

JAIRO HUMBERTO CABRERA TOVAR

**ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE DE
EMBARCAÇÕES PESQUEIRAS CONSIDERANDO
ONDAS DE POPA E VENTOS SEVEROS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Naval

Orientador:
Prof. Dr. Celio Taniguchi

São Paulo
1995

JAIRO HUMBERTO CABRERA TOVAR

**ANÁLISE DOS CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE DE
EMBARCAÇÕES PESQUEIRAS CONSIDERANDO
ONDAS DE POPA E VENTOS SEVEROS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

São Paulo
1995

Biblioteca da Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

À minha família:

Meus Pais, Humberto e Lucía, pelo amor, e pelos esforços que jamais pouparam em prol de minha formação.

Minha Irmãs, Martha e Sandra, pelo amor, apoio, e constante estímulo.

e À:

Edileine, pelo apoio, ajuda e compreensão demonstrada todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Celio Taniguchi, pelo apoio proporcionado e por estar sempre disposto a me ajudar a solucionar minhas dúvidas desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Kazuo Nishimoto pela ajuda prestada durante o desenvolvimento e a finalização deste trabalho.

Ao CNEI Manuel Rincón Bolívar, por ter me oferecido a oportunidade de me aperfeiçoar na área Naval, contribuindo assim para a realização de um dos objetivos da minha vida.

Ao meu amigo Edward pelas sugestões, constante disposição e boa vontade em me emprestar os recursos computacionais de seu departamento.

Ao CNPq pelo financiamento e ajuda proporcionada.

A todos os amigos do Departamento de Engenharia Naval que direta ou indiretamente colaboraram no desenvolvimento deste projeto.

ÍNDICE GERAL

Lista de Tabelas
Lista de Figuras
Resumo
Abstract
Nomenclatura

CAPÍTULO 1

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Generalidades	1
1.2	Dados Estatísticos	4

CAPÍTULO 2

2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Critérios de Estabilidade	8
2.2	Critérios de Estabilidade em Navios Pesqueiros	9
2.3	Efeito de Balanço e Ventos Severos	11
2.4	Estabilidade em Ondas de Popa	12

CAPÍTULO 3

3.	METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE	15
3.1	Dados de Entrada	15
3.1.1	Dados de Descrição do Casco	19
3.1.2	Dados dos Componentes da Embarcação	19
3.1.3	Dados dos Tanques e Porões	20
3.1.4	Dados das Curvas Cruzadas e das Propriedades Hidrostáticas	20
3.2	Condições de Carregamento	20
3.3	Efeito de Superfícies Livres	21
3.4	Cálculo do Trim, Calados e Alturas Metacêntricas nas Condições Finais	23
3.5	Critério de Estabilidade Intacta	25
3.6	Proposta de Critério de Estabilidade em Ondas de Popa	27
3.7	Critério de Balanço e Ventos Severos	31

CAPÍTULO 4

4.	ANÁLISE TEÓRICA BASEADA NA HIPÓTESE DE FROUDE-KRYLOV	35
4.1	Técnica de Simulação	47
4.2	Dados de Entrada	48
4.2.1	Geometria do Casco	48
4.2.2	Condições Hidrostáticas Iniciais	50

CAPÍTULO 5

5.	APLICAÇÃO DOS PROGRAMAS	51
5.1	Dados de Entrada Programa "ESTAVEL"	53
5.1.1	Dados do Casco: Informações Gerais	53
5.1.2	Dados dos Componentes da Embarcação	53
5.1.3	Dados para o Cálculo do Efeito de Superfícies Livres	54
5.1.4	Dados das Curvas Cruzadas	54
5.1.5	Dados das Propriedades Hidrostáticas	55
5.2	Resultados do Programa "ESTAVEL"	56
5.2.1	Condição I - Partida do Porto	56
5.2.2	Condição II - Retorno do Banco de Pesca	58
5.2.3	Condição III - Chegada ao Porto "A"	60
5.2.4	Condição IV - Chegada ao Porto "B"	62
5.2.5	Condição V - Partida do Porto com Lastro	64
5.2.6	Efeito de Ventos e Balanços Severos	66
5.3	Análise dos Resultados do Programa "ESTAVEL"	67
5.4	Dados de Entrada Programa "ONDAS"	68
5.4.1	Geometria do Casco	68
5.4.2	Condições Hidrostáticas Iniciais	68
5.5	Resultados do Programa "ONDAS"	69
5.6	Comparação e discussão dos Resultados	70

CAPÍTULO 6

6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	72
6.1	Resumo do Trabalho	72
6.2	Comentários Gerais	73
6.3	Conclusões	74
6.4	Sugestões para Trabalhos Futuros	75

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
----------------------------------	----

ANEXO : MANUAL DO USUÁRIO

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Distribuição Percentual de Acidentes com Embarcações Pesqueiras no Brasil (1982-1986) ref. [2].	5
Tabela 1.2	Distribuição Percentual de Acidentes com Embarcações Pesqueiras nos Estados Unidos (1978-1987) ref. [1].	6
Tabela 1.3	Comparação da média anual de Naufrágios de Embarcações Pesqueiras entre Brasil e países de alta atividade pesqueira.	6
Tabela 3.1	Definição das Funções $f_i(\varphi)$	28
Tabela 3.2	Definição dos Índices K_j	29
Tabela 3.3	Limites recomendados na aplicação do Método de Nadeinski e Jeans.	29
Tabela 5.1	Coordenadas do Casco da Embarcação Simulada	68
Tabela 5.2	Condições Hidrostáticas Iniciais da Embarcação Simulada	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Fluxograma Principal do Programa "ESTAVEL".	16
Figura 3.2	Subrotina do Cálculo do efeito das Superfícies Livres e dos Braços de Endireitamento.	22
Figura 3.3	Subrotina do Cálculo do Trim, Calados e Alturas Metacêntricas nas condições finais. .	24
Figura 3.4	Critério de Estabilidade Intacta.	26
Figura 3.5	Subrotina do Cálculo e Verificação da Estabilidade Intacta.	27
Figura 3.6	Subrotina do Cálculo e Verificação da Estabilidade Intacta em Ondas de Popa.	30
Figura 3.7	Critério de Balanço e Ventos Severos.	31
Figura 3.8	Subrotina do Cálculo do Efeito de Balanço e Ventos Severos.	34
Figura 4.1	Sistema de Coordenadas.	35
Figura 4.2	Cálculo dos Braços de Endireitamento de uma Embarcação Inclinada em ondas (Área Seccional).	39
Figura 4.3	Área Seccional da Embarcação.	41
Figura 4.4	Fluxograma Principal do Programa "ONDAS".	49
Figura 4.5	Definição da Função $b(z,x)$	50
Figura 5.1	Plano de Balizas da Embarcação Simulada. .	51
Figura 5.2	Arranjo geral da Embarcação Simulada.	52
Figura 5.3	Comparação das Margens de Segurança em relação as Condições de Carregamento na Embarcação Simulada	67
Figura 5.4	Mudanças nos Braços de Endireitamento com a posição relativa da Embarcação a Onda	69
Figura 5.5	Curvas dos Braços de Endireitamento em Águas Calmas e em Ondas	70
Figura 5.6	Comparação dos Resultados dos programas "ESTAVEL" e "ONDAS"	70

RESUMO

Este trabalho de "análise dos critérios de estabilidade de embarcações pesqueiras considerando ondas de popa e ventos severos" tem como objetivo discutir os critérios de estabilidade propostos para este tipo de embarcação. A fim de desenvolver um método para o cálculo e verificação da estabilidade intacta, considerou-se o efeito de ondas de popa, de superfícies livres e do balanço e ventos severos.

Apresentou-se, inicialmente, dados estatísticos de ocorrências de acidentes da atividade pesqueira mostrando o alto risco que esta representa. Assim analisaram alguns dos fatores de maior influência desfavoráveis na segurança da embarcação em relação ao naufrágio, considerado aqui o mais grave dos acidentes.

Efetou-se um estudo da evolução dos diversos critérios de estabilidade, apresentando-se uma proposta de critério para a condição de ondas de popa e desenvolveu-se o programa de computador "ESTAVEL", que permite automatizar o cálculo e a verificação da estabilidade intacta, estabilidade em ondas de popa e dos efeitos de superfície livre e de balanço e ventos severos sob as várias condições de serviço. Os critérios de estabilidade foram baseados nas convenções e regulamentos da IMO (*International Maritime Organization*) e o critério para a condição de ondas de popa em aproximações derivadas de análise de regressão.

Para a verificação dos resultados da estabilidade em ondas de mares de popa, da análise anterior, efetuou-se uma análise teórica baseada na hipótese de Froude-Krylov, considerando o efeito de Smith e as correções do arfagem e caturro devido às ondas na embarcação, desenvolvendo-se a partir desta teoria o programa "ONDAS" que calcula os braços de endireitamento em ondas.

Simulou-se um casco de uma embarcação pesqueira na aplicação dos programas desenvolvidos, analisando e comparando os resultados. Apresenta-se também o manual guia, permitindo assim a utilização do programa "ESTAVEL".

ABSTRACT

This assignment of "stability criterion analysis of fishing vessels considering after waves and severe winds" has the objective to discuss the stability criterions proposed for this type of vessel. Aiming to develop a method to calculate and verify the intact stability, it was taken into consideration the effect of the after waves, free surfaces and the severe wind and rolling criterion.

Initially, it was presented statistic data of incidents of accidents in the fishing activity, showing the high risk that it represents. Consequently, it was analyzed some of the factors of major influence unfavorable to the security of vessel in relationship to the capsizing, considered here the most grave accident.

It was effectuated a study of the evolution of the various stability criterions, showing a proposal of criterion for the condition of after waves and developing a computer "ESTAVEL" program, which allows to automatize the calculation and verification of the intact stability, stability in after waves and the effects of free surfaces and the severe wind and rolling under the various service conditions. The stability criterions were based on the conventions of the IMO statutes (*International Maritime Organization*) and the criterion for the after waves condition in derivative approximations of the regressing analysis.

For the verification of the results of stability in sea after waves of the previous analysis, it was realized a theoretical analysis based on the Froude-Krylov theory, considering the Smith effect and the heaving and pitch corrections due to the vessels waves, developing from this theory the "ONDAS" program which calculates the righting arms in waves.

It was simulated a hull of a fishing vessel applying the developed programs, analyzing and comparing the results. Furthermore, it was displayed a manual guide, making it possible, therefore, the utilization of the "ESTAVEL" program.

NOMENCLATURA

A_S	Superfície lateral da Superestrutura.
$A_{sup.}$	Superfície lateral do navio acima da linha de flutuação.
$A_{(x)}$	Área seccional da embarcação abaixo da linha d'água.
$A_o(x)$	Área seccional da embarcação em baixo da água em sua condição adriçada.
$A^*(x)$	Incremento de área seccional em baixo da água devido à inclinação da embarcação.
a	Amplitude da onda.
B	Boca moldada na meia-nau.
$b_{max.}$	Largura máxima do porão ou tanque.
$b(z,x)$	Boca média.
$b(z_{obt}, x)$	Boca média medida na coberta da embarcação.
$b(z_{bojo}, x)$	Boca média medida no bojo da embarcação.
C_{AS}	Altura do centro de gravidade de A_S .
C_b	Coefficiente de bloco.
C_{bt}	Coefficiente de bloco do tanque.
C_x	Coefficiente de seção mestra.
C_{wl}	Coefficiente de linha d'água.
C_k	Área total da bolina, ou área de projeção lateral da quilha de barra, ou soma destas áreas.
c	Velocidade de fase da onda.
D	Pontal a meia nau.
d	Calado médio.
F_r	Número de Froude.
$f_i(\varphi)$	Funções que indicam efeitos da forma do casco, amplitude da onda e o número de Froude para vários ângulos de inclinação.
GM	Altura Metacêntrica inicial.
GM_1	Correção da Altura Metacêntrica pelo efeito de superfícies livres.
GM_c	Altura metacêntrica corrigida.
GZ	Braço de endireitamento.

GZ_r	Braço de endireitamento corrigido em águas calmas.
GZ_w	Braços de endireitamento de uma embarcação sob a crista de uma onda.
$GZ_{max.}$	Braço de endireitamento máximo.
GZ_{fs}	Braço de endireitamento devido às superfícies livres.
GZ	Correção dos braços devido a mudança de superfície de água ao redor da embarcação.
g	Aceleração da gravidade.
H_{PPAV}	Calado na perpendicular à vante.
H_{PPAR}	Calado na perpendicular a ré.
$h_{max.}$	Altura máxima do porão ou tanque.
h_w	Altura da onda, medida desde a crista até o cavado.
K	Coefficiente conseqüente da geometria do casco.
k	Número de onda.
$KG (VCG)$	Altura do centro de gravidade da embarcação.
KM	Altura do metacentro da embarcação.
KN	Distância horizontal medida desde a quilha até a projeção vertical que passa pelo metacentro.
K_i	Índices representados pelas formulações da tabela 3.2.
$K_{(\varphi)}$	Coefficiente adimensional dependente da relação $b_{max.}/h_{max.}$ e do ângulo de inclinação.
L	Comprimento da embarcação medido na atual linha de água.
LCB	Posição longitudinal do centro de carena.
LCF	Posição longitudinal do centro de flutuação.
LCG	Posição longitudinal do centro de gravidade.
LW_1	Braço do momento de inclinação devido a ventos constantes.
LW_2	Braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento.
L_{PP}	Comprimento entre perpendiculares da embarcação.
$L_w (\lambda)$	Comprimento da onda.
$l_{max.}$	Comprimento máximo do porão ou tanque.
MTC	Momento de trim unitário.
M_{fs}	Momento de superfícies livres.
$M_{fs(30^\circ)}$	Momento de superfícies livres no ângulo de inclinação de 30 graus.
OG	Distância entre o centro de gravidade e a linha de flutuação em metros, distância positiva sobre VCG e negativa abaixo do VCG .

P	Pressão do vento.
s	Fator relacionando o período de balanço T , (Tabela 4 ref.[30]).
T	Período de Balanço.
t	Trim.
$VCG (KG)$	Altura do centro de gravidade da embarcação.
v	Capacidade total do porão ou tanque.
W	Peso ou Deslocamento da embarcação.
X_1	Fator adimensional dependente da relação b/d , (tabela 1 ref. [30]).
X_2	Fator adimensional dependente do coeficiente de bloco C_b , (tabela 2 ref. [30]).
x	Distância entre o centro de gravidade e a área seccional.
x_a	Ponto mais extremo a ré da embarcação.
x_f	Ponto mais extremo à vante da embarcação.
x_{ib}	Ponto inicial do bojo na embarcação.
x_{fb}	Ponto final do bojo na embarcação.
Z	Distância vertical entre o centro de gravidade de A e aproximadamente o ponto médio do calado.
$z_{cbl}(x)$	Distância vertical à coberta no casco da embarcação.
$z_{bojo}(x)$	Distância vertical ao bojo no casco da embarcação.
$z_{fnd}(x)$	Distância vertical ao fundo no casco da embarcação.
$z_s(x)$ e $z_p(x)$	Representação das imersões nos costados de bombordo e boreste de uma onda.
θ	Ângulo de trim.
φ	Ângulo de inclinação.
φ_o	Ângulo de inclinação sob a ação de um vento constante.
φ_1	Ângulo máximo de balanço.
φ_2	Ângulo de inundação (φ_f), ou 50 graus, ou φ_{o2} , ou qual seja menor.
φ_f	Ângulo de inclinação no qual encontramos aberturas no casco (Ângulo de inundação).
φ_{o1}	Ângulo da primeira interceptação da curva do braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento (LW_2), e a curva de braços de endireitamento.
φ_{o2}	Ângulo da segunda interceptação da curva do braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento (LW_2), e a curva de braços de endireitamento.

ρ	Peso específico do líquido no tanque.
ρ^*	Densidade aparente da água.
o, ξ, η	Plano coordenado ao nível das águas calmas.
ξ_o	Distância entre o centro de gravidade e o cavado anterior mais próximo,
ζ	Eixo perpendicular ao plano o, ξ, η .
ζ_o	Distância vertical medida desde o centro de gravidade até a superfície da água, na condição adriçada sem ondas.
ζ_w	Perfil de onda no instante .
$\zeta_s(x)$	Calado efetivo para cada área seccional.
τ	Tempo.
Δ	Deslocamento da embarcação em toneladas métricas.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Desde que o homem se aventurou pela primeira vez a navegar, começaram as preocupações, pelo menos na prática, com a necessidade de levar em consideração a estabilidade das embarcações. Durante o passar do tempo, graças à tecnologia, conquistaram-se mudanças muito importantes; como exemplo, o remo e a velagem cederam o posto aos hélices, e a madeira foi substituída em grande parte pelo aço. Mas no que se refere à estabilidade, mesmo com todas as melhorias alcançadas, nos dias de hoje ainda ocorrem acidentes por falta de estabilidade nas embarcações.

Esta persistência nos acidentes por causa de uma estabilidade insuficiente deve-se, na maioria das vezes, ao incompleto conhecimento das influências dos agentes naturais sobre a estabilidade e os critérios normalmente empregados para determinar se uma embarcação possui ou não estabilidade adequada são freqüentemente insuficientes para garantir sua segurança. Por outro lado, adotar critérios de estabilidade com grande margem de segurança é desaconselhável, pois há muitos efeitos negativos tais como qualidades marinheiras insuficientes, repercussão econômica insatisfatória do ponto de vista de sua exploração, etc.

À tradicional falta de conhecimento dos fenômenos que afetam a estabilidade, tem que se agregar ainda os novos problemas como a aparição de novos tipos de embarcações por causa da diversificação extraordinária que o tráfego marítimo tem experimentado recentemente.

Nos últimos anos, o avanço dos conhecimentos dos agentes que influem no comportamento dos navios no mar, e portanto na sua estabilidade, tem sido muito

grande graças ao desenvolvimento de ciências como a matemática, a hidrodinâmica e a estatística. O emprego do computador também tem facilitado a simulação dos fenômenos a que estão submetidos os navios no mar.

A previsão de segurança de uma embarcação sem avarias e em ondas é ainda um problema. Os critérios de estabilidade existentes não são totalmente seguros porque, para se conseguir simplicidade e por razões práticas, desprezam-se influências importantes. Existem casos de navios que naufragaram apesar de satisfazerem os critérios de estabilidade convencionais.

Os fatores que podem influenciar desfavoravelmente sobre a segurança em relação ao naufrágio, o mais grave dos acidentes, são os seguintes:

a. Fatores relacionados com a distribuição e posição do carregamento e com o serviço da embarcação :

- Colocação inadequada da carga com possível elevação do centro de gravidade;
- Efeito de aparição de superfícies livres em consequência dos consumos realizados durante a navegação;
- Diminuição da altura metacêntrica pela variação do calado da embarcação por causa do consumo de combustível e provisões;
- Seqüência de consumos inadequados que pode elevar o centro de gravidade ou tornar as superfícies livres maiores;
- Colocação não simétrica do carregamento ou dos consumíveis, em relação ao plano de simetria da embarcação;
- Fixação inadequada com possível movimento de translação do carregamento;
- Efeitos escorantes como a pesca pelo costado e pesca pela popa, etc.

b. Fatores relacionados com as condições ambientais da navegação:

- Ação de balanço causada pelas ondas de través;
- Pressão estática do vento e efeito dinâmico;
- Diminuição da estabilidade da embarcação causada pelas ondas de popa;
- Formação de gelo nas cobertas e costados;
- Água embarcada na cobertura em função de onda fortes.

Alguns dos fatores mencionados na primeira relação citada acima somente aparecerão se o capitão não cumprir com as instruções fornecidas pelos regulamentos do

SOLAS e do *Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessel* [26]. O conhecimento desses regulamentos deve ser obrigatório para o capitão e também de tê-los a bordo de todas as embarcações.

A aparição de superfícies livres durante a navegação é inevitável e é preciso leva-la em conta, fazendo com que o navio tenha a margem de estabilidade necessária para diminuir este efeito. Deve-se assim indicar nas instruções ao capitão a ordem de consumos adequados para diminuir no possível o efeito das superfícies livres. A respeito do modo de estimar este efeito desenvolvemos uma sistemática apresentada no item 3.3 e baseada nas publicações da IMO.

Os fatores que afetam a diminuição da altura metacêntrica pela variação do calado, causado pelo consumo de combustível e provisões, também devem ser considerados mediante uma seqüência de consumos adequados para reduzir seu efeito e mediante o estudo das diferentes condições de carregamento. Estas condições são analisadas para as embarcações pesqueiras no item 3.2.

A estabilidade de embarcações pesqueiras em ondas é um item de grande importância para a segurança desse tipo de embarcações, devendo ter em mente que a obediência dos critérios clássicos de estabilidade, essencialmente válidos para águas tranquilas, não funcionam como salvaguarda eficiente da integridade da embarcação em mar agitado. É por isso que acrescentamos neste estudo além da estabilidade em águas calmas, critérios convencionais, a análise da estabilidade em ondas de popa.

Este trabalho tem como objetivo discutir os critérios de estabilidade proposto para embarcações pesqueiras e desenvolver uma sistemática para o cálculo e verificação da estabilidade intacta, da estabilidade em ondas de popa, os efeitos de superfícies livres e do balanço e ventos severos em embarcações pesqueiras, conforme as várias condições de serviço e segundo as convenções e regulamentos da IMO (*International Maritime Organization*), e das aproximações derivadas da análise de regressão e a verificação desta última mediante uma teoria baseada na hipótese de Froude-Krylov.

Consultando os resultados das últimas estatísticas fornecidas pela NTSB (*National Transportation Safety Board*) dos Estados Unidos [1] e por MARCELO de A. NEVES [2] do Brasil, constatamos que uma das maiores causas de acidentes marítimos envolvem questões de estabilidade. Diante destes problemas, que mais tarde no decorrer deste trabalho será mencionado detalhadamente, vimos a importância de se criar um programa prático, objetivo e de fácil manuseio que poderá ser utilizado para calcular e

verificar a estabilidade intacta, sua diminuição devido aos efeitos das superfícies livres, às ondas de popa a meia nau, e considerando o balanço e ventos severos.

Com o objetivo de tornar a navegação mais segura e baixar o índice de acidentes por falta de estabilidade intacta, este programa servirá para efetuar estimativas já nas primeiras etapas do projeto de uma embarcação.

Segundo análises realizadas em 1986 por BRUCE H. ADEE [3], membro da SNAME, examinando e reconstituindo acidentes de emborcamentos de pesqueiros, pode-se verificar que não havia nenhum caso dentre os registrados que estivesse obedecendo as normas de segurança e estabilidade estabelecidas pela IMO. Além disso, nessa mesma época, foram realizados na Universidade de Washington vários testes em águas abertas com modelos que obedeciam as normas de estabilidade da IMO e nunca emborcaram. De fato, os níveis de estabilidade dos modelos que sofreram este tipo de acidente, foram considerados abaixo dos padrões da IMO. No entanto, alguns acidentes recentes ocorridos com embarcações de pesca, por exemplo, o acidente de "*MS Helland-Hansen*" que foi investigado completamente por DAHLE [28] e os resultados de alguns modelos experimentais sobre o fenômeno do emborcamento por MORRELL [29], conduzem ao plano de melhoras, complementando os critérios de estabilidade intacta convencionais.

Após a apresentação de uma visão geral do que será tratado nessa dissertação e de seu objetivo, delimitar-se-á o campo de estudo. Para tanto, inicia-se com as citações de dados estatísticos pesquisados, a fim de ilustrar o grande número de acidentes com navios pesqueiros no Brasil e em outros países. Em seguida apresentar-se-á a revisão bibliográfica utilizada, a metodologia e o desenvolvimento dos programas, a aplicação destes, os manuais para a sua utilização e, por último, a conclusão deste trabalho, ou seja, sua contribuição para a segurança marítima.

1.2 DADOS ESTATÍSTICOS

No Brasil, um país que apresenta uma extensa linha de costas e conhecido como de águas razoavelmente tranquilas, a navegação em seus amplos territórios marítimos sempre foi considerada pacífica, mesmo que o sul sofra condições climáticas mais rigorosas. Mesmo assim, segundo estatísticas, há um número incrivelmente alto de ocorrências de acidentes de embarcações pesqueiras. Segundo o último levantamento de

acidentes marítimos efetuado por MARCELO de A. NEVES-1990 [2], durante os anos 1982, 83, 84, 85 e 86, de 1.076 casos, 187 acidentes foram com embarcações pesqueiras. Os tipos mais freqüentes foram naufrágios, queda de tripulantes, encalhes, desaparecimento de tripulação e incêndio. A distribuição percentual é sintetizada na tabela 1.1.

O naufrágio além de ser o tipo de acidente com maior incidência é o mais grave dos acidentes em que se pode envolver uma embarcação. Segundo BISHOP (1985) [4], o naufrágio, queda de tripulantes e desaparecimento da tripulação, são considerados como acidentes com danos graves. As colisões, incêndios, avarias e encalhes, são acidentes que não necessariamente envolvem danos graves. Da análise apresentada, verificou-se a ocorrência de 61 naufrágios nas costas brasileiras em 5 anos, o que leva a uma média superior de 12 naufrágios com barcos pesqueiros por ano. Isso representa um número espantosamente alto de naufrágios se for levado em conta que a frota pesqueira não é grande.

Tabela 1.1 - Distribuição Percentual de Acidentes com Embarcações Pesqueiras no Brasil (1982-1986) ref. [2].

<i>ACIDENTE</i>	Naufrágio	Queda Tripulante	Encalhe	Desaparecimento Tripulante	Incêndio	Outros
%	32.6	11.2	11.2	8.6	8.0	28.4

Fazendo-se uma comparação entre os naufrágios de pesqueiros ocorridos no Brasil e os naufrágios em outros países, onde a atividade pesqueira é mais intensa e, portanto, as frotas são muitas vezes maiores que as brasileiras, temos de acordo com estudos preparados pela *National Transportation Safety Board* dos Estados Unidos, NTSB (1987), intitulado "*Safety Study-Uninspected Commercial Fishing Vessel Safety*" [1], que o segmento de barcos de pesca é um dos setores industriais que apresentam os mais altos riscos no mundo e, em relação aos Estados Unidos, apresentam registrados os acidentes mais graves que em outros setores industriais.

Nos Estados Unidos em 10 anos (1978 à 1987), foram registrados mais de 203 acidentes com pesqueiros, com média de 20 acidentes anuais. Deste total, 132 envolveram naufrágios, afundamentos e alagamentos, 38 casos de explosão e/ou incêndio, e 21 encalhes. Esses acidentes resultaram em 147 mortes, 30 feridos e

prejuízos estimados em US\$ 165 milhões. Veja na tabela 1.2 a distribuição percentual destes acidentes.

De acordo com esses mesmos estudos, 37% envolveram problemas de estabilidade intacta.

Tabela 1.2 - Distribuição Percentual de Acidentes com Embarcações Pesqueiras nos Estados Unidos (1978-1987) ref. [1]

<i>ACIDENTES</i>	Naufrágio	Incêndio/Explosão	Encalhe	Outros
<i>%</i>	65	19	10	6

Segundo VEGA ROMAN (1986)[5], WIKLUND e TELLE (1986)[6], DEVOTO (1989)[7], *Maritime Safety Agency-Japan* (1982)[8], RODRIGUEZ (1985)[9], existem informações através das quais podem ser estabelecidas as médias anuais de naufrágios com pesqueiros, em países onde é intensa a indústria pesqueira. A estatística é detalhada na tabela 1.3.

Tabela 1.3 - Comparação da média anual de Naufrágios de Embarcações Pesqueiras entre Brasil e países de alta atividade pesqueira

<i>PAÍS</i>	Chile	Noruega	Japão	Espanha	Reino Unido	Estados Unidos	Brasil
<i>MÉDIA ANUAL</i>	4	4	6	3	1	13	12

Outro aspecto que deve-se levar em conta é a proporção de naufrágios em relação aos outros tipos de acidentes. Segundo DEVOTO (1989)[7], os naufrágios de navios pesqueiros na Noruega correspondem no máximo a 6% do total dos acidentes, sendo o incêndio o mais freqüente com 26%. Na Inglaterra, conforme REILLY (1984)[10], o naufrágio corresponde a 5,9% do total, e incêndio, colisão e encalhe correspondem juntos a 52.1 % do total.

Diante desses dados, observa-se que os acidentes ocorridos em outros países se diferenciam dos que sucederam no Brasil, onde o naufrágio prevalece com 32,6% do total, como já se mencionou anteriormente sendo o mal tempo a maior causa. Daí a importância das embarcações pesqueiras se enquadrarem dentro dos níveis básicos de estabilidade propostos pela IMO.

CAPÍTULO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE

O problema de se estabelecer critérios de estabilidade para embarcações, com a finalidade de salvaguardar a segurança no mar, existe desde as primeiras aventuras do homem no mar. Somente no final do século XIX tentou-se avaliar os requisitos mínimos de segurança na estabilidade. A falta de entendimento básico da física do emborcamento de embarcações em mar grosso e a influência de diferentes parâmetros de estabilidade sobre a segurança impediram a continuação das propostas promovidas por BENJAMIN (1914)[11] e PIERROTTE [12], como requisitos estatutários ou como recomendações.

RAHOLA [13] fez em 1939 uma análise estatística resultando num possível critério de estabilidade. Posteriormente sua proposta proporcionou uma base para os critérios adotados ou recomendados em vários países. Seu método utilizado foi seguido também nas investigações estatísticas da IMO, cujos resultados foram adotados provisoriamente, como um critério de estabilidade.

