



Departamento de Engenharia Naval e Oceânica  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



# **PNV-2300 – Introdução à Engenharia Naval**

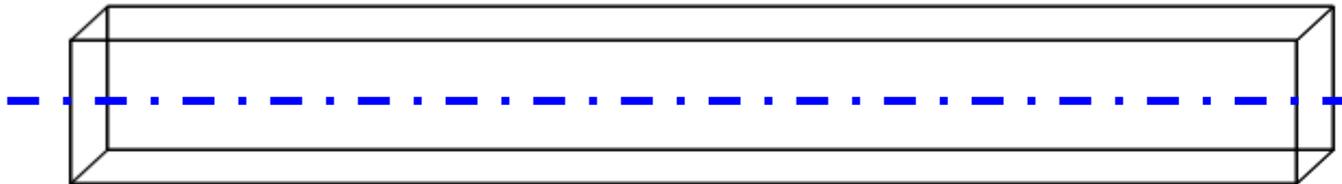
## **Arranjo estrutural de navios**

Prof. Dr. Marcos M. O. Pinto  
[morpinto@usp.br](mailto:morpinto@usp.br)

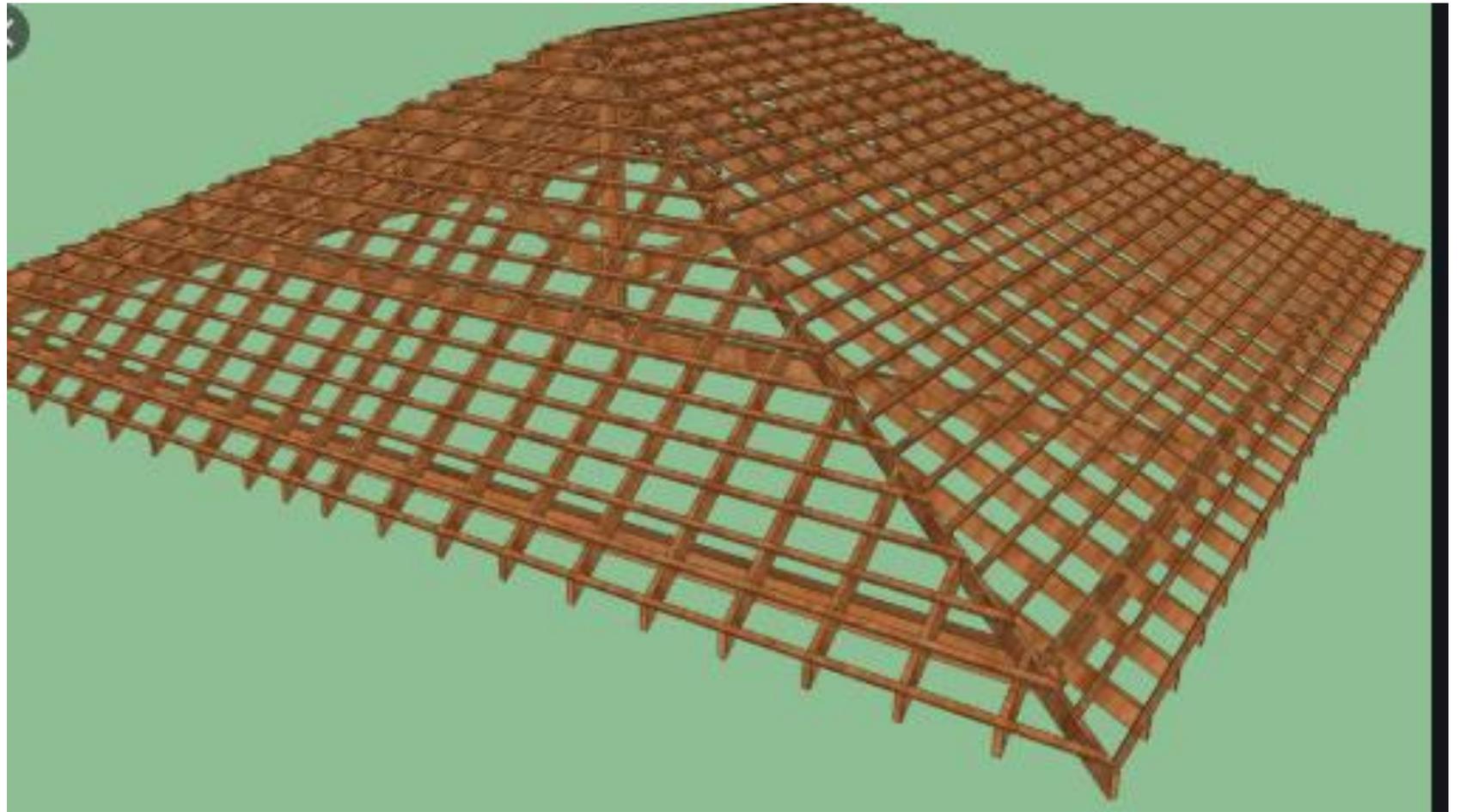
# Você tem ideia da ordem de grandeza dos esforços que um navio está submetido?

Para demonstrar a importância da análise estrutural vamos calcular através da teoria simples de viga os esforços do navio a seguir com dimensões:

- 7m de calado,
- 150m de comprimento,
- 15m de boca e  $D=10\text{m}$



<https://www.youtube.com/watch?v=2fWWqUOFId8> – esforços no navio  
<https://www.youtube.com/watch?v=8HFARxn73dk> – acidentes com navios



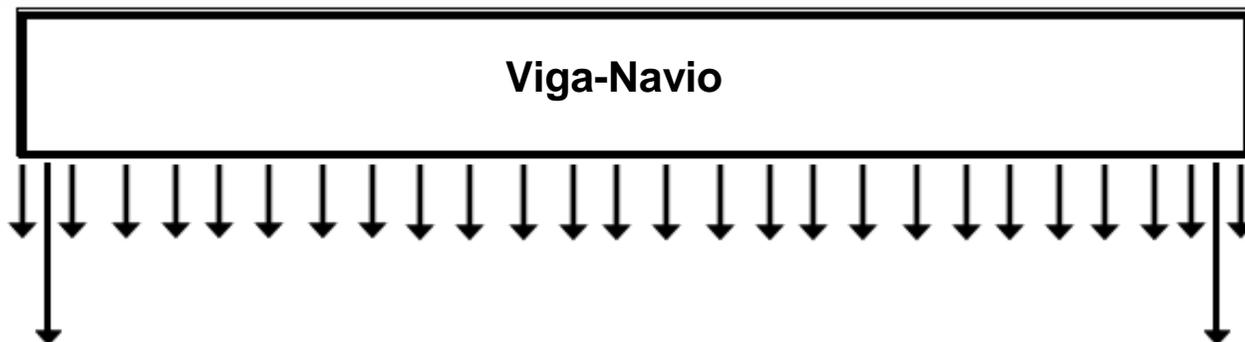
Considerando que o navio se encontra em equilíbrio e não sofre ação de nenhum carregamento dinâmico, teoria simples de vigas e do equilíbrio estático da embarcação (L=150,B=15;H=1;D=2):

$$Empuxo = Peso = \rho_{\text{água}} \times g \times V_{\text{submerso}}$$

$$Carregamentos = 1100 \times 10 \times 7 \times 150 \times 15$$

$$= 17325 \times 10^5 \text{ N}$$

Considerando que 25% deste carregamento está distribuído ao longo do navio e que o restante encontra-se concentrado na proa e popa temos a o diagrama de forças dado por:



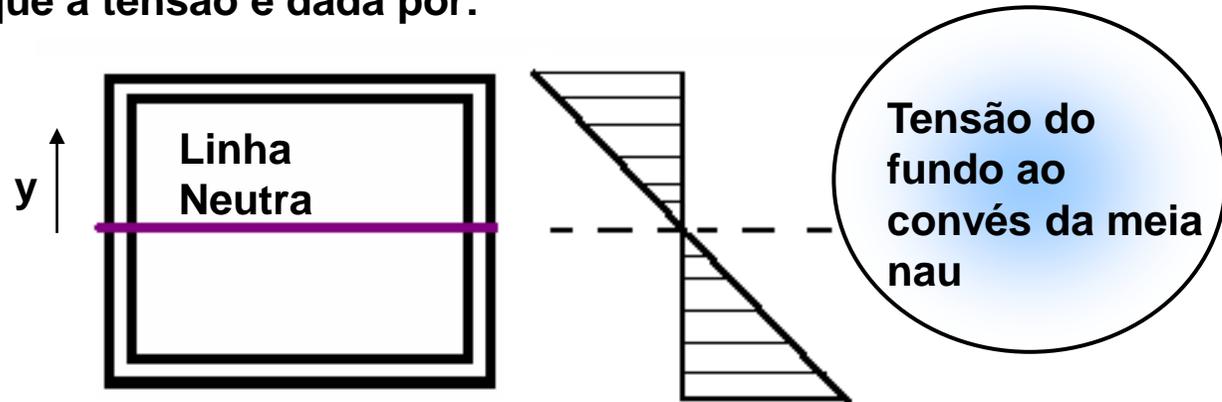
O momento máximo devido a simetria do problema ocorre a meia nau assim o momento fletor é dado por:

$$M = \frac{1}{2} * [(1732,5 * 0,25)^{\frac{1}{2}} * 75 + 1732,5 * 0,75 * 75] * 10^5 \text{ N.m}$$

$$M = 2,833 * 10^9 \text{ (N.m)}$$

Mas sabemos também que a tensão é dada por:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$



Assim como o material é o aço, com tensão de escoamento de 210 GPa temos:

$$210 \cdot 10^9 = (2,833 \cdot 10^9 \cdot 5) / I$$

$$I = 0,14$$

Como o momento de inércia da seção vale:

$I = 15 \cdot (10^3) / 12 - (15-t) \cdot (10-t)^3 / 12$ , encontramos que a espessura mínima do navio é de

**~15mm**



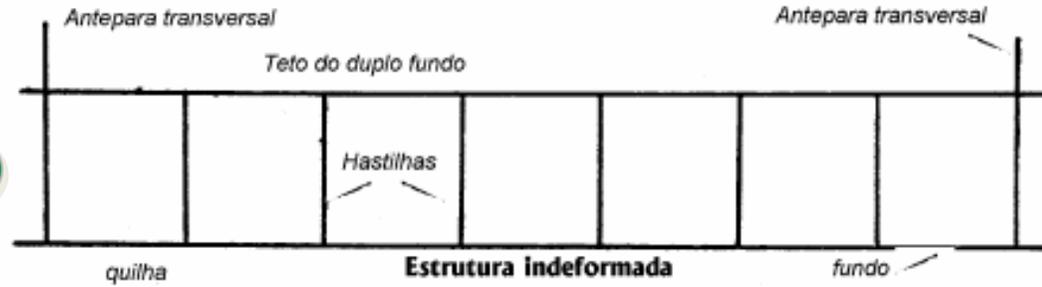
**Grande Espessura**

# Deflexões do Navio

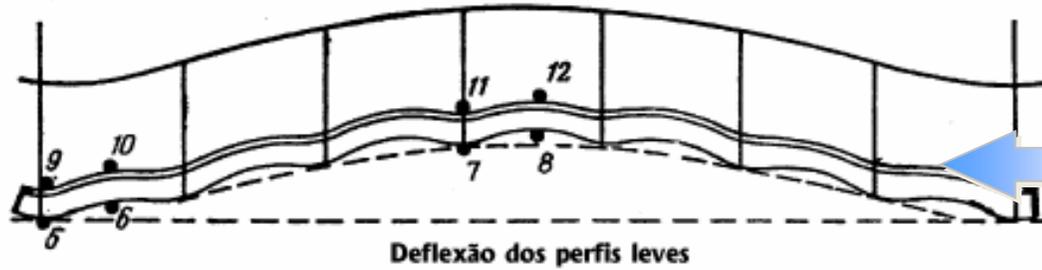
Deformações

Globais

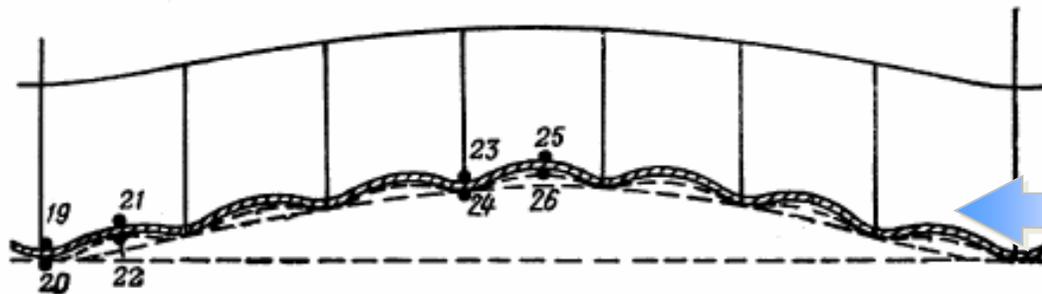
Locais



Primárias



Secundárias



Terciária

# Método de Análise do navio



- Análise Global
- Teoria Simples de Vigas

- Análise Localizada
- Estudo de Reforçadores -Perfis

- Análise “super” localizada
- Estudo do Chapamento

- Viga - Navio
- Carregamento Distribuido
- Onda senoidal

# Síntese

- Como toda estrutura, o navio tem como função “servir de suporte material” para transmissão de esforços;
- O Navio deve resistir ao seu próprio peso e ao seu carregamento sob ação de fatores ambientais aleatórios e de difícil determinação (ondas, correntes, ventos)
- Desenvolveram-se então técnicas para se estimar os esforços e momentos atuantes na embarcação analisando assim, global e localmente a estrutura.

# Estrutura Primária da Viga-Navio

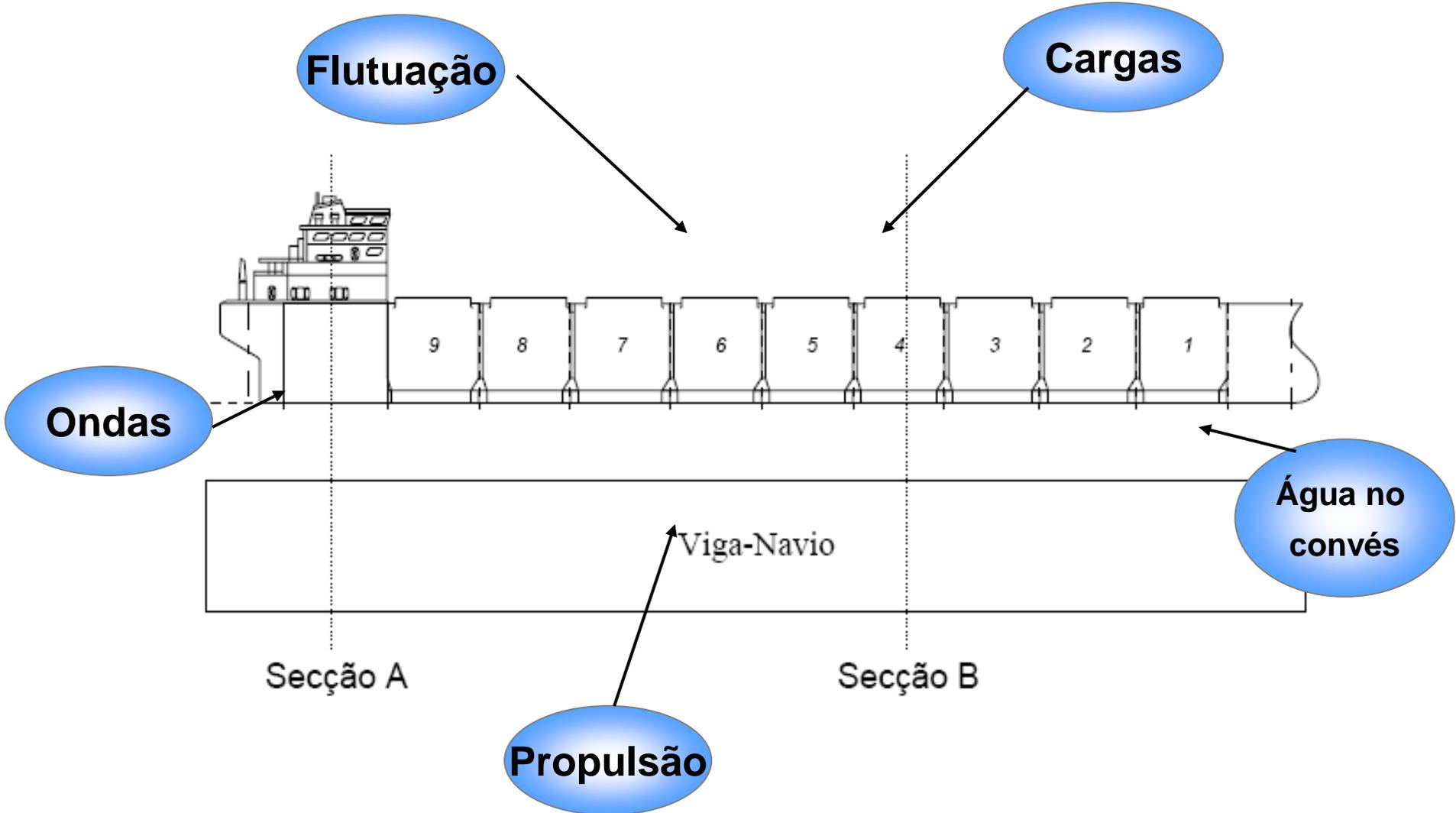


- Para o cálculo da deformação primária, considera-se o navio como uma viga flutuando sem vínculos, submetida a um carregamento formado pela diferença entre a curva de flutuação e a curva de distribuição de pesos.

