

## ***DIMENSÕES PRINCIPAIS***

Objetivo Projeto Sistema Flutuante (navio/plataforma):

- Maior lucro  $\Rightarrow$  Armador, estaleiro, escritório de projeto
  - o Armador – Navio com maior benefício  $\Rightarrow$  Custo de capital vs. custos operacionais;
  - o Estaleiro – Navio atenda requisitos mínimos necessários – Reduzir custo de construção;

Função mais comum navio – Transporte  $\Rightarrow$  Meio de transporte mais econômico e eficiente ( $R_T/\Delta$ )

Embarcação tradicional – Monocasco (carga geral, porta-contêiner, granel sólido ou líquido, etc.)

Força de Empuxo – Força distribuída hidrostática ( $\neq$  avião, caminhão)

Espiral de Projeto – Representa um processo seqüencial (?)  $\Leftarrow$  Requisitos de projeto  $\Rightarrow$  Dimensões principais e coeficientes de forma.

Formas Tradicionais: Dimensões Principais  $\rightarrow$  Navios Semelhantes;

Formas Não-Convencionais  $\rightarrow$  Pouca experiência  $\rightarrow$  Princípios básicos (necessidade de arranjo, ..).

### *Navios Semelhantes*

Projeto de Adaptação: Uma grande parte dos requisitos relativos ao perfil da missão se assemelham ao navio construído no passado;

Ex.: Tipo de carga, velocidade,  $DWT_C$ , restrições legais;

Projeto de Variação: Semelhança no tipo de carga  $\Rightarrow$  Mais comum ponto de partida para estimativa inicial: Dimensões principais e coeficientes de forma ( $C_B$ ,  $C_P$ ,  $C_{PV}$ ,  $C_{SM}$ ,  $LCB$ , ...).

Maior quantidade de informações (tipo de carga, velocidade, idade, tripulação, potência, etc.)  $\Rightarrow$  **Tomar máximo cuidado com informações ultrapassadas.**

Navios Comerciais: Grandes estaleiros – Extensa base de dados;

Lloyd's Register (DWT Total, dimensões, ...);

Significant Ships -RINA – (projeto = “design” e “scantlings”);

Navios Militares: Jane's Fighting Ships (**calado – ponta da pá do hélice**, boca máxima - “flare”).

Projeto Navio  $\Rightarrow$  Desenvolvido condição de projeto (outras: lastro, sem combustível, etc.)

$\rightarrow$  Manual

$\rightarrow$  Modelo de síntese: Relações funcionais

## Caracterização do Navio

- Navio de Peso

$$\Delta = 1,025 \cdot (1 + s) \cdot C_B \cdot L \cdot B \cdot d = DWT_T + W_{PL}$$

$$DWT_T = DWT_C + DWT_{OP};$$

$$W_{PL} = \text{Peso}_{\text{Casco}} + \text{Peso}_{\text{Máq}} + \text{Peso}_{\text{Outfit}}$$

Observações:

- s – Parcela devida à diferença entre dimensão real e moldada (espessura aço) e apêndices - ~ 0,5%;
- D – Pontal (“depth”) ⇒ Não aparece explicitamente;
- d – Calado (Inglês: “draft” ou “draught” → T, h).

- Navio de Volume (limitados pelo volume)

$$V_{\text{Casco}} = C_{BD} \cdot L \cdot B \cdot D' = \frac{V_R - V_V}{1 - \sigma} + V_{\text{Máq}}$$

$$D' = D + C_M + S_M;$$

Observações:

- $V_R$  – Volume total requerido;
- $V_V$  – Volume acima do pontal;
- $\sigma$  – Fator de redução do volume (tipo de casco, estrutura dentro espaço de carga);
- $C_{BD}$  – Coeficiente de bloco associado ao pontal;
- $d$  – Calado ⇒ Não aparece explicitamente;
- $C_M$  – Curvatura - “camber”;
- $S_M$  – Tosamento – “Sheer”;

- Navio dimensões lineares – Limitados por rota, comércio, função, etc.
  - Canal de St. Lawrence ( $B \leq 22,86\text{m}$ ), Canal do Panamá ( $B \leq 32,2\text{m}$  e  $d \leq 13\text{m}$ ), Estreito de Malacca, etc.;
  - Carga unitizada, contêiner, barcaças, RO-RO;
  - Área: Ro-Ro, navio militar (área convés).
- Navios especiais.
  - Tonelagem – Rebocadores, pequenas embarcações;  
(Volume medido – volume útil → tripulação, custo portuário, canais, etc.)
  - Veleiros.