Os requisitos internacionais sobre estabilidade intacta, como *Safety of Life at Sea* (SOLAS) de 1948, 1960 e 1974 [14] [15], não incluíam critérios de estabilidade, com exceção da última que previa cuidados no transporte de granéis. As convenções, por outro lado, exigiam que o capitão do navio estivesse provido de informações baseadas em experiência de inclinação. Esta experiência seria como guia para estimar a estabilidade da embarcação sob várias condições de serviço. *A Load Line Convention* de 1966 [16], sugeriu que se fornecessem dados de estabilidade aos capitães de novas embarcações, mas sem maiores detalhes práticos.

O primeiro passo importante no desenvolvimento de requisitos internacionais de estabilidade, foi dado na *International Conference On The Safety of Life at Sea* de 1960

[14]. Nesta conferência foi proposto adotar os regulamentos da convenção sobre estabilidade intacta e recomendado que a organização deveria iniciar estudos baseados em informações já disponíveis, de navios de passageiros, de carga, de pesqueiros e informações padronizadas de estabilidade.

Segundo as recomendações da *International Conference on the Safety of Life at Sea* 1960[14], a IMO começou a levar em consideração as forças externas que afetam a embarcação na navegação. Mas a IMO se concentrou primeiramente na coleta e análises de dados estatísticos de navios que emborcaram, e de navios com estabilidade satisfatória. Também analisaram requisitos de estabilidade de várias nações. Este trabalho resultou na adoção, em 1968, da "*Recommendation on Intact Stability for Passenger and Cargo Ships under 100 metres in length*" [17] e uma recomendação similar para navios pesqueiros [18]. Nas análises seguintes, baseadas inicialmente nas primeiras experiências de RAHOLA [13], foram utilizados métodos melhorados onde incluíram um maior número de embarcações que apresentavam estabilidade satisfatória e também daquelas que tinham emborcado.

As recomendações anteriores serviram de base para serem incluídas na *Torremolinos Convention* de 1977 [19], onde se começou a tratar de certos requisitos relacionados com as forças externas que afetam o navio em sua navegação e durante as operações pesqueiras. Os regulamentos da *Resolution A.167* [17], foram mais tarde suplementados por outras recomendações que cobriam certos aspectos adicionais de estabilidade intacta, para tipos específicos de navios.

2.2 CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM NAVIOS PESQUEIROS

Junto com a *Resolution A.167* [17], a assembleia da IMO adotou a *Resolution A.168 "Recommendation on Intact Stability of Fishing Vessels"* [18]. Nestas recomendações todos os critérios básicos de estabilidade são idênticos aos da *Resolution A.167*, com exceção de uma maior altura metacêntrica requerida, pois a maioria das embarcações têm bordas livres baixas (embarcações de cobertas simples). Os critérios para embarcações de pesca foram obtidos por métodos de análise estatística, idênticos àqueles utilizados para o critério mínimo da resolução A.167 [20] [21].

Além do requisito acima, a *Resolution A.168* também inclui:

- a. Recomendações sobre requisitos mínimos de congelamento nas embarcações pesqueiras.
- b. Recomendações práticas sobre as divisões portáteis dos porões de peixes.
- c. Recomendações práticas sobre as portas para alagamento de água.
- d. Recomendações práticas referente às braçolas de escotilhas e às soleiras das portas nas embarcações pesqueiras.
- e. Algumas sugestões para os pescadores.

Os itens (c) e (d) foram mais tarde desenvolvidos e incluídas nas "*Recommendation on the Construction of Fishing Vessels affecting the Vessel's Stability and Crew Safety*" [22].

Ao mesmo tempo observou-se que a *Resolution A.168* não era possível ser aplicada em pequenas embarcações construídas sem algum diagrama ou nenhum cálculo de curvas hidrostáticas ou cruzadas. Por tal motivo, foi adotado em 1971, a "*Recommendation for an Interim Simplified Stability Criterion for Decked Fishing Vessels under 30 metres in length*" [23].

Além disso, foi considerada a necessidade de tornar mais confiáveis a aplicação do critério de estabilidade, desenvolvendo-se o "*Code of Practice concerning the Accuracy of Stability Information for Fishing Vessels*" [24].

Reconhecendo que muitas embarcações pesqueiras operam nas altas latitudes, foi adotado em 1973 a "*Recommendation for Ensuring a Fishing Vessel's Endurance in Conditions of Ice Formation*" [25].

Em 1974 a IMO, FAO e ILO concordaram em incluir requisitos das *Resolutions A.168* e *A.207* na Parte B do "*Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessels*" [26]. Como este código se aplica às embarcações superiores a 24 metros de comprimento, em 1979 se desenvolveram as "*Voluntary Guidelines for Small Fishing Vessels*" [27] especificando o critério para comprimentos menores de 24 metros, abrangendo assim por completo, estas embarcações no mundo.

Em 1977 foi celebrada em Torremolinos, Espanha, a *International Conference on Safety of Fishing Vessels* [19] sob os auspícios da IMO, que adotou a *Torremolinos international Convention* aplicado à segurança das novas embarcações de pesca de 24 metros de comprimento ou mais, contendo capítulos de estabilidade e navegabilidade. Os critérios de estabilidade da convenção, são basicamente os mesmos da *Resolution A.168*

e de "*Fishing Vessels Code*", exceto pela altura metacêntrica requerida, que pôde ser reduzida a 15 cm. para embarcações de 70 metros de comprimento ou mais, tendo uma superestrutura completa.

Como um avanço na convenção, foi considerado efeitos como da inundação dos porões de peixe, as forças externas induzidas por métodos particulares de pesca, balanço e ventos severos e a presença de água sobre a coberta. Nos apêndices da convenção, são incluídos guias e metodologias para cálculos dos efeitos de balanço e vento severo, e de água e congelamento sobre a coberta. A convenção prescreve uma borda livre adequada para as embarcações de pesca e requer valores mínimos da altura da amurada e da distância vertical desde a linha de água máxima, até o ponto mais baixo do topo da "borda falsa", ou o bordo da coberta de trabalho. Guias para o cálculo de ambas distâncias, baseadas na análise estática do movimento da embarcação na navegação, são também previstos na convenção.

Alguns acidentes recentes ocorridos com embarcações de pesca, por exemplo, o acidente de "*MS Helland-Hansen*" que foi investigado completamente por DAHLE [28] e os resultados de alguns modelos experimentais sobre o fenômeno do emborcamento por MORRELL [29], nos conduzem ao plano de melhoras, complementando os critérios da convenção de Torremolinos.

2.3 EFEITO DE BALANÇO E VENTOS SEVEROS (CRITÉRIO DE TEMPO)

Este assunto começou a ser tratado em 1977 com a conferência de Torremolinos [19], onde foi apresentado um guia de regulamentos de balanço e ventos severos para ser avaliado nesta convenção que tratou de navios pesqueiros. O guia apresenta um método de cálculo do efeito de balanço e ventos severos associados às condições do mar. Este guia, produto da convenção de Torremolinos de 1977, foi portanto tomado como uma base para futuras considerações e, em 1979 foi aceito quase sem modificação como uma adição à *Resolution A.167* e por último à *Resolution A.562(14)* [30], adotada em 20 de novembro de 1985.

O guia da convenção de Torremolinos de 1977, no entanto, não incluía coeficientes específicos para avaliar os efeitos do balanço e vento que foram deixados para o julgamento das administrações.

Com a finalidade de alcançar um método uniforme de cálculo dos efeitos do balanço e vento, efetuou-se uma comparação dos resultados obtidos aplicando o critério da *Resolution A.167* e critérios de tempo de acordo com vários métodos nacionais de cálculo para vários tipos de navios. Decidiu-se usar os critérios de tempo empregados na Holanda, URSS, Reino Unido e Japão. A conclusão principal da comparação acima foi como se esperava, o seja, de que geralmente o critério de tempo é mais severo para o deslocamento menor e em navios com grande área vélica.

Os resultados obtidos ao aplicar vários métodos de cálculo, diferem muito entre si, em particular na estimativa da amplitude de balanço e na marcação do ângulo de inundação. Portanto, estes parâmetros têm sido padronizados, antes de mais nada, para estabelecer um método uniforme e internacional para o cálculo dos efeitos do vento e balanço, que é apresentado na *Resolution A.562(14)* (1985) [30]. Este critério foi acrescentado à *Resolution A.167* e aperfeiçoou a *Resolution A.206* e é recomendado também para embarcações de pesca de 45 metros de comprimento e mais em serviço ilimitado.

2.4 ESTABILIDADE EM ONDAS DE POPA

Há cerca de um século, a curva de estabilidade estática ou "diagrama de Reed" tem sido usada pelos arquitetos navais para avaliar a estabilidade transversal de uma embarcação, embora já tenha sido observado por vários pesquisadores, por exemplo W. FROUDE [31] e REDD [32], que o momento de endireitamento de inclinação de um navio operando em ondas pode diferir marcadamente da sua situação idealizada, havendo poucas hipóteses para avaliar quantitativamente o efeito das ondas. No princípio destas referências, FROUDE descreveu qualitativamente e por analogias as mudanças periódicas na estabilidade transversal de um navio encostado paralelamente na crista da onda. As mudanças foram descritas como sendo causadas pelas variações periódicas a que são submetidas a aceleração do arfagem (e balanço) do navio e a água ao redor dele. Logo a variação na estabilidade é atribuída inteiramente às mudanças periódicas na "densidade do peso efetivo" do fluido e variações similares no "peso efetivo" do navio.

Em 1938 KEMPF [33] observou que a estabilidade de um navio em ondas (mares de popa) pode ser reduzida quando a crista da onda está à meia nau e quando o cavado da onda está nesta mesma posição, ela aumenta. GRAFF e HECKSCHER [34] confirmou isto através de modelos experimentais.

Mais recentemente, ARNDT e RODIN [35] testaram um modelo restrito num ângulo fixado de inclinação e mediram a variação periódica do momento de endireitamento em mares de ondas de popa. Estes valores medidos foram comparados com os computados e mostraram boas aproximações.

WENDEL [36] e PAULLING [37] discutiram certos acidentes de navios e problemas de estabilidade em termos desta redução nos momentos de endireitamento em grandes ângulos de inclinação que ocorreram em vários tipos de navios em mares moderadamente severos.

PAULLING já assumiu a distribuição de pressão hidrostática sob as ondas e em seu método apresentado fez os ajustes de arfagem e caturro necessários para manter o deslocamento inicial e o centro de flutuação ao mesmo tempo que o navio balança sob as ondas. Mesmo que este método seja considerado engenhoso e mais ainda laborioso do que de WENDEL e seus colaboradores, requer varias melhorias em algumas etapas ao considerar os efeitos dinâmicos. (o método de PAULLING pode ser modificado para considerar os efeitos de *Smith*).

Um interessante fenômeno associado com estas variações da estabilidade foram discutidos por GRIM [38] e KERWIN [39]. Estes pesquisadores consideraram a equação do momento de balanço de um simples grau de liberdade. Eles demonstraram que quando uma embarcação navega em mares de popa ou de través, pode produzir um movimento de balanço que chega a emborcá-la. Isto implica numa certa relação entre o período do meio circundante e o período da embarcação. Para períodos de flutuações em estabilidade em relação ao período natural de balanço nas proximidades de $1/2$, 1 , $11/2$, e assim por diante, ocorre um movimento instável de balanço igual na ausência de um movimento de balanço externo. A este fenômeno chamou-se de efeito de Mathieu e se resume da seguinte forma: quando a crista de uma onda se encontra à meia nau da embarcação, esta perde estabilidade podendo inclinar-se inoportunamente. A onda passa e se o maior movimento de balanço ocorre quando a crista da onda se encontra na seção mestra, a estabilidade inicial e o momento de endireitamento aumentam substancialmente. A embarcação rapidamente procura sua condição de equilíbrio. Se a crista da onda seguinte se encontra nesse momento à meia nau, o movimento de balanço continua até o outro costado tendo a embarcação braços de endireitamento diminuídos, produzindo em consequência disso um aumento no ângulo de inclinação. Este balanço regular e intenso de costado a costado, junto a um aumento do ângulo de inclinação pode produzir finalmente o emborcamento da embarcação.

NADEINSKI e JEANS, [20], através de cálculos sistemáticos e análise estatística estabeleceram a relação da perda de estabilidade em função da característica do mar e diferentes parâmetros do casco.

Por outro lado, a redução absoluta na estabilidade transversal que é experimentada quando a crista da onda esta nas proximidades da meia nau, pode ser de considerável significação, particularmente se o navio se encontra operando em alta velocidade ou em mares de ondas contínuas de popa. Nesta situação, a estabilidade não só é reduzida severamente, mas pode manter-se reduzida por um longo período de tempo, suficiente para que o navio alcance um grau de ângulo de inclinação ou emborcamento sob a ação de um momento de inclinação que poderia ter sido suportado facilmente em águas calmas.

HAMAMOTO e NOMOTO [40] ,mediram os momentos de endireitamento num modelo inclinando-o e navegando em ondas. Os resultados mostraram que os momentos de endireitamento produzidos pelas ondas variam com respeito à posição relativa do modelo na onda, que dizer, que estes momentos diminuem com a crista da onda à meia nau e aumentam com o cavado da onda na meia nau.

A análise teórica dos momentos de endireitamento produzidos por uma onda foram levados em base a hipótese de FROUDE-KRYLOV, numa sistemática similar à de PAULLING mas levando em consideração o efeito do movimento orbital da onda (efeito de *Smith*) e as correções de arfagem e caturro.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE

A metodologia proposta para o cálculo de estabilidade intacta, estabilidade em ondas de popa e análises dos efeitos das superfícies livres e do balanço e ventos severos em embarcações pesqueiras, consiste no estabelecimento de uma sistemática composta num programa desenvolvido em linguagem PASCAL para ser executado em microcomputadores compatíveis com IBM-PC sob ambiente operacional DOS, seguindo as diretrizes de interação amigável com o usuário e prevendo múltiplas opções de saída de modo a permitir ampla análise dos resultados.

O código executável ocupa cerca de 63 *Kbytes* de espaço de armazenagem, decorrente de mais de 4000 linhas de compilação divididas em 36 procedimentos distribuídas em 4 unidades de arquivos.

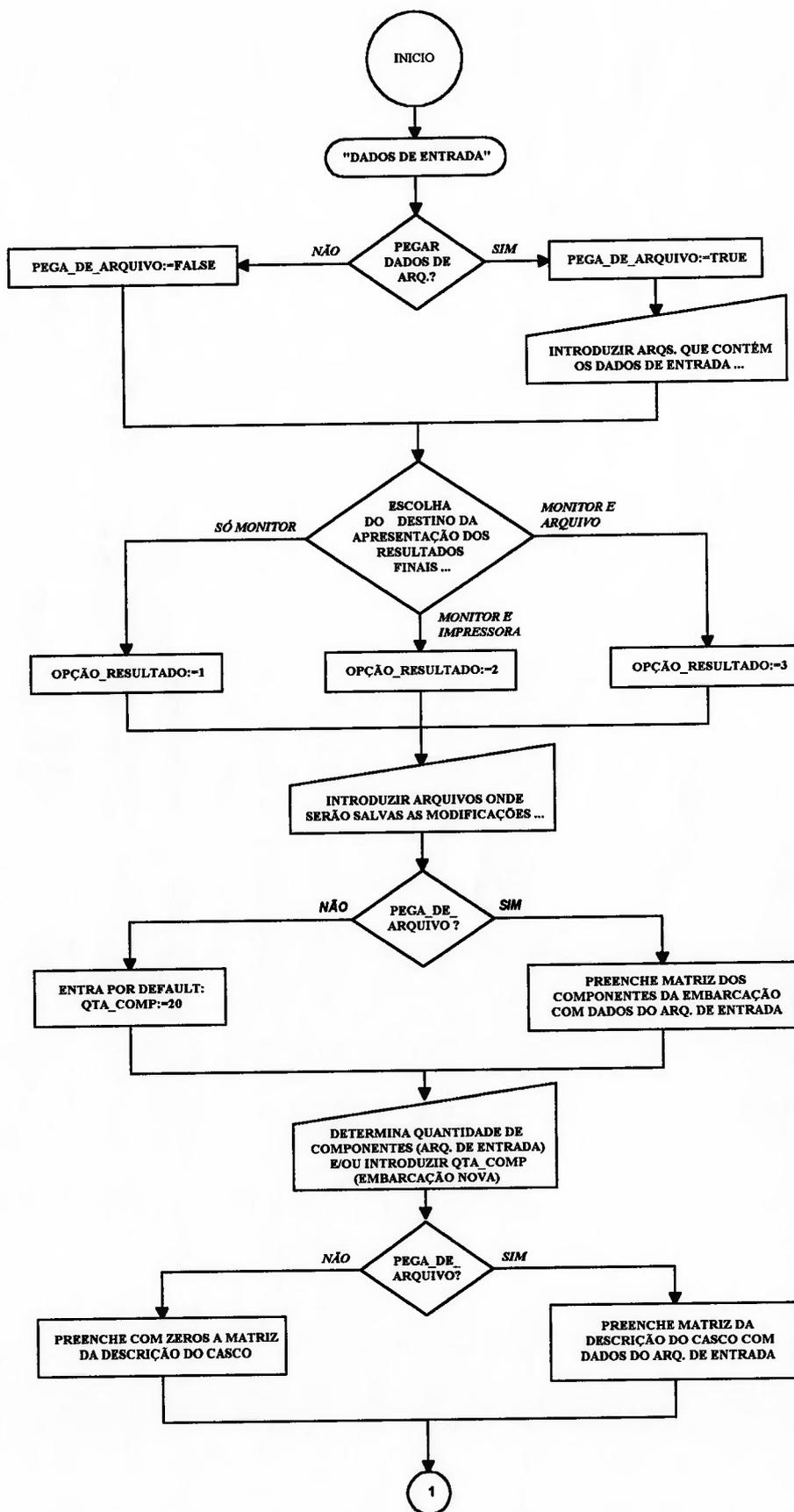
Anexo à dissertação encontra-se um disquete contendo a versão executável do programa "ESTAVEL", e no Anexo apresenta-se o manual do usuário.

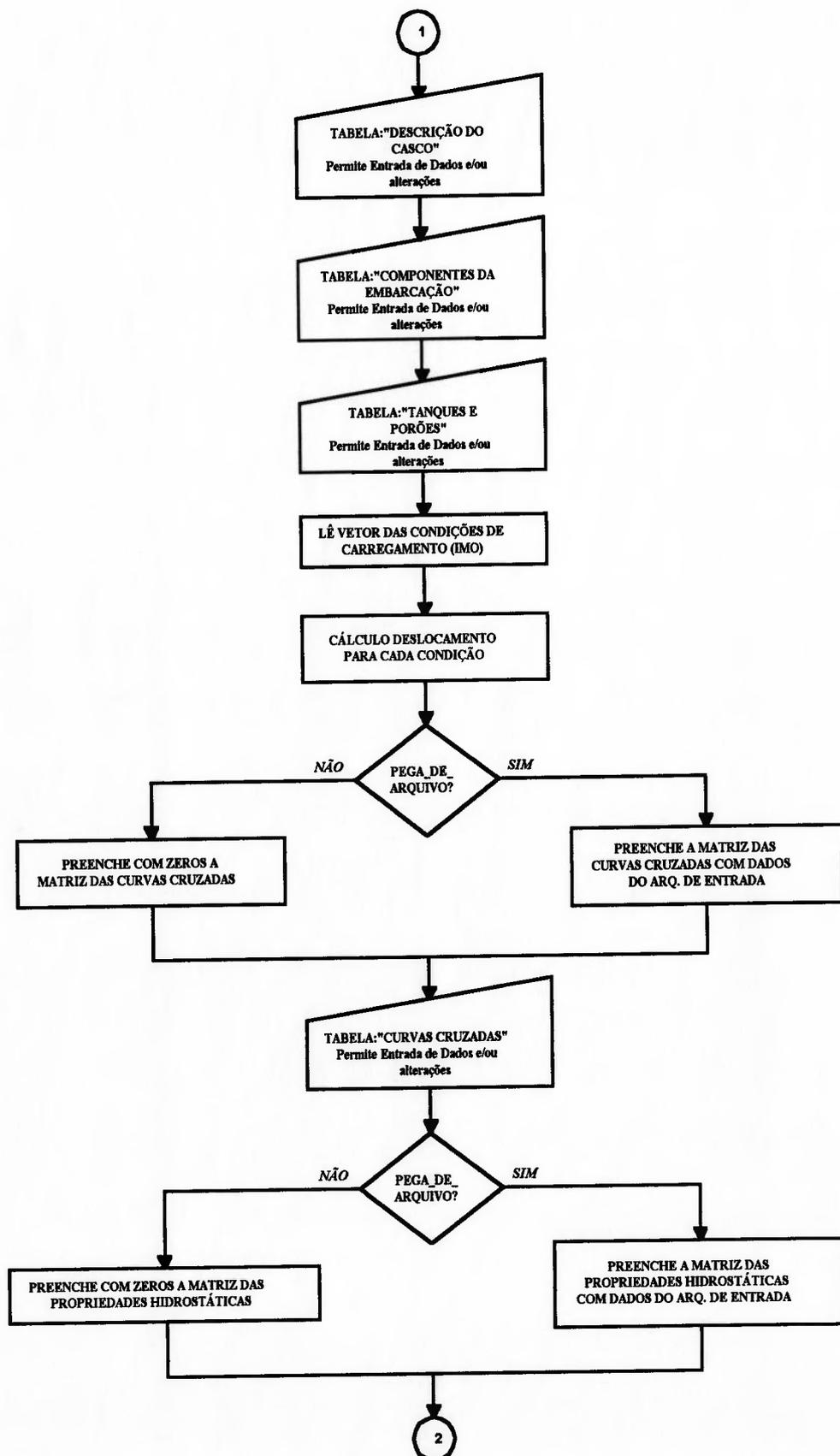
O fluxograma do programa "ESTAVEL" é apresentado na figura 3.1.

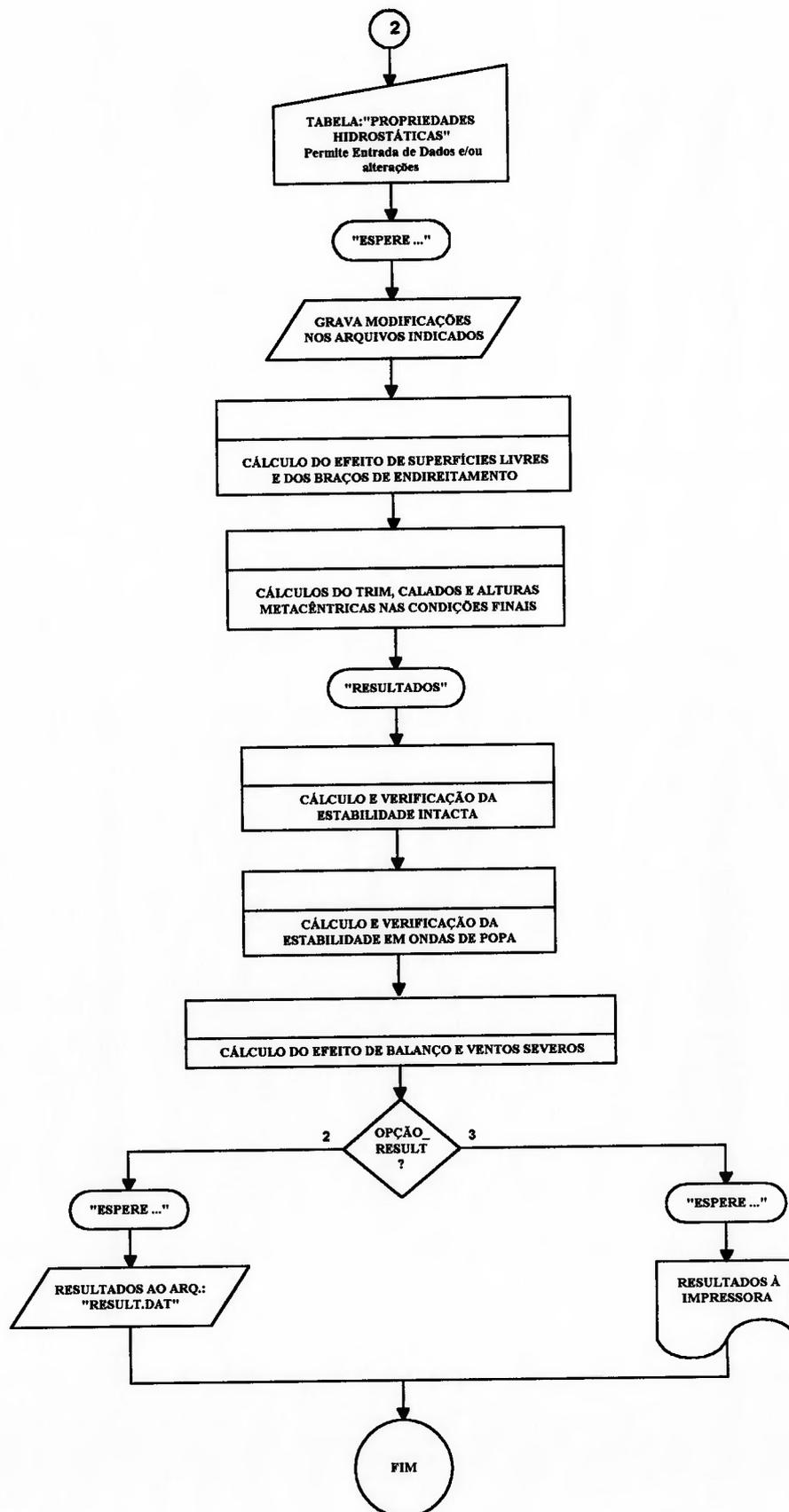
3.1 DADOS DE ENTRADA

Os dados necessários para a execução do programa podem ser obtidos mediante arquivos que contêm os dados de entrada, ou no caso de uma embarcação nova introduzindo-os conforme solicitações no decorrer das subrotinas; utiliza-se para isso, a variável booleana "pega_de_arquivo" (ver figura 3.1). Os arquivos e os dados de entrada foram divididos assim:

Figura 3.1 - Fluxograma Principal do Programa "ESTAVEL".







3.1.1 DADOS DA DESCRIÇÃO DO CASCO

Dados que correspondem às informações gerais da embarcação, agrupam aqui o nome do navio, número do projeto, nome do estaleiro, dimensões principais, incluindo-se a área lateral da superestrutura e os dados do teste de inclinação, tal como se verá no item de aplicação do programa.

3.1.2 DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO

Entende-se por componentes todas aqueles itens que fazem parte de uma embarcação exceto o casco. É necessário conhecer os pesos e capacidades totais, *VCG* e *LCG*. Excluindo o Navio Leve, os dados dos centros de gravidade de cada item de peso dependerão das condições de carregamento (ver condições de carregamento), e serão tomados das curvas de centros de gravidade dos tanques e porões fornecidas pelo estaleiro.

Os componentes foram divididos e classificados devidamente em "tipos" para maior facilidade na digitação e rapidez nos cálculos. Cada componente deverá se associado a um "tipo" da seguinte forma:

-TIPO 1 Componentes Fixos: Correspondem àqueles componentes sólidos não consumíveis e que permanecem invariáveis nas diferentes condições de carregamento. Exemplo: Navio Leve, tripulação, bote auxiliar, rede, equipamentos sobre a coberta, etc.

-TIPO 2 Provisões Sólidas: Correspondem a todo conjunto de víveres comestíveis, gêneros alimentícios, etc.

-TIPO 3 Provisões Líquidas: Correspondem àqueles tanques destinados ao armazenamento de água potável para consumo humano.

-TIPO 4 Tanques Consumíveis: Correspondem àqueles tanques que registram consumo durante uma travessia. Exemplo: tanques de combustível, óleo lubrificante, etc.

-TIPO 5 Tanques de Lastro: Correspondem àqueles tanques que são usados para dar estabilidade e navegabilidade à embarcação.

-**TIPO 6 Porões**: Correspondem aos grandes espaços destinados à arrumação da carga.

-**TIPO 7 Tanques não Consumíveis**: Correspondem àqueles tanques que dada sua utilidade sempre mantém seus níveis altos, independente das condições de serviço. Exemplo: tanques de serviço e decantação de combustível, tanques de óleo, lubrificantes, etc.

3.1.3 DADOS DOS TANQUES E PORÕES

Embora sejam componentes da embarcação, para os cálculos referentes as correções por superfícies livres precisa-se do peso específico dos fluidos, a capacidade total de cada espaço, e suas dimensões máximas.

3.1.4 DADOS DAS CURVAS CRUZADAS E DAS PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS

Até esta fase do processamento de dados de entrada já se tem definidos os deslocamentos, *VCG* e *LCG* para cada condição de carregamento (ver fluxograma do programa principal) obtidos a partir de somatórias de pesos e momentos do casco e componentes da embarcação.

Estes deslocamentos serviram de referência para dispor das informações necessárias para preencher as matrizes das curvas cruzadas (*KN*) e das propriedades hidrostáticas (*d*, *LCB*, *LCF*, *MTC*, *KM* e *C_b*). Valores obtidos desde as curvas cruzadas e hidrostáticas ou utilizando-se previamente programas para tais fins como o ARQUINAV 2.4 [41].

3.2 CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO

As condições de carregamento são as mesmas recomendadas na *Torremolinos International Convention* [19] e na parte B do "*Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessels*" [26]. Além destas consideramos uma quinta condição, "Condição de

Partida do Porto com Lastro", levando em conta que a maioria dos pesqueiros possuem tanques de lastro à vante da embarcação. No programa consideramos as seguintes condições de carregamento.