## Deformação Primária da Viga Navio



# Equilíbrio da Viga “livre-livre”



Flutuação

Cargas

Ondas

Água no convés

Propulsão

Viga-Navio

Secção A

Secção B

9

8

7

6

5

4

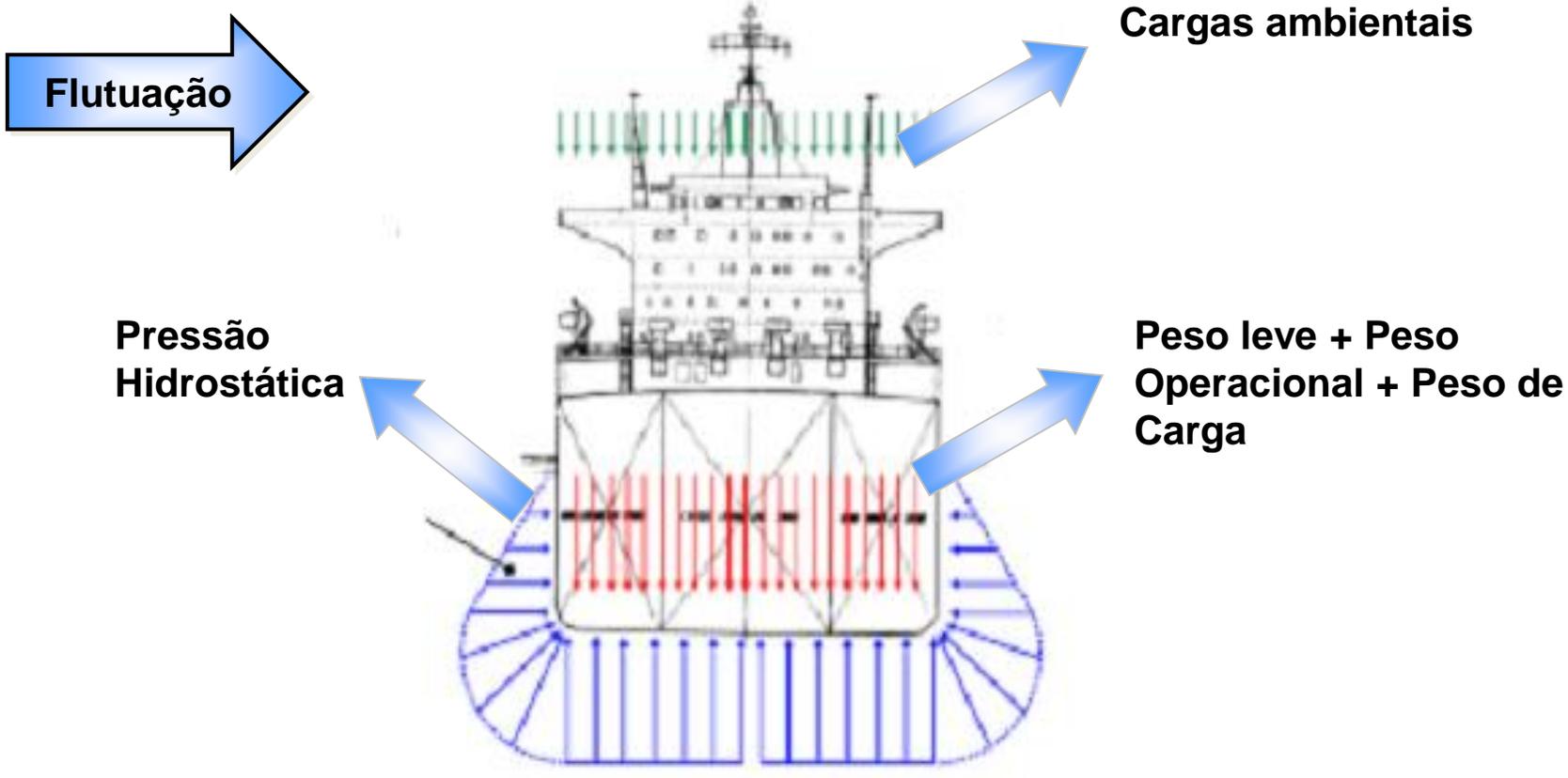
3

2

1



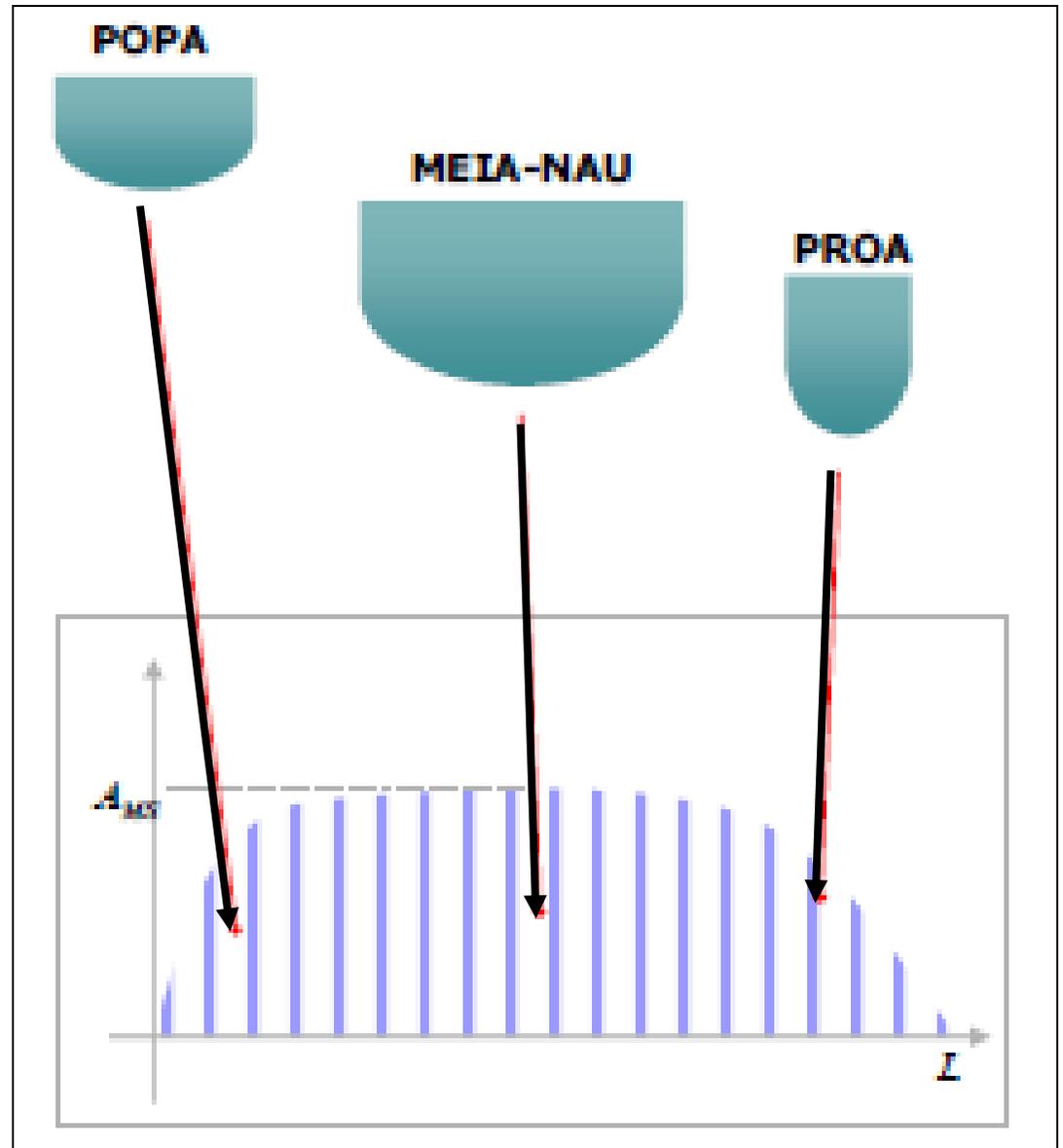
# Carregamentos estruturais estáticos



# Curva de Flutuação

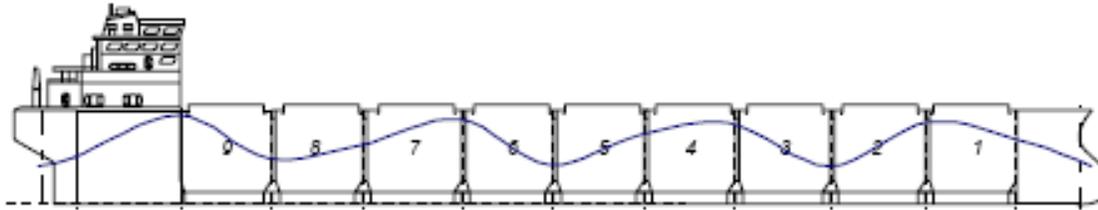
A Curva de Flutuação representa a ação do empuxo ao longo do comprimento do navio

Em águas tranquilas, a curva de flutuação é gerada a partir da curva de áreas seccionais multiplicada pelo peso específico da água em que o navio opera ( $\rho_{\text{água}}g$ )



# Influência das ondas na Flutuação

Ondas com comprimentos de ondas muito menores que o comprimento do navio produzem alteração no calado com frequência muito alta, alterando mais os efeitos locais que globais

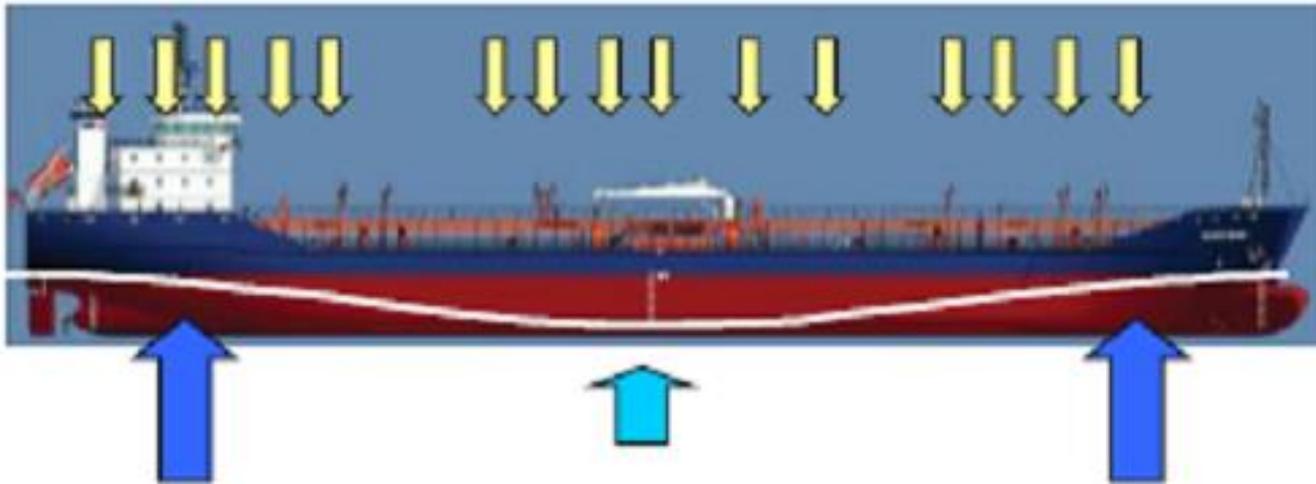


Ondas com comprimentos de ondas muito maiores que o comprimento do navio produzem pouca alteração no calado com frequência muito baixa



# Equilíbrio do navio em onda

Carregamentos Distribuídos



Empuxos atuantes



# Carregamentos estruturais Dinâmicos - Ondas

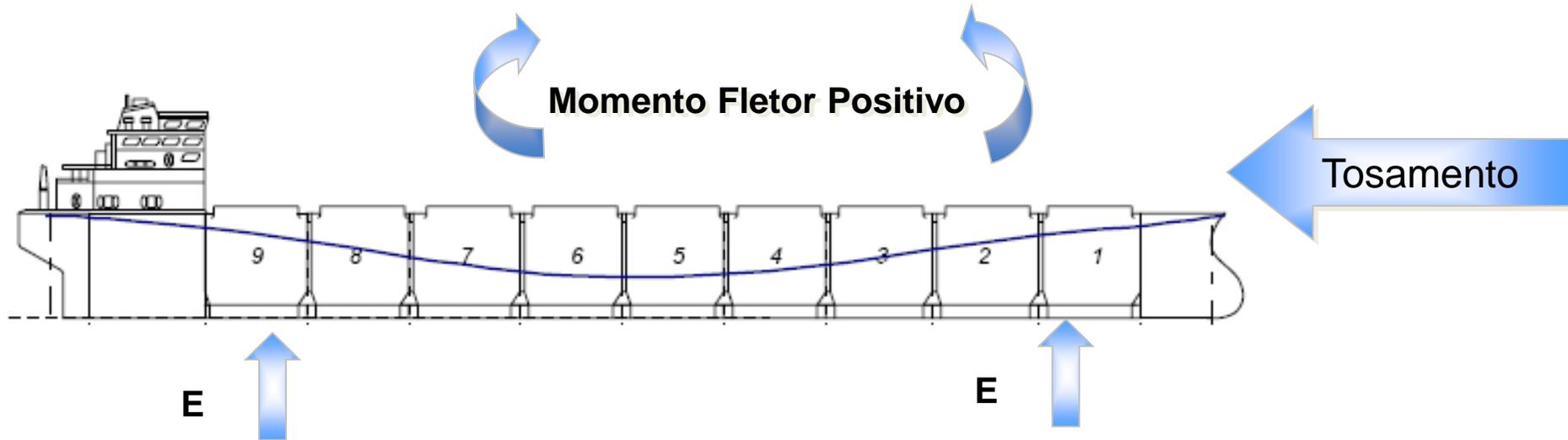
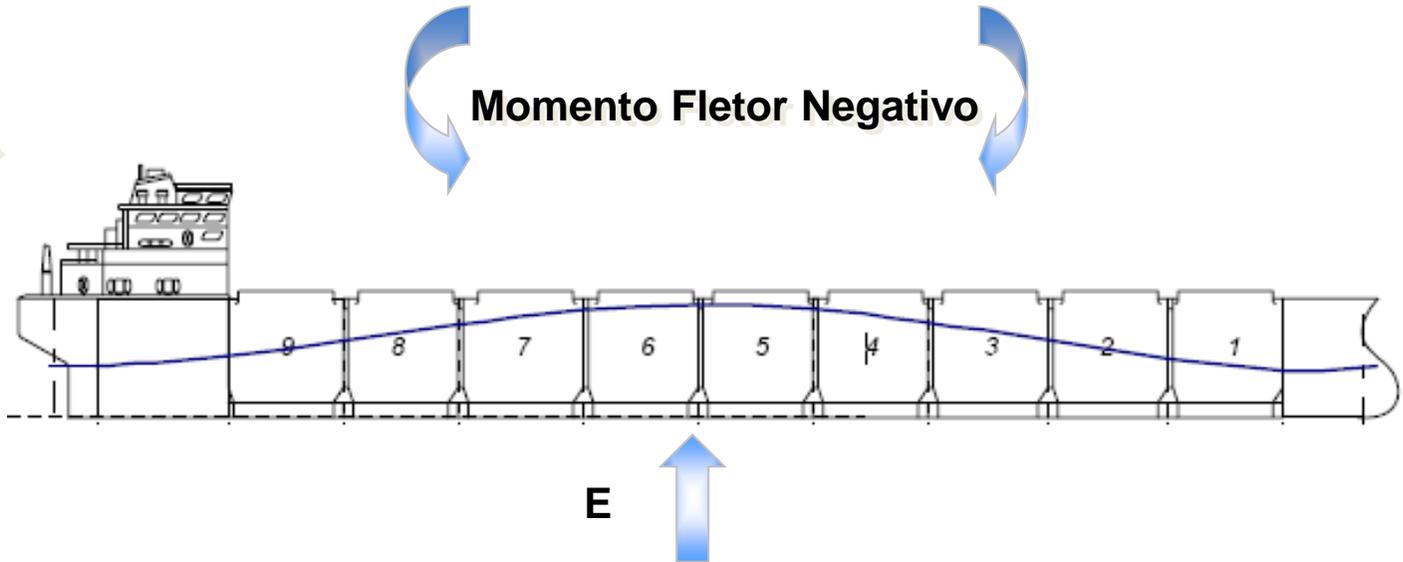
Alquebramento



Tosamento

# Momentos Máximos devido ao Empuxo

Alquebramento



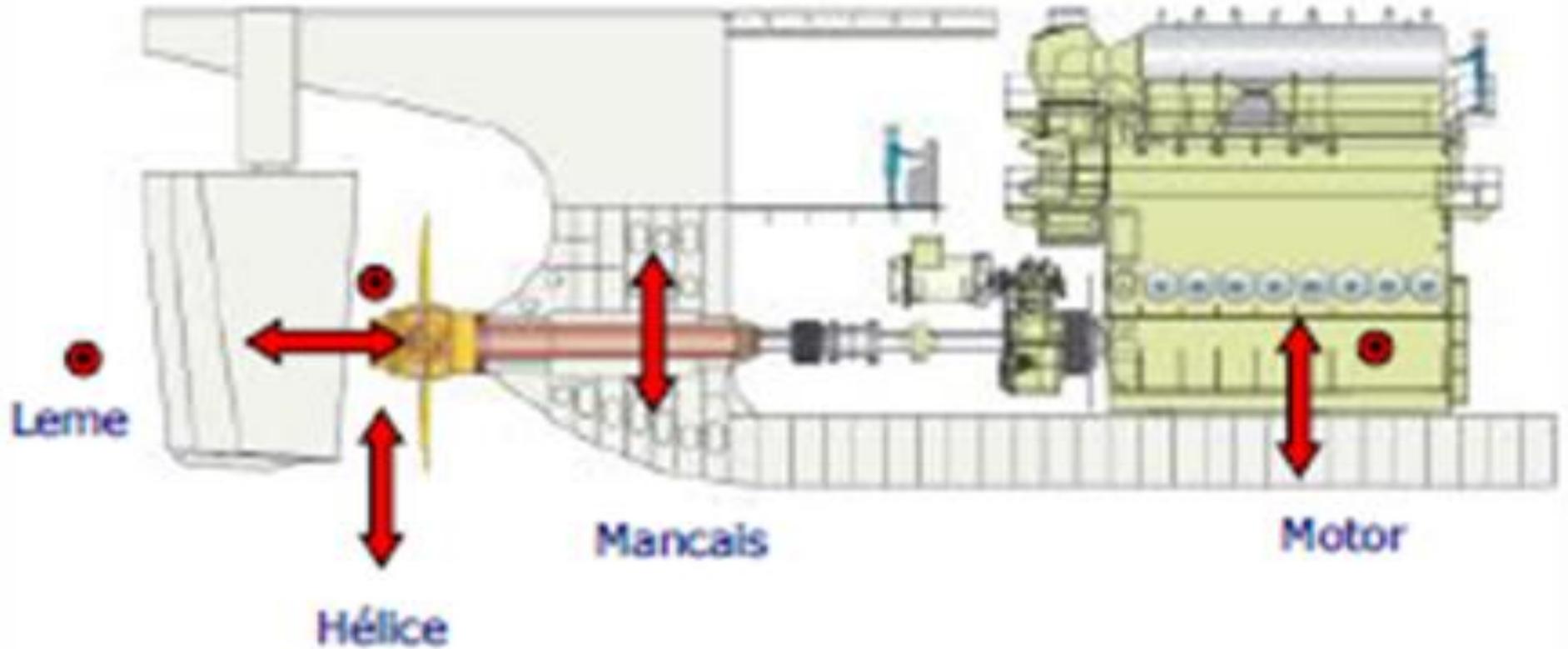
# Carregamentos estruturais Dinâmicos

Embarque de águas no convés



# Carregamentos estruturais Dinâmicos - Ondas

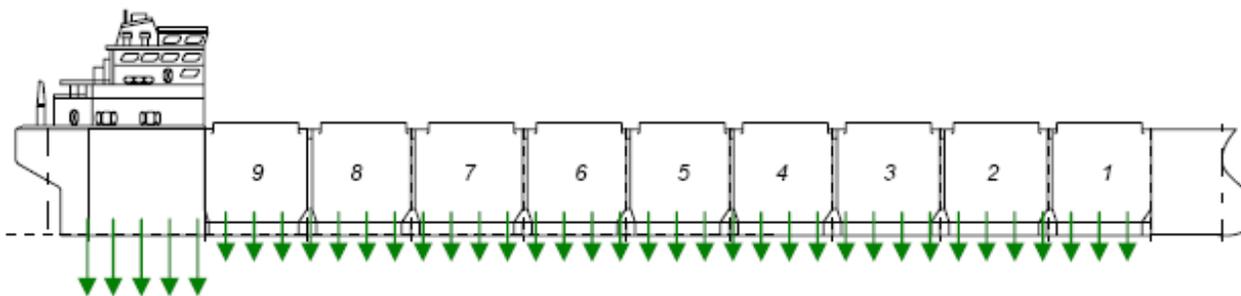
## Sistema de Propulsão





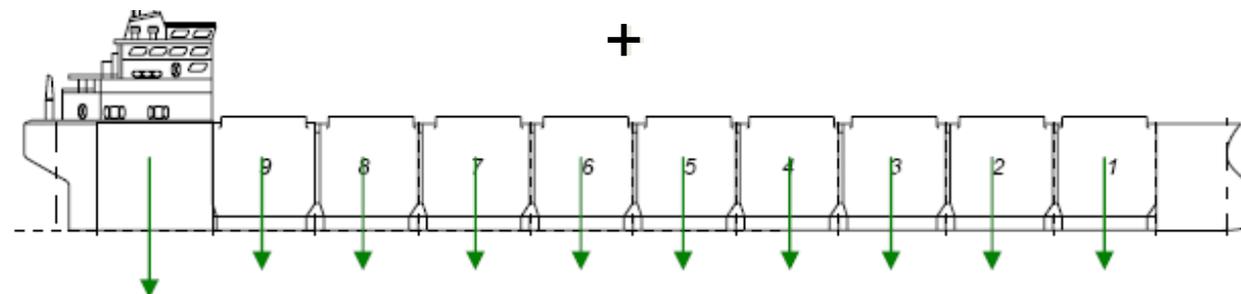
## Determinação da curva de Pesos

Cargas  
Distribuidas



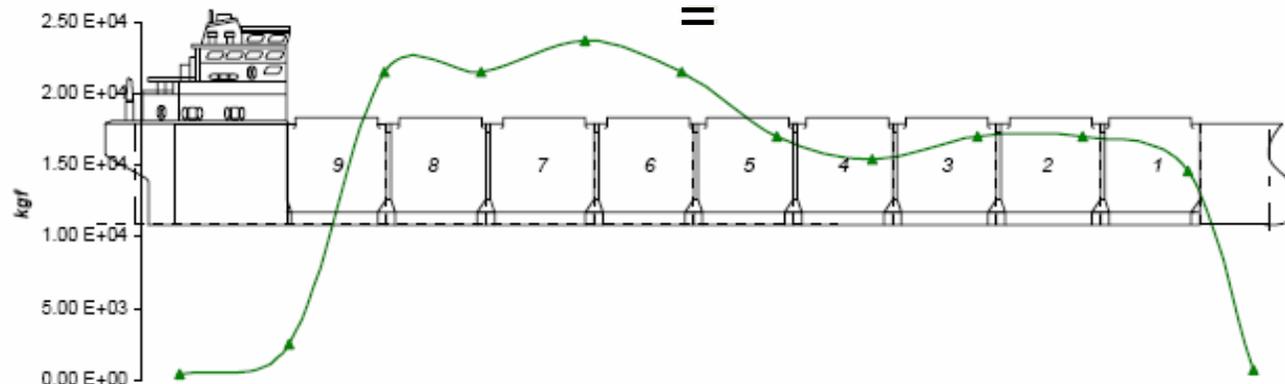
+

Cargas Pontais



=

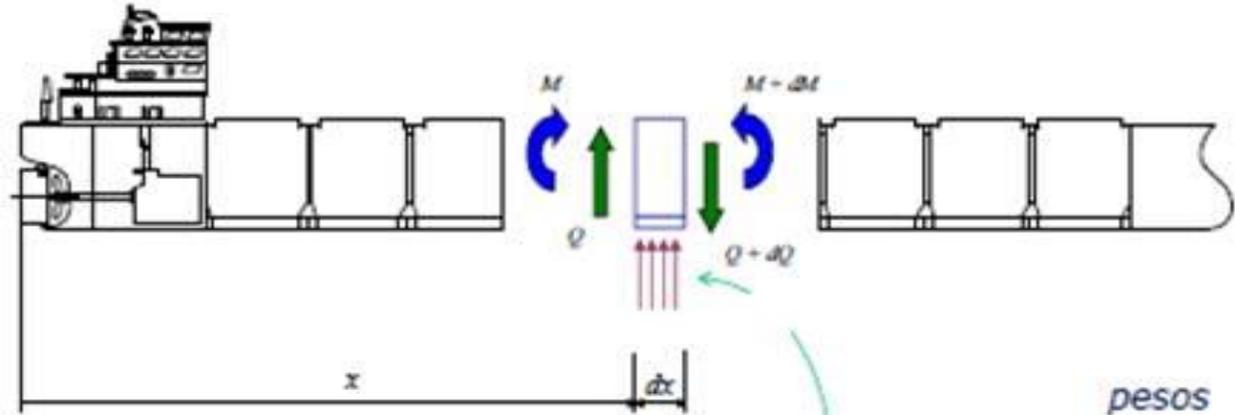
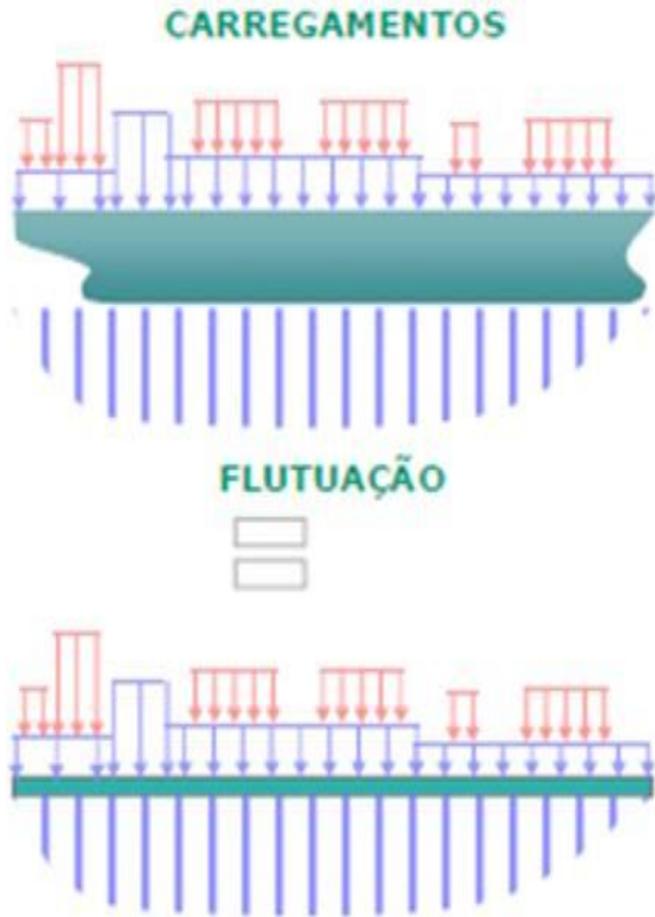
Curva de Carga



Cada arranjo de carregamento pode ser associado a uma curva de carga, associada ao peso do carregamento transportado mais a curva do peso próprio do navio

# Curva de Carregamento

A diferença entre a Curva de Flutuação e a Curva de Pesos formará a Curva de Carregamento.

