ERNESTO DE LAS CASAS DE LA TORRE UGARTE

OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE EMBARCAÇÕES PESQUEIRAS

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

São Paulo

2007

ERNESTO DE LAS CASAS DE LA TORRE UGARTE

OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE EMBARCAÇÕES PESQUEIRAS

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

Área de Concentração:
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador:
Prof. Dr. Oscar Brito Augusto

São Paulo
2007

À minha amada esposa Carla e meus filhos Sebastian e Arantza, por toda a paciência, motivação e força que me deram e pelo tempo despendido a eles para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos *Servicios Industriales de la Marina* (*SIMA*) e à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela grande oportunidade oferecida para poder capacitar-me profissional e tecnicamente na área de Engenharia Naval.

Ao meu orientador Prof. Dr. Oscar Brito Augusto, pelo apoio, ensino e paciência brindada ao longo do desenvolvimento deste trabalho, mostrando sempre infinita disponibilidade para resolver dúvidas e prestar ajuda em todas as fases deste projeto.

Aos meus amigos Eng. Thiago Pontin e Eng. Henrique Gaspar, pela paciência e ajuda prestada no decorrer de todo este tempo e, especialmente, na boa vontade para me ensinar os conceitos importantes da Engenharia Naval.

Aos meus amigos e companheiros de sala Eng. Jairo Cabrera, Eng. Ricardo Ono e Eng. Katia Yaguiu, pela hospitalidade e cordialidade mostradas em todo momento e, especialmente, pela ajuda na tediosa tarefa de revisar o texto.

Aos meus grandes e estimados amigos Pancho e Mônica Rehwaldt, pela sua sincera amizade, companhia e apoio nos momentos mais especiais durante todos estes anos no Brasil.

À Miriam e Tatiana, pessoas maravilhosas que me abrigaram em seu lar como uma família e me ajudaram a culminar com êxito esta etapa de minha vida.

RESUMO

O propósito deste trabalho foi o de elaborar uma metodologia de projeto de embarcações pesqueiras como alternativa ao processo clássico baseado na seqüência da “Espiral de Projetos”. A metodologia proposta faz uso de um algoritmo de otimização que tem como finalidade automatizar cada uma das etapas e aperfeiçoar o resultado final mediante a busca, dentro do espaço de soluções viáveis (chamadas de soluções satisfatórias), da solução “ótima”, ou seja, a melhor solução para uma determinada condição.

Devido ao fato de cada zona de pesca ter suas características particulares no que diz respeito a condições ambientais (altura das ondas e força do vento), arte de pesca desenvolvida na região e normas impostas pela Autoridade Marítima, foi feita, em particular, uma aplicação ao caso da pesca no litoral peruano, pois foram consideradas no desenvolvimento do trabalho peculiaridades e dados que estão presentes nesta região.

Neste sentido, desenvolveu-se um programa automatizado e otimizado baseado em uma seqüência de cálculos que permite projetar, a partir dos requisitos do armador, as características de uma embarcação pesqueira que cumpre um conjunto de restrições impostas e que atende ao objetivo desejado, ou seja, a embarcação que represente, através dessas características, a melhor solução possível para uma função de mérito ou função objetivo imposta.

Desta forma, utilizando a técnica da parametrização de embarcações semelhantes, assim como métodos conhecidos para cálculo de características e atributos associados a navios pesqueiros, e também um algoritmo matemático de busca, demonstrou-se que é possível projetar uma embarcação pesqueira, do tipo de cerco, a partir dos requisitos do armador, com bons resultados, em períodos curtos de tempo e dentro das margens esperadas em etapas preliminares de projeto.

Palavras-chave: Embarcações pesqueiras. Algoritmos de busca. Otimização. Projeto Paramétrico.

ABSTRACT

The purpose of this work was to develop a methodology for a fishing vessel design as alternative to the classic process based on the sequence of the "Design Spiral." The proposed methodology use an optimization algorithm that aims to automate each one of the stages of the design and to improve the final result by the search, among the space of viable solutions (calls of satisfactory solutions), of the optimal solution, in other words, to find the best solution for a determined condition.

Due to different characteristics of each fishing area such as: environmental conditions (height of the waves and wind intensity), the fishing gear used in the region and the rules established by the local Maritime Authority, this tool contemplates specific applications to fishing in the Peruvian coasts. Therefore, the development of this tool considered the corresponding data available for the region and the particularities unique to this fishing ground.

In this context, an automated and optimized program was created based on a sequence of calculations, allowing to project, under the owner's requirements, fitting the characteristics of a fishing vessel that contemplates the imposed restrictions while achieving the overall objective. In other words, the resulting vessel will achieve, through these characteristics, the best possible solution in terms of functionality and desired requirements.

Therefore, using the parametric technique of similar vessels, as well as known methods for the calculation of characteristics and associated attributes for fishing vessels and the use of a search mathematical algorithm, it was demonstrated that it is possible to design a fishing vessel of the seiner type, from the requirements of the owner, with good results, in few periods of time and within expected rates in preliminary stages of the project.

Keywords: Fishing vessels. Search algorithm. Optimization. Parametric design.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 O fenômeno "EL NIÑO" 8
Figura 2-2 O fenómeno “LA NIÑA” 8
Figura 2-3 Seqüência da manobra de pesca tipo cerco 12
Figura 2-4 Manobra de pesca tipo arrasto 13
Figura 2-5 Exportações peruanas totais 16
Figura 2-6 Comparativo exportações pesqueiras 2004 – 2005 16
Figura 2-7 Tendências da pescaria peruana 17
Figura 2-8 Produção de farinha de peixe segundo seu tipo 18
Figura 2-9 Exportações por participação 19
Figura 2-10 Desembarque para enlatados 19
Figura 3-1 Espiral de projeto 31
Figura 3-2 Rede neural artificial 35
Figura 3-3 Borda livre mínima imposta pela Autoridade Marítima segundo 38
Figura 3-4 Ângulo entre a roda e a linha de água 39
Figura 3-5 Plano de balizas do navio pesqueiro 40
Figura 3-6 Diagrama de cavitação simples Burril 66
Figura 3-7 Treinamento da rede neural para o calculo de estabilidade 68
Figura 3-8 KM em função de L, B e T 75
Figura 3-9 Configuração de uma embarcação pesqueira padrão 77
Figura 3-10 Configuração de uma embarcação pesqueira padrão 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Cálculo do comprimento total da embarcação 38
Tabela 3-2 Determinação do ângulo α 39
Tabela 3-3 Peso da rede de pesca em relação ao volume do porão 43
Tabela 3-4 Peso da panga em relação ao volume do porão.....43
Tabela 3-5 Diferença entre os valores das constantes - CR_{16} 47
Tabela 3-6 Campo de validade do método da FAO 48
Tabela 3-7 Características dos redutores.....59
Tabela 3-8 Valores da densidade e viscosidade cinemática da água de mar.....61
Tabela 3-9 Características dos propulsores da serie B-Troost.....63
Tabela 3-10 Condições de carregamento para embarcações pesqueiras 79
Tabela 4-1 Media de anos de construção de embarcações pesqueiras 81
Tabela 4-2 Comparação das características principais calculadas.....84
Tabela 4-3 Cálculo do deslocamento total 88
Tabela 5-1 Projeto SIMA vs Projeto Otimizado 94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Americam Bureau of Shipping
AMR	Agua de mar refrigerada
BHP	Potência no Freio (Break horse power)
C.E.C	Consumo especifico de combustível (gln/hr)
CHD	Consumo humano direto
CHI	Consumo humano indireto
Cuno	Número Cúbico (pés^3)
DICAPI	Dirección General de Capitanías y Guardacostas
DIHIDRONAV	Dirección de Hidrografía y Navegación
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GL	Germanischer Lloyd
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
IMO	Internacional Maritime Organization
INEI	Instituto Nacional de Estadística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LR	Lloyd's Register of Shipping
MBA	Modified Box Algorithm
MCR	Maximun Continuous Rating of Main Engine
MLP	Multi Layers Perceptron
NPL	National Physical Laboratory
NTSB	National Transportation Safety Board
RPM	Rotações por minuto
RSW	Refrigerated Salted Water
SIMA	Servicios Industriales de la Marina
SNP	Sociedad Nacional de Pesquería
SUMT	Sequential Unconstrained Minimization Technique

LISTA DE SÍMBOLOS

A_D	área desenvolvida das pás
Ae	área expandida das pás
Ao	área do disco
A_P	área projetada das pás
Ae/Ao	relação área expandida - área do disco
B	boca
B/H	relação boca - calado
B/L	relação boca - comprimento
B/L_{LW}	relação boca - comprimento na linha de água
BM	raio metacêntrico
BM_L	raio metacêntrico longitudinal
C_{AUX}	coeficiente de peso de maquinas auxiliares
Cb	coeficiente de bloco
Cm	coeficiente de secção mestra
C_O	coeficiente de peso dos equipamentos do convés
Cp	coeficiente prismático
C_{RL}	coeficiente de resistência ao avanço do navio
C_{R16}	coeficiente de resistência do modelo de 16 pés
Cr	comprimento da corda da pá do propulsor
C_S	coeficiente de peso do aço
C_{WL}	coeficiente da área na linha de água
D	pontal
Dp	diâmetro do propulsor
FB	borda livre
GM	altura metacêntrica
GM_L	altura metacêntrica longitudinal
GZ	braço de endireitamento
H	calado
h	altura de água sobre o hélice medida na linha central
J	coeficiente de avanço
K	constante numérica
KB	posição vertical do centro de carena
KG	altura do centro de gravidade do navio
$KG_{AÇO}$	altura do centro de gravidade do aço
$KG_{AGUA\ DOCE}$	altura do centro de gravidade da água doce
KG_{CARGA}	altura do centro de gravidade da carga
KG_{COMBUT}	altura do centro de gravidade do combustível
$KG_{EQ.CONVÉS}$	altura do centro de gravidade dos equipamento do convés
$KG_{EQ.PESCA}$	altura do centro de gravidade dos equipamentos de pesca
KG_{FINAL}	altura do centro de gravidade final do navio
$KG_{MAQ.AUX}$	altura do centro de gravidade das maquinas auxiliares
$KG_{MAQ.PPL}$	altura do centro de gravidade da máquina principal
KM	altura do metacentro do navio
Kq	coeficiente de torque
Kt	coeficiente de empuxo

L/B	relação comprimento - boca
LCB	posição longitudinal do centro de carena
LCG	posição longitudinal do centro de gravidade
L_{OA}	comprimento total
L_{PP}	comprimento entre perpendiculares
L_{WL}	comprimento na linha de água
n	rotação do hélice
P/D	relação passo - diâmetro do hélice
P_B	potência requerida da máquina principal
P_D	potência entregue ao hélice
P_E	potência efetiva ou de reboque
PE_{ONDAS}	potência efetiva requerida por efeito de ondas (kW)
Q	torque do hélice operando na esteira
Q_m	torque do motor
Q_0	torque fornecido ao hélice em água aberta
Rt	resistência ao avanço do navio
r_k	fator de resposta
S	superfície molhada
T	empuxo do hélice
t	coeficiente da força redutora
Va	velocidade de avanço do navio
V_P	volume do porão (m^3)
V_R	velocidade resultante da água em r = $0,7_r$ da pá
$V/\sqrt{L}$	relação velocidade - comprimento (V em nós e L em pés)
V, Vs	velocidade de serviço do navio
w	coeficiente de esteira
$W_{AÇO}$	peso do aço
W_{CARGA}	peso da carga
$W_{EQ.CONVÉS}$	peso dos equipamentos do convés
$W_{EQ.PESCA}$	peso dos equipamentos de pesca
W_h	altura das ondas
W_{LEVE}	peso leve do navio
$W_{MAQ.AUX}$	peso das maquinas auxiliares
$W_{MAQ.PPL}$	peso da máquina principal
W_{PANGA}	peso da panga
$W_{REDE\ PESCA}$	peso da rede de pesca
Z	número de pás do propulsor
α	ângulo vertical entre a linha de água e a roda do casco
α_{BS}	ângulo de "*Buttock*"
½ α°e	meio ângulo de entrada
½ α°r	meio ângulo de saída
φ	ângulo de inclinação do navio
φ_f	ângulo de inundação
Δ	deslocamento do navio (ton)
∇	deslocamento do navio (m^3)
η_b	eficiência nos descansos
η_D	coeficiente quase-propulsivo
η_h	eficiência do casco
η_o	eficiência do hélice em água aberta

η_P	eficiência do propulsor na popa da embarcação
η_r	eficiência relativa rotativa
η_s	eficiência no tubo de popa
η_t	eficiência de transmissão (redutor)
τ_C	coeficiente de carregamento
$\sigma_{0,7r}$	índice de cavitação local
ρ	densidade da água de mar
μ	viscosidade dinâmica
V	viscosidade cinemática
ϕ ($\mathbf{X}$,r_k)	função de mérito penalizada ou função de resposta
$f(\mathbf{X})$	função de mérito ou função objetivo
$p(X,r_k,)$	função de penalização

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. Generalidades 1
1.2. Objetivo do Trabalho 2
1.3. Revisão Bibliográfica 2

2. A INDÚSTRIA PESQUEIRA PERUANA 5

2.1. Os Recursos Pesqueiros e a Riqueza Marinha no Peru 5
2.2. Disponibilidade e Variação dos Recursos Pesqueiros 6
2.3. O Fenômeno “EL NIÑO” e sua Influência na Indústria Pesqueira 6
2.4. Classificação das Espécies Marinhas mais Abundantes no Litoral Peruano 9
2.5. Métodos de Captura 11
2.6. Método de Preservação dos Peixes 13
2.7. A Indústria Pesqueira como Atividade Econômica 15
2.7.1 A Produção de Farinha de Peixe e suas Áreas de Mercado 17
2.7.2 A Frota Pesqueira Peruana 20
2.7.3 Problemática nas Embarcações Pesqueiras 21
2.7.4 O Setor Pesqueiro Peruano 23
2.8. A Autoridade Marítima 24
2.9. As Sociedades Classificadoras 25
2.9.1 Companhias Seguradoras e Classificadoras 26
2.9.2 As Sociedades Classificadoras na Construção e Classificação das Embarcações Pesqueiras 27

3. METODOLOGIA 29

3.1. Generalidades 29
3.2. Espiral de Projeto 30

3.3. Metodologia Proposta 31
3.4. Técnicas Utilizadas na Metodologia Proposto 32
3.4.1 Projeto Paramétrico 33
3.4.2 Redes Neurais Artificiais 34
3.4.3 Procedimentos de Otimização 35
3.5. Cálculo das Dimensões Principais e Coeficientes de Forma 36
3.6. Cálculo de Pesos 41
3.7. Cálculo de Resistência ao Avanço 45
3.7.1 Calculo de Resistência pelo Método da FAO 46
3.7.2 Campo de Validade 47
3.7.3 Aumento de Resistência devido à existência de Ondas 48
3.7.4 Resistência do Ar e do Vento 49
3.8. Estimativa de Potência 50
3.9. Coeficientes Relacionados com o Sistema Propulsivo 51
3.9.1 Coeficiente de Esteira 53
3.9.2 Coeficiente de Redução da Força Propulsora 54
3.9.3 Eficiência Propulsora 55
3.10. Características do Propulsor 59
3.10.1 Diâmetro do Propulsor 62
3.10.2 Número de Pás do Propulsor 62
3.10.3 Área das Pás e relação de Áreas 63
3.10.4 Índice de Cavitação 64
3.10.5 Cálculo do índice de Cavitação 66
3.11. Integração do Conjunto Casco-Hélice-Motor 68
3.12. Estabilidade 71
3.12.1 Critérios de Estabilidade Intacta para Pesqueiros 72
3.12.2 Cálculo de Estabilidade Inicial 74
3.12.3 Cálculo de Centros 75
3.12.4 Condições de Carregamento para Navios Pesqueiros 78

4. VALIDAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO 80

4.1. Descrição e Aspectos Gerais 80
4.2. Determinação das Variáveis de Projeto 81

4.3. Aplicação do Método em Embarcações Existentes 83
4.4. Aplicação do Método em Embarcações em Projeto 86
4.5. Comentários e Analise dos Resultados 86

5. APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE BUSCA 89

5.1. Generalidades..... 89
5.2. O algoritmo MBA..... 90
5.3. O Método de Busca 91
5.4. As penalizações no processo 93
5.5. O resultado do processo 94

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 95

6.1. Síntese do Trabalho..... 95
6.2. Conclusões 96
6.3. Recomendações 97

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 98

APÊNDICE A - Características das embarcações pesqueiras utilizadas na avaliação para estabelecer a relação entre o volume do porão e as dimensões principais do casco (V_P /LBD)..... 104
APÊNDICE B - Valores da borda livre mínima em relação ao comprimento da embarcação imposta pela Autoridade Marítima..... 108
APÊNDICE C - Cálculo do índice de cavitação utilizando redes neurais.. 109
APÊNDICE D - Cálculo do $KM/\nabla^{1/3}$ utilizando redes neurais..... 111
APÊNDICE E - Característica de motores marinos marca Caterpillar utilizados no banco de dados do programa..... 113
APÊNDICE F - Resultados dos testes pré-otimização utilizando a metodologia proposta em embarcações existentes..... 115
APÊNDICE G - Resultados dos testes pré-otimização utilizando a metodologia proposta em embarcações em projeto..... 116

APÊNDICE H - Resultados do teste de otimização utilizando a metodologia proposta em um projeto de embarcação pesqueira do tipo de cerco de 400 m^3 de volume do porão..... 117

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

Com objetivo de tentar tornar a vida no mar o mais segura possível, órgãos internacionais e sociedades classificadoras ditam normas para garantir que os navios possam desempenhar suas atividades adequadamente e com segurança. Assim, cada tipo de navio deve atender a diversos critérios segundo a missão para a qual foi concebido. Nesse sentido, o navio pesqueiro é uma embarcação especializada que tem por função a realização de tarefas definidas e, portanto, a ele se aplicam normas específicas.

A missão para a qual o navio pesqueiro é feito afeta muito seu projeto. Segundo descrito no curso de capacitação FAO/NORUEGA (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) sobre projeto de embarcações pesqueiras [1], afirma-se que as dimensões da embarcação, o arranjo do convés, a capacidade de carga do porão, o sistema propulsivo e os equipamentos de pesca encontram-se todos relacionados com o método de pesca empregado e o tipo de espécie a ser capturada.

Segundo um levantamento de dados feito por Hardy [2], entre 44 países pesqueiros cujas capturas somam aproximadamente 93% da pesca mundial e que mostra a distribuição mundial dos principais navios de pesca, assim como dados da FAO [3] sobre as características técnicas e operacionais das embarcações pesqueiras peruanas; às embarcações de pesca que operam no litoral do Peru são principalmente do tipo de cerco. Este tipo de pesca consiste basicamente em encurralar o cardume com a rede de pesca, e será explicado para um melhor entendimento oportunamente.

Isto se justifica pelo fato de que as principais espécies marinhas que nele habitam encontram-se em grandes cardumes, relativamente perto da costa e em uma profundidade relativamente baixa; são as chamadas espécies pelágicas que serão descritas com maior detalhe no transcorrer deste trabalho.

1.2. Objetivo do Trabalho

O objetivo deste trabalho é o de elaborar uma metodologia de projeto de embarcações pesqueiras como alternativa ao processo clássico baseado na seqüência do Espiral de Projeto, Evans [4]. A metodologia proposta faz uso de um algoritmo de otimização que tem como finalidade automatizar cada uma das etapas e aperfeiçoar o resultado final mediante a busca, dentro do espaço de soluções viáveis (chamadas de soluções satisfatórias), da solução “ótima”, ou seja, a melhor solução para uma determinada condição.

Desta forma, poderão projetar-se com boa aproximação as características de uma embarcação nova a partir dos requisitos do armador, assim como, fixando algumas variáveis consideradas normalmente como de projeto, procurar as melhores dimensões do casco ou qualquer outra característica de uma embarcação já construída que melhor atenda a função objetivo procurada.

Além da redução de tempo proporcionado por estes modelos na definição de possíveis soluções, também há a possibilidade de se conseguir analisar rapidamente outras alternativas de solução em função de alterações nos requisitos.

1.3. Revisão Bibliográfica

Para estabelecer os critérios das dimensões e características dos navios pesqueiros, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre embarcações de pesca. Como os arranjos e as dimensões das embarcações pesqueiras são geralmente padronizados para um determinado tipo de pesca, podem-se estabelecer relações entre suas diversas características para, a partir dos requisitos do armador e das considerações de dados de embarcações semelhantes, poderem projetar um navio novo. Baseado neste princípio, Benford e Kossa [5], mostram graficamente a relação existente entre diversas características de embarcações pesqueiras de aço construídas nos Estados Unidos, no que se referem às dimensões, pesos e custos.

Desta mesma forma, Gueroult [6] expõe um modelo de projeto de embarcações pesqueiras baseado em uma combinação de resultados estatísticos analisados e na experiência humana. O autor menciona que o projeto deve ser feito seguindo o método da máxima prudência, mediante parâmetros pertinentes e

partindo principalmente de considerações econômicas para decidir a capacidade do porão, sendo este fator de extrema relevância em uma embarcação pesqueira.

Assim, pode-se obter, de maneira geral, o perfil da embarcação segundo uma relação de volume de carga e deslocamento, conforme a relação estabelecida pelos resultados obtidos da curva de Gueroult [6], baseada em projetos conhecidos de embarcações pesqueiras entre 20 e 90 metros de comprimento com grande capacidade de carga. Portanto, a primeira análise que se deve fazer quando se procura as principais dimensões de uma embarcação de pesca é a de relacionar sua capacidade de porão com o deslocamento e este, por sua vez, seguindo uma seqüência de cálculos, com o comprimento, a boca, o calado e o pontal.

No que diz respeito à informação sobre embarcações pesqueiras no Peru, verificou-se que apesar do país contar com uma grande frota pesqueira, existem dificuldades na obtenção de informações confiáveis e atualizadas para efetuar uma regressão a partir de dados próprios. Dessa forma, foi pertinente a utilização da informação bibliográfica disponível com uma avaliação prévia em embarcações conhecidas que operam no litoral peruano a fim de validar tal informação.

Nesse sentido, efetuou-se um levantamento de dados em duas das capitanias de porto dos portos pesqueiros mais importantes do país: a de Callao e a de Chimbote. Nesses portos encontram-se localizadas as instalações dos maiores estaleiros do país e neles realizam-se as construções, reparações e manutenção das embarcações pesqueiras. Assim, da informação recolhida dos livros de registro de embarcações, disponíveis nas capitanias dos portos, verificou-se que os dados são incompletos e em alguns casos incoerentes, reafirmando-se com isto a impossibilidade da regressão própria.

Dessa mesma pesquisa, constatou-se também da existência de um sistema informatizado de controle sobre o registro de embarcações em nível nacional. Porém, o mesmo encontra-se em atualização e modernização, pois ao longo dos anos existiram diversos programas incompatíveis entre si, que não possibilitavam transferir dados de um sistema para o outro, gerando-se com isto duplicidade de registros e desordem no controle de informação.

É conveniente apontar também que os critérios de registro das características das embarcações foram adotados como sendo variáveis para cada sistema, no tempo associado. Os dados disponíveis no sistema são reflexo do conteúdo dos

livros de registro das capitanias e, portanto, conserva os mesmos erros e falhas apontados acima.

CAPÍTULO 2

2. A INDÚSTRIA PESQUEIRA PERUANA

2.1. Os Recursos Pesqueiros e a Riqueza Marinha no Peru

A riqueza em nutrientes do mar peruano possibilita uma grande diversidade ictiológica[1] que o converte em uma das reservas marinhas mais importantes do mundo. Sua biomassa tem grande proporção de espécies industrializáveis, que permite o desenvolvimento da indústria pesqueira como uma atividade importante para a economia nacional. Estas condições privilegiadas tornaram o Peru, o maior exportador de farinha e óleo de peixe do mundo, no caso da farinha junto ao Chile, Dinamarca e Islândia, embora estes últimos paises com quantidades muito inferiores, e no caso do óleo junto à Dinamarca, Estados Unidos e Islândia, *International Fishmeal and Fish Oil Organization* [7].

O Peru tem uma extensão territorial de 1.285.216 km^2, com uma costa marítima - Oceano Pacífico - de 2.330 km de comprimento e uma zona de jurisdição nacional (200 milhas náuticas) de 617.500 km^2 que se caracteriza por sua grande riqueza e alta produtividade.

Por ter uma das zonas de maior afloramento do mundo e por fatores de ordem climatológica, geológica e biológica, a biomassa de peixes presentes no mar peruano é muito alta, além de encontrar-se relativamente perto da costa. Entre 40% e 70% desta biomassa encontra-se geralmente a menos de 30 milhas de costa e, de 70% a 90% dela, encontra-se a menos de 60 milhas, *Oceanica* [8].

Estima-se que a biomassa média das principais espécies de interesse comercial sofreu variação nos últimos anos de 8 a 20 milhões de toneladas, com um potencial de captura total permitido também muito variável, entre 4 e 9 milhões de toneladas por ano, *Oceanica* [8].

---

[1] Define-se por ictiologia a parte da zoologia que estuda os peixes.

2.2. Disponibilidade e Variação dos Recursos Pesqueiros

Das informações disponíveis sobre captura e abundância das espécies marinhas, pode-se afirmar que existem grandes variações da disponibilidade destes recursos de um ano para o outro. Isto, em grande parte, deve-se a causas naturais, sobretudo às condições ambientais que determinam mudanças na temperatura das águas e que influenciam diretamente na quantidade e na distribuição de cada espécie, principalmente pela existência do fenômeno natural muito conhecido denominado “EL NIÑO”. Ainda assim, em muitos casos, as mudanças de aspecto negativo têm sido causadas pelo homem ao fazer uma excessiva exploração, reduzindo constantemente a abundância dos recursos pesqueiros.

Apesar das grandes variações das espécies tomadas individualmente, a biomassa total delas, que tem interesse comercial, e suas respectivas capturas potenciais permanecem quase sempre altas e globalmente representam variações menos marcantes. Esta alta disponibilidade dos recursos pesqueiros, sua relativa proximidade à costa e as condições favoráveis de navegação e de pesca tornam possível que, ao longo do litoral peruano, a pesca dure praticamente todo o ano, com capturas relativamente altas, ainda que com embarcações antigas e sem equipamento apropriado, que caracterizam tanto a frota industrial como a frota artesanal peruana.

Devido também aos fatos anteriores, 95% destas embarcações dedicadas exclusivamente à pesca de cerco não tem qualquer sistema de refrigeração para a conservação do peixe, FAO [3].

2.3. O Fenômeno “EL NIÑO” e sua Influência na Indústria Pesqueira

É de vital importância conhecer a influência do fenômeno denominado “EL NIÑO” em relação ao desembarque dos recursos pesqueiros, pois, como será explicado adiante, tal fenômeno afeta seriamente o comportamento das espécies marinhas e, portanto, a indústria pesqueira em geral.

O “EL NIÑO” é uma alteração oceano-atmosférica que acontece em grande escala, abrangendo amplas regiões geográficas do Pacífico. As zonas mais afetadas estão situadas entre Austrália e Indonésia de um lado e os paises da América do Sul

por outro, especificamente a zona costeira e marítima do Pacífico Sudoeste, onde se encontra o litoral peruano (Figura 2.1). As alterações geradas pelo “EL NIÑO” manifestam-se das seguintes formas:

América do Sul:

- Aumento da temperatura da Corrente de Humboldt ou Corrente Peruana, principalmente na camada superficial e áreas costeiras, afetando a salinidade da água.
- Redução da intensidade e quantidade dos afloramentos, por alterações da salinidade e do teor de oxigênio na água do mar, com implicações na disponibilidade de recursos pesqueiros.
- Elevação do nível do mar (em condições normais o nível do mar na zona ocidental do pacifico é meio metro acima que nas costas do Peru e Equador).
- Intensa formação de nuvens e chuvas fortes.

Sudeste Asiático:

- Chuvas escassas com períodos muito secos.
- Esfriamento do oceano.
- Pouca formação de nuvens.
- Alta pressão atmosférica.

Este fenômeno em geral apresenta ao final uma fase fria, que se caracteriza por ocasionais temperaturas baixas no Oceano Pacifico equatorial e que é conhecida como “LA NIÑA” (Figura 2.2).

O fenômeno determina diversas alterações no ecossistema marinho, principalmente na cadeia biológica e nos seus processos, afetando em forma negativa aos recursos pelágicos, principalmente ao biqueirão, e a aos recursos demersais, as características de ambos os grupos de peixes serão explicadas posteriormente.

