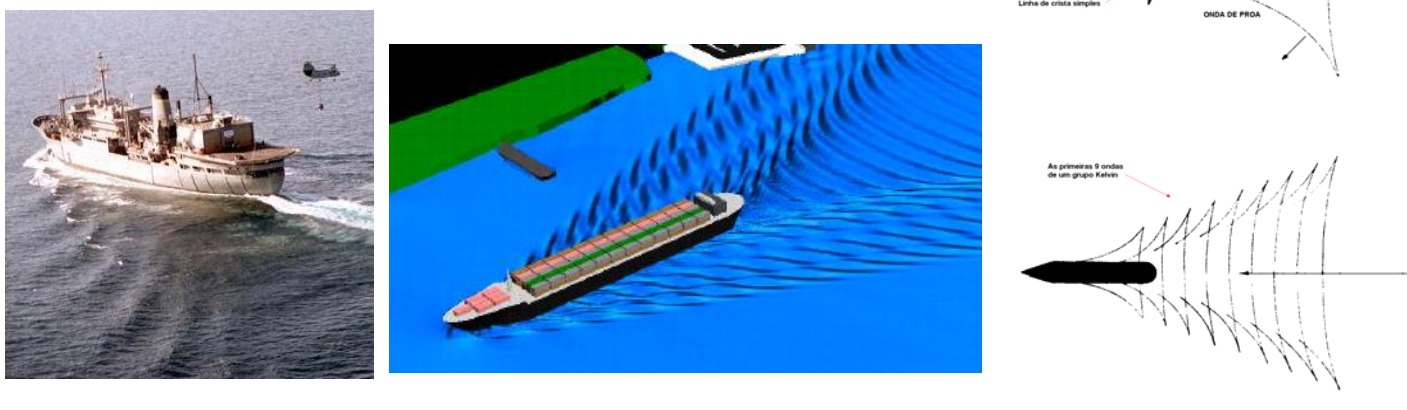


Fig. 2 - Sistema de ondas de esteira de um navio

Este sistema é formado por ondas de proa que divergem e evoluem lateralmente quase paralelamente às amuras e por ondas transversais que evoluem na perpendicular ao movimento do navio, seguindo-o. São estas ondas transversais a determinante no efeito do squat. Ao aumentar a velocidade do navio, dá-se uma redução de pressão motivada pela aceleração dos filetes líquidos do fluxo de retorno ao longo da superfície de atrito, a onda da proa desloca-se para ré ao longo do costado fazendo emergir a proa; se a popa flutuar na cava da onda, imergirá. É a coincidência desta primeira cava das ondas transversais com a popa do navio que determina a sua velocidade crítica. Resumindo, a velocidades inferiores à velocidade crítica o navio terá a sua popa sobre a onda da popa; assim, o efeito de squat será um “abicamento do navio”; ao ultrapassar a velocidade crítica a cava da 1ª onda transversal ficará pela popa do navio e esta imergirá causando o denominado “empopamento”.

A imersão e o squatting aumentam em fundos baixos. A proximidade do fundo provoca um aumento relativo da velocidade, porque a água flui sob o navio e as ondas de esteira ficam mais pronunciadas.

<sup>1</sup> - V em nós e L em metros

O squat em fundos baixos pode tornar-se um problema quer pelos seus efeitos na propulsão de um navio quer pelo perigo que representa o sistema de ondas de esteira resultante.

Quando um navio se desloca em águas tranquilas e experimenta efeitos de squat sofre três reacções básicas:

- A resistência ao movimento.
- A criação de um sistema de ondas (na superfície livre e, se está presente por baixo do casco uma interface de densidade, sob aquela superfície).
- Alteração na posição vertical e no caimento do navio em relação à sua posição quando estacionário.

Acompanhando estas três reacções básicas observam-se ainda mudanças igualmente significativas embora menos óbvias:

- Na superfície molhada da querena.
- Na posição longitudinal do centro de flutuação.
- Na altura metacêntrica.
- No momento para variar o caimento.
- Na forma imersa da querena.
- Na forma da área de flutuação.
- No momento de inércia transversal da área de flutuação.
- Todos os valores das curvas hidrostáticas que dependem do calado.

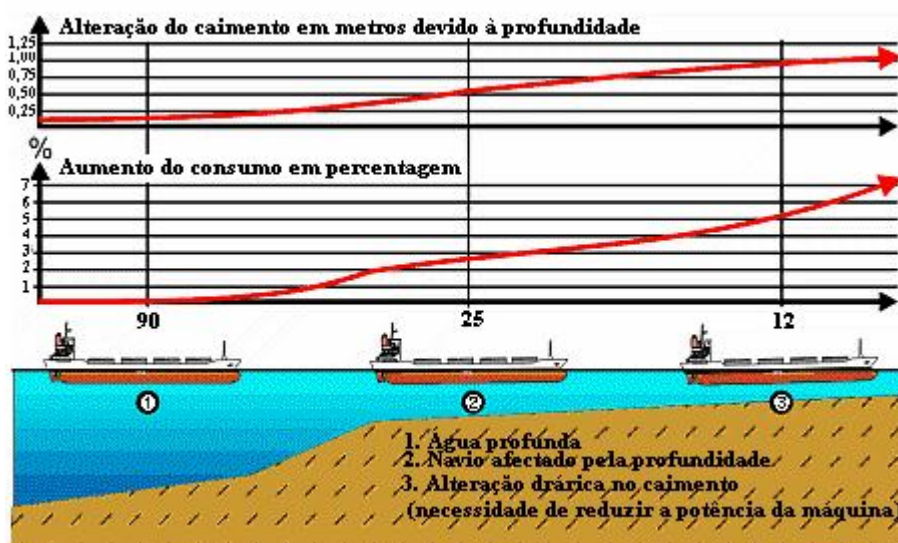


Fig. 3 - Relação profundidade/caimento (fonte: SAJ Instruments Ab Ltd)