- I. *Condição de Partida do Porto*, com capacidade total (100%) nos tanques de combustível, água e provisões ou víveres.
- II. *Condição de Retorno do Banco de Pesca*, máximo carregamento, com capacidade total (100%) dos porões e meia capacidade (50%) dos tanques de combustível e provisões.
- III. *Condição de Chegada ao Porto -A-*, com capacidade total (100%) dos porões e reduzidas capacidades (10%) dos tanques de combustível e provisões.
- IV. *Condição de Chegada ao Porto -B-*, com 20% da capacidade total dos porões e reduzidas capacidades (10%) dos tanques de combustível e provisões.
- V. *Condição de Partida do Porto com Lastro*, com capacidade total (100%) dos tanque de combustível, água e lastro, como de provisões ou víveres.

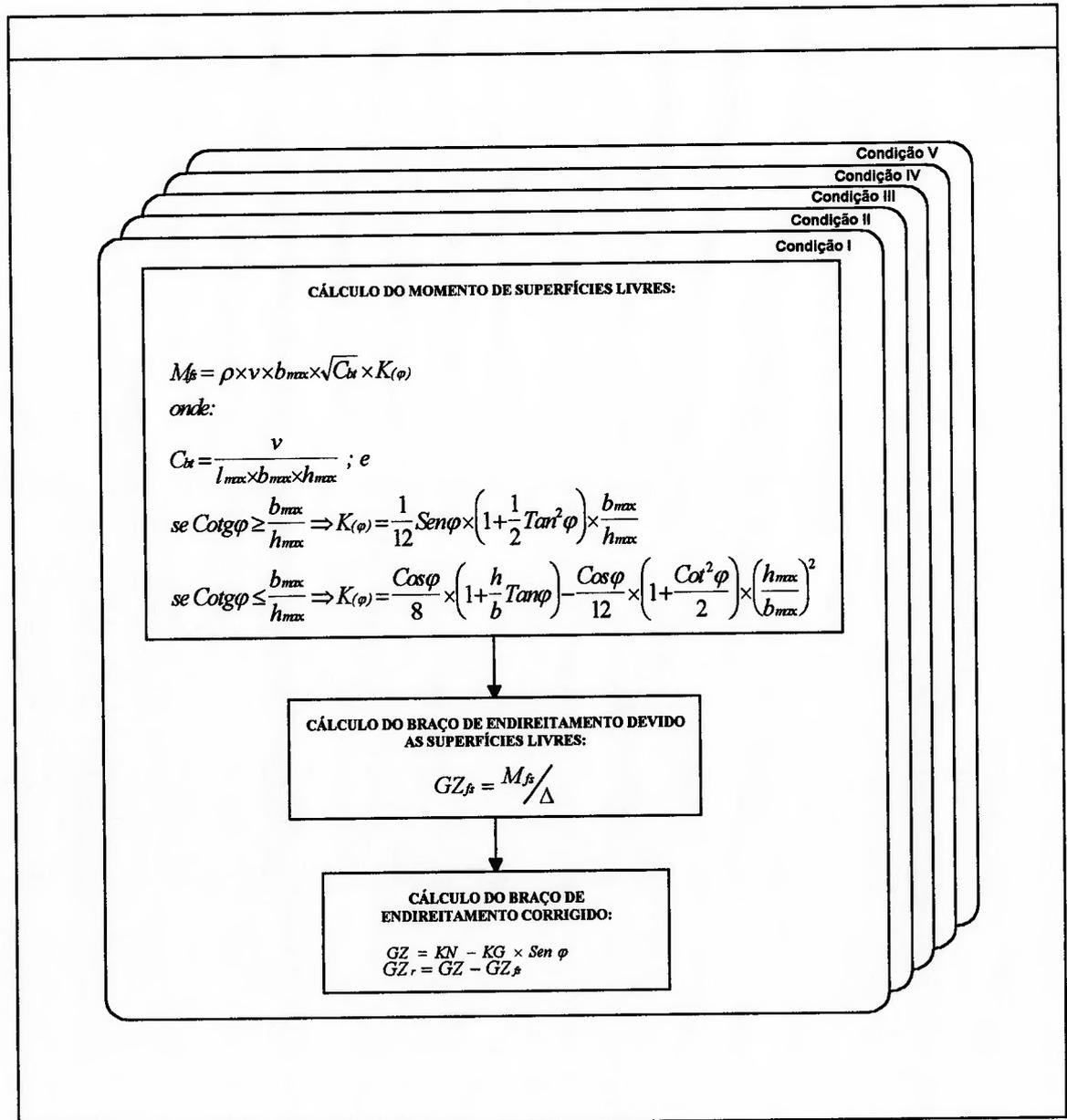
3.3 EFEITO DE SUPERFÍCIES LIVRES

Uma das maiores preocupações na estabilidade das embarcações de pesca é o efeito de superfícies livres. Devido a ele, a IMO apresentou na *Resolution A.167 (ESIV)[17]* e *A.168 (ESIV)[18]* recomendações para o cálculo deste efeito que estão englobados na subrotina do cálculo do efeito de superfícies livres, que na realidade consiste num conjunto de subrotinas que calculam os efeitos dos líquidos nos tanques e porões efetuando as correções das curvas dos braços de endireitamento, para todas as condições de carregamento.

Estes cálculos são feitos em todos os ângulos de inclinação incluindo tanques simples ou combinações de tanques para cada tipo de líquido consumível e lastro em tanques parcialmente e completamente cheios dependendo cada um da condição de carregamento. São considerados também os porões, se forem utilizados parcialmente (10 ou 20%) com a finalidade de obter um maior grau de segurança.

O cálculo das correções do efeito de superfícies livres baseia-se no método de momentos destas [17] [18]. Procedimento detalhado da subrotina do cálculo do efeito das superfícies livres e dos braços de endireitamento é mostrado na figura 3.2

Figura 3.2 - Subrotina do Cálculo do efeito de Superfícies Livres e dos Braços de Endireitamento



onde:

- M_{fs} = Momento de superfícies livres,
- Δ = Deslocamento na condição estudada,

ρ	=	Peso específico do líquido no tanque,
v	=	Capacidade total do porão ou tanque,
$b_{max.}$	=	Largura máxima do porão ou tanque,
C_{bt}	=	Coefficiente de bloco do porão ou tanque,
$h_{max.}$	=	Altura máxima do porão ou tanque,
$l_{max.}$	=	Comprimento máximo do porão ou tanque,
$K_{(\varphi)}$	=	Coefficiente adimensional dependente da relação $b_{max.}/h_{max.}$ e do ângulo de inclinação φ ,
GZ_{fs}	=	Braço de endireitamento devido as superfícies livres,
GZ	=	Braço de endireitamento,
GZ_r	=	Braço de endireitamento corrigido,
KN	=	Distância horizontal medida desde a quilha até a projeção vertical que passa pelo metacentro da embarcação,
KG	=	Altura do centro de gravidade da embarcação,
φ	=	Ângulo de inclinação.

3.4 CÁLCULO DO TRIM, CALADOS E ALTURAS METACÊNTRICAS NAS CONDIÇÕES FINAIS

Para o cálculo do trim e dos calados, nas perpendiculares a ré e à vante, nas condições finais de carregamento, é necessário conhecer o momento de trim unitário (*MTC*), a posição longitudinal do centro de carena (*LCB*) e a posição longitudinal do centro de flutuação (*LCF*), que são propriedades hidrostáticas da geometria do casco, o deslocamento Δ e a posição longitudinal do centro de gravidade *LCG* da condição a calcular, seguindo as formulações incluídas na subrotina da figura 3.3.

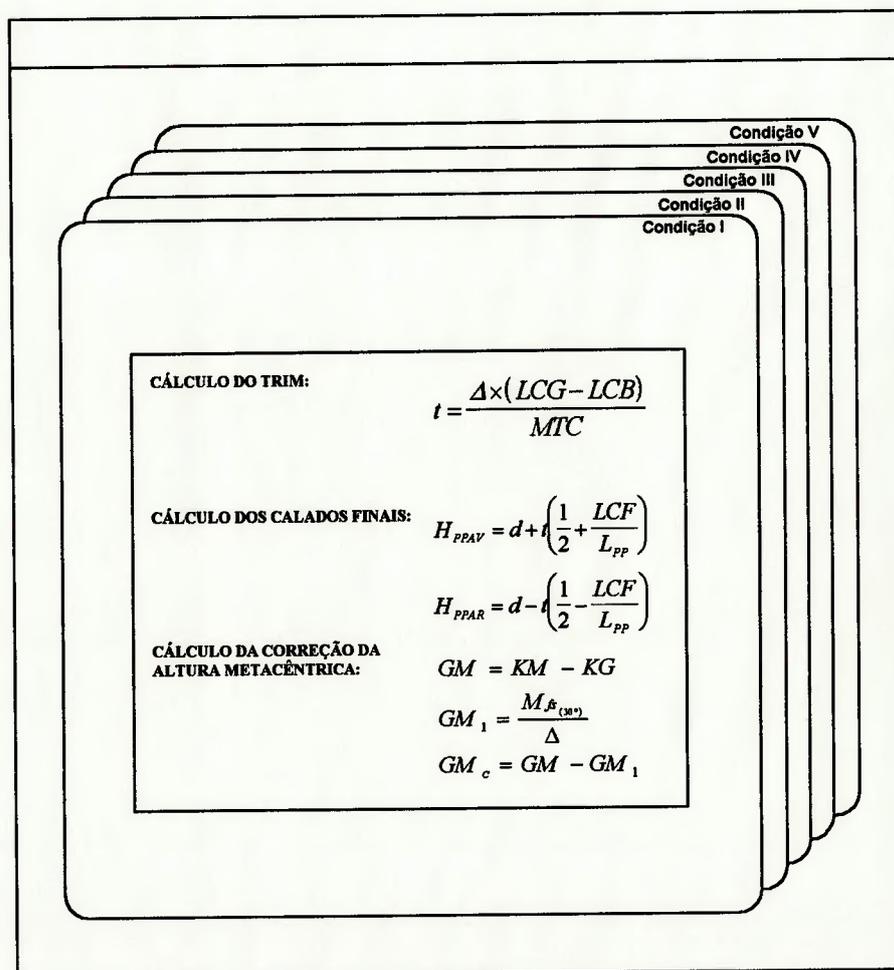
Assim como se fez as correções dos braços de endireitamento, devido as superfícies livres, deve-se também corrigir a altura metacêntrica pelo mesmo efeito, segundo o recomendado pela **IMO** e como se mostra na figura 3.3 do cálculo do trim, calados e alturas metacêntrica nas condições finais.

onde:

t	=	Trim,
<i>LCG</i>	=	Posição longitudinal do centro de gravidade,
<i>LCB</i>	=	Posição longitudinal do centro de carena,
<i>MTC</i>	=	Momento de trim unitário,

- H_{PPAV} = Calado na perpendicular à vante,
- H_{PPAR} = Calado na perpendicular a ré,
- d = Calado médio,
- L_{PP} = Comprimento entre perpendiculares da embarcação,
- LCF = Posição longitudinal do centro de flutuação,
- GM = Altura Metacêntrica inicial,
- KM = Altura do metacentro da embarcação,
- GM_1 = Correção da Altura Metacêntrica pelo efeito de superfícies livres,
- $M_{fs(30^\circ)}$ = Momento de superfícies livres no ângulo de inclinação de 30 graus,
- GM_c = Altura metacêntrica corrigida.

Figura 3.3 - Subrotina do Cálculo do Trim, Calados e Alturas Metacênticas nas Condições finais



3.5 CRITÉRIO DE ESTABILIDADE INTACTA

Como o emborcamento é um processo dinâmico deve-se calcular a estabilidade dinâmica que é definida como o esforço realizado para inclinar o navio até o ângulo φ , esforço que é proporcional à área sob a curva de estabilidade estática (*curva $GZx\varphi$*). Este critério de estabilidade intacta mostra diretamente nesta curva a estabilidade dinâmica em qualquer ângulo de inclinação.

A estabilidade intacta de cada embarcação de pesca é avaliada para todas as condições de carregamento indicadas e devem obedecer o critério de estabilidade intacta levando em conta as considerações do projeto.

A estabilidade intacta de uma embarcação de pesca é especificada através do critério na resolução da **IMO A.168(ES.IV)**[18] com um requisito adicional, onde as embarcações de pesca têm no mínimo o limite de estabilidade de 60 graus. Este critério mínimo se resume como se segue, e é esquematizado na figura 3.4.

a. A área situada abaixo da curva de braços de endireitamento (*curva $GZx\varphi$*) não deve ser inferior a 0.055 metros×radianos (10.3 pés-graus) até um ângulo de inclinação de 30 graus.

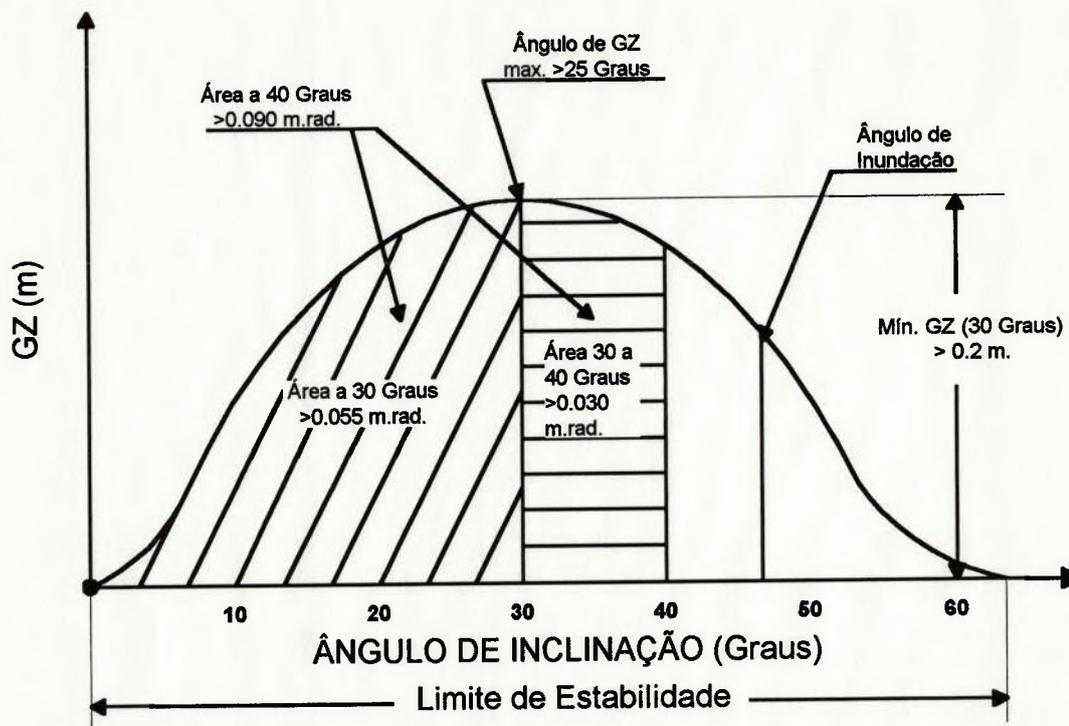
b. A área situada abaixo da curva de braços de endireitamento (*curva $GZx\varphi$*) entre os ângulos de inclinação de 30 graus e φ_f (ângulo de inundação), se este for menor que 40 graus, não será inferior a 0.030 metros×radianos (5.6 pés-graus).

c. A área situada abaixo da curva de braços de endireitamento (*curva $GZx\varphi$*) não será inferior a 0.090 metros×radianos (16.9 pés-graus) até um ângulo de inclinação de 40 graus ou até o ângulo de inundação φ_f , se este for menor a 40 graus.

Nota: Este critério exige que a soma da área situada abaixo da curva de braços de endireitamento até 30 graus e a curva de braços de endireitamento entre 30 graus e 40 graus ou 30 graus e o ângulo de inundação φ_f , seja maior que 0.090 metros-radianos (16.9 pés-graus). Isto significa que cada uma ou ambas destas áreas seja maior que o especificado nos parágrafos (a) e (b).

d. O braço de endireitamento (*GZ*) mínimo para um ângulo de inclinação igual ou superior a 30 graus será de 0.2 m. (0.66 pés).

Figura 3.4 - Critério de Estabilidade Intacta



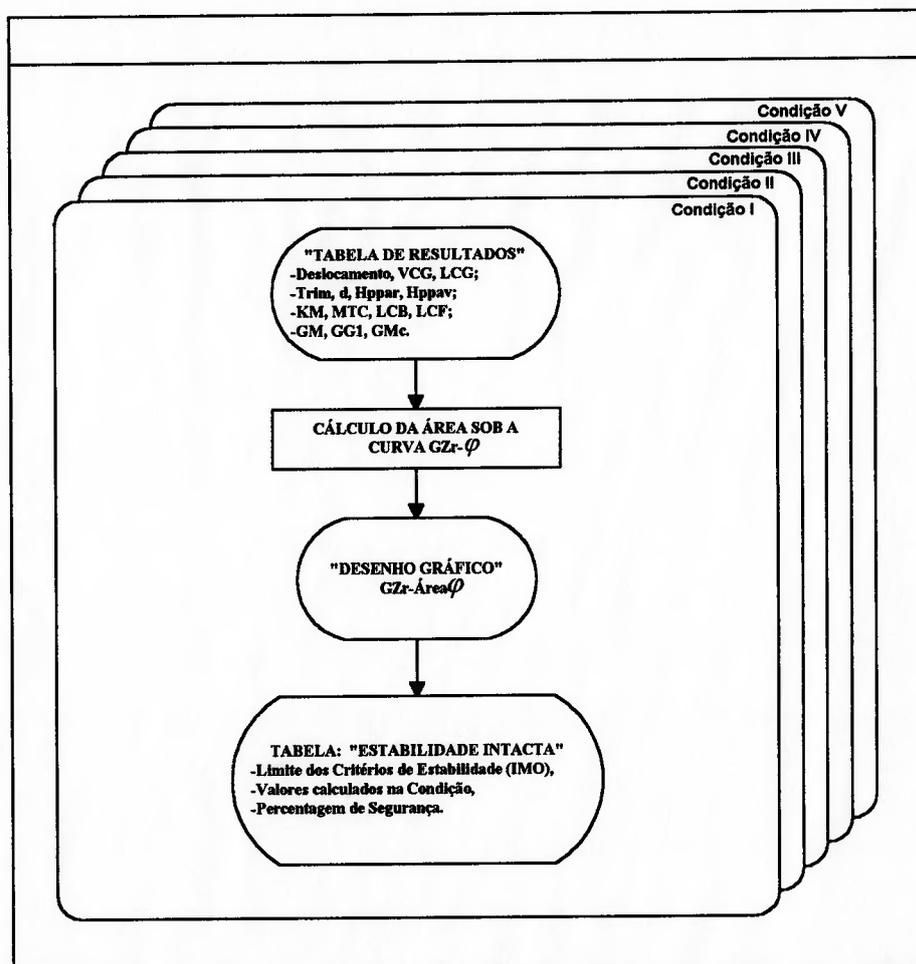
e. O braço de endireitamento máximo ($GZ_{max.}$) corresponderá a um ângulo de inclinação geralmente superior a 30 graus, porém nunca inferior a 25 graus.

f. A altura metacêntrica inicial (GM) não será inferior a 0.35 m. (1.15 pés).

g. Como uma parte adicional deste critério, é necessário no mínimo o limite de estabilidade de 60 graus.

A subrotina para o cálculo e verificação da estabilidade intacta para cada condição de carregamento é apresentada na figura 3.5 onde são mostrados os resultados dos valores calculados nas subrotinas anteriores, correspondentes ao deslocamento, centros de gravidades, trim, propriedades hidrostáticas, calados e alturas metacêntricas finais. Ilustra-se também o gráfico da curva dos braços de endireitamento com os braços dinâmicos, os limites dos critérios de estabilidade, os valores calculados na condição estudada e os percentuais de segurança.

Figura 3.5 - Subrotina do Cálculo e Verificação da Estabilidade Intacta



3.6 PROPOSTA DE UM CRITÉRIO DE ESTABILIDADE EM ONDAS DE POPA

NADEINSKI e JEANS [20] apresentaram um método para determinar aproximadamente a diminuição da estabilidade de uma embarcação sob a crista de uma onda. Este método foi elaborado através de cálculos sistemáticos em vários modelos experimentais e também através da análise estatística levando em conta as proporções geométricas, as características das ondas e a velocidade da embarcação. O método é o seguinte:

Os braços de endireitamento de uma embarcação sobre a crista de uma onda GZ_w podem ser obtidos da soma:

$$GZ_w = GZ_r + \Delta GZ$$

onde:

GZ_r = Braço de endireitamento em águas calmas,

ΔGZ = Correção dos braços devido a troca de superfície de água ao redor da embarcação.

$$\Delta GZ = B \sum_{i=1}^{i=7} K_i f_i(\varphi)$$

onde:

B = Boca da embarcação,

$f_i(\varphi)$ = Funções que indicam efeitos da forma do casco, amplitude da onda e o número de Froude para vários ângulos de inclinação. O valor numérico é dado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Definição das Funções $f_i(\varphi)$.

Ângulo de Inclinação	$f_1(\varphi)$	$f_2(\varphi)$	$f_3(\varphi)$	$f_4(\varphi)$	$f_5(\varphi)$	$f_6(\varphi)$	$f_7(\varphi)$	
							$Fr > 0.28$	$Fr < 0.28$
10°	0.084	0.025	0.013	0.015	0.020	0.027	0.006	-0.026
20°	0.176	0.070	0.024	0.023	0.030	0.045	0.015	-0.069
30°	0.310	0.125	0.035	0.037	0.040	0.050	0.026	-0.053
40°	0.410	0.150	0.042	0.045	0.048	0.055	0.033	-0.023
50°	0.465	0.160	0.043	0.050	0.053	0.058	0.038	-0.017

K_i = Índices representados pelas formulações da tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Definição dos Índices K_i

K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
h_w/λ	$0.208-B/L$	$0.375-d/B$	$d/B-0.770$	$0.700-C_b/C_{wl}$	$0.692-C_b/C_x$	$Fr-0.28$

onde:

- λ = Comprimento da onda,
- h_w = Altura da onda (desde a crista até o cavado),
- L = Comprimento da embarcação medido na atual linha de água,
- d = Calado médio,
- D = Pontal à meia nau,
- C_b = Coeficiente de bloco,
- C_{wl} = Coeficiente de linha d' água,
- C_x = Coeficiente de seção mestra,
- Fr = Número de Froude.

NOTA: Se $L_{pp}/B \geq 7.5$, o coeficiente $f_7(\varphi)$ resulta igual a zero. Neste caso a velocidade não tem um efeito significativo na estabilidade.

NADEINSKI e JEANS recomendam que este método seja aplicado às embarcações dentro da margem dos seguintes parâmetros:

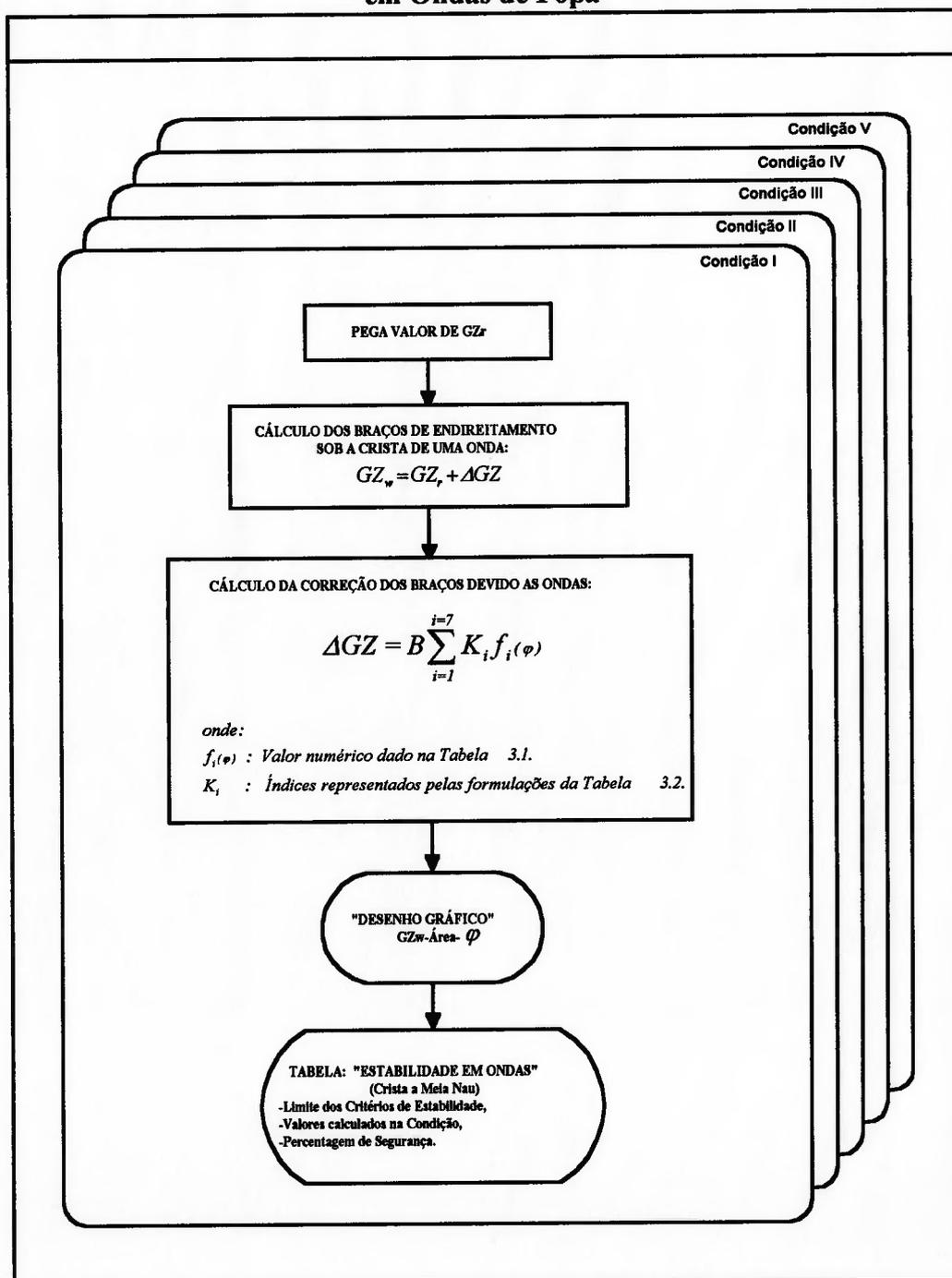
Tabela 3.3 - Limites recomendados na aplicação do Método de Nadeinski e Jeans.

$L_{pp}/B > 3.1$	$1.6 < B/D < 3.75$	$D/d > 1.05$
$0.55 < C_{wl} < 0.85$	$0.22 < Fr < 0.36$	$trim \leq 0.2 d$ avante $0.4 d$ a ré

A subrotina empregada a fim de calcular esta diminuição da estabilidade de uma embarcação sob a crista de uma onda, para cada condição de carregamento, se apresenta na figura 3.6.

Segundo o autor, este método não apresenta mais que 10 % de erros, mas devido à falta de bibliografia referente a este problema e, a mesma sugestão feita pelo próprio autor em empregar outros métodos para confirmar os resultados obtidos, resolveu-se fazer uma análise mais teórica baseada na hipótese de FROUDE-KRYLOV como se verá no capítulo seguinte, a fim de ter um julgamento da sua validade e eficácia.

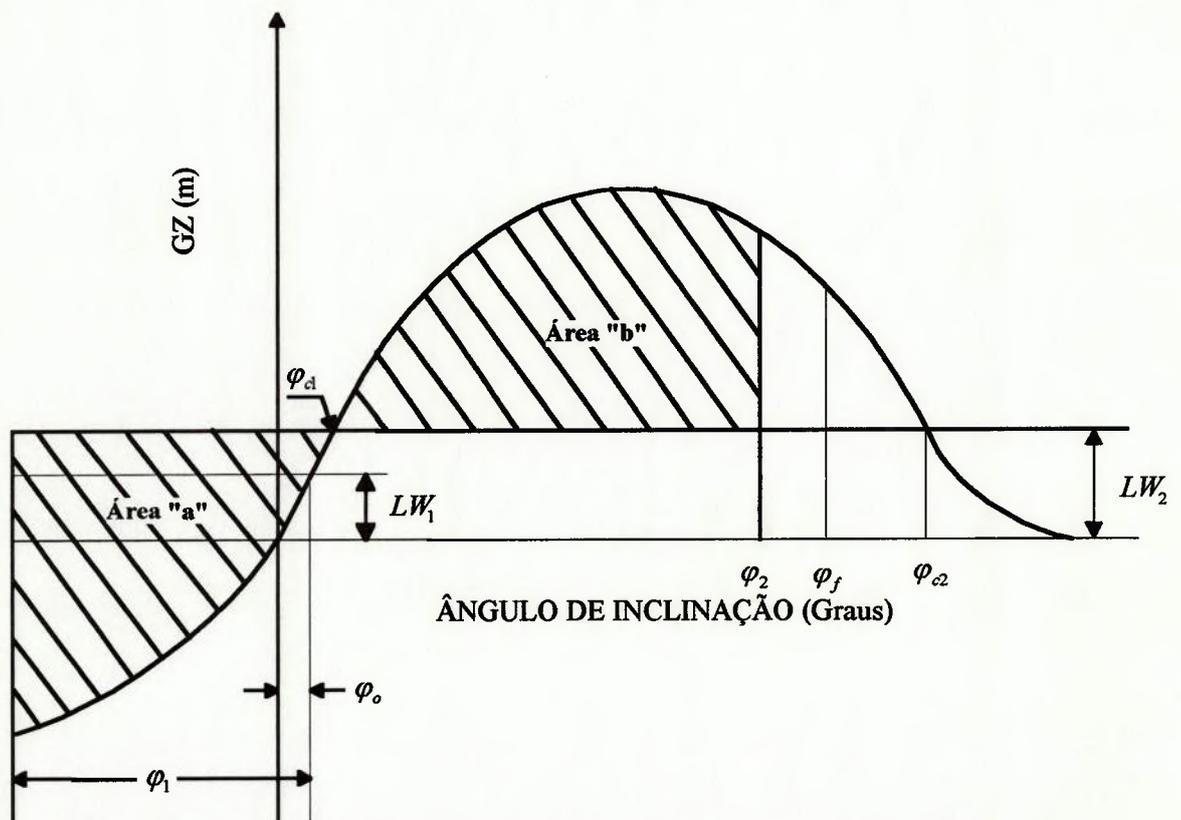
Figura 3.6 - Subrotina do Cálculo e Verificação da Estabilidade Intacta em Ondas de Popa



A capacidade de uma embarcação em resistir ao efeito de balanço e ventos severos será demonstrada usando os braços dinâmicos de inclinação pela ação dos ventos, levando em conta o ângulo de balanço devido a ondas. O critério para uma estabilidade adequada, na pior condição de operação, comprovará que o esforço feito pelo momento de inclinação dos braços dinâmicos externos, área "a" da figura 3.7, é igual ou menor que o trabalho feito pelo restante braço de restauração, área "b" da mesma figura..