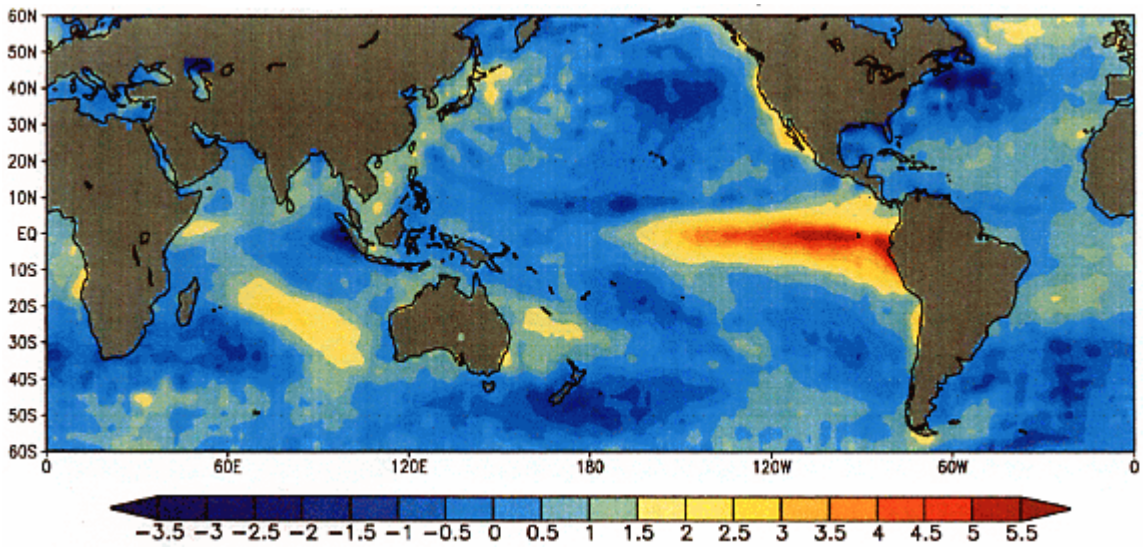

Figura 2-1 O fenômeno "EL NIÑO"

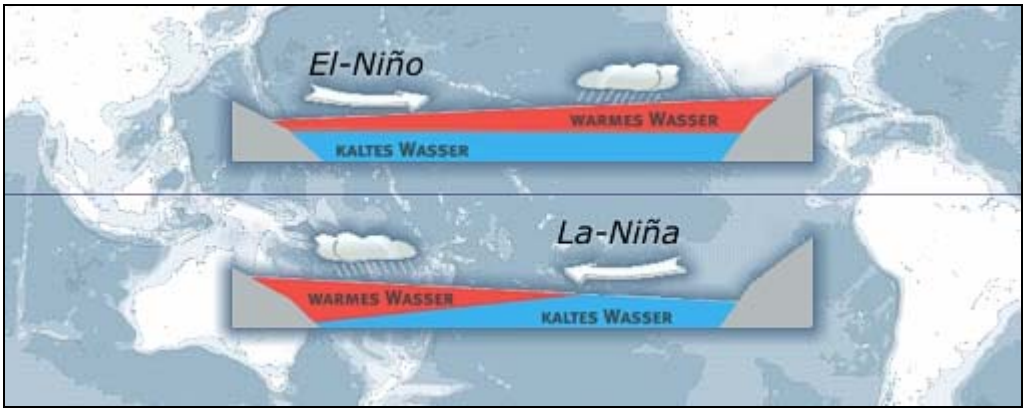

Figura 2-2 O fenómeno "LA NIÑA"

A recorrência do "EL NIÑO" é repetitiva, apesar de não haver ciclos exatamente definidos, diversos pesquisadores concordam que um fenômeno "EL NIÑO" de intensidade fraca ou moderada pode ser esperado a cada 3 ou 4 anos, fenômenos fortes como em 1930/1931, 1940/1941, 1957/1958 e 1972/1973, têm ocorrido em média a cada 9 ou 10 anos. Eventos extraordinários como o de 1982/1983 e 1997/1998 quando o fenômeno não só afetou a indústria pesqueira como a agricultura e outros setores da economia, principalmente na parte norte do país, tem ocorrido também nos anos 1578, 1728, 1790/1793, 1828, 1876/1878, 1891 e 1925/1926, assim tem acontecido 9 eventos muito fortes em 475 anos, em media um cada 50 anos.

Segundo Arnaiz [9], muitos parâmetros de caráter meteorológico e oceanográfico interferem na intensidade do fenômeno "EL NIÑO", mas o aumento da

temperatura superficial do mar é o mais representativo em quanto ao interesse da atividade pesqueira, pois este afeta significativamente o habitat das espécies marinhas causando baixa disponibilidade dos recursos pesqueiros, principalmente em função das seguintes alterações:

- Redução da intensidade de afloramentos, ocasionando diminuição de nutrientes para o desenvolvimento e o crescimento da produção primaria (plâncton), a qual constitui o principal alimento das espécies pelágicas.
- Aprofundamento da camada de isoterma de 15°C até os 150 ou 200 metros de profundidade, no lugar dos usuais 50 a 60 metros, alterando, o habitat do biqueirão.

Com o aprofundamento desta camada de 15°C, os equipamentos de pesca ficam impossibilitados de efetuar a captura, além disso, se somarmos a falta de autonomia e de equipamentos apropriados para a captura de outras espécies marinhas, a maioria das embarcações não consegui adaptar-se às novas condições de pesca.

Pode-se concluir então, que existe uma relação direta entre a intensidade do fenômeno “EL NIÑO” e a diminuição da atividade pesqueira no país.

2.4. Classificação das Espécies Marinhas mais Abundantes no Litoral Peruano

De acordo com o *Instituto del Mar del Peru* (IMARPE) os grupos de peixes no litoral peruano se classificam segundo seu habitat e seu alimento, assim temos três grandes grupos e outros menores que alguns autores os agrupam em um quarto grupo chamado Outros. Desta forma Calienes apud Arnaiz (1996) [9], descreve estes grupos de peixes e indica as espécies mais representativas com seus respectivos nomes científicos:

a. **Pelágicos**: Constituído por espécies que se agrupam em grandes cardumes e vivem na camada superficial do mar, deslocando-se de

acordo com a temperatura das águas. As espécies de interesse comercial deste grupo são:

Biqueirão	"*Engraulis Ringes*"
Sardinha	"*Sardinops Sagax*"
Carapau	"*Trachurus Pictarus*"
Cavala	"*Scomber Japonicus Peruanus*"
Bonito	"*Sarda Chiliensis*"
Atum	"*Thunnus Spp*"

Todas estas espécies contribuem com mais de 90% dos desembarques de pesca nos portos peruanos, assim como da biomassa total dos recursos pesqueiros conhecidos e explorados. As capturas destas espécies variaram entre 1,4 milhões de toneladas em 1984 até mais de 10 milhões de toneladas em 1994, superando às vezes o permitido e recomendado pelo IMARPE (Organismo do estado peruano encarregado de determinar as cotas de pesca e o período de piracema). Esta sobre-exploração é normalmente mais freqüente no caso do Biqueirão.

b. **Demersais**: Neste grupo estão consideradas espécies que habitam a profundezas que podem chegar a mais de 500 metros. Apresentando ampla diversidade, as espécies mais dominantes são:

Merluza	"*Merluccius Gayi Peruanus*"
Cação	"*MustelusWhitneyi* "

Entre essas, a mais importante é a merluza, que é principalmente capturada por navios de arrasto da frota industrial e se desloca a uma profundidade de aproximadamente 200 metros. As capturas anuais desta espécie oscilaram entre 300 mil toneladas em 1978 até 6 mil toneladas em 1983, ano muito particular em que ocorreu um fenômeno "EL NIÑO" de intensidade forte.

c. **Costeiros ou Litorâneos**: Conformado por espécies associadas às águas costeiras. Integram este grupo as espécies conhecidas como:

Menhadem	"*Ethmidium Macul Atuns*"
Seriolelas	"*Seriolella Spp*"
Tainha	"*Mugil Cephalus*"
Corvinata	"*Otolithhus Peruanus*"

Estas espécies são capturadas quase exclusivamente pela frota artesanal. As capturas globais dos recursos costeiros variam de 40 a 77 mil toneladas por ano, mas é bem possível que sejam espécies sub-exploradas.

d. **Outros**: Integram este grupo um grande número de espécies, cujas quantidades de desembarque são baixas em relação aos outros grupos, mas são muito cotadas no mercado local e internacional; destacam-se as seguintes:

Pota gigante	"*Dosidicus gigas*"
Enguia	"*Anguilla Spp*"

2.5. Métodos de Captura

O principal tipo de pesca atualmente efetuado no Peru é a pesca de cerco para as espécies pelágicas como o biqueirão, e em menor grau a pesca de arrasto para espécies demersais como a merluza.

Estes tipos de pesca, caracterizados pelo grande volume de captura, são descritos por Gómez [10] como segui:

a. **Pesca com rede de cerco:** Este método consiste em encurralar o cardume dentro da rede, daí seu nome de "pesca de cerco". A rede é lançada ao mar por um dos bordos do navio com uma das suas extremidades presa a uma bóia ancorada, esta rede é de forma retangular e conta com flutuadores na parte superior e pesos na parte inferior (fundo). Uma vez iniciada a manobra, a embarcação realiza um deslocamento circular de 360° graus ao redor do cardume ate fecha-lo dentro da rede, assim tem-se no final da manobra, um espaço cilíndrico

definido pela rede. Passa-se então a puxar um cabo no fundo da rede até que, junto ao navio, tenha-se formado uma sacola contendo o cardume. O peixe é retirado da rede, ainda no mar, por sucção de uma bomba que o descarrega nos porões da embarcação (Figura 2.3).

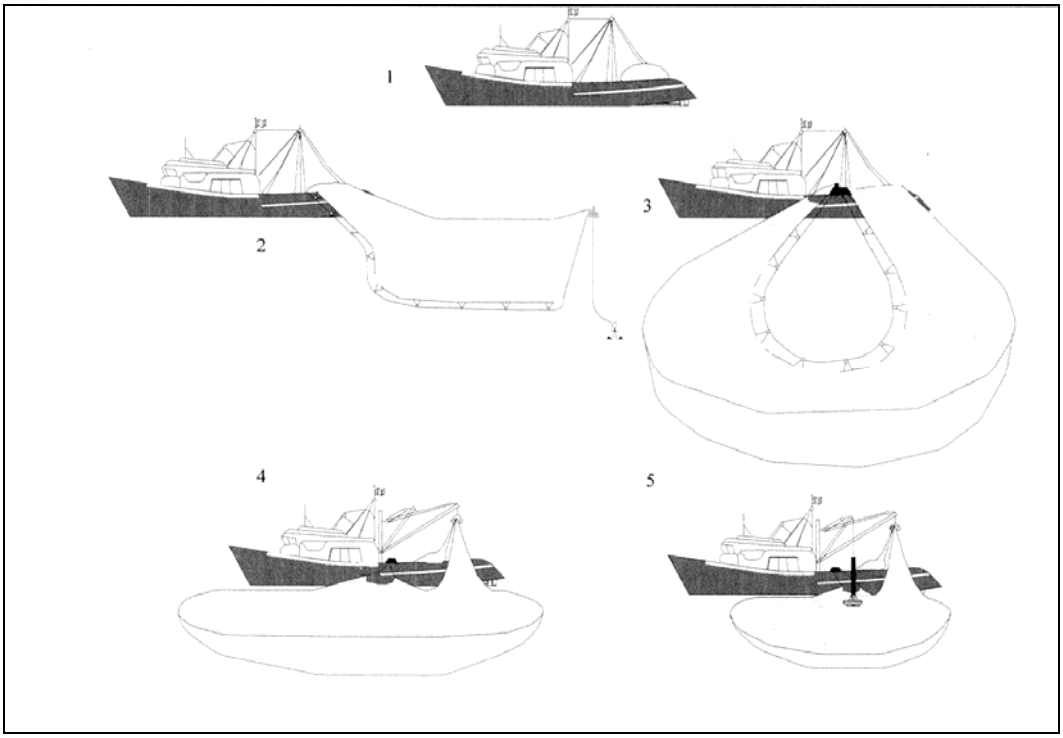

Figura 2-3 Seqüência da manobra de pesca tipo cerco (Moreno, 1995)

b. **Pesca com rede de arrasto:** Este método consiste em rebocar uma rede em forma de saco a certa profundidade, durante um período de tempo e a uma determinada velocidade, em geral de 3 a 4 nós. A boca da rede é mantida aberta através de varas horizontais e verticais, além de flutuadores e pesos localizadas nas partes superior e inferior, respectivamente. A diferencia da pesca de cerco, a operação conclui com o içamento da rede a fim de trazer o peixe para o convés da embarcação (Figura 2.4).

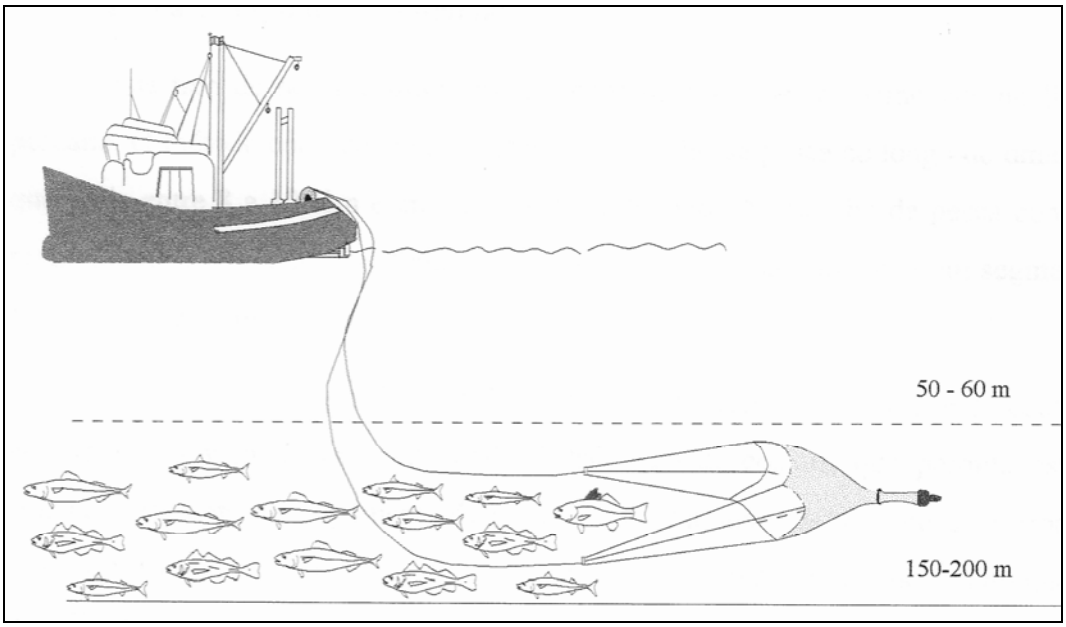

Figura 2-4 Manobra de pesca tipo arrasto (Moreno, 1995)

2.6. Método de Preservação dos Peixes

A decomposição do peixe segundo Arnaiz [9], se deve a duas causas: a autólise e a multiplicação dos germes. A decomposição natural (autólise) inicia-se com a coagulação das proteínas; após algumas horas se inicia a decomposição destas em compostos de nitrogênio, sobretudo a trimetilamina contida nos fosfolípidos, a qual produz um cheiro desagradável, quando mais forte o odor fica mais evidente o grau de decomposição em que se encontra o peixe e em conseqüência o mal estado do produto. De todos os tipos de carne a de peixe é a mais susceptível a autólise.

A multiplicação dos germes tem uma influência mais decisiva na decomposição do peixe. Há uma grande variedade de microorganismos (leveduras, fungos e bactérias) que vivem na proteína mucosa da superfície (pele) e no sistema digestivo do peixe, logo quando ele morre se multiplicam e atacam rapidamente todos os componentes dos tecidos, ainda quando refrigerados, e com maior rapidez quando em condições ambientais favoráveis.

Assim, é conveniente evitar a degradação do produto de pesca para não ver-se afetado com uma menor cotação dele no momento da descarga, pois a qualidade dos produtos pesqueiros processados, como a farinha de peixe, depende muito do

estado de conservação da matéria prima: o peixe. O mecanismo para diminuir a atividade enzimática e microbiana no peixe para que permaneça em boas condições de consumo é mantê-lo frio. Não obstante, as baixas temperaturas não destroem nem as enzimas nem os microorganismos que causam a decomposição, só retardam sua ação destrutiva.

Antigamente o armazenamento e transporte do peixe nas embarcações pesqueiras se efetuava exclusivamente com gelo, pelo qual a capacidade dos porões e o tempo das jornadas de pesca eram consideravelmente limitadas, mas com os avanços tecnológicos na área de congelamento e armazenamento, hoje as jornadas de pesca podem ser cada vez maiores, ficando limitada só por razões de autonomia, ou simplesmente em função da sua capacidade de carga.

Com sistemas da refrigeração cada vez mais eficientes, o peixe pode chegar em bom estado para a descarga. A seguir mencionaremos três tipos de métodos de conservação, Arnaiz [9] e Gómez [10]:

a. **Acondicionamento em gelo:** O acondicionamento em gelo é largamente utilizado por constituir-se em um processo eficaz de conservação e é utilizado normalmente em pequenas embarcações de pesca artesanal. Este método prevê que a embarcação transporte, desde o porto de saída, uma quantidade suficiente de gelo para refrigerar o peixe a 0° e mantê-lo nessa temperatura o resto da viagem. Apesar de ter um baixo custo de implantação e manutenção, este processo também possui uma grande restrição, o tempo no mar não deve exceder 15 dias para peixe submetido a processo de evisceração, sendo muito menor em caso contrário.

   Na prática, a quantidade de gelo necessária para manter o peixe em boas condições depende de vários fatores, dentre as quais se destacam o clima da região e a distribuição de peixe com o gelo no porão.

b. **Instalação frigorífica:** A instalação frigorífica possui um alto custo de instalação e manutenção, portanto somente espécies de alto valor econômico, capturadas em zonas de pesca distantes, justificam uma embarcação com este tipo de sistema. Sua temperatura de

acondicionamento é variável e pode chegar ate - 60°C, prolongando-se com isto o tempo de permanência no mar por vários meses.

c. **Acondicionamento com Água de Mar Refrigerada:** O sistema resume-se em refrigerar os porões da embarcação por meio de água do mar resfriada. Atualmente, os pesqueiros peruanos de grande capacidade, construídos durante a última década, principalmente a partir de 1992, estão utilizando este sistema, são os chamados RSW por suas siglas em inglês *Refrigerated Salted Water* ou também AMR por seu significado em espanhol *Água de Mar Refrigerada*, FAO [3]. Consiste em refrigerar água armazenada nos porões, em uma temperatura de 0°C a 2°C e em porcentagens de 15% a 25% de água de mar refrigerada para 85% a 75% de peixes respectivamente.

2.7. A Indústria Pesqueira como Atividade Econômica

O Peru é considerado como um dos países, em nível mundial, que mais pesca realiza. Seu mar de excepcional riqueza ictiológica permitiu que o setor pesqueiro se desenvolvesse e se expandisse até consolidar-se como a segunda atividade produtiva mais importante no país, alcançando 9,6% do total das exportações (Figura 2.5), principalmente com produtos denominados de consumo humano indireto (CHI). No ano de 2005, as exportações pesqueiras totais acumularam US$ 1.632,1 milhões, crescendo 18% (Figura 2.6) em relação ao ano anterior, SNP [11]. Dessa forma, existe uma grande frota industrial de pesca com diversas capacidades e características, principalmente dedicada à pesca de cerco.

Esta frota opera ao longo da costa peruana e, geralmente, esta dedicada à captura do biqueirão, pois esta espécie é usada na produção de farinha e óleo de peixe, produtos exportados para vários países da Ásia e da Europa principalmente China, Japão, Taiwan e Alemanha, por ser considerados melhores nutrientes que a proteína de origem vegetal que se utiliza para a alimentação de aves e do gado. No Peru, só a indústria para a produção de farinha e óleo de peixe consome entre 7 e 10 milhões de toneladas por ano desta espécie.

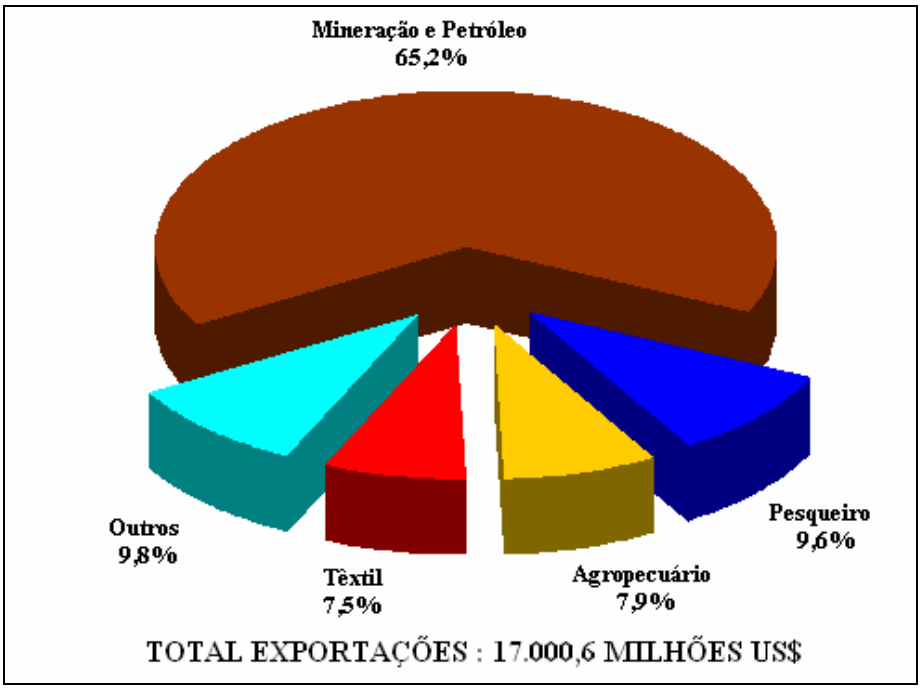

Figura 2-5 Exportações peruanas totais (SNP, 2005)

Segundo o balanço da atividade pesqueira 2005, apresentado pela *Sociedad Nacional de Pesquería* do Peru (SNP) [11], o biqueirão representou 92,1 % do desembarque total correspondente a 9.285.365 toneladas durante esse período (Figura 2.7). Essa é a melhor explicação para a maioria das embarcações pesqueiras no Peru serem do tipo de cerco. Além disso, a pesca de cerco oferece uma grande vantagem, pois permite realizar uma pesca seletiva, resultando em uma grande rentabilidade, toda vez que se escolhe a espécie a capturar e esta normalmente se concentra em grandes cardumes.

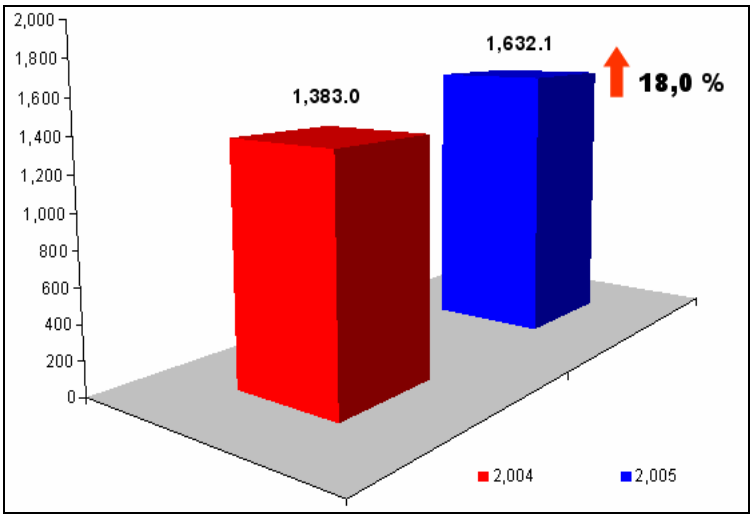

Figura 2-6 Comparativo exportações pesqueiras 2004 – 2005 (SNP, 2005)

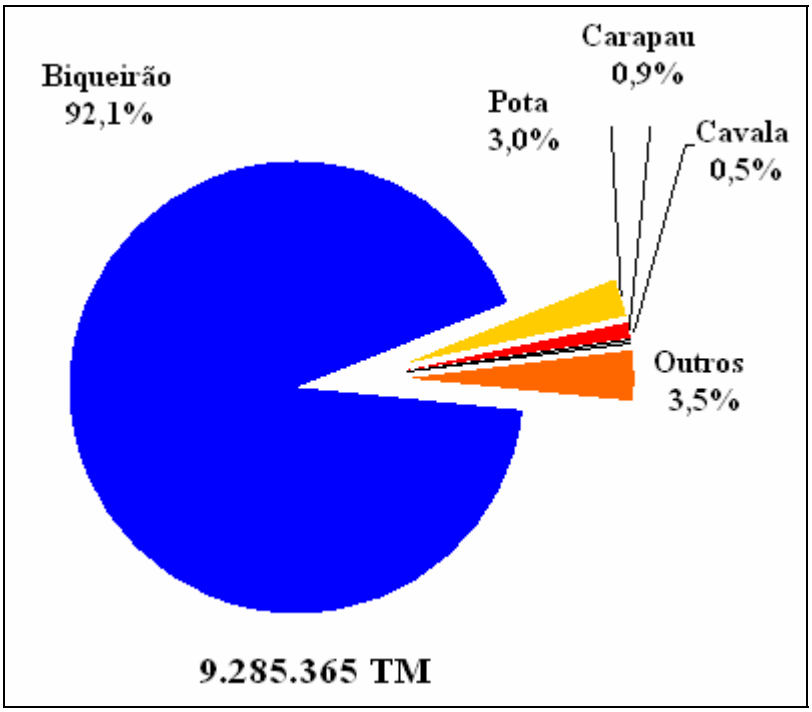

Figura 2-7 Tendências da pescaria peruana (SNP, 2005)

2.7.1 A Produção de Farinha de Peixe e suas Áreas de Mercado

A produção de farinha de peixe se divide em farinhas especiais e *FAQ-Standard*. Dentro das farinhas especiais, que correspondem a 44,3% da produção total (Figura 2.8), temos a *Prime* e a *Super Prime*, sendo esta última é a de maior cotação no mercado. A produção de todas elas depende diretamente do estado de conservação do peixe, correspondendo à *Super Prime* o peixe mais fresco e em ótimo estado de conservação.

A seguinte seqüência de atividades nos dá uma breve descrição do processo produtivo da farinha de peixe, a qual é basicamente obtida pelo processo de redução de água e do óleo do peixe, nas seguintes fases:

- Cozimento com vapor aplicado em forma direta.
- Pré-secagem para maior eficiência na prensagem.
- Prensagem, nesta operação, ocorre a separação dos sólidos, água e óleo.
- Evaporação de líquidos.
- Secagem, tem por finalidade deixar a farinha com 8% de umidade ou menos.
- Moagem.

- Empacotamento (Em sacolas de poliuretano, preferentemente com anti-oxidantes).

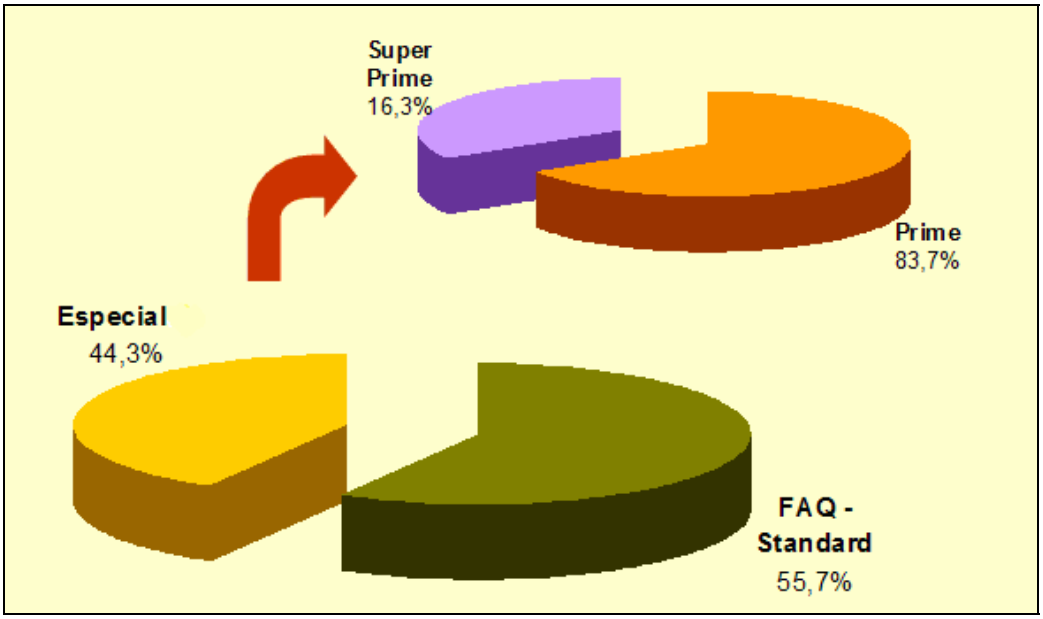

Figura 2-8 Produção de farinha de peixe segundo seu tipo (SNP, 2005)

Como resultado, obtém-se um composto de proteínas, gordura, matéria mineral e umidade em porcentagens padronizadas para este tipo de farinha. Produz-se uma tonelada de farinha para 4,58 toneladas de peixe, Revista *Proceso Económico* [12].

As porcentagens de cada um dos componentes variam de acordo com a qualidade da matéria prima e com a maquinaria e os equipamentos instalados nas fábricas de farinha de peixe. Os constituintes da farinha são importantes alimentos para aves e animais, sendo considerados melhores nutrientes que a proteína de origem vegetal, oriunda da farinha de soja, que também é utilizada para o mesmo propósito.

Dentre os principais importadores de farinha de peixe, temos grandes economias globais como a China, Taiwan, Japão, Coréia, Estados Unidos, Reino Unido, Noruega e Alemanha. Alguns deles, como os Estados Unidos, também são produtores, mas em pequenas quantidades que são insuficientes para atendimento do mercado interno. No caso de Alemanha, seu alto nível de importação deve-se ao fato deste país ser um centro de distribuição do produto na Comunidade Européia.

