

CAPÍTULO 2

GEOMETRIA DO NAVIO

SEÇÃO A – DEFINIÇÕES

2.1. Plano diametral, plano de flutuação e plano transversal (fig. 2-1) –

Uma característica geométrica dos navios é possuírem no casco um plano de simetria; este plano chama-se plano **diametral** ou plano **longitudinal** e passa pela quilha. Quando o navio está **aprumado** (art. 2.80), o plano **diametral** é **perpendicular** ao plano da superfície da água, que se chama **plano de flutuação**. Plano **transversal** é um plano **perpendicular** ao plano **diametral** e ao de flutuação.

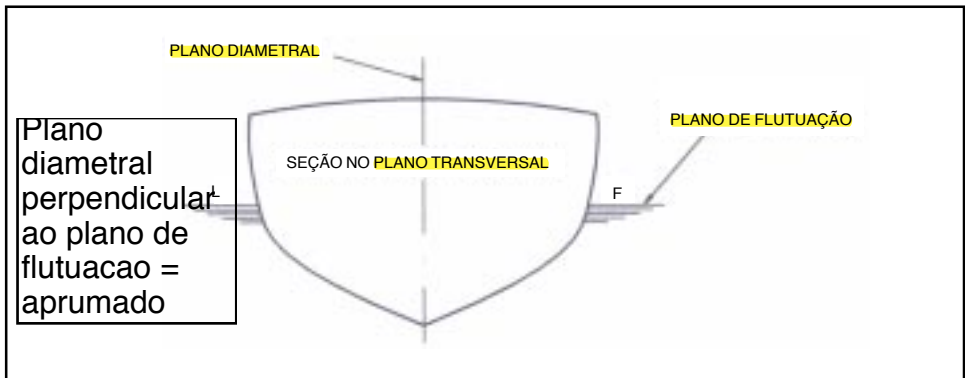


Fig. 2-1 – Planos do casco

2.2. **Linha de flutuação (fig. 2-2)** – Linha de flutuação (LF), **ou simplesmente flutuação**, é a interseção da superfície da água com o **contorno exterior** do navio. A flutuação correspondente ao navio **completamente carregado** denomina-se **flutuação carregada**, ou flutuação **em plena carga**. A flutuação que corresponde ao navio completamente **vazio** chama-se **flutuação leve**. A flutuação que corresponde ao navio no **deslocamento normal** (art. 2.70) chama-se **flutuação normal**.

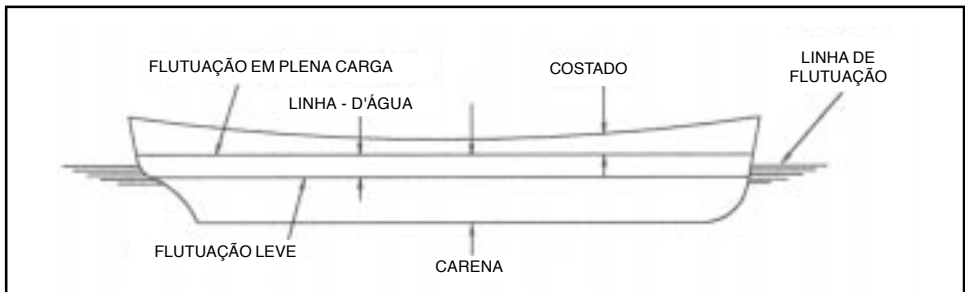


Fig. 2-2 – Linha de flutuação

2.3. Flutuações direitas ou retas – Quando o navio **não está inclinado**, as flutuações em que poderá ficar são paralelas entre si e chamam-se de flutuações direitas ou flutuações retas. O termo **flutuação**, quando não se indica o contrário, é sempre referido à **flutuação direita e carregada**.

2.4. Flutuações isocarenas – Quando dois planos de flutuação limitam volumes iguais de água deslocada, diz-se que as flutuações são isocarenas. Por exemplo, as **flutuações são sempre isocarenas** quando o navio se **inclina lateralmente**: a parte que **emergiu** em um dos bordos é **igual à parte que imergiu** no outro, e a **porção imersa da carena modificou-se em forma, mas não em volume**.

2.5. Linha-d'água projetada ou flutuação de projeto (LAP) – É a principal linha de flutuação que o construtor estabelece no desenho de linhas do navio (fig. 2-3). Nos navios **mercantes**, corresponde à **flutuação em plena carga**. Nos navios de **guerra**, refere-se à **flutuação normal**. A LAP pode, entretanto, **não coincidir** com estas **linhas de flutuação** devido à distribuição de pesos durante a construção.

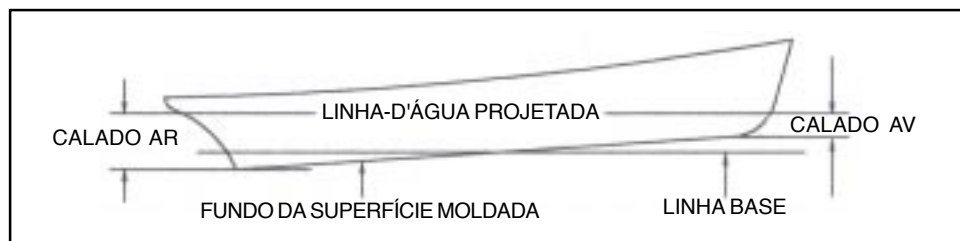


Fig. 2-3 – Linha-d'água projetada

2.6. Zona de flutuação (fig. 2-2) – É a parte das obras vivas **compreendida** entre a **flutuação carregada** e a **flutuação leve**, e assinalada na carena dos **navios de guerra** pela pintura da **linha-d'água**. O deslocamento da zona de flutuação indica, em peso, a capacidade total de carga do navio.

2.7. Área de flutuação – É a área limitada por uma linha de flutuação.

2.8. Área da linha-d'água – É a área limitada por uma linha-d'água no projeto do navio (art. 2.42).

2.9. Superfície moldada (fig. 2-4) – É uma superfície contínua imaginária que passa pelas **faces externas** do **cavername** do navio e dos vaus do convés. Nos navios em que o forro exterior é liso (art. 6.17d), esta **superfície coincide com a da face interna deste forro**.

Nas embarcações de casco metálico, o contorno inferior da superfície moldada coincide com a face superior da quilha sempre que o navio tiver quilha maciça (art. 6.6a) e, algumas vezes, se a quilha é chata (art. 6.6c); nas embarcações de madeira, coincide com a projeção, sobre o plano diametral, do canto superior do alefriz da quilha.

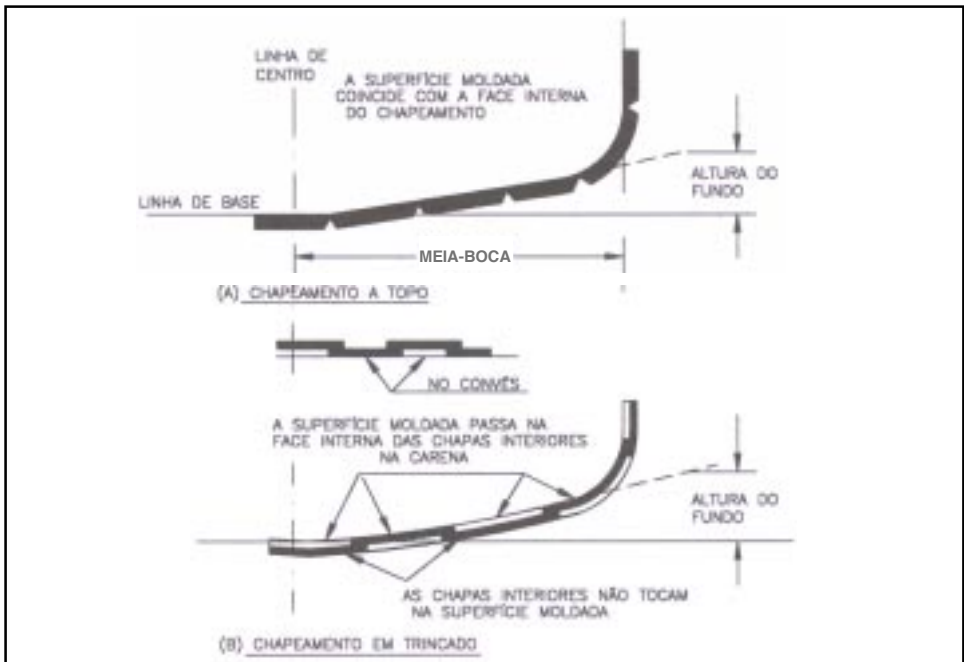


Fig. 2-4 – Superfície moldada

2.10. Linhas moldadas – São as linhas do navio referidas à superfície moldada. Em navios de aço, a diferença entre as linhas moldadas e as linhas externas é muito pequena; por exemplo, a boca moldada de determinado classe de contratorpedeiro é de 35 pés e 5 polegadas e a boca máxima é de 35 pés e 6 polegadas. As linhas do desenho de linhas são moldadas (fig. 2-5).

2.11. Superfície da carena – É a superfície da carena, tomada por fora do forro exterior, não incluindo os apêndices. Nos navios de forro exterior em trincado (art. 6.17d), a superfície da carena é medida na superfície que passa a meia espessura deste forro exterior.

A superfície da carena somada à superfície do costado representa a área total do forro exterior, e permite calcular aproximadamente o peso total do chapeamento exterior do casco.

2.12. Superfície molhada – Para um dado plano de flutuação, é a superfície externa da carena que fica efetivamente em contato com a água. Compreende a soma da superfície da carena e as dos apêndices. É necessária para o cálculo da resistência de atrito ao movimento do navio; somada à superfície do costado permite estimar a quantidade de tinta necessária para a pintura do casco.

2.13. Volume da forma moldada – É o volume compreendido entre a superfície moldada da carena e um determinado plano de flutuação.

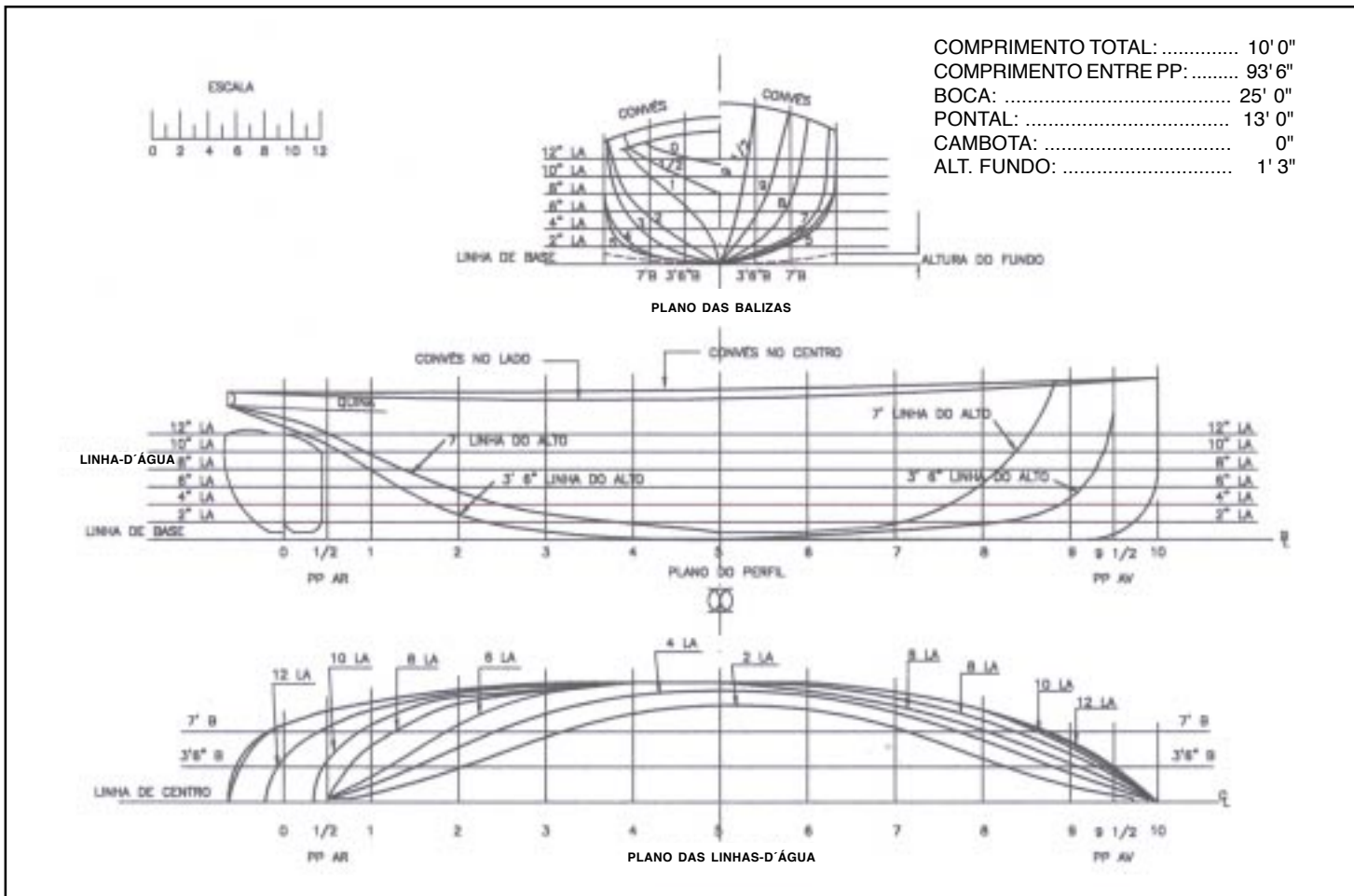


Fig. 2-5 – Desenho de linhas

2.14. Volume da carena – É o volume compreendido entre a superfície moldada e um dado plano de flutuação. Este volume é, às vezes, chamado simplesmente carena, pois, nos cálculos, não há possibilidade de confusão com a parte do casco que tem este nome.

Para embarcações de aço, o volume da carena é calculado pelo volume do deslocamento moldado mais o do forro exterior e dos apêndices, tais como a parte saliente da quilha, o leme, o hélice, os pés-de-galinha dos eixos, as bolinas etc. Para as embarcações de madeira, é o volume do casco referido ao forro exterior mais os volumes dos apêndices. O volume da carena é o que se emprega para o cálculo dos deslocamentos dos navios.

2.15. Curvatura do vau (fig. 2-6) – Os vaus do convés, e algumas vezes os das cobertas acima da linha-d'água, possuem uma curvatura de modo a fazer com que a água possa sempre escorrer para o costado, facilitando o escoamento. Esta curvatura é geralmente um arco de circunferência ou de parábola e dá uma resistência adicional ao vau.