Cada uma das mudanças atrás mencionadas é provocada por uma combinação das variações da distribuição da pressão e a criação de um filete líquido adjacente, com a conseqüente superfície de atrito. Uma superfície bidimensional que se movimenta num fluido viscoso (uma lâmina), não sofre pressões verticais ou movimentos de caimento e por isso não está sujeita a variações de imersão com seguimento a vante. Porém, logo que a forma se torna tridimensional, a pressão produz forças e a pressão somada ao atrito criam momentos de caimento que resultam do andamento a vante e o navio reage imergindo e variando o caimento para manter o equilíbrio. Por isso postulou-se que a quantidade que o navio imerge e a variação do caimento com o andamento a vante, dão indicação do efeito da forma do casco no atrito e na distribuição da pressão.

Como a imersão e a variação do caimento são influenciadas quer pelas condições ambientais (fundos baixos, canais restritos, estratos de diferentes densidades, termoclínicas, etc.) quer pelas condições do casco (tipo de propulsão, acessórios do casco, apêndices, etc.) a imersão e a variação do caimento reflectem o efeito real da verdadeira forma daquele, para as condições operacionais.

Quando um navio entra a navegar em fundos baixos, podem observar-se os seguintes efeitos:

- As ondas geradas pelo navio aumentam;
- A velocidade diminui; em águas abertas esta redução pode atingir os 30%;
- As rotações da máquina diminuem; em águas abertas esta redução pode ser da ordem dos 20%;
- Nos navios lentos aumenta o caimento a vante e nos rápidos aumenta o caimento a ré; esta variação pode ser notada se o navio possuir leitor de calados ou nos transdutores do aparelho de sonda;
- O navio sofre um pequeno aumento da imersão média;
- Torna-se mais preguiçoso a manobrar; perda de estabilidade direccional;
- Necessita de maior distância para parar quando só existem restrições de profundidade;
- O navio pode vibrar pelo efeito da água arrastada ( a que está encostada ao casco e é posta em movimento). O módulo de frequência natural do casco diminui quando o navio entra em fundos baixos. A frequência pode ser deslocada para uma frequência de ressonância o que pode provocar problemas de vibração.

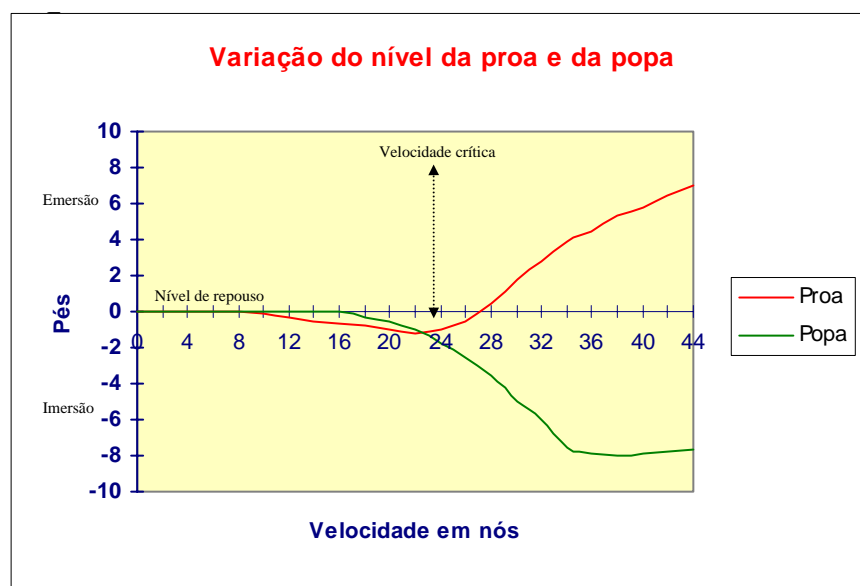


Fig. 4 – Imersão à proa e à popa quando o navio aumenta a velocidade

Assim, contrariamente à sua tradução legal o squat pode traduzir-se por um abicamento do navio para velocidades sub críticas, o que acontece na maioria dos casos, e num empopamento para velocidades super críticas como se exemplifica na figura 4, para um navio com 122 metros (400 pés) de comprimento.

Para se ter noção a partir de que profundidade se pode esperar efeitos de squat, incluímos a tabela que se segue baseada no rácio **profundidade/calado** ( $h/T$ ).