O critério de balanço e ventos severos indicado na resolução IMO A.562(14)[30] é uma medida para determinar a capacidade de uma embarcação de pesca para resistir aos efeitos dos ventos de través e de balanços intensos. As embarcações de pesca deve satisfazer o critério contido em A.562(14) como se resume abaixo e esquematizado na figura 3.7.

Figura 3.7 - Critério de Balanço e Ventos Severos



a. Sabe-se que a embarcação está sujeita a uma pressão de vento constante atuando na direção perpendicular à linha central da embarcação, resultando num braço de momento de inclinação devido aos ventos constantes (LW_1). A embarcação se inclina a um ângulo de equilíbrio (φ_o). Este ângulo de inclinação, produto da ação de um vento constante, não deve exceder os 16 graus.

b. Face ao ângulo de equilíbrio (φ_o), a embarcação é submetida a um balanço, devido a ação do vento, até um ângulo de balanço (φ_1) a barlavento.

c. O navio está sujeito a uma rajada de pressão do vento, que resulta no braço de inclinação correspondente (LW_2).

d. Sob estas condições a área "b" deve ser igual ou maior que a área "a".

e. Os ângulos na figura 3.7 são definidos como segue:

φ_o	=	Ângulo de inclinação sob a ação de um vento constante (ângulo de equilíbrio, no qual não deve ultrapassar os 16 graus);
φ_1	=	Ângulo máximo de balanço se dá a partir do ponto de equilíbrio estático,
φ_2	=	Ângulo de inundação (φ_f), ou 50 graus, ou φ_{c2} , ou qual seja menor,
φ_f	=	Ângulo de inclinação no qual encontramos aberturas no casco, superestruturas ou ponte que não possam ser estanques à imersão. Na aplicação deste critério, pequenas aberturas através da qual pode haver inundação progressivas não devem ser consideradas necessariamente como abertas;
φ_{c1}	=	Ângulo da primeira interceptação da curva do braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento (LW_2), e a curva de braços de endireitamentos.
φ_{c2}	=	Ângulo da segunda interceptação da curva do braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento (LW_2), e a curva de braços de endireitamentos;

f. Os braços de inclinação devido a pressão do vento LW_1 e LW_2 , referidos acima, são valores constantes para todos os ângulos de inclinação e são calculados como se mostra na figura 3.8.

onde:

P	=	0.0514 (tos/m ²) pressão para uma velocidade do vento igual a 26 (m/s.). Escala de <i>Beaufort</i> igual a 8;
$A_{sup.}$	=	Superfície lateral do navio acima da linha de flutuação;
Z	=	Distância vertical entre o centro de gravidade de $A_{sup.}$ e aproximadamente o ponto médio do calado.

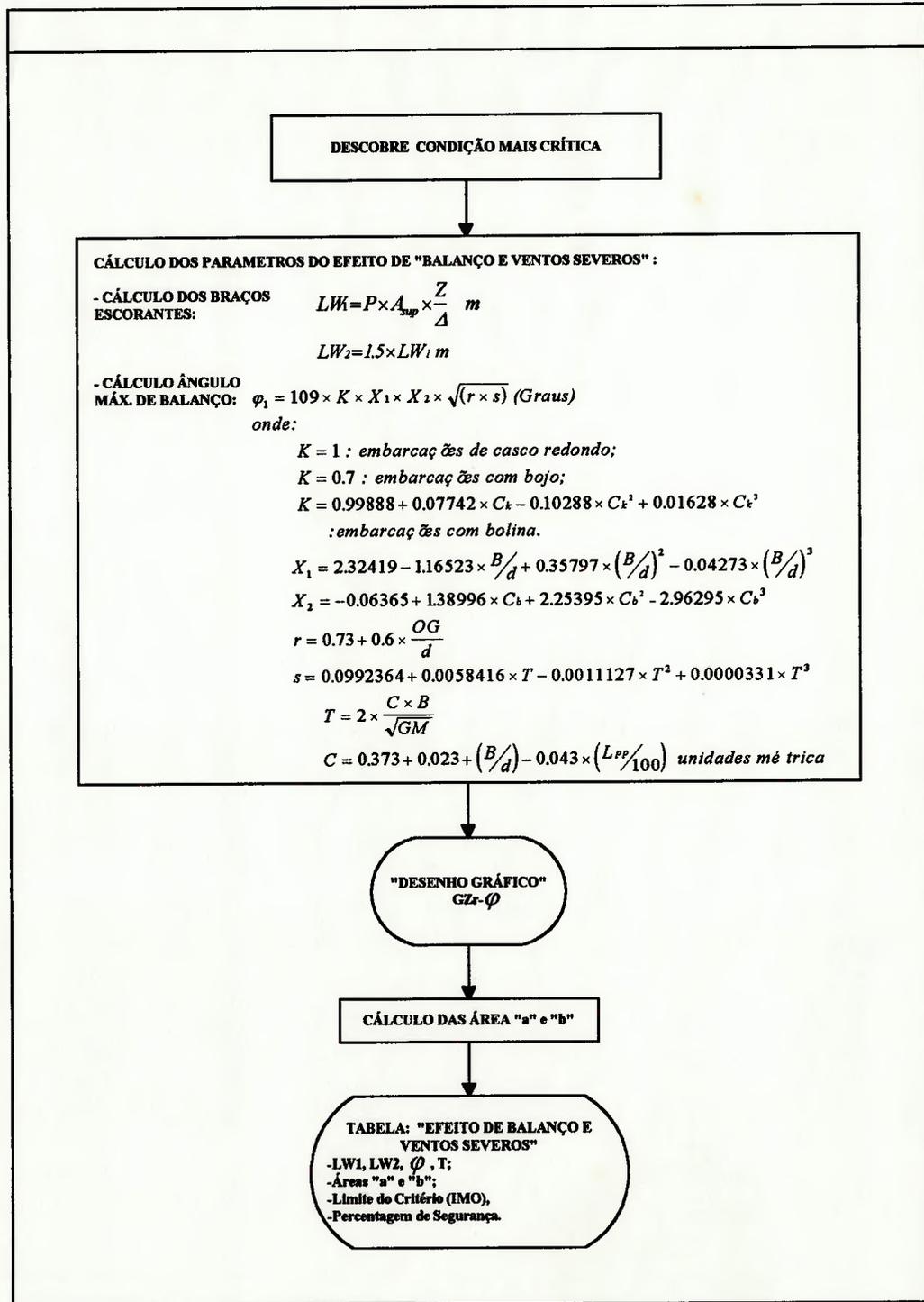
g. O ângulo de balanço (φ_1) pode ser calculado como se mostra na figura 3.8

onde:

K	=	1 para embarcações de casco redondo, sem bojo ou bolina;
K	=	0.7 para embarcações com bojo pronunciado;
K	=	Fator para navios que têm bolina, quilha de barra ou ambas (tabela 3 ref [30]);
X_1	=	Fator adimensional dependente da relação B/d , (tabela 1 ref. [30]);
X_2	=	Fator adimensional dependente do coeficiente de bloco C_b , (tabela 2 ref. [30]);
OG	=	Distância entre o centro de gravidade e a linha de flutuação em metros (distância positiva sobre VCG e negativa abaixo do VCG),
s	=	Fator relacionando o período de balanço T , (tabela 4 ref. [30]);
T	=	Período de Balanço;
L_{PP}	=	Comprimento da embarcação na linha de flutuação;
B	=	Boca moldada na meia-nau;
C_b	=	Coefficiente de bloco;
C_k	=	Área total da bolina, ou área de projeção lateral da quilha de barra, ou soma destas áreas.

O ângulo de balanço para embarcações providas com equipamentos ativos de estabilização deve ser determinado sem levar em consideração a operação destes equipamentos. Para embarcações com tanques de estabilização deve-se usar o efeito total de superfícies livres para determinar GM usado no cálculo do ângulo de balanço.

Figura 3.8 - Subrotina do Cálculo do Efeito de Balanço e Ventos Severos

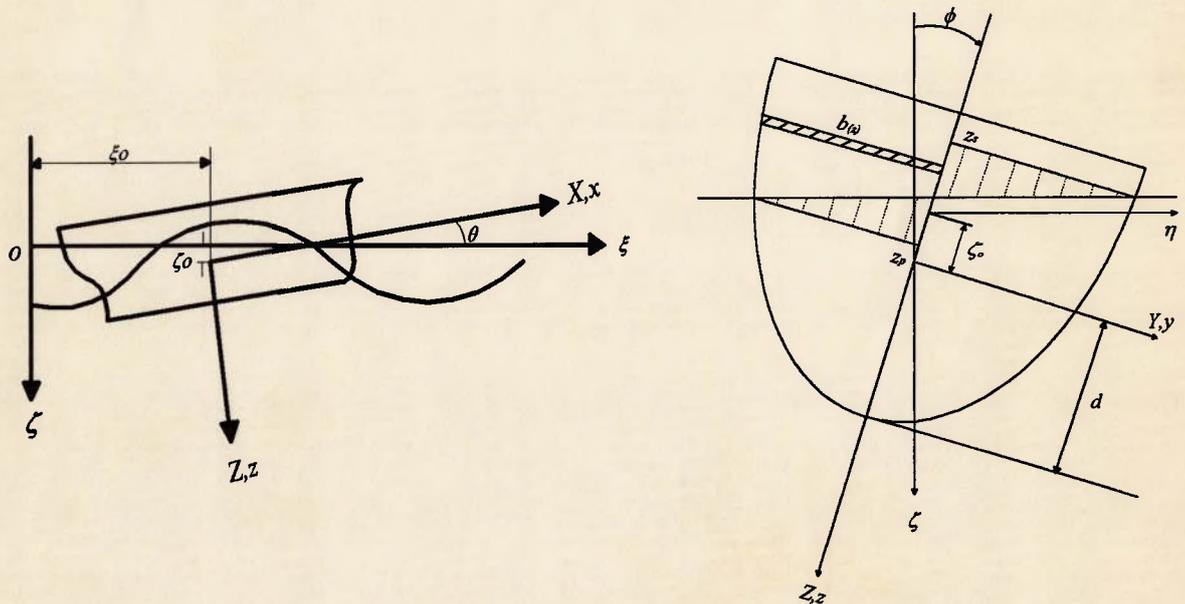


CAPÍTULO 4

4. ANÁLISE TEÓRICA BASEADA NA HIPÓTESE DE FROUDE-KRYLOV

Neste capítulo o cálculo do braço de endireitamento se faz através de princípios e de algumas hipóteses simplificadoras. Em particular é considerado somente efeitos estáticos.

Figura 4.1 - Sistema de Coordenadas.



Assume-se que seja possível modelar as ondulações da superfície do mar por uma "senoide móvel" de amplitude a , número de onda k e velocidade de fase c , como mostra a figura 4.1. Fazendo coincidir o plano o, ξ, η com o nível de águas calmas, e definindo o eixo ζ perpendicular a tal plano, o perfil da onda ζ_w num certo tempo τ é dado por:

$$\zeta_w(\xi, t) = a \cos k(\xi - c\tau) \quad (4.1)$$

Assim, a distribuição de pressão para ondas regulares pode ser calculada por:

$$p(\zeta, \xi, t) = \rho g \zeta - \rho g a e^{-k\zeta} \cos k(\xi - c\tau) \quad (4.2)$$

que é a pressão para qualquer profundidade abaixo de superfície, composta por uma parcela hidrostática e outra não-hidrostática, esta última conhecida como o efeito de *Smith*.

O braço de endireitamento de um navio inclinado e submetido a um trem de ondas contínuo pode ser determinado calculando-se a distância entre o plano vertical que passa pelo centro de gravidade e é perpendicular às áreas seccionais, e o ponto onde age a resultante das forças de empuxo. Assim,

$$\int_{L \times \partial S} g p(z, x) dy dx \overline{GZ} = \int_{L \times \partial S} y g p(z, x) dy dx \quad (4.3)$$

onde L se refere ao comprimento do navio e ∂S à superfície submersa.

Usando o Teorema de Green tem-se:

$$\begin{aligned} \int_{L \times S} g \frac{\partial p(z, x)}{\partial z} dz dy dx \overline{GZ} &= \int_{L \times S} y g \frac{\partial p(z, x)}{\partial z} dz dy dx \\ \int_V g \frac{\partial p(z, x)}{\partial z} dV \overline{GZ} &= \int_V y g \frac{\partial p(z, x)}{\partial z} dV \end{aligned} \quad (4.4)$$

agora, a integral da esquerda deve ser igual ao deslocamento W , então:

$$W \overline{GZ} = \int_V y g \frac{\partial p(z, x)}{\partial z} dV \quad (4.5)$$

Para ângulos de trim pequenos $z \approx \zeta$ e $x \approx \xi$, e portanto:

$$\frac{\partial p(z, x)}{\partial z} \approx \frac{\partial p(\zeta, \xi)}{\partial \zeta} \Big|_{\substack{\zeta=z \\ \xi=x}} = \rho g [1 + a k e^{-kz} \cos k(x - c\tau)] \quad (4.6)$$

Observando que $e^{-k\zeta}$ não varia muito entre a superfície da água e o fundo da embarcação, conclui-se que seria mais prático utilizar um calado efetivo para cada área seccional, $\zeta_s(x)$, de maneira que:

$$\frac{\partial p(z, x)}{\partial z} = \rho g [1 + ake^{-k\zeta_s(x)} \text{cosk}(x - c\tau)] \quad (4.7)$$

onde define-se $\zeta_s(x) = \frac{A(x)}{PS}$. (ver figura 4.2).

Supondo que a velocidade do navio e da onda são aproximadamente iguais, pode-se escrever:

$$\frac{\partial p(z, x)}{\partial z} = \rho g [1 + ake^{-k\zeta_s(x)} \text{cosk}(\xi_o + x)] \quad (4.8)$$

onde:

- ξ_o = Distância entre o centro de gravidade e o cavado da onda anterior mais próximo,
- x = Distância entre o centro de gravidade e a área seccional.

A fórmula (4.8) sugere que o efeito do movimento orbital sobre o gradiente de pressão vertical possa ser representado como uma aparente mudança de densidade da água, alta densidade no cavado e baixa na crista da onda,¹ sendo igual a:

$$\rho^*_{(x)} = \rho [1 + ake^{-k\zeta_s(x)} \text{cosk}(\xi_o + x)] \quad (4.9)$$

Voltando à expressão para o braço de endireitamento tem-se:

$$\overline{WGZ} = \int_V yg\rho^*_{(x)} dV = \int_{x_a}^{x_f} dxg\rho^*_{(x)} \int_{A(x)} ydA \quad (4.10)$$

Decompondo $A(x)$, a área seccional da embarcação em baixo da água, segundo a figura 4.2, temos:

$$A(x) = A_1(x) + A_2(x) + A_3(x) + A_4(x) - A_5(x) \quad (4.11)$$

¹ Fenômeno conhecido como "Efeito de Smith".

Note-se que a cunha $A_5(x)$, que não está submersa, é somada em $A_3(x)$ mas é posteriormente subtraída ($-A_5(x)$).

As coordenadas x', y' e x, y diferem somente pelo ângulo de rotação, de maneira que :

$$y = y' \cos \varphi - z' \text{sen} \varphi \tag{4.12}$$

Daqui segue-se que:

$$\int_{A(x)} y dA = \int_{A(x)} (y' \cos \varphi - z' \text{sen} \varphi) dy' dz' \tag{4.13}$$

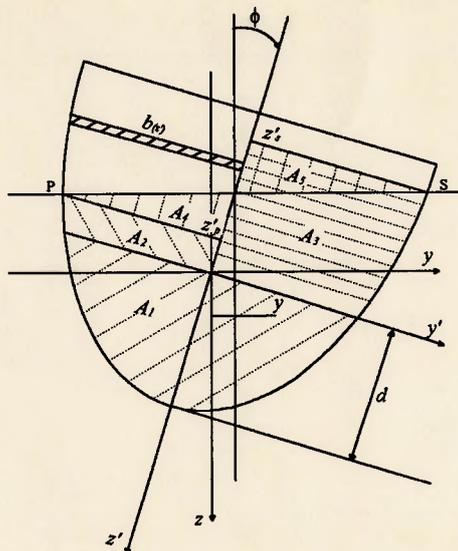
Levando-se em conta a decomposição da equação (4.11), a equação anterior e realizando integrações elementares, tem-se:

$$\begin{aligned} \int_{A_1} y dA &= \int_0^{d(x')} \int_{-b(z',x')}^{b(z',x')} (y' \cos \varphi - z' \text{sen} \varphi) dy' dz' \\ &= -\text{sen} \varphi \int_0^{d(x')} 2z' b(z', x') dz' \\ \int_{A_2} y dA &= \int_{Z_p(x')}^0 \int_{-b(z',x')}^0 (y' \cos \varphi - z' \text{sen} \varphi) dy' dz' \\ &= -\cos \varphi \int_{Z_p(x')}^0 \frac{1}{2} b^2(z', x') dz' - \text{sen} \varphi \int_{Z_p(x')}^0 z' b(z', x') dz' \\ \int_{A_3} y dA &= \int_{Z_s(x')}^0 \int_0^{b(z',x')} (y' \cos \varphi - z' \text{sen} \varphi) dy' dz' \\ &= \cos \varphi \int_{Z_s(x')}^0 \frac{1}{2} b^2(z', x') dz' - \text{sen} \varphi \int_{Z_s(x')}^0 z' b(z', x') dz' \end{aligned} \tag{4.14a.}$$

onde :

- $b(z, x)$ = Boca média;
- $d(x)$ = Calado na flutuação direita em águas calmas;
- $Z_s(x)$ e $Z_p(x)$ = Representação das imersões nos costados de bombordo e boreste de uma onda. Como mostra a figura 4.2.

Figura 4.2 - Cálculo dos Braços de Endireitamento de uma Embarcação Inclinada em Ondas (área seccional).



A contribuição das cunhas pode ser calculada, aproveitando o fato de que as coordenadas do baricentro de um triângulo são $(1/3b, 1/3h)$ onde o ângulo reto se considera na origem de coordenadas, b é a base e h a altura do triângulo. Assim, como:

$$\int_A y dA = \bar{y}A \tag{4.14b.}$$

pode-se calcular as outras contribuições assim:

$$\begin{aligned} \int_{A_4} y dA &= \left\{ -1/3 b(z'_p) \cos \varphi - [z'_p - 1/3 b(z'_p) \tan \varphi] \text{sen} \varphi \right\} \times \frac{1}{2} b(z'_p) b(z'_p) \tan \varphi \\ &= -\frac{1}{2} b^2(z'_p) \tan \varphi \left[1/3 b(z'_p) \cos \varphi - \text{sen} \varphi \tan \varphi + z'_p \text{sen} \varphi \right] \\ \int_{-A_5} y dA &= -\left\{ 1/3 b(z'_s) \cos \varphi - [z'_s + 1/3 b(z'_s) \tan \varphi] \text{sen} \varphi \right\} \times \frac{1}{2} b(z'_s) b(z'_s) \tan \varphi \\ &= \frac{1}{2} b^2(z'_s) \tan \varphi \left[1/3 b(z'_s) \cos \varphi - \text{sen} \varphi \tan \varphi - z'_s \text{sen} \varphi \right] \end{aligned} \tag{4.14c.}$$

Voltando à equação (4.10) e levando em conta as integrais anteriores tem-se, finalmente:

$$\begin{aligned}
 W \times \overline{GZ} = & \int_{x_a}^{x_f} g\rho \left[1 + ake^{-kz_s} \cos k(\xi_o + x) \right] \left\{ \cos \varphi \int_{z_s(x')}^{z_p(x')} \frac{1}{2} b^2(z', x') dz' \right. \\
 & - \text{sen} \varphi \left[\int_0^{d(x')} 2z' b(z', x') dz' + \int_{z_p(x')}^0 z' b(z', x') dz' + \int_{z_s(x')}^0 z' b(z', x') dz' \right] \\
 & \left. - \frac{1}{6} \text{sen} \varphi (1 - \tan^2 \varphi) [b^3(z'_p) + b^3(z'_s)] - \frac{1}{2} \text{sen} \varphi \tan \varphi [z'_p b^2(z'_p) - z'_s b^2(z'_s)] \right\} dx
 \end{aligned}
 \tag{4.15}$$

Observe-se que, a fim de se empregar a formulação (4.15), deve-se determinar $z_s(x)$ e $z_p(x)$. Para calcular estas quantidades são usadas as equações de equilíbrio em relação à imersão e ao trim:

$$\begin{aligned}
 a. & -\rho g \int_{x_a}^{x_f} [1 + ake^{-kz_s} \cos k(\xi_o + x)] \times A(x) dx + W = 0 \\
 b. & \int_{x_a}^{x_f} [1 + ake^{-kz_s} \cos k(\xi_o + x)] \times x A(x) dx = 0
 \end{aligned}
 \tag{4.16}$$

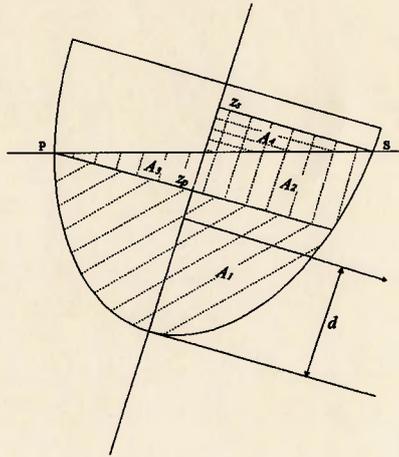
Para determinar $A(x)$ é feita uma decomposição semelhante à equação (4.11):

$$A(x) = A_1(x) + A_2(x) + A_3(x) - A_4(x)
 \tag{4.17}$$

onde as áreas respectivas são ilustradas na figura 4.3.

$$\begin{aligned}
 A_1(x) &= \int_{z_p}^d 2b(z) dz + \int_{z_s}^{z_p} b(z) dz + \frac{1}{2} b^2(z_p) \tan \varphi - \frac{1}{2} b^2(z_s) \tan \varphi \\
 A_2(x) &= \int_0^d 2b(z) dz + \int_{z_p}^0 2b(z) dz + \int_0^{z_p} b(z) dz + \int_{z_s}^0 b(z) dz + \frac{1}{2} [b^2(z_p) - b^2(z_s)] \tan \varphi \\
 A_3(x) &= \int_0^d 2b(z) dz + \int_{z_p}^0 b(z) dz + \int_{z_s}^0 b(z) dz + \frac{1}{2} [b^2(z_p) - b^2(z_s)] \tan \varphi
 \end{aligned}
 \tag{4.18}$$

Figura 4.3 - Área Seccional da Embarcação.



Anotando como $A_o(x)$ igual a área seccional da embarcação abaixo da linha d'água em sua condição apurmada e igual a $A_o(x) = \int_0^d 2b(z)dz$ tem-se:

$$A(x) = A_o(x) + A^*(x) \quad (4.19)$$

onde:

$$A^*(x) = \int_{z_p}^0 b(z)dz + \int_{z_s}^0 b(z)dz + \frac{1}{2}[b^2(z_p) - b^2(z_s)] \tan \varphi \quad (4.20)$$

substituindo a equação (4.19) em (4.16) e lembrando que ao satisfazer as condições de equilíbrio:

$$\begin{aligned} a. & -\rho g \int_{x_a}^{x_f} A_o(x) dx + W = 0 \\ b. & \int_{x_a}^{x_f} x A_o(x) dx = 0 \end{aligned} \quad (4.21)$$

obtem-se as seguintes equações para $A^*(x)$:

$$\begin{aligned}
 a. \quad & -\rho g \int_{x_a}^{x_f} [1 + ake^{-k\zeta_s} \cos k(\xi_o + x)] \times [A_o(x) + A^*(x)] dx + W = 0 \\
 & -\rho g \int_{x_a}^{x_f} A_o(x) dx - \rho g \int_{x_a}^{x_f} A_o(x) ake^{-k\zeta_s} \cos k(\xi_o + x) dx - \rho g \int_{x_a}^{x_f} A^*(x) dx + W = 0 \\
 & -ake^{-k\zeta_s} \int_{x_a}^{x_f} A_o(x) \cos k(\xi_o + x) dx - \int_{x_a}^{x_f} A^*(x) dx = 0 \\
 b. \quad & \int_{x_a}^{x_f} [1 + ake^{-k\zeta_s} \cos k(\xi_o + x)] \times x [A_o(x) + A^*(x)] dx = 0 \tag{4.22} \\
 & \int_{x_a}^{x_f} x A_o(x) dx + \int_{x_a}^{x_f} x A_o(x) ake^{-k\zeta_s} \cos k(\xi_o + x) dx + \int_{x_a}^{x_f} x A^*(x) dx = 0 \\
 & -ake^{-k\zeta_s} \int_{x_a}^{x_f} x A_o(x) \cos k(\xi_o + x) dx - \int_{x_a}^{x_f} x A^*(x) dx = 0
 \end{aligned}$$

Para resolver as equações (4.19) e (4.20) faz-se uso de um método de perturbações com pequenos ângulos de inclinação $\Delta\varphi$. Quando uma embarcação se encontra inclinada de um ângulo φ e logo em seguida se inclina mais um pequeno incremento $\Delta\varphi$, a mudança de área seccional sob a água, $\Delta A^*(x)$ satisfaz as condições de equilíbrio:

$$\begin{aligned}
 a. \quad & \int_{x_a}^{x_f} \Delta A^*(x) dx = 0 \\
 b. \quad & \int_{x_a}^{x_f} x \Delta A^*(x) dx = 0
 \end{aligned} \tag{4.23}$$

Além do mais, a área seccional sob a água (menos $A_o(x)$), $A^*(x) + \Delta A^*(x)$ se expressa como:

$$\begin{aligned}
 A^*(x) + \Delta A^*(x) &= \int_{Z_p + \Delta Z_p}^0 b(z) dz + \int_{Z_s + \Delta Z_s}^0 b(z) dz \\
 &+ \frac{1}{2} [b^2(Z_p + \Delta Z_p) - b^2(Z_s + \Delta Z_s)] \tan(\varphi + \Delta\varphi) \\
 A^*(x) + \Delta A^*(x) &= \int_{Z_p}^0 b(z) dz + \int_{Z_p + \Delta Z_p}^{Z_p} b(z) dz + \int_{Z_s}^0 b(z) dz \\
 &+ \int_{Z_s + \Delta Z_s}^{Z_s} b(z) dz + \frac{1}{2} [b^2(Z_p + \Delta Z_p) - b^2(Z_s + \Delta Z_s)] \tan(\varphi + \Delta\varphi)
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

Conhecendo a seguinte relação entre $x, y, z, \zeta_o, \varphi, \theta$.

