

*ESTUDO DE LANÇAMENTO DE NAVIOS EM*

*CARREIRA LONGITUDINAL*

# LANÇAMENTO

## **1. GENERALIDADES**

O lançamento de um navio consiste essencialmente em transferi-lo da terra firme para a água, através do escorregamento num plano inclinado sob a acção do seu próprio peso.

Tecnicamente, trata-se de um problema de natureza puramente dinâmica e a sua correcta solução apresenta notáveis dificuldades. No entanto, as fases mais importantes e perigosas do lançamento podem ser estudadas apenas sob o ponto de vista estático, o que vem introduzir uma grande simplificação nos cálculos a realizar.

Resolver o problema estaticamente consiste em considerar o navio parado em diversos pontos do seu percurso, estudando o efeito das forças que agem sobre ele nessas diversas situações.

### ***1. Processos de lançamento***

Fundamentalmente existem dois processos de lançamento: de popa e lateral.

O lançamento lateral é normalmente usado quando o espelho líquido disponível é muito limitado, como por exemplo no caso de navios construídos e lançados nas margens de rios estreitos; o seu cálculo só pode ser efectuado dinamicamente, apresentando conseqüentemente notáveis dificuldades. Este facto traduz-se na prática por uma menor segurança neste tipo de lançamentos, motivo porque têm sido raros os navios grandes lançados por este processo. Apresenta porém a vantagem de provocar menores esforços sobre o casco, relativamente ao lançamento de popa.

No que se segue será apenas considerado o lançamento de popa.

### ***1.1 Elementos necessários para o cálculo de lançamento***

Para efectuar este cálculo é necessário conhecer certas características do navio a lançar, ter à disposição desenhos e outros elementos do projecto e também conhecer as características da carreira de construção. Essas características e elementos são os seguintes:

#### **1.1.1 Navio**

- a) Comprimento total
- b) Comprimento entre perpendiculares
- c) Boca máxima no convés
- d) Deslocamento (na altura do lançamento)
- e) Posição do C.G. (na altura do lançamento)

### 1.1.2 Projecto

- a) Caderno de pesos
- b) Vertical integral ou curvas de Bonjean (preferível)
- c) Carenas direitas e inclinadas
- d) Plano geométrico
- e) Plano de ferros

### 1.1.3 Carreira de construção

- a) Inclinação
- b) Comprimento total
- c) Largura total

## 2 CARREIRA DE LANÇAMENTO

Essencialmente a carreira é constituída por duas partes: uma móvel ou berço (sobre a qual assenta o navio) e uma fixa que assenta na carreira de construção. O contacto entre estas partes faz-se através de duas faixas longitudinais (cachorros e tábuas de sebo) dispostas a igual distância do plano de simetria do navio. Normalmente a parte fixa da carreira prolonga-se de modo a ficar parcialmente imersa.

O escorregamento da parte móvel sobre a fixa é facilitado pela lubrificação das faixas de contacto.

### 2.1 Sistema de referência

Para o estudo do lançamento usa-se um sistema de referência tridimensional, constituído por três eixos ortogonais X, Y e Z com origem em O (Figura 1), que coincide com a intersecção da linha de base e a vertical do centro de gravidade.

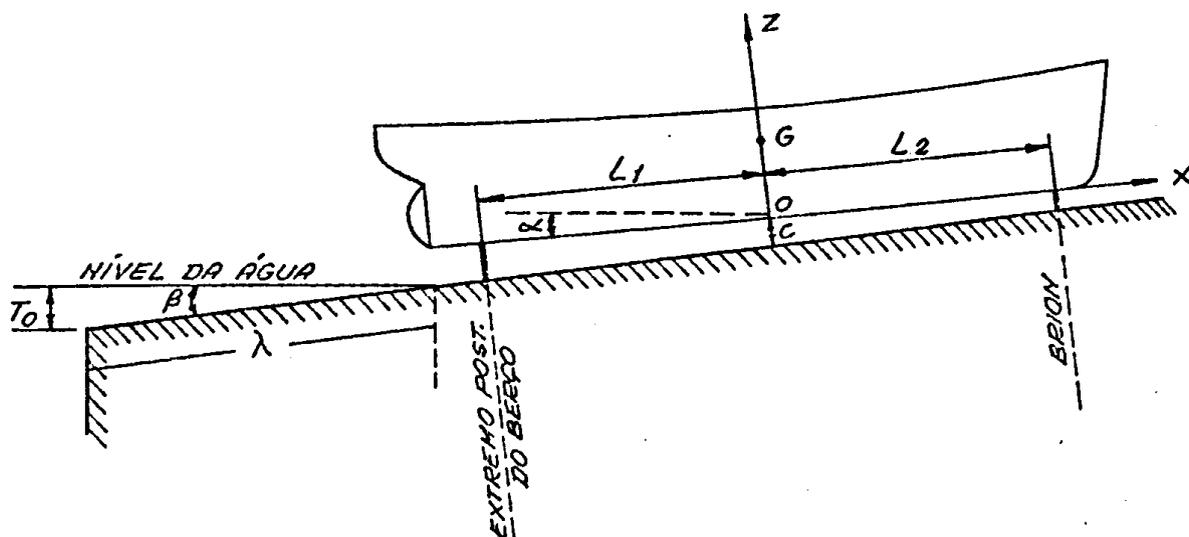


Figura 1

Esquema simplificado do estudo do lançamento

O eixo Z passa pelo centro de gravidade G do conjunto navio e berço e é perpendicular ao plano que contém a Linha de Base. O eixo X está contido no plano de simetria do navio. Finalmente o eixo Y é perpendicular ao plano XOZ.

Usam-se os seguintes símbolos para indicar as características da carreira:

- $\alpha$  - ângulo de inclinação da quilha (em relação ao horizonte)
- $c$  - altura da quilha acima da carreira de construção (no plano ZOY)
- $L_1$  e  $L_2$  - distâncias dos extremos do berço ao plano ZOY
- $b$  - largura total das faixas de contacto
- $n$  - número de faixas de contacto
- $\beta$  - inclinação da carreira de construção (em relação ao horizonte)
- $T_0$  - altura de água sobre o extremo da carreira
- $\lambda$  - comprimento da parte imersa da carreira

O comprimento total do berço ( $L_1+L_2$ ) é aproximadamente igual a 80% do comprimento entre perpendiculares.

As carreiras de construção podem ter uma inclinação constante (rectilínea) ou uma inclinação variável, aumentando do início da carreira até ao extremo (curvilínea), sendo porém as rectilíneas aquelas que são mais comuns.

O declive das carreiras está normalmente compreendido entre 1/12 e 1/24 e consequentemente:

$$\operatorname{tg} \beta \approx \operatorname{sen} \beta \approx \beta \qquad \cos \beta \approx 1$$

Normalmente constrói-se a carreira de lançamento de modo a que seja  $\alpha=\beta$ , porém, caso não seja verificada esta condição, a diferença entre  $\alpha$  e  $\beta$  não é superior a 0,02 radianos.

### **3 FORÇAS DURANTE O LANÇAMENTO**

Durante o lançamento entram em jogo as seguintes forças:

#### **3.1 *Peso de lançamento***

O peso total no lançamento é dado por:

$$D_1=D+P$$

onde

$D$  - peso do navio no momento do lançamento

$P$  - peso do berço

O ponto de aplicação do peso do lançamento (ponto G) é o centro de gravidade do sistema constituído pelo navio e respectivo berço. Este ponto ocupa uma posição fixa (em relação ao sistema de eixos considerado) durante as sucessivas fases do lançamento, o que é evidente.

### 3.2 Reacção da carreira

Enquanto existir contacto entre a parte móvel e a parte fixa da carreira de lançamento, haverá uma reacção da parte da carreira de construção. Esta reacção é a resultante das forças elementares distribuídas ao longo da superfície das faixas de contacto e pode ser decomposta em duas componentes:

- 1) Uma força  $N$  normal ao berço
- 2) Uma força  $F$  contida no plano das faixas de contacto, ou seja a força de atrito

A força de atrito é dada por

$$F = \mu \cdot N$$

onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito. Este coeficiente não tem um valor constante, sendo máximo no momento do arranque. O seu valor depende de vários factores:

- 1) pressão média nas faixas de contacto
- 2) qualidade e composição do lubrificante
- 3) natureza das superfícies em contacto
- 4) temperatura e humidade do ar

A pressão média é dada por

$$p = \frac{(D_1 - I) \cos \beta}{b L_0} \quad (1)$$

sendo

$D_1 - I$  - diferença entre o peso de lançamento e a impulsão

$b$  - largura total das faixas de contacto

$\beta$  - inclinação da carreira

$L_0$  - comprimento do berço em contacto com as tábuas de sebo

Na fórmula (1) apenas  $\beta$  (se a carreira é rectilínea) e  $b$  são constantes durante todo o percurso do navio ao longo da carreira.