## Estimativa Inicial

Dimensões: L, B, D, d

Coeficientes:  $C_B, C_P, C_{PV}, C_{SM}, F_n$

Deslocamento:  $\Delta$

$$\text{Número de Froude (adimensional)} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad \text{Número de Taylor (dimensional)} = \frac{V}{\sqrt{L}}$$

Pergunta: 40 nós  $\Rightarrow$  Navio rápido ou lento?

Cubo apresenta menor superfície molhada para uma mesma carga  $\Rightarrow$  Menor custo (aço), menor resistência de atrito;

Características principais do navio  $\rightarrow$  Efeito eficiência do navio (custo capital/operacional)

Ex.: Navio "graneleiro"  $\Rightarrow$  Carga baixo valor agregado  $\rightarrow$  Transporte agregar o menor custo  $\rightarrow$  Baixo Froude  $\rightarrow$  Resistência de atrito);

*Principais parâmetros definição dimensões principais*

- 1) DWT (carga)
- 2) Velocidade de serviço –  $V_s$
- 3) Comprimento –  $LOA, L_{PP}, L_{DWL}$ ;
- 4) Boca – moldada;
- 5) Calado de projeto;
- 6) Pontal
- 7) Coeficiente de Bloco
- 8) Deslocamento -  $\Delta$

**1 e 2  $\Rightarrow$  Independentes;** 3 a 8  $\Rightarrow$  Não existe liberdade total de variação: Restrições operacionais;

Dimensões lineares impactos diretos sobre características do navio: Ordem de importância:

**L  $\rightarrow$  B  $\rightarrow$  D  $\rightarrow$  d**

- Comprimento – Custo, potência (resistência ao avanço), resistência estrutural longitudinal, estabilidade direcional, etc.;
- Boca – Estabilidade, propulsão, controle;
- Pontal – Resistência longitudinal, estabilidade, volume interno;
- Calado – Borda livre.

*Estimativa do Comprimento*

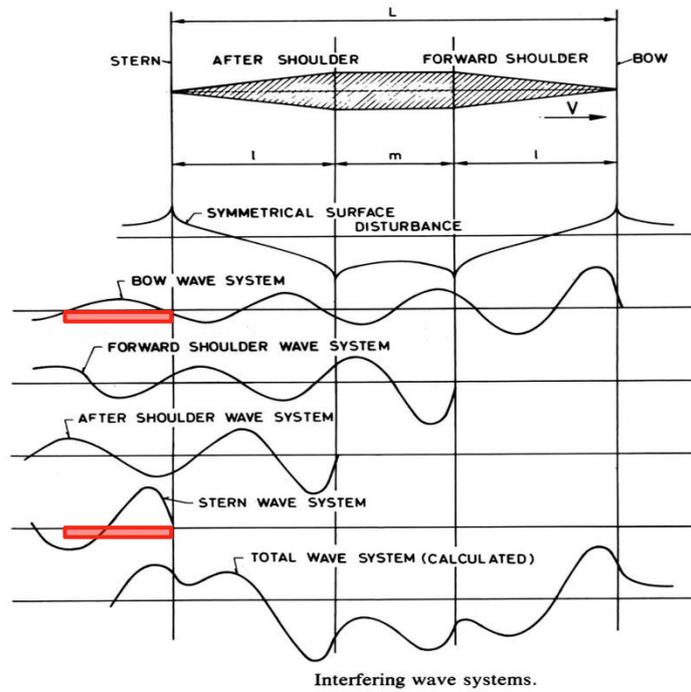
$\uparrow$  Comprimento  $\Rightarrow$   $\uparrow$  Resistência de atrito  $\rightarrow$   $\uparrow$  Superfície Molhada;  
 $\downarrow$  Resistência residual (ondas, forma).