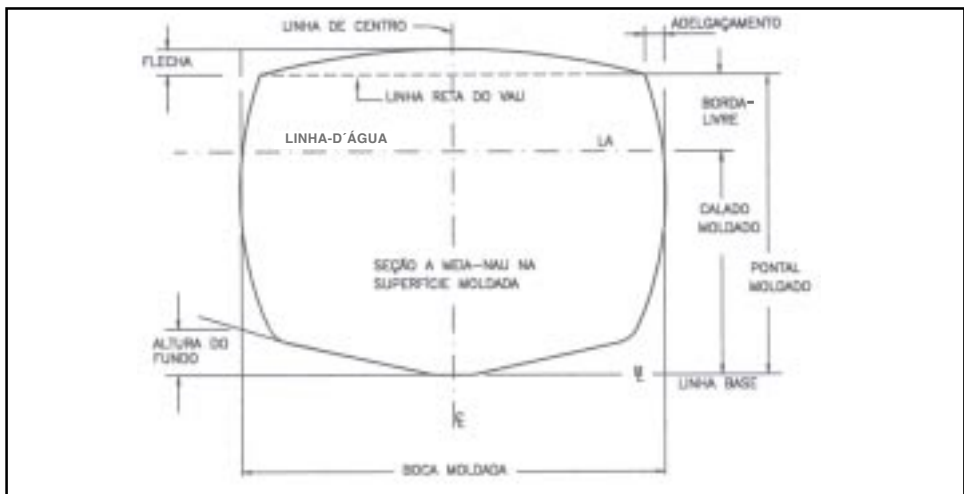


Fig. 2-6 – Dimensões da seção a meia-nau

2.16. Linha reta do vau (fig. 2-6) – Linha que une as interseções da face superior do vau com as faces exteriores da caverna correspondente.

2.17. Flecha do vau (fig. 2-6) – É a maior distância entre a face superior do vau e a linha reta; é, por definição, medida no plano diametral do navio.

2.18. Mediania – Interseção de um pavimento com o plano diametral do navio.

2.19. Seção a meia-nau – É a seção transversal a meio comprimento entre perpendiculares (art. 2.50).

2.20. Seção transversal; seção mestra – Chama-se seção transversal **qualquer seção** determinada no casco de uma embarcação por um **plano transversal**. A **maior** das seções transversais chama-se **seção mestra**. A seção mestra é situada em coincidência com a seção a **meia-nau, ou muito próximo** desta, na maioria dos navios modernos, qualquer que seja o seu tipo.

Em muitos navios modernos, e particularmente nos navios **cargueiros**, certo comprimento da **região central do casco** é constituído por **seções iguais** à seção mestra numa distância apreciável, quer para vante, quer para ré da seção a meia-nau; diz-se então que estes navios têm **formas cheias**. **Nos navios que têm formas finas, a forma das seções transversais varia muito em todo o comprimento** do navio a vante e a ré da seção mestra.

2.21. Centro de gravidade de um navio (CG) – O centro de gravidade (ponto G, fig. 2-7) é importante para os cálculos de flutuabilidade e de estabilidade, porque o **peso do navio pode ser** considerado como uma força **nele concentrada**.

Como, em um navio, os pesos são usualmente distribuídos por igual de um lado e do outro do plano diametral, o CG está, em geral, neste plano. Nos navios de **forma usual**, o CG é situado no plano da seção a meia-nau, **ou muito próximo** dele. **A posição vertical do CG varia muito de acordo com o projeto de cada navio.**

Conforme sua definição em mecânica, **o centro de gravidade é o ponto de aplicação da resultante de todos os pesos de bordo**, e a soma dos momentos de todos os pesos em relação a qualquer eixo que passe por ele é igual a zero.

A posição do CG se altera com a distribuição de carga, nos tanques, nos porões, no convés etc.

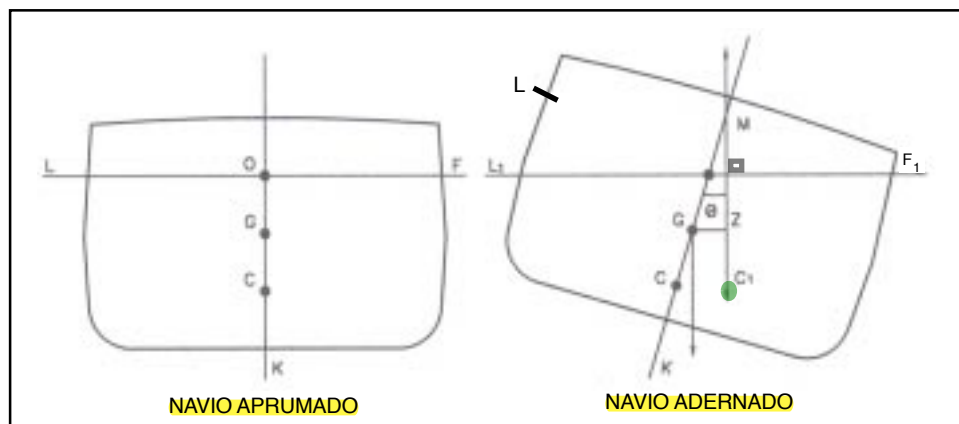


Fig. 2-7 – Centro de gravidade, centro de carena e metacentro transversal

2.22. Centro de carena, de empuxo ou de volume (CC) – É o **centro de gravidade do volume da água deslocada** (ponto C, figs. 2-7 e 2-8) e é o **ponto de aplicação da força chamada empuxo** (art. 2.24). É **contido no plano diametral, se o navio estiver aprumado** (art. 2.80); na direção longitudinal, sua posição depende da forma da carena, não estando muito afastada da seção a meia-nau nos navios de forma usual. Está **sempre abaixo da linha-d'água**.

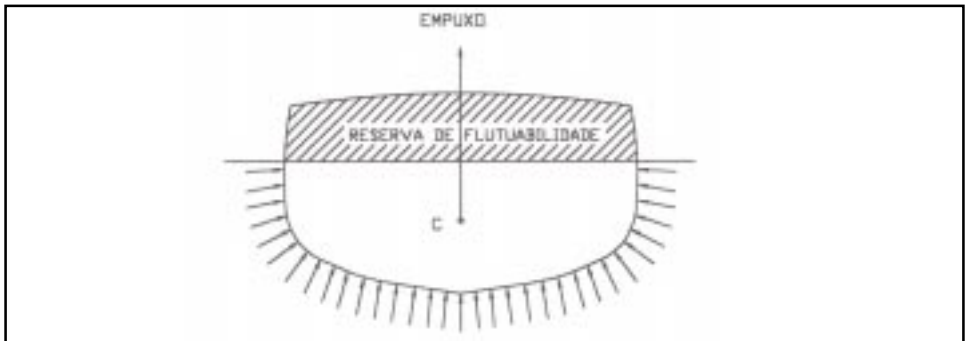


Fig. 2-8 – Empuxo

Nos navios de superfície, o centro da carena **está quase sempre abaixo do centro de gravidade do navio**, pois há pesos que estão colocados acima da linha de flutuação, mas nenhuma parte do volume imerso poderá estar acima desta linha.

A determinação da posição do centro de carena é de grande importância para a distribuição dos pesos a bordo, pois o CG do navio deve estar na vertical do CC e a uma distância para cima não muito grande: sem estes requisitos o navio não ficaria apurado, nem teria o necessário equilíbrio estável.

2.23. Centro de flutuação (CF) – É o centro de gravidade da área de flutuação, para uma determinada flutuação do navio.

2.24. Empuxo (fig. 2-8) – Em cada ponto da superfície imersa de um corpo, há uma **pressão** que **age normalmente à superfície**. Esta pressão cresce com a profundidade do ponto abaixo da superfície da água; ela é medida pelo produto $h \times p$, na **profundidade h** abaixo do nível da água cujo **peso específico é ρ** .

Suponhamos, por exemplo, que há um orifício de $0,10 \text{ m}^2$ em um ponto da carena situado a cinco metros abaixo da superfície do mar; um metro cúbico da água do mar pesa 1.026 quilogramas. A pressão da água neste ponto será igual a 5×1.026 quilogramas por metro quadrado, e um tampão para aguentar o veio d'água naquele orifício deve exercer um esforço de

$$\text{—————} 5 \times 1.026 \times \frac{1}{10} = 513 \text{ quilogramas}$$

No caso de um corpo flutuante como é um navio, estas pressões, sendo normais à superfície imersa, agem em muitas direções; entretanto, cada uma pode ser decomposta em três componentes em ângulo reto:

- (1) horizontal, na direção longitudinal do navio;
- (2) horizontal, na direção transversal do navio;
- (3) vertical.

Estando o navio em repouso, as componentes horizontais equilibram-se entre si, pois não há movimento em qualquer direção horizontal.

Os pesos parciais que compõem um navio têm uma força resultante simples que se chama o peso do navio; esta força é aplicada no centro de gravidade e age

numa vertical para baixo. É o efeito combinado de todas as componentes verticais das pressões que se opõe ao peso do navio.

Chama-se empuxo à força resultante da soma de todas as componentes verticais das pressões exercidas pelo líquido na superfície imersa de um navio.

Portanto, um navio em repouso é submetido à ação de duas forças verticais; o peso do navio, agindo verticalmente para baixo, e o empuxo, agindo verticalmente para cima.

Como o navio não tem movimento para cima nem para baixo, conclui-se que o empuxo é igual ao peso do navio; como ele está em equilíbrio, os pontos de aplicação destas forças, isto é, o CG e o CC, estão situados na mesma vertical.

2.25. Princípio de Arquimedes – “Um corpo total ou parcialmente mergulhado num fluido é submetido à ação de uma força de intensidade igual ao peso do volume do fluido deslocado pelo corpo, de direção vertical, do sentido de baixo para cima, e aplicada no centro de empuxo (CC)”.

Consideremos um navio flutuando livremente e em repouso em águas tranqüilas. Vimos, no item anterior, como se exercem as pressões da água sobre a superfície imersa do casco.

Suponhamos agora que o navio foi retirado da água e deixou uma cavidade, como se pudéssemos por um momento agüentar as pressões da água e mantê-la no mesmo nível (fig. 2-9). Enchemos esta cavidade, que representa o volume do líquido deslocado pelo navio, com água da mesma densidade; esta água será equilibrada pela pressão da que a circunda, exatamente como o foi o casco e como qualquer outra porção da massa líquida; as componentes horizontais das pressões equilibram-se e as componentes verticais sustentam o peso em cada ponto.

Portanto, a força resultante das pressões da água, isto é, o empuxo, opõe-se ao peso do volume líquido deslocado num caso, e no outro ao peso do navio; o empuxo é aplicado no centro da carena.

Fica assim demonstrado o princípio que citamos acima e, ainda mais, que o peso do navio é igual ao peso da água por ele deslocada.

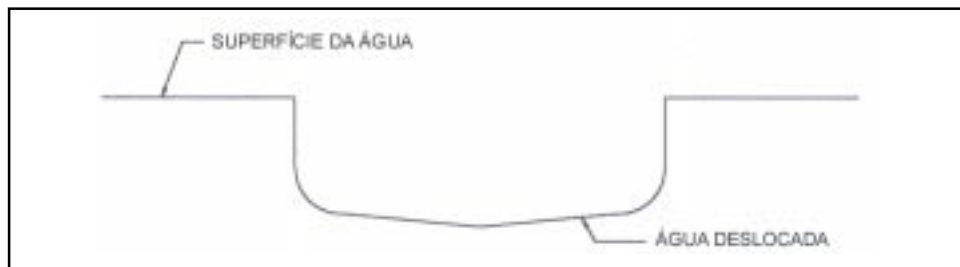


Fig. 2-9 – Água deslocada

2.26. Flutuabilidade – A flutuabilidade, que é a propriedade de um corpo permanecer na superfície da água, depende 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 do corpo, isto é, o seu peso por unidade de volume.

As madeiras leves têm um peso específico menor que o da água; um pedaço de madeira leve flutua sempre. O ferro, por exemplo, tem um peso específico maior que o da água e por isto um pedaço de ferro maciço não pode flutuar. É tornando oco um material que se diminui enormemente o seu peso por unidade de volume e, portanto, aumenta-se a flutuabilidade. É possível assim a construção de navios feitos com materiais mais pesados que a água, como o ferro e o aço.

As leis de flutuabilidade aplicam-se não somente a qualquer navio de superfície, como a um submarino, ou a qualquer objeto totalmente imerso. Quando imerso, um objeto permanece em repouso e na sua posição imersa somente no caso em que o seu peso for igual ao peso do volume deslocado. Mas um objeto totalmente imerso quase sempre pesa mais ou pesa menos que o volume da água que desloca. Nestes casos, a fim de que possa manter-se em equilíbrio e em sua posição de imersão, deverá receber uma força adicional, respectivamente, para cima ou para baixo. Esta força é dada pelos propulsores e pelos lemes horizontais no caso do submarino, ou pelo apoio no fundo do mar, em alguns casos.

2.27. Reserva de flutuabilidade (fig. 2-8) – É o volume da parte do navio acima da superfície da água e que pode ser tornada estanque. Na maioria dos navios, é o volume compreendido entre a flutuação e o convés principal, mas em alguns refere-se também às superestruturas como o castelo e o tombadilho, que podem ser estanques.

A reserva de flutuabilidade exprime-se em percentagem do volume deslocado pelo navio; uma vez que é expressa em percentagem, a reserva de flutuabilidade pode também referir-se ao deslocamento, em vez de referir-se ao volume.

A reserva de flutuabilidade dos navios de guerra de tipo usual varia de 50 a 75 por cento do deslocamento normal. Num submarino em deslocamento normal, a reserva de flutuabilidade é de cerca de 30 por cento.

Para um navio imergir completamente é necessário carregá-lo com o peso correspondente a uma quantidade de água que ocupe um volume igual à reserva de flutuabilidade. Isto significa que a reserva de flutuabilidade é a flutuabilidade em potencial que cada navio possui; a soma do empuxo e da reserva de flutuabilidade é o poder de flutuabilidade total de um navio.

A reserva de flutuabilidade é função da borda-livre, que definiremos a seguir. É importante para os navios em caso de avaria, pois quanto menor for, será o navio menos capaz de suportar um acidente no mar.

2.28. Borda-livre (BL) (fig. 2-6) – É a distância vertical da superfície da água ao pavimento principal (geralmente o convés), medida em qualquer ponto do comprimento do navio no costado.

Nos navios mercantes, a borda-livre mínima é marcada no costado para determinar a reserva de flutuabilidade necessária. A expressão borda-livre, sem outra qualificação, em navio mercante, refere-se à borda-livre mínima, isto é, à medida a meia-nau e a partir da flutuação em plena carga, tal como é definida no art. 14.2.

Os navios de guerra têm sempre a borda-livre muito maior que a exigida para os navios mercantes de iguais dimensões e por isto não é necessária sua marcação. Entretanto, a borda-livre interessa aos cálculos de flutuabilidade e de estabilidade, e nos navios de guerra é medida na proa, a meia-nau e na popa, e refere-se à flutuação normal.

A borda-livre é, em geral, mínima a meia-nau, devido ao tosamento (art. 2.34) que os navios têm.

A borda-livre é chamada algumas vezes de franco-bordo, mas esta expressão está caindo em desuso. Em inglês, chama-se *freeboard*; em francês *franc bord*, e em italiano *bordo libero*.

2.29. Metacentro transversal (M) (fig. 2-7) – Quando um navio está aprumado (art. 2.80), seu plano diametral é vertical e o centro de carena C é contido neste plano. Mas se ele tomar uma inclinação, o centro de carena afasta-se deste plano, pois a forma do volume imerso é modificada. Na fig. 2-7 foi dada uma inclinação transversal ao navio, e a forma do volume imerso que era LOFKL passou a ser L₁ OF₁ KL₁. O centro de carena moveu-se de C para C₁. A linha de ação do empuxo, com o navio inclinado, intercepta a linha de empuxo quando o navio estava aprumado, num ponto M. As diversas posições do centro de carena que correspondem às diferentes inclinações determinam uma curva; o centro de curvatura para uma inclinação infinitamente pequena do navio é chamado metacentro, ou, neste caso, metacentro transversal, e coincide com o ponto M.