O termo  $(D_1 - I)$  é igual a  $D_1$  até ao momento em que o navio começa a entrar na água visto que antes desse momento  $I$  é nulo. Logo que o navio entra na água  $I$  começa a aumentar e consequentemente  $(D_1 - I)$  diminui.

$L_0$  será igual a  $L_1 + L_2$  até que o berço chegue ao extremo da carreira. A partir deste momento  $L_0$  começará a diminuir.

Vemos assim que a pressão nas faixas de contacto varia durante as sucessivas fases do lançamento. Na primeira fase, isto é, antes do navio entrar na água, temos que

$$D_1 - I = D_1$$

$$L_0 = L_1 + L_2$$

e

$$p = \frac{D_1 \cos \beta}{b(L_1 + L_2)} \quad (2)$$

Com o fim de obter um coeficiente de atrito que garanta um bom lançamento é conveniente que a pressão média dada por (2) esteja de acordo com os valores obtidos em anteriores lançamentos efectuados com êxito pelo Estaleiro.

Não dispondo destes elementos, aconselha-se o uso da seguinte fórmula prática:

$$p = 15 + \frac{D_1}{2000} (t / m^2) \quad (3)$$

### Exemplo de cálculo

Suponhamos que o navio a lançar tem o peso  $D=1500t$  no momento do lançamento e que o peso do berço é  $P=80t$ . Neste caso e de acordo com (3) a pressão média nas faixas de contacto deveria ser:

$$p = 15 + (1500 + 80) / 2000 = 15,79 \text{ tons} / m^2$$

Uma vez estabelecido o valor médio da pressão, considerando (2) podemos calcular qual deverá ser o valor de  $b$ . Será:

$$b = \frac{D_1 \cos \beta}{p(L_1 + L_2)}$$

Nota-se que  $p$  é expresso em  $t/m^2$ ,  $D_1$  em  $t$  e  $L_1+L_2$  em  $m$ ,  $b$  virá em  $m$ .

Normalmente o valor da pressão média varia entre 1,5 e 3Kg/cm<sup>2</sup>, tendo-se no entanto verificado pressões da ordem dos 5 a 6 Kg/cm<sup>2</sup> no caso do lançamento de grandes navios.

Como valores do coeficiente de arranque (estático) e do coeficiente de atrito durante o movimento (dinâmico), podem indicar-se os seguintes:

$$\mu_e = 0,02 \text{ a } 0,065 \quad \text{e} \quad \mu_d = 0,015 \text{ a } 0,06$$

A análise dos dados obtidos em vários lançamentos mostra que as relações entre os coeficientes  $\mu_e$  e  $\mu_d$  e a pressão média  $p$  expressa em Kg/cm<sup>2</sup>, são do tipo:

$$\mu_e = 0,06 / \sqrt{p} \quad \text{e} \quad \mu_d = 0,06 / p$$

Assim, uma vez calculada a pressão média utilizando a fórmula (3), podemos imediatamente obter um valor bastante aproximado do coeficiente de atrito estático  $\mu_e$ , o qual é aquele que particularmente nos interessa, já que a condição necessária para o arranque do navio, é como veremos adiante:

$$\mu_e < \text{tg } \beta$$

### **3.3 Impulsão e Resistência da água**

À medida que o navio entra na água começam a agir estas duas forças.

A impulsão é a resultante das componentes verticais das pressões elementares exercidas pela água sobre a parte imersa do navio e do berço. É preciso, no entanto, ter em atenção que a parte do berço em contacto com as tábuas de sebo não recebe

qualquer impulsão mesmo quando imersa. Por conseguinte a impulsão é um pouco menor do que o produto do volume total imerso pelo peso específico da água.

A redução na impulsão é dada pelo produto do peso específico da água, pelo volume de prismas com bases verticais de forma triangular (Figura 2). Ao valor desta redução de impulsão dá-se o nome de impulsão perdida.

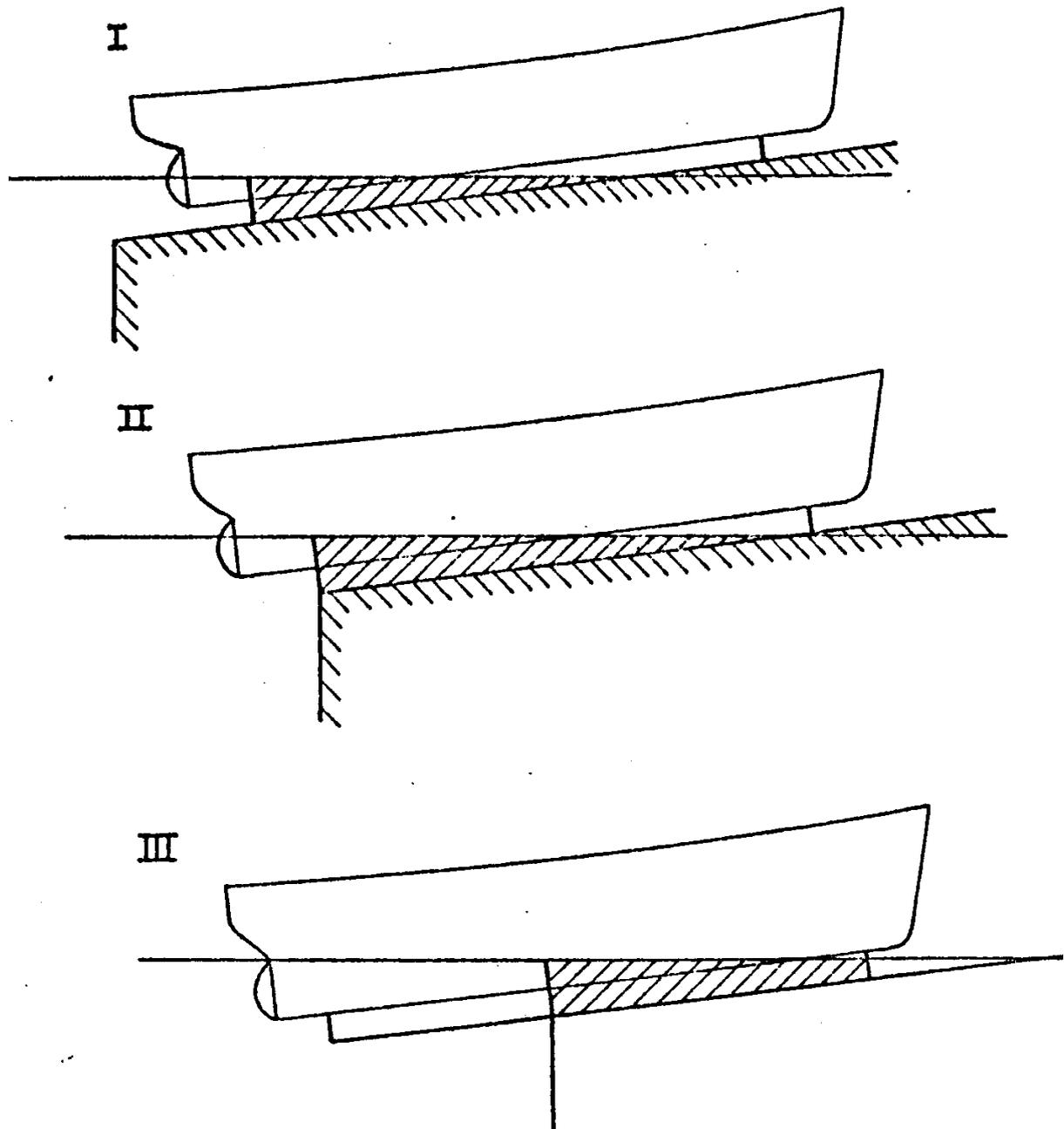


Figura 2 Variação da impulsão perdida

Como se vê na figura teremos o máximo de impulsão perdida na posição II, ou seja quando o berço atinge o extremo da carreira.