<b>PROFUNDIDADES DE INFLUÊNCIA PARA VÁRIOS TIPOS DE NAVIOS</b>			
<b>TIPO DE NAVIO</b>	<b>Cb (aprox.)</b>	<b>Cw (aprox.)</b>	<b>h/T</b>
<b>Navios Boxed Shaped</b>	1,000	1,000	<b>4,96</b>
<b>ULCs</b>	0,900	0,933	<b>5,20</b>
<b>VLCs</b>	0,825	0,866	<b>5,68</b>
<b>Outros graneleiros</b>	0,800	0,833	<b>5,91</b>
<b>Navios de carga geral</b>	0,700	0,800	<b>7,07</b>
<b>Navios de passageiros</b>	0,625	0,750	<b>8,25</b>
<b>Navios porta-contentores</b>	0,550	0,700	<b>9,70</b>
<b>Rebocadores</b>	0,500	0,663	<b>10,94</b>

### 2.2.1.1 - INFLUÊNCIA DO SQUAT

#### Provas de mar

Após a construção dum navio, este é submetido a uma série de testes que incluem provas de velocidade, resistência, consumo de combustíveis e manobrabilidade afim de se verificar se está em conformidade com as especificações do armador.

Nas provas de mar estão incluídas as provas de governo e manobra seguintes:

- Espiral de Duidonne
- Ziguezague de Kempf
- Curvas de giração
- Extinção natural da velocidade: distância e tempo.

As três primeiras manobras destinam-se a verificar a relação entre a ordem dada ao leme para levar o navio a uma dada proa e, o tempo de resposta a essa mesma ordem.

Nas manobras de ziguezague de Kempf, o ângulo de desvio  $\theta$  é de cerca de  $8^\circ - 10^\circ$  para petroleiros e navios de carga geral, quando navegam em águas profundas. Contudo, em águas baixas, aquele ângulo de desvio (override angle) aumenta para cerca de  $12^\circ - 15^\circ$ . Assim, quanto menor for a relação h/T, maior será o ângulo de desvio. Por isso, em águas baixas, a resposta do navio ao leme é mais lenta e conseqüentemente, diminui a eficiência do leme.

Para estes dois tipos de navios, o diâmetro táctico da curva de giração em águas profundas, pode ser de 3 a 4 vezes o comprimento entre perpendiculares. Contudo quando em águas baixas em que a relação h/T é de 1,1, o diâmetro táctico pode duplicar. Pode afirmar-se que quanto menor for o rácio h/T, maior será o diâmetro táctico.

Nas manobras de extinção natural da velocidade, são medidas a distância e o tempo gastos para o navio parar. Depois de colocar num gráfico os resultados correspondentes a uma série de petroleiros de 50 a 250 mil toneladas de porte bruto (navios de um só hélice movimentado por uma turbina a vapor, desacelerando de 16 nós até parar, na condição de águas profundas), sugerem-se as seguintes fórmulas:

#### Distância de paragem

$$S = 0,36 \left[ \left( \frac{Dwt}{100.000} \right)^2 - \left( \frac{Dwt}{100.000} \right) \right] + 1,6nm$$

#### Tempo de paragem

$$t = 2,67\left(\frac{Dwt}{100.000}\right)^2 - 0,67\left(\frac{Dwt}{100.000}\right) + 10 \text{ min}$$

### Número de comprimentos até parar

$$\frac{S}{Lpp} = 2\left(\frac{Dwt}{100.000}\right) + 10,5$$

Contudo, em águas baixas, a massa de água extra arrastada pelo navio confere-lhe também uma energia cinética extra a que corresponde um movimento adicional para vante. Disso resulta que a distância e o tempo de paragem são maiores e aumentam tanto mais quanto mais próximo da unidade estiver o valor h/T.

### 2.2.1.2 - A DETERMINAÇÃO DO SQUAT EM ÁGUAS ABERTAS

O principal factor que influencia o squat é a velocidade (**V**). Ele varia aproximadamente na razão directa do quadrado da velocidade.

Outro factor é o coeficiente de bloco (**C<sub>b</sub>**). O squat varia na razão directa do C<sub>b</sub> e por isso ele será maior nos petroleiros que nos navios de passageiros para uma mesma velocidade. De igual modo, o C<sub>b</sub> pode ser utilizado para determinar a probabilidade do caimento ocorrer a vante ou a ré quando um navio sofre squat. O caimento ocorrerá possivelmente à proa para navios com C<sub>b</sub> superior a 0,700 e, provavelmente a ré se for inferior a este valor.

Uma das fórmulas utilizadas (Barrass) para a determinação do squat em águas abertas é a seguinte:

$$squat = C_B \times S_2^{2/3} \times V^{2,08} \text{ metros}$$

Esta fórmula é o resultado da análise de cerca de 300 efeitos de squat medidos em navios e em modelos. É possível simplificá-la sendo V a velocidade em nós:

$$squat = C_B \times \frac{V^2}{100} \text{ metros}$$

O gráfico que se segue foi determinado a partir da fórmula anterior.