Assim, pode-se definir o metacentro como sendo o ponto de encontro da linha vertical passando pelo centro de flutuação quando o navio está na posição direita, com a linha vertical que passa pelo CF quando o navio está inclinado de qualquer ângulo. O metacentro deve estar acima do centro de gravidade para haver equilíbrio estável.

Para um ângulo de inclinação, como o da figura, a posição do metacentro não é a mesma que para uma inclinação infinitesimal. Entretanto, quando o ângulo de inclinação se aproxima de zero, a posição limite do metacentro torna-se um ponto fixo, que é chamado metacentro inicial. Em geral, e a não ser que seja dito o contrário, a palavra metacentro refere-se ao metacentro inicial, pois na prática se considera invariável este ponto para inclinação até 10 graus nos navios de forma usual.

Da figura 2-7 podemos estabelecer as seguintes relações:

GZ → braço de endireitamento

GM → altura metacêntrica (art. 2.33)

α → ângulo de inclinação

ME → momento de endireitamento

W → deslocamento do navio (art. 2.66)

$GZ = GM \sin \alpha$

$ME = W.GZ$

Podemos também concluir da figura que, se M estiver abaixo de G, teremos um momento de emborcamento.

2.30. Metacentro longitudinal (M') (fig. 2-10) – Se dermos uma inclinação longitudinal pequena, como se vê na figura, obteremos um ponto M' chamado metacentro longitudinal, em tudo semelhante ao que foi definido no item anterior.

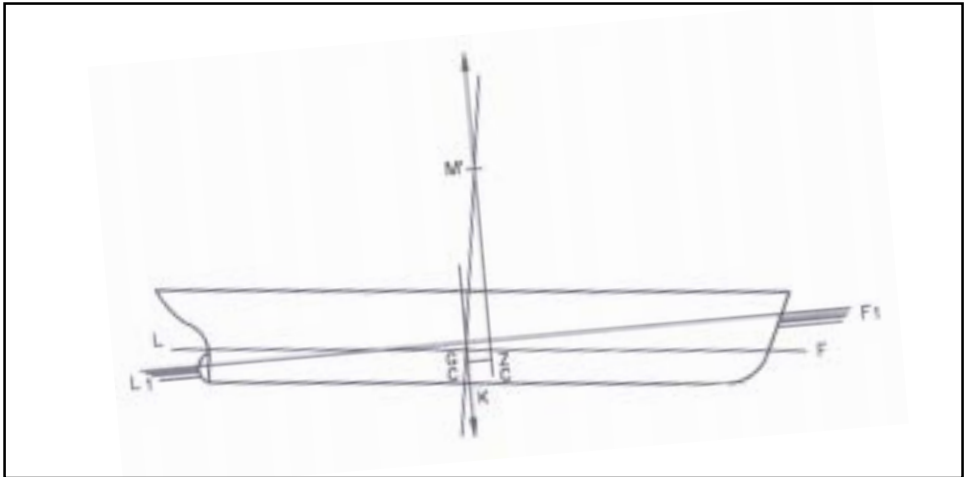


Fig. 2-10 – Metacentro longitudinal

2.31. Raio metacêntrico transversal (fig. 2-7) – É a distância MC entre o metacentro transversal M e o centro da carena C.

2.32. Raio metacêntrico longitudinal (fig. 2-10) – É a distância M'C entre o metacentro longitudinal M' e o centro de carena C.

2.33. Altura metacêntrica (fig. 2-7) – É a distância entre o centro de gravidade G do navio e o metacentro M; mais corretamente, na fig. 2-7, a distância GM refere-se à altura metacêntrica transversal.

2.34. Tosamento, ou tosado (fig. 2-11) – É a curvatura que apresenta a cinta de um navio, quando projetada sobre um plano vertical longitudinal; ele determina a configuração do convés principal e do limite superior do costado. Tosamento é também a medida desta curvatura, isto é, a altura do convés nos extremos do casco, acima do pontal. Podemos ter tosamento AV e tosamento AR.

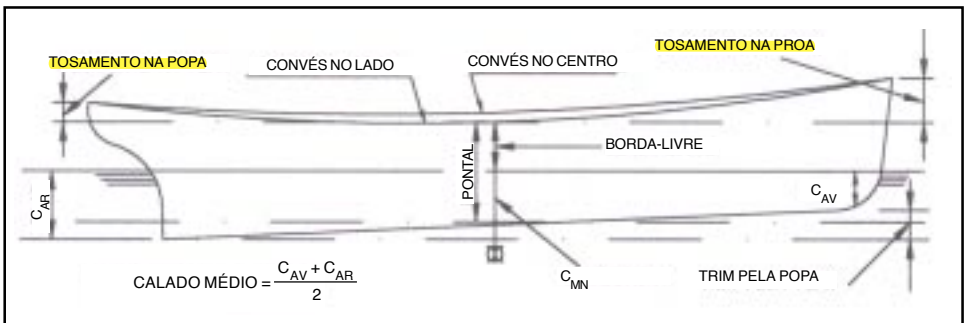


Fig. 2-11 – Tosamento

2.35. Alquebramento – É a curvatura da quilha, quando apresenta a convexidade para cima. Em geral ocorre como uma **deformação permanente** causada por **fraqueza estrutural** ou por **avaria**. O **alquebramento** é o **inverso do tosamento**, o qual também pode ser aumentado pelas mesmas causas de deformação.

2.36. Altura do fundo ou pé de caverna (figs. 2-4 e 2-6) – Altura a que se eleva o fundo do casco, **da quilha ao bojo**, no ponto de encontro entre a tangente ao costado vertical e o prolongamento do fundo do casco; é medida nas linhas moldadas.

2.37. Adelgaçamento (fig. 2-6) – Curvatura ou **inclinação para dentro**, que tem o costado do navio **acima do vau mais comprido**.

2.38. Alargamento – Curvatura ou **inclinação para fora**, do costado do navio; **muito comum na região da proa**. É o contrário de adelgaçamento.

SEÇÃO B – DESENHO DE LINHAS E PLANO DE FORMAS

2.39. Desenho de linhas – Ao projetar um navio, o construtor naval traça o desenho de linhas ou plano de construção (fig. 2-5), que é a representação da forma e dimensões do casco por projeções de certas linhas em três planos ortogonais de referência. O traço do desenho de linhas é ensinado em Arquitetura Naval.

A **superfície do casco** de navio contém curvaturas a **três dimensões**. Se fizermos interceptar esta superfície por planos, as linhas de interceptação serão linhas a duas dimensões, as quais podem ser traçadas em verdadeira grandeza, se projetadas em um dos planos de referência.

2.40. Planos de referência (fig. 2-5) – São os três planos ortogonais em que são projetadas as linhas de interceptação da superfície do casco por uma série de planos paralelos a um deles; são os seguintes os planos de referência do desenho de linhas:

a. Plano da base moldada – É o **plano horizontal tangente à parte inferior da superfície moldada. É a origem para todas as distâncias verticais, que se chamam alturas.**

b. Plano diametral – É o plano **vertical longitudinal de simetria** do casco. É a origem para todas as distâncias transversais horizontais que se chamam afastamentos, ou meias-larguras, ou ainda meias-ordenadas.

c. Plano de meia-nau – É o **plano vertical transversal a meio** comprimento do navio.

2.41. Linhas de referência – As seguintes linhas de referência aparecem no desenho de linhas:

a. Linha da base moldada, linha de construção ou linha base (LB) – É a interseção do plano da base moldada por qualquer dos outros dois planos de referência. Nos navios sem diferença de calado, a linha de base moldada confunde-se com o contorno inferior da interseção da superfície moldada com o plano diametral.

A figura 2-3 mostra uma colocação pouco comum da linha base no projeto do navio em relação à linha-d'água projetada.

b. Linha de centro (LC) – É a interseção do plano diametral por qualquer plano horizontal ou por qualquer plano vertical transversal. É, portanto, uma linha de simetria numa seção horizontal ou numa seção transversal do casco.

c. Perpendiculares – Ver art. 2.47.

2.42. Linhas do navio – As linhas do navio propriamente ditas são:

a. Linhas-d'água (LA) – Interseções do casco por planos horizontais. Elas aparecem em verdadeira grandeza no plano das linhas-d'água (fig. 2-5) e são usualmente denominadas de acordo com sua altura acima do plano da base: LA de 2 pés, de 8 pés etc. **A linha da base moldada é a LA zero.** O espaçamento destas linhas depende do calado do navio.

Note-se que as **linhas-d'água** que aparecem no desenho de **linhas são usadas no projeto** e na construção do navio, mas **em algumas delas o navio evidentemente não pode flutuar.** As linhas em que o navio flutua **chamam-se linhas de flutuação** (art. 2.2), e **muitas vezes não são paralelas às linhas-d'água** do desenho de linhas, devido à distribuição de pesos.

A linha de flutuação correspondente ao calado para o qual o navio é desenhado chama-se **linha-d'água projetada**; em geral os navios são construídos para terem a **quilha paralela à linha-d'água projetada**, ao contrário do que mostra a figura 2-3.

b. Linhas do alto – Interseções do casco por planos verticais longitudinais, ou planos do alto. Elas aparecem em verdadeira grandeza no plano das linhas do alto e são denominadas de acordo com seu afastamento do plano diametral. Há **geralmente quatro destas linhas** espaçadas igualmente, a partir do plano diametral, que determina a linha do zero.

c. Linhas de balizas – Interseções do casco por planos verticais transversais. Elas aparecem em verdadeira grandeza no plano das balizas (fig. 2-5).

Para isto, a linha de base é dividida em **10, 20 ou 40 partes** iguais, conforme o tamanho do navio e a precisão desejada, e por cada divisão é traçada uma ordenada vertical ou baliza. Geralmente nos dois intervalos de vante e nos dois de ré traçam-se também balizas intermediárias.

O plano das balizas mostra o **corpo de proa (metade de vante** do navio) **à direita da LC** e o **corpo de popa (metade de ré** do navio) **à esquerda.**

2.43. Traçado na sala do risco

a. Risco do navio – O desenho de linhas, depois de pronto, é enviado para a sala do risco. Aí ele é riscado sobre o chão, em escala natural, e todas as imperfeições e discordâncias de linhas que aparecem são corrigidas.

b. Tabelas de cotas riscadas – Na sala do risco são levantadas, do risco do navio, as cotas seguintes:

Meia-boca – afastamento do plano diametral.

Alturas – levantadas para as seguintes linhas: linhas-d'água, linhas do alto, convés (altura no centro e altura no lado) e para outras partes como quinas e bolinas.

Estas cotas são organizadas em tabelas que se chamam tabelas de cotas riscadas nas balizas.



c. Linhas corretas das cotas riscadas – Pela tabela de cotas riscadas, é organizado um novo desenho de linhas que substitui o primitivo, desta fase do projeto em diante. Neste desenho pode figurar a tabela de cotas riscadas nas balizas.

2.44. Planos do desenho de linhas (fig. 2-12) – Resumindo o que foi dito anteriormente, podemos dizer que o desenho de linhas é constituído por **três vistas, ou planos**, a saber:

VISTA DO DESENHO DE LINHAS	Plano de referência em que são projetadas	MODO DE REPRESENTAR AS LINHAS DO NAVIO		
		Linhas d'água	Linhas do alto	Linhas de balizas
1 - Plano das linhas-d'água	plano da base	verdadeira grandeza	retas	retas
2 - Plano do perfil	plano diametral	retas	verdadeira grandeza	retas
3 - Plano das balizas	plano de meia-nau	retas	retas	verdadeira grandeza

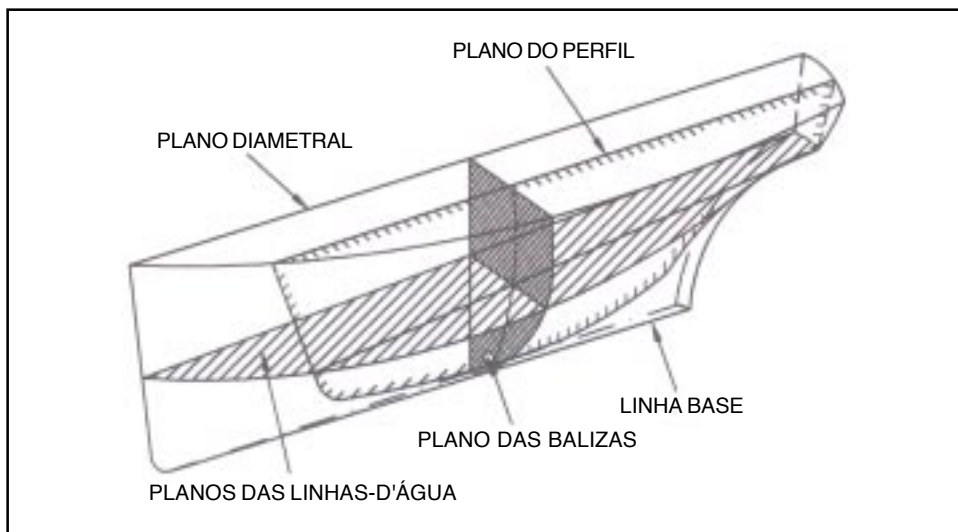


Fig. 2-12 – Planos do desenho de linhas

No desenho de linhas figuram ainda as seguintes linhas: linhas moldadas do convés principal e das superestruturas (castelo e tombadilho) e, algumas vezes, das cobertas; se o convés tem curvatura, são mostradas as linhas convés no centro e convés no lado, isto é, na mediania e na borda, respectivamente.

Para verificar a continuidade da superfície do casco (fig. 2-5), geralmente dois ou mais planos diagonais são passados aproximadamente na perpendicular do plano das balizas e inclinados em relação ao plano das linhas-d'água e ao plano das linhas do alto. Traçam-se então os diversos pontos das interseções das balizas

com estes planos inclinados, nos planos das linhas-d'água e das linhas do alto. A ligação destes pontos por uma curva suave, contínua e coerente com as medidas significará que o casco está corretamente projetado.

2.45. Plano de formas

a. Cavernas moldadas – A linha da base moldada no navio que já havia sido dividida em 10, 20 ou 40 balizas é depois dividida em um número muito maior de cavernas. O espaçamento das cavernas depende de considerações estruturais e é geralmente baseado na experiência de navios semelhantes. Deve-se procurar sempre que possível conservar um espaçamento constante ao longo do navio.

Para facilitar a instalação dos acessórios em geral, como máquinas, beliches etc., a Marinha americana adota os seguintes espaçamentos nominais de caverna:

Navios grandes: 4 pés (1,22m)

Contratorpedeiros: 2 pés (0,61m)

Navios pequenos: 1 pé e 9 pol. (0,53m)

Para os navios construídos no sistema transversal (art. 6.2) haverá uma caverna em cada um destes espaços nominais, mas nos demais sistemas pode haver cavernas somente em cada 2, 3 ou 4 espaços nominais. Contudo, conserva-se nestes sistemas a divisão acima que vai constituir o principal elemento longitudinal do navio.

b. Traçado do plano de formas – O plano de formas (incorretamente, às vezes, chamado de forma) é um desenvolvimento do plano das balizas, mostrando, em vez de balizas, todas as linhas de cavernas moldadas. Ele mostra, além das cavernas moldadas, as linhas moldadas do convés, cobertas, longarinas, bainhas das chapas do casco e apêndices do casco.