A impulsão total será:

$$I = \gamma W = \gamma (V+v-v') \quad (4)$$

onde

$\gamma V$  - impulsão da parte imersa do casco

$\gamma v$  - impulsão da parte imersa do berço

$\gamma v'$  - impulsão perdida

De modo idêntico o momento da impulsão em relação ao plano YOZ é também constituído por três momentos componentes:

$$M^* = \gamma W x = M+m-m' \quad (5)$$

onde

$x$  - abcissa do ponto de aplicação da impulsão total

$M$  - momento da impulsão  $\gamma V$  em relação ao plano YOZ

$m$  - momento da impulsão  $\gamma v$  em relação ao plano YOZ

$m'$  - momento da impulsão perdida  $\gamma v'$  em relação ao plano YOZ

$V$  e  $M$  são calculados utilizando as escalas de Bonjean, com os métodos usuais de integração aproximada.

Como normalmente  $v$  e  $v'$  assim como  $m$  e  $m'$  não têm valores muito diferentes, é lícito admitir que se compensam mutuamente, facilitando-se apreciavelmente os cálculos a efectuar. Com efeito (4) e (5) simplificam-se em:

$$I = \gamma V \quad e \quad M^* = M = \gamma V x$$

Quanto à resistência oferecida pela água, apenas se faz notar que se trata dum tipo de resistência bastante diferente e mais complexo do que a resistência ao movimento, encontrada por um navio que se desloca à superfície da água com velocidade constante. A diferença reside em dois factos:

- 1) Durante o lançamento estamos em presença de um movimento acelerado
- 2) Durante o lançamento o volume da parte imersa do navio não é constante: aumenta continuamente.

A consideração da resistência da água durante o lançamento é particularmente importante no estudo dinâmico do lançamento e envolve conceitos complexos como o de "massa acrescentada" motivo porque apenas se lhe faz esta breve referência.

## 4 FASES DO LANÇAMENTO

O lançamento pode ser dividido em quatro fases:

- 1) Deslizamento com o navio fora da água
- 2) Desde a entrada da popa na água até ao início da rotação
- 3) Desde o início da rotação até à flutuação do navio
- 4) Percurso em flutuação livre até à paragem do navio

À medida que o navio e o berço entram na água, começa a actuar a impulsão até que passado um certo tempo o navio começa a flutuar, libertando-se da carreira de construção.

Se o comprimento da parte imersa da carreira de construção não for adequado, depois do centro de gravidade  $G$  ter passado para além do extremo da carreira, pode-se verificar o fenómeno de *despenhamento*, ou por outras palavras, um afundamento brusco da popa (Figura 3).

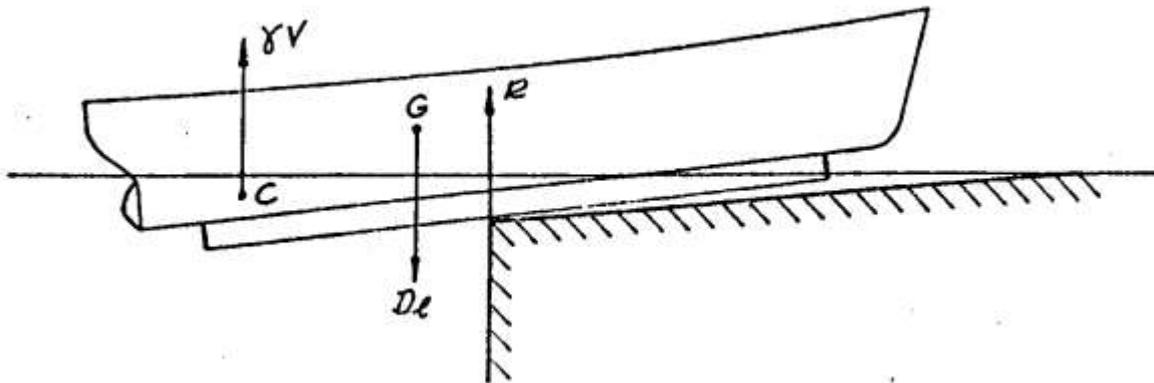


Figura 3 Despenhamento

Este fenómeno, que, evidentemente se deve evitar, verifica-se sempre que o momento do peso  $D_1$  em relação ao extremo da carreira é maior que o momento da impulsão em relação ao mesmo ponto.

Verificando-se o despenhamento, o navio rodará com elevada velocidade angular em torno de um eixo horizontal passando pelo extremo da carreira, originando uma forte concentração de tensões na zona do extremo da carreira, o que pode provocar deformações no casco do navio.

Em seguida ao despenhamento, o aumento do volume imerso num tempo muito pequeno origina um aumento muito rápido da impulsão obrigando o navio a subir rodando em torno da posição de equilíbrio. Durante este movimento a proa do navio pode bater com violência no extremo da carreira, provocando esmagamento do berço e da carreira e graves deformações no casco.

Podemos pois concluir que o despenhamento é um fenómeno que se deve absolutamente evitar.

No caso da entrada do navio na água sem despenhamento, a popa começará progressivamente a levantar a partir do instante em que os momentos do peso e da impulsão em relação ao brion se igualem, Figura 4.

Se a altura de água acima do extremo da carreira for inferior à soma do calado  $AV$  com a altura da carreira de lançamento, verificar-se-á o fenómeno da *saudação* quando a última parte do berço passa sobre o extremo da carreira.

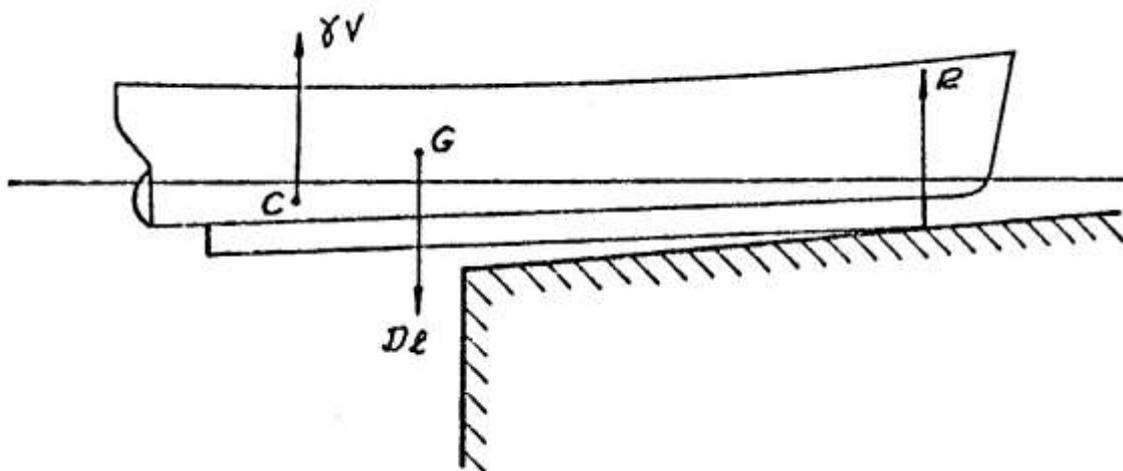


Figura 4 Rotação em torno do berço de vante

Normalmente as carreiras de construção são cavadas no seu extremo, de modo a evitar que a proa do navio vá bater violentamente contra a superfície da carreira caso se verifique a saudação (Figura 5).

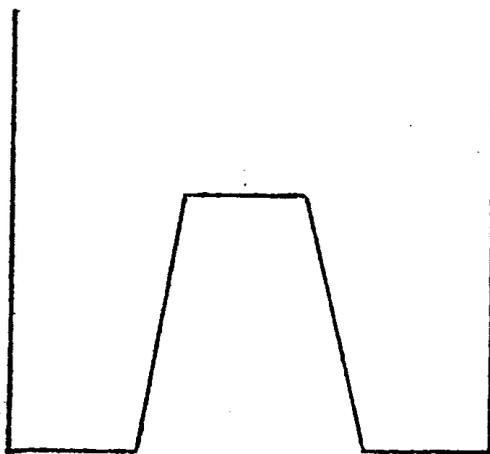


Figura 5 Forma da extremidade da carreira

Durante a saudação pode também acontecer que a proa do navio vá bater no fundo. A probabilidade de o navio bater no fundo durante a saudação é tanto maior, quanto mais baixo for o nível da água sobre a extremidade da carreira.