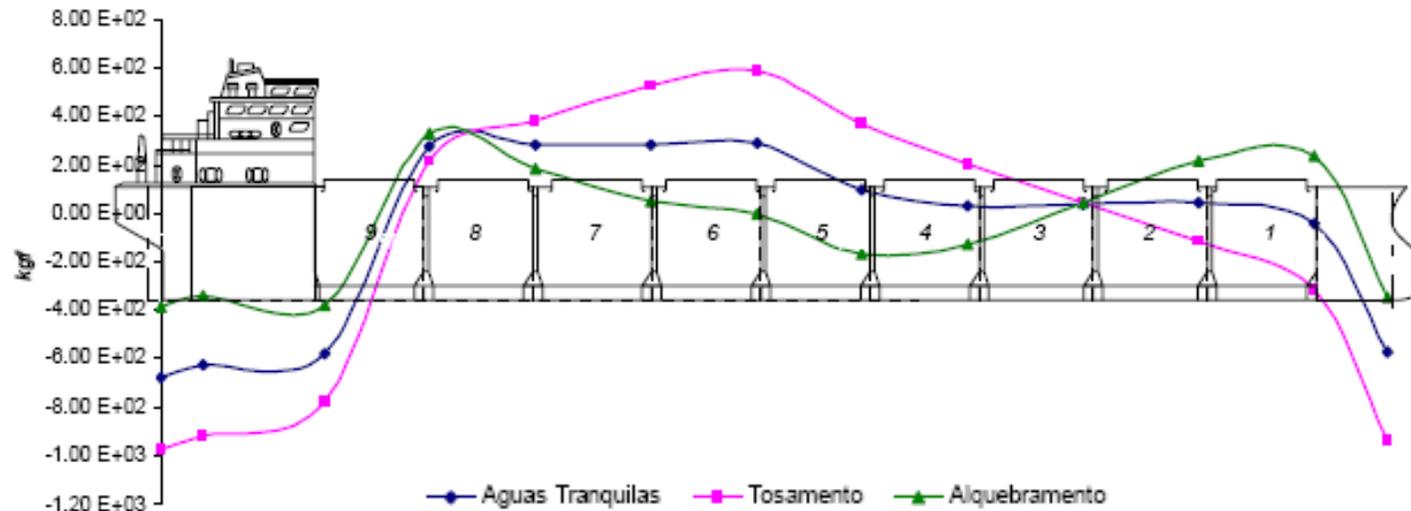


da curva de carregamentos:  $f(x) = b(x) - w(x)$ .

flutuação

pesos

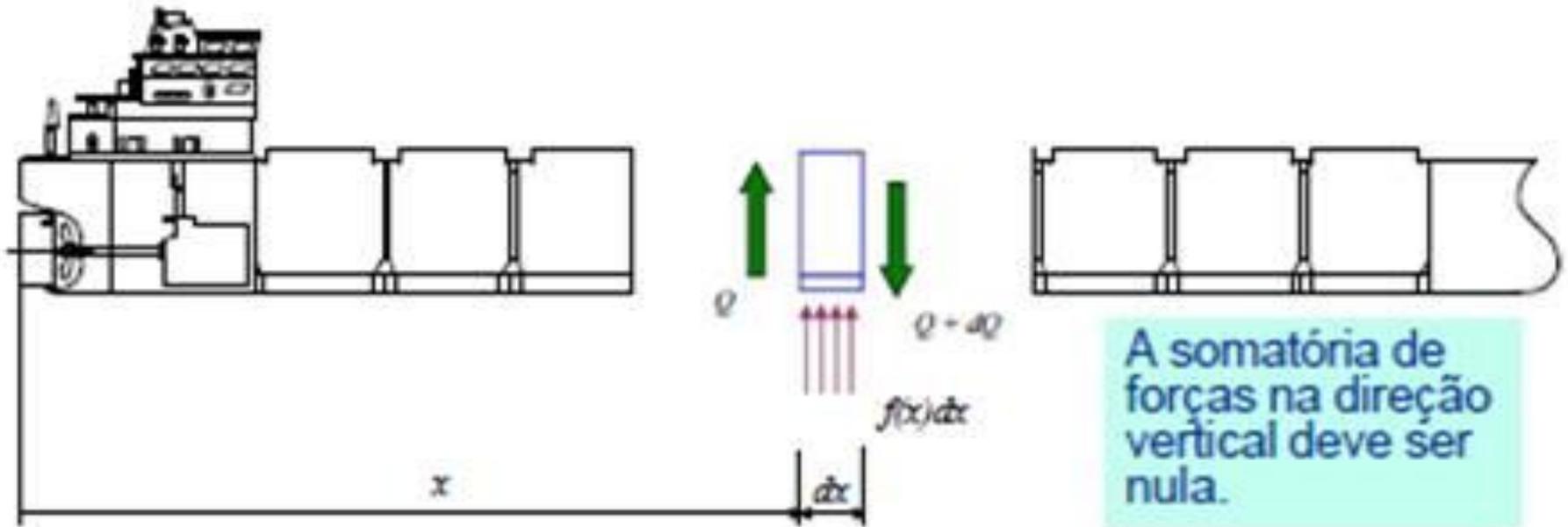
# Curva de Carregamento



➡ Percebe-se que o carregamento tanto máximo, tanto no tosamento quanto no alquebramento possui valores superiores as cargas máximas em águas tranquilas.

# Determinando as Forças Cortantes

O diagrama das forças cortantes é obtido integrando a curva de cargas.



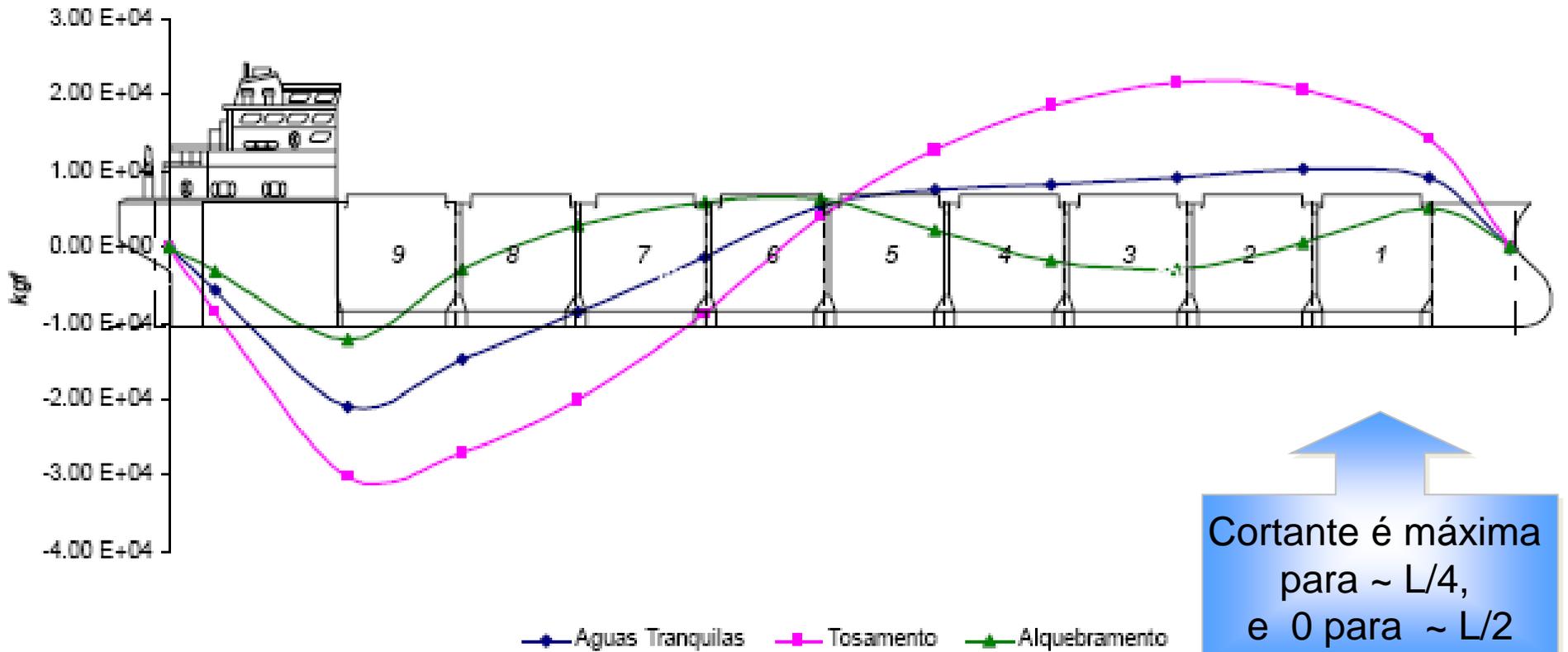
$$Q + f dx - Q - dQ = 0$$

$$\rightarrow Q(x) = \int_0^x f(x) dx + C \rightarrow$$

$$Q(x) = \sum_i f_i \Delta x_i$$



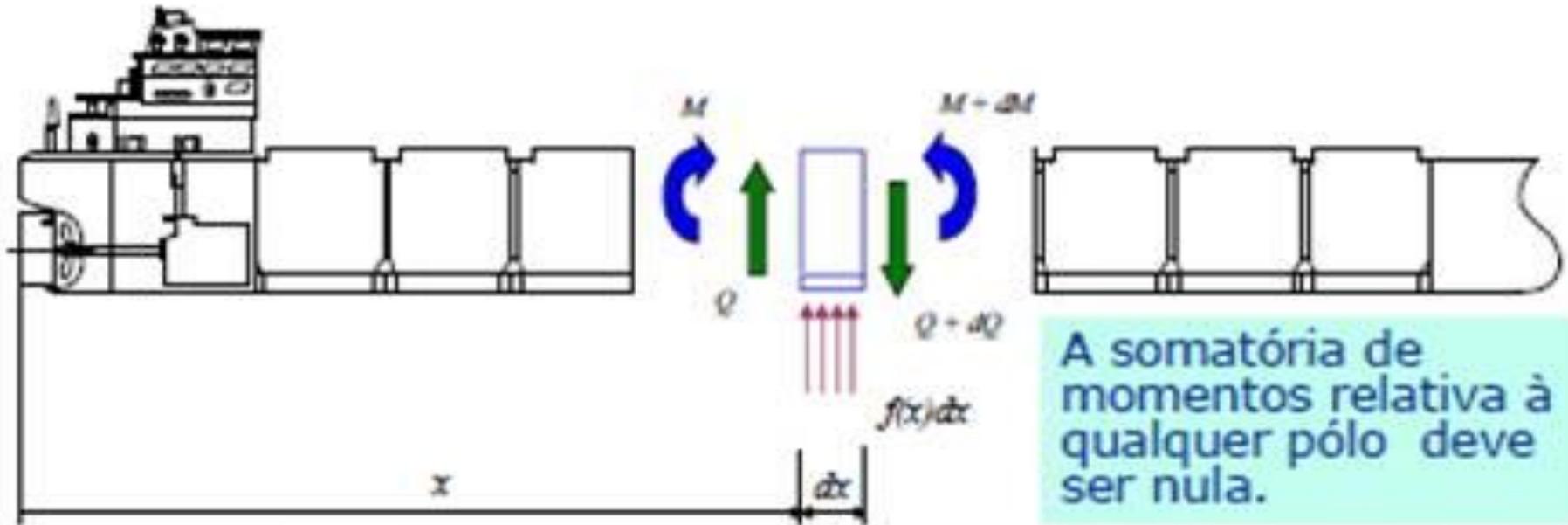
# Determinando as Forças Cortantes





# Diagrama de Momentos Fletores

Integrando a força cortante obtemos o Momento Fletor



$$M + dM + \frac{1}{2}(f dx) dx - (Q + dQ) dx - M = 0$$

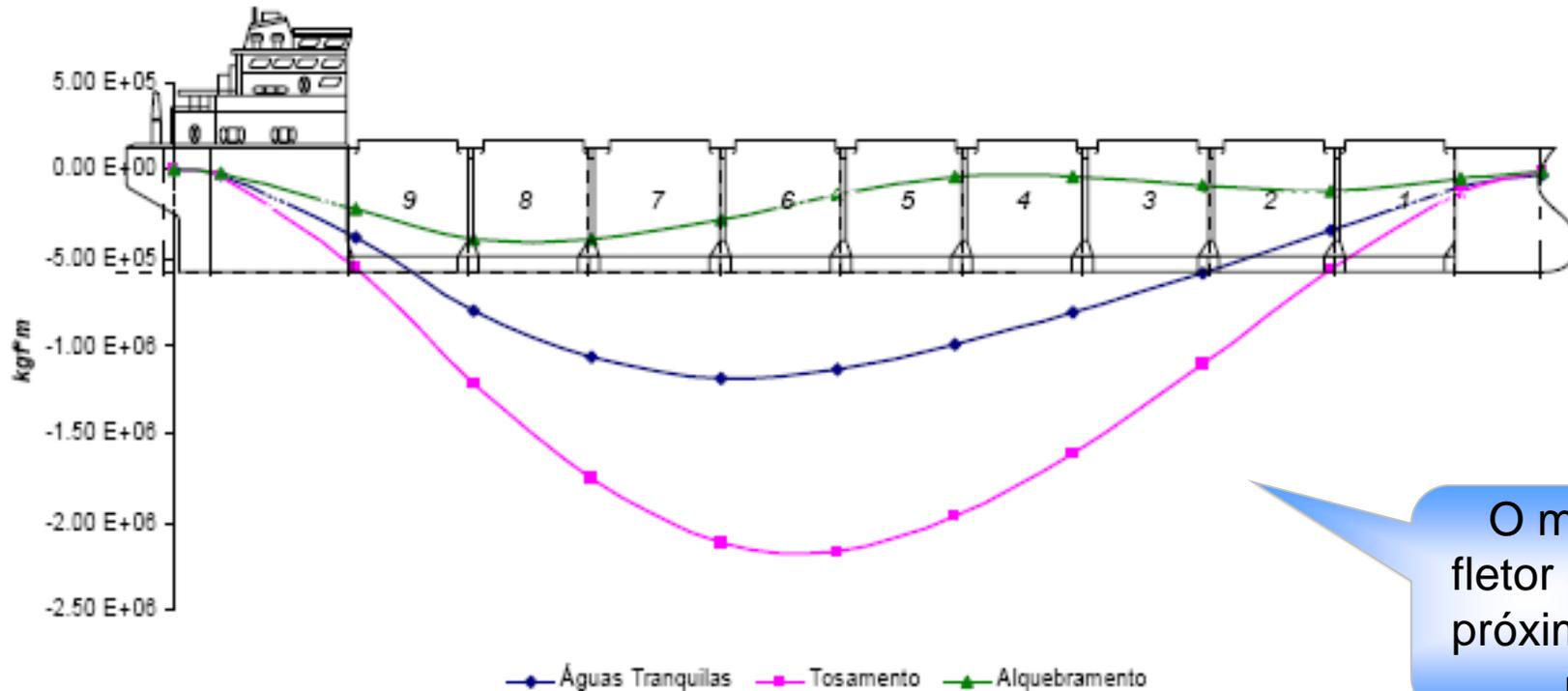


$$M(x) = \int_0^x Q(x) dx + C$$



$$M(x) = \sum_i Q_i \Delta x_i$$

# Diagrama de Momentos Fletores

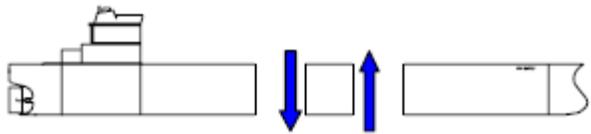


O momento fletor é máximo próximo a meia nau.

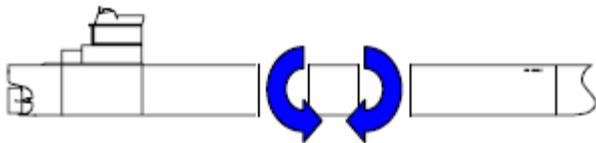
Os diagramas de Momentos Fletores e de Forças Cortantes representam os esforços globais das embarcações.

# Sintetizando:

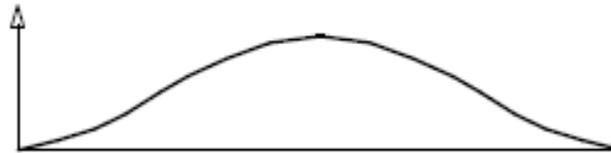
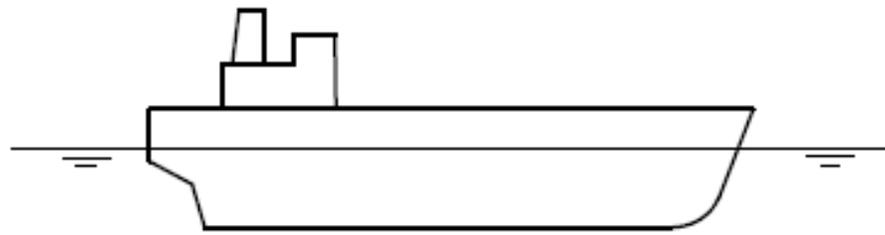
$$q(x) = \text{Empuxo} - \text{Peso}$$



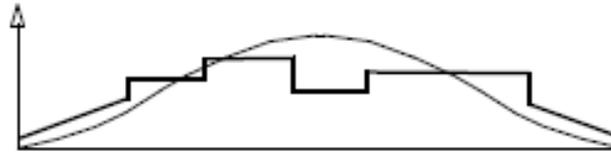
$$Q(x) = \int_0^l q(x) dx$$



$$M(x) = \int_0^l Q(x) dx$$



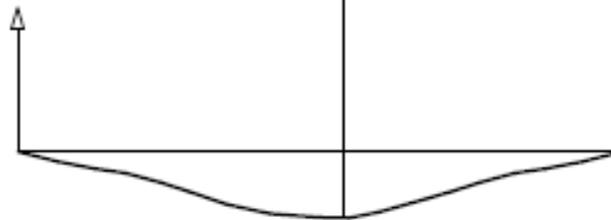
(a) Curva de Flutuabilidade



(b) Curva de Distribuição de Pesos



(c) Diagrama de Força Cortante



(d) Diagrama de Momento Fletor

A Tensão é dada por :

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

# Módulo de Resistência – aos elementos que contribuem para o momento de inércia da viga navio dá-se o nome de estrutura primária

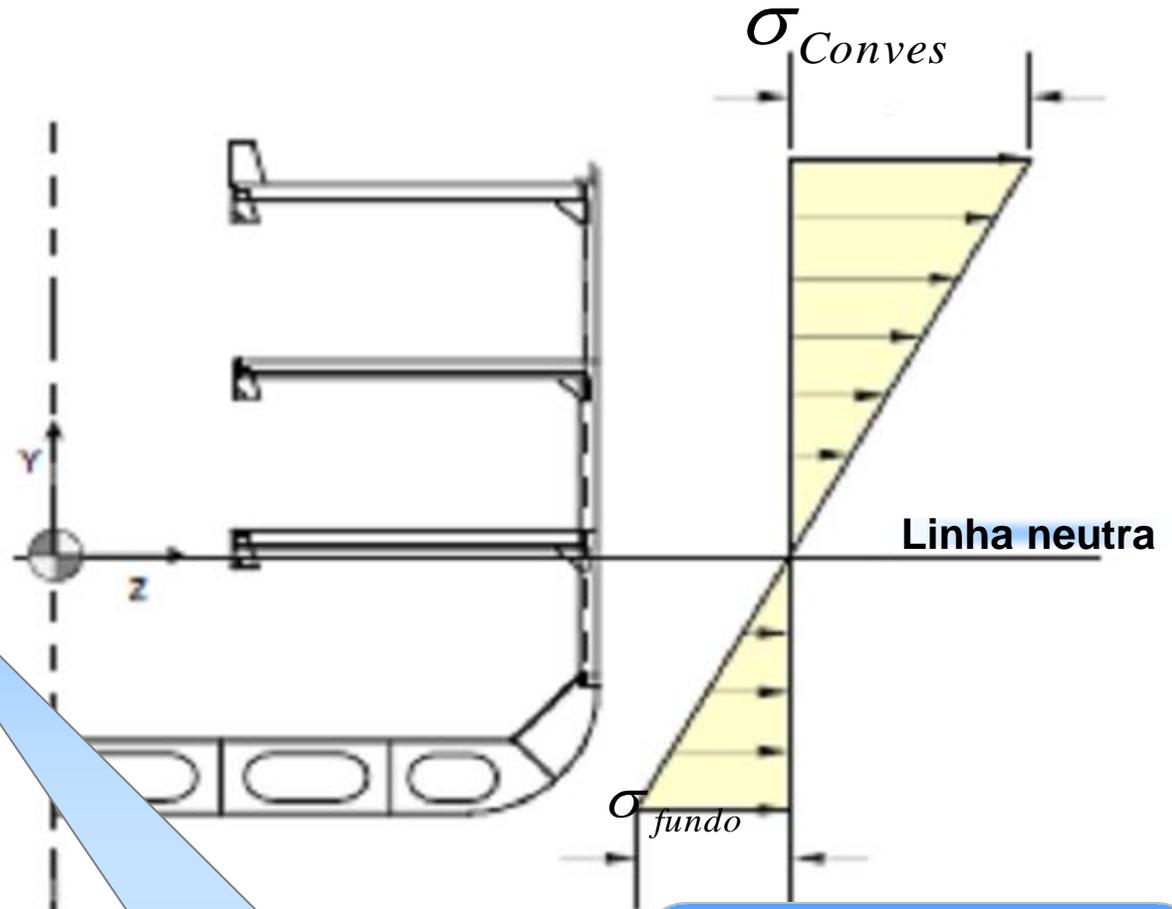
O Módulo de Resistência é dado por:

$$Z = \frac{I}{y_i}$$

$y_i$  é a distância vertical de um ponto da secção à linha neutra.