Na Marinha americana o plano de formas é traçado na escala de 1 polegada/1 pé (para navios de 400 pés ou menos de comprimento) ou 1/2 polegada/1 pé (navios de mais de 400 pés) em duas partes (corpo de proa e corpo de popa).

SEÇÃO C – DIMENSÕES LINEARES

2.46. Generalidades – As dimensões lineares de um navio não são tomadas de maneira uniforme, variando segundo as diferentes nações, e segundo os navios sejam de guerra ou mercantes, de casco metálico ou de madeira, e ainda conforme o cálculo que se deseja fazer.

2.47. Perpendiculares (PP) – As perpendiculares são **duas retas normais à linha-d'água projetada**, contidas no plano diametral e traçadas em dois pontos especiais, na proa e na popa, no desenho de linhas do navio; são as Perpendiculares a vante (PP-AV) e a ré (PP-AR).

2.48. Perpendicular a vante (PP-AV) – É a vertical tirada no ponto de interseção da linha-d'água projetada com o contorno da roda de proa (figs. 2-5 e 2-13).

2.49. Perpendicular a ré (PP-AR) – É traçada de modo variável conforme o país de construção do navio.

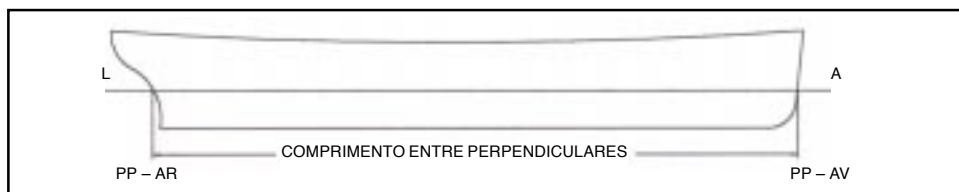


Fig. 2-13 – Comprimento entre perpendiculares

a. Nas Marinhas brasileira e americana, a PP-AR é a vertical tirada no ponto de interseção da linha-d'água projetada com o contorno da popa (figs. 2-5 e 2-13).

b. Nas Marinhas inglesa e italiana: (1) nos navios mercantes em geral, e em qualquer navio que possua um cadaste bem definido, a PP-AR é a vertical traçada no ponto de encontro da linha-d'água projetada com a face externa da porção reta do cadaste (fig. 2-14); (2) nos navios de guerra, e em qualquer embarcação que não tenha o cadaste bem definido, é a vertical traçada no ponto de encontro da linha-d'água projetada com o eixo do leme, e em geral coincide com este eixo.

Nos navios de madeira, as perpendiculares passam pela interseção do plano de flutuação com a projeção, sobre o plano diametral, do vértice do alefrez existente na roda de proa e no cadaste.

2.50. Comprimento entre perpendiculares (CEP) – É a distância entre as perpendiculares a vante e a ré, acima definidas (fig. 2-13). De acordo com estas definições, o comprimento entre PP é o comprimento medido pelo construtor naval, ao projetar o navio e ao traçar o desenho de linhas.



Fig. 2-14 – Comprimento no convés e comprimento de roda a roda

Usualmente, **quando se disser comprimento de um navio**, sem especificar como ele foi medido, deve **entender-se o comprimento entre PP**, pois a ele são referidos os **principais cálculos da embarcação**, como os que se referem a **propulsão, peso, resistência e custo da estrutura** do navio.

É necessário, entretanto, ao comparar navios de nações e de tipos diferentes, que se tenha o cuidado de verificar que os comprimentos sejam medidos na mesma base.

Na **Marinha brasileira**, o comprimento entre **PP** é, na **verdade**, o **comprimento da linha-d'água de projeto**, determinado pelo contorno do navio no desenho de linhas; ele inclui o balanço de popa e mede o comprimento da carena do navio.

Na Marinha inglesa, o comprimento entre PP não inclui o balanço de popa e a medida que adotamos é chamada de comprimento na flutuação, ou comprimento na linha-d'água.

2.51. Comprimento de registro – Corresponde ao maior dos seguintes valores: (a) **96% do comprimento medido** na flutuação igual a 85% do pontal entre a face externa da roda de proa e o extremo de ré do contorno de popa; e (b) o comprimento medido entre a face externa da roda de proa e o eixo do leme, na mesma linha-d'água acima.

Esta medida interessa particularmente aos navios mercantes, e é estabelecida nas regras das principais Sociedades Classificadoras, tais como o Lloyd's Register e o American Bureau of Shipping. É utilizada para os objetivos de classificação para os cálculos da borda-livre (art. 14.2) e para a determinação do deslocamento e velocidade dos navios mercantes, e é muitas vezes chamada “comprimento entre perpendiculares, para classificação”.

2.52. Comprimento no convés (fig. 2-14) – É a distância entre as **interseções do convés principal** com a **face de vante** da **roda de proa** e com a **face de ré do cadaste**, ou com o **eixo do leme**, se o navio não tiver cadaste bem definido.

Se a roda de proa é curva, como é o casco dos navios veleiros, o ponto de referência a vante é a interseção do prolongamento da parte reta do talhamar com o referido convés.

Este comprimento é algumas vezes chamado “comprimento entre perpendiculares”, mas preferimos não confundi-lo com o comprimento entre perpendiculares que já definimos e que é muito mais empregado.

Ele é utilizado para a comparação de navios mercantes e é usualmente referido pelo armador ou construtor naval ao contratar um navio novo.

2.53. Comprimento de arqueação – É medido no plano diametral, na face superior do convés de arqueação, entre a superfície interna do forro interior na proa e a superfície interna do forro interior na popa, descontando-se a parte que corresponde à inclinação da roda de proa e do cadaste na espessura do pavimento. É utilizado para os cálculos de arqueação dos navios mercantes.

2.54. Comprimento de roda a roda (fig. 2-14) e comprimento total – É a distância medida, paralelamente à linha-d'água projetada, entre os pontos **mais salientes da roda de proa e do cadaste**, nas partes imersas ou emersas; o **gurupés, se existe, ou o leme**, se eventualmente **se estende para ré da popa**, ou peças semelhantes, **não são geralmente considerados**.

Algumas vezes este comprimento toma uma significação particular, e refere-se ao comprimento máximo do navio, ou às dimensões necessárias para o conter num cais ou num dique seco e deve então **incluir as peças da estrutura acima referidas**. A esta última medida chamaremos o **comprimento total**.

2.55. Comprimento alagável – É o comprimento máximo de um compartimento, o qual, se ficar alagado, deixará o navio permanecer ainda flutuando com o

convés no nível da água. É utilizado pelas Sociedades Classificadoras, para as regras de espaçamento das anteparas transversais estanques dos navios mercantes.

Por essa regra é admitida uma reserva de segurança que é determinada pelo fator admissível, o qual varia com o comprimento do navio. Assim, um **navio de 170 metros de comprimento tem um fator admissível de 0,5**, isto é, o comprimento admitido para cada compartimento estanque é somente a metade do comprimento alagável. Em tal navio **haverá dois compartimentos estanques, no mínimo, em um comprimento alagável.**

2.56. Boca – É a largura da seção transversal a que se referir; a palavra boca, sem referência à seção em que foi tomada, significa a **maior largura do casco**. Meia-boca é a metade da boca.

2.57. Boca moldada (figs. 2-4 e 2-15) – É a maior largura do casco medida entre as faces exteriores da carena, **excluindo a espessura do forro exterior**, ou seja, é a maior largura do casco **medida entre as superfícies moldadas.**

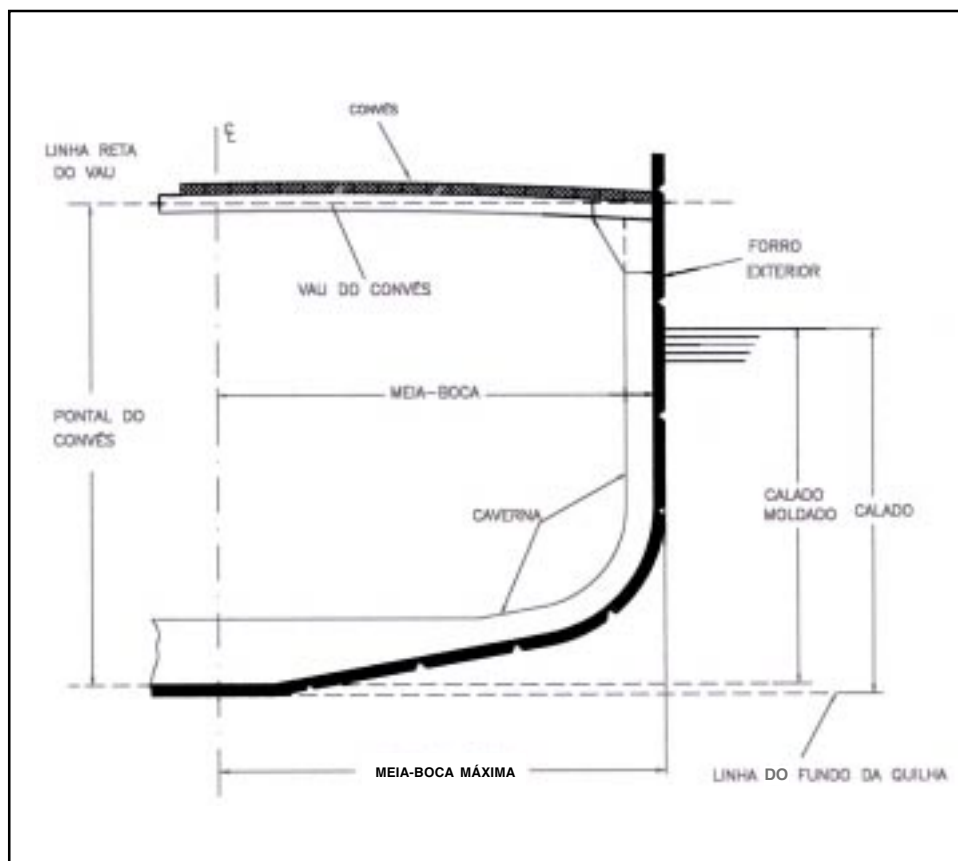


Fig. 2-15 – Boca, calado, pontal

2.58. Boca máxima – É a maior largura do casco medida entre as superfícies externas do forro exterior, da couraça ou do verdugo. Nos navios de forro exterior em trincado (art. 6.17), para os cálculos da superfície da carena e do deslocamento, a boca máxima é medida a partir da superfície que passa a meio do forro exterior.

2.59. Pontal (figs. 2-11 e 2-15) – Pontal moldado, ou simplesmente pontal é a distância vertical medida sobre o plano diametral e a meia-nau, entre a linha reta do vau do convés principal e a linha da base moldada.

O pontal pode ainda ser referido a outro pavimento, mas neste caso toma o nome de acordo com o local medido: pontal da primeira coberta, pontal da segunda coberta etc.

2.60. Calado (figs. 2-3 e 2-15) – Calado d'água, calado na quilha, ou simplesmente calado, em qualquer ponto que se tome, é a distância vertical entre a superfície da água e a parte mais baixa do navio naquele ponto.

Geralmente medem-se o calado AV e o calado AR. Na figura 2-3 estes calados são referidos, respectivamente, às perpendiculares AV e AR; na prática são medidos nas escalas do calado, que são colocadas próximo das respectivas perpendiculares.

O calado de um navio varia desde o calado mínimo, que corresponde à condição de deslocamento leve, e o calado máximo, que corresponde à condição de deslocamento em plena carga; calado normal é o que o navio tem quando está em seu deslocamento normal (art. 2.70).

Em cada flutuação podemos ter o calado AV, AR ou a MN. Calado a meia-nau é o medido na seção a meia-nau, isto é, a meio comprimento entre perpendiculares; ele nem sempre corresponde ao calado médio, que é a média aritmética dos calados medidos sobre as perpendiculares AV e AR.

O calado a que se referem os dados característicos de um navio de guerra é o calado normal. A bordo, para os cálculos de manobra de pesos e determinação do deslocamento, mede-se o calado médio; para entrada em diques e passagem em águas de pouco fundo mede-se o maior dos calados na flutuação atual, que é geralmente o calado AR.

Quando não há diferença nos calados AV e AR, isto é, o navio está com a quilha paralela ao plano de flutuação, diz-se que está em quilha paralela. Quando há diferença nos calados, diz-se que o navio tem trim (art. 2.80). Os navios são construídos, na maioria das vezes, para terem quilha paralela na flutuação correspondente à linha-d'água projetada.

2.61. Calado moldado (fig. 2-15) – No desenho de linhas, e algumas vezes nas curvas hidrostáticas do navio (art. 2.82), o calado é referido à linha da base moldada.

O calado referido à linha da base moldada chama-se calado moldado, ou, algumas vezes, calado para o deslocamento, pois é utilizado para cálculo dos deslocamentos. Esta medida interessa particularmente ao construtor naval, ou a quem consulta as curvas hidrostáticas do navio.

Em geral, nos navios modernos de quilha chata, a diferença entre o calado moldado e o calado na quilha é muito pequena (fig. 2-6). Nas embarcações de quilha maciça, entretanto, esta diferença não é desprezível.

2.62. Escala de calado (fig. 2-16) – Em todos os navios, a boreste e a bombordo, a vante e a ré, e algumas vezes a meia-nau, são escritas nos costados as escalas numéricas para a leitura dos calados.

Em geral, as escalas não são escritas no navio exatamente no lugar das perpendiculares, mas nos **pontos em que a quilha encontra os contornos da roda de proa e do cadaste.**

O **zero de todas as escalas é referido à linha do fundo da quilha** (fig. 2-15), ou à linha que passa pelos pontos mais baixos do casco (leme, pé do cadaste, pá do hélice etc.), sendo esta linha prolongada horizontalmente até sua interseção com as partes inferiores de cada perpendicular nas extremidades do navio.

A graduação das escalas pode ser em decímetros, com algarismos da altura de um decímetro (às vezes em navios pequenos, 1/2 decímetro) ou em pés ingleses, com algarismos da altura de um pé (nos navios pequenos, 1/2 pé, isto é, seis polegadas).

Com os algarismos de altura de um decímetro ou de um pé, são escritos na escala somente os números pares de decímetros ou de pés, e o intervalo entre os números é igual, respectivamente, a um decímetro ou a um pé. Cada número indica sempre o calado que se tem quando a superfície da água está rasando o seu limbo inferior; por conseqüência, quando o nível da água estiver no limbo superior de um número, deve-se acrescentar uma unidade, e as frações da unidade serão estimadas a olho. Por exemplo, na figura 2-16, quando a superfície da água estiver rasando o **limbo inferior do número 56**, o calado será **5,60 metros**, e quando estiver na altura do **limbo superior do número 58**, o calado será **5,90 metros**.