No lançamento a sequência dos vários fenómenos citados é a seguinte:

DESPENHAMENTO → ROTAÇÃO → SAUDAÇÃO

As forças que agem durante as sucessivas fases são:

- 1ª Fase -Peso ( $D_1 = D + P$ ) e reacção da carreira.
- 2ª Fase -Peso, reacção da carreira e impulsão. O despenhamento pode verificar-se nesta fase.

- 3ª Fase -Peso, reacção da carreira e impulsão. Durante esta fase dá-se a rotação em torno do brion, visto que o momento da impulsão se torna maior do que o momento do peso em relação ao brion.
- 4ª Fase -Peso e impulsão, Figura 6. Na passagem da 3ª fase para a 4ª pode-se verificar a saudação.

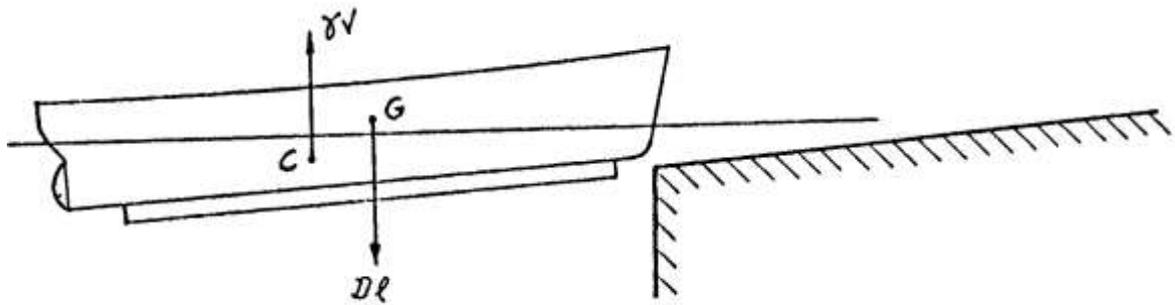


Figura 6 Saudação e Flutuação

Como vemos não foram consideradas nas várias fases nem as forças de inércia, nem a resistência da água, visto não nos interessar a solução dinâmica do problema.

Passamos agora a uma consideração mais pormenorizada das sucessivas fases.

#### 4.1 1ª Fase

##### 4.1.1 Condição para o início do movimento (arranque)

As forças que se desenvolvem antes da embarcação iniciar o movimento está esquematizada na figura abaixo.

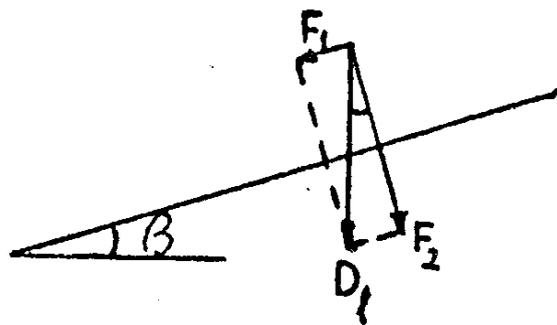


Figura 7

$$F_1 = D_1 \operatorname{sen} \beta \quad \text{e} \quad F_2 = D_1 \operatorname{cos} \beta$$

Como se vê na figura a força motora é  $F_1$ . A esta força opõe-se a força de atrito:

$$F_a = \mu_e D_1 \operatorname{cos} \beta$$

Para que o navio comece a deslizar deverá ser evidentemente:

$$F_1 > F_a \quad \text{ou seja} \quad D_1 \operatorname{sen} \beta > \mu_e D_1 \operatorname{cos} \beta$$

e finalmente

$$\operatorname{tg} \beta > \mu_e \quad (6)$$

Conhecendo as características do lubrificante e a pressão média nas tábuas de sebo, pode-se obter um valor de  $\mu_e$  bastante aproximado (através de elementos de outros lançamentos ou com as formulas empíricas já vistas). Já que  $\beta$  é conhecido podemos ver se (6) é ou não verificada. Caso não o fosse dever-se-ia ou escolher outro lubrificante ou dar uma nova largura total  $b$  às faixas de contacto de modo a obter uma diferente pressão média e conseguir assim satisfazer, a condição (6).

Contudo como medida de segurança montam-se sempre à proa dois macacos hidráulicos (um por bordo e dispostos simetricamente), cuja função é dar um impulso ao navio, caso este não parta por si só, uma vez livre de todos os meios de retenção.

## 4.2 2ª Fase

### 4.2.1 Condição para evitar o despenhamento

Nesta 2ª fase é importante determinar na prática se existe a possibilidade de despenhamento, o que pode ser facilmente verificado considerando o equilibrio dos momentos em relação ao extremo da carreira.

De facto e como já foi dito, haverá despenhamento quando o momento do peso em relação ao extremo da carreira for superior ao momento da impulsão em relação ao mesmo ponto. O despenhamento só é possível após o centro de gravidade  $G$  ter passado sobre o extremo da carreira, pois só então os momentos acima citados terão sinais contrários.

No momento do despenhamento a pressão é máxima sobre a carreira de construção, dado que a reacção da carreira está concentrada numa pequena zona do extremo da carreira. Como já vimos esta força concentrada pode provocar deformações no caso do navio, especialmente se actua na zona entre duas balizas. Por outro lado, a elevada pressão pode esmagar e danificar o extremo da carreira.

Em casos extremos a pressão pode atingir um valor tal que provoque a expulsão do lubrificante, aumentando o coeficiente de atrito de tal modo que o navio pára.

Finalmente se a velocidade angular é apreciável quando o navio roda em sentido contrário (ao despenhamento), devido ao aumento quase instantâneo da impulsão, a parte anterior do berço irá bater violentamente contra a carreira. Este choque pode provocar a rotura do berço e deformações na proa.

Considerando a Figura 8 temos que o movimento da impulsão em relação ao extremo da carreira é dado por:

$$M_V' = -\gamma V (a+x)$$

e o momento do peso por

$$M_D' = D_1 \cdot a$$

sendo  $a$  a distância da origem do sistema de eixos ao extremo da carreira.  $a$  é positivo enquanto a origem se mantém sobre a carreira e negativo quando a origem passa para fora da carreira.

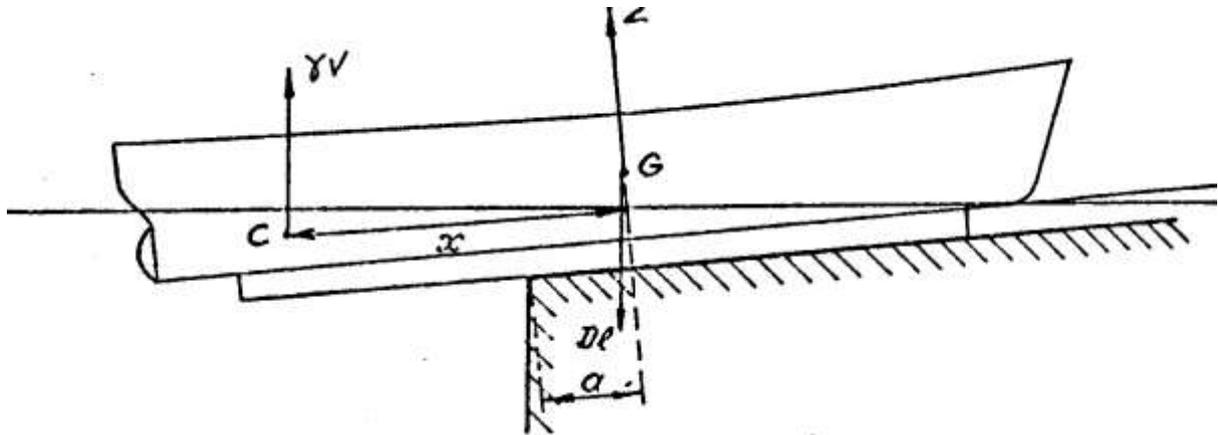


Figura 8

Construindo um diagrama com  $M_D'$  e  $M_V'$  em ordenadas e com  $a$  em abcissa,  $M_D'$  será representado por uma linha recta a  $M_V'$  por uma curva com a concavidade voltada para cima (Figura 9).  $M_D'$  é evidentemente nulo, no instante em que G passa sobre o extremo da carreira e é a partir desse instante que se constrói o diagrama, pois que só então os momentos  $M_D'$  e  $M_V'$  passam a ser de sentidos contrários.