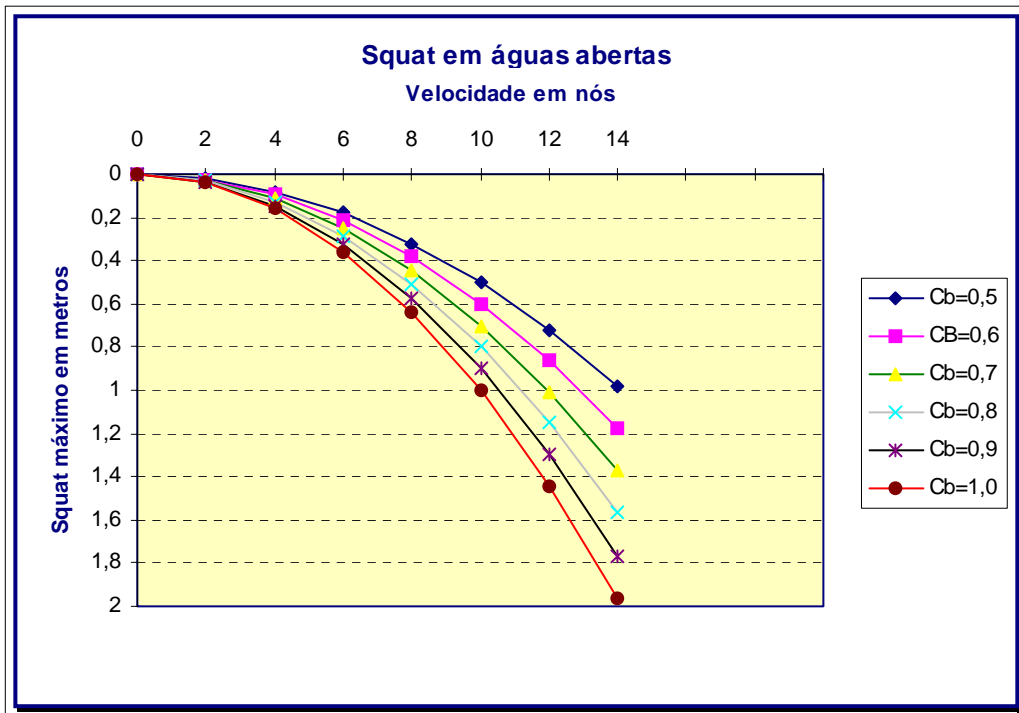


Fig. 5 - Squat em águas abertas (Barrass)

### 2.2.2 - O SQUAT CAUSADO POR BLOQUEAMENTO

O squat tal como foi descrito anteriormente refere-se a águas abertas, não limitadas, onde o único factor influenciador do squat é o rácio  $h/T$ .

Há, porém, outro factor influenciador de squat e igualmente já mencionado - o bloqueamento. O factor de bloqueamento  $S$  é a área da secção mestra imersa do navio dividida pela secção do canal ou rio. Se o navio se encontra em águas abertas mas limitadas, os valores de coeficiente de bloqueamento que afectam os navios é:

$$S = \begin{cases} 8 & \text{para petroleiros} \\ 10,5 & \text{para navios de passageiros.} \end{cases}$$

Mas, em vez de  $S$ , é mais eficaz empregar um factor derivado deste:

$$S_2 = \frac{A'_s}{A_w} = \frac{\frac{b \times T}{B \times h}}{\frac{B \times h - b \times T}{B \times h}} = \frac{S}{1 - S}$$

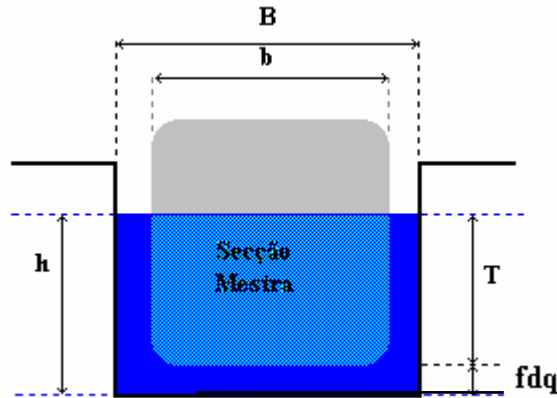


Fig. 6 - Navio num canal em condições estáticas

Foi deduzida uma fórmula (Barrass) que será satisfatória para calcular o squat de navios que operam em canais limitados e, em situações de águas abertas, sendo V a velocidade em nós:

$$squat = 2 \times C_B \times \frac{V^2}{100} \text{ metros}$$

Como vemos, esta fórmula é o dobro da utilizada para a determinação aproximada do squat em águas abertas.

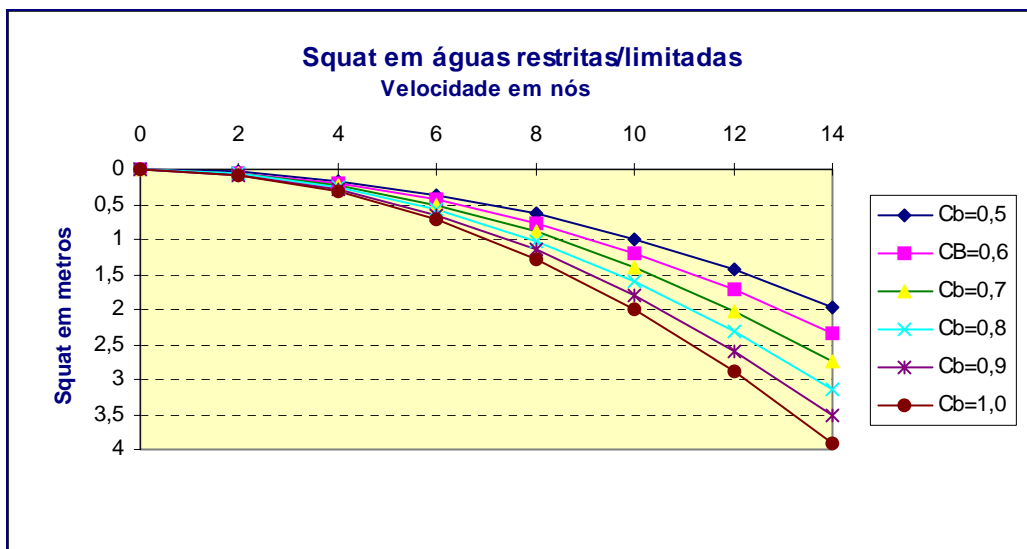


Fig. 7 - Squat em canais restritos

As fórmulas apresentadas, como atrás referimos, são aproximadas e têm ligeiros erros nos valores mais elevados e, por isso, contêm uma pequena margem de segurança.