Se os algarismos tiverem a altura de meio decímetro (cinco centímetros) ou meio pé (seis polegadas), escrever-se-ão todos os números inteiros de decímetros ou de pés. Neste caso, se o nível da água estiver rasando o limbo superior de um número, será necessário acrescentar apenas meio decímetro ou meio pé para ler o calado.

Em todos os países, de modo geral, as escalas são escritas em algarismos arábicos; entretanto, muitos navios adotam a **escala em decímetros escrita em algarismos arábicos em um dos bordos (BE)**, e a escala em **pés escrita em algarismos romanos no outro bordo.**

A altura dos algarismos, a que nos referimos acima, é a de sua projeção num plano vertical, a qual nem sempre coincide com a altura do algarismo inscrito no costado, por ser este muitas vezes côncavo nas extremidades do casco. Os alga-

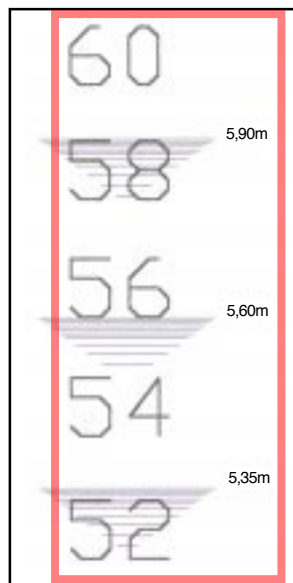


Fig. 2-16 – Escala de calado

rismos são entalhados na superfície das chapas ou fundidos em metal, sendo neste caso presos ao costado por meio de parafusos; eles são pintados de cor branca ou preta conforme a pintura do casco seja escura ou clara, para melhor visibilidade.

Nos navios que adotam o sistema inglês de medidas, algumas vezes são marcados nas escalas somente os algarismos que indicam a unidade de pés; assim, os calados de seis pés, 16 pés e 26 pés serão sempre representados pelo algarismo 6; para o pessoal de bordo será muito fácil determinar qual o algarismo das dezenas pela simples inspeção do navio.

2.63. Coeficientes de forma ou coeficientes de carena – Estes coeficientes, que exprimem a relação entre as diversas áreas e volumes da carena e as áreas e volumes das figuras planas ou sólidas circunscritas, têm grande utilidade para o projeto do navio, pois eles definem a finura do casco e de suas seções.

Consideremos para uma dada flutuação:

A = área da parte imersa da seção mestra

A_F = área do plano de flutuação na linha-d'água projetada

L = comprimento entre PP

B = boca máxima da parte imersa

C = calado médio

Os coeficientes de forma serão:

a. Coeficiente de bloco C_B (fig. 2-17a) – É a relação entre o volume deslocado V e o volume do **paralelepípedo** que tem para arestas respectivamente L, B e C:

$$C_B = \frac{V}{L.B.C}$$

b. Coeficiente prismático C_P, coeficiente cilíndrico ou coeficiente longitudinal (fig. 2-17b) – É a relação entre o **volume deslocado** e o volume de um sólido que tenha um comprimento igual ao **comprimento** do navio na flutuação e uma **seção transversal igual à da parte imersa da seção mestra**:

$$C_P = \frac{V}{A.L}$$

Este coeficiente representa a distribuição longitudinal do deslocamento do navio, e é utilizado principalmente para os cálculos de potência e velocidade.

c. Coeficiente da seção a meia-nau ou seção mestra C_{SM} (fig. 2-17a) – É a relação entre a área da parte imersa da seção a meia-nau e a área do retângulo **circunscrito**:

$$C_{SM} = \frac{A}{B.C}$$

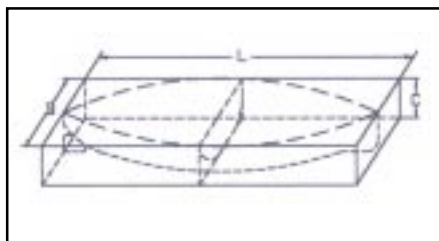


Fig. 2-17a – Determinação do coeficiente de bloco

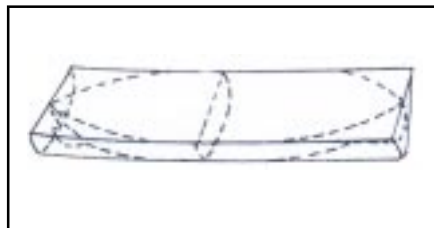


Fig. 2-17b – Determinação do coeficiente longitudinal

d. Coeficiente da área de flutuação C_{WL} (fig. 2-17a) – É a relação entre a área de flutuação e a do retângulo que a circunscrive:

$$C_{WL} = \frac{A_F}{L.B}$$

Este coeficiente refere-se sempre à linha-d'água projetada, a menos que se diga o contrário.

2.64. Relações entre as dimensões principais e outras relações – Além dos coeficientes de forma, as relações entre as diversas dimensões de um navio têm importância no estudo dos planos, pois exprimem numericamente as proporções da forma da carena.

Estas relações devem estar compreendidas entre determinados limites, os quais indicam as boas proporções do casco; para os navios mercantes estes limites são estabelecidos nas regras das Sociedades Classificadoras. São as seguintes as relações mais empregadas:

a. Relação entre o comprimento entre PP e a boca = L/B ; varia aproximadamente de 4 a 10.

b. Relação entre o comprimento entre PP e o calado = L/C ; varia aproximadamente de 10 a 30.

c. Relação entre a boca e o calado = B/C ; varia aproximadamente de 1,8 a 4.

Além desta, são muitas vezes empregadas nos cálculos outras expressões numéricas, como, por exemplo, as relações dos diversos coeficientes entre si.

2.65. Tabela dos coeficientes de forma da carena – Os coeficientes de forma não variam muito para os navios do mesmo tipo; são os seguintes seus valores médios aproximados, que podem ser considerados como valores típicos:

NAVIO	Coef. de bloco	Coef. da seção a M. N.	Coef. prismático	Coef. da área de flutuação
Encouraçado	0,60	0,97	0,62	0,73
Cruzador pesado	0,60	0,97	0,62	0,69
Cruzador de 10.000 tons	0,53	0,85	0,62	0,72
Cruzadores menores	0,56	0,83	0,67	0,74
Contratorpedeiros	0,52	0,83	0,63	0,74
Rebocadores de porto	0,59	0,89	0,65	0,80
Navios de passageiros	0,67	0,99	0,72	0,77
Navios de cabotagem, mistos	0,64	0,97	0,66	0,77
Cargueiros grandes	0,78	0,99	0,78	0,84
Cargueiros médios	0,71	0,98	0,72	0,80
Navios-tanques	0,76	0,97	0,77	0,84
lates a motor para alto-mar	0,57	0,94	0,60	0,72
lates a vela	0,20	0,40	0,50	0,75

SEÇÃO D – DESLOCAMENTO E TONELAGEM

2.66. Deslocamento (W) ou (D) – É o **peso da água deslocada por um navio flutuando** em águas tranqüilas. De acordo com o Princípio de Arquimedes, o deslocamento é igual ao peso do navio e tudo o que ele contém na condição atual de flutuação:

$W = \text{peso do navio} = \text{peso da água deslocada} = \text{volume imerso} \times \text{peso específico da água}$.

O deslocamento é expresso em toneladas de mil quilogramas nos países de sistema métrico decimal e em toneladas longas (2.240 libras ou 1.016 quilogramas) nos países que adotam o sistema inglês de medidas.

Os navios são desenhados para terem um deslocamento previamente determinado, que no caso dos navios de guerra é o deslocamento correspondente à condição normal de flutuação. **Isto não quer dizer que, ao terminar a construção, ele flutue exatamente na linha-d'água projetada, quando estiver na condição normal.** Os pesos do casco e dos acessórios podem variar no curso da construção, tornando-se maiores ou menores que os estimados pelo construtor ao desenhar o navio. Muitas vezes navios da **mesma classe**, construídos em **estaleiros diferentes**, com os **mesmos desenhos** e especificações, **diferem um pouco nos calados** correspondentes às diversas condições de deslocamento.

Nos navios mercantes o deslocamento se refere, em geral, à condição de plena carga.

2.67. Cálculo do deslocamento – O deslocamento de um navio de aço, para cada linha de flutuação, é calculado, durante a construção, pela soma das seguintes parcelas: **deslocamento moldado**, deslocamento do **forro exterior** e deslocamento **dos apêndices**.

Deslocamento moldado é o peso da água deslocada pelo volume compreendido entre a superfície moldada da carena e um plano de flutuação.

O forro exterior é constituído pelo chapeamento exterior (art. 1.55a); os apêndices compreendem a parte saliente da quilha, as bolinas, o leme, os hélices, os pés-de-galinha dos eixos etc.

O deslocamento de um navio de madeira é calculado pela soma do deslocamento do casco referido ao forro exterior mais o deslocamento dos apêndices.

O cálculo do deslocamento interessa a todos os navios, mas particularmente aos navios de guerra, os quais são comparados sempre pelo peso de água que deslocam. Sendo a soma de todos os pesos parciais de bordo, o deslocamento é variável, pois depende da carga transportada e dos pesos dos materiais de consumo, tais como água doce, mantimentos, combustível, lubrificante, munição etc.

De todos os valores que o deslocamento pode ter, consideram-se, em geral, os seguintes, que serão definidos a seguir: deslocamento em **plena carga**, deslocamento **normal**, deslocamento **leve** e deslocamento **padrão**.

Há uma **tendência dos navios para aumentar de deslocamento à proporção que envelhecem, devido ao peso das tintas, dos novos aparelhos e acessórios colocados etc.**

2.68. Fórmulas representativas do deslocamento

a. Sistema métrico:

Deslocamento em **água salgada** = $1.026 \times \text{volume imerso}$ na água salgada em m³.

Deslocamento em **água doce** = volume imerso na água doce, em m³.

b. Sistema inglês:

Deslocamento em água salgada = volume imerso na água salgada em pés cúbicos
35

Deslocamento em água doce = volume imerso na água doce em pés cúbicos
36

Sabe-se que 35 pés cúbicos de água salgada ou 36 pés cúbicos de água doce pesam uma tonelada longa.

2.69. Deslocamento em plena carga, deslocamento carregado ou deslocamento máximo – É o **peso de um navio** quando está com o **máximo de carga permitida a bordo**. Corresponde ao navio completo, pronto para o serviço sob todos os aspectos, com água no nível superior das caldeiras, todas as máquinas e sobressalentes, toda a tripulação e seus pertences a bordo. Paiois de munição e projéteis, de mantimentos, tanques de água de alimentação de reserva e de água potável, tanques de óleo combustível e lubrificantes, todos atestados. Porões de carga cheios e passageiros com suas bagagens a bordo, se o navio é mercante. Nenhuma água nos tanques de lastro ou nos duplos-fundos, exceto a água de alimentação de reserva das caldeiras.

2.70. Deslocamento normal – É o **peso do navio completo**, pronto para o serviço sob todos os aspectos, com água no nível superior das caldeiras, com todas as máquinas e sobressalentes, tripulação e seus pertences, a bordo. Uma carga normal (**geralmente 2/3 da carga total**) de combustível, munição, água potável e de alimentação de reserva, mantimentos etc. a bordo. Nenhuma água nos tanques de lastro ou duplos-fundos, exceto a água de alimentação de reserva.

Quando se fala em deslocamento dos navios de guerra, deve ser entendido o deslocamento normal, a menos que se diga o contrário. Nos navios mercantes não se cogita do deslocamento normal; consideram-se principalmente o deslocamento em plena carga e o deslocamento leve.

2.71. Deslocamento leve ou deslocamento mínimo – É o peso do navio completo, pronto para o serviço sob todos os aspectos, mas **sem munição, mantimentos, combustível, água potável**, nem **água de alimentação de reserva**. Tripulantes e **passageiros** não são incluídos. Nenhuma **água nos tanques de lastro e duplos-fundos**.

O deslocamento leve corresponde a uma **condição que a rigor nunca existe**, pois há sempre pessoas, água e algum combustível a bordo.

2.72. Deslocamento padrão – É o deslocamento do navio completo, com toda a tripulação, com todas as máquinas, pronto para sair ao mar, incluindo todo o armamento e munição, sobressalentes, mantimentos e água potável para a tripulação,

todos os diferentes paíóis atestados, e com tudo o que for necessário transportar na guerra, mas **sem nenhum combustível ou água de alimentação** de reserva.

É **utilizado unicamente** para a **comparação dos navios de guerra** relativamente ao valor militar.

2.73. Resumo das condições de deslocamento – Na tabela a seguir apresentamos um resumo das condições típicas de deslocamento definidas nos artigos anteriores.

CONDIÇÕES TÍPICAS DE DESLOCAMENTO

ITENS	Leve	Normal (1)	Plena carga	Padrão (2)
Casco completo	sim	sim	sim	sim
Acessórios do casco	sim	sim	sim	sim
Proteção (couraça)	sim	sim	sim	sim
Máquinas e caldeiras	sim vazios	sim a nível	sim a nível	sim a nível
Armamento	sim	sim	sim	sim
Munições	não	2/3	sim	sim
Equipamento de convés	sim	sim	sim	sim
Mantimentos e material sobressalente	não	2/3	sim	sim
Tripulação	não	sim	sim	sim
Água de alimentação de reserva	não	2/3	sim	não
Combustível	não	2/3	sim	não
Percentagem aproximada de peso	80%	100%	115%	85%

(1) Todos os dados de um navio de guerra referem-se a sua condição "normal" de deslocamento, salvo indicação em contrário.

(2) A condição "padrão" é a única reconhecida internacionalmente e foi estabelecida pelo tratado de Washington, em 1922.

2.74. Expoente de carga, ou peso morto (gross deadweight, total deadweight, deadweight)¹ – É a **diferença** entre o **deslocamento máximo**² e o **deslocamento mínimo**. É, portanto, o peso da munição, combustível, água de alimentação de reserva das caldeiras, água potável para beber e para cozinhas, água para banho e fins sanitários, mantimentos, material de consumo, tripulação e seus pertences etc., e mais o peso de toda a carga dos porões, passageiros, seus

1 – Citamos as expressões usadas nos países de língua inglesa, porque em muitos de nossos navios os planos e livros dos navios são referidos a esses termos. Expoente de carga em Portugal chama-se porte.

2 – Por vezes podemos considerar o expoente de carga para um determinado calado, e nesse caso ele será a diferença entre um determinado deslocamento e o deslocamento mínimo, conforme explanado no art. 2-83.

pertences e bagagens, se o navio é mercante. Representa, assim, o peso que o navio é capaz de embarcar, ou, ainda, exprime o **líquido deslocado na passagem da condição** de navio leve a plena carga.

O expoente de **carga não exprime o peso da carga paga** de um navio mercante, o qual é apenas uma parte dele e é constituído pelo peso da carga dos porões, malas do correio, carga no convés, e pelos passageiros, seus pertences e bagagens.

2.75. Porte útil, peso morto líquido, ou carga paga (*cargo deadweight, net deadweight*) – O peso da **carga paga** que um navio pode transportar **não é um dado fixo**, dependendo da duração da viagem. O expoente de carga é constituído pela soma do peso de combustível, aguada, tripulação, materiais de consumo diversos etc., mais o peso da carga paga. Ora, numa **viagem pequena** há necessidade de **menor peso de combustível, aguada** etc. **que numa viagem longa**, permitindo o transporte de um **maior peso de carga paga**.