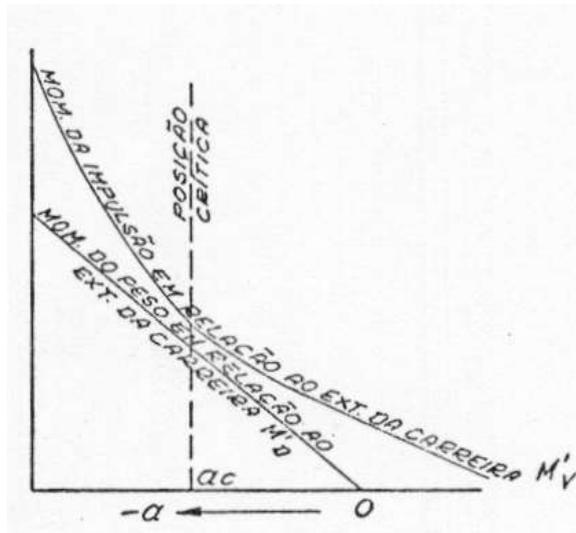


Figura 9

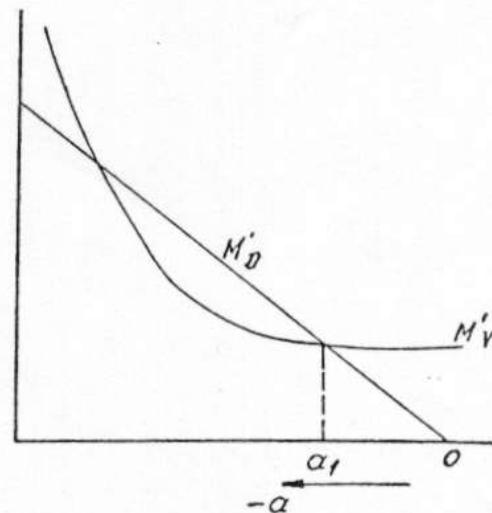


Figura 10

No caso da figura não haverá despenhamento visto que é sempre  $M_V' > M_D'$ . Se os diagramas se intersectassem (Figura 10) haveria despenhamento, o qual se verificaria em correspondência de  $a_1$ , isto é, na posição em que G dista  $a_1$  do extremo da carreira.

No caso de não haver intersecção dos diagramas há um instante em que a diferença entre os dois momentos é mínima. A posição do navio que corresponde a este instante é a chamada posição crítica. Por exemplo na Figura 9 a posição crítica é  $a_c$ .

Com o procedimento indicado obtém-se a solução gráfica do problema do despenhamento.

A título informativo, nota-se que o problema é susceptível de ser resolvido analiticamente. Partindo da consideração que a soma dos momentos  $M_V'$  e  $M_D'$  é

igual ao momento da resultante das forças peso e impulsão em relação ao extremo da carreira, tem-se:

$$M_{N'} = M_V' + M_{D'} = D_1 \cdot a - \gamma V \cdot (a+x) \quad (7)$$

Para que não haja despenhamento deverá ser  $M_{N'} > 0$ . A posição crítica verificar-se-á quando  $M_{N'}$  tiver o valor mínimo, isto é, quando

$$d(M_{N'}) / da = 0 \quad (8)$$

Resolvendo (8) em ordem a  $a$ , determina-se a posição crítica  $a_c$  e substituindo o valor  $a_c$  em (7) determina-se o valor mínimo de  $M_{N'}$ . Se este valor for positivo não haverá despenhamento. Caso seja negativo verificar-se-á o despenhamento.

Nota: Para um estudo completo deste método aconselha-se a consulta do volume "Statics and Dynamics of the Ship" de V. Semyonov, pgs 350 e 351.

### 4.3 3ª. Fase

#### 4.3.1 Determinação do início da rotação e da pressão no brion

No estudo da 3ª fase é importante determinar o instante em que se verifica o início da rotação, assim como a grandeza da resultante do peso e da impulsão, cujo ponto de aplicação é no brion. A rotação em torno do brion tem início no instante em que a soma dos momentos do peso e da impulsão em relação ao brion é nula. É evidente que durante a rotação o navio continua o seu movimento de translação ao longo da carreira.

Considerando a Figura 11, resulta para condição do início da rotação

$$\gamma V (L_2 - x) - D_1 L_2 = 0$$

Por outro lado a resultante do peso e da impulsão, concentrada no brion, será:

$$N = D_1 - \gamma V$$

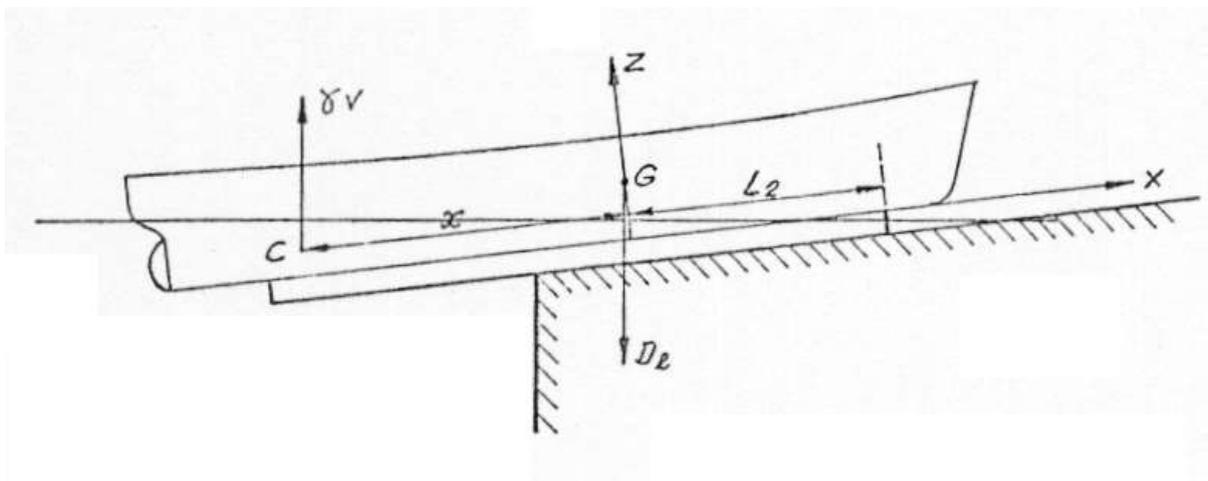


Figura 11

N é máximo precisamente no início da rotação, já que a partir deste momento  $\gamma V$  aumenta progressivamente, enquanto  $D_1$  é constante. A força N pode atingir valores apreciáveis podendo chegar a  $1/3 D_1$ . Por conseguinte os pródigos e o casco podem

sofrer sérios danos. Para evitar estes inconvenientes deve-se distribuir esta força por uma área suficientemente grande (uso das "cintas") e interpor nos pés dos pródigos camadas de madeira macia as quais esmagando-se absorvem parcialmente o esforço.

Ao fazer o estudo do lançamento deve-se tentar reduzir o valor de  $N$  tanto quanto possível, assim como reforçar a zona de rotação.

A Figura 12 representa o diagrama dos momentos do peso e da impulsão em relação ao brion respectivamente  $M_D$  e  $M_V$ . O momento  $M_D$  é constante dado que a distância de  $G$  ao brion é constante e  $M_V$  é uma curva com a concavidade voltada para cima.