(Envólucro de menor superfície = Cubo)

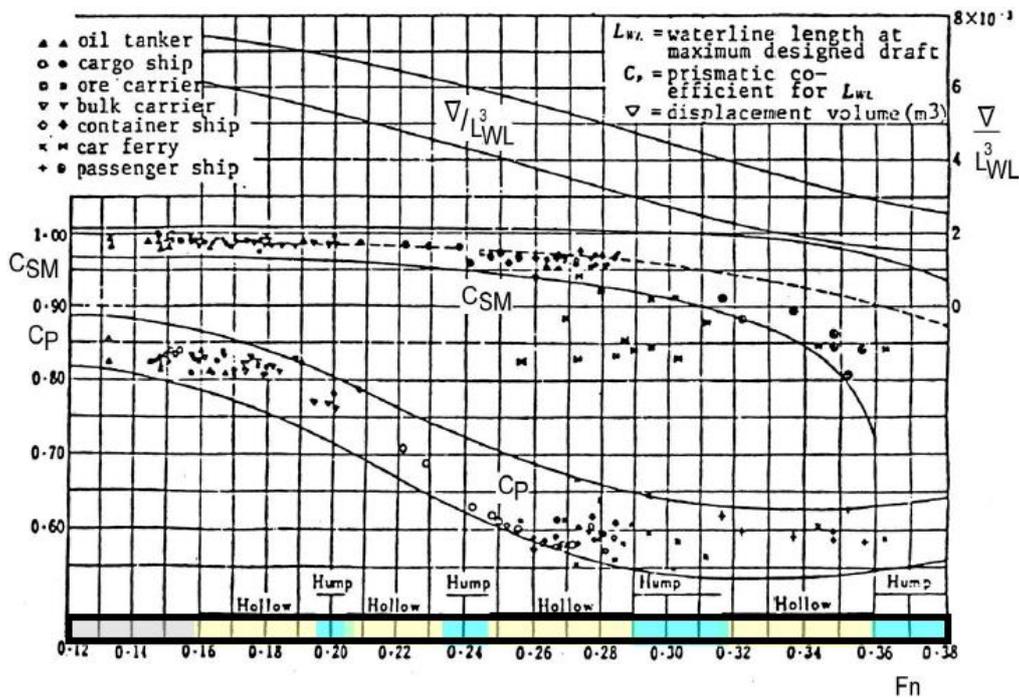
*(cuidado – em qualquer análise as hipóteses são fundamentais)*

Resistência residual (ondas) – Interferência ondas geradas proa e popa (?) construtiva/destrutiva - Relação cristas (hump) e cavados (hollow)

$$(\text{onda: } \lambda = 2 \pi \frac{V^2}{g}) \Rightarrow 0,9 L (\text{navio}) \Rightarrow 0,9 L = n \pi \frac{V^2}{g} : (n = 1, 3, \dots - \text{múltiplo de } \lambda/2).$$



### Gráfico (Kansai)



Momento fletor aumenta com comprimento  $\Rightarrow$  Maiores custos;  
 Maior comprimento maior dificuldade de manobra;  
 Maior comprimento  $\Rightarrow$  Melhor comportamento ondas: Diminuição do "pitch";

Economia: Redução custos construção  $\rightarrow$  Limites estabilidade, potência, manobra, ...

Formulações antigas

(Benford)  $\rightarrow$  Análise de regressão:  $L = a \cdot DWT_{\text{Carga}}^b + c \cdot V_S^d$

(Posdunine) → Fórmula clássica:  $L = C \cdot \left[ \frac{V_s}{V_s + 2} \right]^2 \cdot \Delta^{1/3}$

Eficiente → Experiência ⇔ Escolha cuidadosa: C – [Δ -ton ; VS nós]

C = 7,25 - mono-hélice (15,5 a 18,5 nós)

7,1 ~7,4 - mono-hélice (11,0 a 16,5 nós);

7,4 ~7,7 - bi-hélice (15,0 a 20 nós);

8,0 ~9,7 - bi-hélice (20,0 a 30,0 nós).

Navios semelhantes ⇒ Froude mais adequado para função carga do navio.

## Relações adimensionais

- L/B - Potência, estabilidade direcional;
- B/D - Estabilidade;
- L/D - Resistência longitudinal;

**Parâmetro L/B** – (alternativa estimativa Boca)

L/B ⇒ Potência, estabilidade direcional, custo.