O Peru destina mais de 90% do total da sua produção ao mercado externo. A farinha de peixe é oferecida a mais de 50 países, sendo que China, com mais de 1 milhão de toneladas por ano, é o maior importador do mundo, seguido pelo Japão com 400.000 toneladas, Taiwan com 250.000 toneladas e Alemanha com 200.000 toneladas anuais respectivamente.

Por outro lado, os maiores importadores de óleo de peixe são a Noruega com 200.000 toneladas e o Chile com 90.000 toneladas anuais, destinadas em sua maioria à criação de salmão.

Apesar da maioria da pesca estar destinada à produção de farinha de peixe (Figura 2.9), o desembarque para a produção de enlatados para exportação está em notório crescimento, tendo constatado aumento de 26.881 toneladas em 2002 até aproximadamente as 87.600 toneladas em 2005. (Figura 2.10).

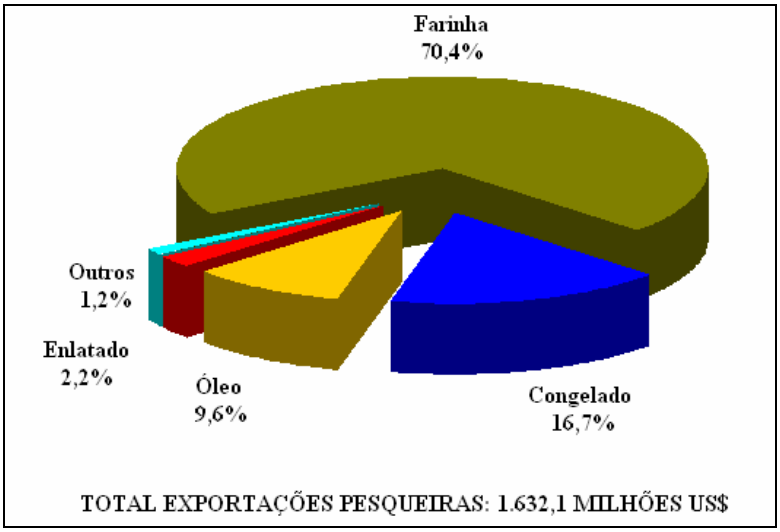

Figura 2-9 Exportações por participação (SNP,2005)

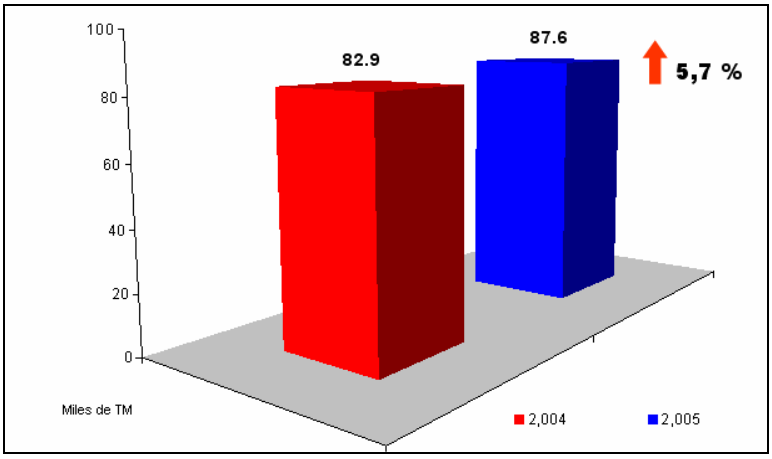

Figura 2-10 Desembarque para enlatados (SNP,2005)

2.7.2 A Frota Pesqueira Peruana

Certamente, o aumento da pesca nos últimos anos e, em especial na década de 90, passando de 3,6 milhões de toneladas em 1985 para 10,9 milhões de toneladas desembarcadas em 1994, estimulou os investimentos em fábricas de farinha de peixe e no aumento da frota pesqueira.

Segundo o *Instituto Nacional de Estadística* do Peru (INEI) que cita como fonte de informação o *Ministério de Pesqueria* [12] (atualmente *Ministério de la Produción*), em 1980, a frota pesqueira destinada à exploração de recursos para CHI estava constituída por 430 embarcações com uma capacidade de porão de 110.240 toneladas. Este número foi seriamente afetado pelo fenômeno de "EL NIÑO" de 1983, que reduziu a frota para 310 embarcações com uma capacidade de porão 30% menor.

Foi a partir de 1986, quando a biomassa do biqueirão mostrou uma considerável recuperação, que o número de embarcações começou a crescer novamente. Segundo um senso realizado no ano de 1993, o número de embarcações para pesca de cerco chegava a 561 e passou para mais de 600 dois anos depois.

De acordo com um segundo censo realizado em 1996, o número total de embarcações de pesca aumentou para 1.194, das quais só 800 estariam em condições de operar no mar, pois o restante estaria em construção, inoperantes ou sinistradas. Ainda assim, o número de embarcações para a pesca de cerco indicou um aumento com relação ao censo anterior. Em princípio, haveria um número bastante superior de embarcações em comparação com o censo de 1993, o que mostra a velocidade na construção de novas embarcações e a recuperação das inoperantes e sinistradas.

Em suma, esse último senso indicou o extraordinário crescimento da frota pesqueira à margem das normas ditadas pelo Governo Peruano para limitar o crescimento da capacidade de captura. Tais normas tinham a finalidade de evitar um colapso parecido ao de 1972, quando a frota pesqueira quase arrasou o total da biomassa do biqueirão, deixando-a sem opção de recuperação, o que determinou, nos anos seguintes, a queda da indústria pesqueira nacional e a quase extinção por predação da espécie.

A última informação obtida sobre a dimensão atual da frota pesqueira industrial para a pesca de cerco menciona a existência de pelo menos 700 embarcações industriais que capturam biqueirão para as fabricas de farinha de peixe, Pesca [13].

2.7.3 Problemática nas Embarcações Pesqueiras

Devido à informalidade com que antigamente se controlavam as embarcações de pesca no Peru, estas eram modificadas estruturalmente sem nenhum critério técnico que avaliasse a estabilidade ou qualquer outro aspecto do navio e, pior ainda, em estaleiros que não contavam com mão de obra qualificada para realizar esses trabalhos. Assim, simplesmente se colocavam cabines de observação em pontos altos da embarcação, se ampliavam porões, se trocavam equipamentos de pescas, motores, etc., sem considerar o sério risco que corria a embarcação e mesmo a tripulação, ao serem modificadas as características de projeto do navio.

Um exemplo disto foi a pratica de compra de embarcações velhas, às vezes inoperantes, com suas respectivas licenças de pesca em ordem, com a finalidade de aproveitar esse volume de pesca autorizado para ampliar a capacidade de porão de outras embarcações, destinando logo o navio velho à sucata. Isto era feito porque novas licenças de pesca só eram expedidas para embarcações que estiveram substituindo navios antigos ou para embarcações que novas que não se dedicassem à captura do biqueirão.

Por outro lado, com o intuito de serem mais competitivos, os armadores trocavam os motores de suas embarcações para torná-las mais velozes. Assim também trocavam os equipamentos de pesca por outros mais potentes e pesados, capazes de movimentar redes maiores, fatores que levaram também a aumentarem as capacidades de seus tanques de combustível, óleo hidráulico e água, tudo isto devido ao fato dos cardumes se encontrarem em maiores profundidades e distâncias das zonas de pesca ser cada vez maiores. Isto também esteve relacionado ao fato de haver a opção de capturar outras espécies que não tinham restrições de pesca durante o ano e cujo habitat estiva afastado da costa.

Foi em anos recentes que as Companhias Seguradoras e a Autoridade Marítima começaram a pressionar os armadores para que estes cumprissem as

normas vigentes buscando evitar acidentes, os quais começavam a ocorrer devido a essas mudanças inadequadas. Assim, agora se verifica a quantidade de pesca descarregada pela embarcação para saber se esta corresponde à que está autorizada para ela, e também a sua borda livre a plena carga, que deve corresponder ao comprimento da embarcação.

Segundo as informações do estaleiro *Servicios Industriales de la Marina* (SIMA)[2], atualmente o maior estaleiro do país, as modificações estruturais para corrigir os problemas mencionados vem sendo realizadas com maior intensidade há 6 ou 7 anos e, principalmente, em embarcações com capacidade de porão entre 150 m^3 e 600 m^3. CHURAMPI (2003) acredita que uma grande porcentagem da frota pesqueira tenha problemas com respeito a estes aspectos (estabilidade e borda livre) e deva passar por processos de modificação estrutural, mas na verdade não existem dados estatísticos oficiais a respeito (informação verbal)[3].

Normalmente a solução para problemas de estabilidade e borda livre das embarcações pesqueiras consiste na modificação das dimensões principais do casco, embora isto não implique que estas não possam ser complementadas com outras modificações que levem o navio a um melhor desempenho operacional ao longo do tempo. Assim, por exemplo, a troca do propulsor pode abrir uma série de alternativas que poderiam refletir em uma determinada solução, sem a necessidade de representar um custo adicional imediato muito elevado.

Um propulsor apropriado está relacionado diretamente aos fenômenos de cavitação, vibrações, carga do motor e, portanto, influi na eficiência do sistema propulsivo. Logo, a troca do propulsor, ainda que possa representar uma diminuição de velocidade, pode ser o complemento que melhor consiga harmonizar o novo conjunto casco-hélice-motor.

Os propulsores têm uma participação importante na economia operacional do navio; ganhos da ordem de 10% ou maiores podem ser atingidos com um sistema propulsivo eficiente, Arnaiz [9].

É nesta avaliação que deve estar presente a experiência e habilidade do engenheiro naval, que além de considerar os requisitos do armador, deve saber apresentar perante o cliente uma alternativa que represente a melhor solução como

---

[2] Estaleiro da Marinha Peruana, este estaleiro conta com três unidades de operação localizados em Callao, Chimbote e Iquitos.

[3] Informação fornecida pelo Engenheiro Naval Daniel CHURAMPI del Departamento de Projetos – Servicios Industriales de la Marina - Chimbote, em Chimbote, em 2003.

um todo. Ou seja, pode mostrar que, modificando alguma outra característica ou parâmetro do navio, pode-se obter uma solução que não prejudique muito o desempenho operacional da embarcação e equilibre ganhos e perdas com requisitos e restrições.

2.7.4 O Setor Pesqueiro Peruano

Como já mencionado, o Peru na década de 70 chegou a ser o principal produtor de farinha de peixe do mundo. Tudo começou na década de 60 com o crescimento e auge da atividade pesqueira, graças aos preços do mercado internacional e aos créditos provenientes dos bancos comerciais.

Uma década depois, a indústria de conservas e o consumo de produtos frescos não haviam se desenvolvido adequadamente, pois o interesse era outro, a produção de farinha de peixe, que, aliás, explorava irracionalmente o biqueirão. No princípio dos anos 70, foram desembarcados ao redor de 12,5 milhões de toneladas anuais de peixe para o consumo industrial, quando a capacidade hidrobiológica total era de só 14 milhões por ano. A sardinha foi outra das espécies irracionalmente explorada, pois as quantidades desembarcadas superaram os limites permitidos.

O motivo da captura indiscriminada sobre aquelas espécies estava no fato de ter que abastecer as fábricas de farinha de peixe em todo o litoral peruano, com capacidade de processar cerca de 8 mil toneladas por hora [12] e, basicamente, pela impossibilidade de capturar outros tipos de espécies pelágicas, cujos habitat estavam mais distanciados da costa. Tais embarcações não contavam com o tamanho e equipamento apropriado, além da falta de sistemas de refrigeração que conservassem o produto em bom estado até a chegada ao porto.

Assim, desde aqueles tempos, existiam espécies sobre-exploradas e sub-exploradas, esta última situação era o caso de espécies como a cavala e o carapau, que normalmente se deslocavam entre as 80 e 200 milhas marinhas e que, até hoje, são espécies cujas quantidades de desembarque estão abaixo do recomendado pelo IMARPE.

Um setor importante dentro da frota pesqueira é ocupada pela frota dedicada à pesca artesanal, praticada com pequenas embarcações motorizadas construídas

em sua grande maioria de madeira, sem sistema de refrigeração e com uma capacidade de porão que não ultrapassa as 30 toneladas.

Diferentemente das embarcações consideradas de pesca industrial, as de pesca artesanal não contam com equipamentos sofisticados de pesca, predominando nelas o esforço humano. No litoral peruano existem aproximadamente 8.000 destas embarcações, as quais realizam suas atividades perto da costa, primeiro pela falta de autonomia e segundo por destinar sua captura normalmente ao consumo humano direto (CHD). Segundo a Lei de Pesca, dentro das 5 milhas de costa só podem operar embarcações de pesca artesanal.

Segundo dados existentes sobre o número de fábricas de farinha de peixe e suas capacidades instaladas, pode-se dizer que estas têm evoluído com o crescimento da frota [12] e, em 1995, já tinham quase a mesma capacidade de processamento que em 1972, época do colapso da indústria pesqueira; ou seja, era possível processar até 7.698 toneladas por hora em um total de 127 fábricas legalmente registradas. Só entre 1991 e 1995 foram investidos mais de um bilhão de dólares nesse setor, valor excessivo considerando que a capacidade de processamento supera amplamente a capacidade de captura e o limite de pesca recomendado pelo IMARPE.

2.8. A Autoridade Marítima

No Peru, a Lei 26620 de 07 Junho de 1996, que trata do Controle e Vigilância das Atividades Marítimas, Fluviais e Lacustres, atribui à *Dirección General de Capitanías y Guarda-Costas de la Marina de Guerra del Perú* (DICAPI) a função de velar pela segurança da vida humana em mares, rios e lagos navegáveis.

Nesse sentido, é de responsabilidade da *Marina de Guerra del Perú* supervisionar o tráfego marítimo, fluvial e lacustre, e regulamentar suas atividades a fim de minimizar o risco de acidentes.

No que tange à atividade pesqueira, existem normas com a finalidade de estabelecer critérios para a determinação da linha de carga máxima ou borda livre, altura metacêntrica mínima requerida, classificação das embarcações segundo suas características e capacidades, distâncias máximas à que estas podem exercer suas atividades, etc., para garantir a segurança dos tripulantes e das próprias

embarcações. Neste processo além de se considerar as características e condições mais preponderantes nas costas do litoral peruano, levam-se em consideração os conceitos fundamentais contidos nas publicações de organismos internacionais como a *International Maritime Organization* (IMO), entre outros.

Assim, por exemplo, a pesca de cerco no litoral peruano tem uma peculiar característica, de que as espécies pelágicas se movimentam em grandes cardumes. Uma vez que a embarcação dedicada à captura destas espécies puxa a rede para o costado e inicia a descarga no porão, gera-se um momento que pode emborcar o navio. Dessa forma, é exigido para este tipo de navios uma altura metacêntrica quase três vezes maior que a disposta pela IMO para embarcações pesqueiras.

Cada aspecto da atividade pesqueira está regulamentado segundo a competência dos organismos que participam dela, assim, o *Ministério de la Producción* é o responsável pela emissão de licenças de pesca e também dispõe os tempos de piracema de pesca para espécies especiais ou áreas determinadas. A Autoridade Marítima é encarregada de fazer cumprir a Lei e é responsável pela autorização de zarpe das embarcações pesqueiras e pela imposição de multas quando aplicáveis. Entretanto, existe um requisito indispensável para que a embarcação tenha sua documentação em ordem, deve estar classificada e segurada.

2.9. As Sociedades Classificadoras

Como garantir que uma embarcação não colapsará ou não emborcará durante o cumprimento de seu trabalho? A resposta a esta pergunta não é simples, pois levam-se em conta múltiplos fatores que devem ser analisados e que intervêm no desenvolvimento do projeto. Para isso, os estaleiros contam com mão de obra especializada no planejamento e construção dos navios. Mas existe ainda uma pergunta que os armadores e as companhias seguradoras sempre têm presente: quem certifica que os trabalhos realizados pelo estaleiro construtor garantem a segurança da embarcação no desempenho das suas funções? Para tranqüilidade deles, existem companhias especializadas que garantem que uma embarcação cumprirá sua função adequadamente e com segurança.

Estas companhias, chamadas de sociedades classificadoras, supervisionam cada detalhe no projeto e na construção das embarcações e realizam inspeções periódicas. Elas realizam um juízo imparcial sobre a eficácia técnica do navio, que serve de grande utilidade em todas as contratações comerciais relacionadas com ele (compra-venda, fretamento, hipoteca, seguro, etc.). Desta forma, sociedades classificadoras garantem ao armador e às companhias seguradoras que uma determinada embarcação, certificada por eles, cumprirá com segurança a função para a qual foi construída.

2.9.1 Companhias Seguradoras e Classificadoras

Através da história, o homem sempre teve conhecimento de que precisava de segurança para sentir a completa felicidade e bem-estar. Por isso, desde que começou a andar pelo mundo cuidava de seus pertences e tentava proteger-se da natureza e outras intempéries.

Como percebeu que a segurança total não existia, aprendeu a andar em grupos organizados e encontrou junto a outros a proteção que precisava contra chuvas, frio e inclusive contra outros homens.

Obviamente, nem todas as lutas lhe eram favoráveis e alguns fatos eram inevitáveis. Assim, como cada incêndio, inundação, etc., enfraquecia o grupo, conceberam a necessidade de compensar de alguma forma os danos causados pela adversidade e, dessa forma, nasceu o que hoje se conhece como seguro.

A história dos seguros começa com o comércio marítimo. Como as viagens pelo mar para levar e trazer mercadorias eram sempre um risco, os navegantes e donos das mercadorias idealizaram um modo de proteção: contribuíam a um fundo comum e, em caso de perda do navio, o dinheiro era entregue ao afetado ou a seus familiares.

Assim, com o contínuo crescimento dos negócios por mar, nos séculos XIII e XIV, os mercadores italianos levaram suas práticas de comércio e seguro para Inglaterra: um grupo de pessoas se comprometia a pagar por todos os danos possíveis da embarcação em troca da já famosa franquia dos comerciantes.

Todos os relatos levam inevitavelmente a um local do século XVIII: o *Lloyd's Coffee House*, um lugar que se converteu no centro de reunião mais concorrido de Londres pelos homens de negócios. Onde os comerciantes encontravam-se

rapidamente com homens de muito dinheiro que asseguravam seus navios e suas mercadorias em troca de uma franquia.

Seu proprietário, Edward Lloyd, tentando atrair clientes, começou a circular listas com dados de navios que poderiam ser objetos de um seguro. Foi desta forma que em 1764, um comitê de seguradores e corretores de seguros publicou o primeiro registro de navios que eram “Classificados” em função de sua qualidade, indicando uma categoria outorgada ao navio pelos inspetores designados pelo mesmo comitê. Esse foi o chamado “Livro Verde”, que continha dados de 15.000 navios para a utilização exclusiva dos membros da sociedade.

A partir da probabilidade de ocorrência de um sinistro, as franquias começaram a ser calculadas e nasceram desta forma as primeiras normas e regulamentos. Com o passar do tempo, aquele local daria seu nome à companhia seguradora mais antiga do mundo: a *Lloyd’s of London*, e também à classificadora: *Lloyd’s Register of Shipping (LR), Rotación* [14] e *El Comercio* [15].

2.9.2 As Sociedades Classificadoras na Construção e Classificação das Embarcações Pesqueiras

A classificação das embarcações pesqueiras baseia-se nos regulamentos que cada sociedade classificadora estabelece para as embarcações construídas em aço, assim temos, por exemplo, que a *American Bureau of Shipping* (ABS) publicou pela primeira vez em Maio de 1988 um guia para a construção e classificação de navios pesqueiros. Esta publicação foi em parte desenvolvida a partir da experiência satisfatória obtida com uma quantidade de embarcações pesqueiras e outras embarcações menores que tinham ótimos resultados. Desde então, a ABS solicitou a um número considerável de peritos em projetos, construção e operação de embarcações pesqueiras do mundo a revisão e comentários dessa primeira edição para ir melhorando suas normas.

O processo de classificação consiste na revisão dos planos do projeto, a inspeção das embarcações durante e depois da construção, a fim de verificar o cumprimento das regras, normas e demais critérios estabelecidos pela sociedade classificadora referente a cada parte da estrutura, equipamentos, materiais, etc., da embarcação.

A classificação é uma manifestação por parte da sociedade classificadora que determina se a embarcação está apta estruturalmente e mecanicamente para um serviço específico conforme as regras, normas e demais critérios estabelecidos. Desta maneira, a sociedade classificadora manifesta ao armador e a qualquer um de seus clientes, por exemplo, companhias seguradoras, que os certificados emitidos por ela evidenciam ou garantem o cumprimento de uma ou mais regras, normas e critérios estabelecidos pela classificadora para o desempenho de uma determinada função.

Cada sociedade classificadora desenvolve suas próprias regras, normas e critérios. Estes são baseados em considerações teórico-práticas aprovadas pelos seus comitês, formados por engenheiros navais, construtores de navios, fabricantes de motores e aço, pessoal técnico, científico e operacional, que trabalham na indústria naval. Assim, no desenvolvimento e publicação das normas, levaram-se em conta a investigação e desenvolvimento teórico das disciplinas de engenharia e a experiência satisfatória no serviço.

Por último, mencionaremos que as sociedades classificadoras não só se dedicam a classificar navios, mas publicam regulamentos minuciosos sobre os requisitos que devem satisfazer os diversos tipos de embarcações, de tal forma a contribuir fortemente ao aumento da segurança marítima e ao desenvolvimento da construção naval.

As sociedades classificadoras com maior solicitação no mercado de embarcações pesqueiras peruanas são a *American Bureau of Shipping* (ABS) e a *Germanischer Lloyd* (GL).

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA

3.1. Generalidades

Embora, como explicado no capitulo anterior, a indústria pesqueira peruana seja influenciada por uma série de fatores que participam ou não diretamente do processo de pesca, entre os que poderíamos mencionar os relacionados à logística de transporte, o foco deste trabalho está direcionado especificamente à determinação das características da embarcação na fase preliminar do projeto. Inicia-se a partir dos requisitos do armador, considerando como fato, que o problema da definição da capacidade de porão e a espécie a capturar já tenham sido avaliados e devidamente resolvidos.

A metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho abrange basicamente a cadeia seqüencial de cálculos aplicada em projetos de embarcações. Ela começa com os requisitos do armador e, a partir daí, vão se desenvolvendo cada uma das fases envolvidas no projeto do navio até chegar a uma solução satisfatória, onde as expectativas traçadas pelo armador são conjugadas da melhor forma possível com aspectos técnicos e econômicos.

Como o objetivo do trabalho é automatizar e otimizar o projeto, os cálculos para a respectiva programação serão baseados em equações de regressão a partir de dados de embarcações semelhantes e de formulações aplicadas para a determinação de parâmetros e coeficientes requeridos. Assim, procura-se um só ciclo de cálculos de projeto para cada uma das alternativas de solução que resultará da mudança dos valores das variáveis de projeto (processo de busca do ótimo) dentro da uma faixa determinada para cada uma delas.

Durante o processo serão descartadas as alternativas que não cumpram as restrições impostas e também aquelas que não passem nos critérios de estabilidade e cavitação. Todas estas equações, cujos fatores estão diretamente relacionados às características do navio, resultam em valores que, sendo maiores ou menores que um valor imposto, determinarão a eliminação ou não dessas alternativas.

Por último, como também é objetivo do trabalho otimizar a resposta final, a metodologia deverá proporcionar como resultado a melhor solução encontrada dentro das soluções possíveis e, para isto, o usuário deverá determinar uma função objetivo ou função de mérito, de forma tal que se tenha um critério para poder avaliar entre as possíveis soluções qual é a melhor.

Desta forma, o projeto da embarcação pesqueira final será o produto resultante de uma quantidade relevante de considerações, a fim de obter, como último resultado, um navio que possa efetuar a sua tarefa de forma adequada e segura, de acordo com os requisitos do armador e cumprindo todas as restrições impostas.

3.2. Espiral de Projeto

A espiral de projeto é normalmente a forma tradicional de se desenvolver o projeto do navio e, por isso, será mencionada como forma de entender o processo que será substituído pela metodologia utilizada neste trabalho.

De acordo com Moreno [16], nesta metodologia o projeto do navio corresponde ao dimensionamento seqüencial e integrado de uma série de parâmetros e atributos que formam a embarcação. Entende-se por dimensionamento não só o tamanho da embarcação e sim todas as características físicas e técnicas que a descrevem. Desta forma, o processo de cálculo segue uma seqüência lógica, onde cada variável calculada em uma etapa conduz ao cálculo da variável imediatamente posterior, resultando em um processo seqüencial. Assim, os resultados de cada etapa são utilizados iterativamente, segundo o critério do projetista, até atingir um projeto que cumpra todos os requisitos e restrições.

A estrutura lógica seguida para o projeto de um navio é conhecida como Espiral de Projeto (Figura 3.1), chamada assim pelo professor Evans J., em um artigo intitulado *Basic Design Concepts* [4].

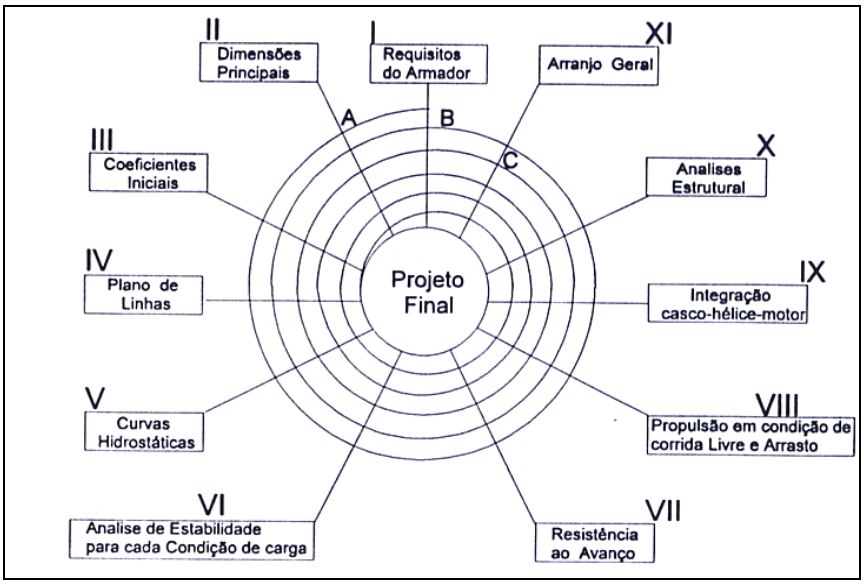

Figura 3-1 Espiral de projeto (Moreno, 1995)

3.3. Metodologia Proposta

Para realizar adequadamente suas funções, as embarcações devem possuir características que lhes permitam satisfazer um conjunto normalmente grande de requisitos e restrições. Segundo Rodrigues [17], o problema de conceber uma embarcação possui três características fundamentais:

- É um problema que envolve a determinação de um grande número de características (variáveis) para definir uma solução.
- É um problema que envolve múltiplos requisitos e restrições.
- Os requisitos geram objetivos que são geralmente conflitantes entre si.

Problemas com estas características admitem um número considerável de alternativas de solução, devendo ser estabelecido um critério satisfatório para julgar apropriadamente cada uma delas.

De acordo com Rodrigues [17], no caso de grandes sistemas, como embarcações de qualquer tipo em geral e particularmente de embarcações pesqueiras para o escopo deste trabalho, os projetos são normalmente subdivididos em etapas para que se possa lidar adequadamente com um grande número de características e especificações. A primeira etapa deste processo, que é o cerne

desta pesquisa, é o Projeto Preliminar, definida com a fase que envolve a seleção do conjunto das características principais da embarcação, que têm maior influência nos atributos que refletem nos requisitos principais do armador e de segurança. Este mesmo conceito é descrito por Parsons [18], que indica que nas etapas iniciais de projeto, chamadas por ele como concepção e projeto preliminar, é necessário definir as dimensões e outros parâmetros descritivos do navio como comprimento (L), boca (B), calado (T), coeficiente de bloco (Cb), etc.

O objetivo do projeto preliminar é o de encontrar, dentro do espaço das soluções viáveis, ou seja, daquelas que satisfazem as restrições, uma solução que atenda o objetivo procurado.

Assim, o problema básico do projeto preliminar, que será solucionado pela metodologia proposta, será o de determinar, segundo a função de mérito escolhida, o conjunto de dimensões principais e atributos associados, que melhor atendam os objetivos do projeto, dentre aqueles que poderiam satisfazer as restrições estabelecidas.

Desta forma, neste trabalho considera-se a utilização de equações de regressão para determinar as dimensões principais e coeficientes ou características requeridas, assim como superfícies de respostas representadas por redes neurais artificiais que permitem determinar atributos da embarcação como cavitação e estabilidade, a partir da parametrização de navios semelhantes; e por último, um algoritmo de busca (ferramenta de otimização) que procure a solução ótima dentro de um campo de soluções viáveis modificando as variáveis de projeto dentro da região viável.

O modelo do projeto deve ser cuidadosamente desenvolvido para representar de maneira realística o projeto em questão, enquanto a função objetivo deve refletir adequadamente o que é realmente importante para o projetista.

3.4. Técnicas Utilizadas na Metodologia Proposto

O desenvolvimento do computador e o seu crescente uso pelos diversos ramos industriais propiciou mudanças significativas nos processos de projeto. Uma delas é a disponibilidade de diversos métodos numéricos que podem ser utilizados nos projetos de embarcações.