Nos Pontos extremos (Convés e Fundo):

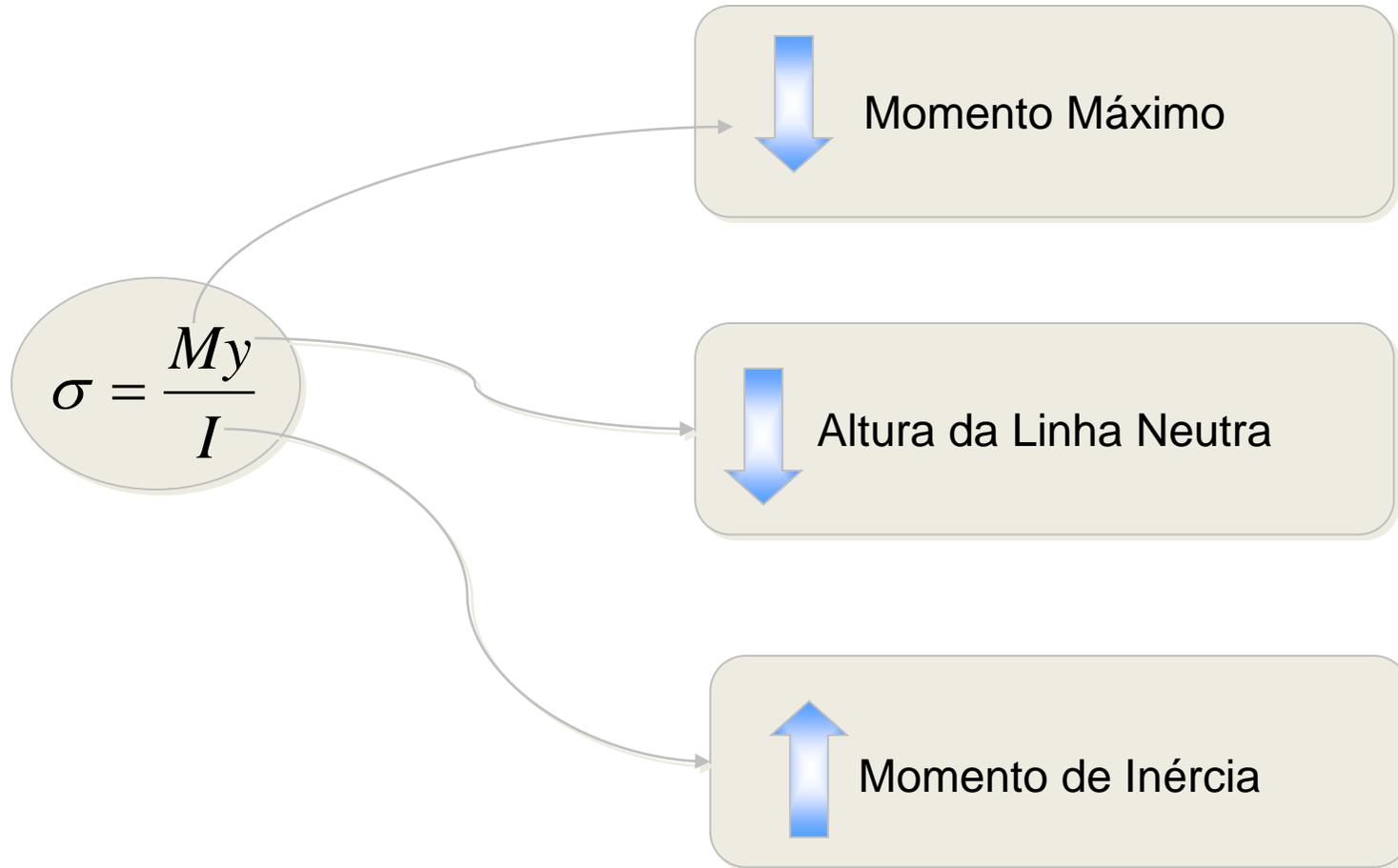
$$Z_c = \frac{I}{y_c} \quad Z_f = \frac{I}{y_f}$$



- Momento de inércia transversal é a soma das áreas de seção dos elementos longitudinais multiplicados pela distância ao quadrado da linha neutra

A Linha Neutra é a superfície material de um corpo que separa sua zona comprimida de sua zona tracionada.

## Para reduzirmos o valor da tensão máxima



**Arranjo Estrutural**

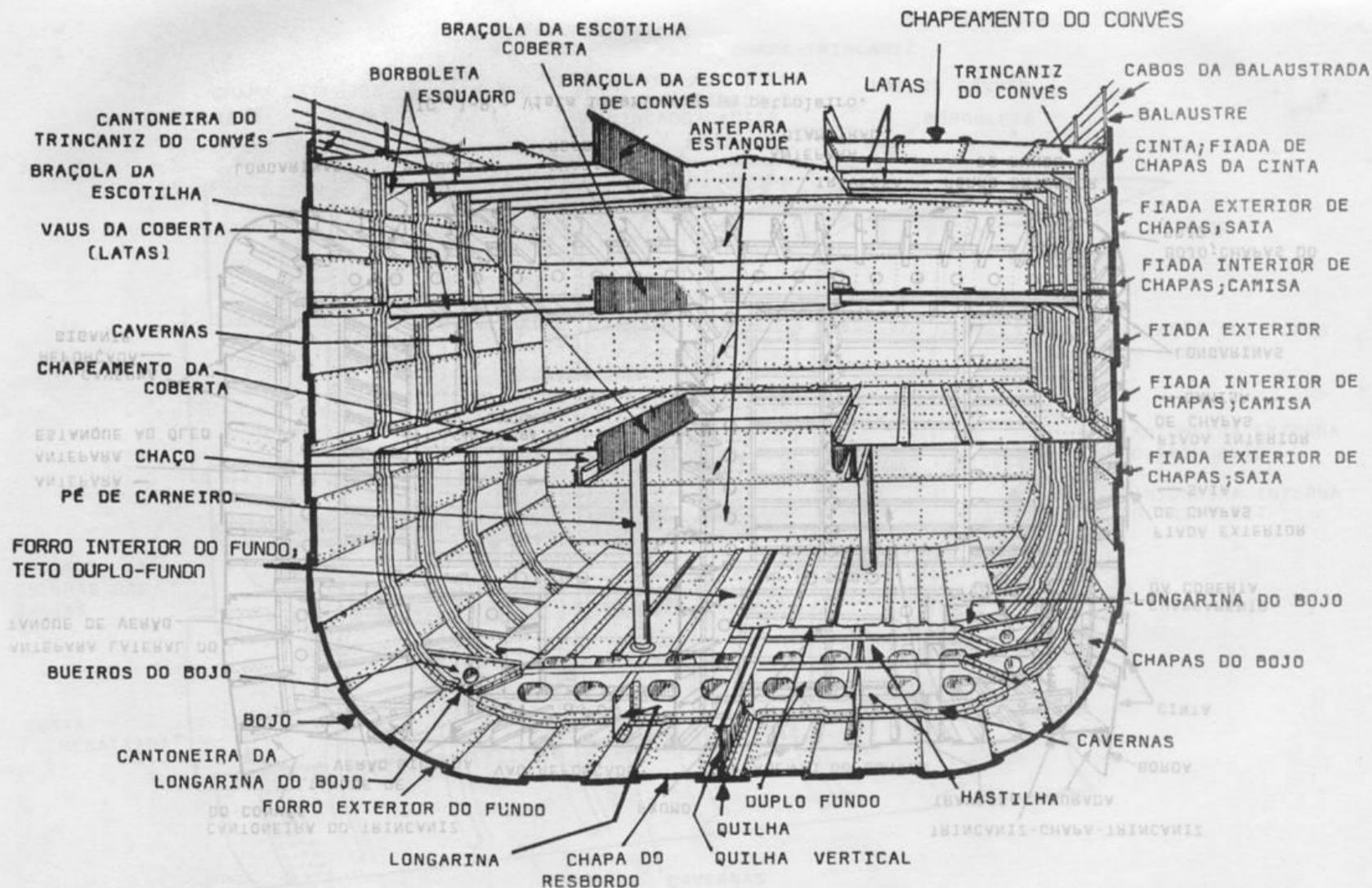


# Nomenclatura mínima necessária para o arranjo estrutural – ver desenhos adiante

- **Costado**
- **Convés**
- **Cavernas**
- **Longarinas**
- **Longarinas vazadas**
- **Quilha**
- **Hastilhas**
- **Sicordas**
- **Antepara (transversal ou longitudinal)**
- **Vau (reforçador transversal dos conveses)**

- **Trincaniz (encontro do convés com o costado)**
- **Bojo**
- **Longitudinais leves e pesados; reforçadores**
- **Borboleta**
- **Chapeamento**
- **Duplo fundo**
- **Prumos (vertical) e travessas (horizontal) elementos estruturais reforçadores das anteparas**

# Arranjo Estrutural do Navio: Transversal



NOMENCLATURA DO NAVIO

FIG. 1-8 - Vista interior de um navio mercante.

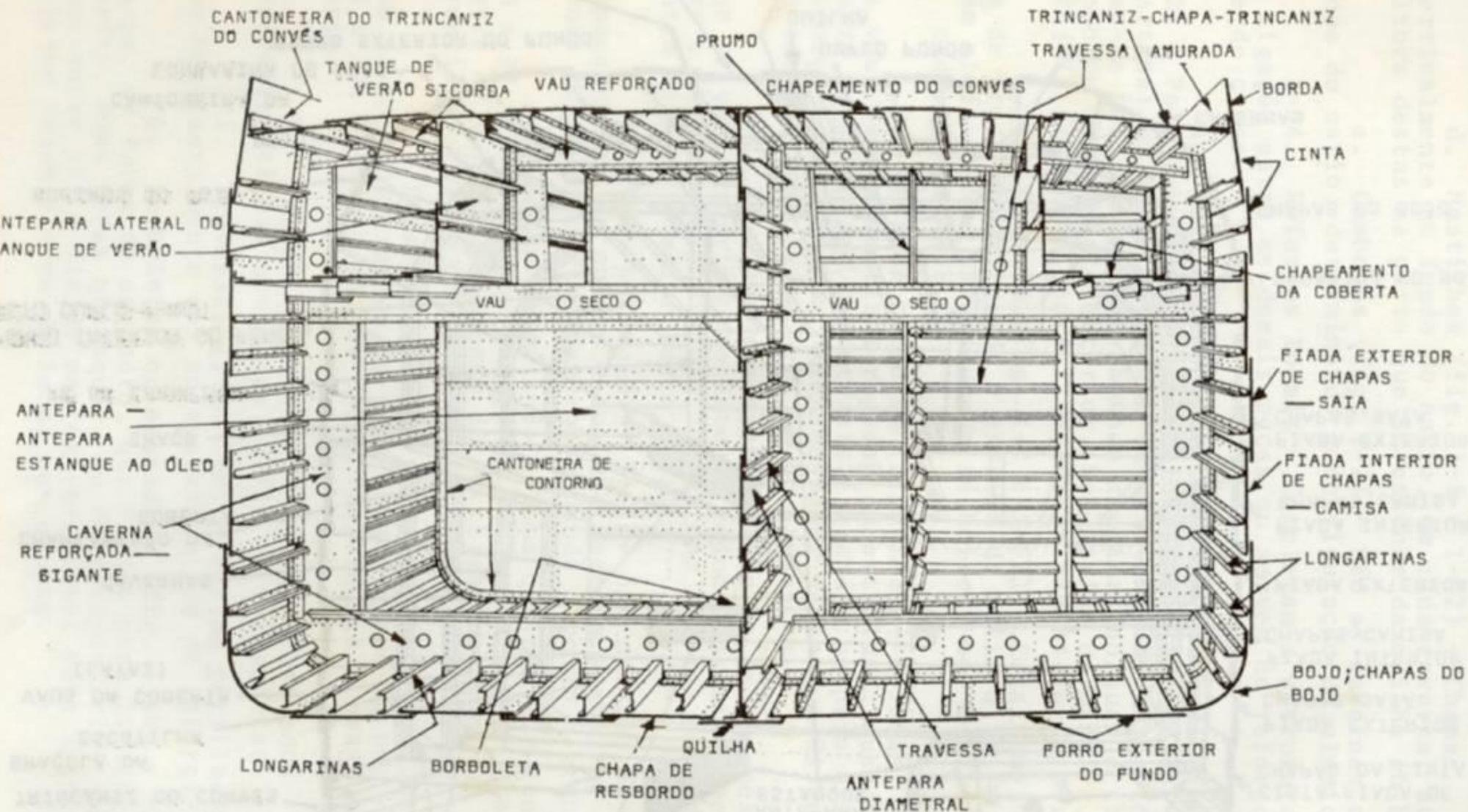
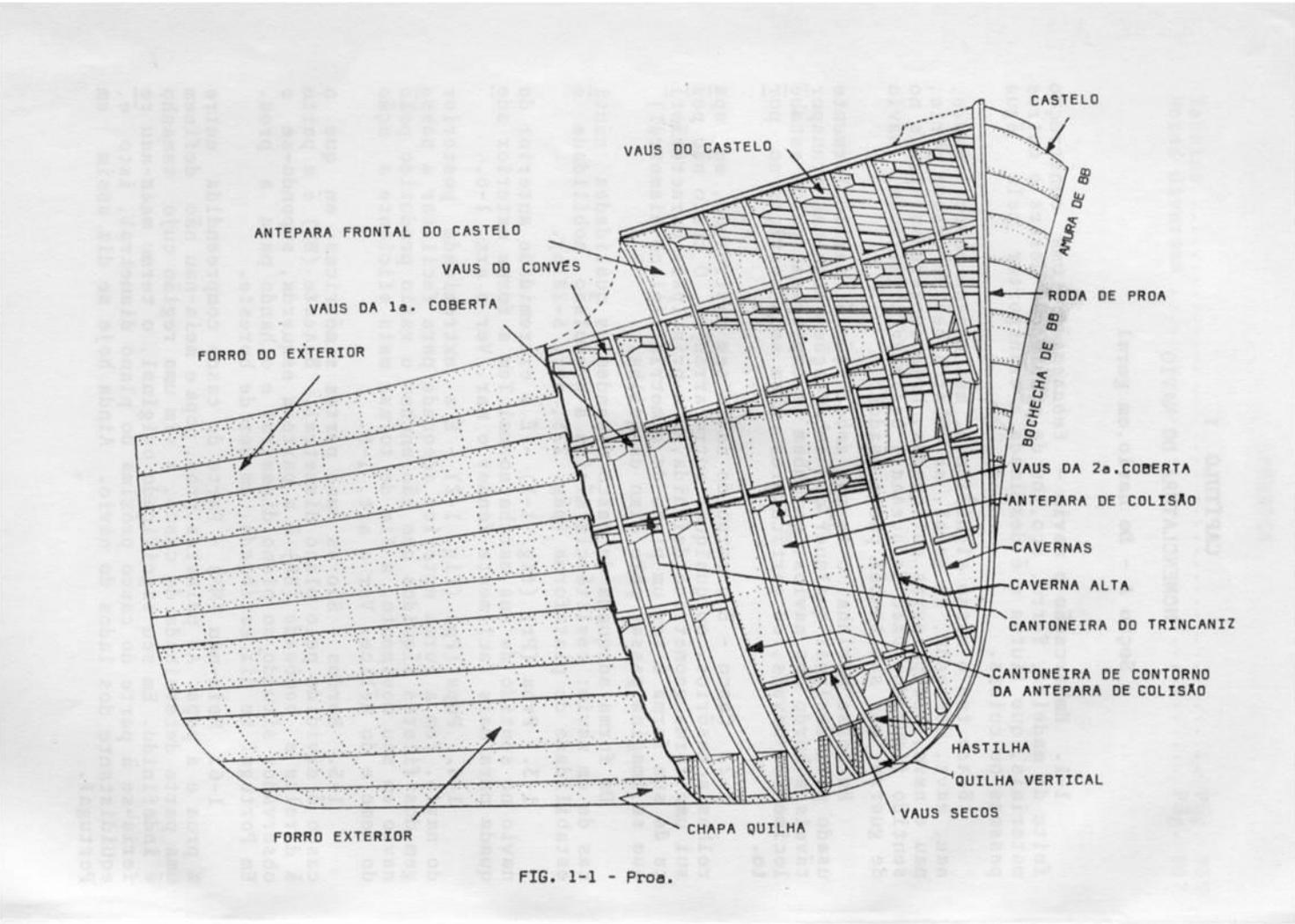
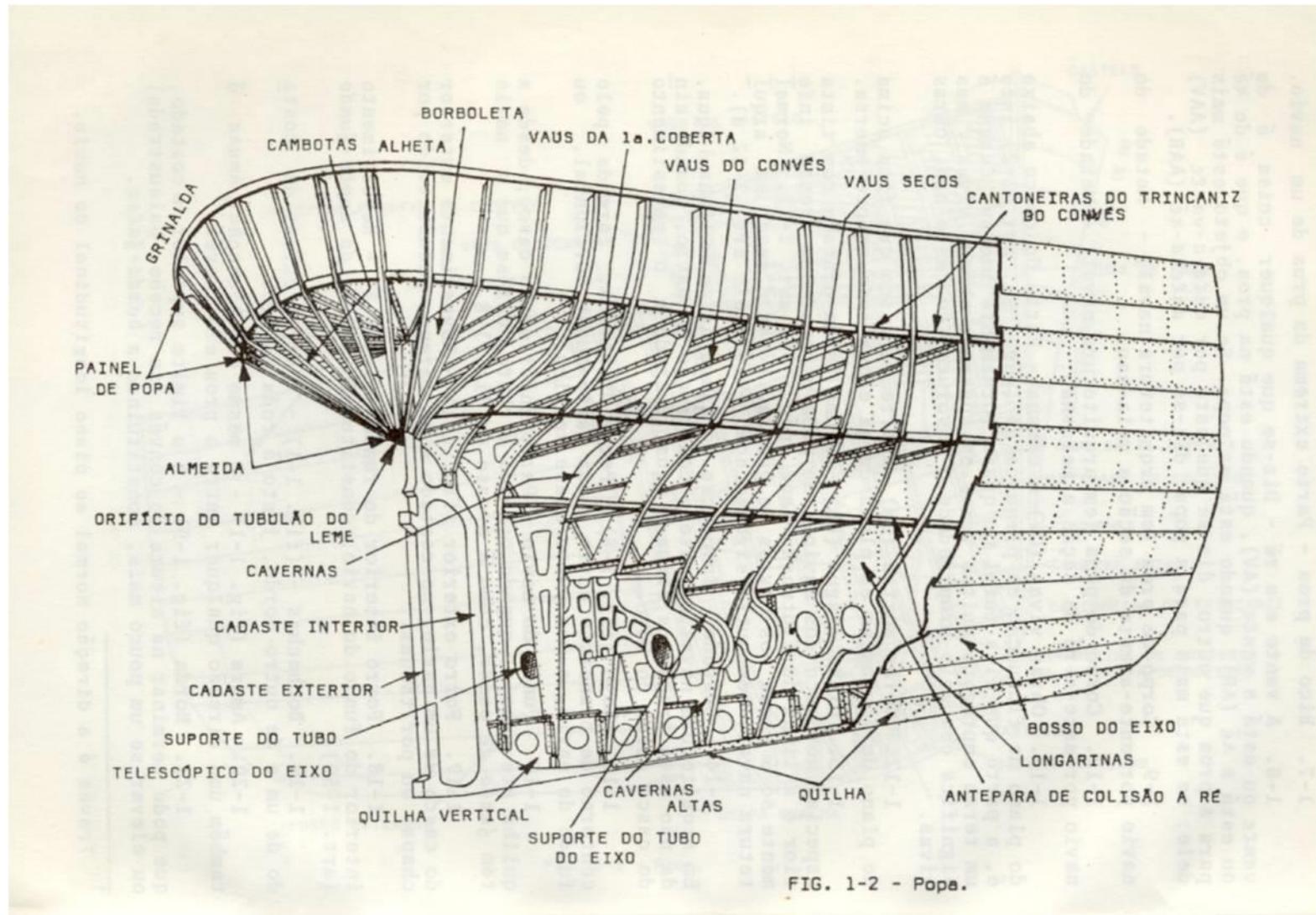


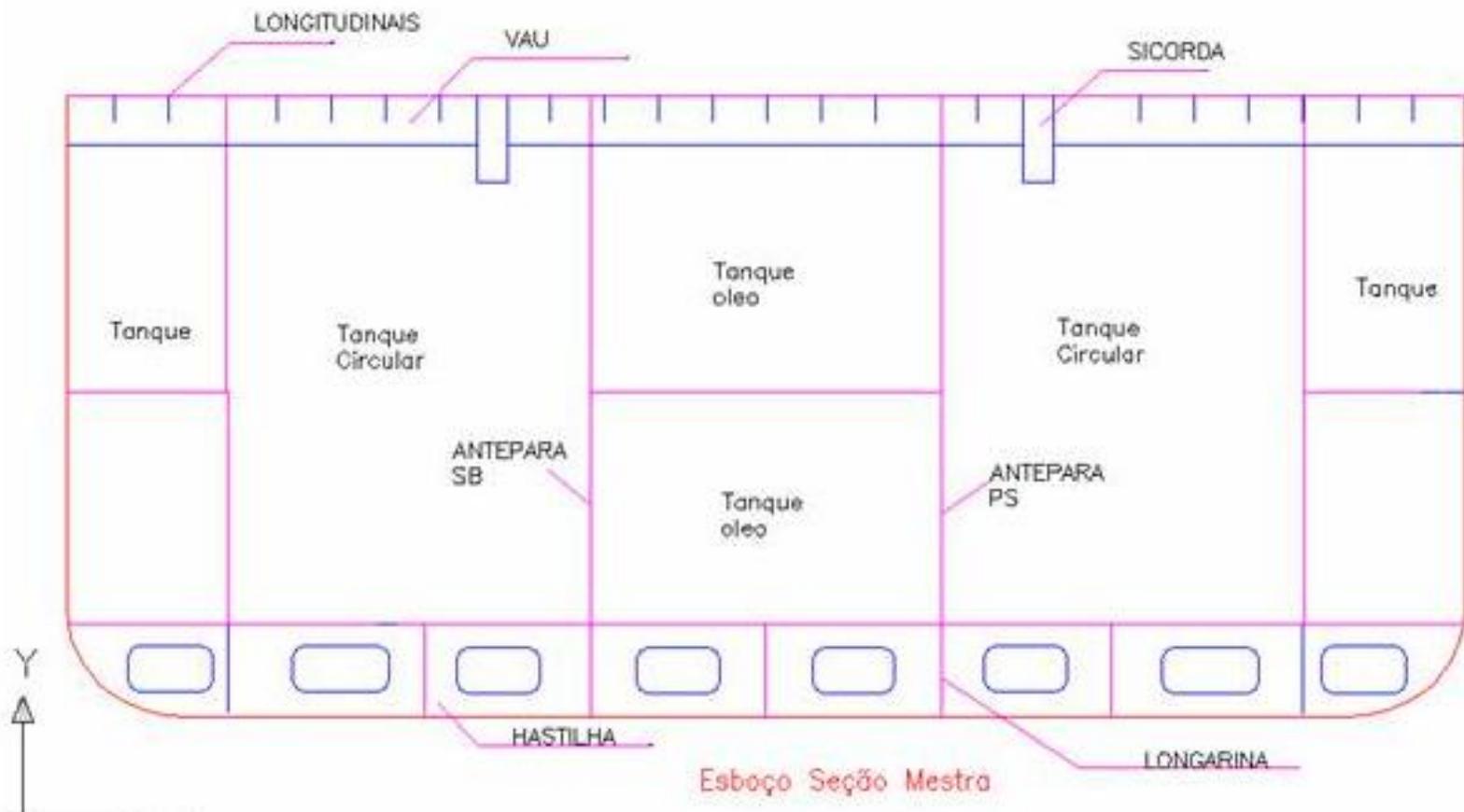
FIG. 1-9 - Vista interior de um petroleiro.