Redução L ⇒ Limitada escoamento a frente do propulsor;

L/B baixo ⇒ Pode ser indesejável: ↓ L → ↑ Fn ⇒ Aumento de potência;

Observação: Fn alto – Resistência residual – Superfície molhada – Equilíbrio;

Fn baixo – Resistência de atrito;

(comparação mesmo deslocamento)

Watson & Gilfillan (1977):

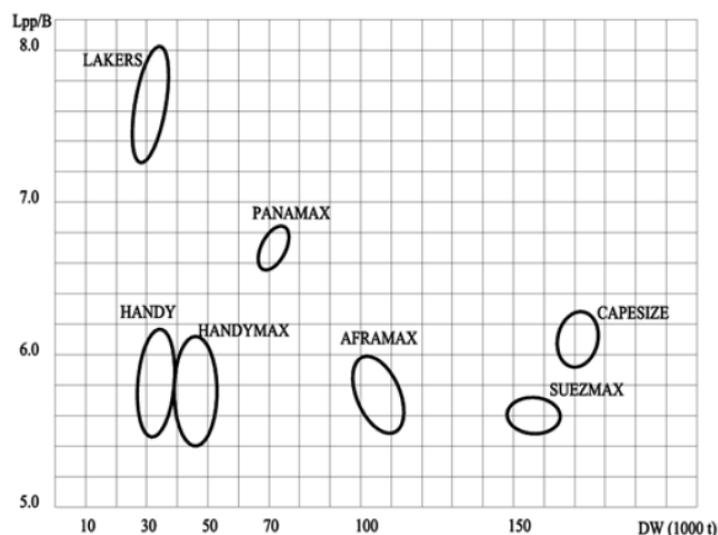
L/B = 6,5 - Carga geral → L > 130,0 m;

4,0 - L ≤ 30 m (estabilidade fundamental);

5,5 - Tanques gigantes (limitação calado);

8,5 - Fragatas (Fn = 0,4 ~0,5).

Cudina (200)



### **Parâmetro B/D – (alternativa estimativa Pontal)**

$$\text{Estabilidade} \Rightarrow GM_T = \underbrace{KB + BM}_B - \underbrace{KG}_D - \underbrace{C_{\text{SuperLivre}}}_{\sim 3\% KG} \geq (GM_T)_{\text{Requerido}}$$

Navios peso: B/D ~1,9 (pontal limitado inferiormente requisitos de borda livre – borda livre mínima);

Navios limitados volume: B/D ~ 1,65;

Porta-contêiner (limitação contêiner no convés): B/D = 1,7;

Fragatas: B/D = 1,55.

Alto padrão de estabilidade  $\Rightarrow$  Conforto prejudicado: Movimento de “roll”;

Fatores exigem aumento B/D

Colocação carga no convés;

Redução peso máquina principal  $\Rightarrow$  Aumento KG;

Linhas mais delgadas – alta velocidade  $\Rightarrow$  Redução KM.

Fatores permitem redução B/D

Grande capacidade de lastro duplo fundo;

Superestrutura e equipamentos mais leves;

Linhas projetadas para oferecer maior KM.

### **Parâmetro L/D**

L/D – Parâmetro importante para estabelecer nível de resistência estrutural longitudinal:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{I/y}$$

L – Momento fletor em onda; D – tensão máxima fundo/convés.

Uso de aços de alta tensão  $\Rightarrow$  L/D menores  $\Leftarrow$  Limite dado deflexão;

Graneleiro  $\rightarrow$  L/D ~11,5;

Tanques  $\rightarrow$  L/D ~12,5 (casco simples); ~ 10,5 (casco duplo);

Fragatas  $\rightarrow$  L/D ~13,3 (necessidade de comprimento sem grandes aberturas);

ABS: L/D  $\geq$  15  $\Rightarrow$  Análise especial (lagos americanos – ondas menor comprimento).

Conclusão:

1 - Navios de peso  $\rightarrow$  Grande estabilidade (B e D independentes): D  $\Rightarrow$  Relação L/D;

2 - Navios volume  $\rightarrow$  Comprimento relativamente menor – L/D: D  $\Rightarrow$  Relação B/D.

### **Parâmetro d/D (borda livre)**

Navios mercantes - Regras de borda livre (IMO, MARPOL, Convenções Borda livre);

d/D = 0,73 ~0,71 - graneleiro (borda livre mínima);

0,67 - navios tanque;

0,62 - navio porta-contêiner (médio);

0,46 – fragata (comportamento em ondas).