Assim sendo, mesmo quando um determinado método numérico é capaz de gerar um projeto ótimo, a qualidade do resultado depende diretamente da qualidade do modelo de cálculo. Desta forma, faz-se necessária a presença de um bom julgamento, onde a experiência do projetista também exerce papel relevante.

3.4.1 Projeto Paramétrico

O termo paramétrico refere-se às relações existentes entre todos os elementos que formam parte de um modelo, o que permite a coordenação e manutenção da coerência da informação em um projeto. Ainda que esta definição não esteja referida especificamente a projeto de embarcações, ela se adapta em boa forma ao conceito utilizado neste trabalho.

Para tipos comuns de navios, modelos paramétricos de projeto existem na literatura, como os exemplos mencionados por Parsons [18]: pequenos navios militares, navios auxiliares, dragas, embarcações pesqueiras, entre outros. Estas relações são criadas mediante a realização de estudos por tipos de embarcações ou pela experiência do projetista adquirida ao longo dos anos.

O estudo paramétrico de projeto de navios requer modelos que detalhem a forma, características e desempenho de embarcações similares ou do mesmo tipo da que se deseja projetar, a fim de efetuar a determinação das dimensões principais, coeficientes de forma e outros diversos parâmetros do novo projeto.

A técnica do projeto paramétrico acelera a concepção dos modelos, em virtude da alteração de uma dimensão alterar imediatamente as dimensões restantes associadas ao modelo.

Diversas técnicas podem ser utilizadas para desenvolver esses modelos. Com o emprego do computador, a regressão linear múltipla torna-se uma ferramenta muito utilizada para o seu desenvolvimento.

A análise de regressão é um método numérico que pode ser usado para o desenvolvimento de equações e/ou modelos a partir das informações disponíveis. Ela consiste em adaptar pontos de informação entre variáveis dependentes com variáveis independentes que relacionam parâmetros do navio em uma curva particular. Esta curva, na verdade, não passa exatamente por todos os pontos, mas

generaliza e proporciona um modelo que aproxima ou reflete a relação existente entre estes parâmetros.

Esta técnica é útil no desenvolvimento de projetos nas etapas inicias. Por exemplo, é possível propor o dimensionamento de um navio em projeto a partir de embarcações semelhantes.

3.4.2 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks*) são sistemas compostos de elementos simples (neurônios) operando em paralelo para o processamento de informações, inspirados no modo em que as redes de neurônios biológicos do cérebro humano trabalham.

O funcionamento da rede é determinado principalmente pela conexão entre os elementos. Assim, pode-se treinar uma rede neural para que efetue uma função particular mediante o ajuste dos valores de conexão, denominados pesos de conexão e a escolha de uma função de transferência que produza o resultado desejado.

As Redes Neurais levam associadas algum tipo de regra de aprendizado ou treinamento particular pelas quais essas conexões são ajustadas de acordo com os exemplos proporcionados. Em outras palavras, estas aprendem a partir de exemplos, e mostram alguma capacidade para generalizar além dos dados históricos recebidos.

As redes neurais se dividem em: camada de neurônios de entrada (*Input Layer*), camada de neurônios ocultos (*Hidden Layer*) e camada de neurônios de saída (*Output Layer*). Os parâmetros de análise são introduzidos na rede através dos neurônios de entrada, aos quais se definem pesos que fixam o efeito dos neurônios de entrada sobre os dados de origem. A forma de fazê-lo é determinar matematicamente uma função de base, da que se obtém um valor de transferência que se pode expressar como uma relação da entrada com os pesos. Os pesos, por sua vez, são variáveis e mudam durante o processo de treinamento da rede para que o valor de saída se aproxime o máximo possível ao valor procurado.

Em resumo, consiste em proporcionar dados de entrada a uma série de neurônios (camada de entrada) para que por meio de pesos definidos, estes se

relacionem com outros neurônios (camadas ocultas) que efetuem uma série de cálculos, a fim de proporcionar respostas que serão refletidas pelos neurônios finais (camada de saída). Os dados de entrada e saída são proporcionados à rede para que esta efetue um treinamento e determine o valor dos pesos que resulte no valor de saída que corresponde a cada valor de entrada.

Desta forma, podemos relacionar parâmetros e características do navio que permitam obter respostas sobre o desempenho de certo atributo, como por exemplo, cavitação, através de uma superfície de resposta representada por uma rede neural artificial treinada com um histórico conhecido. Na Figura 3.2 apresenta-se graficamente a forma de iteração dos neurônios em uma rede neural artificial.

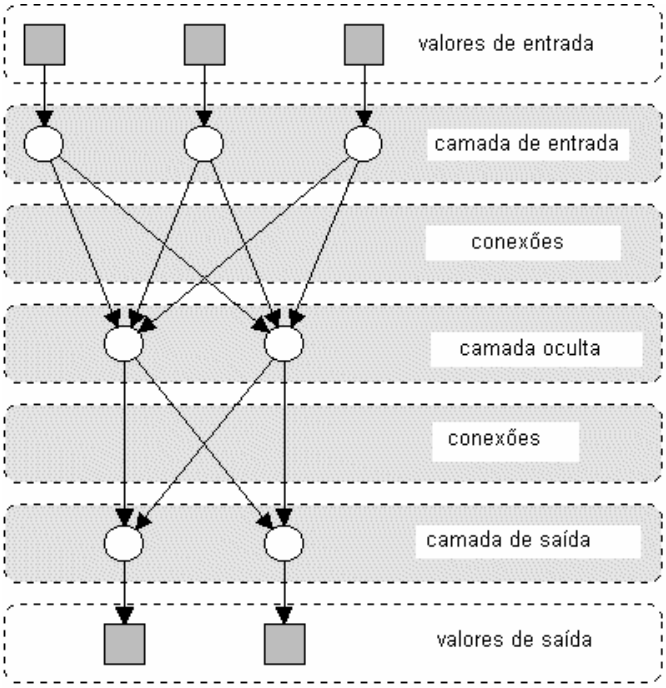

Figura 3-2 Rede neural artificial (Alonso, 2006)

3.4.3 Procedimentos de Otimização

Atualmente, computadores cada vez mais rápidos e potentes possibilitam que o engenheiro naval possa considerar uma faixa maior de possibilidades de projeto e, aliado a isso, os métodos de otimização propiciam um meio sistemático de escolha entre essas alternativas, desde que baseadas em algum critério mensurável. Se

utilizados adequadamente, esses métodos podem, na maioria dos casos, melhorar os resultados finais do projeto.

Os métodos de otimização são ferramentas que jamais poderão substituir o julgamento de um engenheiro. Esses procedimentos são métodos numéricos pelos quais uma alternativa de projeto, que leva a um valor máximo ou mínimo (ótimo) associado a um critério específico (função objetivo), pode ser selecionada entre todas aquelas alternativas que satisfazem o modelo de projeto sob determinadas restrições.

Os métodos de otimização podem ser classificados em indiretos, ou de gradiente; se independem da comparação direta dos valores numéricos da função de mérito calculados em dois ou mais pontos e em métodos diretos, ou de busca, o qual pressupõe a determinação e comparação dos valores da função a ser otimizada em diversos pontos situados dentro do campo de definição das variáveis independentes.

3.5. Cálculo das Dimensões Principais e Coeficientes de Forma

No procedimento utilizado neste trabalho, será considerada a forma do casco através apenas de suas dimensões principais (comprimento, boca, calado e pontal) e dos coeficientes de forma (coeficiente de bloco, coeficiente prismático e coeficiente da seção mestra).

Estas dimensões principais, que determinarão o dimensionamento da embarcação, serão consideradas como variáveis de projeto e delas dependerão o cálculo do deslocamento e o cálculo de pesos e centros do navio.

Como as dimensões principais do navio serão variáveis de projeto, é importante considerar que estas deverão conter no casco o volume do porão requerido pelo armador, desta forma existirá uma restrição que limitará as medidas mínimas destas dimensões a fim de garantir o espaço suficiente para a carga.

Segundo informações do estaleiro SIMA, um bom casco é aquele cujo volume do porão representa entre 38% a 45% do volume total. Para este estudo a aplicação direta desta consideração é inviável visto que nesta fase do projeto não se conhece as linhas do casco e, portanto, não é possível calcular tal volume.

Para contornar este problema foi considerada a medida proporcionada pelo volume do paralelepípedo circunscrito ao casco do navio. Assim, foi efetuada uma análise entre 100 embarcações pesqueiras do litoral peruano com capacidade de porão entre 213 m^3 e 592 m^3, a qual determinou que a média entre o volume do porão e o volume do paralelepípedo indicado era de 0,286. Contudo, levando em conta os problemas de estabilidade e borda livre nos navios antigos, descritos no capitulo 2, considerou-se apropriado restringir a faixa de navios utilizados na análise a aqueles construídos a partir de 1996. Desta nova análise, obteve-se o valor de 0,245, mas para o projeto será utilizado o valor de 0,200 como restrição. Os navios utilizados na avaliação para obtenção desses valores são apresentados no APÊNDICE A.

Uma outra restrição das dimensões principais é o pontal mínimo requerido, que está diretamente relacionado com o comprimento do navio. Este pontal será a somatória do calado de projeto e a borda livre (FB) imposta pela Autoridade Marítima (equação 3.1), cuja relação se mostra graficamente na Figura 3.3 e encontra-se detalha no APÊNDICE B.

$$D = H + FB_{MIN} \tag{3.1}$$

Por último, vale destacar que as diferentes dimensões (comprimento total - L_{OA}, comprimento entre perpendiculares - L_{PP}) as quais se faz referência em alguns dos diversos cálculos efetuados ao longo do processo, foram determinadas a partir de dados de embarcações semelhantes e em relação ao comprimento na linha de água (L_{LW}) na condição II[4] (navio com porões com 100% de carga e tanques de armazenagem com 50% de líquidos consumíveis). Assim, para o cálculo do comprimento total foram utilizadas as características das embarcações indicadas na Tabela 3.1 e para o cálculo do comprimento entre perpendiculares uma estimativa utilizada no estaleiro SIMA:

$$L_{OA} = 1{,}086\ L_{LW} \tag{3.2}$$

$$L_{PP} = 0{,}96\ L_{LW} \tag{3.3}$$

[4] As diferentes condições de carregamento para embarcações pesqueiras são apresentadas em detalhe no capitulo 4.

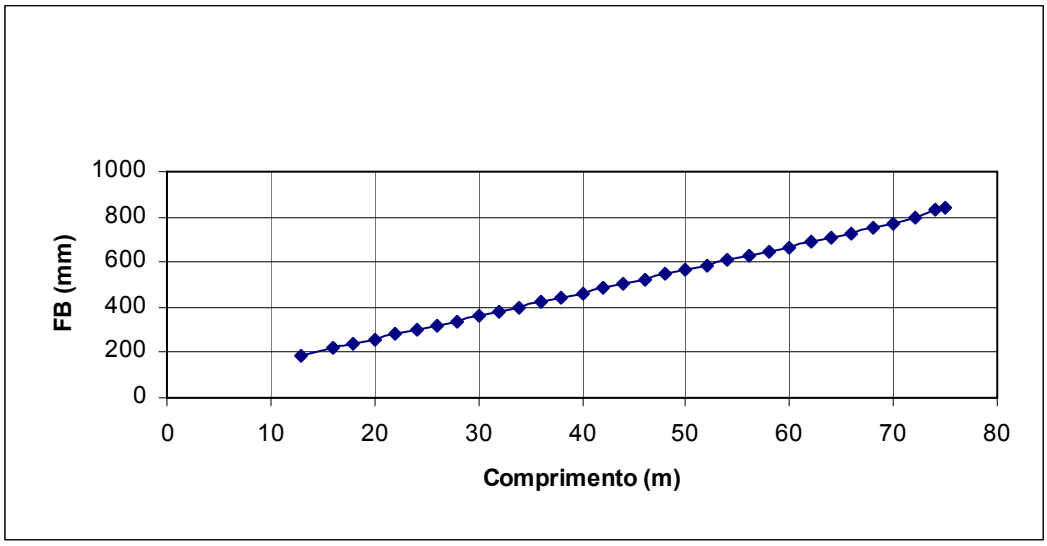

Figura 3-3 Borda livre mínima imposta pela Autoridade Marítima segundo o comprimento da embarcação

A estimativa utilizada pelo estaleiro SIMA apresenta-se razoável na medida em que geralmente o comprimento entre perpendiculares é levemente menor que o comprimento na linha de água [19], ainda que na referência mencionada tenha sido apresentada uma relação um pouco acima do valor a ser utilizado, propondo a seguinte relação para este parâmetro:

$$L_{PP} = 0{,}97\ L_{LW} \tag{3.4}$$

Tabela 3-1 - Cálculo do comprimento total da embarcação

Embarcação		L_{OA}	L_{LW}	Volume Porão (m^3)	% de variação L_{OA} e L_{LW}
1	SIMA I	37.30	34.70	350.00	7.49
2	Projeto TASA 400 m^3	44.70	40.70	400.00	9.83
3	SIMA III	48.00	42.50	549.05	12.94
4	Cerquero 600 m^3	51.50	49.38	600.00	4.29
				Media (%)	**8.637**

Adicionalmente, foi estimado o calado (H) que conforme MUSSIO (informação pessoal)[5] tem uma relação com o pontal (D) da embarcação, e o comprimento na linha de água (L_{LW}), ambos dados para o navio na condição de saída de porto condição I (navio com 100% líquidos consumíveis e porões vazios), desta forma obtiveram-se as seguintes relações:

$$H_{Cond.I} = 0{,}6\ D \qquad (3.5)$$

$$L_{LW\ Cond.\ I} = L_{LW} - (H_{Cond.\ II} - H_{Cond.\ I})/\ tg\ \alpha \qquad (3.6)$$

Onde α representa o ângulo medido verticalmente entre a linha de água e a roda. Para os cascos das embarcações pesqueiras analisadas, segundo seus planos em software de CAD, este ângulo (Figura 3.4) apresentou uma média de 60,80º. Os dados das embarcações avaliadas são apresentados na Tabela 3.2.

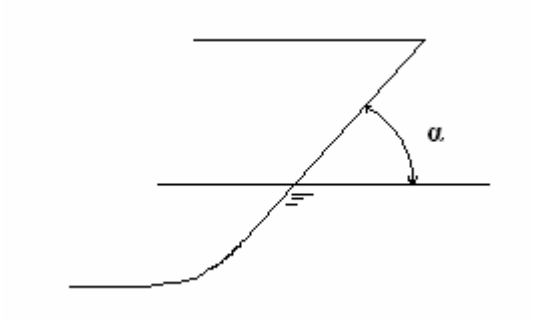

Figura 3-4 Ângulo entre a roda e a linha de água

Tabela 3-2 - Determinação do ângulo α

Nome do Navio	Volume do Porão (m^3)	L	B	D	Ângulo
Alejandria I	375.00	39.00	8.20	4.21	57.00
Bravo IV	362.49	40.50	7.92	4.21	60.00
Magallanes	362.49	40.50	7.92	4.21	64.00
Yovana	242.39	37.12	7.60	3.45	63.00
Mary	-	37.26	8.20	4.21	60.00
				Média	**60.80**

[5] MUSSIO, D. Jefe de la Oficina de Diseño y Desarrollo - Servicios Industriales de la Marina – Callao. Mensagem recibida por dmussio@sima.com.pe em 13 julho 2006.

A medida da boca é considerada constante nas duas condições de carregamento, pois conforme mostrado na Figura 3.5, esta não varia com a mudança de calados.

Para a determinação dos coeficientes de forma, foram relacionados os Coeficientes de Bloco (Cb), Coeficientes de Seção Mestra (Cm) e Coeficientes Prismáticos (Cp) mais representativos para embarcações de pesca indicados por Fyson apud Moreno (1995) [16]. O coeficiente de bloco, cuja equação já é conhecida, dá lugar ao coeficiente da seção mestra por meio de uma equação polinomial. A relação de ambas apresenta como resultado o coeficiente prismático.

$$Cb = \Delta / (L_{LW}\ B\ H\ \rho) \tag{3.7}$$

$$Cm = 0{,}5309\ Cb^3 - 3{,}6234\ Cb^2 + 4{,}3413\ Cb - 0{,}4542 \tag{3.8}$$

$$Cp = Cb / Cm \tag{3.9}$$

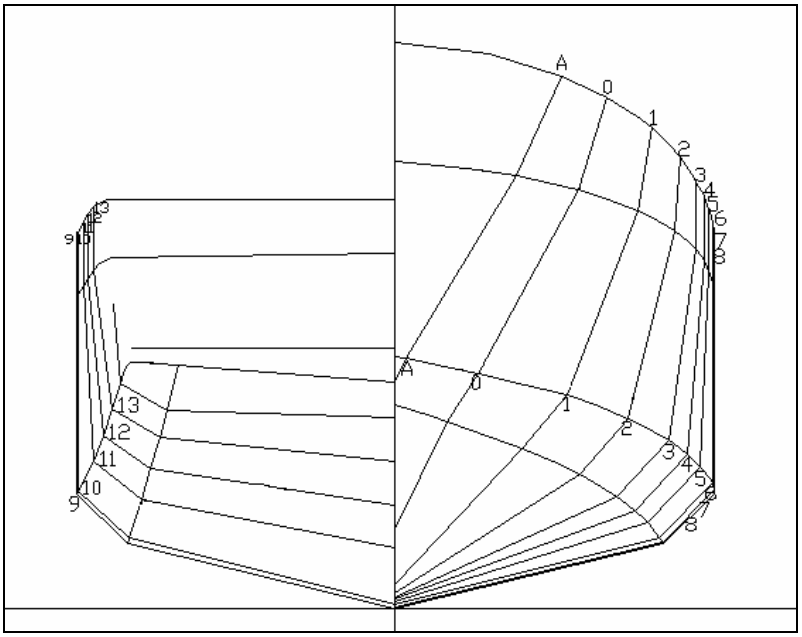

Figura 3-5 Plano de balizas do navio pesqueiro (Estaleiro SIMA, 2005)

3.6. Cálculo de Pesos

A definição dos parâmetros têm sua origem em relações e gráficos baseados em regressões feitas de navios semelhantes. Deste modo, pode ser calculado inicialmente o deslocamento através de uma estimativa preliminar do peso da embarcação pesqueira, basicamente, uma estimativa simplificada em relação aos diversos grupos de pesos que a compõem, alguns dos quais são proporcionais ao número cúbico (cuno). O valor do número cúbico, dado em pés^3, representa o volume do paralelepípedo circunscrito à embarcação que vai se projetar e é definido pelas suas dimensões principais, que é uma combinação de comprimento, boca, e pontal. O valor é definido pela seguinte relação:

$$\text{cuno} = L_{PP} \,.\, B \,.\, D / 100 \qquad (3.10)$$

De acordo com Moreno [16]: "*Tendo em conta que a participação das forças que atuam no navio é principalmente uma função da dimensão da sua massa, a suposição de que os pesos variam linearmente com o número cúbico é um ponto de vista razoável*".

Desta forma, o número cúbico permite calcular alguns dos pesos mais significativos que fazem parte da embarcação, relacionando o cuno a um determinado coeficiente, que é diferente para cada tipo de peso associado ao navio. As somas destes pesos e outros que serão mencionados posteriormente determinam o deslocamento.

Segundo Benford e Kossa [5] e Moreno [16], o grupo de pesos considerados como sendo parte da estimativa preliminar e seus respectivos coeficientes relacionados ao número cúbico são:

a. **Peso do Aço**: Esta categoria inclui o peso do casco, superestrutura, convés, etc. Em geral, tudo o que utiliza aço soldado é assumido como sendo parte deste item.

$$W_{AÇO} = C_S \,.\, (\text{cuno}) \qquad (3.11)$$

$$C_S = 6{,}41^{-12}\,(cuno)^4 + 1{,}24^{-8}\,(cuno)^3 - 8{,}25^{-6}\,(cuno)^2 + 2{,}14^{-3}\,(cuno) + 0{,}186 \qquad (3.12)$$

b. **Peso das Máquinas Auxiliares:** Nesta categoria estão inclusos todos os itens considerados como sendo parte da sala de máquinas, tais como geradores, bombas de porão, sistemas de refrigeração, etc., ou seja, todos os que não estejam relacionados diretamente com a máquina principal.

$$W_{MAQ.AUX.} = C_{AUX} \,.\, (cuno) \qquad (3.13)$$

$$C_{AUX.} = -1{,}36^{-8}\,(cuno)^2 + 8{,}27^{-5}\,(cuno) + 2{,}09^{-2} \qquad (3.14)$$

c. **Peso dos Equipamentos do Convés**: Esta categoria inclui pesos como o propulsor, equipamentos de ventilação, calefação, governo, leme, eixos, descansos, escotilhas, acabamentos em madeira no convés, etc.

$$W_{EQ.CONVÉS} = C_O \,.\, (cuno) \qquad (3.15)$$

$$C_O = -2{,}11^{-7}\,(cuno)^2 + 5{,}10^{-4}\,(cuno) + 4{,}34^{-3} \qquad (3.16)$$

Existe um outro grupo de pesos que completam o conjunto que forma parte do cálculo preliminar do peso da embarcação, mas que não estão relacionados ao número cúbico. Estes pesos são os seguintes:

a. **Peso da Máquina Principal:** O peso da máquina principal está geralmente relacionado à sua potência, ou seja, teoricamente máquinas mais potentes pesam mais. Contudo, existem faixas de potência onde os motores pesam praticamente o mesmo. Para o cálculo deste peso conta-se com uma relação de motores marítimos CATERPILLAR [20] com suas respectivas características, as quais incluem o peso seco, potência, rotações máximas e consumo específico de combustível (C.E.C). Nesse sentido, ambos os valores

serão diretamente determinados da base de dados dos motores. Para os líquidos dentro do motor (combustível, óleo e água) considera-se o 2.5% do peso seco dele, Benford e Kossa [5]. A este peso se somará o peso do redutor acoplado a ele, o qual também estará detalhado no programa.

b. **Peso da rede de Pesca:** O tipo de rede varia com a espécie a capturar, assim, por exemplo, conta-se com um tipo de rede para o biqueirão e redes diferentes para sardinha e cavala. O peso varia com as características da embarcação e estes oscilam como se detalha na Tabela 3.3, quando a rede está molhada incrementa-se seu peso de 12.5% a 15% (informação verbal)[6]. Para os cálculos foi utilizado o valor de 12.5%.

Tabela 3-3 - Peso da rede de pesca em relação ao volume do porão

Capacidade do Porão (m^3)	200 - 270	270 – 400	400 - 550	550 – 600
Rede (ton)	26 - 30	32 – 38	32 - 42	42 - 48

c. **Peso da Panga:** A panga é um pequeno bote de aço com motor que está localizado na popa da embarcação e é utilizado para puxar por uma banda o navio quando ele está recolhendo a rede de pesca pela outra banda, a fim de evitar que o navio se junte a rede e dificulte a manobra de pesca. O peso dela varia conforme apresentado na Tabela 3.4 (informação verbal)[9]:

Tabela 3-4 - Peso da panga em relação ao volume do porão

Capacidade do Porão (m^3)	200 - 270	270 - 350	350 – 600
Panga (Tn)	7	8 – 9	10

d. **Peso dos Líquidos:** São água e combustível e estão diretamente relacionados à autonomia. Estes poderiam ser calculados, para água, como resultado da multiplicação do número de tripulantes pelos dias de

[6] Informação fornecida pelo Engenheiro Naval Daniel CHURAMPI del Departamento de Projetos – Servicios Industriales de la Marina - Chimbote, em Chimbote, em 2006.

navegação e a quantidade de água que cada homem consome por dia, e para o combustível, pelo consumo específico de combustível (C.E.C) para cada motor dado em galões por hora. Contudo, a capacidade de água e a capacidade de combustível dos tanques de armazenamento do navio são requisitos do armador.

e. **Peso dos Equipamentos de Pesca:** Segundo Benford e Kossa [5], para embarcações pesqueiras do tipo de cerco, este peso corresponde a 10% do peso leve para embarcações de 10 metros de comprimento e, de 2%, para embarcações de 26 metros. Para os cálculos implementados nesse trabalho, assumiu-se como referência 2% do peso leve da embarcação, pois não existe informação para embarcações de maiores comprimentos. Este item inclui os equipamentos para pesca que estão normalmente fixos no convés, não inclui, por exemplo, a rede de pesca.

$$W_{EQ.PESCA} = 2\% \,.\, (\Delta_{LEVE}) \tag{3.17}$$

$$W_{LEVE} = W_{AÇO} + W_{MAQ.PPL+LIQUIDOS} + W_{MAQ.AUX.} + W_{EQ.CONVÉS} + W_{REDE} + W_{PANGA} \tag{3.18}$$

f. **Peso Leve:** Como mencionado acima, o peso leve é a soma de todos os pesos da embarcação a exceção do peso da carga e dos líquidos (*Deadweight Operacional*). Para Benford e Kossa [5] é recomendável um acréscimo específico para este item, dependendo do projeto, ele considera apropriada uma margem de 5% a 20%, ainda que para pesqueiros de arrasto em particular a tendência seja de 15% a 25%. Para este trabalho foram efetuados testes em embarcações de cerco de diversas capacidades do porão e determinou-se um acréscimo de 15% para embarcações com capacidade de porão menor ou igual a 400 m^3 e de 8% para as maiores.

g. **Peso da Carga:** Este peso está diretamente relacionado com o volume do porão e o fator de estiva do peixe. Para embarcações pesqueiras de cerco, este fator é de 0,92 toneladas por metro cúbico, segundo o disposto pela Autoridade Marítima, mas normalmente utilizam-se

valores de 0,96 ou 0,97 nos cálculos como margem de segurança, o valor adotado foi de 0,97.

W_{CARGA} = (Capacidade do Porão em m^3) . Fator de Estiva (3.19)

3.7. Cálculo de Resistência ao Avanço

Após a definição das dimensões principais e os pesos da embarcação pesqueira, é possível calcular a resistência ao avanço.

Um fator que limitou o desenvolvimento sistemático de projeto de embarcações pesqueiras foi a determinação da sua resistência e desempenho, pelo alto custo dos ensaios com modelos em escala reduzida em relação ao orçamento total destinado para os projetos. Para se ter uma idéia do custo destes ensaios, o estaleiro SIMA solicitou um teste em um tanque de provas no Chile, para avaliar o desempenho de um casco pesqueiro com três diferentes tipos de bulbo localizados na proa, o qual teve um custo aproximado de US$ 12.000 (informação verbal)[7]. Mesmo com este custo elevado, atualmente existem pesquisas em andamento sobre a instalação de bulbos na popa, com a intenção de direcionar melhor o fluxo da água antes do hélice, buscando um ganho de eficiência por parte da instalação propulsora.

Assim, para facilitar estes cálculos foram desenvolvidos alguns métodos para estimativa da resistência de diversas embarcações. Os métodos para cálculo de resistência ao avanço são bastante conhecidos, mas cada um deles é aplicável a certo grupo de navios. A seguir mencionam-se alguns deles:

- Método de HOLTROP, que além de se aplicar aos navios pesqueiros, também é utilizado para outros tipos de cascos.
- Método de OORTMERSSEN, específico para embarcações de pequeno porte, como pesqueiros e rebocadores.
- Método da FAO, que se baseia somente em navios pesqueiros.

[7] Informação fornecida pelo Engenheiro Naval Daniel CHURAMPI del Departamento de Projetos – Servicios Industriales de la Marina - Chimbote, em Chimbote, em 2006.

Visto que dos métodos indicados acima, dois deles referenciam especificamente embarcações pesqueiras e entre eles o método de HOLTROP já foi utilizado para o cálculo de resistência deste tipo de navios por Arnaiz [9], a fim de verificar a sua adeqüabilidade no computador, será utilizado o método da FAO [21].

3.7.1 Calculo de Resistência pelo Método da FAO

O método foi desenvolvido utilizando os resultados dos ensaios de modelos de embarcações pesqueiras realizados em diversos países e que foram compilados pela FAO e analisados detalhadamente pela *National Physical Laboratory* (NPL).

Desta forma, desenvolveu-se uma série geral de equações empregando métodos estatísticos de análise para expressar a resistência destas embarcações para uma ampla faixa de números de *Froude*. Assim, a capacidade de resistência foi então expressada em termos de parâmetros que descrevem a forma e as dimensões do casco para uma série de relações $V/\sqrt{L}$, permitindo também calcular os efeitos da variação dos parâmetros no resultado final.

Os primeiros resultados do trabalho publicado pela NPL/FAO foram apresentados no Terceiro Congresso de Navios de Pesca da FAO realizado em Gothenburg-Swedwn, 1965. Eles mostraram os dados de resistência ao avanço em termos de um coeficiente denominado de C_{RL}, baseado em um modelo de 16 pés. Inicialmente, apresentava a resistência do casco expressa em uma equação de regressão com 86 termos, produto da relação de 12 parâmetros. Destes, nove correspondiam às diversas medidas e formas do casco, dois à quilha e o último a uma correção devido à dimensão do tanque de provas.

Após um ajuste, chegou-se a uma equação de regressão para embarcações pesqueiras, a qual contém 72 termos e seus correspondentes coeficientes numéricos. A redução de termos em relação à primeira equação apresentada explica-se no fato de que na prática, alguns desses termos não contribuíam de forma determinante na precisão do resultado e, portanto, foram descartados com a finalidade de simplificar o método.