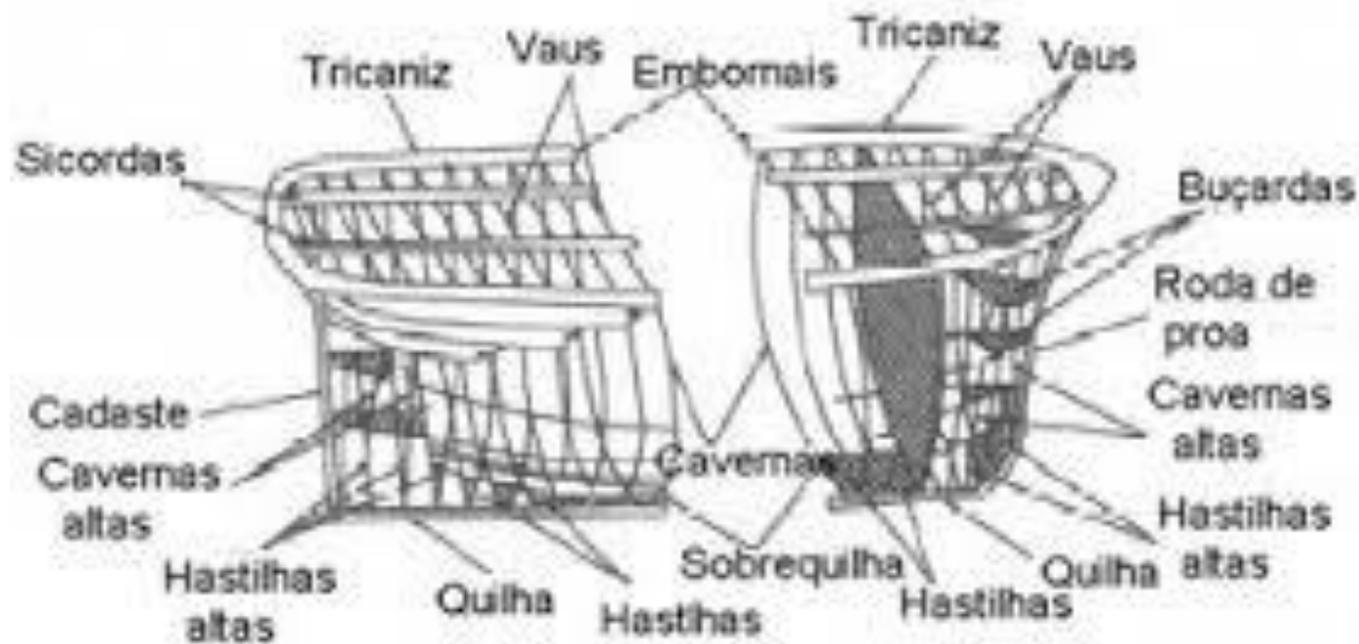
# Arranjo Estrutural do Navio: Proa

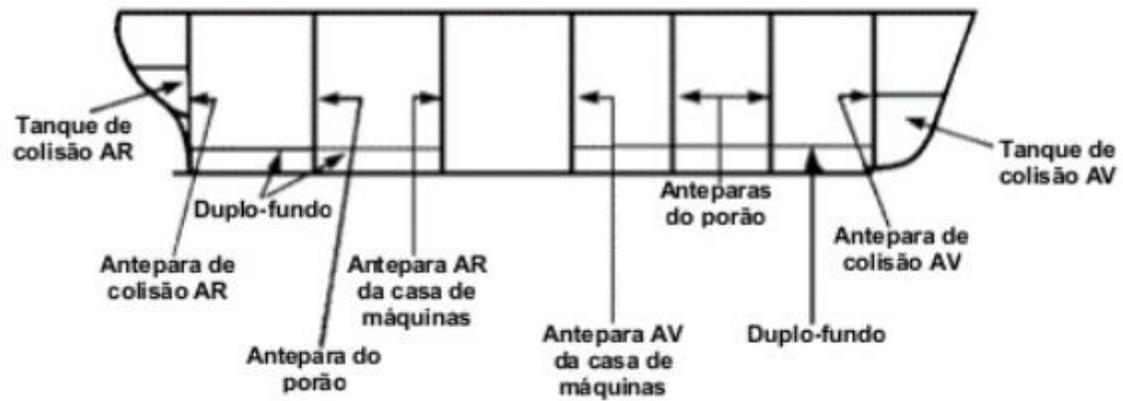


# Arranjo Estrutural do Navio: Popa



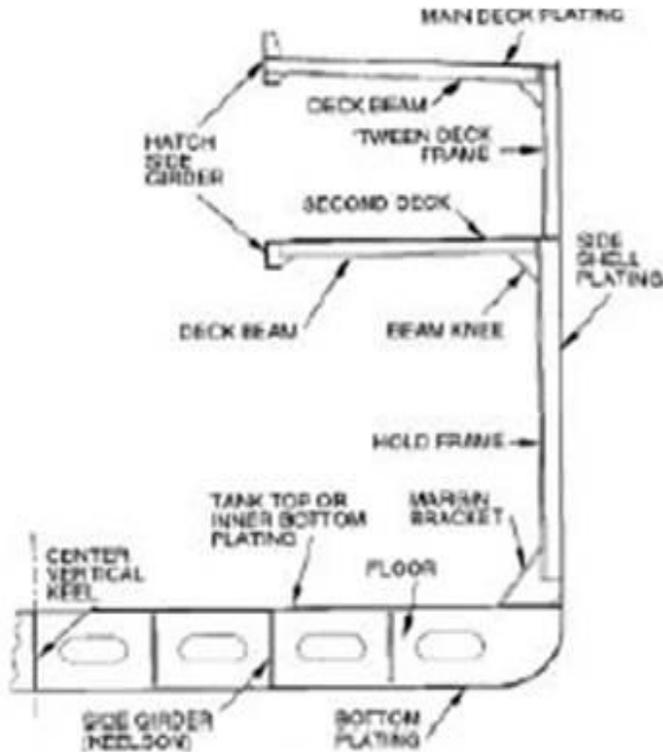






# Arranjo Estrutural: Cavernamento

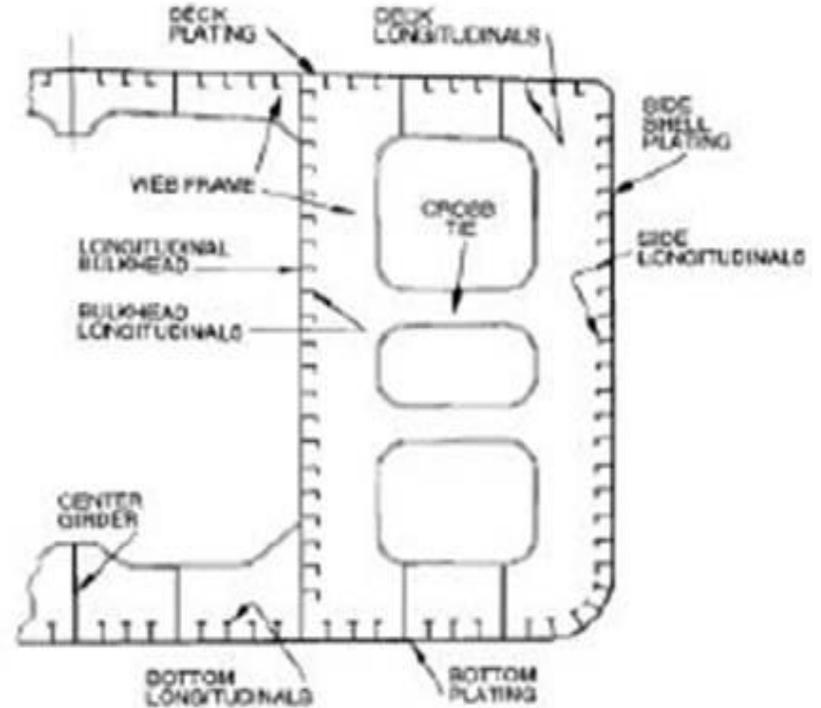
## Cavernamento Transversal



Arranjo estrutural onde não há enrijecedores longitudinais leves ao longo de toda a seção.

Unidades de Chapeamento apresentam o lado longo na direção transversal da embarcação

## Cavernamento Longitudinal



Arranjo estrutural onde há enrijecedores longitudinais leves ao longo de toda a seção.

Unidades de Chapeamento apresentam o lado longo na direção longitudinal da embarcação

# Arranjo Estrutural: Cavernamento Misto

## Cavernamento misto

Tanque de asa: longitudinal

\* Costado: transversal

Tanque de bojo: longitudinal

Duplo fundo: longitudinal

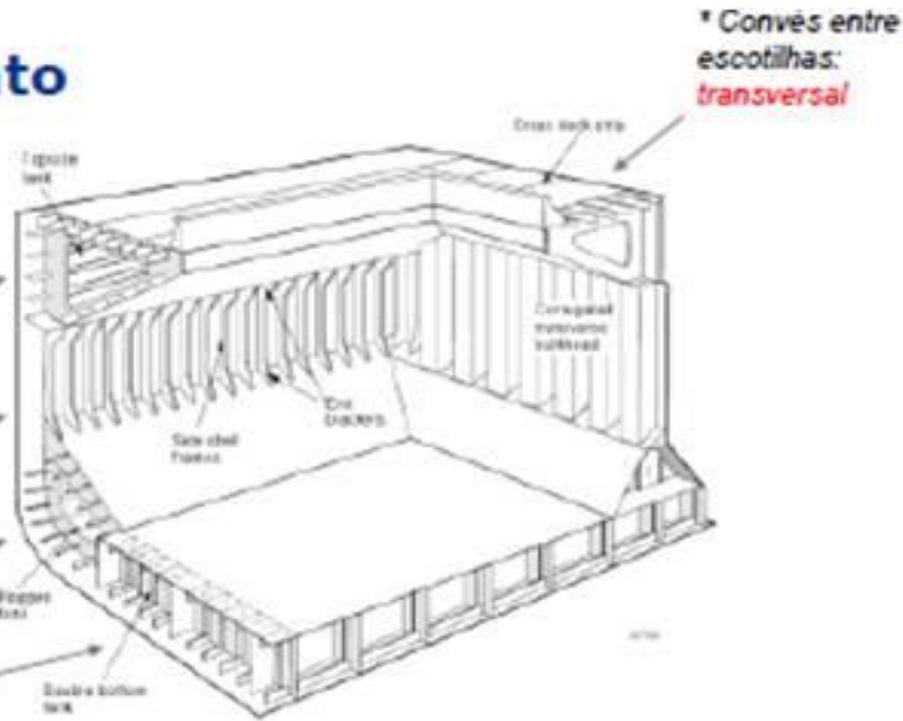
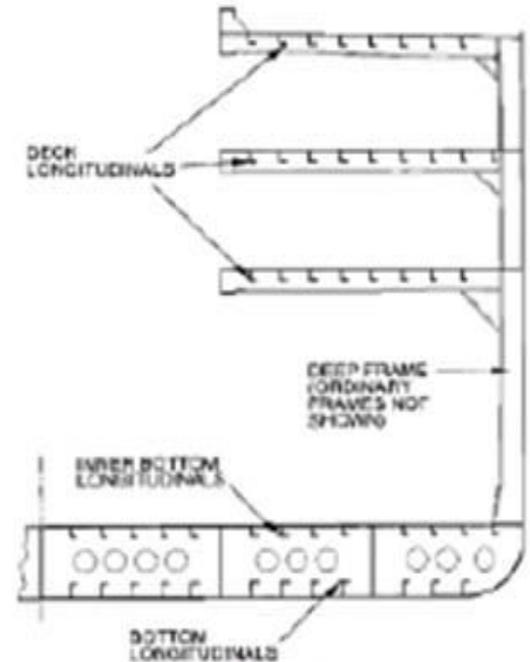


Figure 1  
Typical Cargo Hold Structural Configuration for a Single Side Shell Bulk Carrier

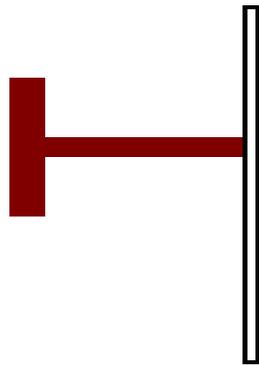
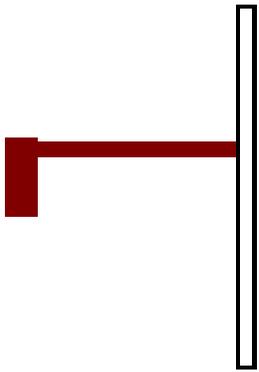


Arranjo estrutural onde há enrijecedores longitudinais leves nos convés e fundo e não há ao longo do costado.

Parte da estrutura com aspecto longitudinal, e parte com aspecto transversal

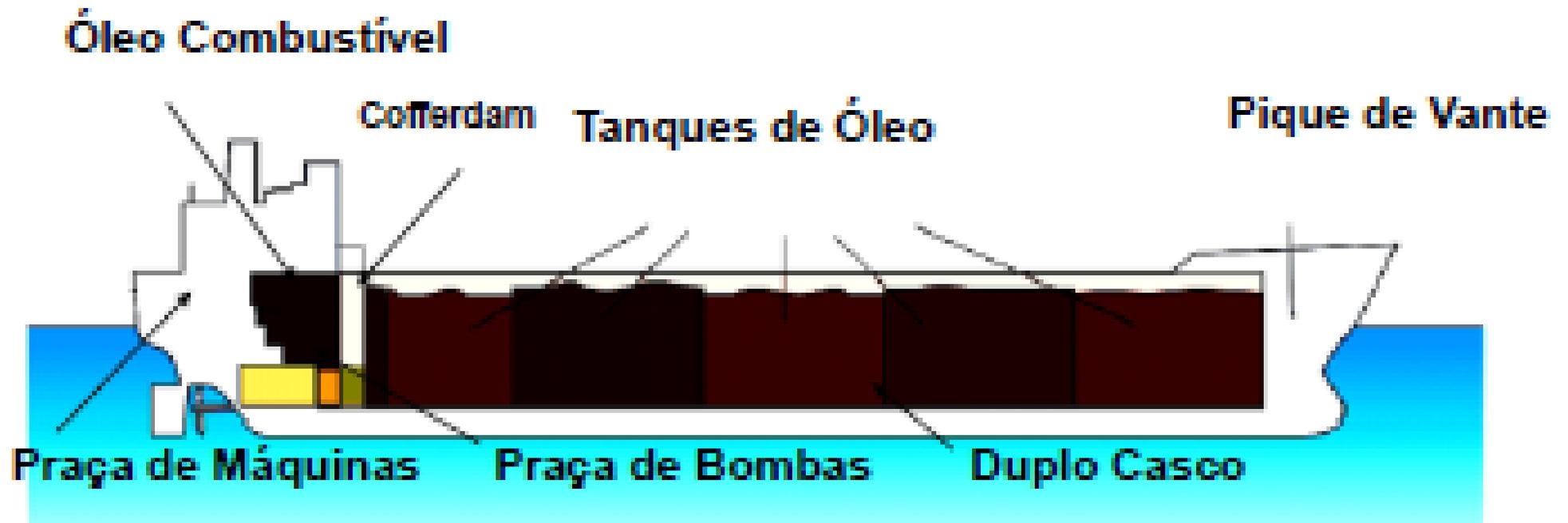
# Arranjo Estrutural do Navio

Diferentes tipos de Reforçadores



# Arranjo Estrutural

Navio Tanque

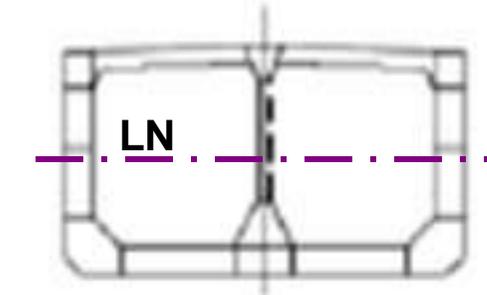
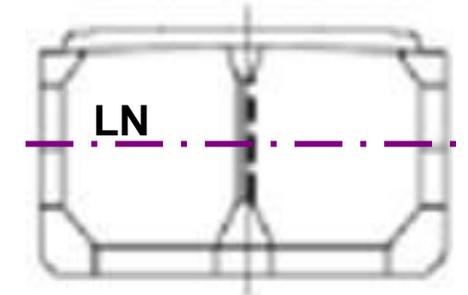
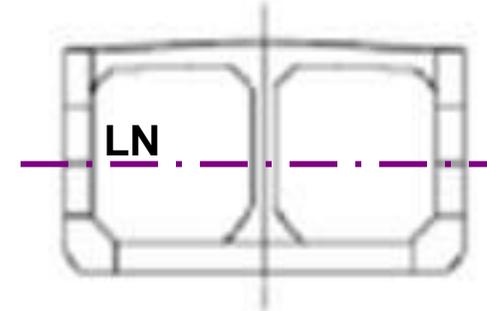
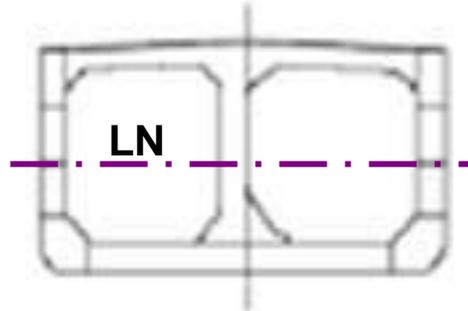
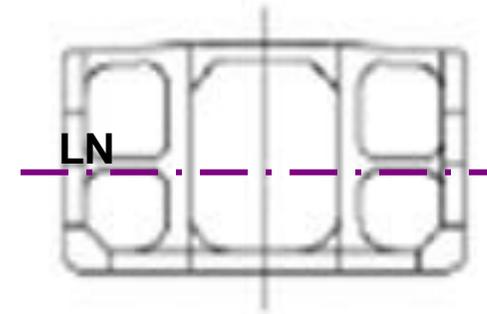
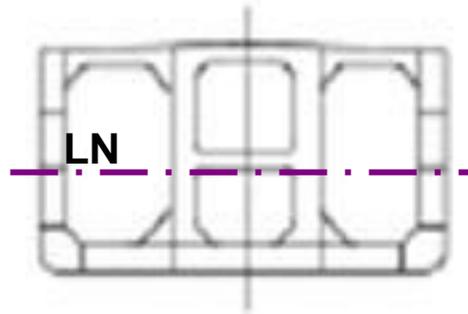


# Seção Mestra de Navio Tanque

Possíveis Seções Mestra de Navios Tanque

LN=Linha neutra

A posição da linha neutra em um navio tanque é a ideal pois, pois a distância da mesma ao convés e ao fundo é mínima possível