### Parâmetro B/d

B/d  $\Rightarrow$  Importância secundária: > B/d  $\rightarrow$   $\uparrow$  Resistência residual;  
< B/d  $\rightarrow$  Problemas de estabilidade;

$2,25 \leq B/d \leq 3,75 \rightarrow B/d \sim 3,0$  (minimizar superfície molhada)

### Coeficiente de Bloco

$\Delta, L, B, d \rightarrow C_B$

$$C_B = \frac{\nabla}{L \cdot B \cdot d} \quad C_P = \frac{\nabla}{L \cdot A_{SM}} \Rightarrow C_B = C_P \cdot C_{SM}$$

(Watson & Gilfillan)  $\rightarrow C_B = 0,70 + \frac{1}{8} \cdot \arctan\left(\frac{23 - 100 \cdot Fn}{4}\right)$  (radianos)

Valor mais alto limitado – Satisfazer escoamento incidente no propulsor  $C_B \leq 0,87$ ;  
Valor mais baixo - Não há vantagem potência  $C_B \leq 0,53$ .

(Alexander)  $\rightarrow$  Análise de regressão:  $C_B = K - 0,5 \cdot \frac{V}{\sqrt{L}}$  [V – nós ; L – pés]

(Japão)  $\rightarrow$  Análise de regressão:  $C_B = -4,22 + 27,81 \cdot \sqrt{Fn} - 39,1 \cdot Fn + 46,6 \cdot Fn^3$   
[0,15  $\leq$  Fn  $\leq$  0,32]

### Estimativa do Deslocamento

Coeficiente de Deadweight (carga ou operacional !!!)

$$C_{DWT} = \frac{DWT}{\Delta} \quad \text{ou} \quad K = \frac{\Delta}{DWT}$$

(Benford)  $\rightarrow$  Análise de regressão:  $\Delta = a \cdot DWT_{Carga}^b + c \cdot V_S^d$

### Coeficiente de Almirantado

$$C_{Alm} = \frac{\Delta^{2/3} \cdot V^3}{BHP}$$

## Outros coeficientes importantes projeto do navio

*Coeficiente Prismático (Longitudinal) -  $C_P$*

$$C_P = \frac{\nabla}{A_{SM} \cdot L}$$

$C_P$ : Baixo - Volume concentrado a meia nau;  
Grande - Distribuição uniforme ao longo de todo o comprimento (afeta KB).

Froude baixo → Resistência residual baixa → Pouca importância;

Froude médio → Importante - Resistência residual → Suavidade escoamento a longo do casco;

Froude alto → Estabilização valor;

*Coeficiente Prismático Vertical -  $C_{PV}$*

$$C_{PV} = \frac{\nabla}{A_{WL} \cdot d}$$

Influência na estabilidade e comportamento em ondas.

*Coeficiente de linha d'água -  $C_{WP}$*

Indicação de esbeltez ⇒ Estabilidade longitudinal e transversal

$$C_{WP} = \frac{C_B}{C_{PV}} = \frac{A_{WL}}{L \cdot B}$$

*Coeficiente de Inércia -  $C_I$*

$$BM_T = \frac{I_T}{\nabla} \Rightarrow I_T = C_I \cdot L \cdot B^3 \qquad BM_L = \frac{I_L}{\nabla} \Rightarrow I_L = C_{IL} \cdot B \cdot L^3$$

(tomar cuidado com algumas fontes  $C_I = I_T / (L \cdot B^3 / 12)$ )

$$(SDC) \rightarrow C_I = 0,0937 \cdot C_P - 0,0122$$

$$(Eames) \rightarrow C_I = 0,0727 \cdot C_{WP}^2 + 0,0106 \cdot C_{WP} - 0,003 \text{ (pequenas popas transom)}$$

*Posição vertical do Centro de Gravidade (KG)*

Aproximação bastante rudimentar ⇒  $KG = a \cdot D$   
( $a = 0,69$  – tanques;  $0,75$  – passageiro).

$$\text{Fórmula de Morrish} \Rightarrow KB = \frac{d}{3} \cdot (2,5 - C_{PV}).$$