O mencionado algoritmo foi desenvolvido por Hayes e Engvall [21] e possibilita sua implementação computacional, com métodos de regressão de dados,

para estimar a resistência ao avanço de embarcações pesqueiras em uma faixa limitada pela relação V/√L entre 0,90 - 1,20 (V em nós e L em pés).

Finalmente, este cálculo é expresso por uma equação de regressão, a qual utiliza basicamente onze parâmetros, em suas maiorias adimensionais. Com relação às constantes descritas na tabela de coeficientes da citada referência, utilizadas para efetuar os cálculos, verificou-se com a aplicação da equação de regressão nos exemplos mostrados, que os valores das constantes deveriam variar ligeiramente para que os resultados obtidos fossem iguais aos indicados pelos autores. Os valores originais destas constantes e os valores utilizados são mostrados na Tabela 3.5.

Tabela 3-5 - Diferença entre os valores das constantes - CR_{16}

V/√Lwl	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20
Original	22.570	25.282	27.595	30.965	33.326	36.422	37.726
Utilizado	26.390	29.062	31.035	33.415	35.106	38.852	41.226

Com relação aos valores das funções referidas à quilha, na ausência de informação específica referente a essa parte do navio, foram adotadas as mesmas considerações utilizadas pelos autores para estes cálculos. Foram considerados os valores de X_{12} e $X_{13,}$ na equação de regressão, como sendo nulos.

3.7.2 Campo de Validade

A faixa de validade dos parâmetros que intervêm nas variáveis da equação de regressão é mostrada na Tabela 3.6. Para este trabalho, verificou-se que as embarcações pesqueiras peruanas do tipo de cerco se enquadram dentro das restrições do modelo, portanto, o coeficiente de resistência obtido pode ser considerado como aceitável.

Alguns parâmetros afetam o método mais que outros, ainda assim, quando qualquer um destes parâmetros se aproxima do limite das faixas de validade ou fora delas, deve-se preferivelmente checar o resultado por outro método, pois resultados obtidos nesses limites poderiam diminuir a confiabilidade.

Tabela 3-6 - Campo de validade do método da FAO

3,10	≤	L/B	≤	5,60
2,00	≤	B/H	≤	4,50
0,53	≤	Cm	≤	0,93
0,55	≤	Cp	≤	0,70
-6	≤	LCB	≤	+2
15	≤	½ α°e	≤	37
30	≤	½ α°r	≤	80
12	≤	α_{BS}	≤	32
-0,04	≤	Trim	≤	0,08

3.7.3 Aumento de Resistência devido à existência de Ondas

As ondas são produzidas pelo vento ao incidir com ângulos agudos sobre a superfície do mar. No estudo das ondas, seus perfis são considerados como sendo curvas de diferentes formas como senoidais, trocoidais, etc.

As ondas existentes no mar afetam os valores da resistência por fricção, resistência por formação de vórtices e a resistência por geração de ondas, que estão relacionados com a velocidade, comprimento e forma do casco do navio. Por outro lado, os movimentos de balanço e caturro decorrentes da ação das ondas também aumentam a resistência ao avanço, Bonilla [22]

Para calcular o incremento de potência efetiva devida à ação das ondas em função da sua altura utiliza-se a equação descrita por Malone apud Arnaiz (1996) [9]:

$$PE_{ONDAS} = 6{,}25.B.\Delta.\ (2{,}0.W_h + 0{,}152)^2 / (H.L_{PP}^2) \qquad (3.20)$$

onde:

L_{PP}	=	Comprimento entre perpendiculares
W_h	=	Altura das ondas em metros
B	=	Boca molhada do navio
Δ	=	Deslocamento em toneladas
H	=	Calado

As ondas que se apresentam no litoral peruano são geradas principalmente por tormentas. Estas tormentas e ventos formam e deslocam as ondas até a costa do continente americano. Os centros destas tormentas no Pacífico Sul estão localizados entre os 30° e 60° de latitude sul (Anticiclone do Pacífico Sul) e são mais intensas no período de inverno do hemisfério quando a diferença entre a temperatura do Equador e os pólos aumenta.

Um estudo de Ondas realizado pela Divisão de Oceanografia da *Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Peru* (DIHIDRONAV) no ano de 2003 no porto do Callao, revela que em épocas normais, as ondas que se apresentam em maior porcentagem (30%) nessa região têm um período significante de 13 a 15 segundos e que 55% das alturas significantes delas são de 0,21 a 0,30 metros, ainda que para 21% destas, a altura varie entre 0,31 e 0,40 metros (DIHIDRONAV [23]). Para este trabalho adotou-se uma altura de onda de 0,40 metros.

Foi verificada também a intensidade do vento a fim de avaliar o comportamento deste nos diferentes portos do litoral peruano, pois, dele dependerá em grande parte a altura das ondas no mar. Como registrado no Departamento de Meio Ambiente da mesma entidade, a intensidade média dos ventos no Callao e na maioria dos portos peruanos é de 5 nós (registros de vento prevalecente entre os anos 1978 e 2003), portanto, pode-se assumir que a altura das ondas manterá a mesma relação.

3.7.4 Resistência do Ar e do Vento

Da mesma forma que sobre a obra viva atua a resistência do meio onde ela se desloca, o mar, sobre a obra morta e a superestrutura atua a resistência do seu meio, no caso o ar. Esta resistência pode ser representada como sendo a energia gasta em vencer a ação do ar e do vento sobre a obra morta e a superestrutura do navio. Esta parcela vai depender da direção e velocidade do vento sendo maior quando o ângulo de incidência deste sobre o navio é de 30°, Preysler [24]. Sua influência é usualmente pequena quando se trata de embarcações pesqueiras, FAO [1].

Segundo Bonilla [22], sem vento, a resistência do ar pode ser considerada como sendo 2% da resistência do casco ao reboque, mas, com ventos fortes, este valor pode chegar até 50%. Preysler [24], por outro lado, menciona que essa resistência (sem vento) é de aproximadamente 2,7% da resistência do casco, mas que também poderia ser calculada mediante a seguinte equação (B em metros e V em nós), a mesma que será utilizada no trabalho:

$$\text{Resistência do Ar} = (0{,}00975.B.V^2) \,.\, 1{,}341 \qquad (3.21)$$

Nos trabalhos de Moreno [16] e Carrera [25] relativos a embarcações de pequeno porte que operam no litoral peruano, considera-se que a resistência do vento nos cálculos de resistência total é desprezível, portanto, neste trabalho, referente à mesma região, não foi considerada dentro dos cálculos para determinar o incremento na potência requerida.

3.8. Estimativa de Potência

A resistência de um navio a uma determinada velocidade é equivalente á força necessária para rebocá-lo a essa velocidade em águas tranqüilas, assumindo que não há outro tipo de interferência. A potência necessária para vencer esta resistência chama-se potência de reboque ou potência efetiva (P_E).

Esta potência é calculada tomando como base o valor do coeficiente de resistência do navio (C_{RL}), com o qual se pode determinar a curva de resistência deste, pois cada C_{RL} é calculado para uma determinada velocidade e este por sua vez, determina uma Potência Efetiva.

Segundo Hayes e Engvall [21], a potência requerida de reboque pode ser calculada pela equação 3.22, usando o coeficiente de resistência do navio:

$$P_E = 1{,}341 \,.\, [C_{RL} \,.\, \Delta \,.\, V^3 / (325{,}7 \,.\, L_{WL})] \qquad (3.22)$$

onde: C_{RL} Coeficiente de resistência do navio

V Velocidade de serviço do navio (nós)

Δ Deslocamento do navio em toneladas longas[8]

L_{WL} Comprimento do navio na linha de água (pés)

Para se calcular o coeficiente de resistência do navio C_{RL}, Hayes e Engvall [21], propõem utilizar a equação 3.23:

$$C_{RL} = CR_{16} - 0.212847\left(\frac{S.L_{WL}}{\Delta}\right)\left\{\left[Log\left(88\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}}10^3\right)\right]^{-2}\left[\log\left(1.2834\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}}L_{WL}^{3/2}10^3\right)\right]^{-}\right.$$

onde: S Superfície molhada (pés^2)

Δ Deslocamento do modelo em toneladas longas

V Velocidade de serviço do navio (nós)

L_{WL} Comprimento na linha de água (pés)

Esta equação mostra a resistência do casco em função do coeficiente C_{R16}, baseado no modelo de 16 pés como já foi comentado anteriormente.

Para calcular a superfície molhada da embarcação foi utilizada a formulação de Normand apud Preysler (1945) [24]:

$$S = L_{WL} \cdot [1{,}5 \cdot H + (0{,}09 + Cb) \cdot B] \qquad (3.24)$$

Onde: S Superfície molhada (pés^2)

L_{WL} Comprimento da linha de água (pés)

H Calado (pés)

B Boca (pés)

3.9. Coeficientes Relacionados com o Sistema Propulsivo

A partir da resistência calculada utilizando o método da FAO, pode-se calcular a potência efetiva a qual foi definida como sendo a potência requerida para vencer a resistência total do casco a uma determinada velocidade.

[8] Uma tonelada longa ou long ton = 1,016 ton.

A potência efetiva ou útil é inferior a que deve ser instalada no navio para alcançar a velocidade desejada, pois, de um lado, como qualquer equipamento mecânico, o sistema de propulsão de um navio (motor-eixo-hélice) tem perdas. Conseqüentemente, seu rendimento será inferior a 100% e, por outro lado, também dependerá da eficiência do propulsor. Assim deve-se dispor de uma margem de potência para vencer a resistência a uma determinada velocidade.

Normalmente, a potência no freio do motor principal (P_B) ou *Break Horse Power* (BHP) e a potência necessária para vencer determinada resistência P_E não estão relacionadas diretamente. Assim, para calcular a potência requerida da máquina (P_B), deve-se levar em conta, além da potência efetiva calculada (P_E) por meio da resistência ao avanço para uma determinada velocidade, a influência das seguintes eficiências, Parsons [18]:

- Eficiência do Casco (η_h)
- Eficiência Relativa Rotativa (η_r)
- Eficiência de Transmissão: redutor (η_t), descansos (η_b) e tubo de popa (η_s)
- Eficiência do Propulsor (η_o)

Logo a potência requerida da máquina pode-se determinar pela seguinte expressão:

$$P_B = P_E / (\eta_h . \eta_r . \eta_t . \eta_b . \eta_s . \eta_o) \qquad (3.25)$$

Desta forma, o sistema de propulsão está relacionado através destas eficiências com outra série de coeficientes, como o coeficiente de esteira (w) e o fator de redução da força propulsora (t), além dos coeficientes relacionados com a eficiência do hélice como o coeficiente de empuxo (Kt), de torque (Kq) e de avanço (J).

A escolha do sistema propulsivo deve levar em conta que inicialmente o equilíbrio do ponto de operação entre o motor e o propulsor é usualmente considerado em condições de prova de mar: navio novo, casco limpo, águas e vento calmo. Logo, a resistência estimada assim é considerada em condições ideais de prova.

Nesse sentido, Parsons [18] indica que deve ser considerada uma margem de potência de serviço *power service margin* a qual normalmente tem um valor entre 15% a 25%. Neste trabalho, para todos os cálculos foi considerada uma margem de serviço de 15%.

De outro lado Parsons [18], menciona ainda que além da margem de serviço utilizada nos cálculos, deve ser considerada uma margem de potência de projeto *power design margin* com um valor entre 3% a 5% sobre a potência efetiva, sobre o risco envolvido de não atingir-se as especificações do contrato referente aos resultados nas provas de velocidade. Assim, foi considerada uma margem de potência de projeto de 3%. Considerou-se a potência restante como a máxima potência continua do motor MCR (*Maximum Continuous Rating of Main Engine*).

Os cálculos do coeficiente de esteira e coeficiente de redução da força propulsora foram feitos a partir de curvas obtidas em função da relação Boca-Comprimento (B/L). Estas curvas foram expostas graficamente por Fyson apud Moreno (1995) [16], e foram transformadas em equações polinomiais para poderem ser utilizadas em programas computacionais.

3.9.1 Coeficiente de Esteira

Quando o navio navega no mar, se produz, pela viscosidade da água, uma fricção entre ele e o liquido que gera uma resistência ao avanço conhecida como resistência friccional. Experimentos têm mostrado que em navios novos este valor representa de 80% a 85% da resistência total para navios de baixas velocidades, Comstock [26].

Pode-se considerar que por aderência, a camada de liquido que está em contato com o casco do navio se desloca à mesma velocidade que ele, e desta forma as camadas sucessivas de líquido, pelo efeito da viscosidade, são parcialmente arrastadas cada uma pela camada que a antecede. Assim, se estabelece um gradiente de velocidade de arrasto entre as camadas contíguas do líquido, de tal forma que as partículas em contato com o casco se trasladam à mesma velocidade do navio, e as situadas a uma determinada distância perpendicular a este, não serão afetadas e continuarão sem deslocar-se.

Este gradiente de velocidade que se apresenta em toda a região de popa da embarcação afeta a velocidade com que a água entra no disco do hélice. Desta forma, adota-se geralmente o critério de supor que toda a massa de água afetada pelo avanço do navio, à qual se conhece como esteira, tem uma velocidade constante na mesma direção e sentido deste.

Assim, Taylor apud FAO (1980) [1] expressou a velocidade da esteira como sendo uma fração da velocidade do navio, chamando a esta relação coeficiente de esteira. Segundo Moreno [16], para embarcações pesqueiras este coeficiente pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$w = -2{,}252 \,.\, (B / L_{WL})^2 + 1{,}56 \,.\, (B / L_{WL}) - 0{,}036 \qquad (3.26)$$

Nesta formulação existe uma correção por coeficiente de bloco, pois o gráfico a partir do qual a equação de regressão foi tomada, esteve baseada em um Cb = 0,45. Assim, a correção por este coeficiente será feito da seguinte forma:

Cb < 0,45	Correção =	$(0{,}45 - Cb_{PROJETO}) / 3$
	w_{FINAL} =	w – correção
Cb > 0,45	Correção =	$(Cb_{PROJETO} - 0{,}45) / 3$
	w_{FINAL} =	w + correção

Uma vez calculado o coeficiente de esteira, pode-se calcular a velocidade de avanço da embarcação em relação à água, segundo a seguinte formulação:

$$Va = Vs \,.\, (1 - w) \qquad (3.27)$$

Onde: Va = Velocidade de avanço da embarcação
Vs = Velocidade de serviço do navio

3.9.2 Coeficiente de Redução da Força Propulsora

Considerado como um efeito que aumenta a resistência do casco devido ao propulsor estar trabalhando na popa do navio, o que origina um aumento tanto da

resistência friccional como da resistência por formação de ondas. Logo o empuxo que proporciona o hélice deve ser maior do que o requerido para vencer a resistência total do casco. Um enfoque mais intuitivo deste fenômeno é considerar que o hélice ao empurrar a água, gera um efeito de sucção que tende a frear o navio.

Para calcular o valor do Coeficiente de Redução da Força Propulsora em embarcações pesqueiras, podemos utilizar a seguinte expressão indicada por Moreno [16]:

$$t = -1{,}574 \,.\, (B / L_{WL})^2 + 1{,}112 \,.\, (B / L_{WL}) - 0{,}015 \qquad (3.28)$$

Da mesma forma que para o coeficiente de esteira, devemos fazer uma correção por Coeficiente de Bloco (Cb):

Cb < 0,45	Correção =	$(0{,}45 - Cb_{PROJETO}) / (2/3)$
	t_{FINAL} =	t – correção
Cb > 0,45	Correção =	$(Cb_{PROJETO} - 0{,}45) / (2/3)$
	t_{FINAL} =	t + correção

3.9.3 Eficiência Propulsora

Segundo Lewis [27], a eficiência propulsora é definida com sendo o produto do coeficiente quase-propulsivo e a eficiência de transmissão. Para esta definição o coeficiente quase-propulsivo (η_D), é o resultado do produto da eficiência do casco (η_h), da eficiência do hélice em água aberta (η_o) e da eficiência relativa rotativa (η_r). Para outros autores como Parsons [18], é simplesmente o produto de todas as eficiências que participam do processo propulsivo entre o motor e o propulsor para definir a relação entre a potência P_E e a potência de saída do motor ou potência no freio P_B. A seguir será apresentada uma breve explicação de cada uma destas eficiências:

a. Eficiência do Casco: A relação entre a potência dissipada pelo casco e a fornecida pelo propulsor é comumente chamada de

eficiência do casco (η_h), ou seja, é o quociente entre o trabalho necessário para que o navio possa vencer sua resistência (potência de reboque) e o trabalho que deve utilizar o propulsor para dar o empuxo necessário (potência de empuxo).

Este coeficiente pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\eta_h = (1 - t) / (1 - w) \qquad (3.29)$$

b. **Eficiência do Propulsor:** Esta eficiência é dada pela relação entre o empuxo desenvolvido pelo propulsor e a potência liberada por este. Logo, para calcular a eficiência do propulsor deve-se ter a informação dos resultados das provas deste em água aberta, de tal forma a conhecer os valores dos coeficientes de empuxo e torque em determinada rotação e velocidade de avanço. A eficiência do propulsor em água aberta pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\eta_o = Kt \,.\, J / 2 \,.\, Kq \,.\, \pi \qquad (3.30)$$

Onde: Kt = Coeficiente de Empuxo
Kq = Coeficiente de Torque
J = Coeficiente de Avanço

Entretanto, como o trabalho se propõe a desenvolver um projeto automatizado e otimizado, é necessário um modelo matemático que permita calcular a eficiência do hélice somente baseado em suas características principais, as quais poderão ser variadas pelo algoritmo de otimização, de forma a se obter a que melhor se adapte a uma determinada condição de projeto. Assim, aplica-se a formulação para calcular a eficiência do hélice projetado, usando o método descrito por Lewis [27]. Este consiste na utilização de equações polinomiais para determinar o valor dos coeficientes de empuxo e torque, em relação a valores do coeficiente de avanço, relação passo-diâmetro, relação área

expendida-área do disco, número de pás do hélice e outros coeficientes determinados por regressão.

c. **Eficiência relativa rotativa:** A eficiência do hélice em água aberta é determinada em ensaio, no qual o propulsor opera isoladamente. Neste ensaio, o propulsor é imerso na água com um equipamento especial que permite medir o empuxo e o torque, em determinada rotação e velocidade de avanço do propulsor. Nesta situação é possível definir uma eficiência do hélice em água aberta dada por:

$$\eta_0 = T \cdot Va / (2 \cdot \pi \cdot Q_0 \cdot n) \qquad (3.31)$$

Onde: T = Empuxo do hélice
Q_0 = Torque fornecido ao hélice em água aberta
n = Rotação do hélice

Quando o hélice opera na popa de uma embarcação a eficiência do propulsor não é a mesma, devido à esteira do navio. Sua eficiência será dada então por:

$$\eta_P = T \cdot V_A / (2 \cdot \pi \cdot Q \cdot n) \qquad (3.32)$$

onde Q é o torque do hélice operando na esteira. Assim, chama-se de eficiência relativa-rotativa à relação entre estas duas eficiências, e é dada por:

$$\eta_r = \eta_P / \eta_0 = Q_0 / Q \qquad (3.33)$$

Este valor segundo Tornbald apud Carrera (2003) [25], e de acordo com Lewis [27], varia entre 0,95 e 1,00 para a maioria dos navios bi-hélices e entre 1,00 até 1,10 para os navios mono-hélice. Foi assumido neste trabalho o valor de 1,05.

d. **Eficiência de Transmissão:** A potência produzida no motor da embarcação é transmitida ao propulsor por um eixo. A potência que

chega ao propulsor é menor que a fornecida pelo motor, pois existem perdas no eixo (causadas pelos mancais, entre outros). A razão entre a potência entregue ao hélice (P_D) e a fornecida pelo motor (P_B) é chamada de eficiência de transmissão.

Segundo Lewis [27], a perda de energia por transmissão usualmente tem valores aproximados de 2% para navios com o motor instalado a ré e de 3% quando o motor está instalado a meia-nau. Esta mesma afirmação é feita por Parsons [18] que indica que estas perdas devem-se tanto à eficiência na transmissão ao propulsor do tubo de popa (η_s), quanto à eficiência na linha do eixo devido às perdas nos mancais (η_b). Neste sentido, considerou-se que para navios pesqueiros com mais de 35 m. de comprimento o motor estará instalado a ré, caso contrário estará instalado a meia-nau, (Informação Verbal)[9].

Como última consideração neste ponto, levou-se em conta que a instalação propulsora terá instalado consigo um redutor. De acordo como Parsons [18] o valor da perda de energia pela redução em motores diesel é de 2,5%, apresentando, por conseguinte, uma eficiência η_t = 0.975 a qual será utilizada neste trabalho. Os diversos redutores no mercado trabalham dentro de certas faixas de potencias e com índices de redução pré-estabelecidos para estas faixas, assim serão considerados dentro do programa de cálculo os redutores da marca TWIN DISC[10] apresentados na Tabela 3.7. Por outro lado, a fim de evitar faixas de potencias que não estejam cobertas por alguns dos redutores utilizados, foi considerado que o redutor modelo MG – 5170 DC trabalhasse até uma faixa de potência de 596,00 kW, assim mesmo o redutor modelo MG – 5600 cobriria a faixa de potência de motores que estivessem por encima de 1.950,00 kW.

e. **Eficiência no Propulsor:** Normalmente o hélice é capaz de converter em empuxo mais da metade da potência subministrada, e o resto é empregado em vencer a resistência que opõe a água ao giro do hélice. Baseado nos trabalhos efetuados durante muitos anos na construção e

[9] Informação fornecida pelo Engenheiro Naval Daniel CHURAMPI del Departamento de Projetos – Servicios Industriales de la Marina - Chimbote, Chimbote, em 2004.

[10] Bulletins 319-D-170, 319-B-600 e 319-A-301, Twin Disk Reverse Reduction, Wisconsin U.S.A., 1996.

modificação de embarcações pesqueiras, o Departamento de Projetos do estaleiro SIMA indica que a eficiência dos propulsores nestas embarcações está entre 45% a 65%.

Para o cálculo deste atributo será utilizada a formulação do cálculo da eficiência do hélice em água aberta como indicado na equação 3.30. Para o cálculo da eficiência trabalhando na popa do navio se terá que relacionar a eficiência em água aberta com a eficiência relativa rotativa (η_r) como já foi explicado.

Tabela 3-7 - Características dos redutores

Modelo	Índices de Redução :1	Faixa de Potência de trabalho (kW)	Peso (Kg)
MG – 5170 DC	4,06; 4,50; 5,03; 5,95	459,00 - 578,00	850,00
MG – 5301 DC	4,06; 4,42; 4,96; 5,96; 6,39	597,00 - 1.127,00	1.405,00
MG – 5600 DC	2,53; 2,98; 3,51; 4,03; 5,04; 6,04	860,00 - 1.950,00	3.064,00

3.10. Características do Propulsor

A missão do propulsor é converter a potência liberada no extremo da popa da linha de eixos em empuxo dirigido á proa, utilizado para empurrar o navio.

Para selecionar o propulsor adequado para uma determinada embarcação devem ser levados em conta vários parâmetros, entre eles os parâmetros geométricos do hélice. Logo, para analisar cada caso por separado, estudos técnico-experimentais deveriam ser realizados e estes representariam custos relativamente altos para projetos que procuram bons resultados com custos baixos, como é o caso das embarcações pesqueiras.

Nestes casos, a escolha do propulsor normalmente é baseada em informação de propulsores em testes de água aberta. Essas informações são apresentadas nas chamadas séries sistemáticas de hélices, as quais facilitam muito a tarefa de se projetar hélices para pequenas embarcações. Tais séries consistem, basicamente, na fixação de uma geometria padrão de hélice e da variação de alguns de seus parâmetros como a razão área da pá por área do disco, razão passo por diâmetro e o número de pás.

A escolha da série sistemática é muito importante, pois pode abrir e fechar determinadas possibilidades do projeto. Segundo Arnaiz [9], a utilização de hélices de passo fixo sem duto é recomendável para embarcações de pequeno e médio porte que praticam o método de pesca de cerco, pois estes navios operam com carregamentos moderados e também porque o custo de aquisição e manutenção são relativamente baixos em comparação com outros tipos de propulsores que não apresentam ganhos significativos na sua utilização.

Portanto, para o programa desenvolvido será utilizada a faixa de valores da série B-Troost. Além de se tratar da série de hélices mais utilizada, pois cobre uma ampla faixa de aplicações, possui grande número de estudos publicados. Esta série foi inicialmente estudada com 4 pás, mas logo estendida para 2, 3, 5, 6 e 7 pás o que permite a fácil implementação para diversos casos.

Da mesma forma que para o casco, também para os cálculos requeridos no programa a geometria dos propulsores será descrita através das características principais conforme a faixa de valores da série B-Troost. Para a estimativa do cálculo dos coeficientes de empuxo e torque, como mencionado, foi utilizado o método descrito por Lewis [27] baseado em equações polinomiais feitas por regressão. Os resultados dos coeficientes de empuxo e torque assim obtidos são referidos a um número de Reynolds igual a 2×10^6, a utilização destes resultados em outros valores de Reynolds implica a necessidade de uma correção, Carlton [28].

O número de Reynolds por de ser calculado pelas seguintes equações:

$$Re = \rho . V_R.L / \mu \qquad (3.34)$$

$$Re = V_R.L / \mathit{V} \qquad (3.35)$$

Onde:

ρ	massa específica do fluido (água de mar, em Kg/m^3)
V_R	velocidade característica do fluido (m/s)
L	comprimento característico do problema (m)
μ	viscosidade dinâmica do fluido (poise ou $N\ s/m^2$)
V	viscosidade cinemática ($m^2/s \times 10^6$)

Os valores da densidade e da viscosidade cinemática do fluido estão diretamente relacionados com a temperatura da água, assim para água de mar apresentam os valores mostrados na Tabela 3.8.

Tabela 3-8 - Valores da densidade e viscosidade cinemática da água de mar

Temperatura	0ºC	5ºC	10ºC	15ºC	20ºC	25ºC	30ºC
Densidade (kg/m^3) 3,5% de salinidade	1.028,1	1.027,7	1.026,8	1.025,9	1.024,7	1.023,3	1.021,7
Viscosidade Cinemática $m^2/s \times 10^6$	1,8284	1,5614	1,3538	1,1883	1,0537	0,9425	0,8493

A temperatura no mar do litoral peruano varia entre 15ºC e 25ºC, por tanto, para este trabalho serão utilizados os valores correspondentes a 20ºC.

A velocidade característica do fluido (V_R) resulta da composição da velocidade normal representada pela velocidade de avanço do navio (Va) e a velocidade tangencial resultante das rotações do propulsor (*n*), tomada a 0,7 do raio da pá:

$$V_R{}^2 = Va^2 + (0{,}7.\pi.n.Dp)^2 \qquad (3.36)$$

Onde: Dp Diâmetro do propulsor (m)

n Rotações do propulsor (seg)

A medida característica do problema refere-se ao comprimento da corda do propulsor no mesmo ponto para o qual foi calculada a velocidade, ou seja, 0,7 do raio da pá, pois trata-se do caminho que terão que percorrer as partículas do fluido em seu passo ao longo da pá. De acordo com Lewis [27], para a série B-Troost este cálculo pode ser aproximado pela seguinte expressão:

$$Cr = Dp.(A_e/A_o).K / Z \qquad (3.37)$$

Onde: Cr Comprimento da corda (m)

Z Número de pás do propulsor

K Cte. referente ao número de pás (tem um valor de 2,168 para propulsores de 3 pás e de 2,144 para propulsores de 4 a 7 pás)

3.10.1 Diâmetro do Propulsor

O valor do diâmetro do propulsor da embarcação será considerado como uma variável independente a fim de permitir ao programa a seleção do hélice de melhor rendimento. Esta dimensão está normalmente limitada pelo espaço e as folgas em relação ao casco. Ainda que geralmente um diâmetro maior apresente maiores eficiências isto não é regra geral.

O diâmetro do propulsor pode ser calculado através de uma equação polinomial obtida de Fyson apud Moreno (1995) [16], onde a variável independente é a relação Boca-Comprimento (B/L_{WL}), e a variável dependente é dada pela relação Diâmetro-Boca (Dp/B). A equação é a seguinte:

$$Dp/B = -8{,}0863\,(B/L_{WL})^4 - 39{,}7971\,(B/L_{WL})^3 + 40{,}7138\,(B/L_{WL})^2 - 12{,}7126\,(B/L_{WL}) + 1{,}51862 \qquad (3.38)$$

Para definir o diâmetro do propulsor desta forma é necessário fazer uma correção, pois o hélice trabalha em condições de fluxo não uniforme pelas interferências que o casco produz no escoamento da água antes do propulsor. Os resultados de vários ensaios sistemáticos de propulsores realizados no tanque de provas de *Wageningen* na Holanda demonstraram que o valor ótimo do coeficiente de avanço em escoamento não uniforme (propulsor colocado detrás do casco) são maiores que em fluxo uniforme (propulsor isolado). Isto é equivalente a dizer que o diâmetro ótimo em fluxo não uniforme é menor que o obtido em fluxo uniforme, portanto o diâmetro, segundo Van Manenn e Troost apud FAO (1980) [1], deve reduzir-se em 5% para navios mono hélice e em 3% para navios bi-hélice.

Logo, para o programa considerou-se o diâmetro máximo (restrição) como sendo o calculado através da equação apresentada, sem a correção mencionada de 5%.