$$\zeta = \zeta_o - x\theta + y\text{sen}\varphi + z\text{cos}\varphi \quad (4.25)$$

e empregando-a para os pontos de bombordo e boreste, $[x, -b(x, z_p), z_p]$ e $[x, b(x, z_s), z_s]$ respectivamente obtém-se:

$$\begin{aligned} a. \zeta &= a \cos k(\xi_o + x) = \zeta_o - x\theta - b(x, z_p)\text{sen}\varphi + z_p\text{cos}\varphi \\ z_p &= \frac{-\zeta_o + x\theta + b(x, z_p)\text{sen}\varphi + a \cos k(\xi_o + x)}{\text{cos}\varphi} \\ b. \zeta &= a \cos k(\xi_o + x) = \zeta_o - x\theta + b(x, z_s)\text{sen}\varphi + z_s\text{cos}\varphi \\ z_s &= \frac{-\zeta_o + x\theta - b(x, z_s)\text{sen}\varphi + a \cos k(\xi_o + x)}{\text{cos}\varphi} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Utilizando o método de perturbações para pequenas mudanças de z_p e $z_s, \Delta z_p$ e Δz_s , causados também por pequenos ângulos de inclinação $\Delta\varphi$ tem-se:

$$\begin{aligned} a. (z_p + \Delta z_p)\text{cos}(\varphi + \Delta\varphi) &= -\zeta_o - \Delta\zeta_o + x(\theta + \Delta\theta) + b(x, z_p + \Delta z_p)\text{sen}(\varphi + \Delta\varphi) + a \cos k(\xi_o + x) \\ (z_p + \Delta z_p)(\text{cos}\varphi \text{cos}\Delta\varphi - \text{sen}\varphi\text{sen}\Delta\varphi) &= -\zeta_o - \Delta\zeta_o + x\theta + x\Delta\theta + \left[b(x, z_p) + \Delta z_p \frac{\partial b}{\partial z_p}(x, z_p) \right] \\ &\quad (\text{sen}\varphi \text{cos}\Delta\varphi + \text{sen}\Delta\varphi\text{sen}\varphi) + a \cos k(\xi_o + x) \end{aligned}$$

levando em consideração a equação (4.26) e descartando termos de ordem superior a um, tem-se:

$$\begin{aligned} -z_p\text{sen}\varphi\Delta\varphi + \Delta z_p\text{cos}\varphi &= -\Delta\zeta_o + x\Delta\theta + b(x, z_p)\text{cos}\varphi\Delta\varphi + \Delta z_p \frac{\partial b}{\partial z_p}(x, z_p)\text{sen}\varphi \\ \Delta z_p \left(\text{cos}\varphi - \frac{\partial b}{\partial z_p}(x, z_p)\text{sen}\varphi \right) &= z_p\text{sen}\varphi\Delta\theta - \Delta\zeta_o + x\Delta\theta + b(x, z_p)\text{cos}\varphi\Delta\varphi \\ \Delta z_p &= \frac{-\Delta\zeta_o + x\Delta\theta - \Delta\varphi [z_p\text{sen}\varphi - b(x, z_p)\text{cos}\varphi]}{\text{cos}\varphi - \frac{\partial b}{\partial z_p}(x, z_p)\text{sen}\varphi} \end{aligned}$$

(4.27a.)

de maneira análoga, pode-se deduzir que:

$$b \cdot \Delta z_s = \frac{-\Delta \zeta_o + x \Delta \theta + \Delta \varphi [z_s \operatorname{sen} \varphi - b(x, z_s) \cos \varphi]}{\cos \varphi + \frac{\partial b}{\partial z_s}(x, z_s) \operatorname{sen} \varphi} \quad (4.27b.)$$

Lembrando que $A^*(x) = \int_{z_p}^0 b(z) dz + \int_{z_s}^0 b(z) dz + \frac{1}{2} [b^2(z_p) - b^2(z_s)] \tan \varphi$ e escrevendo a equação (4.24) da seguinte forma:

$$\begin{aligned} A^*(x) + \Delta A^*(x) = & \int_{z_p}^0 b(z) dz + \int_{z_p + \Delta z_p}^{z_p} b(z) dz + \int_{z_s}^0 b(z) dz + \int_{z_s + \Delta z_s}^{z_s} b(z) dz + \frac{1}{2} (\tan \varphi + \Delta \varphi \sec^2 \varphi) \\ & \times \left[b^2(z_p) + 2b(z_p) \frac{\partial b}{\partial z_p} \Delta z_p - \left(b^2(z_s) + 2b(z_s) \frac{\partial b}{\partial z_s} \Delta z_s \right) \right] \end{aligned} \quad (4.28)$$

e onde termos de segunda ordem em diante foram descartados, tem-se:

$$\begin{aligned} \Delta A^*(x) = & \int_{z_p + \Delta z_p}^{z_p} b(z) dz + \int_{z_s + \Delta z_s}^{z_s} b(z) dz + \frac{1}{2} \left[2b(z_p) \frac{\partial b}{\partial z_p} \Delta z_p - 2b(z_s) \frac{\partial b}{\partial z_s} \Delta z_s \right] \tan \varphi \\ & + \frac{1}{2} [b^2(z_p) - b^2(z_s)] \sec^2 \varphi \Delta \varphi \end{aligned} \quad (4.29)$$

$$\begin{aligned} \Delta A^*(x) = & \int_{z_p + \Delta z_p}^{z_p} b(z) dz + \int_{z_s + \Delta z_s}^{z_s} b(z) dz + \frac{1}{2} [b^2(z_p) - b^2(z_s)] \times (1 + \tan^2 \varphi) \Delta \varphi \\ & + b(z_p) \frac{\partial b}{\partial z_p} \Delta z_p \tan \varphi - b(z_s) \frac{\partial b}{\partial z_s} \Delta z_s \tan \varphi \end{aligned}$$

as integrais são até primeira ordem em Δz_p e Δz_s iguais a:

$$\begin{aligned} \int_{z_p + \Delta z_p}^{z_p} b(z) dz &= b(z_p) [z_p - (z_p + \Delta z_p)] \\ &= -\Delta z_p b(z_p) \end{aligned}$$

$$\int_{z_s + \Delta z_s}^{z_s} b(z) dz = -\Delta z_s b(z_s)$$

Desta maneira, $\Delta A^*_{(x)}$ pode ser expressa como:

$$\begin{aligned} \Delta A^*_{(x)} = & -b(z_p) \left(1 - \frac{\partial b}{\partial z_p} \tan \varphi \right) \Delta z_p - b(z_s) \left(1 - \frac{\partial b}{\partial z_s} \tan \varphi \right) \Delta z_s \\ & + \frac{1}{2} [b^2(z_p) - b^2(z_s)] \sec^2 \varphi \Delta \varphi \end{aligned} \quad (4.30)$$

substituindo as expressões de Δz_p e Δz_s equação (4.26) na relação anterior obtém-se:

$$\begin{aligned} \Delta A^*_{(x)} = & \left(\frac{\Delta \zeta_o - x \Delta \theta}{\cos \varphi} \right) [b(z_p) + b(z_s)] - \Delta \varphi \tan \varphi [z_p b(z_p) + z_s b(z_s)] \\ & - \frac{1}{2} \Delta \varphi [b^2(z_p) - b^2(z_s)] (1 + \tan^2 \varphi) \end{aligned} \quad (4.31)$$

Empregando esta expressão nas equações (4.23) resulta o seguinte sistema de equações para $\Delta \zeta_o$ e $\Delta \theta$ em função de $\Delta \theta$:

$$\begin{aligned} a. \quad & \Delta \zeta_o \int_{x_a}^{x_f} [b(z_p) + b(z_s)] dx - \Delta \theta \int_{x_a}^{x_f} x [b^2(z_p) - b^2(z_s)] dx \\ & = \frac{\Delta \varphi}{2} \int_{x_a}^{x_f} \{ [b^2(z_p) - b^2(z_s)] (1 - \tan^2 \varphi) \cos \varphi + 2 [z_p b(z_p) + z_s b(z_s)] \sin \varphi \} dx \\ & \Delta \zeta_o \int_{x_a}^{x_f} [b(z_p) + b(z_s)] dx - \Delta \theta \int_{x_a}^{x_f} x [b(z_p) - b(z_s)] dx = \Delta \varphi \int_{x_a}^{x_f} F(x) dx \\ b. \quad & \Delta \zeta_o \int_{x_a}^{x_f} x [b(z_p) + b(z_s)] dx - \Delta \theta \int_{x_a}^{x_f} x^2 [b^2(z_p) - b^2(z_s)] dx \\ & = \frac{\Delta \varphi}{2} \int_{x_a}^{x_f} x \{ [b^2(z_p) - b^2(z_s)] (1 - \tan^2 \varphi) \cos \varphi + 2 [z_p b(z_p) + z_s b(z_s)] \sin \varphi \} dx \\ & \Delta \zeta_o \int_{x_a}^{x_f} x [b(z_p) + b(z_s)] dx - \Delta \theta \int_{x_a}^{x_f} x^2 [b(z_p) - b(z_s)] dx = \Delta \varphi \int_{x_a}^{x_f} x F(x) dx \end{aligned}$$

onde:

$$2F(x) = [b^2(z_p) - b^2(z_s)] (1 - \tan^2 \varphi) \cos \varphi + 2 [z_p b(z_p) + z_s b(z_s)] \sin \varphi \quad (4.32)$$

No início destes cálculos é necessário conhecer as condições hidrostáticas finais na condição em ondas e sem inclinação alguma. Para isso fixa-se ζ_o e θ na condição aprumada e em águas calmas. Nesta situação os lados imersos do casco, z_s e z_p , são iguais e substituindo-os na equação (4.26), obtem-se a equação:

$$z_c = -\zeta_o + x\theta + a \cos(\xi_o + x) \quad (4.33)$$

e a mudanças da área seccional, $A^*_{(x)} + \Delta A^*_{(x)}$, devido a um aumento infinitesimal da amplitude da onda é obtido desde a equação (4.24) substituindo z_p e $z_s = z_c$ para $\varphi = 0$:

$$A^*_{(x)} + \Delta A^*_{(x)} = \int_{z_c}^0 2b(z) dz + \int_{z_c + \Delta z_c}^{z_c} 2b(z) dz \quad (4.34)$$

levando em conta que da equação (4.33) obtem-se:

$$\Delta z_c = -[\Delta \zeta_o - x\Delta\theta - \Delta a \cos k(\xi_o + x)] \quad (4.35)$$

substituindo na equação (4.34) e resolvendo, resulta:

$$\Delta A^*_{(x)} = [\Delta \zeta_o - x\Delta\theta - \Delta a \cos k(\xi_o + x)] 2b(z_c) \quad (4.36)$$

Substituindo este valor nas equações (4.22) para pequenas alterações Δa . obtem-se:

$$(a + \Delta a) k e^{-k\zeta_o} \int_{x_a}^{x_f} A_o(x) \cos k(\xi_o + x) dx + \int_{x_a}^{x_f} [A^*_{(x)} + \Delta A^*_{(x)}] dx \quad (4.37)$$

lembrando que $A^*_{(x)}$ satisfaz a condição:

$$a k e^{-k\zeta_o} \int_{x_a}^{x_f} A_o(x) \cos k(\xi_o + x) dx + \int_{x_a}^{x_f} A^*_{(x)} dx = 0 \quad (4.38)$$

seguem descontando contribuições de ordem superior à primeira, resultando as seguintes igualdades:

$$\begin{aligned}
 & ake^{-k\zeta_0} \int_{x_a}^{x_f} A_{o(x)} \text{Cosk}(\xi_0 + x) dx + \int_{x_a}^{x_f} \Delta A^*(x) dx = 0 \\
 & \int_{x_a}^{x_f} 2(\Delta\zeta_0 + x\Delta\theta) b(z_0) dx - \Delta a \int_{x_a}^{x_f} 2b(z_0) \text{Cosk}(\xi_0 + x) dx \\
 & + \Delta a \int_{x_a}^{x_f} A_{o(x)} ke^{-k\zeta_0} \text{Cosk}(\xi_0 + x) dx = 0 \\
 & a. \Delta\zeta_0 \int_{x_a}^{x_f} 2b(z_0) dx - \Delta\theta \int_{x_a}^{x_f} 2xb(z_0) dx = \Delta a \int_{x_a}^{x_f} G(x) dx \\
 & b. \Delta\zeta_0 \int_{x_a}^{x_f} 2xb(z_0) dx - \Delta\theta \int_{x_a}^{x_f} 2x^2 b(z_0) dx = \Delta a \int_{x_a}^{x_f} xG(x) dx
 \end{aligned} \tag{4.39}$$

onde:

$$G(x) = [2b(z_0) - A_{o(x)} ke^{-k\zeta_0}] \text{Cosk}(\xi_0 + x)$$

4.1 TÉCNICA DA SIMULAÇÃO

Levando em conta os resultados obtidos na análise teórica foi decidido elaborar uma simulação a fim de entender as características do comportamento da embarcação navegando em ondas contínuas de igual comprimento do navio e à meia nau da embarcação. O aplicativo computacional desenvolvido "ONDAS", que simula a modelagem apresentada neste capítulo, foi escrito em linguagem PASCAL e é executado no sistema operacional MS-DOS para microcomputadores compatíveis com o IBM-PC. O fluxograma da figura 4.4 mostra a seqüência lógica para a simulação do programa "ONDAS".

A técnica usada no desenvolvimento do programa é mostrada a seguir:

a. No início destes cálculos é necessário afixar os valores iniciais de ζ_0 e θ na condição apumada sem inclinação alguma ($\varphi=0$).

b. Resolvendo a equação (4.39) para um passo básico de $a=0$, e adicionando pequenos incrementos Δa até uma amplitude a desejada, é possível obter os valores de ζ_0 e θ finais para uma embarcação em ondas de amplitude a , sem inclinação.

c. A partir da seção anterior e resolvendo a equação (4.32) inicia-se a inclinar a embarcação, desde a condição apumada até uma próxima condição, já inclinada

adicionando $\Delta\varphi$, e a partir desta obtem-se outra condição inclinada $2\Delta\varphi$, repetindo esta operação até um ângulo φ desejado.

d. Resolvendo a equação anterior é possível obter os valores dos pontos de imersão do casco z_p e z_s , mudando para o eixo longitudinal x e o ângulo de inclinação φ .

e. As quantidades finais de z_p e z_s são substituídas na equação (4.15) obtendo por fim os valores dos braços de endireitamento em ondas.

f. As equações finais (4.39) e (4.32) deverão ser verificadas pela equação de equilíbrio inicial, equação (4.16).

g. Os valores de z_p e z_s obtidos a partir da equação (4.32) deverão também ser verificados pela equação (4.26).

4.2 DADOS DE ENTRADA

4.2.1 GEOMETRIA DO CASCO

A geometria do casco da embarcação poderia ser definida pelas meias bocas e as alturas utilizando uma listagem de dados, mas uma forma de aprimorar os cálculos relacionados acima é mais prático usar uma função de $b(z,x)$ antes de usar uma tabela de pontos. Definindo os pontos limites e utilizando rotinas de interpolação [43], é possível descrever a geometria completa do casco. Define-se então a função $b(z,x)$ da seguinte forma e como se mostra na figura 4.5.

$$b(z,x) = \begin{cases} \frac{b(z_{cbt}, x) [z(x) - z_{fnd}(x)]}{z_{cbt}(x) - z_{fnd}(x)} & \text{se } x_a < x \leq x_{ib} \text{ ou } x_{fb} \leq x < x_f \\ \frac{b(z_{bojo}, x) [z(x) - z_{fnd}(x)]}{z_{bojo}(x) - z_{fnd}(x)} & \text{se } x_{ib} \leq x \leq x_{fb} \text{ e } z(x) \leq z_{bojo}(x) \\ \frac{[b(z_{cbt}, x) - b(z_{bojo}, x)] [z(x) - z_{bojo}(x)]}{z_{cbt}(x) - z_{bojo}(x)} + b(z_{bojo}, x) & \text{se } x_{ib} \leq x \leq x_{fb} \text{ e } z(x) \geq z_{bojo}(x) \end{cases}$$

Figura 4.4 - Fluxograma Principal do Programa "ONDAS"

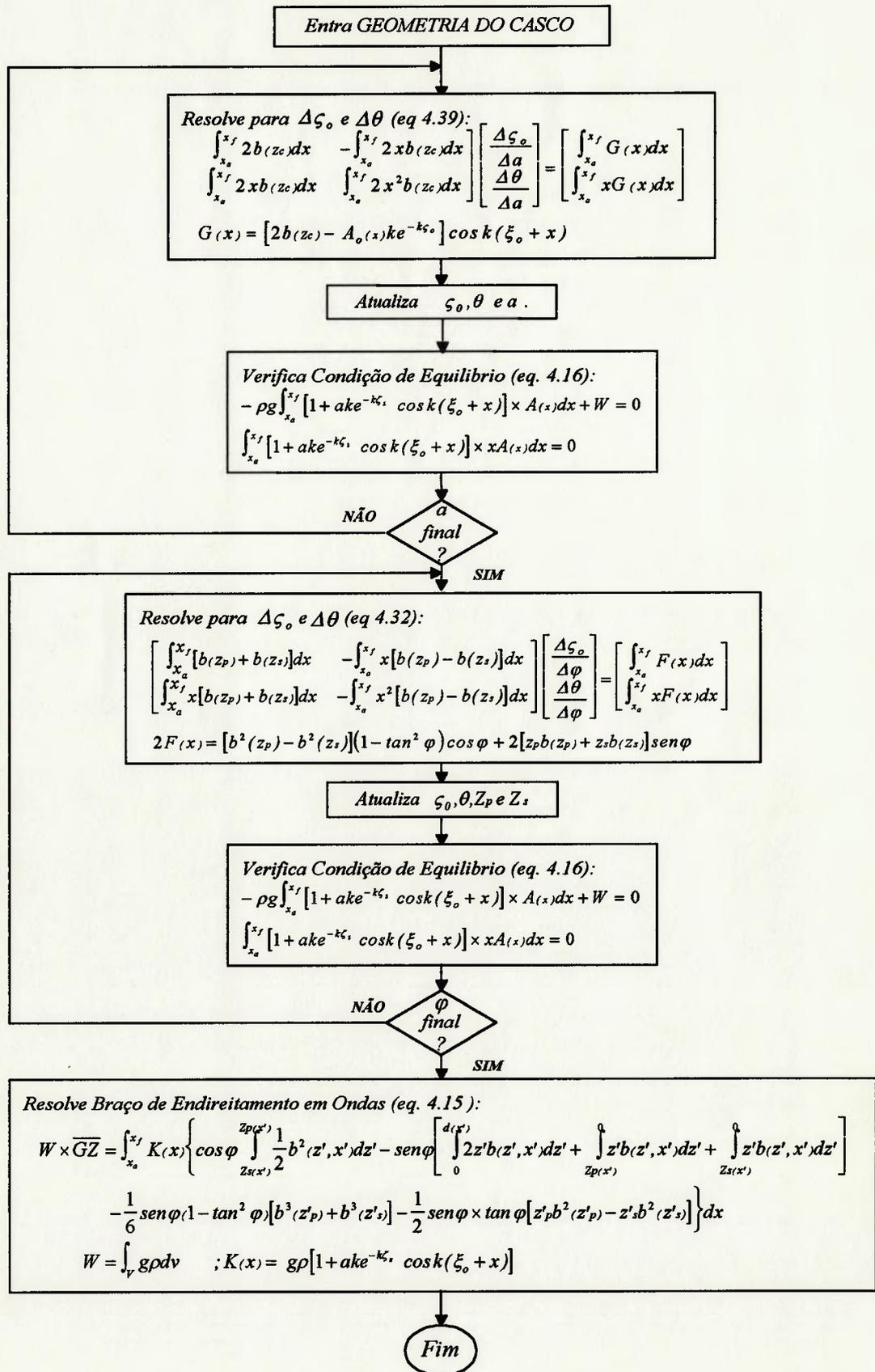
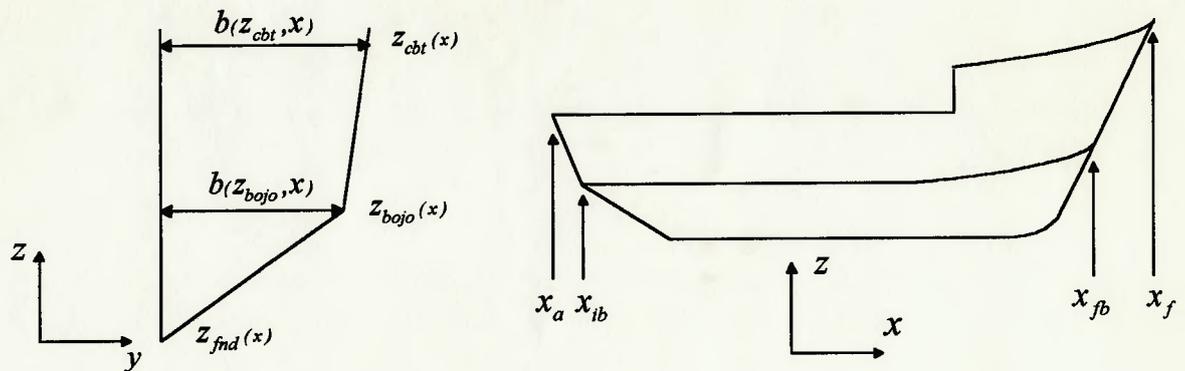


Figura 4.5 Definição da função $b(z,x)$



4.2.2 CONDIÇÕES HIDROSTÁTICAS INICIAIS

É necessário também conhecer as condições hidrostáticas iniciais da embarcação em águas calmas, dados base para iniciar as perturbações devido às ondas e a sua própria inclinação. Estes dados, além da geometria, são: o calado (d) na condição de carregamento a analisar, as coordenadas de seu centro de gravidade (VCG, LCG), a posição do centro de flutuação (LCF) e o trim inicial na condição de águas calmas.

CAPÍTULO 5

5. APLICAÇÃO DOS PROGRAMAS

No capítulo 3 foi desenvolvido o programa "ESTAVEL" que permite o cálculo e a verificação da estabilidade intacta, da estabilidade em ondas de popa, os efeitos das superfícies livres e do balanço e ventos severos. No capítulo 4, por sua vez, foi conduzida uma análise teórica baseada na hipótese de FROUDE-KRILOV e que permite o cálculo da estabilidade em ondas, resultando no programa "ONDAS". Neste capítulo, os programas desenvolvidos serão aplicados, utilizando dados de uma embarcação pesqueira, cujo plano de balizas é mostrado na figura 5.1 e o arranjo geral na figura 5.2. Os resultados obtidos serão discutidos e um estado comparativo será conduzido.

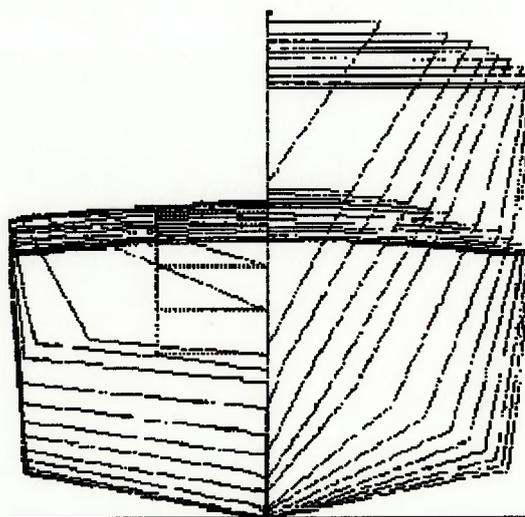


Figura 5.1 - Plano de Balizas da Embarcação Simulada

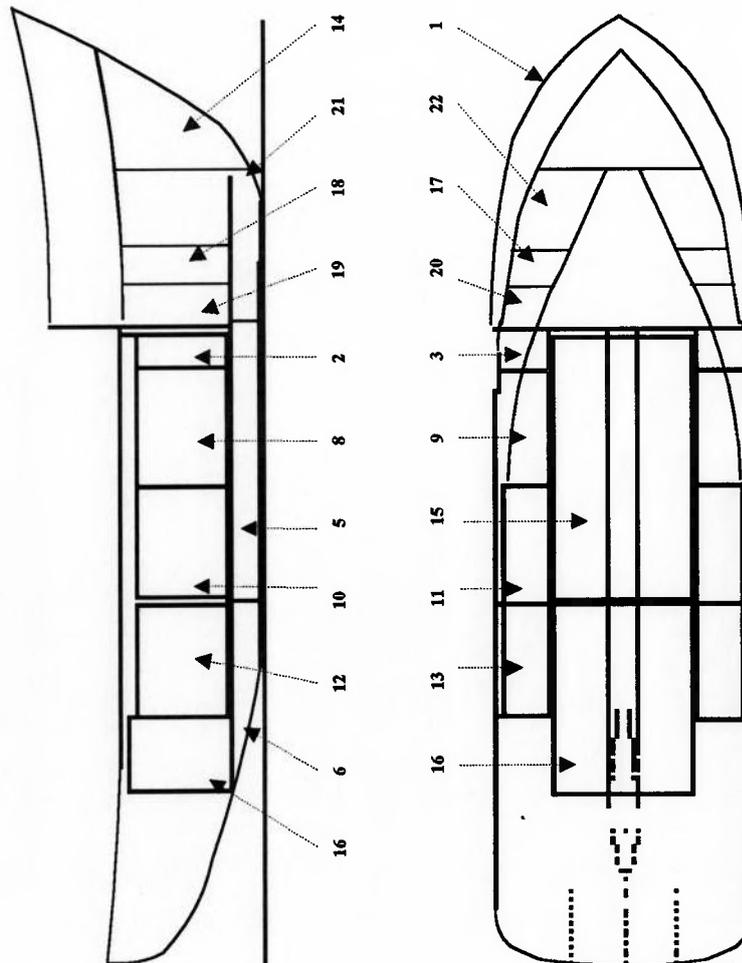
Figura 5.2 - Arranjo Geral da Embarcação Simulada

INFORMAÇÕES GERAIS

Ltotal	28.868 m.
Lpp	22.921 m.
Boca	7.888 m.
Pontal	4.534 m.

COMPONENTES

1. Casco.
2. TQ. Água Potável Bbdo.
3. TQ. Água Potável Brte.
4. Duplo Fundo 1 Bbdo.
5. Duplo Fundo 1 Brte.
6. Duplo Fundo 2 Bbdo.
7. Duplo Fundo 2 Brte.
8. TQ. Lateral 1 Bbdo.
9. TQ. Lateral 1 Brte.
10. TQ. Lateral 2 Bbdo.
11. TQ. Lateral 2 Brte.
12. TQ. Lateral 3 Bbdo.
13. TQ. Lateral 3 Brte.
14. TQ. Colisão à Vante.
15. Porão à Vante.
16. Porão a Ré.
17. TQ. Óleo Lubrificante.
18. TQ. Óleo Hidráulico.
19. TQ. Comb. Diário Bbdo.
20. TQ. Comb. Diário Brte.
21. Duplo Fundo P/Máq. Bbdo.
22. Duplo Fundo P/Máq. Brte.



5.1 DADOS DE ENTRADA PROGRAMA "ESTAVEL"

Conforme mencionado na seção 3.1 apresenta-se nas tabelas abaixo os dados de entrada referentes à embarcação pesqueira das figuras 5.1 e 5.2. As tabelas são similares aos quadros de diálogo apresentados na entrada dos dados no decorrer do programa.