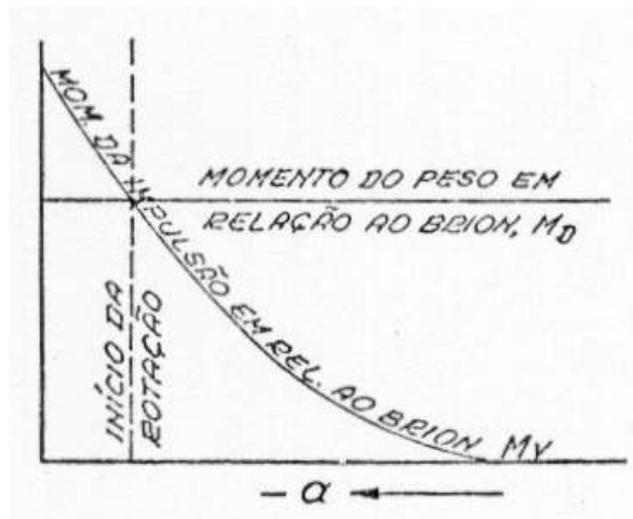


Figura 12

A intersecção de  $M_D$  com  $M_V$  corresponde ao início da rotação, pois que esse ponto corresponde à igualdade dos momentos.

## 4.4 4ª. Fase

### 4.4.1 Saudação

Se a altura de água acima do extremo da carreira  $T_0$  for inferior ao calado do navio  $AV$ ,  $T_2$ , a quarta fase começa com a saudação, ou seja, um brusco afundamento da parte anterior do berço e do navio. Para determinar a máxima imersão da proa devido à saudação, teoricamente seria necessário determinar as equações das oscilações verticais do navio em água tranquila e resolvê-las seguidamente. Porém é possível obter aproximadamente a imersão máxima de um modo simples.

Quando se verifica a saudação o navio, para ocupar a posição de equilíbrio, deveria mergulhar a proa de  $T_2 - T_0$ . Porém devido à inércia o navio não mergulhará apenas até à posição de equilíbrio  $T_2$  mas irá ultrapassá-la, iniciando uma série de oscilações em torno dessa posição.

Considerando nula a resistência da água, sabemos da teoria das oscilações que a amplitude é igual ao dobro do desvio da posição de equilíbrio, isto é,  $2(T_2 - T_0)$ . Consequentemente a proa do navio mergulha de  $2(T_2 - T_0)$  em relação ao extremo da carreira e assim o seu calado máximo será:

$$T' = T_2 + (T_2 - T_0) = 2T_2 - T_0$$

Dados experimentais (e portanto influenciados pela resistência da água), mostram que o factor 2 de  $T_2$  é exagerado e que o seu valor se pode considerar 1,5 a 1,7.

## 5 DIAGRAMAS DE LANÇAMENTO

O objectivo principal dos cálculos de lançamento é esclarecer as seguintes circunstâncias:

- se haverá ou não despenhamento
- o instante do início da rotação
- o valor da força exercida no brion no início da rotação

Como já se viu o despenhamento só é possível na 2ª fase e o início da rotação dá-se no fim da mesma fase. Por conseguinte é suficiente proceder aos cálculos estáticos apenas para esta 2ª fase, eliminando assim trabalho desnecessário.

Os cálculos estáticos podem-se fazer com métodos gráfico analíticos utilizando as escalas de Bonjean ou o vertical integral (mais trabalhoso). Praticamente o objectivo dos cálculos estáticos consiste em elaborar os diagramas de lançamento.

Existem dois métodos básicos para representar graficamente os resultados dos cálculos: o método Inglês e o método Francês. Considerar-se-á em particular o primeiro destes métodos, por ser o mais utilizado.

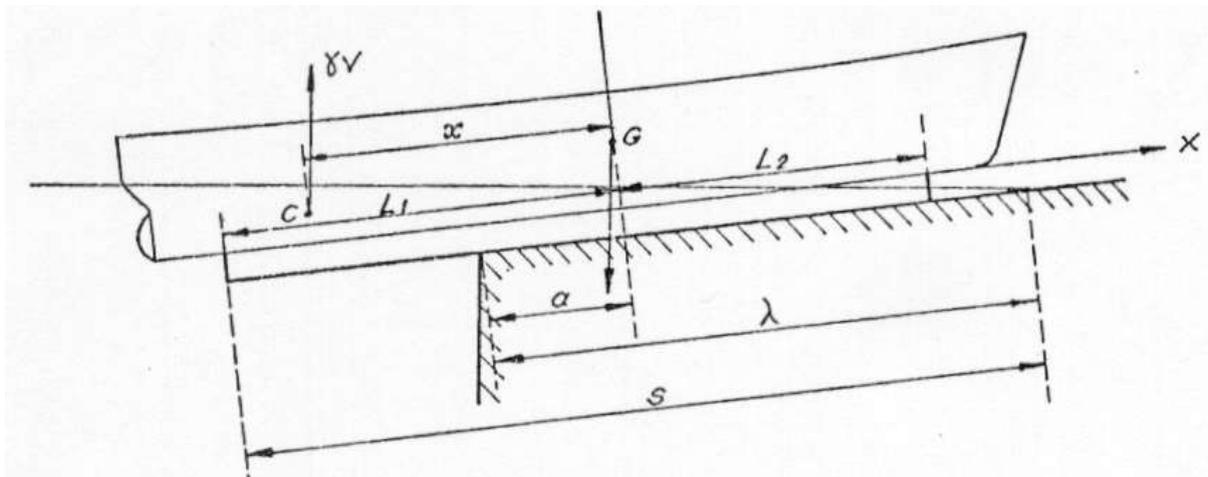


Figura 13

Na Figura 14 temos em abcissa o espaço  $s$  percorrido pelo extremo posterior do berço ( $s = \lambda - a + L_1$  como se vê da Figura 13) e no plano as seguintes funções de  $s$ :

- A impulsão  $\gamma V$  ao longo do percurso
- O peso  $D_1$  (constante)
- O momento da impulsão em relação ao brion,  $M_V$   
 $M_V = \gamma V (L_2 - x)$
- O momento do peso em relação ao brion,  $M_D$   
 $M_D = -D_1 L_2$   
Este momento é evidentemente constante

- e) O momento da impulsão em relação ao extremo da carreira,  $M_V'$   
 $M_V' = -\gamma V (a+x)$   
 como:  $s = \lambda - a + L_1 \rightarrow a = \lambda + L_1 - s$   
 resulta  $M_V' = \gamma V (s - \lambda - L_1 - x)$
- f) O momento do peso em relação ao extremo da carreira,  $M_D'$   
 $M_D' = D_1 \cdot a = -D_1 (s - \lambda - L_1)$