3.10.2 Número de Pás do Propulsor

Os propulsores utilizados em embarcações pesqueiras normalmente têm de 3 a 5 pás. Portanto, a série sistemática de B-Troost será utilizada só nessa faixa de

valores para este parâmetro e segundo as características apresentadas na Tabela 3.9. Menor número de pás proporciona maior eficiência no propulsor [29], mas também produz maiores vibrações.

Tabela 3-9 - Características dos propulsores da serie B-Troost

Número de Pás	Relação A_e/A_o	Relação P/D
3	0,35	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
	0,50	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
	0,65	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
4	0,40	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
	0,55	0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
	0,70	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
5	0,45	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4
	0,60	0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4

3.10.3 Área das Pás e relação de Áreas

A área do hélice é uma característica muito importante, pois influi no rendimento da mesma, nas suas propriedades frente ao fenômeno de cavitação e determina, junto com o diâmetro e a espessura das pás, o peso final do propulsor, que incide no custo final do mesmo, FAO [1].

As definições principais das áreas que se usam comumente ao se descrever as características do hélice são as seguintes:

a. **Área projetada da pá (A_P):** É a área das projeções das superfícies ativas das pás sobre um plano perpendicular ao eixo do hélice.
b. **Área desenvolvida da pá (A_D):** É a área total das superfícies ativas da pá, também às vezes esta característica é relacionada com a área expandida (A_e). Lewis [27] afirma que, embora não sejam o mesmo, apresentam valores aproximados.
c. **Área do Disco (A_o):** É a área do disco cujo raio é a distância do ponto mais afastado das pás até o eixo de giração.

A relação existente entre a área expandida das pás e a área do disco e uma característica muito importante do propulsor e que se utiliza para o cálculo dos coeficientes de empuxo e torque, a fim de determinar a eficiência do propulsor.

3.10.4 Índice de Cavitação

A passagem de um fluido em torno de um corpo provoca uma variação relativa de velocidades e pressões próprias de todo fluido em movimento (Teorema de Bernoulli), correspondendo um incremento de pressão a uma diminuição de velocidade e vice-versa.

No caso da água, pode ocorrer que se a velocidade gerada é consideravelmente elevada, a pressão diminui muito até alcançar a pressão de ebulição do fluido a essa temperatura, em cujo caso ocorre a mudança de estado, formando-se cavidades de vapor. Tais cavidades ao serem arrastadas pela correnteza a zonas de maior pressão, colapsam e desaparecem. Isto é conhecido como o efeito de cavitação.

Como as zonas de mínimas pressões onde a cavitação ocorre são reduzidas encontrando-se imediatamente próximas das regiões onde as cavidades de vapor colapsam, é freqüente que este colapso ocorra na parede do corpo. Dessa forma, se a cavitação é intensa, a repetição dela incidindo sobre o corpo leva à superfície a um processo de desgaste erosivo.

Nos hélices marinhos, nos quais a geração de empuxo é precisamente conseqüência em sua maior parte da criação de importantes depressões sobre o dorso das pás, deve-se considerar pelo menos em princípio, que estes corpos estarão expostos à cavitação. Além do efeito da erosão, a cavitação nos hélices pode ser a causa de quedas de rendimento com a respectiva repercussão na perda de empuxo, gerando às vezes vibrações. Desta maneira é da maior importância, gerar hélices que não padeçam deste fenômeno em intensidades perigosas. Por isto a possibilidade de cavitação nas pás deve ser verificada sempre por ocasião do hélice de melhor rendimento.

Alguns critérios foram propostos para predizer o início da cavitação, os primeiros consideravam o empuxo médio por unidade de área de superfície de pá

projetada, mas atualmente, este critério não é satisfatório. Assim, fez-se necessário outro critério geral que avaliasse a cavitação do hélice.

Como mencionado por Lewis [27], o diagrama desenhado para proporcionar uma referência a fim de prever problemas de excessiva cavitação e erosão em condições normais de serviço no mar foi o diagrama de Burril o qual se mostra na Figura 3.6. Este tem como ordenada o coeficiente de carregamento (τ_C) e como abscissa o índice de cavitação local em $0{,}7_r = \sigma_{0,7r}$.

Os valores para a entrada da tabela são calculados pelas seguintes expressões, Lewis [27]:

$$\tau_C = T / (0.5 \,.\, \rho \,.\, A_P \,.\, V_r^2) \qquad (3.39)$$

$$\sigma_{0,7r} = (188.2 + 19.62.h)/(Va^2 + 4.836.n^2.Dp^2) \qquad (3.40)$$

onde:

T	=	Empuxo
A_P	=	Área projetada das Pás
A_P	=	A_e . (1.067 – 0.229 . P/D)
V_R	=	A velocidade resultante em r = 0,7r da pá
h	=	Altura de água sobre o hélice medida na linha central

O cálculo da altura da água sobre o hélice se faz utilizando a equação 3.41:

$$h = H - Dp/2 \qquad (3.41)$$

Na Figura 3.6 são apresentadas as porcentagens das áreas do dorso das pás afetadas pela cavitação para diferentes índices deste fenômeno, que são representados por meio de curvas. De acordo com o gráfico, a cavitação máxima permitida no dorso das hélices de embarcações pesqueiras de arrasto não deve ultrapassar o 2,5%, mas na realidade esse limite apresenta um valor muito baixo.

Sistemas informatizados comerciais que possibilitam efetuar este cálculo permitem a escolha do nível de cavitação em porcentagens maiores do que este valor, considerando margens entre 5% a 10% em fases preliminares de projeto, Carlton [28]. Assim, o índice de cavitação será considerado como um parâmetro de

entrada a critério do projetista e este será imposto como uma restrição durante os cálculos de otimização do projeto.

3.10.5 Cálculo do índice de Cavitação

Para o cálculo de cavitação, baseado no gráfico de Burril, foram extraídos pares de dados, como sendo coordenadas, que determinavam pontos localizados sobre as curvas que indicam os diferentes índices de cavitação, assim cada ponto contava com seu correspondente coeficiente de carregamento e número de cavitação local.

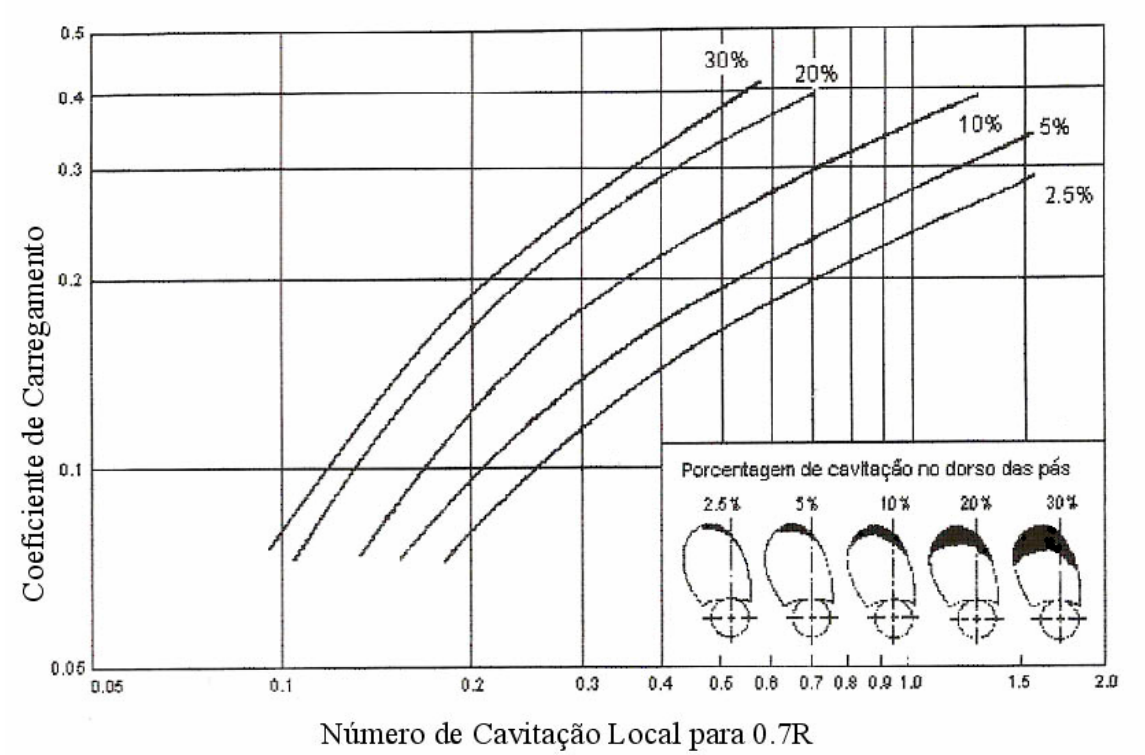

Figura 3-6 Diagrama de cavitação simples Burril (Lewis, 1988)

Logo, estes dados foram utilizados no treinamento[11] de uma rede neural artificial utilizando o algoritmo desenvolvido pelo professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Eng. Thiago Pontin Trancredi, a fim de que esta rede

[11] O treinamento de uma rede neural artificial consiste em estabelecer o valor dos pesos que relacionam corretamente os valores de entrada (índice de carregamento e número de cavitação local), com o valor de saída (índice de cavitação).

possibilitasse, através de uma superfície de resposta neural, a determinação automatizada dos índices de cavitação segundo o gráfico de Burril.

Neste caso, os dados entregues à rede neural, com valores entre 0,075 e 0,4 para o coeficiente de carregamento, entre 0,105 e 1,7 para o número de cavitação local e 2,5 e 30 para o índice de cavitação local, foram normalizados para 0 e 1 por questões numéricas de treinamento da rede, pois segundo Pontin (informação verbal)[12]as redes neurais trabalham melhor nessa faixa de valores. Os pesos entregues pela rede neural artificial para o cálculo são apresentados no APÊNDICE C.

Desta forma desenvolveram-se equações que descrevem a superfície de resposta representada pela rede neural artificial treinada com os dados obtidos do diagrama de Burril. Equações estas que permitem determinar o valor da cavitação de forma automática, a partir do índice de carregamento e número de cavitação local, para os navios considerados no estudo de Burril. A Figura 3.7 mostra o resultado do treinamento para este atributo. Nesse gráfico podem-se apreciar duas cores: a cor azul representa a malha definida pelos pontos reais (de saída) entregados a rede neural para o treinamento; a malha de cor vermelha representa os pontos que a rede neural entregará como resultado quando solicitada para efetuar cálculos, assim nas áreas em que a malha vermelha não se encontre exatamente sobre a malha azul indicam que as respostas não serão muito precisas. Essa exatidão de resposta está diretamente relacionada ao índice de erro considerado pelo usuário para o treinamento, significando que quanto menor erro maior será a exatidão na resposta, porém com um custo computacional do treinamento também maior.

A rede neural foi treinada considerando o seguinte:

- Rede Neural do tipo MLP (Multi Layers Perceptron).
- Para dois dados de entrada e um dado de saída, ou seja, dois neurônios de entrada e um neurônio de saída.
- Uma camada oculta de oito neurônios.
- Dados de entrada normalizando entre 0 e 1.

[12] Informação fornecida pelo Engenheiro Naval Thiago Pontin Tancredi da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, em Julho 2006.

- Função de ativação do neurônio: Exponencial.
- Erro limite de 0,0002.
- Treinamento com Retro Propagação

Para a montagem das equações, a rede neural entrega os seguintes dados:

- 16 pesos correspondentes à ligação entre os dos neurônios de entrada e os oito neurônios da camada oculta.
- 8 pesos correspondentes à ligação entre os oito neurônios da camada oculta e o neurônio de saída.
- 8 limiares cada um correspondente a cada neurônio da camada oculta.
- 1 limiar correspondente ao neurônio de saída.

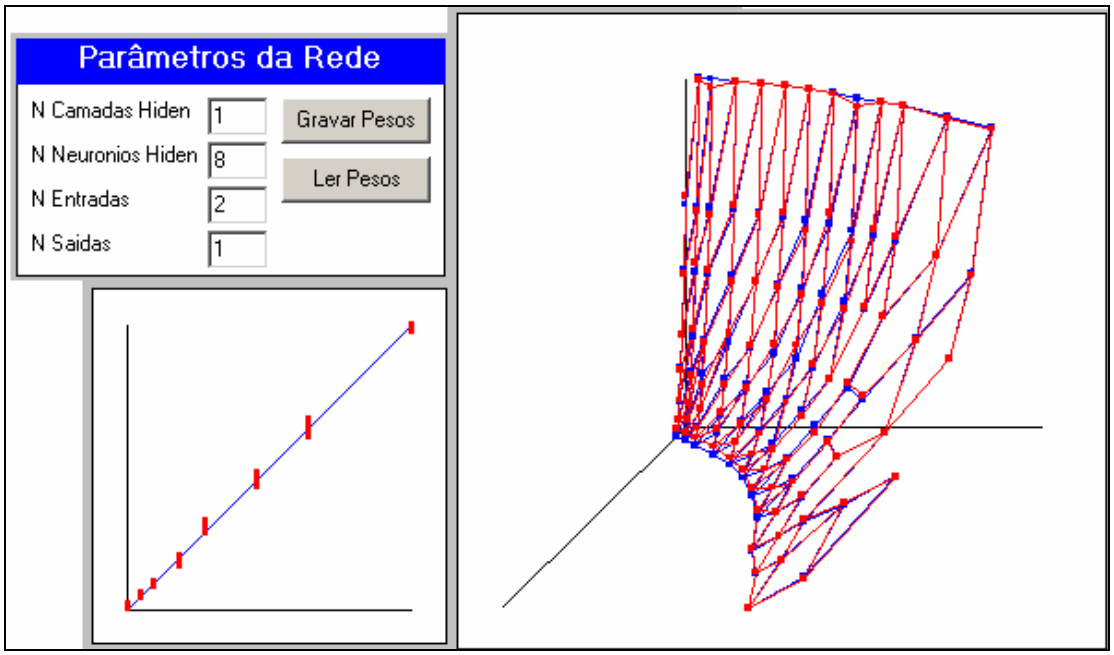

Figura 3-7 Treinamento da rede neural para o calculo de estabilidade (Pontin, 2006)

3.11. Integração do Conjunto Casco-Hélice-Motor

Para levar em conta o desempenho do sistema propulsivo nas diferentes condições de operação, é preciso analisar a questão da integração casco-hélice-motor quando operando em determinada condição de mar. Entende-se por

condições de operação: velocidade se serviço da embarcação, rotação do hélice e potência fornecida pelo motor.

Em geral, a seleção destes três componentes (casco, hélice e motor) é realizada apenas para uma única condição de operação que consiste em fornecer a potência necessária para que a embarcação se desloque a certa velocidade de serviço, requerida pelo armador, em condições médias de casco e mar. Entretanto, é apropriado estimar como este conjunto de componentes (sistema propulsor) se comportará em outras condições diferentes das de projeto.

Para o caso particular das embarcações de pesca no Peru, de acordo com o verificado nas especificações técnicas dos contratos entre alguns armadores e o estaleiro SIMA, interessa saber o comportamento do sistema nas condições de saída de porto e retorno da área de pesca, também chamada de "*saída de caladero*"[13]. Em outras palavras, nos interessa especificamente o desempenho do sistema nas duas condições de operação em que o navio pesqueiro trabalhará normalmente.

Como se pode perceber, o comportamento entre os elementos casco, hélice e motor depende de uma inter-relação entre eles, a modificação das características de qualquer um destes componentes influi sobre as respostas dos outros dois. Logo, a variação de um parâmetro em alguma destas partes influenciará nos outros parâmetros a serem selecionados dentro do processo de otimização do projeto.

Assim, por exemplo, as dimensões do casco (que serão consideradas como variáveis de projeto), influem no valor da resistência ao avanço que por sua vez influi no cálculo da potência requerida e das características do hélice. Desta forma, dentro de uma faixa em que as diversas variáveis podem mudar de valor, pode-se gerar um número vasto de soluções que cumpram as restrições impostas.

Neste sentido utilizar-se-á uma ferramenta computacional que possa efetuar os cálculos necessários dentro das faixas de restrições, e logo determinar o conjunto que melhor atenda ao objetivo solicitado ao mesmo tempo em que, determine o ponto de operação do sistema propulsivo para as duas condições de operação mencionadas.

Para determinar o ponto de operação nestas duas condições propõe-se que, variando as rotações do motor dentro dos cálculos, o programa compare por

---

[13] Se conhece por esse nome (calar) a ação de botar e recolher a rede durante o ato da pesca

caminhos diferentes dois atributos: o torque, que deve ser o mesmo oferecido pelo motor e requerido pelo propulsor; e por outro lado, a resistência ao avanço, que deve ser a mesma calculada a partir da potência efetiva requerida e a partir do empuxo fornecido pelo propulsor. Em ambos os casos, estes serão iguais só no ponto de operação. Assim, utilizando algumas das equações apresentadas anteriormente e algumas outras indicadas a seguir podemos efetuar os seguintes cálculos:

a. Calculo de Resistência ao Avanço (Rt)

1.- A partir da Potência do Motor

$P_B = P_E / (\eta_h . \eta_r . \eta_t . \eta_b . \eta_s . \eta_o)$

$P_E = P_B . (\eta_h . \eta_r . \eta_t . \eta_b . \eta_s . \eta_o)$

$P_E = Rt . Vs$ (3.42)

$Rt = P_E / Vs$

2.- A partir dos Coeficientes Relacionados com o Propulsor

$Va = Vs . (1 - w)$

$J = Va / (n . Dp)$ (3.43)

$Kt = f (J, Z, P/D, A_e/A_o)$

$Kt = T / (\rho . n^2 . Dp^4)$ (3.44)

$T = Kt . \rho . n^2 . Dp^4$

$T = Rt / (1 - t)$ (3.45)

$Rt = T . (1 - t)$

b. Calculo de Torque (Q)

1.- Torque oferecido pelo Motor

$Q_m = P_B / (2 . \pi . n)$ Logo, o torque entregue ao propulsor, (3.46)

$Q = Q_m . \eta_t . \eta_b . \eta_s$ (3.47)

2.- Torque requerido pelo Propulsor

$Va = Vs . (1 - w)$

$$J = Va / (n \cdot Dp)$$
$$Kq = f\,(J, Z, P/D, A_e/A_o)$$
$$Kq = Qo / (\rho \cdot n^2 \cdot Dp^5) \qquad (3.48)$$
$$Qo = Kq \cdot \rho \cdot n^2 \cdot Dp^5$$
$$\eta_r = Qo / Q$$
$$Q = Qo / \eta_r$$

Isto se sustenta no fato de só existir uma única rotação do hélice que assegura que a embarcação se desloque a uma determinada velocidade quando em uma mesma condição de carregamento. A condição de carregamento é representada no sistema de equações acima (integração casco-hélice-motor) pela resistência ao avanço desta condição.

A ferramenta que permite obter o melhor conjunto de características que cumpram um determinado objetivo é um algoritmo matemático de otimização.

Assim, a integração deste conjunto não será desenvolvida de forma iterativa a fim de avaliar cada alternativa final em separado, e sim uma integração onde todas as variáveis de todos os subsistemas vão ser conjugadas entre si, e cada uma respeitando as restrições de projeto impostas. Logo, será determinada aquela alternativa final que seja a melhor para uma determinada condição.

3.12. Estabilidade

A predição de estabilidade durante a fase preliminar de projeto é um tópico importante desde o ponto de vista de segurança, trabalhos existentes sobre embarcações pesqueiras enfatizam esse aspecto e buscam soluções através do estabelecimento de critérios que uma vez atendidos correspondam à segurança necessária, pois é grande a dificuldade em se conciliar os parâmetros a fim de prover estabilidade adequada.

No modelo de avaliação a ser utilizado, o objetivo é verificar a estabilidade da alternativa gerada, sob critérios conhecidos de engenharia naval. Esta verificação é preliminar já que em caso de um projeto novo, não estão disponíveis na fase inicial as linhas da embarcação e consequentemente a curva de estabilidade intacta. Desta

forma adotou-se para este trabalho o critério de altura metacêntrica requerida, o qual depende das características principais da embarcação.

A opção por esta metodologia se justifica no desejo de contar com um critério geral que avalie a estabilidade de forma rápida e que seja aplicável às embarcações sem a necessidade de se utilizar as curvas de estabilidade.

Em caso de navios já construídos que apresentem problemas de estabilidade, poderá se utilizar, com certa cautela, esta mesma metodologia. Aliás, sabe-se que as embarcações que apresentam estes problemas são antigas e geralmente não contam com planos de construção e nesse sentido, estes devem ser levantados no estaleiro para a correspondente avaliação e posterior modificação estrutural a fim de corrigir o problema. Este levantamento demora em média de 12 a 15 dias.

Para o caso deste tipo de embarcações, a modificação estrutural apresenta uma alternativa de solução. Estas poderão ser modificadas em suas dimensões principais sem a necessidade de modificar a forma do casco, pois estudos mostram que quando o mesmo tipo de forma de casco é mudado em suas dimensões principais, ou seja, em seu tamanho, condições completamente diferentes de estabilidade predominaram para cada caso, Traung et al. (1967) [30].

3.12.1 Critérios de Estabilidade Intacta para Pesqueiros

A estabilidade intacta de uma embarcação é avaliada através da curva de estabilidade que fornece o braço de endireitamento por ângulo de banda. Esta curva é levantada a partir das formas da embarcação para uma dada condição de carregamento e, segundo critérios estabelecidos internacionalmente, verifica-se se é ou não satisfatória.

A estabilidade intacta de cada embarcação de pesca é avaliada para todas as condições de carregamento, e está especificada na resolução da IMO A.168 (ES.IV) [31]:

- A área situada abaixo da curva de braços de endireitamento (curva GZ x φ) não deve ser inferior a 0,055 m.rad (metros por radianos) ate um ângulo de inclinação de 30°.

- A área situada abaixo da curva de braços de endireitamento (curva GZ x φ) entre os ângulos de inclinação de 30° e o ângulo de inundação (φ_f), se este for menor que 40°, não será inferior a 0,030 m.rad (metros por radianos).
- A área situada abaixo da curva de braços de endireitamento (curva GZ x φ) não será inferior a 0,090 m.rad (metros por radianos) ate um ângulo de inclinação de 40° ou ate o ângulo de inundação (φ_f), se este for menor a 40°.
- O braço de endireitamento (GZ) mínimo para um ângulo de inclinação igual ou superior a 30° será de 0,20 metros.
- O braço de endireitamento máximo (GZmax.) correspondera a um ângulo de inclinação geralmente superior a 30°, porem nunca inferior a 25°.
- A altura metacêntrica inicial (GM) não será inferior a 0,35 metros.
- Como uma parte adicional deste critério, é necessário no mínimo o limite de estabilidade de 60°.

A importância na análise de estabilidade neste tipo de embarcações existe em razão do número de acidentes ocorridos ao longo do tempo. Resultados das estatísticas da *National Transportation Safety Board* (NTSB)[14] citadas por Cabrera [32], em seu trabalho sobre estabilidade de embarcações pesqueiras, indicam que uma das maiores causas de acidentes marítimos envolvem questões de estabilidade, e que o segmento de embarcações de pesca é um dos setores industriais que apresentam os mais altos riscos no mundo.

Para a análise de estabilidade inicial na fase preliminar de projeto utilizou-se, como já mencionado, o critério da altura metacêntrica requerida, mesmo critério proposto por Gómez [10], em seu trabalho sobre projeto de embarcações pesqueiras e também pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) [33], no trabalho sobre projeto de embarcações para passageiros. Para o caso especifico de embarcações de pesca de cerco que operam no litoral peruano, esta altura metacêntrica tem um valor mínimo exigido pela Autoridade Marítima, que é igual a 900 mm. [34], devido às características de trabalho deste tipo de embarcações gerarem ângulos de balanço muito pronunciados e, portanto suas características de estabilidade devem proporcionar maior energia de restauração.

---

[14] National Transportation Safety Board, "Safety Study-Uninspected Commercial Fishing" NTSB/SS – 87/02, EEUU, 1987.

A determinação da estabilidade inicial na etapa preliminar do projeto é muito difícil, visto que esta não pode ser calculada facilmente sem conhecer as linhas do casco. Neste contexto, no período inicial de projeto, Yilmaz e Kükner [35], indicam que o raio metacêntrico (BM) e a posição vertical do centro de carena (KB) podem ser estimados utilizando métodos estatísticos aproximados.

Assim, para a determinação da estabilidade inicial, utilizou-se por um lado o gráfico de estabilidade inicial desenvolvido por Gueroult [6] para determinar a altura do metacentro do navio (KM), o qual leva em conta o comprimento, a boca e o calado da embarcação, associados ao deslocamento segundo a Figura 3.8. Por outro lado, deve-se calcular o centro de gravidade (KG), a fim de poder determinar a altura metacêntrica da embarcação em projeto segundo a seguinte formulação:

$$GM = KM - KG \tag{3.49}$$

3.12.2 Cálculo de Estabilidade Inicial

Da mesma forma que para a cavitação, utilizou-se para o cálculo da estabilidade inicial uma superfície de resposta representada por uma rede neural artificial do tipo MLP com 2 neurônios de entrada, 1 neurônio de saída e 1 camada oculta com 8 neurônios. Essa superfície foi treinada com o histórico gerado a partir do gráfico de GUEROULT, em um procedimento rigorosamente análogo ao realizado para a determinação automatizada dos índices de cavitação.

Assim, foram introduzidos durante a fase de treinamento da rede neural artificial os valores dos coeficientes adimensionais que relacionam o comprimento e o calado com o deslocamento, como dados de entrada, e o correspondente valor do coeficiente da altura do metacentro sobre deslocamento como dado de saída. Neste caso, para a normalização, os dados inseridos na rede neural foram entre 3 e 7 para a relação do comprimento, entre 0,268 e 0,847 para o calado e entre 0,31 e 0,55 para o KM. Os pesos calculados pela rede neural artificial são apresentados no APÊNDICE E.

A utilização de redes neurais artificiais no calculo de estabilidade inicial em embarcações pesqueiras já foi utilizada por Alkan et al. (2003) [36], ainda que em forma diferente a proposta neste trabalho, pois ele efetuou o treinamento da rede

neural artificial diretamente com as características (dimensões principais e coeficientes de forma) dos navios. O resultado do trabalho indica que os valores obtidos pela rede neural artificial utilizada em comparação com os dados reais, se apresentam dentro dos limites esperados, mas indicam também, que as respostas assim obtidas dependeram da base de dados utilizada para o treinamento.

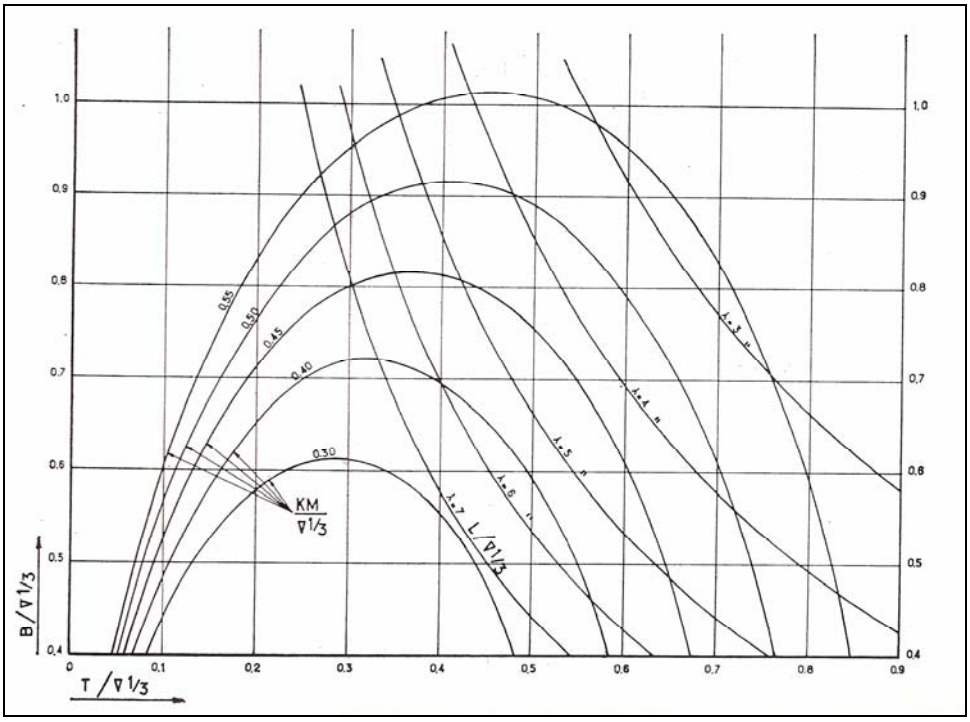

Figura 3-8 KM em função de L, B e T (Gueroult, 1960)

3.12.3 Cálculo de Centros

Para calcular o centro de gravidade da embarcação faz- se o cálculo baseado nos pesos de cada item considerado representativo dentro do navio e seu respectivo centro de gravidade determinado em relação a sua localização padrão em navios semelhantes. A determinação dos pesos já foi explicada e seus centros de gravidade segundo Moreno [16] são:

$KG_{AÇO}$	=	0,5 . D	$KG_{MAQ.PPL}$	=	0,4 . D
$KG_{MAQ.AUX.}$	=	0,3 . D	$KG_{EQ.CONVÉS}$	=	1,0 . D
$KG_{EQ.PESCA}$	=	1,0 . D	$KG_{COMBUT.}$	=	0,2 . D
$KG_{AGUA\ DOCE}$	=	0,5 . D	KG_{CARGA}	=	0,5 . D

Com respeito ao grupo de pesos acima apresentados, com a finalidade de obter uma maior precisão no cálculo, é apropriado subdividir o peso do aço como sendo a parte relativa ao casco e a correspondente à superestrutura, pois seus respectivos centros de gravidade encontram-se em diferentes pontos do navio. Logo:

$$KG_{CASCO} = 0{,}5 \cdot D$$
$$KG_{SUP.ESTRUT.} = 1{,}5 \cdot D$$

Nas Figuras 3.9 e 3.10 mostra-se a configuração de uma embarcação pesqueira padrão do tipo de cerco.