Para uma viagem determinada é possível ao armador ou ao comandante do navio estimar o peso de combustível, aguada e material de consumo necessário; deduzindo estes pesos do expoente de carga poderá ele calcular o peso de carga paga disponível para aquela viagem, no qual se incluem passageiros e bagagens.

2.76. Arqueação Bruta (AB) – É um valor adimensional, **proporcional ao volume dos espaços fechados** do navio. Até a entrada em vigor da Convenção Internacional para Medidas de Tonelagem de Navios, este valor, chamado "tonelagem de arqueação" ou, simplesmente, "tonelagem", era expresso em unidades de 100 pés cúbicos ingleses, ou seja, 2,83 metros cúbicos. A unidade era convencional, baseada no processo Moorson para medida de capacidade de um navio, em que a "tonelada" era arbitrariamente convencionalizada como tendo 100 pés cúbicos ingleses; esta unidade era chamada de tonelada de arqueação.

Os navios mercantes e, em alguns casos, os navios de guerra, têm que pagar certos impostos alfandegários, atracação, taxa de navegação em canais, docagem, praticagem etc. Estes impostos são geralmente calculados em proporção ao valor comercial do navio, isto é, à sua **capacidade de transporte**, representada pelo volume de todos os espaços fechados suscetíveis de poderem servir de alojamento a **mercadorias e passageiros**.

A arqueação é usada para a **comparação dos navios mercantes**.

Para a comparação da capacidade de transporte é usada a arqueação líquida do navio. A arqueação líquida (AL) de um navio é função do volume e dos espaços fechados destinados ao transporte de carga, do número de passageiros, do local onde serão transportados, da relação calado/pontal e da arqueação bruta.

Na maioria dos países, a arqueação que estiver no certificado concedido pelo país da bandeira do navio é aceita como base para os cálculos das diferentes taxas.

Evidentemente os armadores desejam ter seus navios construídos de modo que, com os processos atuais de medida, a arqueação bruta e a arqueação líquida sejam tão pequenas quanto permitam as necessidades do serviço pretendido e as regras das Sociedades Classificadoras. Daí o grande número de tipos de casco dos navios mercantes.

Há ainda a tonelagem de equipamento ou numeral do equipamento, calculada por dimensões determinadas nas regras das Sociedades Classificadoras. A tonelagem de equipamento é usada para determinar o peso das âncoras e o diâmetro das amarras e espias dos navios mercantes.

2.77. Cálculo da arqueação – O cálculo da arqueação de um navio mercante obedece a regras especiais que não nos compete citar aqui; por estas regras o navio é dividido em partes, tomando-se as medidas e calculando-se os volumes internos em cada uma delas:

a. Volume dos espaços fechados abaixo do convés – É o volume interno abaixo do convés principal.

b. Volume dos espaços fechados acima do convés principal – Inclui o volume de todos os espaços fechados acima do convés principal; estes espaços são constituídos principalmente pelo castelo de proa, superestruturas, tombadilho e espaços entre os conveses principal e superiores.

As partes de um navio que não estão incluídas nos cálculos da arqueação bruta são chamadas de espaços isentos ou excluídos.

2.78. Sistema Moorsom, regras do Canal do Panamá, do Canal de Suez e do Rio Danúbio – Até o ano de 1849 havia diversas regras para calcular a tonelagem dos navios mercantes e estas regras consistiam em dividir o produto do comprimento, boca e pontal medidos em pés, por um número que variava de 94 a 100. Para unificar estas regras o governo inglês nomeou naquele ano uma comissão da qual era secretário o Sr. George Moorsom. Esta comissão estabeleceu um regulamento que tomou o nome de “Sistema Moorsom”, o qual, se bem que já bastante modificado atualmente, serve de base a todas as leis e regulamentos de tonelagem das principais nações marítimas.

O Sistema Moorsom estabelece regras pelas quais é possível medir, com suficiente precisão, a capacidade interna total e a capacidade interna utilizável para o transporte de carga e passageiros. A tonelagem é igual ao volume em pés cúbicos ingleses dividido por cem. O divisor cem foi escolhido por facilitar os cálculos e por modificar muito pouco as regras então existentes.

O Sistema Moorsom é universalmente adotado, mas difere ligeiramente nos regulamentos de um país para outro, pelo modo como são interpretados, para os diversos tipos de navios, os espaços isentos e deduzidos.

Para a navegação em canais, rios e lagos interiores há ainda diferentes regras para o cálculo da tonelagem, sendo as principais aquelas que se referem ao Canal do Panamá, ao Canal de Suez e ao Rio Danúbio. Estas regras seguem os princípios gerais estabelecidos no Sistema Moorsom, diferindo deste principalmente quanto aos espaços isentos e deduzidos. Não cabem neste livro maiores explicações acerca do Sistema Moorsom e dos outros regulamentos de tonelagem; para conhecimento dos mesmos devem ser consultadas obras especializadas.

2.79. Relação entre o expoente de carga e a capacidade cúbica – Os navios mercantes são geralmente comparados pelo *expoente de carga (deadweight)*; Mas sob o ponto de vista comercial, tanto o expoente de carga como a capacidade

cúbica são fatores importantes, pois ambos definem a praça do navio, isto é, a capacidade de transporte de mercadorias.

Capacidade cúbica ou **cubagem** é o volume dos **espaços cobertos utilizáveis para a carga**. Exprime-se, geralmente, em metros cúbicos ou em pés cúbicos; nos petroleiros, pode ser expresso por barris (1 barril = 158,984 litros = 42 galões americanos = 34,97 galões ingleses). Nos cargueiros, os planos de bordo indicam a cubagem de cada coberta e de cada porão para a carga a granel e para a carga em fardos. A cubagem para carga a granel representa o espaço interno total do compartimento, deduzido o volume ocupado pelos vaus, cavernas, pés-de-carneiro, tubulações e obstruções semelhantes. A cubagem para fardos é medida entre o fundo do porão e a aresta inferior dos vaus, e lateralmente entre as sarretas (que cobrem internamente as cavernas), deduzindo-se pés-de-carneiro, tubulações etc.

Deve haver certa relação entre o expoente de carga e a capacidade cúbica. Se não fosse isto, teríamos comumente um navio com os porões cheios de mercadorias sem ter recebido a bordo todo o peso que o seu calado máximo permitisse; ou, ao contrário, se a capacidade cúbica fosse muito grande, o navio poderia ficar carregado até o calado máximo e ainda ter muito espaço desocupado. Evidentemente, isto depende da qualidade de carga que o navio transporta, isto é, do volume por unidade de peso da carga; um navio dedicado ao transporte de minério de ferro carrega muito mais peso que um navio de mesmas dimensões de porão transportando trigo, por exemplo.

2.80. Trim e banda; compassar e aprumar – Trim é a inclinação para uma das extremidades; o navio **está de proa, abicado, ou tem trim pela proa**, quando estiver inclinado para vante. Estará **apopado, derrabado, ou terá trim pela popa**, quando estiver inclinado para ré.

Trim é também a medida da inclinação, isto é, a **diferença entre os calados AV e AR**; é **expresso em metros** ou em pés ingleses, dependendo da medida empregada no calado do navio.

Banda ou adernamento é a inclinação para um dos bordos; o navio pode estar adernado, ou ter banda para boreste ou para bombordo; a **banda é medida em graus**.

Compassar ou fazer o compasso de um navio é **tirar o trim**, isto é, trazê-lo à posição de flutuação direita quando estiver inclinado no sentido longitudinal. Quando um navio não tem trim, diz-se que está compassado, ou que **está em quilha paralela**, ou em **águas parelhas**.

Aprumar, ou **trazer a prumo um navio**, é **tirar a banda**, isto é, trazê-lo à posição de flutuação direita quando estiver inclinado no sentido transversal. Quando um navio não tem banda, diz-se que está **aprumado**.

Quando um navio **não tem banda nem trim**, diz-se que está em **flutuação direita**.

Quando um navio tem trim, é **preferível** que esteja **apopado**; um navio **abicado é mais propenso a embarcar água pela proa, dispara os propulsores, e também é mais difícil de governar**.

2.81. Lastro; lastrar – Lastrar ou fazer o lastro de um navio é **colocar um certo peso no fundo** do casco para aumentar a estabilidade ou para trazê-lo à posição de flutuação direita, melhorando as condições de navegabilidade.

Lastro é o peso com que se lastra um navio. É comum os navios, e particularmente os petroleiros e minerais, saírem leves de um porto, isto é, sem carga. Neste caso, em que se coloca bastante lastro a fim de torná-lo mais pesado, o seu expoente de carga consta quase que exclusivamente de lastro; diz-se então que o navio está em lastro.

O lastro pode ser **temporário** ou **permanente**; o lastro **permanente é constituído por areia, concreto, sucata de ferro** ou por **linguados de ferro** fundido ou **chumbo**; é usualmente empregado para corrigir a má distribuição de pesos na estrutura devido a erro de construção ou à modificação na espécie do serviço para o qual o navio foi construído.

O **lastro temporário é sempre líquido** e é **geralmente** constituído pela **água salgada**, que é admitida ou descarregada por meio de bombas em tanques chamados tanques de lastro.

Geralmente os navios têm um ou mais tanques de lastro AV e AR, para corrigir o trim. Lateralmente alguns navios têm também tanques de lastro para corrigir a banda. Os compartimentos do duplo-fundo, distribuídos no sentido do comprimento e separados sempre em tanques a BE e tanques a BB, podem ser utilizados como tanques de lastro, corrigindo o trim ou a banda.

2.82. Curvas hidrostáticas (fig. 2-18) – Ao desenhar um navio o construtor naval calcula as propriedades da forma da carena para um grande número de suas flutuações direitas. O resultado deste cálculo é geralmente apresentado em curvas que podem ser chamadas **“curvas características das propriedades hidrostáticas da forma do navio”** ou, mais simplesmente, curvas hidrostáticas. Estas curvas podem ser traçadas num só desenho que é incluído nos planos gerais do casco; o modo como são elas constituídas não é importante para o pessoal de bordo, aos quais **interessa saber apenas como utilizá-las.**

Os desenhos das curvas hidrostáticas nem sempre são exatamente iguais uns aos outros, diferindo quanto ao número de curvas apresentadas e, também, de um país para outro, conforme o sistema de medidas empregado. De modo geral, entretanto, elas têm o aspecto apresentado na fig. 2-18. Esta representa as curvas hidrostáticas de um contratorpedeiro de 1.200 toneladas, desenhadas conforme o uso nas Marinhas americana e brasileira.

As escalas verticais são escritas em pés (1 pé = 0,305 metro) e representam os calados médios na quilha. A escala horizontal em cima é escrita em toneladas (1 long ton = 1.016 quilogramas).

Na parte inferior do desenho temos um perfil externo do navio: a linha inferior deste perfil é a linha do fundo da quilha, e a linha da base moldada não está representada, mas é indicada a sua posição. As escalas horizontais por baixo do perfil representam as numerações das balizas, a de cima, e das cavernas, a de baixo.

Para a leitura das curvas hidrostáticas temos então duas escalas: a vertical, em pés, e a horizontal, em toneladas inglesas. Todas as curvas são referidas ao calado médio em pés, mas nem todas se referem a toneladas; para estas são

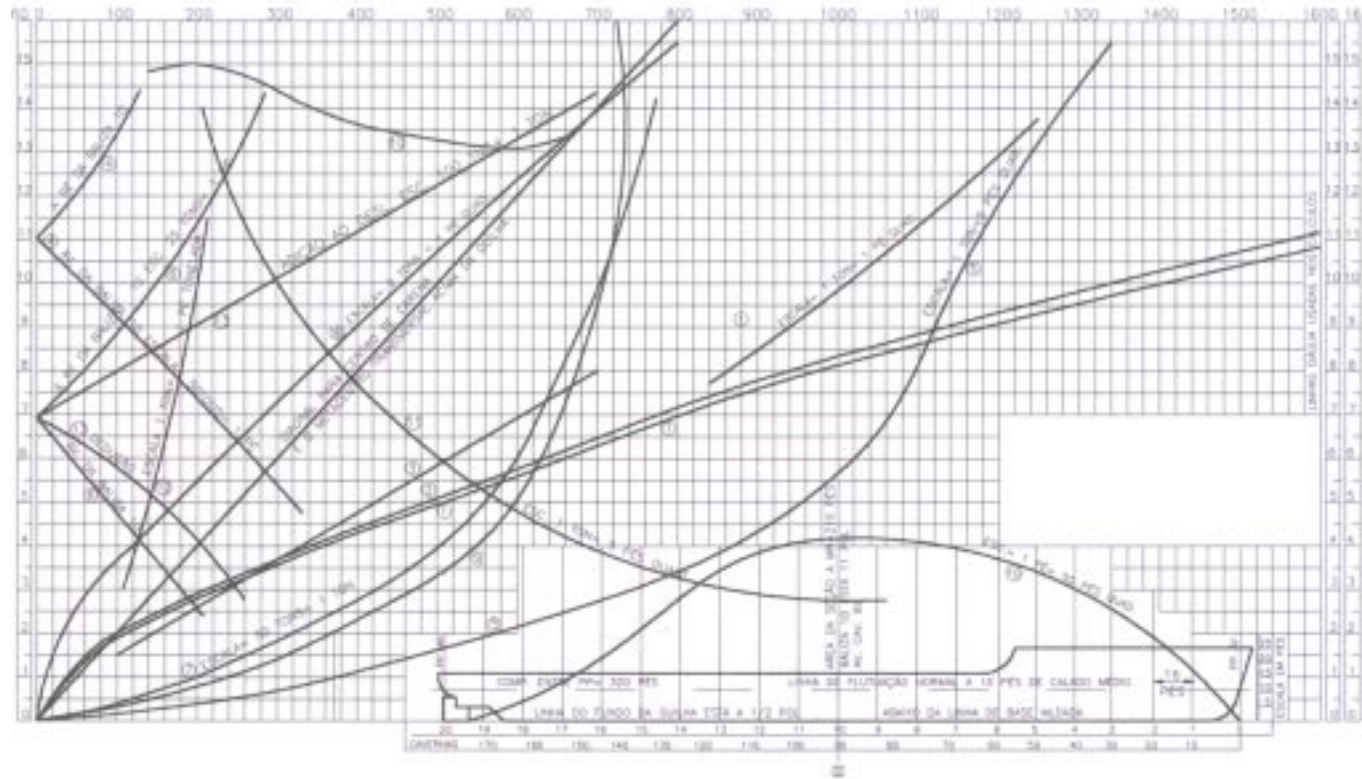


Fig. 2-18 – Curvas hidrostáticas

escritos, junto à curva, os fatores de conversão que transformam a escala horizontal de toneladas na medida a empregar. Isto torna o uso destas curvas aparentemente difícil, o que não é realmente, conforme tentaremos mostrar com os exemplos apresentados a seguir, que se referem todos ao contratorpedeiro da fig. 2-18:

CURVA 1, deslocamento em água salgada, e CURVA 2, deslocamento em água doce.

Exemplo (A) – Qual é o deslocamento em água salgada quando o calado é 9 pés?