A resolução da IMO A.601(15) adoptada em 19 de Novembro de 1987 sobre “As prescrições e a exibição das informações de manobra a bordo dos navios”, no quadro que deve estar afixado na casa de leme, apresenta no Apêndice 3, ponto 4, “características da manobra em águas baixas”.

#### 4.2 squat estimado

4.2.1 Devem ser desenhadas curvas que indiquem o squat máximo para águas baixas e canais de largura ilimitada, em relação à velocidade do navio e correspondentes a vários coeficientes de profundidade/calado.

4.2.2 Devem ser desenhadas curvas que indiquem o squat máximo para águas baixas e canais de largura limitada, em relação à velocidade e correspondentes a diferentes factores de bloqueamento.

Um grande problema que se levanta aos navios que navegam em águas baixas em canais limitados é a interacção entre navios e entre os navios e os baixos. As linhas seguintes descrevem esses fenómenos.

### 2.3 - CANAIS ESTREITOS - INTERACÇÃO E BOW CUSHION<sup>2</sup>

Em canais estreitos ocorre uma maior restrição do fluxo de água não só abaixo do navio, mas também lateralmente, resultando nas diferenças de pressão de Bernoulli.

Um navio navegando perto dum banco, causa uma redução significativa do nível de água no bordo do banco, devido à restrição do fluxo. A diferença no nível de água em ambos os bordos do navio, provoca uma diferença de pressão, a qual é a fonte de uma força lateral aplicada no navio com direcção à margem.

O ponto de aplicação da força, é o centro de gravidade do navio; a intensidade da força transversa resultante aplicada no centro de gravidade é directamente proporcional à diferença dos níveis da água e está, conseqüentemente, relacionada directamente com a velocidade do navio.

O ponto pivot (ponto peripatético em torno do qual o navio roda durante a guinada), encontra-se supostamente algures a vante do centro de gravidade no navio, o que significa que o efeito da força transversa actuando no centro de gravidade faz a popa do navio movimentar-se na direcção da margem (efeito de interacção - atracção da popa).

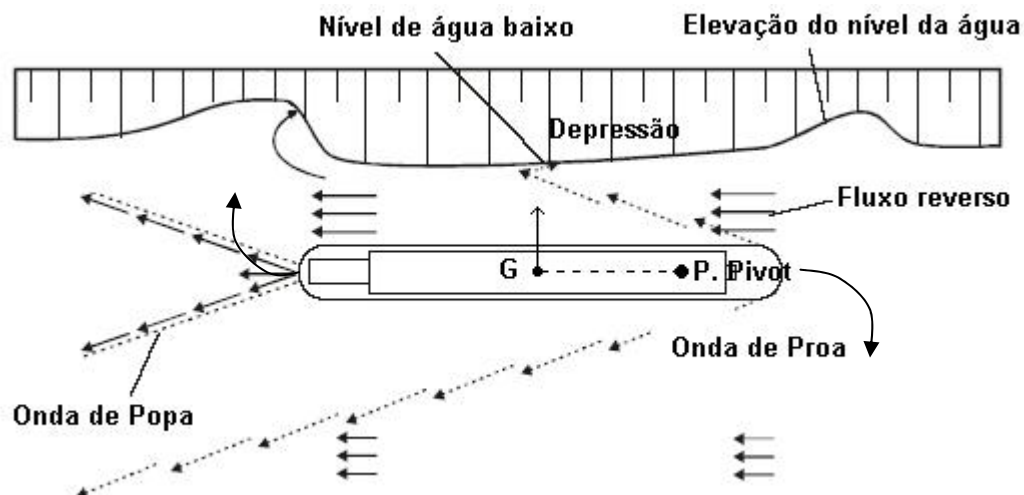


Fig. 8 – Interacção na margem de um canal

Adicionalmente, quando o navio se movimenta a uma velocidade relativamente alta forma-se um acréscimo de água à proa, especialmente entre a proa e o banco próximo do navio, resultando numa diferença de pressão entre a amura do bordo do banco e a do bordo de fora. Esta é a fonte da força

<sup>2</sup> Bow Cushion – efeito de repulsão da proa do navio de uma margem ou banco.

que empurra a proa para fora do banco. O aumento da onda de proa, fazendo aumentar a resistência longitudinal na amura, obriga o ponto pivot a desloca-se para ré fazendo diminuir o braço do binário correspondente ao efeito do leme e propulsão, tornando precário o efeito do leme. Para manter o navio na posição próxima da margem deve conseguir-se um equilíbrio entre as forças do hélice e leme e as forças do bow cushion e da atracção da popa. A maneira mais segura de navegar em canais estreitos é manter o navio na linha de centro do canal quando o tráfego tal nos permitir.

O bow cushion, tem a mesma direcção rotacional que a atracção da popa (bank suction), e o seu efeito em navios de grande calado, com pouca água abaixo da quilha pode ser forte. A intensidade do fenómeno bow cushion, depende da altura da onda de proa, a qual por sua vez varia com a folga abaixo da quilha, distância ao banco, calado do navio, boca e velocidade.