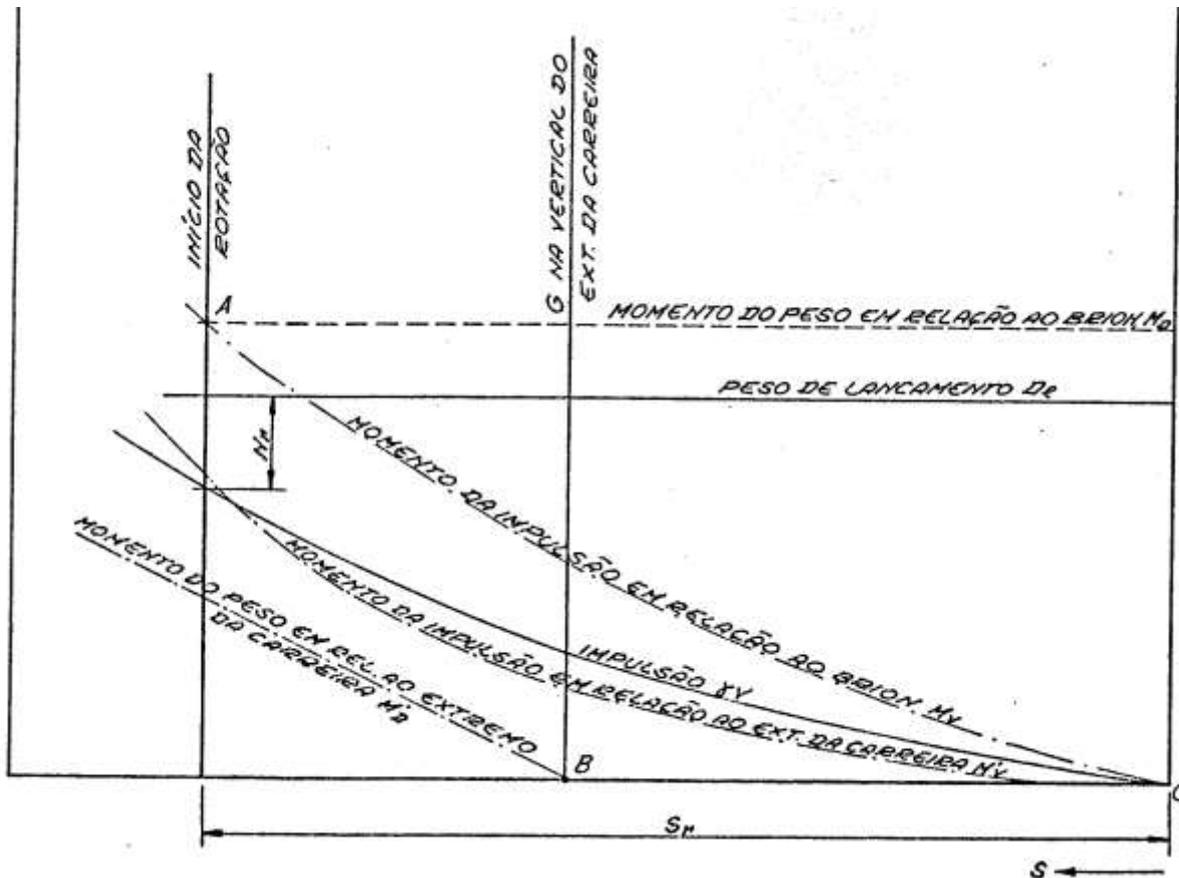


Figura 14

No ponto A os momentos  $M_D$  e  $M_V$  são iguais, condição que determina o início da rotação. Por conseguinte a abcissa do ponto A representa a distância  $s_r$  percorrida pelo brion até ao início da rotação (durante a 2ª fase).

A diferença entre as ordenadas da recta horizontal  $D_1$  e da curva da impulsão  $\gamma V$ , medida na abcissa  $s_r$  constitui a força máxima exercida sobre o brion,  $N_r$ .

O ponto B, intersecção da recta  $M_D'$  com o eixo das abcissas (ou seja  $M_D'=0$ ), corresponde à posição do navio em que o centro de gravidade G está na vertical do extremo da carreira. De facto nesta posição o braço do peso  $D_1$  em relação ao extremo da carreira é nulo e assim  $M_D'=0$ .

O risco de despenhamento existe na parte do percurso compreendida entre as posições A e B. Como se vê na figura  $M_D'$  e  $M_V'$  não se intersectam e portanto neste caso não haveria despenhamento.

Se ao construir os diagramas verificássemos uma intersecção de  $M_D$  e  $M_V$  haveria despenhamento, o que como foi dito é imperioso evitar. Um dos processos para o

conseguir consiste em lastrar os tanques AV do G inicial, provocando assim o seu avançamento em direcção a proa. Consegue-se assim reduzir o braço de  $D_1$  em relação ao extremo da carreira o conseqüentemente diminuirá  $M_D'$ .

Outro processo consiste em aumentar a impulsão montando à popa caixas estanques, obtendo-se assim um maior valor para  $M_V$ . Em caso de necessidade podem-se empregar os dois processos simultaneamente.

Depois do início da rotação, ou seja à esquerda do ponto A, o diagrama deixa de ter interesse visto que as situações importantes e perigosas do lançamento estão definidas à sua direita.

## 6 Disposição Prática no Cálculo de Lançamento

Para obter as diversas curvas do diagrama é necessário calcular os seguintes valores:

- a)  $\gamma V$
- b)  $D_1 = \text{const.}$
- c)  $M_V = \gamma V (L_2 - x)$
- d)  $M_D = -D_1 L_2 = \text{const.}$
- e)  $M_V' = \gamma V (s - \lambda - L_1 - x)$
- f)  $M_D' = -D_1 (s - \lambda - L_1)$

para cinco ou seis posições do navio ao longo do seu percurso, às quais correspondem respectivamente 5 e 6 linhas de água, que devem ser traçadas nas escalas de Bonjean. Utilizando os métodos usuais de integração aproximada (regra dos trapézios ou de Simpson), determinam-se os valores de  $V$ ,  $M_V$  e  $M_V'$  correspondentes a cada uma das posições escolhidas.

Na tabela I indica-se a disposição de cálculo para a determinação de  $V$  e de  $M$ , sendo  $M$  o momento de  $V$  em relação ao plano YOZ.

N.B.: A disposição de cálculo está feita para usar a regra dos trapézios.

Obteremos assim

$$V = \frac{L_{pp}}{2m} \sum_1 \quad \text{e} \quad M = \frac{L_{pp}}{2m} \left( \frac{L_{pp}}{2m} \sum_2 + x' \sum_1 \right)$$

sendo  $x'$  a distância entre o centro de gravidade do navio e o plano transversal que contém a perpendicular a meio,  $x' > 0$  se  $G$  estiver AR do referido plano, como normalmente sucede; será  $x' < 0$  em caso contrário.

Para cada linha de água é necessário fazer uma tabela deste tipo.

Uma vez conhecidos  $V$  e  $M$ , podemos determinar a abcissa do centro de impulsão em relação ao plano YOZ (isto é, aquele que contém  $G$ ). Será precisamente  $x = M/V$ .

Para calcular  $M_V$  e  $M_V'$  usa-se a disposição de cálculo da tabela II.

Para construir o diagrama inglês é também necessário calcular os momentos  $M_D$  e  $M_D'$ , utilizando as relações d) e f). Para  $M_D$  basta um só cálculo, já que  $M_D$  é

constante ao longo de todo o percurso. Para  $M_D'$  é preciso fazer um cálculo para 2 posições (2 linhas de água), visto que o seu diagrama é uma recta.

## 7 OBSERVAÇÕES FINAIS

Tendo em atenção a Figura 14, deve-se notar que à esquerda do ponto A o andamento das curvas de impulsão e momento da impulsão em relação ao brion não segue aquele verificado entre A e B e isto por dois motivos:

- 1) Depois do início da rotação temos a componente de impulsão devida ao berço (com efeito o berço a partir deste momento deixa de estar em contacto com as tábuas de sebo)
- 2) A partir do início da rotação a inclinação da quilha varia continuamente modificando a lei de variação das imersões AV e AR (de facto antes da rotação a variação das imersões faz-se em função de um parâmetro constante: a inclinação da quilha; depois da rotação este parâmetro varia continuamente até ao momento em que o navio fica a flutuar).

Já vimos que o início da rotação é caracterizado pela igualdade entre os momentos da impulsão e do peso em relação ao brion, igualdade que se mantém até que o navio flutue livremente.

É precisamente esta condição que nos permite continuar os diagramas da impulsão e do momento da impulsão à esquerda do referido ponto A. Vejamos qual o procedimento a seguir.

Dado que o brion depois do início da rotação e até à flutuação livre continua em contacto com as tábuas de sebo, a imersão AV determina-se imediatamente. Já o mesmo não acontece com a imersão AR, a qual só pode ser determinada uma vez conhecido o caimento do navio na posição considerada, e cujo valor se determina por tentativas.

Suponhamos que num dado caso de lançamento a carreira tinha uma inclinação de 5%. Para cada tentativa na determinação do caimento, consideram-se inclinações inferiores à da carreira, por exemplo 4%, 3% e 2%, traçando as respectivas linhas de água.

As linhas de água assim obtidas permitem determinar a impulsão e o momento da impulsão correspondentes, usando as escalas de Bonjean ou o vertical integral com os métodos usuais de integração aproximada. Os valores assim determinados permitem a traçagem do diagrama indicado na Figura 15.

Como foi dito anteriormente a condição  $M_V = M_D$  mantém-se durante a rotação. Consequentemente, a vertical que passa pelo ponto de intersecção de  $M_V$  e  $M_D$  permite-nos determinar a impulsão correspondente à posição considerada e ter assim um ponto à esquerda do ponto A. Para continuar o diagrama da impulsão à esquerda do referido ponto, consideram-se sucessivas posições do navio, para cada uma das quais se repete o cálculo por tentativas indicado.