Solução – Entra-se na escala vertical dos calados com o valor 9 pés e segue-se a linha horizontal correspondente até interceptar a **curva 1**; lê-se o deslocamento na escala de toneladas diretamente acima do ponto de interceptação, 1.030 toneladas.

Exemplo (B) – Qual é o deslocamento em água doce quando o calado é 10 pés?

Solução – Entra-se na escala dos calados com o valor 10 pés e segue-se a linha horizontal correspondente até encontrar a **curva 2**; lê-se o deslocamento na escala de toneladas diretamente acima do ponto de encontro, 1.160 toneladas.

CURVA 3, posição vertical do centro de carena, e CURVA 4, posição longitudinal do centro de carena.

Exemplo – Localizar o centro de carena quando o calado do navio é 10 pés.

Solução – Primeiramente vejamos a altura do centro de carena acima da linha de fundo da quilha: segue-se a linha horizontal dos 10 pés até interceptar a linha reta chamada “Diagonal para o centro de carena e o metacentro transversal acima da quilha”, que é traçada a 45° dos eixos e a partir da origem. Deste ponto de interceptação segue-se a linha vertical para baixo até encontrar a **curva 3**. Segue-se agora a linha horizontal a partir deste ponto de encontro até ler, na escala de pés, a altura do centro de carena acima da linha de fundo da quilha, 6 pés.

Para a posição longitudinal do centro de carena, segue-se a linha horizontal do calado 10 pés até encontrar a **curva 4**; lê-se, na escala de toneladas, diretamente acima deste ponto de encontro, 70 toneladas. O fator de conversão escrito na **curva 4** é 50 toneladas / 1 pé a vante da baliza 10.

O CC está 6 pés acima da linha de fundo da quilha e a 1,4 pé para vante da baliza 10 (seção a meia-nau).

CURVA 5, áreas de flutuação.

Exemplo – Qual é a área da flutuação correspondente a 9 pés de calado?

Solução – Segue-se a linha horizontal do calado 9 pés até encontrar a **curva 5**; diretamente acima deste ponto de encontro, na escala de toneladas, lê-se 1.160 toneladas. O fator de conversão dado nesta **curva** é 1 tonelada / 5 pés quadrados. A área da flutuação será $1.160 \times 5 = 5.800$ pés quadrados.

CURVA 6, posição longitudinal do centro de flutuação.

Exemplo – Qual é o centro de flutuação para o calado de 8 pés?

Solução – Segue-se a linha horizontal do calado 8 pés até encontrar a **curva 6** e lê-se, na escala de toneladas, acima deste ponto de encontro, 60 toneladas.

O fator de conversão escrito nesta **curva** é 25 toneladas / 1 pé; logo, o centro de flutuação está a $60 / 25 = 2,4$ pés, por ante a ré da baliza 10 (seção a meia-nau).

CURVA 7, toneladas por polegada de imersão (art. 2.84).

Exemplo – Para o calado 7,5 pés qual é o número de toneladas por polegada de imersão?

Solução – Procura-se a interceptação da linha horizontal correspondente ao calado 7,5 com a **curva 7**; diretamente acima deste ponto, na escala de toneladas, lê-se 650 toneladas. O fator de conversão desta **curva** é 50 toneladas / 1 tonelada. Logo, para 7,5 pés de calado, o número de toneladas por polegada de imersão é $650 = 13$ toneladas.

CURVA 8, área da seção a meia-nau.

Exemplo – Qual é a área da seção a MN para o calado médio de 9 pés?

Solução – Segue-se a linha horizontal do calado 9 pés até encontrar a **curva 8**; diretamente acima deste ponto de encontro, na escala de toneladas, lê-se 400 toneladas. O fator de conversão para esta **curva** é 2 toneladas / 1 pé quadrado; a área da seção a MN será $400 / 2 = 200$ pés quadrados.

CURVA 9, contorno da seção a meia-nau.

Esta **curva** tem pouca utilidade a bordo: mostra a forma da seção a meia-nau.

CURVA 10, altura do metacentro transversal acima da linha de fundo da quilha.

Exemplo – Quando o calado médio é de 10 pés, qual a altura do metacentro transversal?

Solução – Procura-se o ponto de encontro da linha horizontal de 10 pés com a linha “Diagonal para o centro de carena e o metacentro transversal acima da quilha”, segue-se a vertical a partir deste ponto para cima até interceptar a **curva 10**. Do último ponto segue-se a horizontal até ler na escala de pés, 13 pés e 3 polegadas. O metacentro transversal está 13 pés e 3 polegadas acima da linha do fundo da quilha.

CURVA 11, raio metacêntrico longitudinal.

A leitura desta **curva** é feita de modo semelhante à da **curva 5**. Por exemplo, para 9 pés de calado o valor é $340 \times 5 = 1.700$ pés.

CURVA 12, momento para variar o trim de 1 polegada.

A leitura desta **curva** é feita de modo semelhante à da **curva 5**. Por exemplo, para 9 pés de calado o valor é 190 pés-toneladas.

CURVA 13, correção ao deslocamento quando o navio estiver com 1 pé de trim pela popa.

Os deslocamentos e os calados deduzidos das **curvas 1 e 2** são corretos apenas para as flutuações direitas, para as quais foi calculada a **curva**, ou para as suas flutuações isocarenas determinadas por uma inclinação transversal do navio.

Se o navio estiver flutuando descompassado, isto é, com uma inclinação longitudinal, os resultados obtidos na **curva** do deslocamento são considerados apenas como aproximação. Estas aproximações são julgadas suficientes na prática para as inclinações longitudinais até 1 grau, inclusive; se for desejada maior aproximação, aplica-se a correção que é dada pela **curva 13**.

Exemplo – Suponhamos que o navio esteja calando 8,5 pés AV e 10,5 pés AR. O deslocamento em água salgada correspondente a seu calado médio, 9,5 pés, é 1.120 toneladas, lido na **curva 1**. Entrando na **curva 13** com o calado médio, 9,5 pés, encontraremos 250 toneladas na escala de toneladas; sendo o fator de conversão desta **curva** 100 toneladas / 1 tonelada, a correção ao deslocamento será $250/100 = 2,5$ toneladas por 1 pé de trim pela popa. No caso atual temos dois pés de trim pela popa e o deslocamento correto será $1.120 + 5 = 1.125$ toneladas.

CURVA 14, área da superfície molhada.

A leitura desta **curva** faz-se de modo semelhante à da **curva 5**. Por exemplo, o valor correspondente ao calado médio de 11 pés é 1.110×11 , que corresponde a 12.210 pés quadrados.

CURVA 15, áreas das seções da carena abaixo da flutuação normal.

Exemplo – Na caverna 80, qual é a área da seção imersa em flutuação normal?

Solução – Segue-se a linha vertical da caverna 80 até interceptar a **curva 15**; deste ponto de interceptação tira-se uma horizontal até ler o valor correspondente na escala de pés, 4,2 pés. Sendo o fator de conversão 1 pé / 50 pés quadrados, a área pedida será $4,2 \times 50 = 210$ pés quadrados.

CURVA 16

Esta **curva** mostra a forma da seção do navio no plano diametral e as posições relativas das balizas no projeto e das cavernas, que são partes estruturais do casco.

2.83. Escala de deslocamento – Para os navios mercantes, algumas das curvas hidrostáticas são também apresentadas sob a forma de uma escala, como a que vemos na figura 2-19.

A escala é a tradução numérica da curva. Ela contém os deslocamentos em água salgada correspondentes aos calados médios na quilha a partir da condição de deslocamento leve até o deslocamento em plena carga. A fig. 2-19 está feita com o calado em pés e polegadas, e o deslocamento em toneladas (1 ton = 2.240 libras = 1.016 quilogramas), mas podemos obter uma escala no sistema métrico decimal.

A escala do deslocamento tem ainda uma coluna para os expoentes de carga correspondentes aos diversos calados médios na quilha, a partir do calado mínimo, e outra coluna para a medida da borda-livre (art. 2.28).

Se na curva do deslocamento traçarmos novos eixos de origem no ponto A, que corresponde ao deslocamento leve, a curva representará a partir deste ponto A o expoente de carga. O zero do expoente de carga corresponde, portanto, ao deslocamento leve.

Muitas vezes a escala indica também o deslocamento em água doce, o expoente de carga em água doce, e, algumas vezes, as toneladas por polegada (ou toneladas por centímetro) e a correção ao deslocamento, quando o navio estiver descompassado.

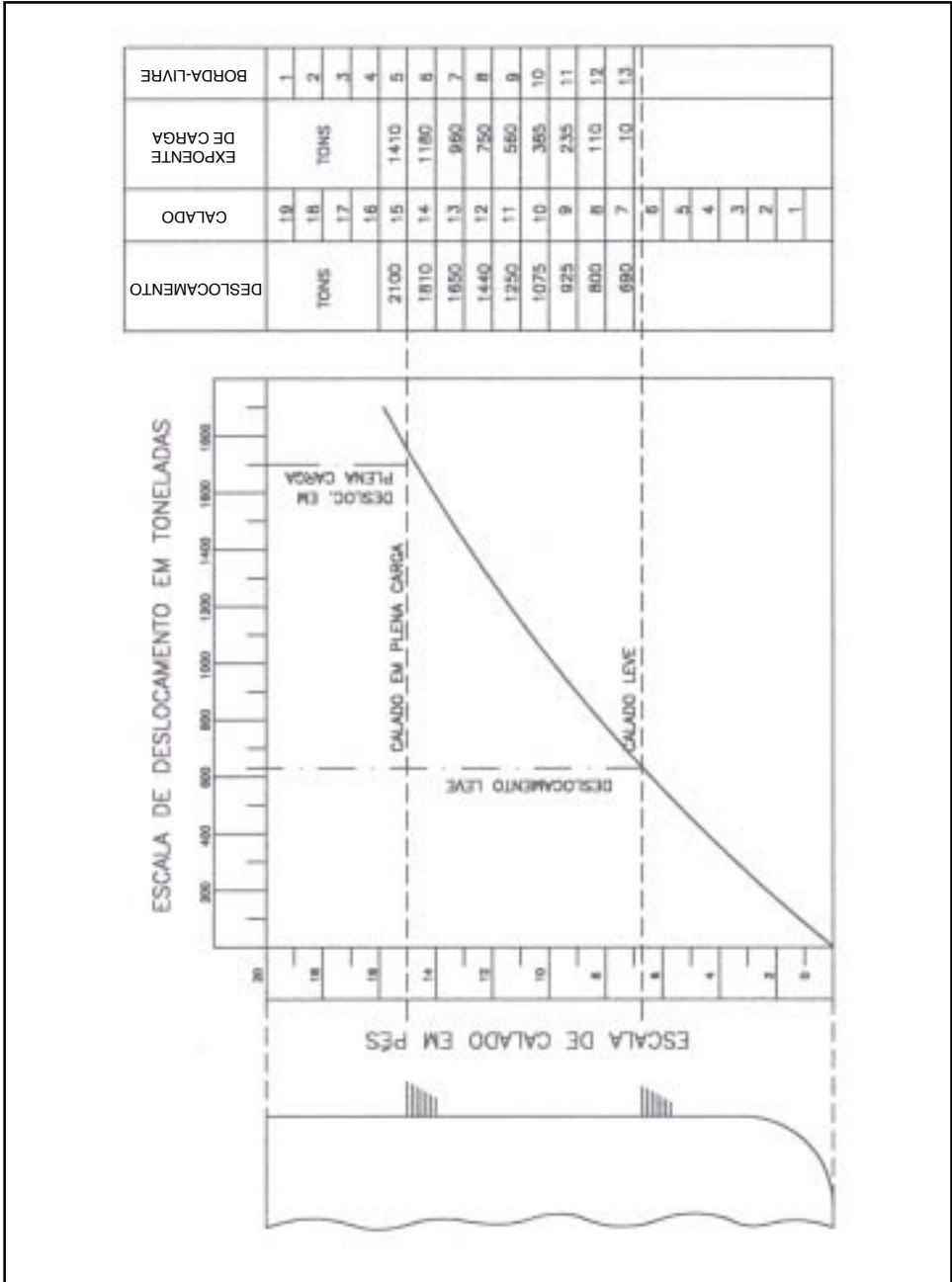


Fig. 2-19 – Escala e curva de deslocamento

2.84. Toneladas por centímetro de imersão e toneladas por polegada de imersão – É muitas vezes necessário conhecer quanto um navio, flutuando num calado determinado, imergirá (ou emergirá) devido ao embarque (ou desembarque) de peso. O cálculo é facilitado, se conhecermos o peso que deve ser adicionado ou retirado do navio a fim de aumentar ou diminuir uniformemente o calado de uma unidade. Este peso chama-se toneladas por centímetro quando representa o número de toneladas métricas necessárias para fazer variar o calado de um centímetro, ou toneladas por polegada, se indicar o número de toneladas inglesas necessárias para modificar de uma polegada o calado do navio.

Os navios geralmente possuem curvas nas quais se podem obter as toneladas por centímetro ou as toneladas por polegada, correspondentes a cada flutuação e referidas ao calado respectivo (**curva 7**, art. 2.82).

As fórmulas são as seguintes:

a. Toneladas por centímetro – Ao peso p acrescentado (ou retirado) corresponde um aumento (ou diminuição) v no volume da água deslocada pelo navio; esta variação de volume é igual ao produto do aumento de calado pela área do plano de flutuação, admitindo-se que esta área permanece constante. Se considerarmos o navio flutuando na água salgada, teremos:

$$\text{Toneladas por cm} = T = v \cdot d = 1,026 \cdot \frac{A_F \cdot c}{100} = A_F \cdot c \cdot 0,01026$$

T = variação de peso em toneladas métricas (1.000 quilogramas)

A_F = área do plano de flutuação em m^2

c = variação do calado em cm

v = variação do volume de água deslocada pelo navio

d = densidade da água salgada.

Fazendo $c = 1$ cm, teremos as toneladas por centímetro: $T = 0,01026 A_F$

Quando, entretanto, não se conhece o valor exato das “tons. por centímetro”, pode-se obter com boa aproximação o seu valor correspondente ao deslocamento em plena carga.

Sabe-se que a relação entre a área de flutuação e a do retângulo circunscrito varia entre 0,7 e 0,8 nos navios de formas ordinárias; podemos então substituir na fórmula acima a área de flutuação pelo seu valor em função da área deste retângulo, a qual é igual ao produto do comprimento entre PP pela boca máxima.

A. Baistrocchi apresentou, na *Arte Navale*, as seguintes regras para obter as toneladas por centímetro de variação de calado, quando o navio está em plena carga:

(1) $T = 0,0070$ L.B, para navios de grande velocidade, compridos e de formas finas ($C_B < 0,6$)

(2) $T = 0,0075$ L.B, para navios de forma ordinária ($0,6 \leq C_B \leq 0,7$)

(3) $T = 0,0084$ L.B, para navios de formas cheias ($C_B > 0,7$)

sendo:

L = comprimento entre PP, em metros;

B = boca máxima, na flutuação carregada, em metros; e

C_B = coeficiente de bloco.