Este efeito verificar-se-á quando se observarem as 4 condições seguintes:

1. *Proximidade dum banco.* Obviamente que a onda de proa se dispersará mais rapidamente quando o banco se encontra submerso. A atracção sofre até certo ponto de uma perda de força quando o banco está submerso.
2. *O navio deve navegar num rumo paralelo ao banco.* Para se formar a onda de proa no lado do banco, o rumo deve ser paralelo ou próximo de paralelo ao banco. A atracção é menor se aumentar o ângulo com o banco.
3. *O navio deve atingir uma certa velocidade para formar a onda de proa.* A velocidade do navio está relacionada com as suas dimensões, pelo que devemos levar em conta a boca do navio e a folga debaixo da quilha, como factores que contribuem para a altura da onda de proa (ver fórmula do squat).
4. *O navio deve ter uma grande área submersa a avante do ponto pivot,* que será o caso de navio na condição de carregado. O caimento a vante aumenta a área submersa a vante do ponto pivot e conseqüentemente acentua o efeito da bow cushion. Em combinação com o ponto 3, deve ser levado em conta que a componente longitudinal da onda da proa mais alta em águas baixas tende a empurrar o ponto pivot para ré o que também aumentará a área lateral submersa a vante do ponto pivot, conferindo à componente transversal da onda de proa com um braço adicional. Uma vez iniciada a guinada, o ponto pivot tende a movimentar ainda mais para ré aumentando novamente a força e o braço da resistência lateral a vante intensificando a guinada

A maioria dos navios tem uma área lateral submersa relativamente pequena a vante do seu ponto pivot devido ao calado e caimento. O efeito do bow cushion é nesse caso insignificante, e a velocidade moderada não é insignificativa.

Navegando devagar, temos mais tempo para controlar as fracas forças provocadas pelo efeito dos bancos e navios que por nós passem e ainda temos a possibilidade de aumentar as rotações da máquina para um maior controlo do governo do navio.

## **2.4 - ADORNO**

O adorno em águas resguardadas deve-se a guinadas do navio ou ao vento.

a) O **adorno na guinada**\* é directamente proporcional ao quadrado da velocidade e inversamente proporcional ao raio de giração. Estes dois elementos podem ser directamente controlados durante a curva e associam-se normalmente aos velozes navios de contentores. Contudo, com o desenvolvimento tecnológico, muitos navios estão equipados com lemes especiais que lhes aumenta a manobrabilidade e que provoca um grande ângulo de adorno para velocidades moderadas. Este adorno pode ser previsto pela fórmula:

$$\text{sen}\theta = V^2 \times \frac{d}{R} \times g \times \overline{GM}$$

Onde:

$\theta$	- adorno em graus
V	- velocidade em nós
R	- raio de giração em metros
g	- 9,8 (gravidade)
$\overline{GM}$	- altura metacêntrica em metros
d	- dist. vertical desde meio calado ao centro de gravidade do navio G

Uma vez determinado o adorno  $\theta$ , o novo calado obtém-se facilmente pela fórmula bem conhecida:

$$C_1 = \frac{1}{2} B \times \text{sen}\theta + C \times \cos\theta$$

Onde:

C1	- novo calado
B	- boca
C	- calado inicial

Para pequenas inclinações (até 10°), a redução da **fdq** pode ser determinado aproximadamente pela fórmula:

$$f = \frac{1}{2} B \times \phi$$

Onde:

f	- redução da <b>fdq</b>
B	- boca
$\phi$	- ângulo $\theta$ em radianos

b) **Adorno devido ao vento** - os navios com grande superfície vélica e momento endireitante pequeno adornam como os barcos à vela quando sujeitos a ventos fortes. Trata-se de um complexo problema dinâmico para o qual se aplica normalmente uma solução estática para obter resultados aproximados. Toma-se a força do vento como perpendicular a uma superfície plana representativa do navio direito. A pressão é proporcional à área e ao quadrado da velocidade do vento. O momento inclinante será igual a:

$$M = (0,19 \times A \times V^2 \times L \times \cos\theta) \text{ Kg/m}$$

---

\* A força do leme, a primeira força transversal a fazer-se sentir após o leme ser posto a um determinado ângulo, faz o navio adornar para dentro. Quando o ângulo de abatimento se começa a formar e o casco começa a rodar, a componente centrípeta da resistência do casco e o efeito centrífugo da inércia do navio começam a desfazer a inclinação para dentro, fazendo-o inclinar-se para fora.

onde:

- 0,19 - factor dependente da densidade do ar
- A - superfície vélica
- V - velocidade do vento em nós
- $\theta$  - ângulo de adorno em graus
- L - dist. vertical desde meio calado ao centro da superfície vélica A.

Para pequenos ângulos (adorno até 10°), o co-seno da fórmula pode ser ignorado e o ângulo de adorno estimado será dado por:

$$\text{sen } \theta = \frac{0,19 \times A \times V^2 \times L \times 10^{-3}}{D \times GM}$$

Onde: D - deslocamento

Os navios de contentores e os ferries, em conformidade com a regulamentação em vigor, devem limitar o adorno para ventos até força 10, através de estabilidade adequada. Os LPGs e os navios de transporte de carros estão igualmente sujeitos a esta condição por isso deve estabelecer-se qual será a máxima inclinação esperada antes de um acto de pilotagem sob severas condições de vento.