# Seção Mestre de Navio Carga Geral

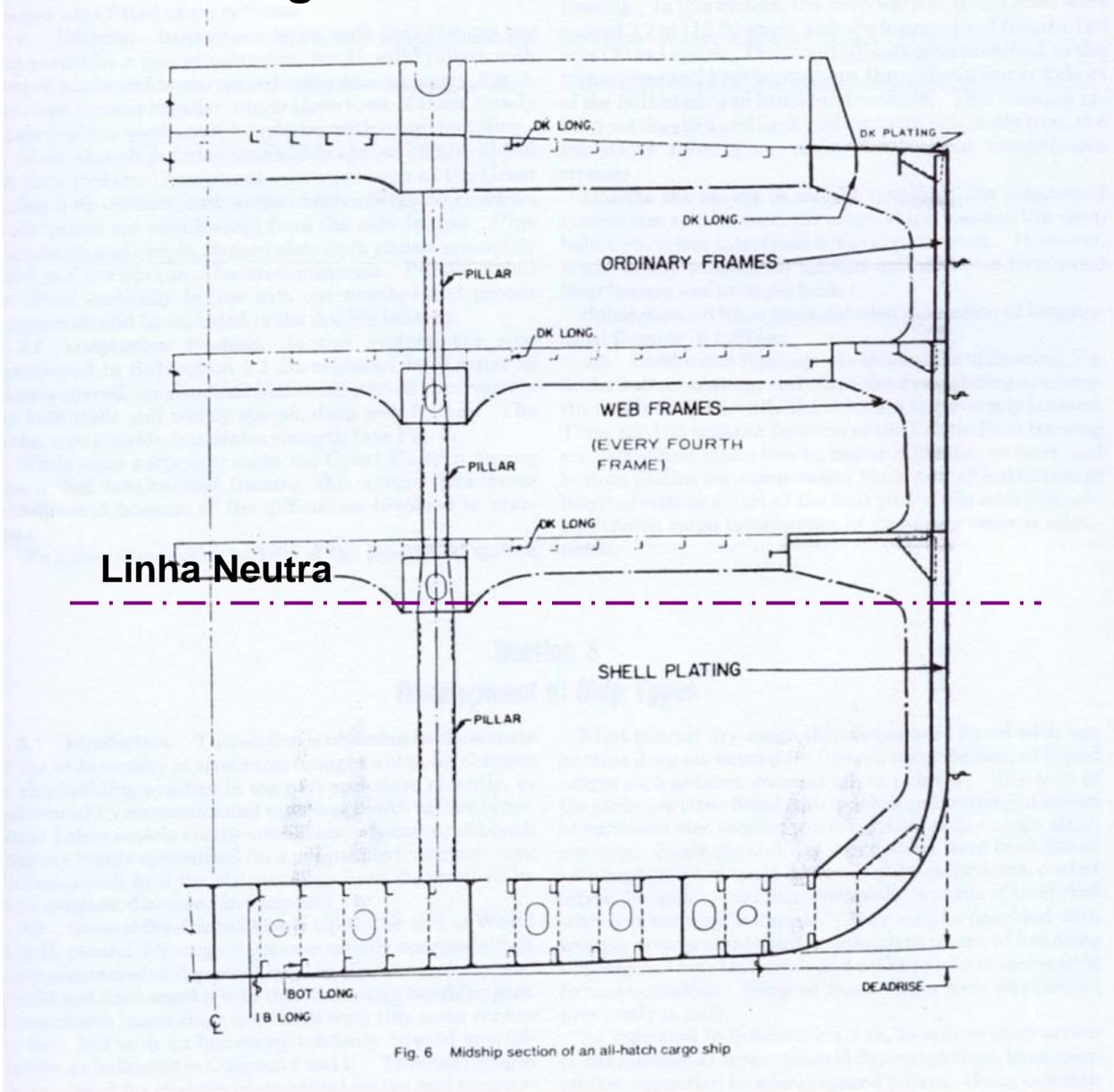
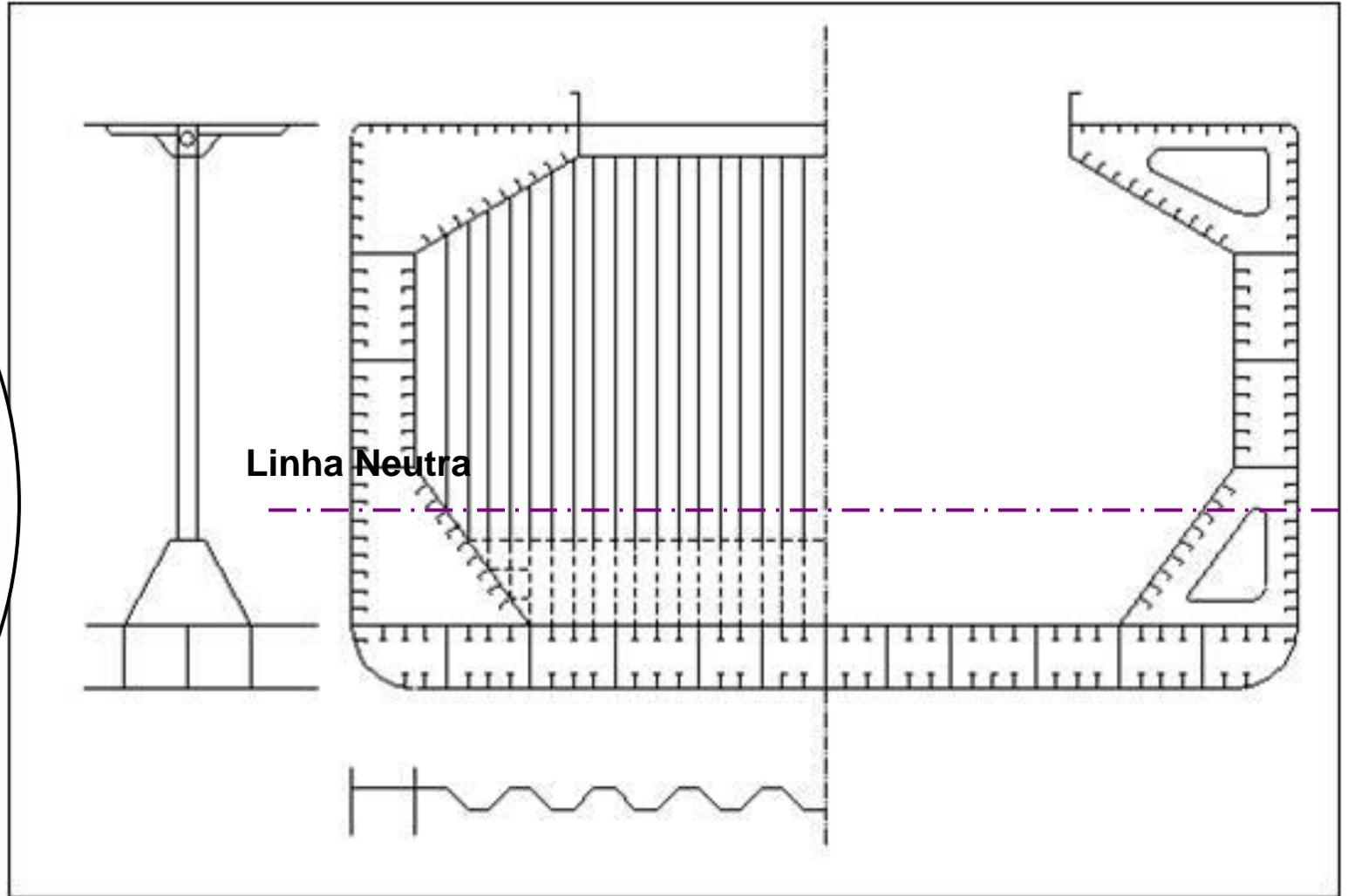


Fig. 6 Midship section of an all-hatch cargo ship

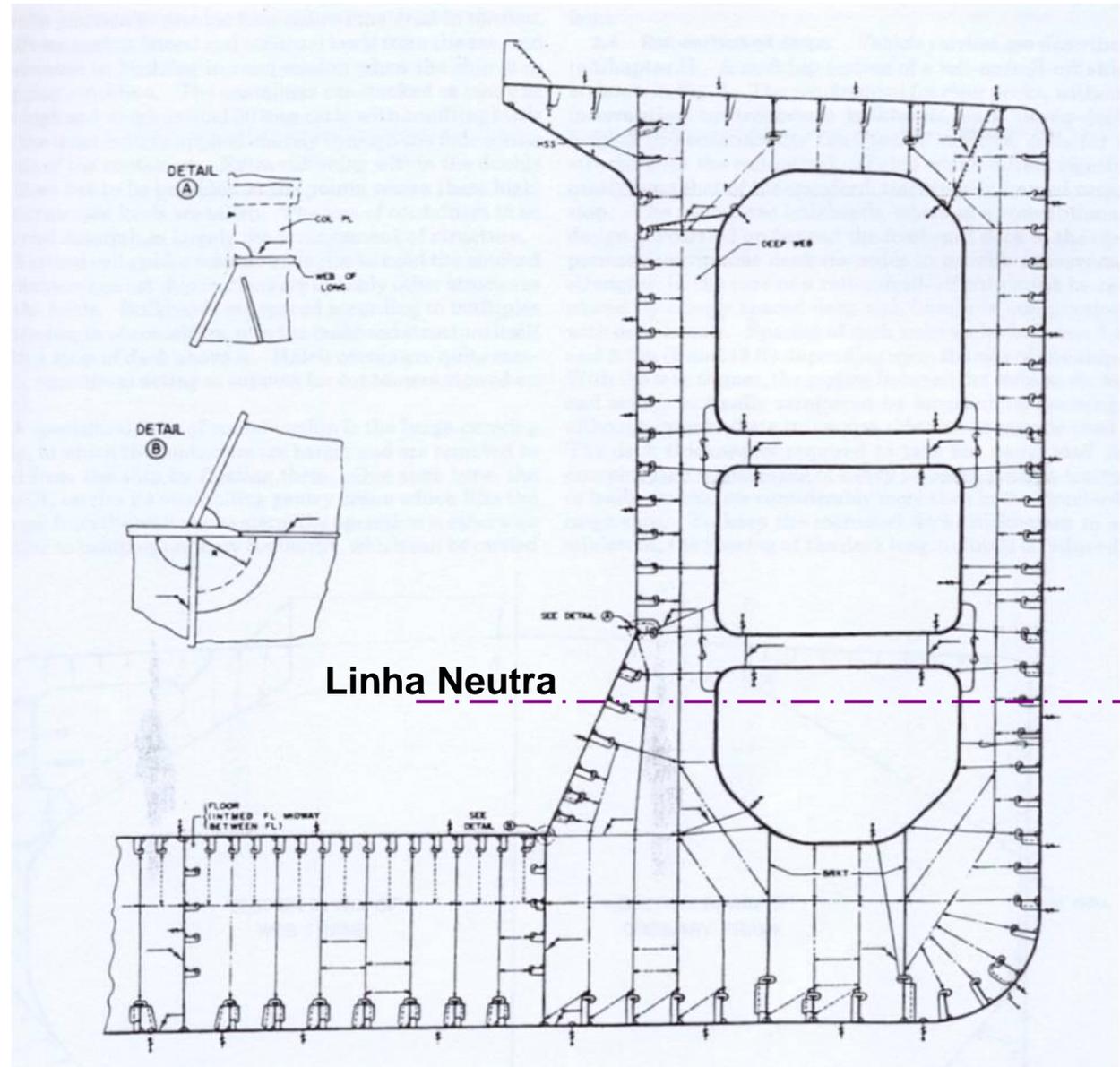
# Seção Mestra de Navio Carga Geral

A linha neutra é um pouco mais distante da altura média da embarcação, por isso as tensões são maiores a que as do navio tanque

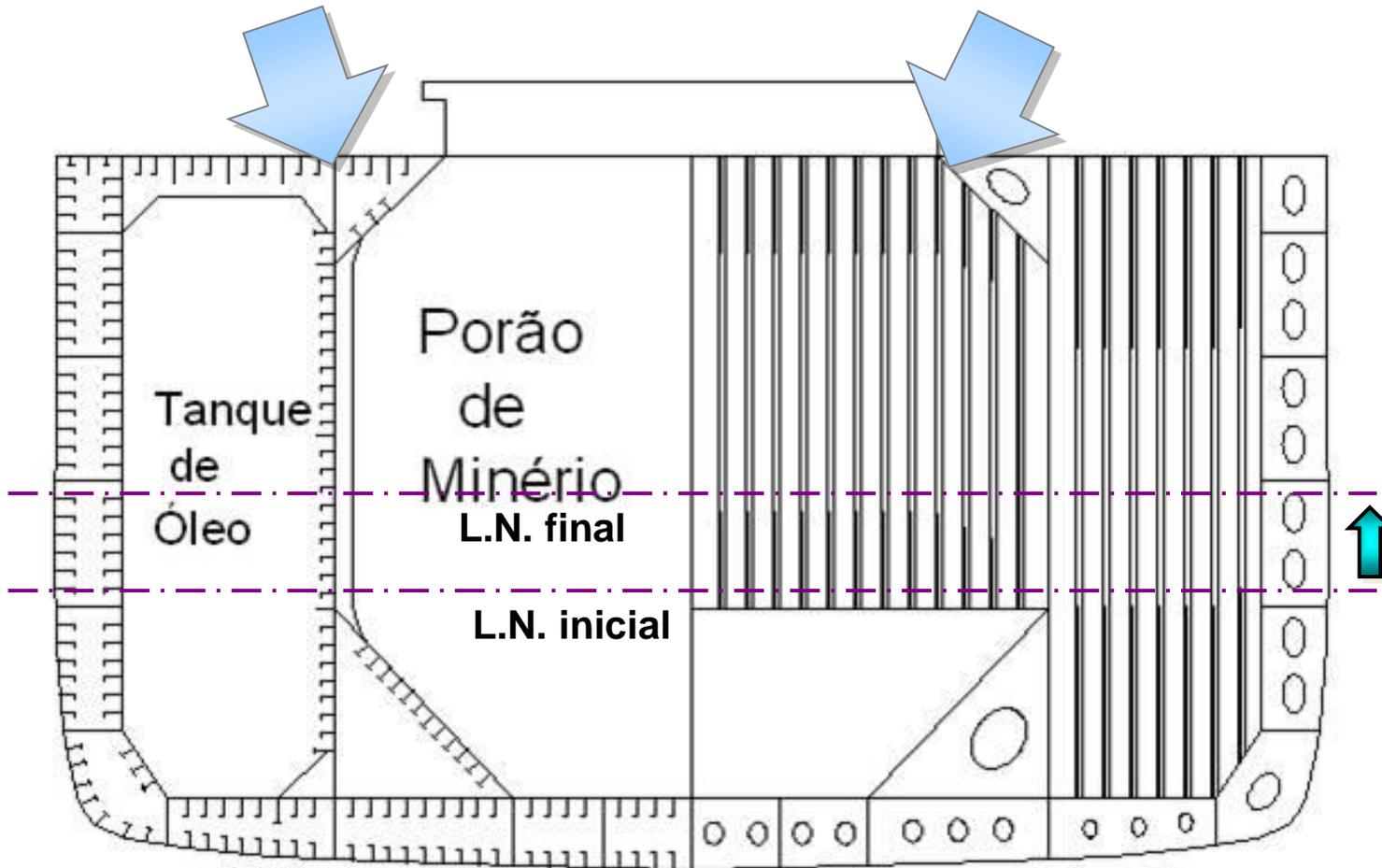


# Seção Mestra de Navio Graneleiro

Há problemas com a posição da linha neutra em geral se localiza abaixo da altura média da embarcação e faz com que a tensão no convés seja maior que a de um tanqueiro



## Seção Mestra de Navio Graneleiro

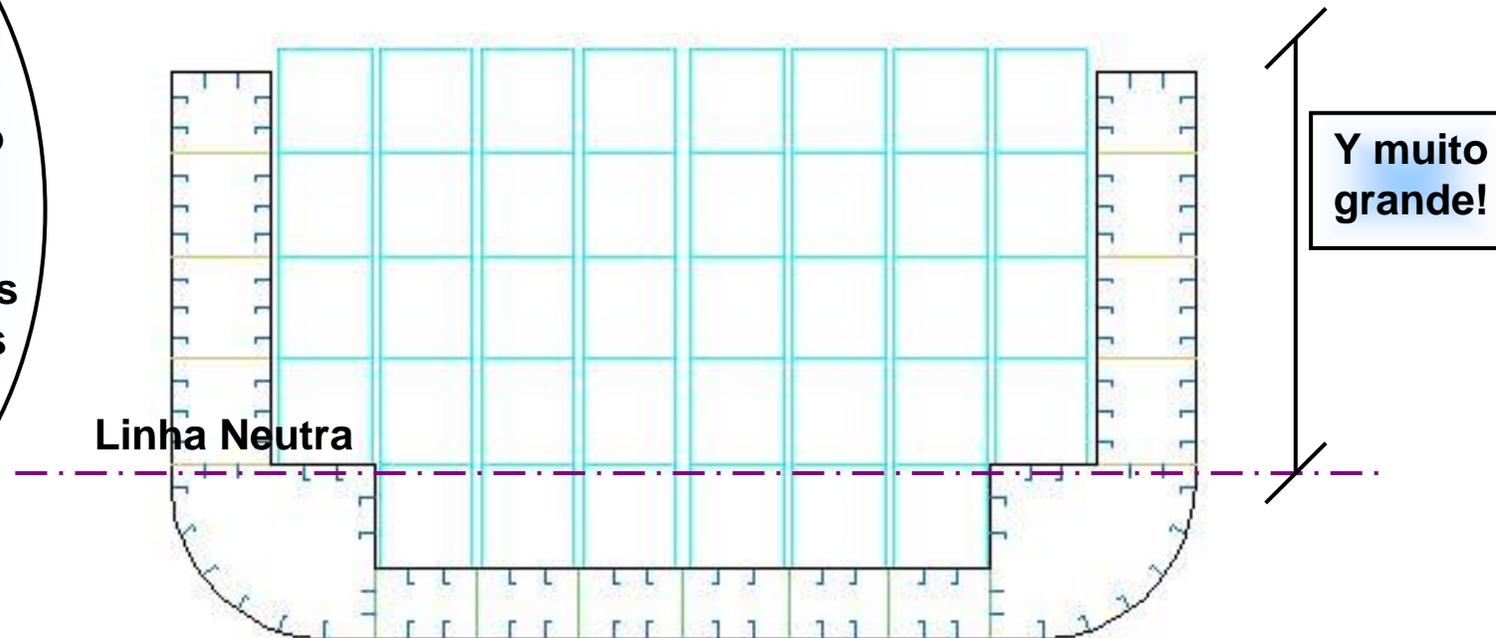


- A linha neutra de um Navio Graneleiro pode ser deslocada para cima através da implementação de Tanques de Asa.

# Seção Mestra de Navio Porta Container

- A linha neutra de um Porta Container se localiza numa posição baixa, devido ao sua geometria e forma de acondicionamento da carga (sem escotilhas de porão).

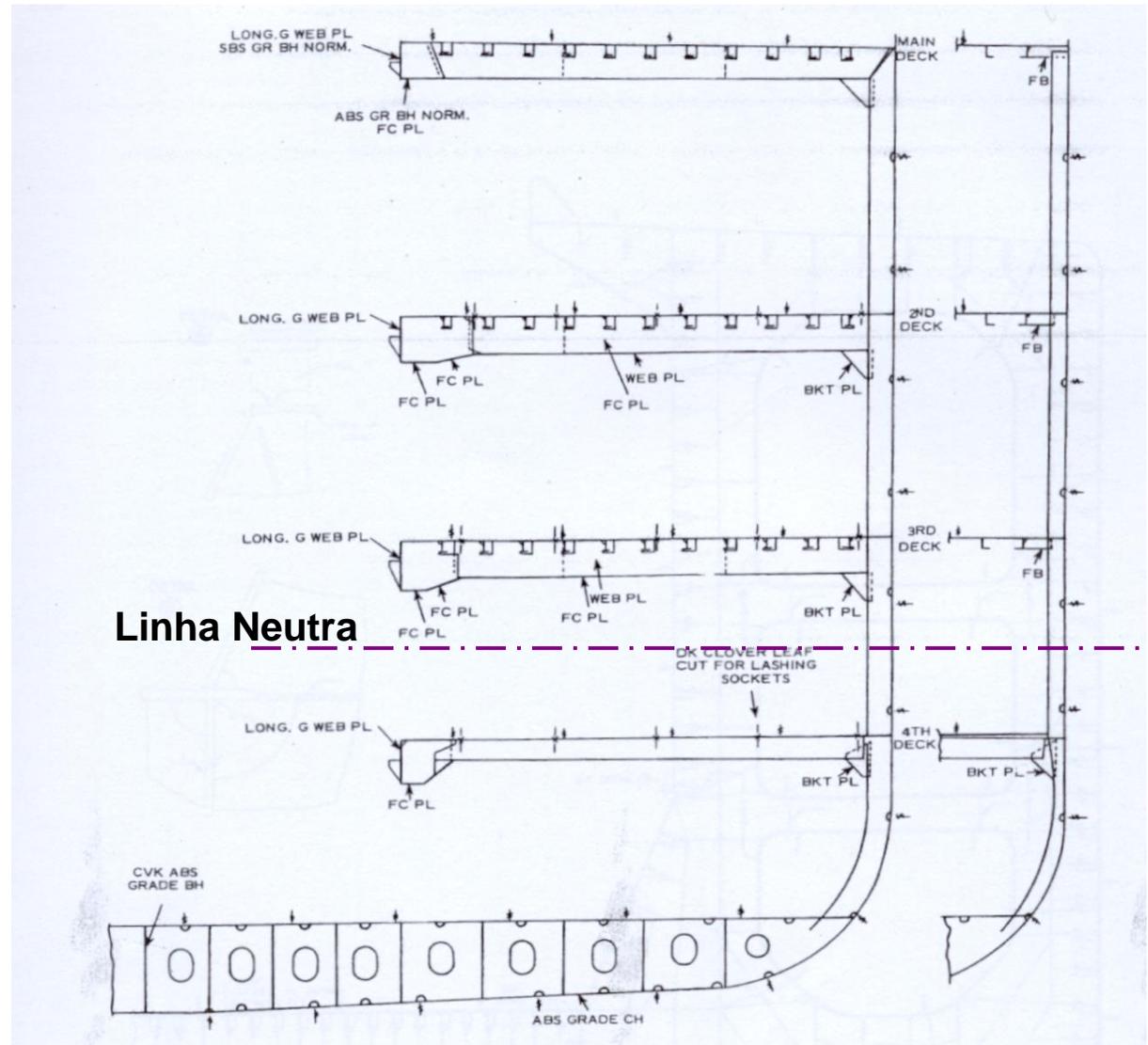
A seção mais problemática é a do porta container, a linha neutra é muito baixa e as tensões no convés muito altas se comparadas com os outros tipos de embarcações vistos.



# Seção Mestra de Navio Ro-Ro



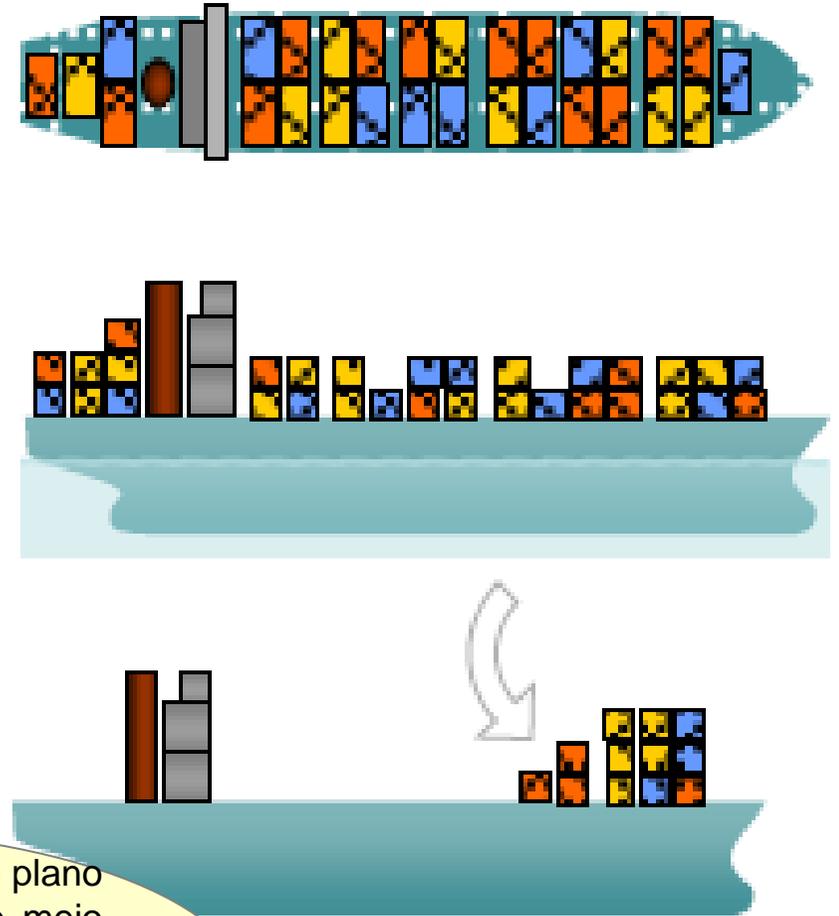
Navio Ro-Ro (Roll on-Roll off) é um tipo de cargueiro de grande escala que transporta automóveis e outros veículos, de modo que estes entrem e saiam pelos seus próprios meios.