É fato conhecido que nas proximidades da flutuação em plena carga, nos navios de forma ordinária, o costado é quase perpendicular à flutuação direita, ou são mínimas as variações na forma de sua seção horizontal. Portanto, na prática, não se comete grande erro em supor que o peso capaz de fazer imergir um navio dez, vinte, trinta centímetros a partir da linha de flutuação normal seja igual a dez, vinte, trinta vezes o peso que o fará imergir de um centímetro; e isto é também verdadeiro, dentro dos mesmos limites, quando se retira a carga para fazer emergir o navio. Deste modo, as regras dadas acima são verdadeiras para um intervalo de 30 centímetros, para cima ou para baixo da linha-d'água normal. Ver os exemplos dados no art. 2.87.

b. Toneladas por polegada

$$T = \frac{A_F}{12.35} = \frac{A_F}{420}$$

Sendo:

T = variação de peso em toneladas longas (1.016 quilogramas); e

A_F = área do plano de flutuação em pés quadrados.

No denominador, “12” é a relação de 1 pé = 12 polegadas e “35” é a relação entre o peso e o volume da água salgada (35 pés cúbicos de água salgada pesam 1 tonelada).

Assim, a área do plano de flutuação (em pés quadrados) dividida por 420 na água do mar (ou por 12 x 36 = 432, na água doce) dará o número de toneladas longas necessárias para aumentar ou diminuir o calado de uma polegada.

Uma regra prática aproximada: “1/10 do comprimento do navio em pés = número de toneladas por polegada”.

2.85. Cálculo aproximado do deslocamento – Este cálculo só é feito quando não se possui a curva do deslocamento (fig. 2-19), que é um caso pouco provável.

Sabemos que o peso de um navio é igual ao peso do volume da água que desloca. Como o peso de um corpo é igual ao seu volume multiplicado pelo peso específico, representando por V o volume da água deslocada, que é o volume da carena para a flutuação carregada, e por d o peso específico da água, podemos exprimir o deslocamento do navio por:

$$W = V.d$$

Sabendo-se que o valor médio do peso específico da água do mar é 1,026 (peso em quilogramas de um decímetro cúbico da água do mar), teremos:

$$W = V . 1,026$$

Sendo:

V, o volume da carena, em metros cúbicos;

L, o comprimento entre perpendiculares, em metros;

B, a boca extrema máxima, em metros;

C, o calado médio, em metros; e

C_B, o coeficiente do bloco.

$$\text{Temos: } C_B = \frac{V}{L \cdot B \cdot C} \text{ (art. 2.63)} \Rightarrow V = C_B \cdot L \cdot B \cdot C$$

$$\text{Assim, } W = V \cdot 1,026 \Rightarrow W = C_B \cdot L \cdot B \cdot C \cdot 1,026$$

Exemplo – Deseja-se calcular o deslocamento em água doce de um cruzador menor, que tem as seguintes dimensões:

Comprimento entre PP (L) = 122 m

Boca máxima (B) = 12 m

Calado médio (C) = 4,6 m

Conhecendo-se o coeficiente de bloco para este tipo de navio (art. 2.65), que é $C_B = 0,56$, teremos:

$$W = 0,56 \cdot L \cdot B \cdot C = 0,56 \cdot 122 \cdot 12 \cdot 4,6 = 3.771 \text{ toneladas.}$$

2.86. Cálculo aproximado da arqueação

a. Arqueação Bruta (AB)

$AB = K_1 \cdot V_T$, onde

$K_1 = (0,02 \cdot \log V_T) + 0,2$; e

V_T = volume total dos espaços fechados da embarcação.

b. Arqueação Líquida (AL)

A arqueação líquida pode ser calculada pela fórmula:

$$\left\{ A + \left[\frac{1,25 \cdot (AB + 10000)}{10.000} \cdot (N_1 + 0,1N_2) \right] \right\}$$

Sendo:

N_1 = número de passageiros em camarote de até 8 beliches; e

N_2 = número de demais passageiros não incluídos em N_1 .

A = ao maior valor entre $0,25 \cdot (AB)$ ou $K_2 \cdot V_c (4H/3P)^2$, onde V_c é o volume total dos espaços de carga, H é o calado moldado e P o pontal moldado e $K_2 = (0,02 \cdot \log V_c) + 0,2$.

$$\text{Para os navios com a seguinte relação: } 0,40 \leq \frac{0,18 [B + M/2]^2}{B \cdot P} \leq 0,85,$$

onde B é a boca máxima em metros; e M é o perímetro da seção mestra, limitado pela interseção da face superior do convés de forro exterior, em metros, o volume dos espaços fechados abaixo do convés principal pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$V_c = [(B + M)/2]^2 \cdot 0,18 \cdot L$$

2.87. Variação do calado médio devido a uma modificação do peso sem alterar o trim – Sendo embarcado (ou desembarcado) um peso de modo que seu centro de gravidade fique na vertical que passa pelo centro de flutuação, não haverá inclinação longitudinal nem transversal, portanto não haverá alteração no

compasso; ter-se-á apenas uma imersão (ou emersão) paralela à flutuação, isto é, calado AV e o calado AR variam de uma mesma quantidade, e do mesmo modo o calado médio.

Este cálculo é muito facilitado pela consulta às curvas hidrostáticas da fig. 2-18; a posição do CF é dada pela **curva 6**, e, se o peso foi colocado na vertical deste centro de flutuação, a variação do calado é dada pelas curvas do deslocamento (**curva 1** ou **curva 2**).

Não se conhecendo a posição exata do CF, o que é um caso pouco provável, far-se-á um cálculo aproximado admitindo um ponto suposto para o centro de flutuação; se não tivermos à mão a curva nem a escala do deslocamento, empregaremos as toneladas por centímetro.

Nos navios de guerra considera-se o centro da flutuação normal colocado aproximadamente a 0,04 do comprimento entre perpendiculares (L) por ante-a-ré do meio de L, ou seja, 0,54 a partir da perpendicular AV.

Exemplo 1 – Suponhamos que um navio está em seu deslocamento normal e sabe-se que o número de toneladas por centímetro para este deslocamento é 16. Ao chegar a um porto o navio, deve ser desembarcada uma quantidade regular de carga cujo peso não se conhece. Após a descarga, entretanto, verificou-se uma diminuição de 5 cm no calado AV e no calado AR. Qual o peso desembarcado?

Solução – A diminuição do calado médio foi de 5 cm; então, o peso da carga desembarcada é igual a $16 \times 5 = 80$ toneladas.

Exemplo 2 – Supõe-se que o navio esteja navegando em seu deslocamento normal, para o qual o número de “toneladas por centímetro” é 20; durante o cruzeiro gastaram-se 100 toneladas de óleo combustível de um tanque situado abaixo do centro de flutuação. Qual foi a diminuição do calado?

Solução – A diminuição do calado foi de $100 / 20 = 5$ cm.

2.88. Variação do calado ao passar o navio da água salgada para a água doce e vice-versa – Um navio aumenta ligeiramente de calado, ao passar da água salgada para a água doce, porque é necessário deslocar maior massa de água para equilibrar o peso do navio, uma vez que o peso da água doce é menor.

Este problema é facilmente resolvido pelas **curvas 1**, “deslocamento em água salgada” e **2**, “deslocamento em água doce”, na fig. 2.18. Não se possuindo estas curvas, pode-se calcular a mudança de calado em função das “toneladas por centímetro”.

Um metro cúbico de água salgada pesa 1,026 tonelada; consideramos a água doce dos rios pesando 1,010 tonelada, isto é, 0,016 tonelada menos.

Como o deslocamento (peso) do navio não mudou, o volume da água doce deslocada será maior, fazendo com que o navio desça até que o seu peso e o empuxo de novo se equilibrem; isto fará aumentar o calado. A quantidade de que o navio imergiu, ao passar da água salgada para a água doce, será a mesma que imergiria se permanecesse na água salgada recebendo a bordo um peso de $0,016 \times W$, sendo W o deslocamento.

$$\text{aumento de calado} = \frac{W \cdot 0,016}{\text{toneladas por centímetro}}$$

Exemplo – Um navio tem 1.260 toneladas de deslocamento com o calado médio de 3,80 metros na água e 4 toneladas por centímetro de variação de calado; qual será o seu calado na água doce?

$$\text{Solução} - \text{aumento de calado} = \frac{1.260 \cdot 0,016}{4} = 5 \text{ cm}$$

O calado do navio passará a ser 3,85m.

Se a densidade na água doce fosse diferente da suposta acima (1,010 é o valor médio), o cálculo poderia ser feito pelo mesmo raciocínio. Note-se que nos referimos ao calado médio, porque o aumento de calado geralmente não é igual a vante e a ré, pois a carena é mais cheia na popa, em geral.

Para um cálculo aproximado, e para um navio de formas ordinárias, na sua flutuação em plena carga, podemos tomar a mudança de calado como sendo de 1,3 centímetro para cada metro de calado do navio. Por exemplo, um navio que tenha de calado 5 metros, ao passar em seu deslocamento máximo, da água do mar para a água do rio, imergirá de $5 \times 1,3$ centímetro, ou seja, 6,5 centímetros, e vice-versa.

Outra regra prática, para navios mercantes: “1/4 do calado máximo, em pés = aumento de calado, em polegadas, ao passar para a água doce.”

2.89. Variação de trim devido a uma modificação de peso – Admitimos até aqui todas as variações de peso como sendo feitas sobre a vertical que passa pelo centro de flutuação. Mas podemos ter necessidade de deslocar longitudinalmente um peso qualquer, ou embarcar um peso a vante ou a ré. Nestes casos haverá uma variação do trim.

Variação de trim é a soma do aumento de calado numa extremidade do navio e a diminuição na outra. Por exemplo, um navio tem calado AV = 6 metros e calado AR = 7 metros, isto é, o trim é de 1 metro pela popa. Suponhamos que, por um movimento qualquer de peso, venha este navio a ter calados de 6,40 m AV e 6,70 m AR. O trim passou a ser 0,30 m pela popa e a variação do trim foi $0,40 + 0,30 = 0,70\text{m}$.

Na prática é suficiente considerar que as mudanças de calado AR e AV são iguais, isto é, a variação do trim será igual ao dobro da mudança de calado em uma das extremidades.

Vamos considerar o nosso problema em três partes distintas:

a. Variação produzida no trim por se mover longitudinalmente um peso que já se encontra a bordo

$$\text{Variação de trim} = \frac{p \cdot \ell}{W} \times \frac{L}{GM'}$$

onde:

p = peso movido, em toneladas;

ℓ = distância longitudinal, em metros;

L = comprimento entre perpendiculares, em metros;

W = deslocamento, em toneladas;

GM' = altura metacêntrica longitudinal (ver fig. 2-10), em metros.

Exemplo – Para um navio em que $L = 120$ m, $GM' = 150$ m. $W = 6.000$ t, calado AV = 5,26, calado AR = 5,84, deslocou-se longitudinalmente para vante em 30 metros um peso $p = 20$ toneladas. Pedem-se os calado AV e AR.

$$\text{Solução: variação de trim} = \frac{20 \times 30}{6.000} \cdot \frac{120}{150} = 0,08 \text{ m}$$

Houve portanto um aumento de calado AV de 4 cm e diminuição de calado AR de 4 cm:

$$\text{calado AV} = 5,26 + 0,04 = 5,30 \text{ m}$$

$$\text{calado AR} = 5,84 - 0,04 = 5,80 \text{ m}$$

b. Valor do momento que faz variar de um centímetro o trim em plena carga – Este valor é geralmente obtido por uma curva semelhante à **curva 11** da fig. 2-18, mas pode ser deduzido por cálculo.

Na equação do item anterior, se fizermos a variação de trim igual a 1 centímetro, teremos: $\frac{1}{100} = \frac{p \cdot \ell}{W} \cdot \frac{L}{GM'}$

O produto $p \cdot \ell$ representa o momento que faz variar de 1 centímetro o trim; seu valor é:

$$p \cdot \ell = \frac{D}{100} \cdot \frac{GM'}{L} = \frac{6\,000}{100} \cdot \frac{150}{120} = 75$$

Se neste navio deslocarmos longitudinalmente de 30 metros um peso de 20 toneladas, a variação na diferença de calado será:

$$\frac{20 \cdot 30}{75} = 8 \text{ cm}$$

A altura metacêntrica GM' é geralmente determinada para cada navio; mas no caso de não se conhecer o seu valor, pode-se considerar, nos navios de guerra de proporções ordinárias, que a altura GM' é quase igual ao comprimento L e, com um discreto grau de aproximação, far-se-á então o uso da seguinte regra, não aplicável às embarcações de grande calado, nem às de tipo especial:

“O momento que faz variar de 1 centímetro o trim de um navio (ou seja, o produto do peso pela distância longitudinal) é quase igual (em metros-toneladas) a um centésimo do deslocamento do navio em toneladas.”

O resultado desta regra, dada por Baistrocchi na *Arte Navale*, estará um pouco abaixo ou acima do valor real, conforme seja o navio comprido e fino ou curto e largo, já que nos primeiros, GM' é maior do que L e, para os segundos, GM' é menor do que L . Para os navios mercantes, o momento de que se fala será provavelmente superior de 30 a 40 por cento ao dado pela regra acima.

c. Variação produzida no trim por embarque ou desembarque de pesos – O cálculo é facilitado, e dá, como resultado, uma boa aproximação, supondo-se que os pesos a embarcar representam menos de 2% do deslocamento do navio. Em primeiro lugar imagina-se que os pesos sejam embarcados no próprio centro de

flutuação; o navio imergirá, sem variar o trim, até que o aumento de deslocamento faça equilíbrio ao peso embarcado. Este cálculo será feito como foi indicado no art. 2.87, pelas “toneladas por centímetro”.

Depois de se haver suposto que o peso seja calculado no centro de flutuação, o que resta a fazer é trazê-lo a sua verdadeira posição. Se houver variação de diversos pesos, multiplica-se cada peso pela distância percorrida, seja para a proa ou seja para a popa e faz-se a soma de todos os momentos para a ré e a de todos os momentos para vante do CF. A diferença entre estes constitui o momento que causa a variação de trim. A última operação então será calcular a variação de trim produzida por este momento, o que se faz pelo método metacêntrico, empregado no item b deste artigo.

Exemplo – Sejam os calados primitivos do navio 8,50 m AR e 8,20 m AV; sejam 20 tons. as “toneladas por centímetro” de imersão, e 150 metros-toneladas o momento necessário para variar um centímetro na diferença de calado. Deve-se embarcar um peso $P = 40$ tons. a uma distância $d = 15$ metros para a proa do centro de gravidade G no plano de flutuação. Pedem-se os novos calados.

Solução – O embarque deste peso, supondo-se primeiramente colocado sobre G , dará um aumento de calado $= 40/20 = 2$ centímetros (art. 2.87). Os calados serão agora, 8,52 AR e 8,22 AV, permanecendo constante o trim: 30 cm.

Se deslocarmos este peso de 15 metros para vante de G , teremos um momento $15 \times 40 = 600$ (metros-toneladas), o qual tende a fazer imergir a proa do navio. A variação no trim será $600/150 = 4$ cm; a diferença de calado será agora $30 - 4 = 26$ cm (subtrai-se porque o peso foi colocado na proa reduzindo a diferença de calado); os novos calados admitindo o CF a MN são:

$$\text{calado AR} = 8,52 - 4/2 = 8,50 \text{ m; e}$$

$$\text{calado AV} = 8,22 + 4/2 = 8,24 \text{ m.}$$