Sendo que a parcela do peso da superestrutura para pesqueiros de cerco está considerada dentro do peso total do aço, a fim de separa-a deste peso, pode ser calculada, como indicado por Benford e Kossa [5], pela seguinte expressão:

$$\Delta_{SUP.ESTRUT.} = 0{,}025 \cdot Cuno \qquad (3.50)$$

Assim mesmo, é preciso esclarecer que se deve considerar também para o cálculo o peso da rede de pesca e o peso da panga, que como indicado são pesos de grandeza considerável:

$$KG_{REDE} = 1{,}0 \cdot D$$
$$KG_{PANGA} = 1{,}0 \cdot D$$

Por ultimo, a altura do centro de gravidade será dada por:

$$KG_{FINAL} = \frac{\sum_i KG_i \Delta_i}{\sum_i \Delta_i} \qquad (3.51)$$

Da mesma forma, para o cálculo do centro de gravidade longitudinal LCG foram utilizadas as seguintes relações, contado o comprimento de ré para avante:

$$LCG_{AÇO} = 0{,}50 \cdot L_{LW} \qquad LCG_{SUP.ESTR.} = 0{,}85 \cdot L_{WL}$$
$$LCG_{EQ.PESCA} = 0{,}40 \cdot L_{WL} \qquad LCG_{A.\ DOCE} = 0{,}05 \cdot L_{WL}$$

$LCG_{COMBUT.} = 0,25 \cdot L_{WL}$ $LCG_{PANGA} = 0,05 \cdot L_{WL}$

$LCG_{REDE} = 0,25 \cdot L_{WL}$

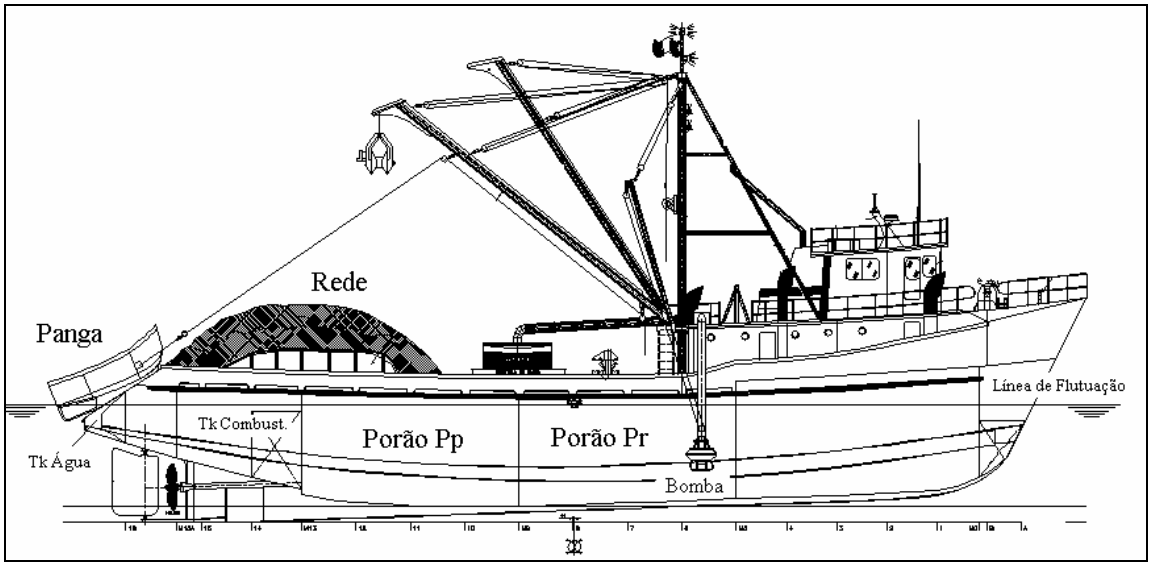

Figura 3-9 Configuração de uma embarcação pesqueira padrão (Estaleiro SIMA, 2005)

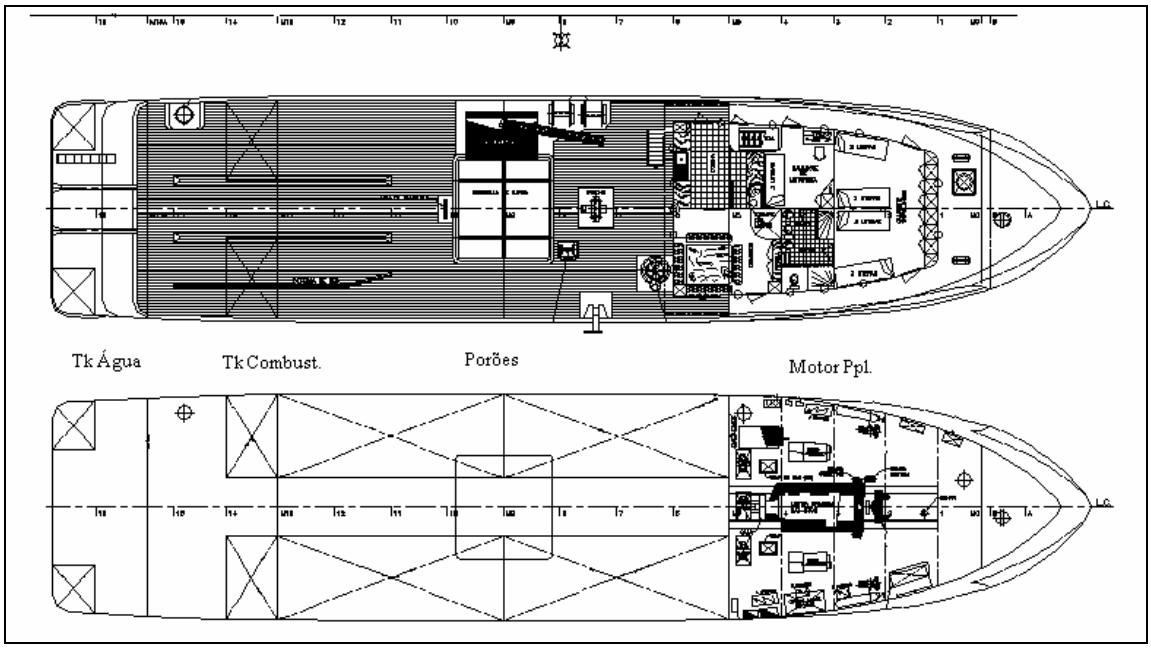

Figura 3-10 Configuração de uma embarcação pesqueira padrão (Estaleiro SIMA, 2005)

Para o restante grupo de pesos, sua localização está condicionada ao comprimento da embarcação, assim:

Para $L_{WL} \leq 35$ m.			Para $L_{WL} > 35$ m.		
$LCG_{MAQ.AUX.}$	=	$0,60 \cdot L_{WL}$	$LCG_{MAQ.AUX.}$	=	$0,40 \cdot L_{WL}$
$LCG_{MAQ.PPL}$	=	$0,65 \cdot L_{WL}$	$LCG_{MAQ.PPL}$	=	$0,45 \cdot L_{WL}$
LCG_{CARGA}	=	$0,55 \cdot L_{WL}$	LCG_{CARGA}	=	$0,65 \cdot L_{WL}$

Caso particular apresenta o grupo de pesos relacionado com os equipamentos do convés, que distribuídos ao longo do comprimento do navio devem ser divididos da seguinte forma, Parsons [18]:

$LCG_{EQ.CONVÉS}$ = 25,0 % do peso no mesmo ponto que $LCG_{MAQ.PPL}$
$LCG_{EQ.CONVÉS}$ = 37,5 % do peso no mesmo ponto que $LCG_{SUP.ESTR.}$
$LCG_{EQ.CONVÉS}$ = 37,5 % do peso a meia nau

Logo:

$$LCG_{FINAL} = \frac{\sum_i LCG_i \Delta_i}{\sum_i \Delta_i} \qquad (3.52)$$

Para o cálculo do trim, do LCB e de KB (para casco de forma U), foram utilizadas as seguintes expressões, Parsons [18]:

$$Trim = (LCG - LCB) / GM_L \qquad (3.53)$$

$$LCB = -13,50 + 19,40\ Cp \qquad (3.54)$$

$$KB = H/2 \qquad (3.55)$$

Onde:

$$GM_L = BM_L + KB - KG \qquad (3.56)$$

$$BM_L = (L_{WL} \cdot B / 12 \cdot \nabla) \cdot C_{WL} \qquad (3.57)$$

$$C_{WL} = 0,95\ Cp + 0,17.(1 - Cp)^{1/3} \qquad (3.58)$$

3.12.4 Condições de Carregamento para Navios Pesqueiros

As condições de carregamento para as quais devem ser efetuadas a avaliação de estabilidade do navio são recomendadas pela *International Conference*

on Safety of Fishing Vessel [37] e o *Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessel* [38] (Tabela 3.10).

Segundo descrito por Cabrera [32] o mais baixo índice de segurança no que se refere à estabilidade intacta em ondas e águas calmas, ocorre na condição de retorno do banco de pesca com máxima carga e meia capacidade (50%) dos tanques de combustível e provisões (Condição II). Por outro lado, a Autoridade Marítima efetua a avaliação da altura metacêntrica mínima requerida na condição de saída de porto, portanto, adotou-se essas duas condições de carregamento para a análise de estabilidade que será utilizada como restrição no processo de procura da solução.

Tabela 3-10 - Condições de carregamento para embarcações pesqueiras

TIPO	CONDIÇÃO	COMENTÁRIO
I	Condição de Partida do Porto	Com capacidade de 100% nos tanques de combustível, água e provisões ou viveres.
II	Condição de Retorno do Banco de Pesca	Maximo carregamento, com capacidade total de 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 tanques de combustível, água e lastro, como provisões ou viveres.

CAPÍTULO 4

4. VALIDAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO

4.1. Descrição e Aspectos Gerais

Uma vez determinadas as equações que relacionam as características da embarcação e seus atributos com os requisitos do armador, assim como o sistema estabelecido para avaliar a estabilidade e a cavitação, foi montado um programa automatizado de cálculos. Esse software permite determinar todas as características da embarcação em projeto de forma otimizada e descartando durante o processo as alternativas que não atendam a algum critério estabelecido, de tal forma que no campo de soluções só restem opções viáveis que possam satisfazer todos os requisitos e restrições.

Entretanto, é indispensável testar em embarcações reais a metodologia e a formulação empregada a fim de validar o procedimento proposto. Dessa forma, neste capítulo serão implementados os cálculos das características da embarcação que serão avaliadas pelo programa, a fim de comparar os resultados e verificar sua faixa de validade.

Como nesta fase do trabalho a rotina de otimização não terá sido aplicada, na qual as variáveis de projeto serão determinadas pelo programa durante o processo de busca, tais variáveis terão que ser calculadas ou assumidas.

Para tanto, como será descrito posteriormente, foi utilizada a mesma metodologia de regressão, a fim de estimar as dimensões principais do navio e algumas outras variáveis que possam ser estimadas por esta metodologia. O restante das variáveis, como algumas características do propulsor e os ângulos do casco (entrada, saída e Buttock) foram assumidas dentro da faixa de valores correspondentes para este tipo de navios.

Para o cálculo de alguns parâmetros, foram utilizadas estimativas apresentadas em artigos científicos antigos, cujas expressões são válidas para os navios pesqueiros peruanos atualmente em serviço. Verificou-se, através de um levantamento de informação sobre 570 embarcações pesqueiras de mais de 25

metros de comprimento que operam no litoral peruano, que a média do ano de construção destas embarcações é de 1979, portanto, dentro do período em que os estudos mencionados foram apresentados. A Tabela 4.1 apresenta alguns dados desta pesquisa. Deve-se levar em conta que a faixa dos dados apresentados, refere-se à informação disponível sobre esses navios.

Tabela 4-1 - Media de anos de construção de embarcações pesqueiras

Número de Embarcações Pesquisadas	Anos de Construção entre	Comprimentos entre (metros)	Capacidade de Porão entre (m^3)	Media de Anos de Construção
570	1960 – 2005	25.00 - 61.93	140.87 - 649.71	1979.73

4.2. Determinação das Variáveis de Projeto

Como mencionado, o valor destas variáveis foi determinado pelo programa dentro do processo de busca da solução ótima, mas podem também ser calculadas por regressão, obtendo-se desta forma um valor viável e aceitável, mas não ótimo.

No Artigo de Benford e Kossa [5], se fez uma análise de diversos parâmetros de embarcações de pesca de vários tipos. No caso de embarcações de pescas de cerco, a faixa de valores apresentada por ele incluiu apenas navios com até 30 m. de comprimento, fato que impediu a utilização dessa informação para efetuar uma regressão e aplicá-la a este trabalho, visto que as embarcações estudadas superam amplamente essa medida.

Foi então utilizada a informação apresentada por Moreno [16] em referência ao mesmo trabalho publicado por Benford e Kossa [5], mas correspondente a embarcações de pesca de arrasto a qual apresentava uma faixa superior incluindo embarcações de até 65 m. de comprimento, e cujas características, sem levar em conta o método de captura, não diferem muito das embarcações de cerco.

Desta forma, algumas das equações apresentadas por Moreno [16] foram ajustadas por um fator de correção que permitisse que os resultados se enquadrassem dentro da faixa de valores esperados para os navios pesqueiros de cerco. Assim, foram determinadas as seguintes relações, onde as dimensões estão expressas em metros e o deslocamento em toneladas:

a. Relação Capacidade de Porão – Deslocamento

$$\Delta = 0.000004\ V_P^3 - 0.0048\ V_P^2 + 3.391\ V_P - 88.778 \qquad (4.1)$$

b. Relação Deslocamento – Comprimento

$$L_{LW} = (-\ 0.0000248\ \Delta^2 + 0.06\ \Delta + 14.25)\ .\ 0.90 \qquad (4.2)$$

c. Relação Comprimento – Boca

$$B = [L_{LW} /((0.063\ L_{LW})+2.55)].\ 1{,}10 \qquad V_P \leq 300\ m^3 \qquad (4.3)$$

$$B = [L_{LW} /((0.063\ L_{LW})+2.55)]\ .\ 1{,}20 \qquad V_P > 300\ m^3 \qquad (4.4)$$

d. Relação Boca – Calado

$$H = (0.46\ B) + 0.32 \qquad (4.5)$$

e. Relação Calado – Pontal

$$D = H + FB_{MIN} \qquad (4.6)$$

O valor do FB mínimo é imposto pela Autoridade Marítima segundo o comprimento da embarcação.

f. Diâmetro do Propulsor

$$Dp/B = [-8{,}0863\ (B/L_{WL})^4 – 39{,}7971\ (B/L_{WL})^3 + 40{,}7138\ (B/L_{WL})^2 - 12{,}7126\ (B/\ L_{WL}) + 1{,}51862]\ .\ 0{,}95 \qquad (4.7)$$

Cabe mencionar que o deslocamento obtido desta forma só foi utilizado para o cálculo das dimensões principais do navio. Nesse sentido, o deslocamento

utilizado para o resto de cálculos foi aquele obtido pela soma de pesos significativos da embarcação.

Os resultados das dimensões principais obtidos com esta formulação para oito embarcações pesqueiras (construídas e em projeto) e a comparação com dimensões de navios semelhantes são apresentados na Tabela 4.2.

4.3. Aplicação do Método em Embarcações Existentes

Para validar a metodologia empregada efetuou-se uma seqüência de cálculos em seis navios pesqueiros com capacidade de porão entre 203 m^3 e 535 m^3. Os navios foram escolhidos para cobrir da melhor forma possível a faixa de características que o processo pretende avaliar.

Como mencionado, no processo serão assumidos uma série de dados, quando não disponíveis, a fim de completar o processo de cálculo. Estes dados e os valores adotados são enumerados a seguir:

- Ângulo de entrada do casco 28º
- Ângulo de saída do casco 80º
- Ângulo de Buttock 17º
- Autonomia 10 – 12 dias
- Velocidade 11.5 a 14.0 nós
- Número de pás do propulsor 4 pás
- Relação área expandida – áreas projetada 0.70
- Relação passo – diâmetro 0.80
- Revoluções do motor (RPM) 900 - 1800
- Relação de redução 2.98 – 6.04
- Número de tripulantes 12 - 18

Tabela 4-2 - Comparação das características principais calculadas

Embarcação		Ano Construção	Loa	Boca	Pontal	Vporão m^3
Supe 203 m^3	Real	2005	32.88	7.73	3.81	203.00
	Calculado		34.88	7.73	3.82	
	Similares	1990	26.90	7.50	3.50	206.19
		1966	32.09	7.58	3.61	207.95
		1966	34.37	8.15	3.60	210.14
		1996	39.70	7.80	3.50	228.00
Dalmacia III 250 m^3	Real	2004	35.33	7.98	3.81	250.00
	Calculado		37.93	8.09	4.00	
	Similares	1996	31.48	8.00	3.66	245.60
		1971	35.62	7.52	3.60	264.36
		1987	37.49	7.58	3.37	242.48
		1996	39.70	7.80	3.50	228.00
SIMA I 350 m^3	Real	1996	37.30	9.20	4.70	350.00
	Calculado		42.64	9.38	4.65	
	Similares	1970	33.83	7.70	3.85	349.04
		1995	37.72	7.92	4.20	346.07
		1996	42.40	9.05	4.35	355.81
		1995	43.13	9.05	3.98	356.36
Projeto Tasa 400 m^3	Real	-	44.70	10.30	5.00	400.00
	Calculado		47.17	9.57	4.75	
	Similares	1971	35.96	7.77	3.65	401.05
		2003	42.50	8.50	4.25	392.09
		2003	44.52	9.90	5.00	401.08
		1967	50.75	9.24	6.75	384.19
SIMA II 408 m^3	Real	1995	45.36	8.39	4.69	408.00
	Calculado		44.67	9.60	4.77	
	Similares	1992	38.75	8.30	4.15	408.49
		2005	43.92	10.12	5.00	403.96
		2003	44.70	10.05	4.98	399.94
		1989	45.16	7.90	4.13	404.00
Tasa 55 500 m^3	Real	2005	48.75	10.05	5.17	500.00
	Calculado		47.17	9.86	4.96	
	Similares	1992	40.50	8.90	4.40	497.00
		1993	43.00	8.82	4.50	494.71
		1994	48.95	9.05	4.36	491.78
		1996	50.32	10.35	4.60	499.54
Polar V 535 m^3	Real	1995	43.80	9.45	4.82	535.00
	Calculado		47.94	9.94	4.96	
	Similares	1994	40.00	8.80	4.40	538.86
		1996	42.77	10.30	5.00	541.21
		2001	45.14	10.60	4.80	538.01
		1996	48.70	9.80	5.50	541.00
Cerquero 600 m^3	Real	-	51.50	10.60	5.05	600.00
	Calculado		49.00	10.04	5.02	
	Similares	1987	43.60	10.28	4.98	589.26
		1995	47.00	9.95	4.88	573.00
		1979	56.00	11.58	3.96	592.99
		1975	59.30	10.02	6.75	582.84

Estes valores serão assumidos dentro de faixas conhecidas para embarcações semelhantes adotando os seguintes critérios:

- As rotações para o melhor desempenho do hélice estão na faixa de 250 a 450 RPM, Gómez [10]. Recomenda-se o valor de 300 RPM no eixo.
- Embarcações com capacidade de porão menor do que 300 m^3 contam com uma tripulação de 12 pessoas, entre 300 m^3 e 500 m^3 com 15 tripulantes, acima disso, 18 tripulantes.
- Autonomia de 10 dias para embarcações com capacidade de porão menor a 450 m^3 e de 12 dias para as maiores.
- Características dos motores (potência, rotações, peso e consumo especifico de combustível) de acordo com o catálogo de motores CATERPILLAR [20] apresentado no APÊNDICE E.
- Características do propulsor dentro da faixa de propulsores B-Troost. Com relação a este ponto, duas das seis embarcações mostravam os dados do propulsor instalado. Assim, foram assumidas para o restante das embarcações as mesmas características apresentadas. A exceção do diâmetro, que será calculado por regressão.
- A velocidade na condição de saída de porto foi considerada 11.5 nós para embarcações com capacidade de porão menor a 350 m^3, 12.0 nós para aquelas entre 350 m^3 e 450 m^3 e de 14.0 nós para as maiores.

Nesta seqüência de cálculos foi utilizado o otimizador do programa Microsoft Excel chamado “SOLVER”, aplicando uma função de minimização a fim de encontrar o ponto de operação do sistema propulsor, como explicado na seção de integração casco-hélice-motor. Nesta mesma função foi considerada a busca da potência requerida para a velocidade imposta.

Assim, com esta metodologia proposta obtiveram-se os parâmetros e características apresentados no APÊNDICE F, as quais mostram resultados lógicos dentro das faixas esperadas, demonstrando que a metodologia proposta é viável. Os dados correspondentes ao comprimento na linha de água, calado e deslocamento por soma de pesos são referidos a condição II de carregamento. Os demais dados estão referidos a condição I.

4.4. Aplicação do Método em Embarcações em Projeto

Para o caso de um navio que se deseja projetar, este fica determinado pelos requisitos do armador e pelas restrições da Autoridade Marítima. Os requisitos do armador são geralmente: capacidade do porão, velocidade, capacidade dos tanques de armazenamento de combustível e água (autonomia) e número de tripulantes; por outro lado, as restrições da Autoridade Marítima são referentes à borda livre e a altura metacêntrica mínima.

Para os testes foram consideradas como embarcações em projeto aquelas para as quais se teve acesso às propostas técnicas e/ou contratos feitas pelo estaleiro SIMA com alguns armadores. Assim foram testadas três embarcações com volume de porão entre 400 m^3 e 600 m^3.

No caso destas embarcações a velocidade de serviço requerida e capacidade dos tanques de armazenamento de combustível e água (autonomia) são conhecidas, adicionalmente duas delas contam com sistema de refrigeração de porões RSW, dados ambos que serão considerados no processo de cálculo. O restante dos dados foram considerados como na seção anterior.

Os resultados obtidos para estes navios estão apresentados no APÊNDICE G. Novamente as dimensões e características associadas encontram-se dentro da faixa esperada para estas embarcações.

4.5. Comentários e Analise dos Resultados

Sabe-se que as respostas obtidas não estão otimizadas, pois ainda não foi aplicado o algoritmo de otimização, mas apresentam uma clara idéia da viabilidade da metodologia, pois os resultados se encontram dentro de uma faixa de erro considerada razoável para resultados preliminares de projeto.

Assim, os testes executados mostram a adeqüabilidade do método proposto e colocam a otimização como uma ferramenta opcional para o projeto automatizado de embarcações pesqueiras em substituição ao difundido processo através da espiral de projeto.

Durante o desenvolvimento do trabalho e depois de aplicada a metodologia em algumas embarcações pesqueiras, foram observados alguns detalhes que serão destacados:

- A metodologia de regressão é utilizada há muito tempo para simplificar o desenvolvimento de projeto de navios pesqueiros e apresentou bons resultados, mas a maioria dos trabalhos referem-se a embarcações da Europa, Japão e Estados Unidos onde as faixas de validade nem sempre se enquadram nas características de navios de outros países, em especial à frota peruana. Este é o caso das embarcações de cerco, que, segundo Benford e Kossa [5], só é considerada para navios de até 30 metros de comprimento quando na realidade, o comprimento atual destas embarcações pode chegar a mais de 50 metros, ainda que para esses anos só se tenha registro de embarcações que superavam levemente os 40 metros.
- Alguns parâmetros da embarcação foram calculados por vários métodos a fim de se comprovar que os resultados estavam dentro do esperado e, também, para poder utilizar o melhor deles nas diferentes situações. Assim, por exemplo, temos o caso do deslocamento, que, como resultado inicial do programa de automatização, influenciará de forma determinante no resto das variáveis calculadas e, portanto, deve ser o mais preciso possível. Assim, o deslocamento foi calculado de três formas:

    1. Soma de pesos.
    2. Equação de regressão a partir do volume do porão.
    3. Formulação empírica do estaleiro SIMA.

A formulação empírica utilizada pelo estaleiro SIMA para estimar em forma preliminar o deslocamento de uma embarcação pesqueira do tipo de cerco é descrita a seguir:

$$\Delta_{TOTAL} = (L_{LW} \,.\, B \,.\, D \,.\, 0{,}196) + W_{PANGA} + W_{REDE} + W_{ÁGUA} + W_{COMBUST.} + W_{CARGA} \qquad (4.8)$$

Na Tabela 4.3 são apresentados os resultados dos três métodos indicados para o cálculo do deslocamento total (em toneladas), estes foram aplicados às embarcações utilizadas para os testes no decorrer deste trabalho. Como foi apresentado no capitulo anterior, a soma de pesos foi o critério adotado para a estimativa do deslocamento para este trabalho.

Tabela 4-3 - Cálculo do deslocamento total

Embarcação	Supe	Dalmácia III	SIMA I	Projeto Tasa	SIMA II	Tasa 55	Polar V	Cerquero 600 m^3
Soma de Pesos	495,54	594,08	866,30	969,36	981,80	1.123,81	1.204,96	1.257,76
Equação regressão	472,05	558,02	725,57	801,62	820,61	959,55	1.016,80	1.139,07
Formulação SIMA	457,76	524,48	731,80	927,39	881,92	1.109,83	1.069,07	1.248,33

- As características próprias de cada região fazem com que algumas curvas estatísticas conhecidas não sejam aplicáveis a casos como o deste trabalho. Assim, temos o caso da curva indicada por Benford e Kossa [5], que poderia aproximar cálculos para a determinação da borda livre, que neste trabalho foi considerada como sendo requisito da Autoridade Marítima.
- Os dados sobre a capacidade dos tanques de armazenamento de combustível e água nas embarcações pesqueiras são muito variáveis, não mantendo um padrão que possa ser utilizado como norma geral.
- Soube-se que ainda algumas embarcações construídas a inícios dos anos 90 estão sendo modificadas estruturalmente para corrigir problemas de estabilidade e borda livre.
- Os resultados preliminares obtidos passo a passo mediante as equações de regressão, utilizando um programa de planilhas de cálculo, mostram que a metodologia é viável e confiável como ponto de partida para o projeto.

CAPÍTULO 5

5. APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE BUSCA

5.1. Generalidades

Para este trabalho foi selecionado um algoritmo, entre os diversos existentes, para sua aplicação em um sistema de seqüência de cálculos automatizados para o projeto de embarcações pesqueiras a fim de otimizar o resultado final baseado em um objetivo especificado.

O algoritmo escolhido foi o MBA (Modified Box Algorithm) desenvolvido por Brito [39] para a busca do ponto ótimo de uma função de múltiplas variáveis submetidas a restrições de desigualdades e adaptado para o tratamento de problemas com variáveis discretas. Na referencia indicada se faz ênfase em alguns conceitos que passaremos e descrever brevemente a seguir:

a. **Variáveis de Projeto:** As variáveis de projeto ou variáveis de decisão são aquelas que caracterizam o projeto e precisam ser definidas pelo engenheiro ou projetista. Podem ter um espectro contínuo ao longo de um intervalo, como no caso do comprimento do navio ou podem estar restritas a valores discretos, como no caso do número de pás do propulsor.

b. **Função Objetivo:** A função objetivo ou medida de mérito é uma função escalar baseada nas variáveis de projeto definidas e é a função a ser otimizada.

Usualmente, adota-se como função de mérito, ou objetivo a ser atingido durante o projeto, o menor custo, entretanto, estabelecer uma função de mérito envolvendo custos não é uma tarefa fácil e apresenta variações de acordo com as características de cada estaleiro. Assim adotou-se para este trabalho a mínima potência instalada, visto que este atributo está diretamente relacionado com as dimensões do navio, o consumo de combustível e as características dos equipamentos,

todos eles envolvendo os custos mais representativos dentro do projeto e a vida operacional do navio.

c. **Funções de Restrição:** Problemas práticos geralmente estão sujeitos a uma série de restrições de fronteira que podem ser representadas por $f(x) \geq 0$, e também estar sujeitos a uma série de restrições homogêneas ou de igualdade $g(x) = 0$.

5.2. O algoritmo MBA

O algoritmo utilizado neste trabalho e desenvolvido por Brito [39] é baseado no algoritmo de busca proposto por Box[15] (1965), que evoluiu do algoritmo de Nelder-Mead[16] (1965) chamado de Simplex.

Como mencionado por Brito [39], embora o algoritmo de Box já se propusesse a resolver problemas com restrições, diferentemente do método de Nelder-Mead, ele, como uma série de outros métodos, exige que o usuário encarregue-se de fornecer um ponto de partida viável. Em muitos problemas não elementares, conseguir que um projeto que satisfaça todas as restrições é uma tarefa complexa e uma vez obtida, freqüentemente leva o engenheiro a dar por encerrado o próprio projeto.