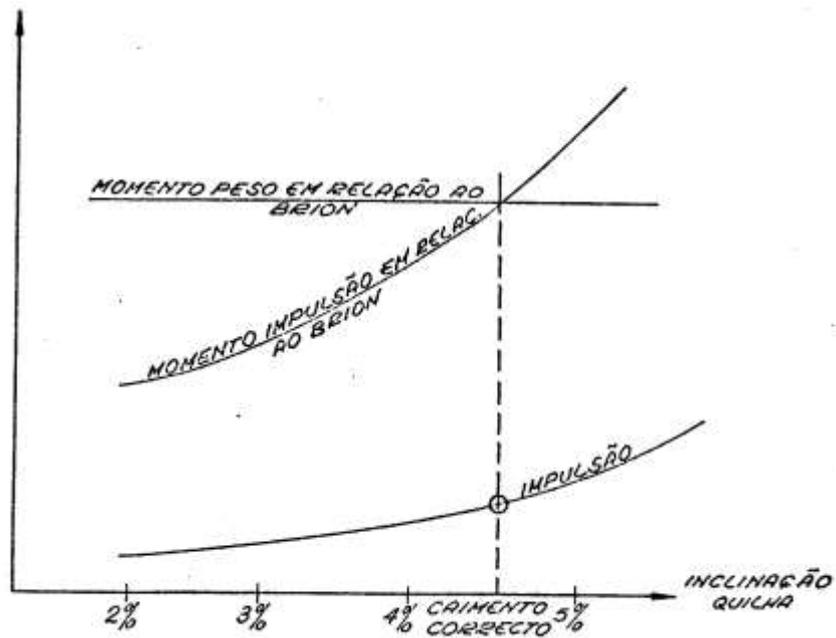


Figura 15

Determinados dois ou três pontos à esquerda do ponto A, pode-se traçar a curva correcta da impulsão.

A abcissa do ponto de intersecção do peso  $D_1$  com a impulsão dá-nos a posição em que o navio flutuará livremente. Esta posição mostra-nos se se verifica ou não a saudação. Com efeito se no momento da flutuação o brion estiver ainda sobre a carreira, evidentemente não haverá saudação.

Tabela 1

Nº DAS SECÇÕES TRANSVERSAIS	ÁREA DAS SECÇÕES		PRODUTOS I (II-III)
	SECÇÕES A/ P.P. AO MEIO	SECÇÕES B/ P.P. AO MEIO	
I	II	III	IV
0	$\omega_0 =$	$\omega'_0 = \omega_0 =$	$0(\omega_0 - \omega'_0) = 0$
1	$\omega_1 =$	$\omega'_1 =$	$1(\omega_1 - \omega'_1) =$
2	$\omega_2 =$	$\omega'_2 =$	$2(\omega_2 - \omega'_2) =$
3	$\omega_3 =$	$\omega'_3 =$	$3(\omega_3 - \omega'_3) =$
4	$\omega_4 =$	$\omega'_4 =$	$4(\omega_4 - \omega'_4) =$
5	$\omega_5 =$	$\omega'_5 =$	$5(\omega_5 - \omega'_5) =$
6	$\omega_6 =$	$\omega'_6 =$	$6(\omega_6 - \omega'_6) =$
7	$\omega_7 =$	$\omega'_7 =$	$7(\omega_7 - \omega'_7) =$
8	$\omega_8 =$	$\omega'_8 =$	$8(\omega_8 - \omega'_8) =$
9	$\omega_9 =$	$\omega'_9 =$	$9(\omega_9 - \omega'_9) =$
10	$\omega_{10} =$	$\omega'_{10} =$	$10(\omega_{10} - \omega'_{10}) =$
SOMAS	A =	B =	$\mathcal{E}'_2 =$
	$\mathcal{E}'_1 = A + B$		
CORRECÇÕES	$\frac{1}{2}(\omega_{10} + \omega'_{10}) =$		$\frac{1}{2} 10(\omega_{10} - \omega'_{10}) =$
SOMAS CORRIGIDAS	$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}'_1 - \frac{1}{2}(\omega_{10} + \omega'_{10}) =$		$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}'_2 - \frac{1}{2} 10(\omega_{10} - \omega'_{10}) =$

Tabela 2

LINHA DE ÁGUA Nº	S	X	YV	II - (I <sub>1</sub> + X)	M <sub>V</sub> = IV · [I <sub>1</sub> · III]	V - III	III · IV · V
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1							
2							
3							
4							
5							
6							

## 8 Anexo

Em anexo juntam-se algumas indicações úteis para o cálculo do lançamento e um método por tentativas para o estudo do despenhamento.

### 8.1 Posição do navio na carreira

Para estabelecer a distância da  $PP_{AV}$  ao extremo da carreira deve-se ter em atenção a altura de água no momento do lançamento (não é conveniente ser superior a 4,20 m), de maneira que seja possível trabalhar livremente a ré do navio e sem que o berço de ré esteja a ser molhado.

Em caso de necessidade a carreira nº 5 do A.A. tem ensecadeira para evitar este inconveniente.

Nota: Não é aconselhável escolher uma maré superior a 4,20 m, já que destas existem várias durante o ano e ser assim mais fácil escolher a data do lançamento.

### 8.2 Força máxima exercida no brion

Já vimos que esta força corresponde no início da rotação e que o seu valor se obtém dos diagramas de lançamento.

Quando não se tracem estes diagramas (caso de navios pequenos), podemos considerar o valor daquela força como sendo da ordem dos 25 a 30% do deslocamento do navio em questão, ou seja

$$N_r = 0,25 \text{ a } 0,30 D$$

### 8.3 Esforço no aparelho de retenção

Por motivos de segurança consideramos nulo o atrito e assim o aparelho de retenção deverá opor-se a força de escorregamento:

$$F_1 = D_1 \text{ sen } \beta$$

### 8.4 Saudação

Para evitar a saudação é evidente que será necessário conseguir que o navio flutue livremente antes de atingir o extremo da carreira. Entrando com o deslocamento no momento do lançamento nos gráficos das carenas direitas, obtemos os elementos necessários para o cálculo da imersão a vante,  $i_{AV}$ .

Como a altura de água acima da carreira é conhecida fica-se imediatamente a saber se o navio flutuará ou não antes de atingir o extremo da carreira. No caso negativo terá que se proceder a uma mudança de pesos a bordo sem contudo diminuir grandemente a distância do centro de gravidade à  $PP_{AR}$ . Se mesmo assim não se conseguisse obter o valor desejado da  $i_{AV}$  teria de se diminuir ligeiramente o deslocamento.

## **8.5 Despenhamento**

Começa-se por desenhar o longitudinal da carreira de cimento e a linha que nos dá a inclinação da carreira de lançamento, linha que coincide com a linha base, traçando também a linha que representa a maré.

Seguidamente desenha-se em vegetal o longitudinal do navio, marcando-se as respectivas balizas de traçado e a posição do centro de gravidade.

O método que a seguir se indica consiste em determinar por tentativas o ponto de início da rotação.

Começa-se por supor que o navio iniciará a rotação quando a maré começar a molhar o pé de uma dada baliza de traçado, por exemplo a 6 AV. Faz-se então deslizar o vegetal sobre o desenho da carreira até que se verifique a condição anterior (maré a molhar o pé da baliza 6 AV) e traça-se no vegetal a linha de imersão das várias balizas (coincidente com a linha de maré, evidentemente).

Utilizando as escalas de Bonjean ou o vertical integral e aplicando os usuais métodos de integração aproximada, calcula-se o volume imerso e o respectivo centro. Conhecido o volume imerso conhecemos a impulsão.

Temos assim todos os elementos para o cálculo dos momentos do peso e da impulsão em relação ao brion. Caso o momento da impulsão resulte inferior ao momento do peso, o navio ainda não começará a rodar na posição considerada e assim teremos de fazer uma outra tentativa considerando a maré a molhar o pé da baliza 7 AV.

Se para esta nova posição o momento da impulsão fosse maior que o momento do peso em relação ao brion, o navio já teria iniciado a rotação e precisamente numa posição intermédia as correspondentes as balizas 6 e 7 AV. Uma vez determinada aproximadamente a posição de início da rotação, verificaremos graficamente se o centro de gravidade está ou não sobre a carreira de construção. Caso esteja não haverá despenhamento e vice-versa.

Quando não se usam os diagramas de lançamento, este método será aquele de mais fácil recurso.