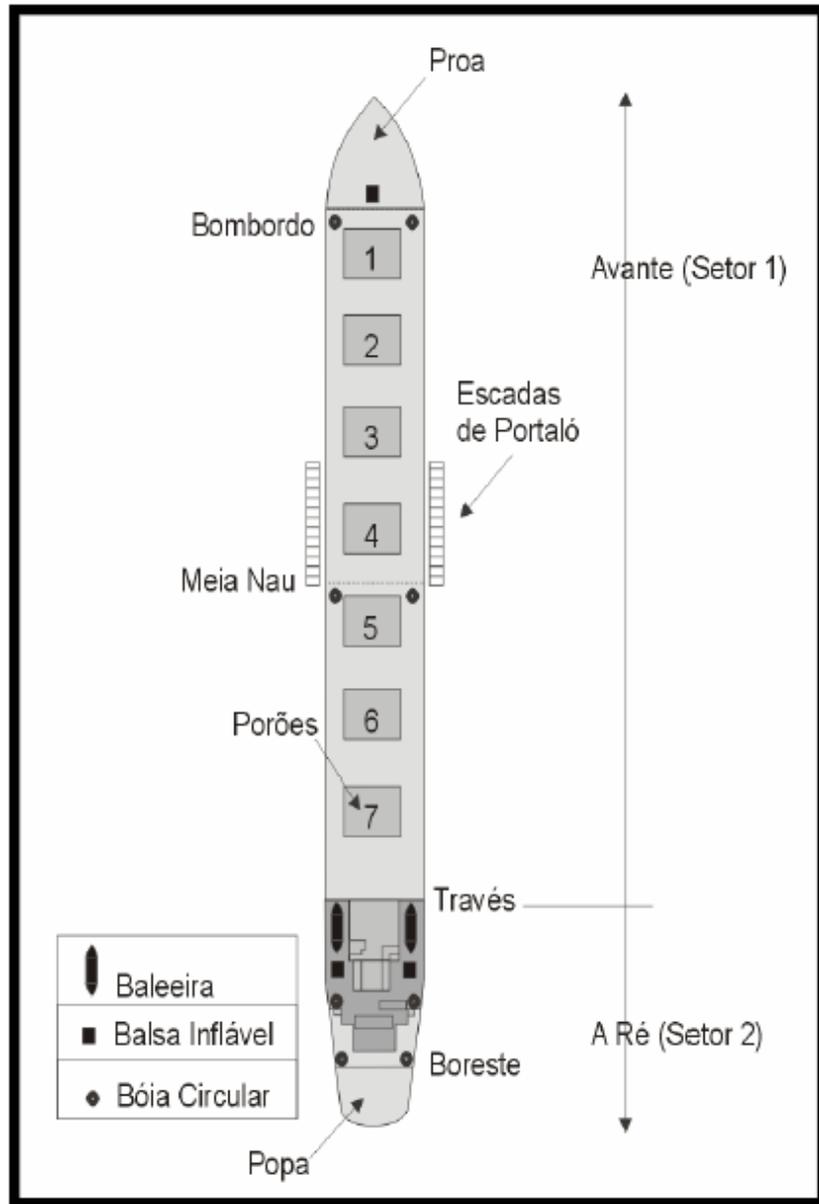
# Necessidade de um Plano de Cargas

- No deslocamento de carga em um navio, a falta de um planejamento pode provocar problemas à integridade estrutural do navio;
- Com a falta de planejamento, esforços cortantes e momentos fletores que agem no navio podem estar mal distribuídas, podendo se concentrar em alguns pontos do navio, comprometendo a segurança deste.

Exemplo de falha por falta de plano de cargas: O navio parte ao meio devido a concentração de esforços cortantes e momentos fletores em certos pontos.



# Plano de Cargas



- Um Plano de Cargas é uma representação gráfica da distribuição de carga pelos diversos porões e conveses de um navio;
- Os Planos de Cargas podem variar de acordo com as especificações da carga a ser transportada, como a densidade, por exemplo: Um plano de cargas de um material com maior densidade terá maior atenção com seu calado, enquanto um com menor densidade terá sua atenção voltada ao volume.
- Os principais objetivos de um Plano de Cargas são:
  - Segurança dos tripulantes e do navio;
  - Estabilidade e compasso do navio, junto com sua integridade estrutural;
  - Facilitar a carga e descarga.

# Exemplo de Plano de Cargas

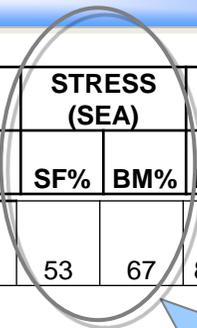
## Voy 6 Stowage & loading plan 21.0m

MLV. BERGE BUREYA																							
STOWAGE PLAN AND LOADING SEQUENCE																							
VOYAGE	S	DATE	MOON	LOAD / PORT / TURNING	DISCHARGE	CRGNO	SOFT / SECT	DRY DENSITY	LRG	STORAGE FACILITY	EMERGENCY	EMERGENCY	EMERGENCY	EMERGENCY									
MAX. ALC. DIRECTION	MIN. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION	MAX. ALC. DIRECTION									
			#6			#5			#4			#3			#2			#1A			#1F		
			SFXT 54520 MT			SFXT 37600 MT			SFXT 57000 MT			SFHT 38280 MT			SFXT 36600 MT			SFXT 26020 MT			SFXT 27980 MT		
			FWD			MID			AFT									TOTAL CARGO: 279800 MT					
Air Draft : [SW]			8,50			9,50			10,50			SFXT 25970,00 MT											
Deck Draft : [SW]			21			21			21			SFHT 38280,00 MT											
POUR STEP	MATCH NO	QUANTITY [MT]	TYPE	DETAILED OPERATION / MARKING	REMARKS	STRESS [SEMI]		CALCULATED DRAFT				OBS. DRAFT											
						SF%	BF%	FWD	AFT	MEAN	TRIM	GM	AIR DRAFT	FWD	AFT								
1	5	12000	SFXT	Close #1 - 4.00M		53	67	8,64	11,09	9,86	2,45	19,08	22,8										
2	3	12000	SFXT	Close #1 - 5.00M		62	59	8,95	11,42	10,18	2,47	19,15	22,3										
3	6	12000	SFXT	Close #1 - 6.00M		48	36	9,21	11,94	10,57	2,75	19	21,9										
4	4	12000	SFHT	Close #1 - 7.00M		56	51	9,77	12,01	10,29	2,24	19,92	21,8										
5	7	12000	SFXT	Close #1 - 8.00M		46	38	9,31	13,33	11,22	4,02	19,95	21,2										
6	2	12000	SFXT	Close #1 - 9.00M		40	38	10,58	12,67	11,62	2,09	19,52	20,9										
7	5	12000	SFXT	Close #1 - 10.00M		54	41	10,85	13,13	11,99	2,28	19,17	20,5										
8	1	12000	SFHT	Close #1 - 11.00M		49	37	12,18	12,49	12,33	0,24	17,45	20,2										
9	7	12000	SFXT	Close #1 - 12.00M		34	42	10,60	14,97	12,78	4,37	17,5	19,7										
10	4	12000	SFHT	Close #1 - 13.00M		41	45	11,59	14,63	13,11	3,04	16,8	19,4										
11	6	12000	SFXT	Close #1 - 14.00M		39	21	11,82	15,18	13,5	3,38	16,48	19,0										
12	3	12000	SFXT	Close #1 - 15.00M		37	29	13,43	14,25	13,84	0,82	15,28	18,7										
13	7	12000	SFXT	Close #1 - 16.00M		45	48	12,43	16,45	14,44	4,02	14,95	18,1										
14	4	14280	SFHT	Close #1 - 17.00M	Close # 3	61	34	13,33	16,52	14,95	3,99	14,25	17,8										
15	5	12000	SFXT	Close #1 - 18.00M		56	75	13,36	17,64	15,5	4,28	13,82	17,0										
16	1	15980	SFXT	Close #1 - 19.00M	Close # 1F	41	38	15,83	16,56	16,19	0,75	12,95	16,3										
17	6	13600	SFXT	Close #1 - 20.00M	Close # 5	41	49	15,72	18,24	16,98	2,52	11,94	15,5										
18	3	12600	SFXT	Close #1 - 21.00M	Close # 2	48	69	17,77	17,81	17,79	0,04	11,25	14,7										
19	7	15520	SFXT	Close #1 - 22.00M	Close # 2	65	57	16,87	20,44	18,65	3,57	11,00	13,8										
20	2	11020	SFXT	Close #1 - 23.00M	Close # 2	55	32	19,29	19,48	19,38	0,19	10,50	13,1										
21	5	21000	SFXT	Close #1 - 24.00M	Close # 4	75	85	20,52	20,77	20,64	0,25	10,00	11,9										
DRAFT CHECK TERMINING BETWEEN NO-2, AND 7																							
22	7	3000	SFXT		Close # 6	83	83	20,37	21,27	20,82	0,90	9,98	11,7										
23	2	3000	SFXT		Close # 1A	79	72	21	21	21	0,00	9,85	11,5										
TOTAL CARGO		279800																					
<p>SF / HT EXPRESSED AS % OF MAX STRESS, FOR SEA CONDITION .</p> <p>NOTE: SF / HT ARE CALCULATED FOR SEACING COVERING .</p> <p>ANY CHANGE IN LOADING / DISCHARGING WILL BE REFLECTED IN STRESS, ALL COVERED PLEASING MUST BE IN ACCORD WITH ABOVE PLAN WHICH INCLUDES DENSITY DIFFERENCES WITH THE PLEASING .</p> <p>LOADING/UNLOADING OPERATIONS MAY HAVE TO BE ADJUSTED TO ALLOW FOR BALLASTING/DIBALLASTING IN ORDER TO KEEP ACTUAL DRAUGHT WITHIN LIMITS .</p> <p>LOADING SEQUENCE IS AS PER MATCHES 1 TO 7, ACTUALLY ON MATCH COVER NUMBERS MARKED ARE 1F,1A,2,3,4,5 &amp; 6 .</p>																							

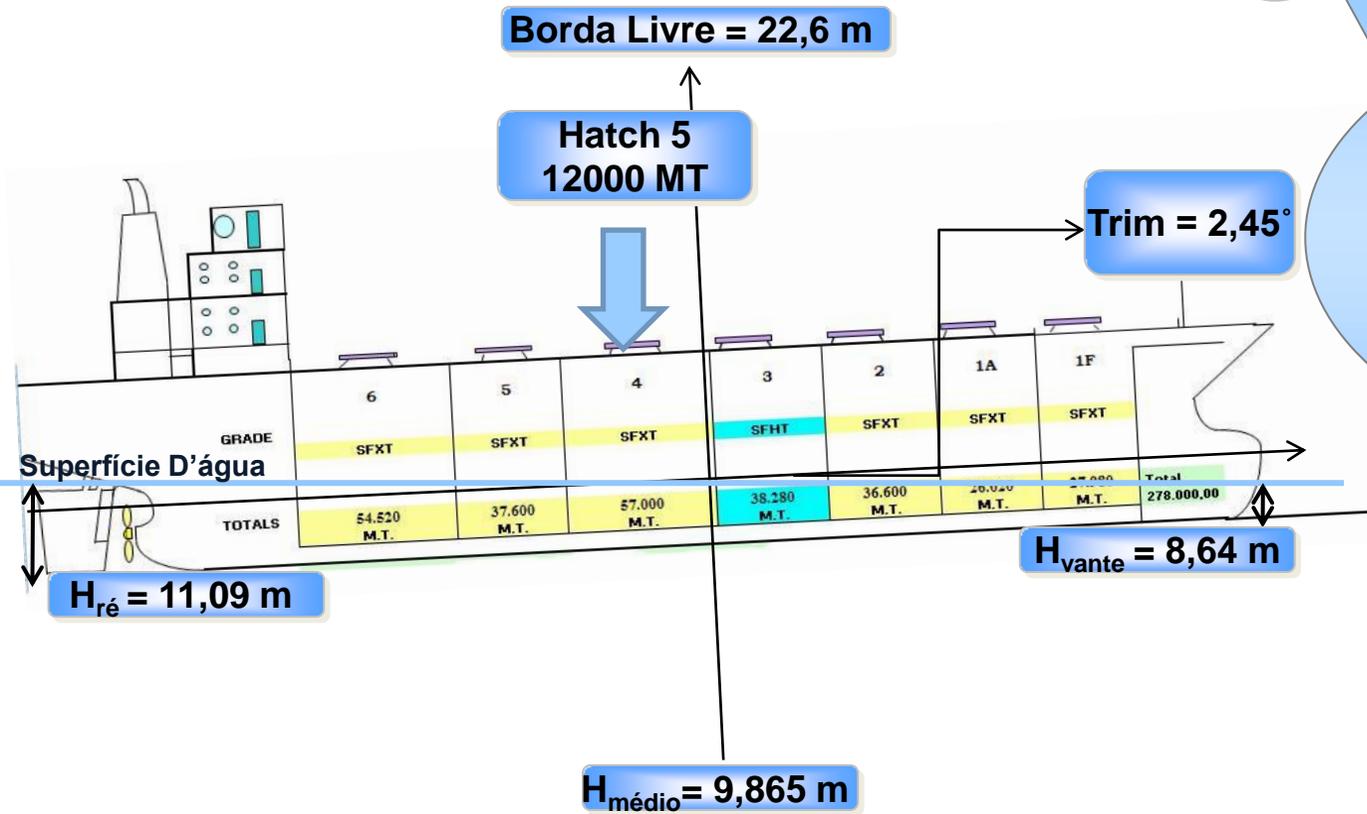
# Exemplo de Plano de Cargas

## Passo 1

POUR STEP	HATCH NO	QUANTITY (MT)	TYPE	DEBALLAST OPERATION %/SNDG.	REMARKS	STRESS (SEA)		CALCULATED.DRAFT				OBS DRAFT				
						SF%	BM%	FWD	AFT	MEAN	TRIM	GM	AIR DRAFT	FWD	AFT	
1	5	12000	SFXT	Gravity Out 4 WBT=14.0M.			53	67	8,64	11,09	9,865	2,45	19,08	22,6		



**Esforço cortante máximo equivale a 53% do máximo para condição ao mar;**  
**Momento Fletor equivale a 67% do máximo para condição ao mar.**



Percebe-se que o carregamento depositado na embarcação já causa trim, esforços cortantes e momentos fletores de magnitude considerável.

# Exemplo de Plano de Cargas

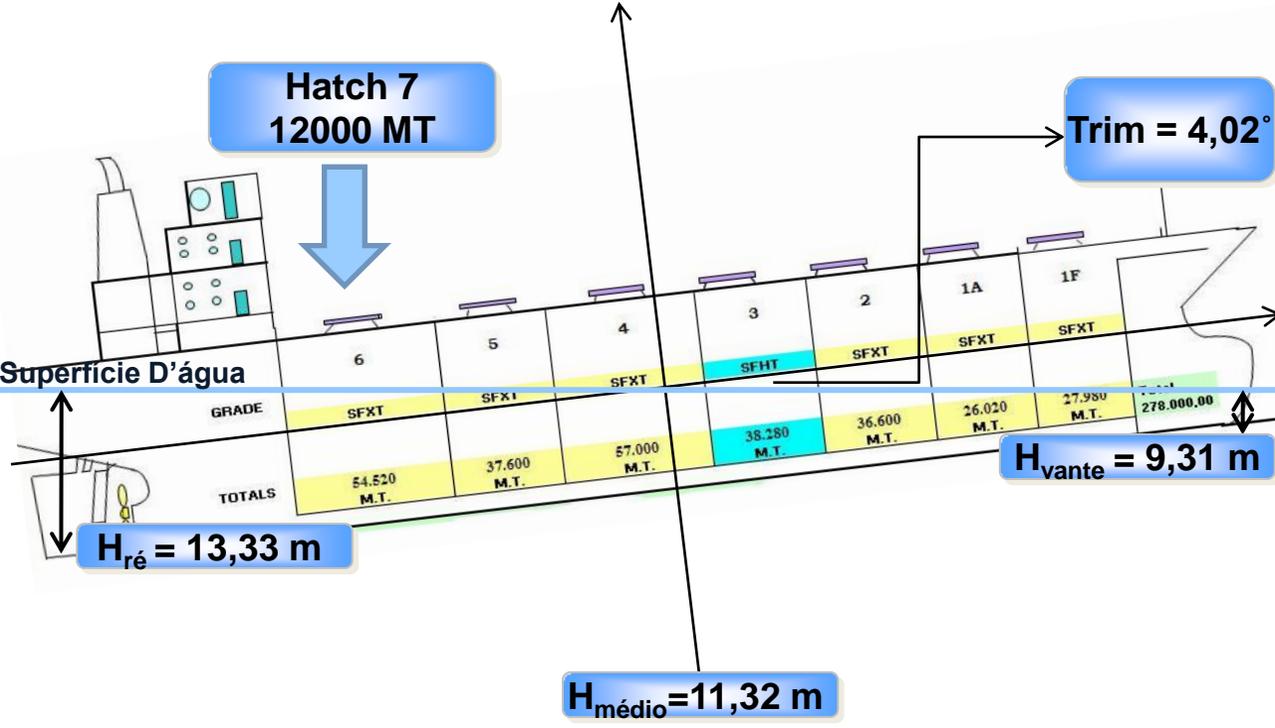
## Passo 5

POUR	HATCH NO	QUANTITY (MT)	TYPE	DEBALLAST	REMARKS	STRESS (SEA)		CALCULATED.DRAFT				OBS DRAFT				
						SF%	BM%	FWD	AFT	MEAN	TRIM	GM	AIR DRAFT	FWD	AFT	
5	7	12000	SFXT	PO 6WBT- 7.0M.			46	38	9,31	13,33	11,32	4,02	18,93	21,2		

**Borda Livre = 21,6m**

**Hatch 7  
12000 MT**

**Trim = 4,02°**



- Esforço cortante máximo equivale a 48% do máximo para condição de mar;
- Momento Fletor equivale a 38% do máximo para condição de mar.

Como era de se esperar, desde o passo um até o cinco, o calado médio aumenta e a borda livre diminui. Vemos que desde o passo 1, os efeitos dos esforços cortantes e de momentos fletores são atenuados. Vemos também que, depositando o carregamento em porões distantes da meia-nau, causa-se grandes deslocamentos de trim.

# Exemplo de Plano de Cargas

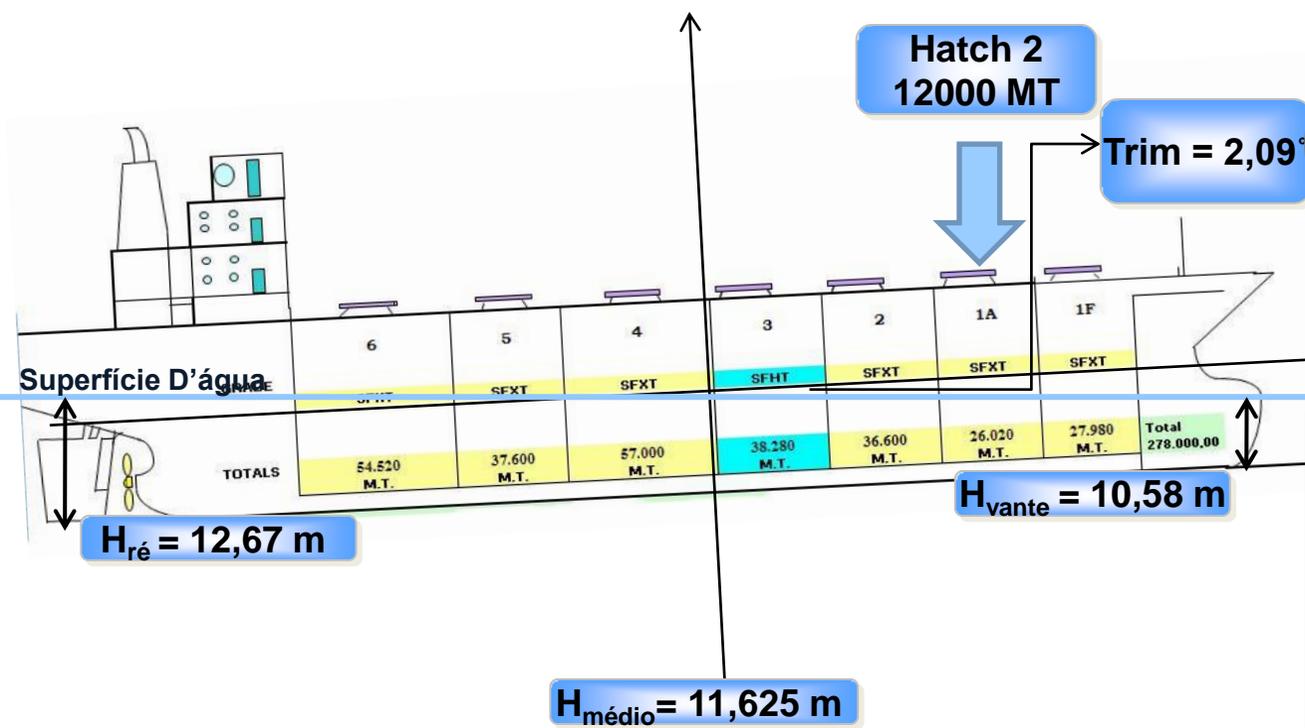
## Passo 6

POUR	HATCH NO	QUANTITY (MT)	TYPE	DEBALLAST	REMARKS	STRESS (SEA)		CALCULATED.DRAFT				OBS DRAFT				
						SF%	BM%	FWD	AFT	MEAN	TRIM	GM	AIR DRAFT	FWD	AFT	
6	2	12000	SFXT	PO 1 WBT= 10.0M.			40	38	10,58	12,67	11,625	2,09	18,52	20,9		

Borda Livre = 20,9 m

Hatch 2  
12000 MT

Trim = 2,09°



- Esforço cortante máximo equivale a 40% do máximo para condição de mar;
- Momento Fletor equivale a 38% do máximo para condição de mar.

Vemos novamente que, os efeitos dos esforços cortantes e de momentos fletores são cada vez mais atenuados.

Vemos também que este deposito do carregamento serviu como um equilíbrio do trim que estava acontecendo no passo anterior.