5.1.1 DADOS DO CASCO: INFORMAÇÕES GERAIS

DADOS DO CASCO: INFORMAÇÕES GERAIS	
NAVIO	:Pesqueiro
PROJETO No.	:001
ESTALEIRO CONSTRUTOR	:DEN-EPUSP
Ltotal	28.868 m
Lpp	22.921 m
Boca (B)	7.888 m
Pontal (D)	4.534 m
Deslocamento do Navio Leve	308.310 tons
VCG do Navio Leve	2.700 m
LCG do Navio Leve	-2.750 m
Superfície Lateral (As)	53.270 m ²
C.G. da Superfície Lateral	1.530 m
Velocidade de Serviço	8.000 nos
Raio de Onda (Hw/Lw)	0.187

5.1.2 DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO

DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO										
DESCRIÇÃO	TIPO	PESO (tm)	VCG (m)				LCG (m)			
			100%	50%	20%	10%	100%	50%	20%	10%
1 Navio Leve	1	308.31	2.700					-2.750		
2 TQ. Água Potável Bbdo.	3	3.868	2.697	1.969		1.274	4.312	4.306		4.294
3 TQ. Água Potável Brte.	3	3.868	2.697	1.969		1.274	4.312	4.306		4.294
4 Duplo Fundo 1 Bbdo.	4	12.320	0.722	0.533		0.293	0.350	0.173		-0.135
5 Duplo Fundo 1 Brte.	4	12.320	0.722	0.533		0.293	0.350	0.173		-0.135
6 Duplo Fundo 2 Bbdo.	4	6.073	0.777	0.603		0.350	-5.249	-4.877		-4.435
7 Duplo Fundo 2 Brte.	4	6.073	0.777	0.603		0.350	-5.249	-4.877		-4.435
8 TQ. Lateral 1 Bbdo.	4	15.153	2.609	1.890		1.245	2.465	2.401		2.334
9 TQ. Lateral 1 Brte.	4	15.153	2.609	1.890		1.245	2.465	2.401		2.334
10 TQ. Lateral 2 Bbdo.	4	12.804	2.533	1.820		1.222	-1.555	-1.558		-1.573
11 TQ. Lateral 2 Brte.	4	12.804	2.533	1.820		1.222	-1.555	-1.558		-1.573
12 TQ. Lateral 3 Bbdo.	4	13.352	2.572	1.838		1.225	-5.075	-5.060		-5.072
13 TQ. Lateral 3 Brte.	4	13.352	2.572	1.838		1.225	-5.075	-5.060		-5.072
14 TQ. Colisão à Vante.	5	18.308	3.490					10.680		
15 Porão à Vante.	6	87.037	2.508		1.442		0.813		0.807	
16 Porão a Ré.	6	64.194	2.569		1.454		-6.258		-6.206	
17 TQ. Óleo Lubrificante.	7	3.783	2.926				6.675			
18 TQ. Óleo Hidráulico.	7	3.783	2.926				6.675			
19 TQ. Comb. Diário Bbdo.	7	3.328	2.798				5.510			
20 TQ. Comb. Diário Brte.	7	3.328	2.798				5.510			
21 Duplo Fdo. P/Máq. Bbdo.	7	3.026	0.741				6.641			
22 Duplo Fdo. P/Máq. Brte.	7	3.026	0.741				6.641			

5.1.3 DADOS PARA O CÁLCULO DO EFEITO DE SUPERFÍCIES LIVRES

DADOS PARA O CÁLCULO DO EFEITO DE SUPERFÍCIES LIVRES						
DESCRICAÇÃO	CAPACIDADE (m ³)	DENSIDADE (tm/m ³)	Lmax. (m)	bmax. (m)	hmax (m)	
1	TQ. Água Potável Bbdo.	3.868	1.000	1.173	1.493	3.048
2	TQ. Água Potável Brte.	3.868	1.000	1.173	1.493	3.048
3	Duplo Fdo. 1 Bbdo.	14.161	0.870	8.214	3.109	1.003
4	Duplo Fdo. 1 Brte.	14.161	0.870	8.214	3.109	1.003
5	Duplo Fdo. 2 Bbdo.	6.875	0.870	5.867	3.109	1.003
6	Duplo Fdo. 2 Brte.	6.875	0.870	5.867	3.109	1.003
7	TQ. Lateral 1 Bbdo.	17.417	0.870	4.694	1.600	3.048
8	TQ. Lateral 1 Brte.	17.417	0.870	4.694	1.600	3.048
9	TQ. Lateral 2 Bbdo.	14.717	0.870	3.520	0.783	2.944
10	TQ. Lateral 2 Brte.	14.717	0.870	3.520	0.783	2.944
11	TQ. Lateral 3 Bbdo.	15.347	0.870	3.520	1.603	3.084
12	TQ. Lateral 3 Brte.	15.347	0.870	3.520	1.603	3.804
13	TQ. Colisão à Vante.	17.862	1.025	3.517	5.084	4.544
14	Porão à Vante.	84.914	1.025	7.964	4.054	2.795
15	Porão a Ré.	62.628	1.025	5.617	4.054	2.950
16	TQ. Óleo Lubrificante.	4.094	0.924	1.173	1.932	3.243
17	TQ. Óleo Hidráulico.	4.094	0.924	1.173	1.932	3.243
18	TQ. Comb. Diário Bbdo.	3.825	0.870	1.173	1.716	3.142
19	TQ. Comb. Diário Brte.	3.825	0.870	1.173	1.716	3.142
20	Duplo Fdo P/Máq. Bbdo.	3.478	0.870	4.694	2.603	1.067
21	Duplo Fdo. P/Máq. Brte.	3.478	0.870	4.694	2.603	1.067

5.1.4 DADOS DAS CURVAS CRUZADAS

CURVAS CRUZADAS					
ÂNGULO	CONDIÇÃO 1	CONDIÇÃO 2	CONDIÇÃO 3	CONDIÇÃO 4	CONDIÇÃO 5
5	0.339	0.347	0.342	0.337	0.340
10	0.678	0.688	0.683	0.675	0.681
20	1.343	1.279	1.323	1.359	1.334
25	1.634	1.532	1.595	1.696	1.615
30	1.892	1.763	1.840	1.999	1.866
40	2.328	2.165	2.259	2.485	2.294
50	2.657	2.488	2.587	2.805	2.623
55	2.776	2.619	2.712	2.913	2.744
60	2.867	2.728	2.810	2.992	2.839
DESLOCAMENTO	455.724	543.385	492.529	371.544	474.032

5.1.5 DADOS DAS PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS

PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS								
CONDIÇÃO	d(m)	LCB(m)	LCF(m)	MTC (tm*m/cm)	KM(m)	Cb	Cwl	Cx
1	3.620	-1.813	-2.254	3.204	3.878	0.600	0.856	0.864
2	4.100	-1.874	-2.149	3.393	3.974	0.615	0.862	0.869
3	3.824	-1.844	-2.208	3.282	3.911	0.607	0.858	0.866
4	3.143	-1.703	-2.383	3.039	3.859	0.580	0.851	0.857
5	3.722	-1.830	-2.231	3.243	3.893	0.604	0.857	0.865

	CONDIÇÃO 1	CONDIÇÃO 2	CONDIÇÃO 3	CONDIÇÃO 4	CONDIÇÃO 5
DESLOCAMENTO	455.724	543.385	492.529	371.544	474.032

5.2 RESULTADOS DO PROGRAMA "ESTAVEL"

Em seguida mostra-se os resultados obtidos do programa "ESTAVEL" para a embarcação simulada, utilizando-se as condições de carregamento estudadas segundo a seção 3.2

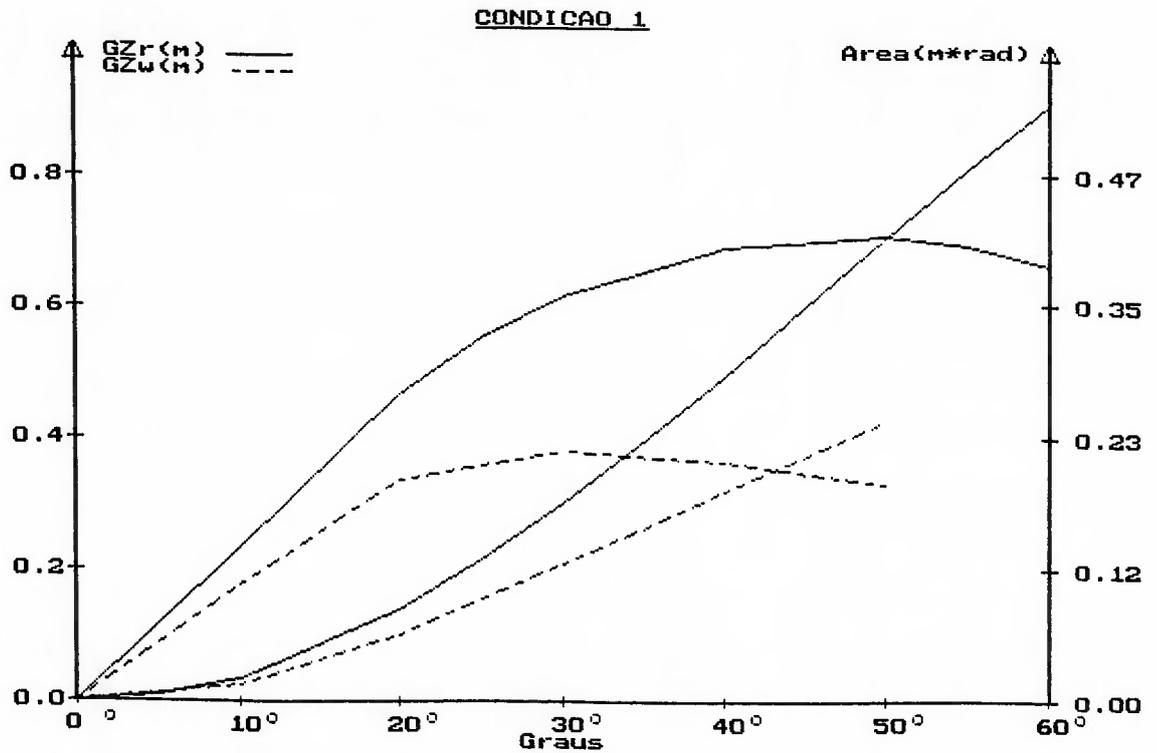
5.2.1 CONDIÇÃO I - PARTIDA DO PORTO

CONDIÇÃO I - PARTIDA DO PORTO

100% LÍQUIDOS - 100% PROVISÕES

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO (tm)	VCG (m)	LCG (m)
1	Navio Leve.	308.310	2.700	-2.750
2	TQ. Água Potável Bbdo.	3.868	2.697	4.312
3	TQ. Água Potável Brte.	3.868	2.697	4.312
4	Duplo Fundo 1 Bbdo.	12.320	0.722	0.350
5	Duplo Fundo 1 Brte.	12.320	0.722	0.350
6	Duplo Fundo 2 Bbdo.	6.073	0.777	-5.249
7	Duplo Fundo 2 Brte.	6.073	0.777	-5.249
8	TQ. Lateral 1 Bbdo.	15.153	2.609	2.465
9	TQ. Lateral 1 Brte.	15.153	2.609	2.465
10	TQ. Lateral 2 Bbdo.	12.804	2.533	-1.555
11	TQ. Lateral 2 Brte.	12.804	2.533	-1.555
12	TQ. Lateral 3 Bbdo.	13.352	2.572	-5.075
13	TQ. Lateral 3 Brte.	13.352	2.572	-5.075
14	TQ. Colisão à Vante.			
15	Porão à Vante.			
16	Porão a Ré.			
17	TQ. Óleo Lubrificante.	3.783	2.926	6.675
18	TQ. Óleo Hidráulico.	3.783	2.926	6.675
19	TQ. Combustível Diário Bbdo.	3.328	2.798	5.510
20	TQ. Combustível Diário Brte.	3.328	2.798	5.510
21	Duplo Fundo Praça Máq. Bbdo.	3.026	0.741	6.641
22	Duplo Fundo Praça Máq. Brte.	3.026	0.741	6.641
DESLOCAMENTO		455.724	2.498	-1.850

DESLOCAMENTO	455.724	tm	KM	3.878	m
VCG	2.498	m	MTC	3.204	tm*m/cm
LCG	-1.850	m	LCB	-1.813	m
CALADO	3.620	m	LCF	-2.254	m
CALADO NA PPAV	3.589	m	ALT.MET.S/COR.GM	1.380	m
CALADO NA PPAR	3.641	m	COR.SUP.LIV.GG1	0.028	m
TRIM	0.052	m	ALT.METAC.COR.GMc	1.352	m



CRITERIOS DE ESTABILIDADE INTACTA (IMO)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.177 m*rad	0.055 m*rad	221.52
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.114 m*rad	0.030 m*rad	279.72
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.291 m*rad	0.090 m*rad	223.06
4. Braço GZr em 30 Graus	0.615 m	0.200 m	207.44
5. Ângulo de GZr máximo	50 Graus	25 Graus	100.00
6. Altura Metacêntrica Inicial	1.352 m	0.350 m	286.25
7. Alcance da Estabilidade	> 60 Graus	60 Graus	OK

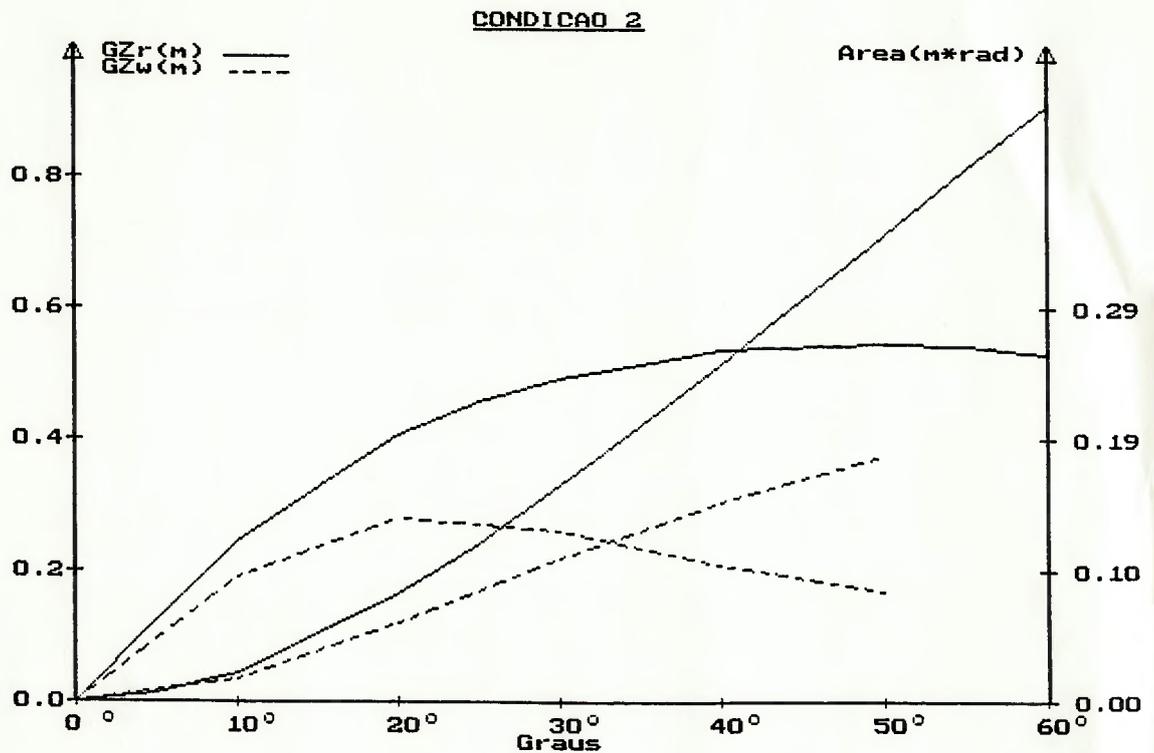
CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS (CRISTA A MEIA NAU)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.123 m*rad	0.055 m*rad	123.26
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.065 m*rad	0.030 m*rad	117.47
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.188 m*rad	0.090 m*rad	108.93
4. Braço GZw em 30 Graus	0.382 m	0.200 m	91.02
5. Ângulo de GZw máximo	30 Graus	25 Graus	20.00

5.2.2 CONDIÇÃO II - RETORNO DO BANCO DE PESCA

CONDIÇÃO II - RETORNO DO BANCO DE PESCA*100% PORÕES - 50% LÍQUIDOS E PROVISÕES*

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO (tm)	VCG (m)	LCG (m)
1	Navio Leve.	308.310	2.700	-2.750
2	TQ. Água Potável Bbdo.	1.934	1.969	4.306
3	TQ. Água Potável Brte.	1.934	1.969	4.306
4	Duplo Fundo 1 Bbdo.	6.160	0.533	0.173
5	Duplo Fundo 1 Brte.	6.160	0.533	0.173
6	Duplo Fundo 2 Bbdo.	3.036	0.603	-4.877
7	Duplo Fundo 2 Brte.	3.036	0.603	-4.877
8	TQ. Lateral 1 Bbdo.	7.576	2.609	2.401
9	TQ. Lateral 1 Brte.	7.576	2.609	2.401
10	TQ. Lateral 2 Bbdo.	6.402	1.820	-1.558
11	TQ. Lateral 2 Brte.	6.402	1.820	-1.558
12	TQ. Lateral 3 Bbdo.	6.676	1.838	-5.060
13	TQ. Lateral 3 Brte.	6.676	1.838	-5.060
14	TQ. Colisão à Vante.			
15	Porão à Vante.	87.037	2.508	0.813
16	Porão a Ré.	64.194	2.569	-6.258
17	TQ. Óleo Lubrificante.	3.783	2.926	6.675
18	TQ. Óleo Hidráulico.	3.783	2.926	6.675
19	TQ. Combustível Diário Bbdo.	3.328	2.798	5.510
20	TQ. Combustível Diário Brte.	3.328	2.798	5.510
21	Duplo Fundo Praça Máq. Bbdo.	3.026	0.741	6.641
22	Duplo Fundo Praça Máq. Brte.	3.026	0.741	6.641
DESLOCAMENTO		543.385	2.494	-2.049

DESLOCAMENTO	543.385	tm	KM	3.974	m
VCG	2.494	m	MTC	3.393	tm*m/cm
LCG	-2.049	m	LCB	-1.874	m
CALADO	4.100	m	LCF	-2.149	m
CALADO NA PPAV	3.936	m	ALT.MET.S/COR.GM	1.480	m
CALADO NA PPAR	4.217	m	COR.SUP.LIV.GG1	0.024	m
TRIM	0.280	m	ALT.METAC.COR.GMc	1.456	m



CRITERIOS DE ESTABILIDADE INTACTA (IMO)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.158 m*rad	0.055 m*rad	186.89
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.090 m*rad	0.030 m*rad	198.91
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.247 m*rad	0.090 m*rad	174.96
4. Braço GZr em 30 Graus	0.492 m	0.200 m	146.20
5. Ângulo de GZr máximo	50 Graus	25 Graus	100.00
6. Altura Metacêntrica Inicial	1.456 m	0.350 m	316.11
7. Alcance da Estabilidade	> 60 Graus	60 Graus	OK

CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS (CRISTA A MEIA NAU)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.105 m*rad	0.055 m*rad	90.97
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.041 m*rad	0.030 m*rad	36.64
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.146 m*rad	0.090 m*rad	62.25
4. Braço GZw em 30 Graus	0.260 m	0.200 m	29.95
5. Ângulo de GZw máximo	20 Graus	25 Graus	0.00

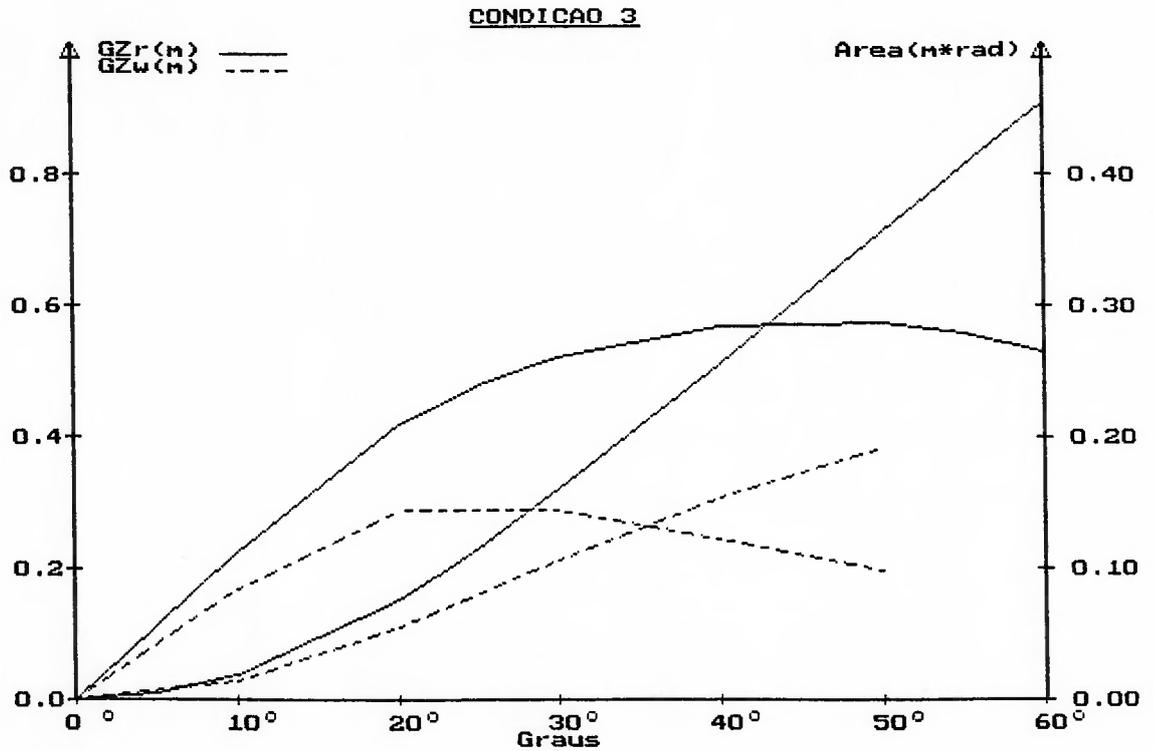
5.2.3 CONDIÇÃO III - CHEGADA AO PORTO "A"

CONDIÇÃO III - CHEGADA AO PORTO "A"

100% PORÕES - 10% LÍQUIDOS E PROVISÕES

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO (tm)	VCG (m)	LCG (m)
1	Navio Leve.	308.310	2.700	-2.750
2	TQ. Água Potável Bbdo.	0.387	1.274	4.294
3	TQ. Água Potável Brte.	0.387	1.274	4.294
4	Duplo Fundo 1 Bbdo.	1.232	0.293	-0.135
5	Duplo Fundo 1 Brte.	1.232	0.293	-0.135
6	Duplo Fundo 2 Bbdo.	0.607	0.350	-4.435
7	Duplo Fundo 2 Brte.	0.607	0.350	-2.307
8	TQ. Lateral 1 Bbdo.	1.515	1.245	2.334
9	TQ. Lateral 1 Brte.	1.515	1.245	2.334
10	TQ. Lateral 2 Bbdo.	1.280	1.222	-1.573
11	TQ. Lateral 2 Brte.	1.280	1.222	-1.573
12	TQ. Lateral 3 Bbdo.	1.335	1.225	-5.072
13	TQ. Lateral 3 Brte.	1.335	1.225	-5.072
14	TQ. Colisão à Vante.			
15	Porão à Vante.	87.037	2.508	0.813
16	Porão a Ré.	64.194	2.569	-6.675
17	TQ. Óleo Lubrificante.	3.783	2.926	6.675
18	TQ. Óleo Hidráulico.	3.783	2.926	6.675
19	TQ. Combustível Diário Bbdo.	3.328	2.798	5.510
20	TQ. Combustível Diário Brte.	3.328	2.798	5.510
21	Duplo Fundo Praça Máq. Bbdo.	3.026	0.741	6.641
22	Duplo Fundo Praça Máq. Brte.	3.026	0.741	6.641
DESLOCAMENTO		492.529	2.585	-2.161

DESLOCAMENTO	492.529	tm	KM	3.911	m
VCG	2.585	m	MTC	3.282	tm*m/cm
LCG	-2.161	m	LCB	-1.844	m
CALADO	3.824	m	LCF	-2.208	m
CALADO NA PPAV	3.545	m	ALT.MET.S/COR.GM	1.326	m
CALADO NA PPAR	4.021	m	COR.SUP.LIV.GG1	0.026	m
TRIM	0.476	m	ALT.METAC.COR.GMc	1.300	m



CRITERIOS DE ESTABILIDADE INTACTA (IMO)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.158 m*rad	0.055 m*rad	188.05
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.095 m*rad	0.030 m*rad	216.89
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.253 m*rad	0.090 m*rad	181.66
4. Braço GZr em 30 Graus	0.521 m	0.200 m	160.74
5. Ângulo de GZr máximo	50 Graus	25 Graus	100.00
6. Altura Metacêntrica Inicial	1.300 m	0.350 m	271.42
7. Alcance da Estabilidade	> 60 Graus	60 Graus	OK

CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS (CRISTA A MEIA NAU)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.105 m*rad	0.055 m*rad	91.46
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.047 m*rad	0.030 m*rad	55.09
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.152 m*rad	0.090 m*rad	68.70
4. Braço GZw em 30 Graus	0.289 m	0.200 m	44.74
5. Ângulo de GZw máximo	20 Graus	25 Graus	0.00

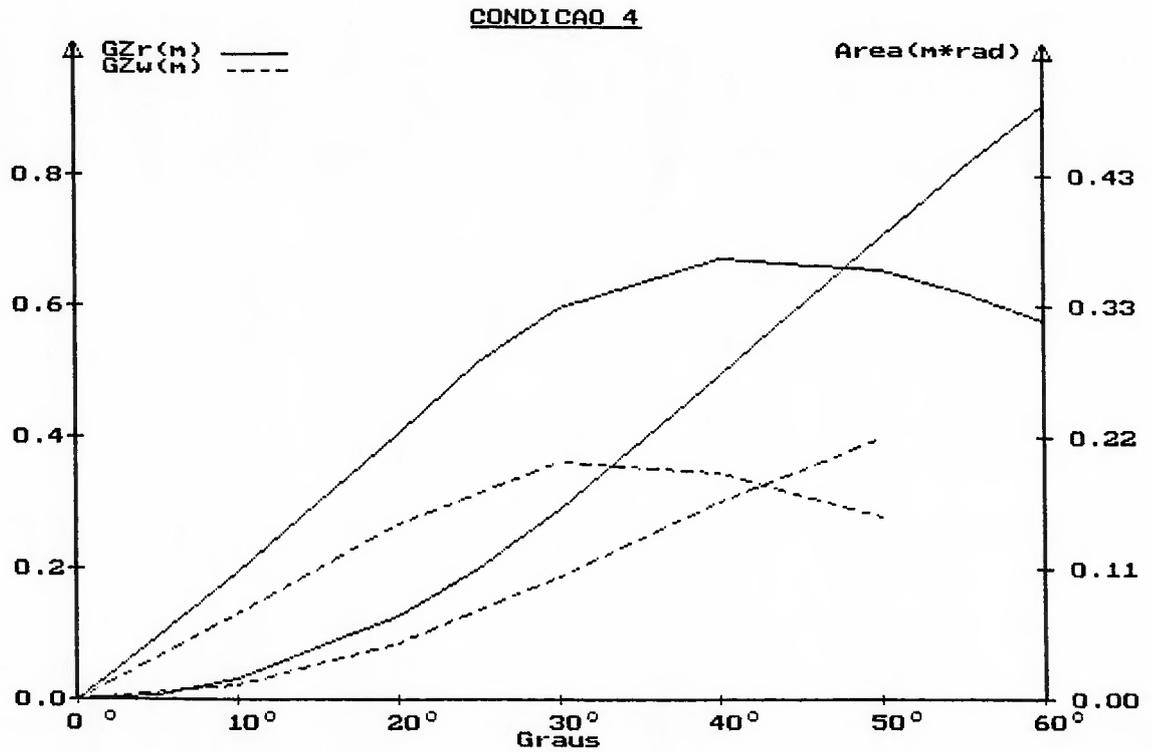
5.2.4 CONDIÇÃO IV - CHEGADA AO PORTO "B"

CONDIÇÃO IV - CHEGADA AO PORTO "B"

20% PORÕES - 10% LÍQUIDOS E PROVISÕES

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO (tm)	VCG (m)	LCG (m)
1	Navio Leve.	308.310	2.700	-2.750
2	TQ. Água Potável Bbdo.	0.387	1.274	4.294
3	TQ. Água Potável Brte.	0.387	1.274	4.294
4	Duplo Fundo 1 Bbdo.	1.232	0.293	-0.135
5	Duplo Fundo 1 Brte.	1.232	0.293	-0.135
6	Duplo Fundo 2 Bbdo.	0.607	0.350	-4.435
7	Duplo Fundo 2 Brte.	0.607	0.350	-4.435
8	TQ. Lateral 1 Bbdo.	1.515	1.245	2.334
9	TQ. Lateral 1 Brte.	1.515	1.245	2.334
10	TQ. Lateral 2 Bbdo.	1.280	1.222	-1.573
11	TQ. Lateral 2 Brte.	1.280	1.222	-1.573
12	TQ. Lateral 3 Bbdo.	1.335	1.225	-5.072
13	TQ. Lateral 3 Brte.	1.335	1.225	-5.072
14	TQ. Colisão à Vante.			
15	Porão à Vante.	17.407	1.442	0.807
16	Porão a Ré.	12.839	1.454	-6.206
17	TQ. Óleo Lubrificante.	3.783	2.926	6.675
18	TQ. Óleo Hidráulico.	3.783	2.926	6.675
19	TQ. Combustível Diário Bbdo.	3.328	2.798	5.510
20	TQ. Combustível Diário Brte.	3.328	2.798	5.510
21	Duplo Fundo Praça Máq. Bbdo.	2.026	0.741	6.641
22	Duplo Fundo Praça Máq. Brte.	2.026	0.741	6.641
DESLOCAMENTO		371.544	2.513	-2.151

DESLOCAMENTO	371.544 tm	KM	3.859	m
VCG	2.513 m	MTC	3.039 tm*m/cm	
LCG	-2.151 m	LCB	-1.703	m
CALADO	3.143 m	LCF	-2.383	m
CALADO NA PPAV	2.818 m	ALT.MET.S/COR.GM	1.346	m
CALADO NA PPAR	3.366 m	COR.SUP.LIV.GG1	0.145	m
TRIM	0.547 m	ALT.METAC.COR.GMc	1.201	m



CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE INTACTA (IMO)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.157 m*rad	0.055 m*rad	185.84
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.111 m*rad	0.030 m*rad	269.90
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.268 m*rad	0.090 m*rad	197.98
4. Braço GZr em 30 Graus	0.598 m	0.200 m	198.89
5. Ângulo de GZr máximo	40 Graus	25 Graus	60.00
6. Altura Metacêntrica Inicial	1.201 m	0.350 m	243.20
7. Alcance da Estabilidade	> 60 Graus	60 Graus	OK

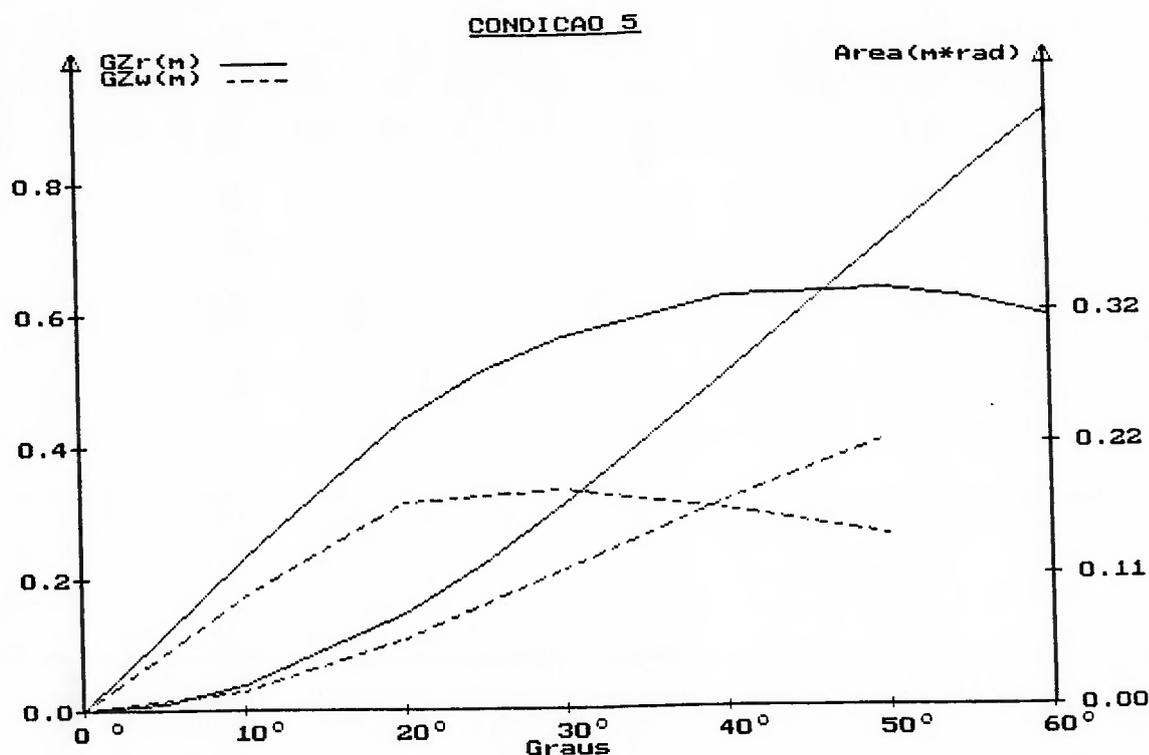
CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS (CRISTA A MEIA NAU)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.101 m*rad	0.055 m*rad	83.57
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.062 m*rad	0.030 m*rad	105.82
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.163 m*rad	0.090 m*rad	80.79
4. Braço GZw em 30 Graus	0.362 m	0.200 m	80.81
5. Ângulo de GZw máximo	30 Graus	25 Graus	20.00