### 3 - EFEITOS EM ÁGUAS NÃO RESGUARDADAS

Os navios que sulcam estas águas são afectados essencialmente pelos movimentos de rotação e translação em torno do seu ponto neutro, tanto mais perceptíveis quanto piores forem as condições de mar e vento em comprimentos de onda iguais ao comprimento do navio. Como já mencionámos, os fenómenos anteriormente descritos para as águas protegidas também poderão estar presentes.

Para uma melhor compreensão consulte novamente os movimentos dinâmicos descritos no capítulo 1, figura 1.

Tratando-se de navios grandes demandando o porto, muitas vezes o comprimento de onda não excede 1/4 ou 1/3 do comprimento do navio o que não o impede de sofrer grandemente estes efeitos quando o mar se apresenta de través ou de alheta, agravando-se a sua acção com as proximidades dos baixos e com os efeitos das correntes - caso das pancadas da barra de Lisboa.

Muitas vezes acontecem actos de pilotagem sem uma atempada avaliação das condições do mar. Assim, a redução da **fdq** deve ser equacionada a bordo para os movimentos individuais do navio.

#### 3.1 - DESCRIÇÃO DOS EFEITOS

O efeito de guinada (**yawing**), é notado fundamentalmente no esforço requerido para governar a direita. É causado pela instabilidade direccional mas aumenta muito com o mar de alheta, com a crista da vaga na popa e a cava por vante do meio navio que confere ao navio a tendência para atravessar ao mar. O efeito é o aumento do rolo (rolling) com o mar de alheta onde a redução da **fdq** é muito maior que a devido ao rolo simples. O período natural de guinada é aproximadamente igual ao do cabeceio (**pitching**).

O abatimento (**swaying**) afecta o navio quando o mar vem amplamente de través fazendo o navio deslocar-se lateralmente para a cava quando o navio se eleva ou rola na crista da onda, aumentando a perda de **fdq**. Tratando-se de um movimento de translação o inclinómetro não registará ângulo de adorno. Não existe período natural no abatimento (swaying) pois não existe força recuperadora.



O avanço ( **surging** ) é mais sentido quando se corre com o mar com comprimento de onda igual ou superior ao comprimento do navio fazendo este aumentar a velocidade para a cava da vaga e assim reduzir a **fdq** ao cabecear. Tal como no abatimento não há força recuperadora nem período natural.

### 3.2 - ESTIMATIVAS

Com mar de alheta é normal o chamado balanço em parafuso que indica a combinação de arfagem, cabeceio, rolo e guinada, contribuindo todos eles para a redução da **fdq**. Para prever a redução da **fdq** devido aos seis movimentos teria que se passar pela resolução de complicadas equações diferenciais e pelo ordenamento do estado do mar, por isso, a não ser que o navio possua sensores capazes de registar cada movimento e processá-los por computador, estamos perante um problema de estimativa. Estas estimativas podem fazer-se através de equações simplificadas derivadas das equações originais do rolo, cabeceio e arfagem, como efeitos principais e o pior estado de mar. Em mar aberto, quando qualquer dos períodos naturais de rolo, cabeceio ou arfagem coincidem com o período de encontro com o mar, pode normalmente evitar-se os excessos com uma mudança de rumo ou velocidade. Porém, o mesmo já não se verifica *quando o navio se aproxima dum porto*.

O período normal da **arfagem** é aproximadamente proporcional a duas vezes o volume do deslocamento (V) devido à água arrastada, e inversamente proporcional à área de flutuação (A).

$$T = 2(2 \times \frac{V}{A})^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

T	- período da arfagem
V	- volume do deslocamento
A	- área de flutuação

Quando não se conseguir com brevidade o volume do deslocamento e a área de flutuação, deve usar-se a fórmula aplicada a um paralelepípedo que, dando um período ligeiramente superior do que daria para um navio, se simplifica da seguinte forma:

$$T = 2,83(C)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

C	- calado do navio
---	-------------------

O período normal do **rolo** é-nos dado como directamente proporcional ao momento de inércia e inversamente proporcional ao momento endireitante GZ. Em inclinações até 10°, é aproximadamente igual a:

$$T = 2(\frac{K^2}{GM})^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

K	- raio de giração polar transversal
---	-------------------------------------

Enquanto o GM é normalmente conhecido, o mesmo já não acontece com o K. Uma boa aproximação para K é dada por um terço da boca, e a fórmula reduz-se a:

$$T = (0,66 \times \frac{B}{GM})^{\frac{1}{2}}$$

O período natural do **cabeceio** é tratado da mesma forma que o do rolo e é aproximadamente igual a:

$$T = 2\left(\frac{K^2}{GM_L}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:  $K$  - raio de giração polar longitudinal  
 $GM_L$  - altura metacêntrica longitudinal

Em sua substituição podemos usar a seguinte fórmula aproximada para os navios para navios de linhas delgadas:

$$T = 0,45(L)^{\frac{1}{2}}$$

No caso de navios de maior coeficiente de finura total (petroleiros, graneleiros), com período de cabeceio normal da ordem de metade ou dois terços do período de rolo e sensivelmente igual ao período de arfagem, pode usar-se a fórmula aproximada:

$$T = 0,82(L)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:  $L$  - comprimento

Teoricamente, se o período de encontro com o mar coincidir com o período natural de arfagem, a perda da **fdq** corresponderá a metade da altura da onda; para o cabeceio, o ângulo de cabeceio e a conseqüentemente a perda de **fdq** dependerá da inclinação da onda; para o rolo, estaremos perante grandes ângulos de rolo até que o período de encontro e o período natural deixem de ser coincidentes devido à irregularidade do mar.