# Acidente com Trade Daring

**“No dia 11/11/1994 um plano de carga errado fez o graneleiro partir ao meio e parou o terminal de PDM”**

*“Era uma entre muitas operações de rotina de um terminal acostumado a esse tipo de operação. De acordo com a planilha da então CVRD, o navio deveria receber 55 mil toneladas de manganês e 75.390 toneladas de minério de ferro. Carregado, deixaria São Luís com destino ao porto de Dunkeke, na França. Nunca chegou lá. No meio da operação de carga, a altura das 83 mil toneladas – do total previsto de 139.000 pelo plano de cargas – a estrutura do Trade Daring não suportou o que os especialistas chama de “efeito sugging” e, literalmente, partiu ao meio na altura dos porões 3 e 4.”*



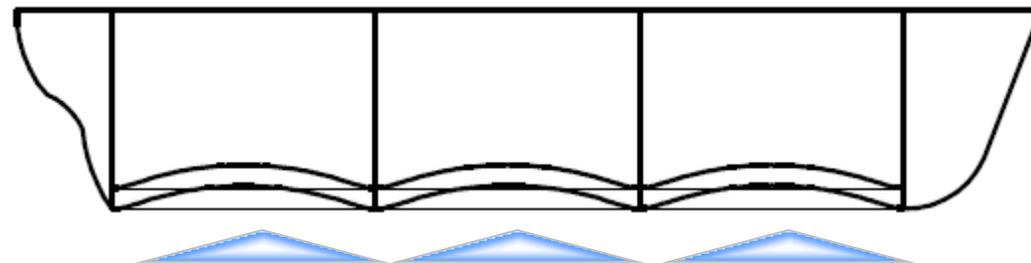
**Proposital?  
Plano de  
Cargas  
Suicida?**

# Acidente com Trade Daring



## Estrutura secundária

Provocados pela pressão atuante no fundo do navio, entre as anteparas

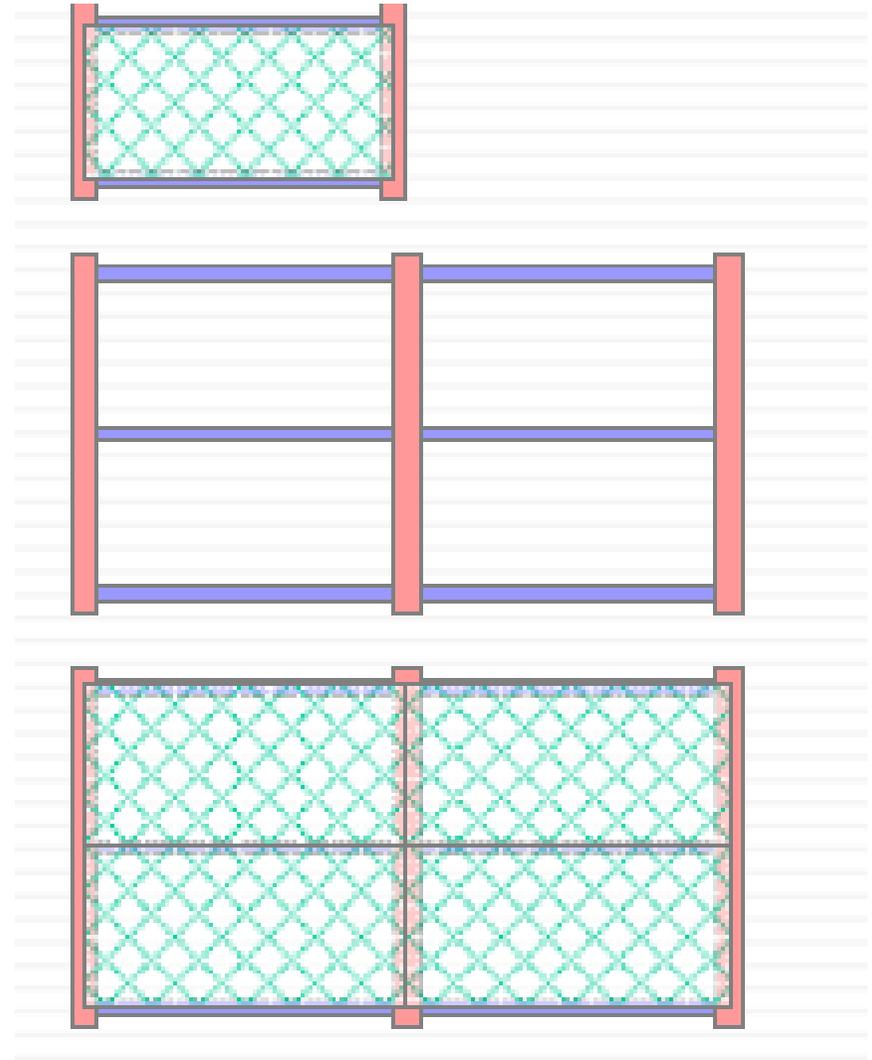


Deformações Localizadas

# Estrutura Secundária

## Definições:

- **Unidade de Chapeamento:** é a porção de chapa limitada por dois perfis adjacentes na direção longitudinal e outros dois na direção transversal.
- **Painel:** é uma porção da estrutura secundária formada por chapeamento, perfis leves e perfis pesados. Contém pelo menos duas unidades de chapeamento.
- **Grelha:** é um conjunto de vigas que se interceptam. Caso elas sejam ortogonais diz-se que a grelha é ortogonal.
- **Grelha Chapeada:** quando se tem um conjunto de perfis que se interceptam, soldados a chapeamento em um lado (caso do convés) ou em dois lados (caso do duplo fundo).



## Estrutura Secundária

→ Perfis Leves

→ Perfis Pesados

A estrutura secundária contém a terciária!!

Fundo do Navio

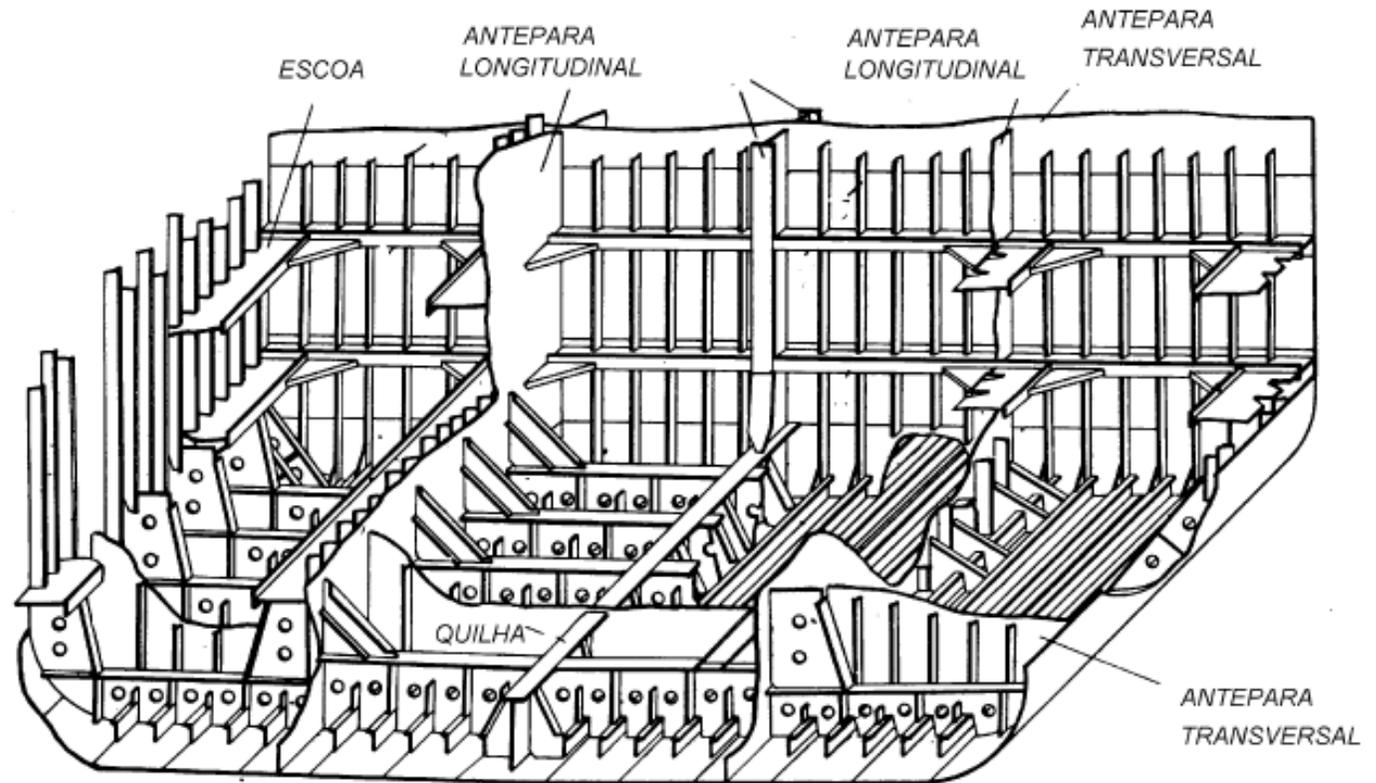


Figura 1.1 - Estrutura do fundo de um navio tanque de casco único

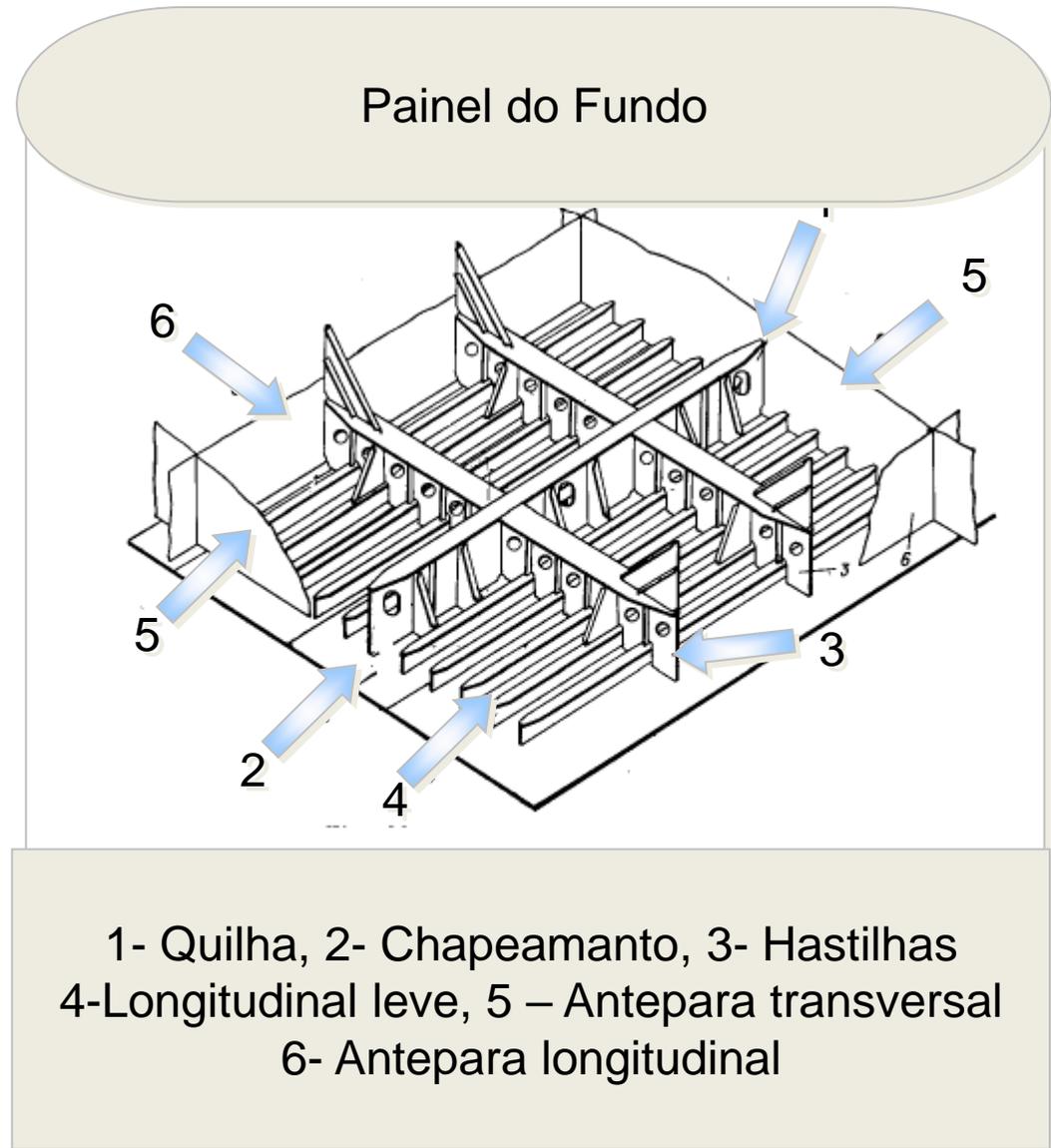
# Estrutura Secundária

## Arranjo Estrutural

Perfis

Grelhas

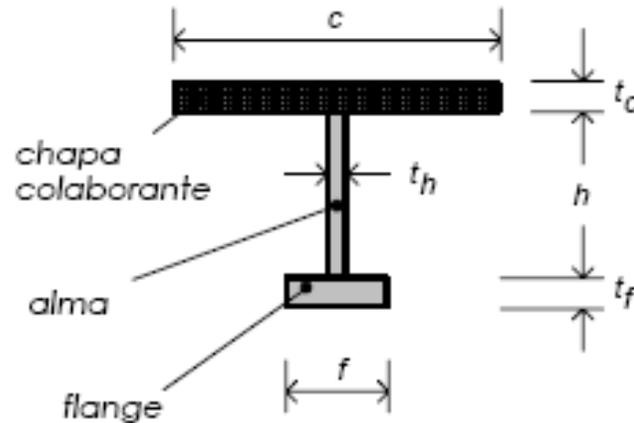
Chapeamento



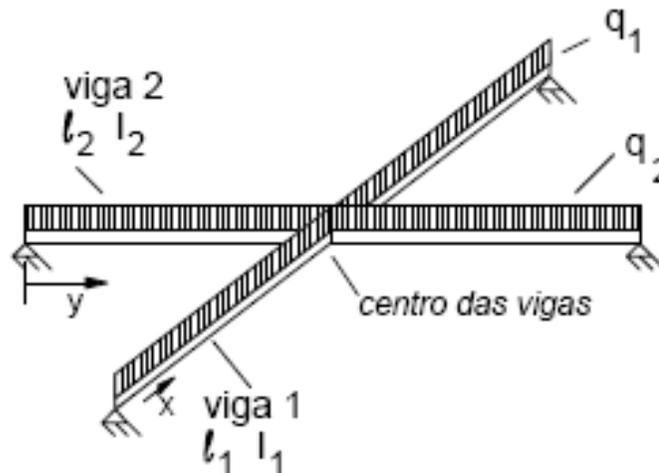
# Perfis leves

- Emprega-se a teoria simples de viga

Representação  
do perfil



Representação  
da grelha



Considera-se a grelha  
como duas vigas  
simples interceptadas  
em ângulo reto

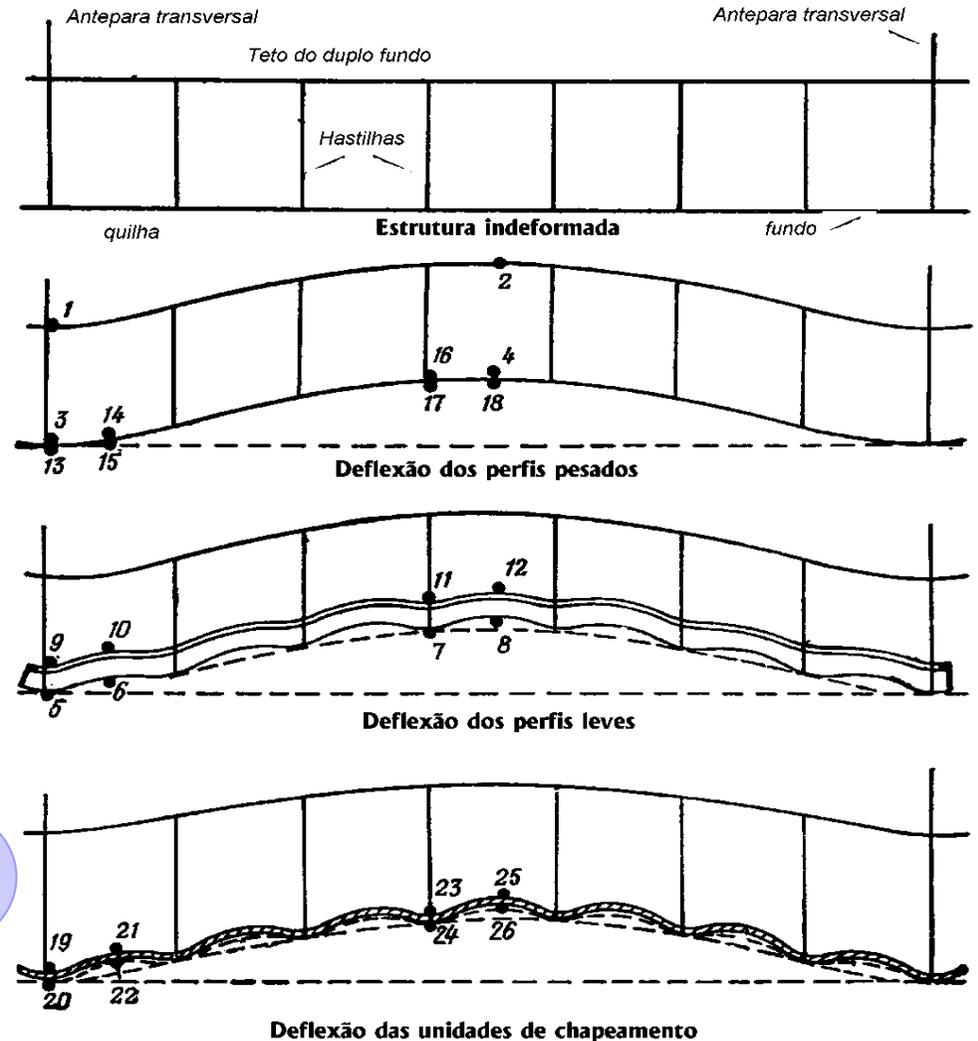
# Deflexão > Casco

## Deflexões Terciárias

Além da deflexão primária da viga-navio, da deflexão secundária, existe a deflexão das unidades de chapeamento, chamada de deflexão terciária.



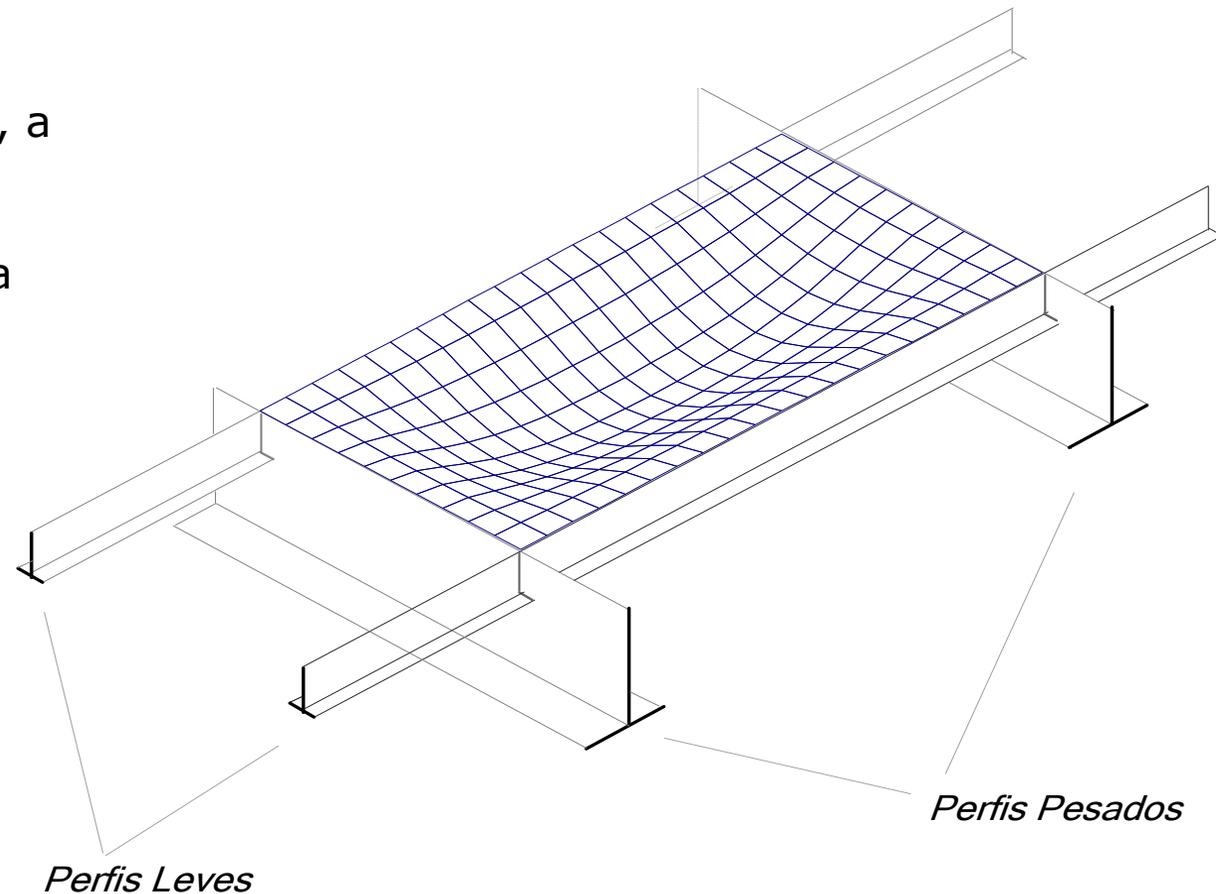
**Deflexão Primária**



# Unidade de Chapeamento

## Deformações Terciárias

Sob pressão lateral, a unidade de chapeamento se deforma conforme a figura.



# Tensões terciárias

## Cálculo das Tensões Terciárias

1. O cálculo das tensões terciárias nas unidades de chapeamento se fundamenta na teoria de placas em flexão.
2. De acordo com esta teoria, uma placa submetida a flexão apresenta **curvaturas** em duas direções principais.
3. Estas curvaturas geram as tensões normais, função das intensidades das curvaturas, e que variam linearmente ao longo da espessura.