5.2.5 CONDIÇÃO V - PARTIDA DO PORTO COM LASTRO

CONDIÇÃO V - PARTIDA DO PORTO COM LASTRO*100% LÍQUIDOS - 100% PORÕES - 100% LASTRO*

ITEM	DESCRIÇÃO	PESO (tm)	VCG (m)	LCG (m)
1	Navio Leve.	308.310	2.700	-2.750
2	TQ. Água Potável Bbdo.	3.868	2.697	4.312
3	TQ. Água Potável Brte.	3.868	2.697	4.312
4	Duplo Fundo 1 Bbdo.	12.320	0.722	0.350
5	Duplo Fundo 1 Brte.	12.320	0.722	0.350
6	Duplo Fundo 2 Bbdo.	6.073	0.770	-5.249
7	Duplo Fundo 2 Brte.	6.073	0.770	-5.249
8	TQ. Lateral 1 Bbdo.	15.153	2.609	2.465
9	TQ. Lateral 1 Brte.	15.153	2.609	2.465
10	TQ. Lateral 2 Bbdo.	12.804	2.533	-1.555
11	TQ. Lateral 2 Brte.	12.804	2.533	-1.555
12	TQ. Lateral 3 Bbdo.	13.352	2.572	-5.075
13	TQ. Lateral 3 Brte.	13.352	2.572	-5.075
14	TQ. Colisão à Vante.	18.308	3.490	10.680
15	Porão à Vante.			
16	Porão a Ré.			
17	TQ. Óleo Lubrificante.	3.783	2.926	6.675
18	TQ. Óleo Hidráulico.	3.783	2.926	6.675
19	TQ. Combustível Diário Bbdo.	3.328	2.798	5.510
20	TQ. Combustível Diário Brte.	3.328	2.798	5.510
21	Duplo Fundo Praça Máq. Bbdo.	3.026	0.741	6.641
22	Duplo Fundo Praça Máq. Brte.	3.026	0.741	6.641
DESLOCAMENTO		474.032	2.536	-1.366

DESLOCAMENTO	474.032	tm	KM	3.893	m
VCG	2.536	m	MTC	3.243	tm*m/cm
LCG	-1.366	m	LCB	-1.830	m
CALADO	3.722	m	LCF	-2.231	m
CALADO NA PPAV	4.121	m	ALT.MET.S/COR.GM	1.357	m
CALADO NA PPAR	3.442	m	COR.SUP.LIV.GG1	0.032	m
TRIM	-0.679	m	ALT.METAC.COR.GMc	1.325	m



CRITERIOS DE ESTABILIDADE INTACTA (IMO)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.167 m*rad	0.055 m*rad	204.17
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.104 m*rad	0.030 m*rad	246.58
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.271 m*rad	0.090 m*rad	201.40
4. Braço GZr em 30 Graus	0.566 m	0.200 m	182.90
5. Ângulo de GZr máximo	50 Graus	25 Graus	100.00
6. Altura Metacêntrica Inicial	1.325 m	0.350 m	278.47
7. Alcance da Estabilidade	> 60 Graus	60 Graus	OK

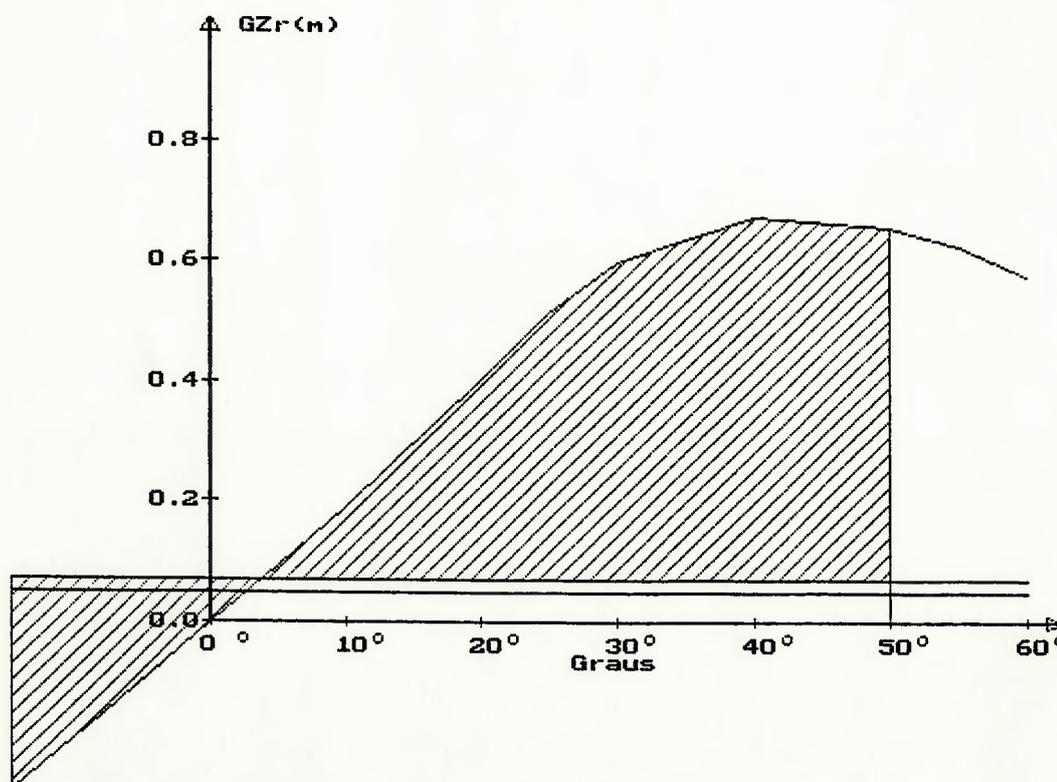
CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS (CRISTA A MEIA NAU)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	0.114 m*rad	0.055 m*rad	107.18
2. Área entre 30 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.055 m*rad	0.030 m*rad	84.93
3. Área entre 0 e Âng. Alag.(ou 40°)	0.169 m*rad	0.090 m*rad	88.25
4. Braço GZw em 30 Graus	0.334 m	0.200 m	67.00
5. Ângulo de GZw máximo	30 Graus	25 Graus	20.00

5.2.6 EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS

EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS

Condição a verificar : IV - CHEGADA AO PORTO "B"

EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS
 Condição a verificar: IV - CHEGADA AO PORTO "B"



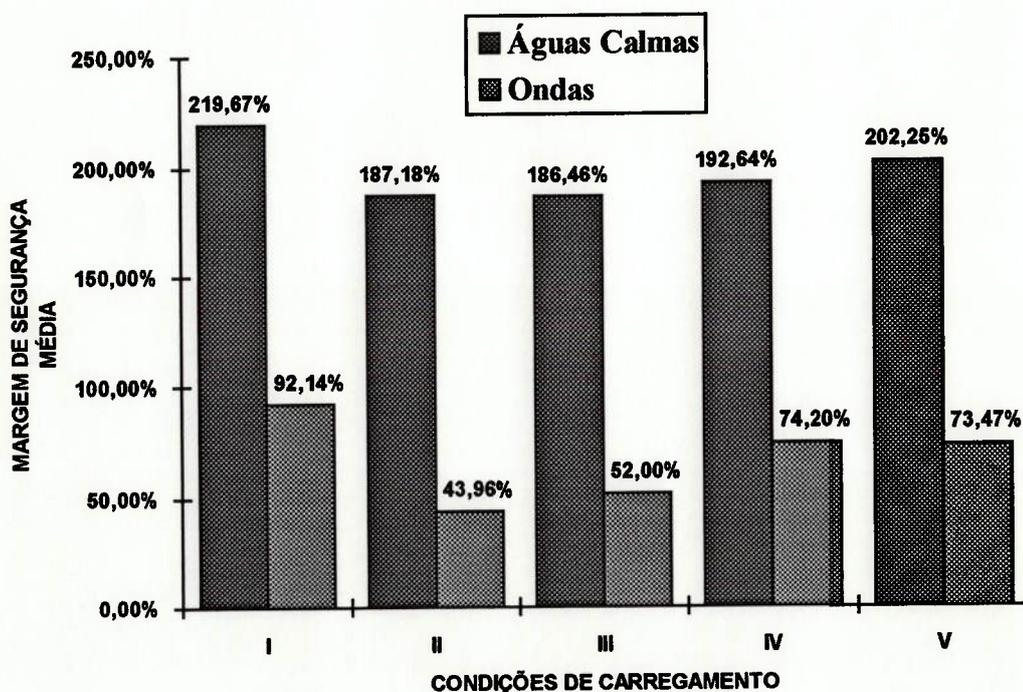
Braço Esc/Ventos Const. (Lw1)	0.047	m
Braço Esc/Rajada Vento (Lw2)	0.071	m
Ângulo Máximo de Balanço (ϕ_1)	17.240	Graus
Período de Balanço	5.701	seg
Área "a"	0.057	m*rad
Área "b"	0.325	m*rad

CRITÉRIO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS	CALCULADO NA CONDIÇÃO	% SEGURANÇA
Área "b" / Área "a" ≥ 1	5.751	475.104

5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROGRAMA "ESTAVEL"

Analisando os resultados obtidos do programa "ESTAVEL", referente à embarcação simulada e efetuando uma comparação das condições estudadas, utilizando as médias das margens de segurança nas situações de águas calmas e ondas, como ilustra a figura 5.3, observa-se que os mais baixos índices de segurança se apresentam na condição de máxima carga ou "Retorno do Banco de Pesca" (II), para a situação de ondas, e na condição de "Chegada ao Porto-A" (III), para a condição de águas calmas.

Figura 5.3 - Comparação das Margens de Segurança em relação as Condições de Carregamento na embarcação simulada



Nota-se que as menores margens de segurança nas situações de águas calmas e ondas nem sempre ocorrem na mesma condição de carregamento.

Para verificar a capacidade da embarcação em resistir ao efeito de ventos e balanços severos, utilizou-se a pior condição de operação, ou seja, deslocamento menor e navios com grande área vélica. Utilizou-se, então, a condição de "Chegada ao Porto - B-" (IV) para o cálculo e verificação do efeito de ventos e balanços severos na estabilidade da embarcação.

Observou-se, como ilustra os resultados deste efeito no item 5.2.6, uma grande margem de segurança, cumprindo plenamente o critério. Além disso, o valor do ângulo de inclinação sob a ação de um vento constante (φ_0) é igual a 2.647 graus, que cumpre satisfatoriamente o critério que recomenda um ângulo menor que 16 graus.

5.4 DADOS DE ENTRADA PROGRAMA "ONDAS"

5.4.1 GEOMETRIA DO CASCO

$$\begin{aligned}
 x_a &= -12.442; & x_f &= 15.255; \\
 x_{ib} &= -11.738; & x_{fb} &= 13.500.
 \end{aligned}$$

Tabela 5.1 - Coordenadas do Casco da Embarcação Simulada

	COBERTA			BOJO			FUNDO	
	x	y	z	x	y	z	x	z
1	-12.442	1.173	5.291	0.000	0.000	0.000	-12.442	4.312
2	-12.207	2.741	5.165	0.000	0.000	0.000	-12.207	3.679
3	-11.979	3.501	5.115	0.000	0.000	0.000	-11.979	3.045
4	-11.738	3.754	5.099	-11.738	2.563	2.611	-11.738	2.411
5	-11.151	3.935	5.060	-11.151	3.361	2.563	-11.151	2.220
6	-10.564	3.535	5.021	-10.564	3.506	2.352	-10.564	2.029
7	-9.390	3.935	4.942	-9.390	3.564	1.991	-9.390	1.645
8	-8.216	3.935	4.884	-8.216	3.567	1.704	-8.216	1.264
9	-7.043	3.935	4.832	-7.043	3.547	1.457	-7.043	0.942
10	-5.869	3.935	4.773	-5.869	3.538	1.225	-5.869	0.653
11	-4.695	3.935	4.715	-4.695	3.530	1.031	-4.695	0.398
12	-3.521	3.935	4.661	-3.521	3.512	0.875	-3.521	0.168
13	-2.347	3.935	4.612	-2.347	3.512	0.759	-2.347	0.000
14	-1.174	3.939	4.576	-1.174	3.509	0.697	0.000	0.000
15	0.000	3.941	4.549	0.000	3.495	0.676	0.000	0.000
16	1.174	3.941	4.535	1.174	3.455	0.692	0.000	0.000
17	2.347	3.935	4.534	2.347	3.393	0.739	0.000	0.000
18	3.521	3.726	4.551	3.521	3.315	0.807	0.000	0.000
19	4.695	3.895	4.584	4.695	3.205	0.902	0.000	0.000
20	5.869	3.828	4.633	5.869	3.051	1.022	0.000	0.000
21	7.043	3.731	4.700	7.043	2.842	1.165	7.043	0.000
22	8.216	3.425	4.780	8.216	2.568	1.330	8.216	0.048
23	9.390	3.451	4.884	9.390	2.215	1.516	9.390	0.107
24	10.564	2.965	5.003	10.564	1.775	1.720	10.564	0.160
25	11.738	2.743	5.141	11.738	1.235	1.942	11.738	0.427
26	12.323	2.493	5.215	12.323	0.922	2.059	12.323	0.614
27	12.911	2.189	5.299	12.911	0.582	2.180	12.911	1.014
28	13.500	1.820	5.385	13.500	0.213	2.304	13.500	1.618
29	14.084	1.379	5.476	0.000	0.000	0.000	14.084	2.561
30	15.255	0.0427	5.674	0.000	0.000	0.000	15.255	4.955

5.4.2 CONDIÇÕES HIDROSTÁTICAS INICIAIS

Tabela 5.2 - Condições Hidrostáticas Iniciais da Embarcação Simulada

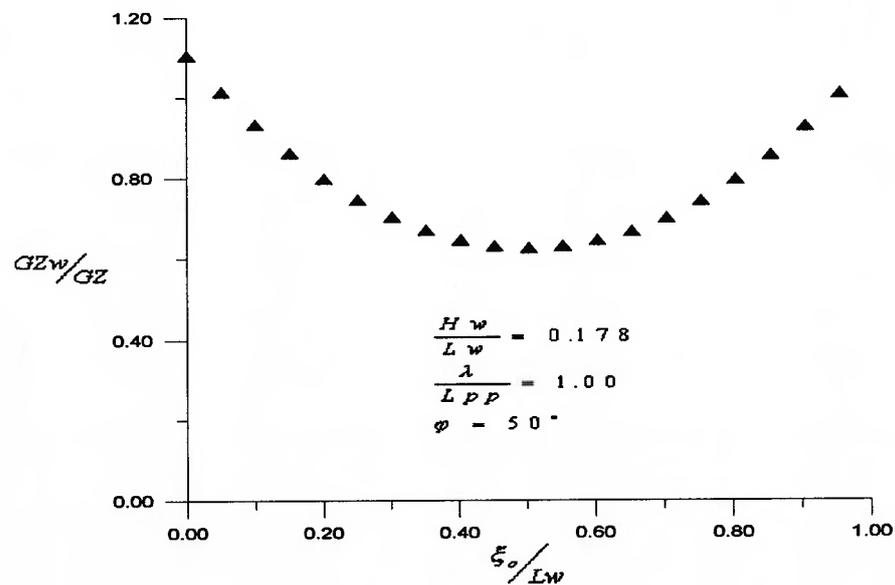
CONDIÇÃO	I	II	III	IV	V
d	3.620	4.100	3.824	3.143	3.722
VCG	2.498	2.494	2.585	2.513	2.536
LCG	-1.850	-2.049	-2.161	-2.151	-1.366
LCF	-2.254	-2.149	-2.208	-2.383	-2.231
Trim (t)	0.052	0.280	0.476	0.547	-0.679

5.5 RESULTADOS DO PROGRAMA "ONDAS"

Para aferição dos resultados obtidos foram utilizados os dados da geometria do casco e as condições hidrostáticas iniciais, correspondente à primeira condição, "Partida do Porto".

Os principais resultados são ilustrados nas figuras 5.4 e 5.5

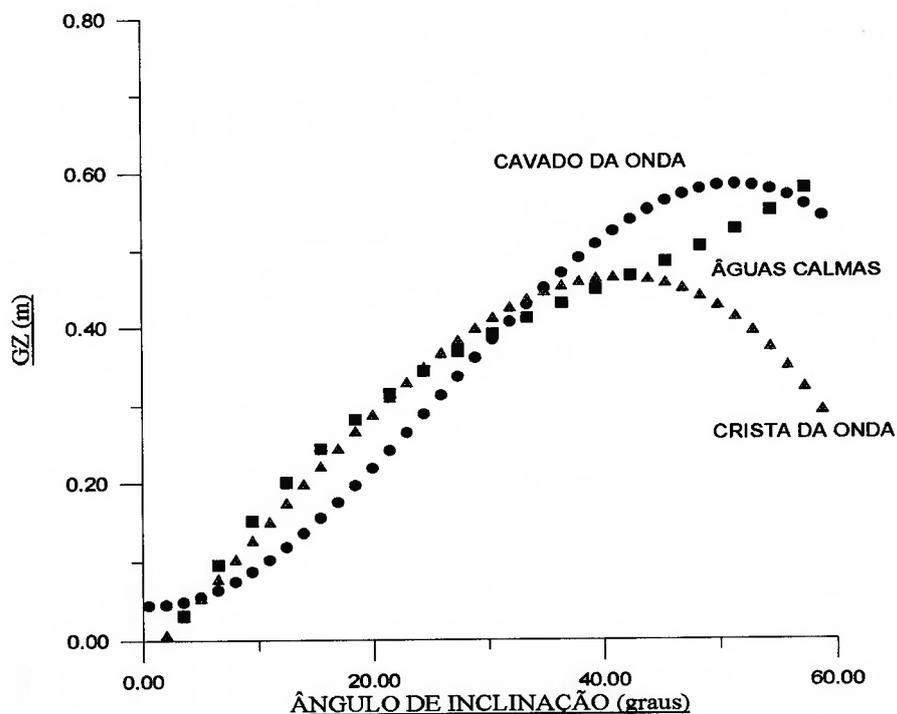
Figura 5.4 - Mudanças nos Braços de Endireitamento com a posição relativa da Embarcação na Onda



Na figura 5.4, GZw é o braço de endireitamento em ondas, ξ_o é a distância à meia nau da embarcação medida desde o cavado da onda anterior mais próximo, Lw é o comprimento da onda e a relação ξ_o / Lw representa a posição relativa da embarcação com a onda. Nesta figura observa-se, como mencionado previamente, que os valores de GZw são maiores que os valores em águas calmas com o cavado da onda a meia nau, e menores que o valor em águas calmas com a crista da onda à meia nau.

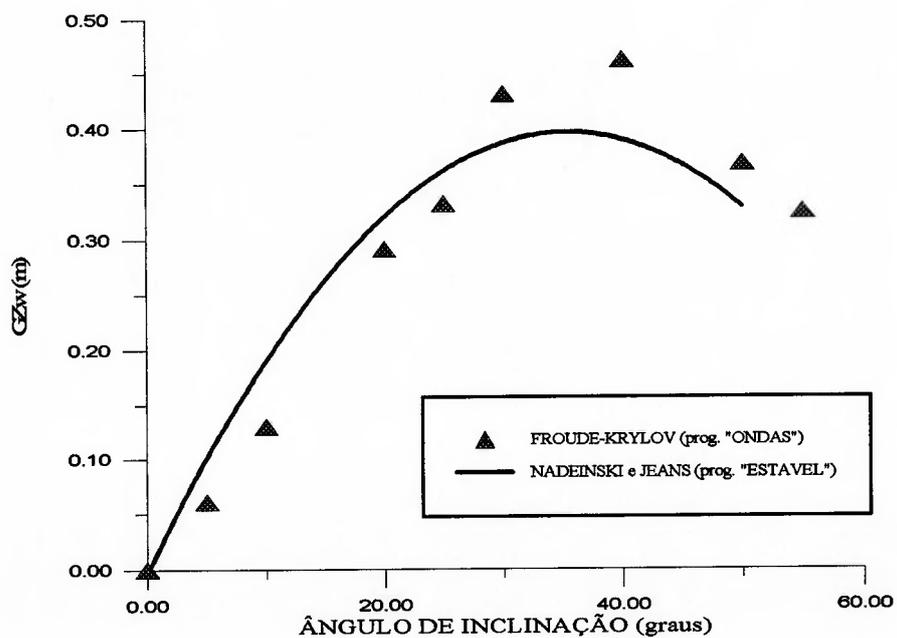
Analogamente, a figura 5.5 mostra a curvas dos braços de endireitamento em águas calmas GZ , e com o cavado e a crista da onda à meia nau da embarcação, com comprimento de onda análogo ao da embarcação, sendo a velocidade desta igual a da fase das ondas, onde pode-se observar o mesmo efeito de um modo mais simples.

Figura 5.5 - Curvas dos Braços de Endireitamento em Águas Calmas e em Ondas



5.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Figura 5.6 - Comparação dos Resultados dos programas "ESTAVEL" e "ONDAS"



Comparando os resultados obtidos pelo método estatístico de NADEINSKI e JEANS (programa "ESTAVEL") com a análise teórica baseada na hipótese de FROUDE-KRYLOV (programa "ONDAS") para a situação mais desfavorável à estabilidade e segurança das embarcações pesqueiras, ou seja, ao efeito de ondas de popa com a crista à meia nau e comprimento análogo ao da embarcação, pode-se observar uma boa concordância entre os resultados no casco simulado, conforme mostra a figura 5.6

Face os resultados, é perfeitamente viável e recomendável a utilização do método estatístico de NADEINSKI e JEANS, para a previsão da estabilidade e segurança das embarcações pesqueiras.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo deste capítulo é fazer uma apreciação crítica do trabalho realizado, apontando as conclusões mais importantes obtidas no seu desenvolvimento e recomendar, por outro lado, algumas sugestões para a continuação do tema. É apresentado um resumo da pesquisa desenvolvida destacando as contribuições oriundas da análise dos critérios de estabilidade de embarcações pesqueiras considerando ondas de popa e ventos severos.

6.1 RESUMO DO TRABALHO

Foi estabelecido como objetivo de pesquisa analisar e discutir os critérios de estabilidade para embarcações pesqueiras e desenvolver uma sistemática para o cálculo e verificação da estabilidade intacta, o efeito de ondas de popa, o efeito de superfícies livres e do balanço e ventos severos na estabilidade das embarcações pesqueiras.

A parte inicial do trabalho consistiu no levantamento de dados estatísticos, a fim de ilustrar o grande número de acidentes com navios pesqueiros no Brasil, comparando-os com outros países de maior atividade pesqueira.

A seguir, foi conduzido um estudo detalhado sobre a evolução dos diversos critérios de estabilidade até os utilizados na atualidade e também uma análise dos trabalhos relacionados ao efeito de ondas de popa na estabilidade das embarcações de pesca. Em continuação, desenvolveu-se um procedimento de cálculo e verificação dos critérios de estabilidade segundo a IMO, e uma proposta de cálculo e verificação do efeito de ondas de popa na estabilidade, a partir de aproximações derivadas da análise estatística e sua posterior comprovação

mediante uma teoria baseada na hipótese de Froude-Krylov, culminando com os desenvolvimentos dos programas "ESTAVEL" e "ONDAS".

A aplicação dos programas foi ilustrada com um exemplo, comparando os resultados dos procedimentos, e apresenta-se, como anexo, o manual de referência do usuário para possibilitar a utilização do programa "ESTAVEL".

6.2 COMENTÁRIOS GERAIS

Na condução da presente dissertação, foram observados alguns detalhes importantes que parecem merecer destaque no lançamento das conclusões finais. Eles são apresentados a seguir:

- Do levantamento estatístico de acidente com embarcações pesqueiras pode-se observar que no Brasil, país conhecido como de águas razoavelmente tranqüilas, ocorre um alto índice de acidentes, com uma média anual de 12 naufrágios. Em relação aos outros países onde a atividade pesqueira é maior, é no Brasil, seguido dos Estados Unidos, onde prevalece o naufrágio, tomado como o acidente mais grave, com 32.6 % do total das ocorrências. O presente estudo mostra que este índice pode ser diminuído, uma vez conhecidas as causas destas fatalidades.

- A maioria dos países tem adotado as recomendações para a estabilidade da IMO. Os critérios levam em conta as condições de águas calmas, mas também são comparados e ajustados estatisticamente de acordo com as investigações de ocorrências de acidentes em mares revoltos. Logo, eles também incluem segurança em ondas.

- O presente estudo foi orientado às embarcações pesqueiras pois, em geral, as embarcações pequenas estão mais expostas a acidentes devido a falta de estabilidade do que as grandes embarcações; esta é a razão pela qual as recomendações sob estabilidade da IMO se referem a embarcações de menos de 100 metros de comprimento. Em relação aos navios de maior porte, verificou-se nos últimos anos que, em função de seu grau de compartimentação e da estabilidade que possuía, o perigo de naufrágio em consequência de uma colisão é para eles muito maior do que o acidente por instabilidade no estado intacto.

- A maior desvantagem dos critérios de estabilidade utilizados na atualidade é que eles são baseados em estudos estatísticos em relação a um tipo médio de embarcações bem definidas. Por isto, são de aplicação em embarcações de características semelhantes, resultando em uma margem de segurança equivalente. A aplicação de tais critérios a embarcações cujas dimensões, tipo de pesca, condições de exploração e ambientais diferem daquelas pode acarretar numa diferença significativa na margem de segurança prevista inicialmente.

- As principais objeções que podem-se manifestar aos critérios de estabilidade atualmente em uso são:

- a. Aplicam-se a todos os tipos de embarcações pesqueiras.
- b. Não dão indicações do grau de segurança em relação as dimensões e tipo de navio.
- c. Não levam em consideração as condições reais de mar e do tempo.

- O problema da estabilidade e a segurança de uma embarcação em mar grosso é muito complexo e depende do tempo, da embarcação e do fator humano.

6.3 CONCLUSÕES

Da análise dos critérios de estabilidade de embarcações pesqueiras considerando ondas de popa e ventos severos é possível obter as seguintes conclusões:

- Foi confirmado por meio de análises estatísticas e teóricas que os braços de endireitamento em ondas de popa podem ser calculados pelos procedimentos apresentados no presente trabalho.

- A análise estatística efetuada mostrou que os barcos pesqueiros são os mais sujeitos a acidentes de enorme gravidade, comparativamente aos outros tipos de embarcações menores.

- Os resultados dos programas utilizados demonstraram que os braços de endireitamento produzidos pelas ondas variam de acordo com a posição relativa da embarcação na onda; por exemplo, observou-se que os braços de endireitamento diminuem numa onda com crista a meia nau e aumentam quando o cavado da onda situa-se naquela posição da embarcação. Nesta situação a embarcação perde área do plano de flutuação, o que produz uma redução da estabilidade inicial e dos braços de endireitamento. Se a embarcação navega em mares de popa, numa velocidade bem próxima à das ondas, permite que a crista permaneça estacionária em relação à seção mestra. O emborcamento acontece de modo similar à situação de instabilidade em águas calmas.

- Os resultados do cálculo de estabilidade, usando os métodos aqui apresentados, confirmam uma das situações mais desfavoráveis à estabilidade e segurança das embarcações pesqueiras. Referindo-se ao caso do efeito de ondas de popa, com crista à meia nau e comprimento análogo ao da embarcação, e levando-se ainda em conta a menor eficácia do leme nessas condições, o barco não só perde estabilidade como também pode sofrer uma guinada, ficando sujeito a receber ondas pela alheta, situação mais favorável ao embarque de água na coberta, coincidindo assim dois efeitos muitos perigosos para sua segurança.

6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As seguintes sugestões são lançadas na conclusão do presente trabalho:

- No que se refere aos dados estatísticos é necessário implantar uma sistemática de produção de dados estatísticos que permita avaliar anualmente os índices de acidentes, incluindo informações, as mais completas possíveis sobre as ocorrências e as embarcações envolvidas.

- Deve-se pensar em estabelecer, como em outros países, uma comissão permanente para pesqueiros, que vise esclarecer e melhorar o entendimento dos mecanismos que tem levado ao emborcamento de pesqueiros sob ação de ondas e ventos fortes.

- Embora seja muito difícil estabelecer critérios de modo simples, que garantam a estabilidade da embarcação em todas as condições operacionais, é

recomendável desenvolver instruções específicas para cada tipo de embarcação, de modo racional e simples.