Ao navegar-se em períodos de escuridão deve ter-se presente que o efeito de 1 grau de cabeceio num navio com 330 metros de comprimento, reduzirá a **fdq** em 2,88 metros (1/2 comprimento x  $2\pi/360$ ). Alguns navios de grandes dimensões possuem transdutores de sondas, um a vante e outro a ré. Uma interpretação cuidada das suas leituras comparadas com a folga obtida de cartas de confiança poderá dar-nos uma indicação da perda da **fdq** motivada pelo cabeceio e pela arfagem.

Durante o dia tudo será mais fácil podendo estimar-se o cabeceio e a arfagem pela semi distância em metros do percurso que o horizonte faz na vertical subindo e descendo no mastro de vante. Seguidamente teremos que analisar quanto dessa distância em metros se atribuirá ao cabeceio e quanto corresponderá à arfagem. Atendendo aos períodos naturais aproximados do navio, se o mar vier de través, como medida de segurança deve atribuir-se 3/4 do valor para a arfagem. Se o mar vier pela amura deve atribuir-se 1/2 para a arfagem. Se o mar vier de direcções próximas da popa deve atribuir-se 1/4 para a arfagem e 3/4 para o cabeceio.

A distância considerada para representar a arfagem significará a perda da **fdq** devido à arfagem; a distância que sobra dividida pela distância entre o mastro e o local do observador na ponte é o ângulo de cabeceio em radianos e a perda da **fdq** devido ao cabeceio será igual a 1/2 comprimento multiplicado pelo ângulo de cabeceio em radianos.

$$f = \frac{1}{2} L \times \phi$$

onde:  $f$  - redução da **fdq**  
 $L$  - comprimento  
 $\phi$  - ângulo de cabeceio em radianos

Em situações difíceis como as mencionadas, normalmente mal há tempo e disposição para o desperdiçar em determinar as proporcionalidades na redução da **fdq**. Contudo, é óbvio que com mar pelas amuras o movimento vertical do navio pode ser equitativamente dividido entre o cabeceio e a arfagem. Relativamente à altura da onda, essa divisão dá-nos 1/4 para a altura da onda para valor de arfagem e uma fracção pequena para valor de cabeceio (sugere-se 1/12) o que faz o valor da perda de **fdq** ser da ordem de 1/3 da altura da onda já entrando com a perda devido ao rolo.

Em águas baixas os navios arfam e rolam menos que quando em águas profundas, por que a pequena folga debaixo da quilha fornece um efeito de amortecimento. Isso diminui a amplitude dos balanços transversais e longitudinais.

### 3.3 - DIMENSÕES DAS ONDAS

Normalmente considera-se normal um comprimento de onda entre os 50m e os 100m, um período de onda entre os 6s e os 8s e altura máxima de 6m a 7m (Admiralty Manual of Navigation); ocasionalmente encontram-se no Atlântico ondas de 160 metros de comprimento com um período de 10 segundos e 8 metros de altura, características de águas profundas. Umas e outras ao aproximar-se de águas pouco profundas transformam-se em mar confuso e agitado especialmente se encontram no local, vaga grande resultante de ventos passados.

O período natural de cabeceio e de arfagem dum navio pode, contudo, coincidir com o período de encontro deste tipo de mar, mas o período natural de rolo não, a não ser que o mar venha por ré do través ou o navio seja pequeno.

Quando o mar vier por vante do través, o cabeceio máximo ocorrerá se o navio for forçado a navegar a velocidade reduzida. Mares de proa causadores desta situação associam-se aos navios de saída do porto com um período natural de cabeceio inferior a 7 segundos, nomeadamente navios com menos de 100 metros de comprimento.

Quando o mar vem pelo través, o período de encontro do mar pode por vezes aproximar-se do período natural da arfagem devido à irregularidade do mar sendo de esperar nestes casos valores máximos de arfagem.

Quando o mar está por ré do través o período de encontro do mar aumenta porque a velocidade do navio reduz a velocidade da vaga e pode aproximar-se do período natural de rolo onde predominará o movimento de rolo. Quando um navio entra em porto em más condições de tempo tem normalmente o mar por ré do través e o período de encontro aumentará quanto mais este se aproximar da popa.

## BIBLIOGRAFIA

- Behavior and Handling of Ships - Henry H. Hooyer
- Underkeel Clearance in Pilotage - Captain A. McKinnon (Pilot, Milford Haven)
- Basic Ships Theory - Rawson & Tupper
- UKPA Marine Transport House London
- Naval Architecture for Marine Engineers - W. Muckle
- Ship & Naval Architecture - R. Munro-Smith
- Maneuvering Information for the pilot/navigator : "It's source value and limitations" - Cap. Thomas G. Knierim - Sandy Hook Pilot
- Deep Draught Planning Guide - Hydrographer of the Royal Netherland Navy
- Barbosa Henriques: "Folga debaixo da quilha".
- Dand, I.W. and Ferguson, A.M. : "the squat of full ships in shallow water"
- Dand, I.W. : "On ship-bank interaction"
- Ferguson, A.M. : "An extrapolation Method for ship Resistance Based on the Variation of sinkage and trim with Froude Number".
- IMO resolution A.601 (15), adopted on 19 November 1987.
- SAJ Instruments Ab Ltd