- Deve-se fazer constar, ainda, que apesar de tratamentos mais racionais e das que atualmente existem sobre a estabilidade das embarcações, comparadas às de vinte anos atrás, existem algumas dúvidas em seu conhecimento que merecem reparos. A maioria dos estudos realizados até agora tratam só de evitar o naufrágio por causas determinadas e concretas; existe pois a necessidade de continuar as pesquisas a respeito dos fenômenos básicos que governam a estabilidade, a fim de obter um conhecimento mais profundo das relações entre as variáveis do sistema navio-onda e da estabilidade da embarcação.

- O programa "ESTAVEL", desenvolvido no presente trabalho, poderia ser utilizado no cálculo e a verificação da estabilidade intacta, estabilidade em ondas de popa e dos efeitos de superfície livre e de balanço e ventos severos, também para outros tipo de embarcação, bastando só modificar os dados de entrada da embarcação analisada e as suas condições de carregamento.

- O assunto estudado neste trabalho pode ser no futuro tratado de modo mais adequado, levando em consideração novos desenvolvimentos de critérios de estabilidade, com recursos da hidrodinâmica, a melhoria das técnicas de simulação e o rápido progresso dos computadores. A tarefa consiste na procura de modelos matemáticos simples, a realização de ensaios de modelos, e a observação e a análise dos acidentes ocorridos por falta de estabilidade.

- É de grande importância a criação de um programa de informação e educação dos pescadores, para se sensibilizarem a respeito de sua própria segurança. A formação dos pescadores e a documentação que lhe é destinada devem ser feitas numa linguagem familiar e acessível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]-NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD, "*Safety Study-Uninspected Commercial Fishing*" NTSB/SS- 87/02 , EEUU,1987.
- [2]-NEVES, M. A. S. "*Comissão de Estabilidade (SOBENA), Relatório No.1: Levantamento de Acidentes com Embarcações Marítimas no Brasil (1982-86)*", SOBENA, Rio de Janeiro, 1990.
- [3]-ADEE, B. H. et al., "*Fishing Vessel Dynamics and Stability*" in Proceeding, SNAME Eleventh Ship Techology and Research (START) Symposium, Portland, Oregon, May 21-23, p. 87-101, 1986.
- [4]-BISHOP, R. E. D. "*Fishing Vessel Casualties*",The Naval Architect, July/August, p. E245-E246, 1987.
- [5]-VEGA ROMAN, L. "*Estúdio de Estabilidad de Buques Pesqueros*", Seminário Nacional de Buques Pesqueros, Valdivia, Chile, 1986.
- [6]-WIKLUND, K; TELLE, J. "*Perfecting New Safety Standards for Norway's Fishing Fleet*"; Veritas, May/June, p. 5-6 . 1986.
- [7]-DEVOTO, E. M. "*Evolución de las Sociedades Clasificadoras en cuanto a Buques Pesqueros*"; II Seminário Internacional de Buques Pesqueros, Valdivia, Chile. p. 73-122. 1989.
- [8]-MARITIME SAFETY AGENCY. '*Marine Casualties in Coastal Waters of Japan-Report for 1982*', Japan. 1982.
- [9]-RODRIGUEZ S. J. L. '*Prevención de Accidentes en la Actividad Marítimo -Pesquera en España*'; II Congreso Nacional de Prevención de Riesgos en la Industria Pesquera, Talcahuano, Chile. 1985.
- [10]-REILLY, M.S.J. "*The Safety of UK Fishing Vessels*", 1961-80; J. of Navigation, 37, 1984.
- [11]-BENJAMIN, L. "*Über das Mass der Stabilität der Schiffe*", Jahrbuch STG, 1914.
- [12]-PIERROTTET, E. "*A Standard of Stability for Ships*", TINA 1935.
- [13]-RAHOLA, J. "*The Judging of the Stability of Ship and the Determination of the Minimum Amount of Stability*". Thesis for degree of Doctor of Technology University of Finland, Helsinki, 1939.
- [14]-INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY OF LIFE AT SEA-1960, including *The International Convention for the Safety of Life at Sea*, 1960.
- [15]-INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY OF LIFE AT SEA-1974, including *The International Convention for the Safety of Life at Sea*, 1974.
- [16]-INTERNATIONAL CONFERENCE ON LOAD LINE - 1966, includin *The Interantional Convention on Load Lines*, 1966.
- [17]-"*Recommendation on Intact Stability for Passenger and Cargo Ship under 100 metres in legth*" (Resolution A.167(ES.IV) as amended by Resolution A.206(VII)). 1968.
- [18]-"*Recommendation on Intact Stability of Fishing Vessels (Resolution A.168(ES.IV))*".1968.
- [19]-INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFETY OF FISHING VESSELS-1977, including *The Torremolinos International Convention for the Safety of Fishing Vessels*, 1977.

- [20]-NADEINSKI, V.P. and JEAN, J. E. L. "*The Stability of Fishing Vessels*", Trans. RINA, 1968.
- [21]-THOMSON, G. and TOPE, J. E. "*International Considerations of Intact Stability Standards*", Trans. RINA, p. 43-67, 1970.
- [22]-"*Recommendation on Construction of Fishing Vessels affecting the Vessel's Stability and Crew Safety*" (Reslution A.208(VII)), 1971.
- [23]-"*Recommendation for a Interim Simplified Stability Criterion for Decked Fishing Vessels under 30 metres in length*" (Resolution A. 207(VII)). 1971.
- [24]-"*Code of Practice concerning the Accuracy of Stability Information for Fishing Vessels*" (Resolution A.267(VIII)). 1973.
- [25]-"*Recommendation for Skippers of Fishing Vessels on Ensuring a Vessel's Endurance in Condition of Ice formation*" (Resolution A.269(VIII)). 1973.
- [26]-"*Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessels: Part B-Safety and Health Requirements for the Construction and Equipment of Fishing Vessels*. 1975.
- [27]-*FAO-ILO-IMO Voluntary Guidelines for the Design, Construction and Equipment of Small Fishing Vessels*. 1980.
- [28]-DAHLE, E. A. and KJAERLAND, O. "*The Capsize of M/S Helland-Hansen*", Trans. RINA, p. 51-70, 1980.
- [29]-MORRALL, A, "*Capsize of Small Trawlers*", Trans. RINA, p. 71-101, 1980.
- [30]-"*Recommendation on a Severe Wind and Rolling Criterion (Weather Criterion) for the Intact Stability of Passenger and Cargo Ship of 24 meters in length and over*" (Resolution A.562(14)). 1985.
- [31]- FROUDE, W. "*On the Rolling of Ships*", Transactions of The Institution of Naval Architects, vol. 2, p. 180-229, 1861.
- [32]- REED, E. J. "*A Treatise on the Stability of Ship*", Charles Griffin and Company, London, England, p. 45-47, 1885.
- [33]- KEMPF, G. "*Die Stabilitätsbeanspruchung der Schiffe durch Wellen und Schwingungen*", *Werf-Reederei Hafen*, vol. 19, p.200-202, 1938.
- [34]- GRAFF, W. and HECKSCHER, E. "*Widerstands-und Stabilitäts versuche mit drei Fischdampfermodellen*", *Werf-Reederei-Hafen*, vol. 22, p. 115-120, 1941.
- [35]- ARNDT, B. and RODIN, S. "*Stabilität bei vour-und achterlichem seegang*", *Schiffstechnik*, vol. 5, No. 29, p.192-199, 1958.
- [36]- WENDEL, K. "*Stabilitätseinbussen im Seegang und durd Koksdeckslast*", *Hansa*, p. 2016-2022, 1954.
- [37]- PAULLING, J. R. "*Transverse Stability of Tuna Clippers*", *Fishing Boats of the World*, vol.2, edited by Jan-Olof Traung, published by Fishing News Limited, London, England, p.489-495. 1960.
- [38]- GRIM, O. "*Rollschwingungen, Stabilität, und Sicherheit im Seegang*", *Schiffstechnik*, vol. 1, p.10-21, 1952.
- [39]- KERWIN, J.E. "*Notes on Rolling in Longitudinal Waves*", *International Shipbuilding Progress*, vol. 2, p. 597-614, 1955.

[40]- HAMAMOTO M, and NOMOTO K. , "Tranverse *Stability of Ship in a Following Sea*", Second International Conference on Stability of Ship and Ocean Vehicles, Tokio, p. 215-224, Oct. 1982.

[41]- ARQUINAV 2.4, .Volpi, C, Programa para Cálculos hidrostáticos. Departamento de Engenharia Naval, São Paulo, EPUSP, 1990.

[42]- PRESS, WILLIAM H, TEUKOLSKY and SAUL A. , "*Numerical Recipes in Pascal: The Art of Scientific Computing*", Cambridge University Press, New York, 1992

ANEXO

MANUAL DO USUÁRIO

TELA No.1	Modo de Entrada de Dados	ii
TELA No.2	Arquivos de Entrada	ii
TELA No.3	Destino dos Resultados Finais	iii
TELA No.4	Arquivos onde serão salvas as modificações	iii
TELA No.5	Quantidade de Componentes da Embarcação	iv
TELA No.6	Dados do Casco: Informações Gerais	iv
TELA No.7	Dados dos Componentes da Embarcação	v
TELA No.8	Dados dos Componentes da Embarcação (continuação)	vi
TELA No.9	Dados dos Componentes da Embarcação (continuação)	vi
TELA No.10	Dados para o Cálculo do Efeito de Superfícies Livres	vii
TELA No.11	Dados para o Cálculo do Efeito de Superfícies Livres (continuação)	vii
TELA No.12	Curvas Cruzadas	viii
TELA No.13	Propriedades Hidrostáticas	viii
TELA No.14	Condições Hidrostáticas Finais	ix
TELA No.15	Desenho do Gráfico de Estabilidade	ix
TELA No.16	Tabela dos Critérios de Estabilidade Intacta	x
TELA No.17	Tabela dos Critérios de Estabilidade em Ondas	x
TELA No.18	Efeito de Ventos e Balanços Severos	xi
TELA No.19	Desenho do Gráfico do Efeito de Ventos e Balanços Severos	xi
TELA No.20	Tabela do Efeito de Ventos e Balanços Severos	xii

MANUAL DO USUÁRIO

O "ESTAVEL" é um programa estruturado em linguagem PASCAL para operar em microcomputadores do tipo PC sob ambiente operacional DOS e destinado basicamente ao cálculo e verificação da estabilidade intacta, estabilidade em ondas de popa e ao efeito de superfícies livres e do balanço e ventos severos na estabilidade das embarcações pesqueiras.

Para utilizar o aplicativo basta carregá-lo diretamente pela linha de comando do DOS, digitar "ESTAVEL" e <ENTER>.

Para sua completa utilização, o usuário precisa previamente ter as seguintes informações:

- Deslocamento, *VCG* e *LCG* do Navio Leve.
- Informações gerais da embarcação.
- Curvas de capacidades, *VCG* e *LCG* dos tanques e porões.
- Curvas das propriedades hidrostáticas.
- Curvas cruzadas de estabilidade.

Deve-se levar em consideração também as seguintes observações:

- As unidades a serem usadas são as indicadas em cada tela pelos quadros de diâgolo.

- Durante a entrada dos dados deve-se continuar usando o mesmo sistema de coordenadas utilizado na obtenção das propriedades hidrostáticas. Usa-se o sinal negativo para indicar a ré da meia nau.

Mesmo que o programa seja autoexplicativo e interativo a fim de obter uma maior simplicidade e facilidade na comunicação usuário-aplicativo, este manual foi dividido em telas apresentadas em seqüência durante uma completa execução do programa, seguidas por uma breve explicação de cada uma delas:

TELA No. 1 : MODO DE ENTRADA DE DADOS.

MODO DE ENTRADA DE DADOS

() Pegar dados de arquivos com possibilidade de mudanças posteriores nos valores

() Começar uma embarcação nova, com tabelas de entrada em branco.

Coloque um "X" na opção de sua preferência.

O usuário seleciona no quadro de diálogo com um "X" se deseja iniciar o programa pegando os arquivos dos dados de entrada já elaborados previamente, com a possibilidade de qualquer mudança na tela para algum deles ou se deseja iniciar com novos dados de entrada correspondentes a uma nova embarcação. No caso desta última escolha o seguinte quadro na seqüência será a tela No. 3, (Destino dos Resultados Finais), caso contrário continuará com o seguinte.

TELA No. 2 : ARQUIVOS DE ENTRADA.

ARQUIVOS DE ENTRADA

1) Arquivo de descrição do casco da embarcação : _____

2) Arquivo dos componentes da embarcação : _____

3) Arquivo com dados das curvas cruzadas : _____

4) Arquivo com as propriedades hidrostáticas : _____

Neste quadro entra-se os nomes dos arquivos de entrada em correspondência para cada item citado.

TELA No. 3 : DESTINO DOS RESULTADOS FINAIS

DESTINO DOS RESULTADOS FINAIS

Saída apenas no monitor.

Saída no monitor e na impressora.

Saída no monitor e no arquivo RESULT.DAT.

Coloque um "X" na opção de sua preferência.

Neste quadro o usuário seleciona como deseja a apresentação dos resultados finais. As opções de saída na impressora e no arquivo "RESULT.DAT" serão ativadas no mesmo momento de finalizar a execução do programa.

TELA No. 4 : ARQUIVOS ONDE SERÃO SALVAS AS MODIFICAÇÕES

ARQUIVOS ONDE SERÃO SALVAS AS MODIFICAÇÕES

1) Arquivo de descrição do casco da embarcação : _____

2) Arquivo dos componentes da embarcação : _____

3) Arquivo com dados das curvas cruzadas : _____

4) Arquivo com as propriedades hidrostáticas : _____

Neste quadro, o usuário preenche os nomes dos arquivos correspondentes para cada item citado, onde serão salvas as mudanças feitas nos arquivos de entrada iniciais, ou no caso de uma nova embarcação, onde se deseja salvar os arquivos correspondentes.

TELA No. 5 : QUANTIDADE DE COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO

QUANTIDADE DE COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO
Quantidade de componentes na embarcação: _____ (O arquivo de entrada possui _____)
Obs: se necessário, use BACKSPACE para correção !

Entende-se por componentes todos aqueles itens que compõem uma embarcação como o Navio Leve, os tanques, os porões, etc.

TELA No. 6 : DADOS DO CASCO: INFORMAÇÕES GERAIS

DADOS DO CASCO: INFORMAÇÕES GERAIS	
NAVIO :	_____
PROJETO No. :	_____
ESTALEIRO CONSTRUTOR :	_____
Ltotal =	_____ m
Lpp =	_____ m
Boca (B) =	_____ m
Pontal (D) =	_____ m
Deslocamento do Navio Leve =	_____ tons
VCG do Navio Leve =	_____ m
LCG do Navio Leve =	_____ m
Superfície Lateral (As) =	_____ m ²
Centro de gravidade da superfície lateral (CAs) =	_____ m
Velocidade de serviço =	_____ nós
Raio de onda (Hw/Lw) =	_____

Este quadro apresenta os dados dos arquivos de entrada correspondente as informações gerais da embarcação; podendo estes também serem alterados no caso de uma nova análise. As unidades a usar são as indicadas pelo o quadro. O raio da onda por *default* é igual à relação pontal-comprimento da embarcação.

A simbologia é a seguinte:

- Ltotal** : Comprimento total da embarcação,
Lpp : Comprimento entre perpendiculares,
B : Boca da embarcação,
P : Pontal da embarcação,
VCG : Centro de gravidade vertical,
LCG : Centro de gravidade longitudinal,
As : Superfície lateral da Superestrutura,
CAs : Distância vertical do centro de gravidade de *As*,
Hw : Altura da onda medida desde a crista até o cavado,
Lw : Comprimento da Onda.

TELA No. 7 : DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO

DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO			
	COMPONENTE DA EMBARCAÇÃO	TIPO	PESO (Tons)
1	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____
...	_____	_____	_____

Obs: Para varrer toda a tabela use as teclas PageUp, PageDown, Home e End
Para percorrer a tabela use as setas do teclado.

Mostra-se ou entra-se aqui os componentes, o tipo e o peso total de cada um deles. O tipo vem associado a cada componente da seguinte forma:

TIPO (1) Componentes Fixos: Correspondem àqueles componentes sólidos não consumíveis e que permanecem invariáveis nas diferentes condições de carregamento. Exemplo: Navio Leve, tripulação, bote auxiliar, redes, equipamentos sobre coberta, etc.

TIPO (2) Provisões Sólidas: Correspondem a todo conjunto de víveres comestíveis, gêneros alimentícios, etc.

TIPO (3) Provisões Líquidas: Correspondem àqueles tanques destinados ao armazenamento de água potável para consumo humano.

TIPO (4) Tanques Consumíveis: Correspondem àqueles tanques que registram consumo durante uma travessia. Exemplo: Tanques de combustível, óleo lubrificante, etc.

TIPO (5) Tanques de Lastro: Correspondem àqueles tanques que são usados para dar estabilidade e navegabilidade à embarcação.

TIPO (6) Porões: Correspondem aos grandes espaços destinados à arrumação da carga.

TIPO (7) Tanques não Consumíveis: Correspondem àqueles tanques que dada sua utilidade sempre mantém seus níveis altos, independente das condições de serviço. Exemplo: Tanques de serviço e decantação de combustível, tanque de óleo, lubrificantes, etc.

TELA No. 8: DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO
(continuação)

DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO					
	COMPONENTE DA EMBARCAÇÃO	VCG (Metros)			
		100%	50%	20%	10%
1	_____	---	---	---	---
2	_____	---	---	---	---
3	_____	---	---	---	---
...	_____	---	---	---	---

Obs: Para varrer toda a tabela use as teclas PageUp, PageDown, Home e End
Para percorrer a tabela use as setas do teclado.

Neste quadro mostra-se ou entra-se, para cada componente da embarcação, os valores dos centros de gravidade vertical correspondente às condições de carregamento segundo pelas percentagens.

TELA No. 9 : DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO
(continuação)

DADOS DOS COMPONENTES DA EMBARCAÇÃO					
	COMPONENTE DA EMBARCAÇÃO	LCG (Metros)			
		100%	50%	20%	10%
1	_____	---	---	---	---
2	_____	---	---	---	---
3	_____	---	---	---	---
...	_____	---	---	---	---

Obs: Para varrer toda a tabela use as teclas PageUp, PageDown, Home e End
Para percorrer a tabela use as setas do teclado.

Neste quadro mostra-se ou entra-se para cada componente da embarcação os valores dos centros de gravidade longitudinal correspondente as condições de carregamento indicadas pelas percentagens.

Se a origem das coordenadas foram tomadas inicialmente na meia nau da embarcação usa-se o sinal negativo para indicar à ré da meia nau.

TELA No. 10 : DADOS PARA O CÁLCULO DO EFEITO DE SUPERFÍCIES LIVRES

DADOS PARA CÁLCULO DE SUPERFÍCIES LIVRES			
	COMPONENTE DA EMBARCAÇÃO	CAPACIDADE (m ³)	DENSIDADE (Tons/m ³)
1	_____	---	---
2	_____	---	---
3	_____	---	---
...			

Obs: Para varrer toda a tabela use as teclas PageUp, PageDown, Home e End
Para percorrer a tabela use as setas do teclado.

Este trecho não é obrigatório. Se for utilizado aparecerão os componentes envolvidos com os cálculos referentes às correções por Superfícies Livres. Mostra-se ou entra-se as capacidades totais e a densidade do fluido contido em cada espaço.

**TELA No. 11 : DADOS PARA O CÁLCULO DO EFEITO DE SUPERFÍCIES LIVRES
(continuação)**

DADOS PARA CÁLCULO DE SUPERFÍCIES LIVRES				
	COMPONENTE DA EMBARCAÇÃO	l _{max} (m)	b _{max} (m)	h _{max} (m)
1	_____	---	---	---
2	_____	---	---	---
3	_____	---	---	---
...				

Obs: Para varrer toda a tabela use as teclas PageUp, PageDown, Home e End
Para percorrer a tabela use as setas do teclado.

Este trecho não é obrigatório. Se for utilizado aparecerão aqui de novo os mesmos componentes anteriores e mostra-se ou entra-se as dimensões máximas de cada espaço. A correspondente simbologia é a seguinte:

- L_{max}*: Comprimento máximo do porão ou tanque,
- h_{max}*: Altura máxima do porão ou tanque,
- b_{max}*: Largura máxima do porão ou tanque.

TELA No. 12 : CURVAS CRUZADAS

CURVAS CRUZADAS					
ÂNGULO	CONDIÇÃO 1	CONDIÇÃO 2	CONDIÇÃO 3	CONDIÇÃO 4	CONDIÇÃO 5
5	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—
...					
DESLOCAMENTO	—	—	—	—	—

Conhecidos os deslocamentos para cada condição de carregamento entra-se os valores das curvas cruzadas ($VCG=0$) correspondentes ao ângulo de inclinação e ao deslocamento, por condição. Os ângulos de inclinação podem ser alterados pelo Usuário.

TELA No. 13 : PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS

PROPRIEDADES HIDROSTÁTICAS							
CONDIÇÃO	d(m)	LCB(m)	MTC (TM*M/cm)	KM(m)	Cb	Cwl	Cx
1	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—
	CONDIÇÃO 1	CONDIÇÃO 2	CONDIÇÃO 3	CONDIÇÃO 4	CONDIÇÃO 5		
DESLOCAMENTO	—	—	—	—	—		

Os deslocamentos das condições serviram de referência para entrar com os valores das propriedades hidrostáticas requeridas. A simbologia significa:

- d*: Calado médio,
- LCB*: Centro de flutuação longitudinal,
- MTC*: Momento para mudar o trim 1 cm,
- KM*: Altura do Metacentro da embarcação.
- Cb*: Coeficiente de bloco,
- Cwl*: Coeficiente de linha d'água,
- Cx*: Coeficiente de seção mestra.

RESULTADOS

A apresentação dos resultados é feita nas seguintes telas para as cinco condições de carga analisadas:

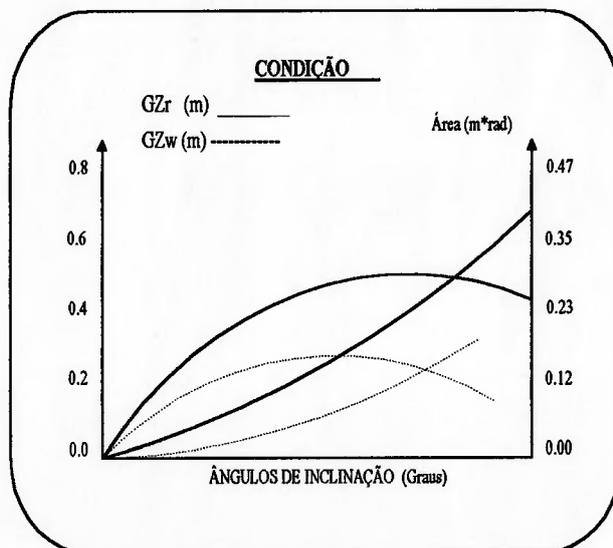
TELA No. 14 : CONDIÇÕES HIDROSTÁTICAS FINAIS

CONDIÇÃO _____

DESLOCAMENTO	_____ tm	KM	_____ m
VCG	_____ m	MTC	_____ tm*m/cm
LCG	_____ m	LCB	_____ m
CALADO	_____ m	LCF	_____ m
CALADO NA PPAV	_____ m	ALT.MET.S/COR.GM	_____ m
CALADO NA PPAR	_____ m	COR.SUP.LIV.GG1	_____ m
TRIM	_____ m	ALT.MET.COR.GMc	_____ m

Apresentação dos resultados Hidrostáticos finais da Condição estudada.

TELA No. 15 : DESENHO DO GRÁFICO DE ESTABILIDADE INTACTA



Apresentação do traçado da curva dos braços de endireitamento, corrigidos pelo efeito de superfícies livres, os braços dinâmicos (área sob a curva $GZr-\phi$ em $m^{\circ}rad$), os braços de endireitamento devido às ondas de popa, crista à meia nau, GZw e seus correspondentes braços dinâmicos (área sob a curva $GZw-\phi$ em $m^{\circ}rad$) em função dos ângulos de inclinação (graus) para a condição de carga analisada.

TELA No. 16 : TABELA DOS CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE INTACTA

CONDIÇÃO _____

CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE INTACTA (IMO)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	_____	0.055 m*rad	_____
2. Área entre 30 e Âng. Alag. (ou 40)	_____	0.030 m*rad	_____
3. Área entre 0 e Âng. Alag. (ou 40)	_____	0.090 m*rad	_____
4. Braço GZr em 30 Graus	_____	0.200 m	_____
5. Ângulo de GZr máximo	_____	25 Graus	_____
6. Altura Metacêntrica Inicial	_____	0.350 m	_____
7. Alcance de Estabilidade	_____	60 Graus	_____

Verificação dos critérios de estabilidade expostos, apresentando-se os limites, os valores calculados na condição analisada e os fatores de segurança* .

TELA No. 17 : TABELA DOS CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS

CONDIÇÃO _____

CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE EM ONDAS (CRISTA A MEIA NAU)	CALCULADO NA CONDIÇÃO	MÍNIMO REQUERIDO	% SEGURANÇA
1. Área entre 0 e 30 Graus	_____	0.055 m*rad	_____
2. Área entre 30 e Âng. Alag. (ou 40)	_____	0.030 m*rad	_____
3. Área entre 0 e Âng. Alag. (ou 40)	_____	0.090 m*rad	_____
4. Braço GZw em 30 Graus	_____	0.200 m	_____
5. Ângulo de GZw máximo	_____	25 Graus	_____

Verificação dos critérios propostos para a estabilidade em ondas de popa, crista à meia nau, com comprimento de onda equivalente à embarcação e amplitude segundo valor entrado na relação Hw/Lw na tela No. 6 das Informações Gerais.

* % SEGURANÇA = $\frac{\text{Calculado na Condição} - \text{Mínimo Requerido}}{\text{Mínimo Requerido} \times 0.01}$

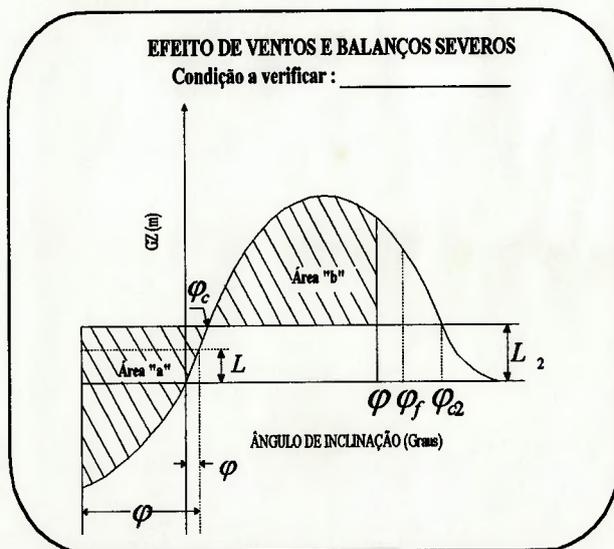
TELA No. 18 : EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS

Trata-se de uma embarcação:

- (1) com casco redondo, sem bojo nem bolina;
- (2) com bojo pronunciado;
- (3) com bolina.

Na análise do efeito de ventos e balanços severos na estabilidade precisa-se conhecer o ângulo máximo de balanço e, para seu cálculo, o usuário deverá selecionar com um número uma das opções mostradas na tela, decorrentes da geometria do casco.

TELA No. 19 : DESENHO DO GRÁFICO DO EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS



Apresentação do traçado da curva dos braços de endireitamento da condição mais crítica (condição com maior área vélica), e os braços escorantes devido aos ventos constantes e rajada de ventos em função dos ângulos de inclinação para o cálculo do efeito de ventos e balanços severos e verificação do critério de estabilidade.

TELA No.20 : TABELA DO EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS

EFEITO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS		
Condição a verificar : _____		
Braço Esc/Ventos Const. (LW1)	_____	m
Braço Esc/Rajada Vento (LW2)	_____	m
Ângulo Máximo de Balanço (φ_0)	_____	Graus
Período de Balanço (T)	_____	seg
Área " a "	_____	m ² rad
Área " b "	_____	m ² rad

CRITÉRIO DE VENTOS E BALANÇOS SEVEROS	CALCULADO NA CONDIÇÃO	% SEGURANÇA
Área " b " / Área " a " > 1	_____	_____

Apresentação dos resultados dos cálculos relacionados com o efeito de ventos e balanços severos na estabilidade. Apresenta-se também a verificação do critério exposto, o valor calculado na condição estudada e o fator de segurança.

A simbologia usada no efeito de ventos e balanços severos é a seguinte:

- LW_1 = Braço de momento de inclinação devido aos ventos constantes;
- LW_2 = Braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento;
- φ_0 = Ângulo de inclinação sob a ação de um vento constante (ângulo de equilíbrio, no qual não deve ultrapassar os 16 graus).
- φ_1 = Ângulo máximo de balanço se dá a partir do ponto de equilíbrio estático;
- φ_2 = Ângulo de inundação (φ_f), ou 50 graus, ou φ_{c2} , o qual seja menor;
- φ_f = Ângulo de inclinação no qual encontramos aberturas no casco, superestruturas ou ponte que não possam ser estanques à imersão. Na aplicação deste critério, pequenas aberturas através da qual pode haver inundação progressivas não devem ser consideradas necessariamente como abertas;
- φ_{c1} = Ângulo da primeira interceptação da curva do braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento (LW_2), e à curva de braços de endireitamentos;
- φ_{c2} = Ângulo da segunda interceptação da curva do braço do momento de inclinação correspondente a uma rajada de vento (LW_2), e à curva de braços de endireitamentos;
- T = Período de Balanço.