Ainda Brito [39] indica em seu trabalho, que para contornar o problema de considerar restrições, Fletcher[17] (1973), sugere que se utilize o método de busca com penalidades. Neste método, define-se uma função auxiliar, que se incorpora a função objetivo original e as de restrições, convertendo-se o problema com restrições em um processo de otimização sem restrições.

Seja o problema de minimização como o definido anteriormente. No método das penalidades define-se uma função auxiliar $\phi(X, r_k)$:

---

[15] Box, M. J., *A new method of constrained optimization and comparison with other methods*, Computer Journal, Vol. 8, No. 1, April 1965, pp. 42-52.

[16] Nelder, J. A., Mead, R., *A Simplex Method for Function Minimization*, Computer Journal, Vol. 7, No. 4 Jan., 1965, pp. 308-313.

[17] Fletcher, R., *Mathematical-Programming Methods - A Critical Review*, in *Optimum Structural Design*, John Wiley & Sons, Great Britain, 1973.

$$\phi(\mathbf{X}, r_k) = f(\mathbf{X}) + p(\mathbf{X}, r_k) \tag{5.1}$$

onde $p(X, r_k)$, é chamada de função de penalização e r_k é uma variável escalar positiva. A variável r_k é usualmente denominada de fator de resposta e a superfície representativa da função $\phi(X, r_k)$ é chamada de superfície de resposta.

Assim, o problema, antes com restrições, se transforma em diversos problemas sem restrições, já que para diferentes valores do fator de resposta, r_k, pode-se chegar a pontos diferentes na minimização da função $\phi(X, r_k)$. O processo global de busca termina quando, entre dois valores distintos de r_k, problemas k e k+1, chega-se ao mesmo ponto ótimo de $\phi(X, r_k)$. Esse processo foi batizado de *Sequential Unconstrained Minimization Technique* (SUMT), e vem sendo aplicado com sucesso em diversos problemas de engenharia.

Como explicado, o algoritmo MBA utilizado, além do considerar o sistema de penalidades, difere do algoritmo de Box basicamente, pois este último não possuía regeneração. Isto significa que para problemas ditos não convexos, se o centróide dos vetores estiver em uma região inviável, a busca falha e o problema é abortado. No MBA considera-se que uma vez detectada esta situação, uma direção alternativa deveria ser tomada para suplantar a dificuldade. Assim, Brito [39] indica que a direção adotada por este algoritmo é a do vetor de máximo, que está sendo excluído, para o vetor de mínimo.

O algoritmo apresenta adeqüabilidade no desenvolvimento proposto e se coloca como ferramenta opcional para o projeto automatizado em substituição do difundido processo via espiral de projeto.

5.3. O Método de Busca

O método utilizado pelo algoritmo para a busca do resultado ótimo, considera como ponto de partida a designação das variáveis de projeto de maneira aleatória dentro de uma faixa de valores indicados no programa para cada uma delas. Assim, na verdade, ele não só escolhe um ponto de partida para a embarcação em projeto, se não vários pontos diferentes, a fim de começar a fazer os cálculos em cada um deles para ser avaliados simultaneamente.

Logo, com a avaliação dos resultados de cada ponto, ou seja, cada projeto, o programa determina a área da superfície da função objetivo onde os pontos escolhidos apresentem o menor valor, pois trata-se de uma função de minimização, assim escolhe de entre todos eles o pior para projetar um novo ponto que o substitua, este novo ponto é projetado na direção do centróide do resto de pontos. Desta forma, o programa vai mudando continuamente os pontos até estes se aproximarem da área onde se encontra o ponto de ótimo procurado, e diminuindo logo o tamanho do espaço que os contem, sempre gerando um novo ponto na direção do centróide do resto, para determinar o ponto de ótimo. Entenda-se por ponto, o conjunto de variáveis de projeto que servem de base para os cálculos que definem as características da embarcação.

O número de pontos escolhidos para o processo de busca tem relação direta com o número de variáveis de projeto e é definido no programa. Cada passo do processo, ou seja, a geração de um novo ponto para uma nova avaliação do conjunto, é chamado de iteração e o número destas iterações determina quantas vezes o programa mudou as características da embarcação gerando novos pontos até obter o projeto ótimo. Para conhecer o número de iterações realizadas, assim como o tempo que ele demorou na procura do resultado ótimo, foi considerada dentro do programa uma função que mostre estes resultados no final do processo.

Segundo Brito (Informação verbal)[18], o número de pontos recomendado para a utilização desta metodologia de busca dever ser de três a quatro vezes o número de variáveis de projeto. Portanto, foi considerado para o processo de busca a geração de 4 vezes o número de variáveis. Para este trabalho foram consideradas as características que se indicam como sendo variáveis de projeto:

Do casco		Do propulsor	Do motor	Do redutor
L_{WL}	$\frac{1}{2}\alpha_e$	Z	Potência	Índice de redução
B	$\frac{1}{2}\alpha_s$	P/D	RPM	
D	α_{BS}	A_e/A_o		
H		Dp		

[18] Informacao fornecida pelo Prof. Dr. Oscar Brito Augosto da Escola Politecnica da Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, em 2006.

Delas, as referidas ao casco e o diâmetro do propulsor são variáveis continuas, e o resto são variáveis discretas que dentro do programa estão definidas em tabelas.

5.4. As penalizações no processo

Como explicado anteriormente na seção do algoritmo MBA, para as restrições impostas pelos métodos de cálculo utilizados no programa, os requisitos do armador e da Autoridade Marítima e outros como a relação volume do casco-volume do porão, será utilizado o método de penalizações.

Desta forma, ao terminar o processo de cálculo se poderá apreciar em um arquivo gerado pelo mesmo programa, quais restrições não foram atendidas e em que medida. Sabendo-se que não todas as restrições têm o mesmo grau de importância, se permite ao programa encontrar resultados que não necessariamente atendam por completo todas as restrições consideradas, sendo nesse caso de vital importância o julgamento do engenheiro naval para avaliar o resultado obtido.

Dentro das restrições incluídas para ser penalizadas pelo programa, encontram-se todas as restrições do método para cálculo de resistência da FAO as quais podem ser vistas com maior detalhe na referencia [21], assim como as que se detalham a seguir:

- Erro de acoplamento motor-propulsor, como explicado na seção casco-hélice-motor.
- Velocidade mínima de serviço, requisito do armador.
- Rotação máxima do motor, segundo catalogo do fabricante.
- Pontal mínimo requerido, relação calado-borda livre exigida pela Autoridade Marítima.
- Relação volume do porão-volume do casco.
- Altura metacêntrica mínima exigida pela Autoridade Marítima.
- Cavitação máxima permitida no dorso das pás.

5.5. O resultado do processo

Finalmente, junto do arquivo de penalizações gera-se um outro arquivo, onde se apresenta o resultado obtido depois do processo de busca do projeto ótimo. Nele se encontram detalhadas todas as características do navio, assim mesmo o valor dos coeficientes, eficiências, e atributos associados para as duas condições de operação consideradas. Os resultados obtidos no teste de prova em uma embarcação pesqueira de 400 m^3 de capacidade de porão, em comparação com os dados do navio projetado da forma tradicional pelo estaleiro SIMA são apresentados na Tabela 5.1. O programa fez 255 iterações em aproximadamente uma hora, o resultado do teste é apresentado no APÊNDICE H.

Este programa computacional se mostra como uma ferramenta rápida e poderosa no auxilio dos projetistas, tanto na formulação de projetos novos como na avaliação de navios já existentes. Neste ultimo caso, sabe-se que em média os engenheiros realizam 3 projetos de modificação de dimensões do casco para cada embarcação que apresenta problemas de estabilidade e borda livre antes de chegar a um projeto aceitável, e isto demanda aproximadamente 5 dias de trabalho.

Tabela 5-1 - Projeto SIMA vs Projeto Otimizado

	Volume Porão	Dimensões			Motor		Redutor 1:	Propulsor		Velocidade (nós)
		L_{OA}	B	D	Potência (kW)	RPM		Z	Dp	
Projeto SIMA	400 m^3	44.70	10.10	5.00	973.15	900	3.08	4	2.25	12.50
Projeto Otimizado		46.90	9.89	4.80	709.00	1370	5.04	4	2.17	12.80

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capitulo apresenta-se inicialmente uma síntese do trabalho para logo indicar as principais conclusões obtidas após a aplicação da metodologia empregada. Finalmente se indicam algumas recomendações para trabalhos futuros que pretendam continuar ou que estejam relacionados à linha de pesquisa seguida durante o desenvolvimento deste trabalho.

6.1. Síntese do Trabalho

Como objetivo central deste trabalho definiu-se a automatização e otimização do projeto de embarcações pesqueiras do tipo de cerco. A partir deste objetivo, foi feito uma apreciação do panorama da indústria pesqueira no Peru e a problemática deste setor, como também a situação atual das embarcações da frota industrial peruana em relação aos problemas de estabilidade e borda livre.

A seguir, foram abordadas cada uma das seqüências de cálculo que seriam implementadas nas rotinas a serem programadas, assim como os conceitos teóricos e as considerações e critérios aplicados em cada etapa. Desta forma foi detalhada a relação entre parâmetros e atributos da embarcação com os cálculos de resistência, potência, estabilidade e cavitação. Durante o processo efetuou-se um levantamento de dados de navios semelhantes para complementar a informação disponível na literatura.

Na continuação, foram avaliadas as rotinas de cálculo em embarcações reais a fim de validar o método proposto, para por último acoplar esta seqüência de cálculos ao algoritmo de otimização escolhido.

O programa foi desenvolvido em linguagem de programação DELPHI 7.0, para embarcações de pesca de cerco que operam no litoral peruano, entre 200 m^3 e 600 m^3 de capacidade de porão, com ou sem sistema de refrigeração de peixes RSW e para ser propulsadas por hélices da serie B-Troost.

6.2. Conclusões

Logo do desenvolvimento do trabalho, é possível concluir o seguinte:

- Apesar de o Peru ter uma extensa frota pesqueira, não se conta com uma base de dados completa sobre as características das embarcações de pesca, verificando-se que os registros não permitem efetuar uma avaliação apropriada sobre alguns aspectos da embarcação, como por exemplo, estabilidade.
- As considerações para a avaliação de cavitação e estabilidade da embarcação pesqueira devem ser tomadas com cautela, pois sua concepção no programa só considera parâmetros gerais dela, devendo, portanto, ser verificada por outro método em fases posteriores do projeto.
- As características e parâmetros das embarcações pesqueiras apresentam valores contínuos e discretos, portanto, o algoritmo a ser eleito para a procura da embarcação ótima, tinha necessariamente que trabalhar em forma rápida com ambos os tipos de variáveis. Nesse sentido, verificou-se a dificuldade do SOLVER para trabalhar este tipo de problemas.
- A avaliação dos pesos e centros requer um re-análise, pois as mudanças tecnológicas nos equipamentos de pesca indicam a presença de novos pesos (tanques de armazenamento de óleo hidráulico ou sistemas de refrigeração, por exemplo) e a diminuição de outros por causa do mesmo avance tecnológico em relação à utilização de novos materiais. Assim mesmo, a localização do centro de flutuação obedece a critérios gerais de cálculo, portanto, ainda que com bons resultados deve ser verificada.
- O tempo de processamento desde a introdução da informação pelo usuário até a obtenção da resposta demora em media de uma a duas horas, mostrando a enorme redução de tempo em relação ao processo iterativo via espiral de projeto. Alem disso, permite fixar qualquer uma das variáveis de projeto a fim de projetar novamente novas características de um navio com relação a um objetivo procurado.
- A resposta apresentada pelo programa é um reflexo do método de cálculo utilizado e, portanto, quanto melhor e mais preciso seja este, melhor será o resultado obtido.

- A utilização do algoritmo de busca do ótimo se mostra como uma ferramenta rápida e poderosa no auxilio dos projetistas.
- O método de cálculo de resistência da FAO mostra adeqüabilidade para ser usado em programas de computador.

6.3. Recomendações

Depois de uma apreciação critica do trabalho, podem-se sugerir as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- A inclusão na base de dados de outros tipos de propulsores e a correspondente integração ao programa, assim com a ampliação da faixa de redutores e motores que permitam um maior número de alternativas de solução.
- A avaliação de manobra para embarcações que tenham modificadas suas dimensões principais quando avaliadas para corrigir problemas de estabilidade e borda livre, a fim de propor, se necessário, a mudança das dimensões do leme.
- Considerar aspectos econômicos dentro do programa, como o custo do projeto em relação à tonelada de aço da embarcação, a fim de ser considerado como fator relevante no processo de busca do ótimo.
- A criação de um módulo no programa que gere o plano de linhas do casco, a fim de avaliar com maior profundeza a estabilidade, pois este item é de grande importância no projeto de qualquer tipo de embarcação.
- Após a implementação do modulo para o plano de linhas do casco, a iteração com outros programas de cálculo como Autoship e Autopower, a fim de integrar o algoritmo de busca com programas comerciais de avaliação de atributos individuas do navio em procura de um ótimo de natureza pratica e real.
- A avaliação do desempenho dos componentes casco-hélice-motor ao longo da vida útil do navio, pois com o decorrer do tempo o aumento da rugosidade do casco e o propulsor ocasionam sobrecargas da maquina principal, as quais podem ser traduzidas em maiores gastos de manutenção e consumo de combustível.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Curso de capacitación FAO / Noruega sobre Proyecto de embarcaciones de pesca. v. I, II. Guayaquil - Ecuador, Marzo - Mayo, 1980.

[2] HARDY, A.C. Principal fishing boat types. In: TRAUNG, J.O. Fishing boats of the World. London, Fishing News, 1960. v. 2.

[3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Características técnicas y operativas de barcos pesqueros peruanos. Disponível em: <http://fao.org/docrep>. Acesso em: 10 Outubro 2004.

[4] EVANS, J. H., Basic design concepts. A.S.N.E. Journal, Nov. 1959.

[5] BENFORD, H.; KOSSA, M. An analysis of U.S. fishing boats: dimensions, weights and costs. In: TRAUNG, J.O. Fishing boats of the world. London, Fishing News, 1960. v. 2.

[6] GUEROULT, E.R. An approach to the design of new types of fishing vessels. In: TRAUNG, J. Fishing boats of the world. London, Fishing News, 1960. v.3.

[7] International Fishmeal and Fish Oil Organization. Disponível em: <http://www.iffo.net/default.asp>. Acesso em: 12 Julho 2006.

[8] OCEANICA, Magazín Pesquero Iberoamericano. Los recursos pesqueros y la riqueza marina en el Perú. Ano 1, Nro.01, 1995.

[9] ARNAIZ, J. Escolha de hélices para embarcações pesqueiras: Aplicação ao caso Peruano. 1996. 161 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

[10] GÓMES, P. Modelo de análise e projeto de embarcações pesqueiras. 1981. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981.

[11] Sociedad Nacional de Pesquería (SNP). Balance de la actividad pesquera en el Perú, período 2005. Disponível em: <http://snp.org.pe/docu_balances.asp>. Acesso em: 26 Junho 2006.

[12] Revista Proceso Económico. Reportaje sobre la Industria Pesquera, p.1-16, Lima - Perú, 1996.

[13] PESCA, Worldwide Circulation Magazine, Nro.5-6, Lima - Perú, Mayo - Junio 2002.

[14] ROTACION, Revista. Reportaje sobre sociedades de clasificación, Madrid - España, Mayo 2003.

[15] EL COMERCIO, periódico. Suplemento Especial, Seguros a través de la historia, Lima - Perú, 26 Abril 2003.

[16] MORENO, J. Automatização do projeto de embarcações pesqueiras. 1995. 226 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo,1995.

[17] RODRIGUES de Andrade, B. Modelo de Síntese e Otimização por Múltiplos Critérios para o Projeto Preliminar de Embarcações. 2001. 221 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

[18] PARSONS G. Michael, Parametric Design, Chapter 11, in Ship Design and Construction, Vol. 1, edited by Thomas Lamb, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2003.

[19] Basic Principles of Ship Propulsion. Disponível em: <http://www.manbw.com/article_004149.html. >. Acesso: 26 Julio 2006.

[20] CATERPILLAR. Marine Engine Selection Guide: Catálogo. U.S.A. October 2005. 108 p. Caterpillar Marine Power Systems.

[21] HAYES, J.G.; ENGVALL, L.O., FAO. Computer-Aided studies of fishing boat hull resistance. Roma, 1969.

[22] BONILLA De La Corte, A. Teoría del Buque. Cádiz – España, 1998.

[23] Climatología de las Olas en Chucuito - Callao (Periodo Junio 2002 – Junio 2003) Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Peru, Callao Abril 2005.

[24] PREYSLER, C. Teoría del Buque. Madrid-España. Ed. Naval, 1945, v. 1.

[25] CARRERA, G. Proposta de Reforma de Instalação Propulsora de uma Corveta. 2003. 143 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

[26] COMSTOCK Jhon P. Principles of Naval Architecture, New York 1967.

[27] LEWIS, E. Resistance, Propulsion and Vibration, Principles of Naval Architecture Second Revision, v. 2., May, 1988.

[28] CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion, London 1994.

[29] The Power Boat Training Website .Disponível em: <http://www.powerboat-training.co.uk/articles/articles-propellers>. Acesso em: 24 Agosto 2006.

[30] TRAUNG, J.; DOUST, D.; HAYES, J. New possibilities for improvement in the design of fishing vessels. In: TRAUNG, J. Fishing Boats of the World. London, Fishing news, 1967, v. 3.

[31] International Maritime Organization (IMO). Recommendation on Intact Stability of Fishing Vessel. Resolution A.168 ES.IV, 1968.

[32] CABRERA, J. Analise dos critérios de estabilidade de embarcações pesqueiras considerando ondas de popa e ventos severos. 1995. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

[33] Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Projeto de embarcações para o transporte interior de passageiros e cargas. Manual do Usuário. São Paulo, Brasil, 1989.

[34] Resolución Directoral Nro. 0474-98/DCG de fecha 13 Noviembre 1998. Dirección General de Capitanías y Guardacostas de la Marina de Guerra del Perú.

[35] YILMAZ, H.; KÜKNER, A. Evaluation of cross curves of fishing vessel at the preliminary design stage. Istanbul, Turquey, February 1998.

[36] ALKAN, A.D.; GULEZ, K.; YILMAZ, H. Design of a Robust Neural Network Structure for determining initial Stability particulars of Fishing Vessels. Istambul, Turquey, August 2003.

[37] International Conference on Safety of Fishing Vessel, 1977, including The Torremolinos International Convention for the Safety of Fishing Vessels, 1977.

[38] Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessel: Part B-Safety and Health Requirements for the Construction and Equipment of Fishing Vessels, 1975.

[39] Augusto, O. B., Um Método Misto de Programação não Linear e suas Aplicações no Projeto Estrutural de Embarcações, revista Pesquisa Operacional, SOBRAPO, Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, vol. 18, n. 2, pp 81-108, 1998.

APÊNDICE A - Características das embarcações pesqueiras utilizadas na avaliação para estabelecer a relação entre o volume do porão e as dimensões principais do casco (V_P /LBD).

a. Relação de embarcações construídas no período 1987 – 2005

Item	Porto	Nome do navio	Ano de Construção	Volume do Porão	L	B	D	V_P /LBD
1	CE	YAGODA B	1995	592.00	48.00	10.30	5.00	0.239
2	CE	TASA 61	1987	589.26	43.60	10.28	4.98	0.264
3	CE	CHAVELI II	1995	573.16	49.15	10.00	5.30	0.220
4	CO	TASA - 53	1995	573.00	47.00	9.95	4.88	0.251
5	CO	TASA - 54	1992	564.00	46.94	9.84	4.88	0.250
6	CE	MARILYN II	1995	555.07	48.00	10.30	5.00	0.225
7	CE	BAMAR I	1996	541.00	48.70	9.80	5.50	0.206
8	SE	MARU	1990	540.15	45.33	9.95	4.88	0.245
9	CO	TIO LUCAS	1994	538.86	40.00	8.80	4.40	0.348
10	CO	OLGA	2001	538.03	45.14	10.06	4.80	0.247
11	CO	CONSTANZA	1996	530.28	46.27	9.69	4.56	0.259
12	CO	POLAR VII	1992	530.00	45.00	9.00	4.00	0.327
13	CO	SANTA ENMA	1996	520.13	44.40	10.27	5.00	0.228
14	CO	CASACA	1994	514.20	40.00	8.80	4.40	0.332
15	CO	TIO JOSE	1994	508.64	40.00	8.80	4.40	0.328
16	CO	DON LUIS	1994	507.04	40.00	8.80	4.40	0.327
17	CO	CABO BLANCO	1992	505.00	40.50	8.88	4.50	0.312
18	CE	BAMAR IV	1996	500.00	50.32	10.35	4.60	0.209
19	CO	MATTY	1993	499.70	43.00	8.82	4.50	0.293
20	CO	RODGA I	1993	498.29	51.55	8.85	4.50	0.243
21	CO	ALEJO	1994	494.97	40.00	8.80	4.40	0.320
22	CE	ANA LUCIA	1994	491.78	48.95	9.05	4.36	0.255
23	CE	DOÑA RITA	1994	486.59	46.70	9.05	4.35	0.265
24	CO	GUILLERMO	1998	471.61	43.25	8.50	4.54	0.283
25	HO	INDEPENDENCIA - I	1992	447.61	38.75	8.30	4.15	0.335
26	CO	NUEVA OFELIA	1994	440.95	39.83	8.72	4.55	0.279
27	CO	ROSA 1	1994	440.91	39.75	8.71	4.52	0.282
28	CO	NUNCIA	1991	439.38	37.40	8.03	4.13	0.354
29	CO	TIBURON 7	1996	438.46	39.30	8.89	4.32	0.291
30	CO	NUEVA RESBALOSA	1994	437.31	40.00	8.80	4.40	0.282
31	CO	MARINA	1998	437.05	42.37	8.78	4.43	0.265

32	CO	JUANCHO	1994	436.97	39.77	8.70	4.40	0.287
33	CO	ESTELA DE PLATA II	1991	434.94	37.50	8.10	4.20	0.341
34	CO	PITI	1998	434.94	42.46	8.76	4.45	0.263
35	CO	RESBALOSA II	1991	433.57	37.30	8.08	4.29	0.335
36	PS	OLMOS II	1992	432.98	38.75	8.30	4.15	0.324
37	CE	SANTA ADELA II	1995	431.73	41.69	8.92	4.40	0.264
38	CO	KIANA	1998	430.54	41.89	8.72	4.44	0.265
39	CO	ESTELA DE ORO II	1991	428.32	37.50	8.10	4.20	0.336
40	CO	SAN FERNANDO	1996	427.56	41.55	8.90	4.60	0.251
41	CE	SAMANCO 6	1992	408.49	38.75	8.30	4.15	0.306
42	CO	BRUNELLA II	1998	404.85	39.00	8.50	4.28	0.285
43	CO	BRAVO 4	1989	404.00	45.16	7.90	4.13	0.274
44	PS	BRAVO 9	2005	403.96	43.92	10.12	5.00	0.182
45	CO	GABRIELA V	1991	401.47	36.90	7.92	4.14	0.332
46	CO	TASA 44	2003	399.94	44.70	10.05	4.98	0.179
47	CO	TASA-32	1987	399.90	42.76	8.13	3.46	0.332
48	CO	FABIOLA	1994	390.15	38.97	8.62	4.20	0.277
49	CO	ISABELLA	1994	390.04	38.50	8.40	4.20	0.287
50	CO	SIMY - 1	1994	389.00	38.64	8.10	4.12	0.302
51	CO	FLORIDA	1995	387.77	37.72	7.92	4.20	0.309
52	CE	DON BRUNO	1989	379.82	36.35	7.80	4.24	0.316
53	CO	ESTELA DE ORO	1990	378.44	36.65	7.48	4.18	0.330
54	CE	R.H. 1	1995	377.75	34.60	8.00	4.00	0.341
55	CO	COSTA DEL SOL	1995	375.02	37.50	7.92	4.20	0.301
56	CO	GOLONDRINA	1995	375.02	37.50	7.92	4.20	0.301
57	CO	ESTELA DE PLATA	1989	368.44	36.76	7.80	4.29	0.300
58	CO	COLAN	1995	365.56	37.40	7.92	4.16	0.297
59	CO	MARIA JOSE	1998	364.48	39.00	8.50	4.28	0.257
60	CO	FRANCESCA	1994	363.29	38.37	8.40	4.20	0.268
61	CE	RIBAR XVI	1995	356.36	43.13	9.05	3.98	0.229
62	CE	ANITA	1991	353.70	37.75	7.58	4.20	0.294
63	PT	HUANDOY	1988	345.61	32.52	7.70	4.00	0.345
64	CE	ANDREA	1991	344.50	40.48	8.16	4.10	0.254
65	CE	CONTUMAZA 4	1997	343.18	36.34	8.00	3.97	0.297
66	CO	BAHIA	1995	342.37	34.00	7.90	4.20	0.303
67	CO	CARACOL	1995	342.00	33.95	7.92	4.20	0.303
68	CE	RIBAR XV	1993	337.25	39.90	8.65	4.03	0.242
69	CE	JADRAN - II	2001	328.00	37.26	8.20	4.21	0.255
70	CE	MARY	2002	324.51	37.26	8.20	4.21	0.252
71	CO	SIMY 2	1994	323.23	38.65	8.10	4.12	0.251

72	CE	ESTHER 5	1993	320.57	36.60	7.92	4.47	0.247
73	CO	BONITO	1995	314.00	37.43	7.89	4.18	0.254
74	CO	PIQUERO	1993	307.77	30.82	7.75	3.76	0.343
75	CO	PATILLO	1994	300.69	31.13	7.75	3.68	0.339
76	CO	GLORIA	1993	299.76	31.21	7.70	3.81	0.327
77	CO	TEO	1992	296.49	31.09	7.68	3.66	0.339
78	CO	CARIPE	1991	293.56	31.16	7.62	3.66	0.338
79	CO	ILEÑA II	2003	291.62	38.67	8.45	4.50	0.198
80	CO	NUEVA ESPERANZA	1991	290.77	30.20	7.62	3.76	0.336
81	CO	ALONDRA	1994	290.65	31.09	7.68	3.66	0.333
82	PS	SAMOA	1993	287.01	39.21	7.76	3.81	0.248
83	CO	CORINTIA	1993	286.66	30.29	7.58	3.66	0.341
84	CE	TASA 22	1991	285.15	32.15	7.62	3.81	0.306
85	IO	LOBO-II	1992	283.55	31.05	7.68	3.65	0.326
86	CO	WAIKIKI	1991	281.30	30.64	7.74	3.75	0.316
87	CO	ERNESTINA	1991	280.76	30.14	7.59	3.66	0.335
88	CO	DORICA	1991	280.06	30.14	7.62	3.66	0.333
89	CO	NUEVA ESPARTA	1991	279.98	30.36	7.60	3.73	0.325
90	CO	NUEVA CADIZ	1991	279.91	30.57	7.74	3.74	0.316
91	CO	FLOR	1993	277.65	31.90	7.63	3.66	0.312
92	CO	CUBAGUA	1991	265.14	31.17	7.62	3.80	0.294
93	CO	CAPRICORNIO 6	1993	263.78	31.80	7.31	3.42	0.332
94	CE	ISABEL II	1996	245.60	31.48	8.00	3.66	0.266
95	CE	ANDELKA	1990	242.91	37.12	7.60	3.45	0.250
96	CE	DALMACIA II	1987	242.48	37.49	7.58	3.37	0.253
97	CE	YOVANA	1989	242.00	37.12	7.60	3.45	0.249
98	CO	ESTEFANIA I	1996	228.00	39.70	7.80	3.50	0.210
99	CO	GALILEO	1992	222.01	34.60	7.60	3.80	0.222
100	CE	SHUR II	1995	213.00	26.68	7.60	3.62	0.290

Nota: Portos **Média 0.286**

CE Chimbote
CO Callao
HO Huacho
IO Ilo
PS Pisco
PT Pimentel
SE Salaverry

b. Relação de embarcações construídas no período 1996 – 2005

Item	Porto	Nome do Navio	Ano de Construção	Volume do Porão	L	B	D	Relação
1	CE	BAMAR I	1996	541.00	48.70	9.80	5.50	0.206
2	CO	OLGA	2001	538.03	45.14	10.06	4.80	0.247
3	CO	CONSTANZA	1996	530.28	46.27	9.69	4.56	0.259
4	CO	SANTA ENMA	1996	520.13	44.40	10.27	5.00	0.228
5	CE	BAMAR IV	1996	500.00	50.32	10.35	4.60	0.209
6	CO	GUILLERMO	1998	471.61	43.25	8.50	4.54	0.283
7	CO	TIBURON 7	1996	438.46	39.30	8.89	4.32	0.291
8	CO	MARINA	1998	437.05	42.37	8.78	4.43	0.265
9	CO	PITI	1998	434.94	42.46	8.76	4.45	0.263
10	CO	KIANA	1998	430.54	41.89	8.72	4.44	0.265
11	CO	SAN FERNANDO	1996	427.56	41.55	8.90	4.60	0.251
12	CO	BRUNELLA II	1998	404.85	39.00	8.50	4.28	0.285
13	PS	BRAVO 9	2005	403.96	43.92	10.12	5.00	0.182
14	CO	TASA 44	2003	399.94	44.70	10.05	4.98	0.179
15	CO	MARIA JOSE	1998	364.48	39.00	8.50	4.28	0.257
16	CE	CONTUMAZA 4	1997	343.18	36.34	8.00	3.97	0.297
17	CE	JADRAN - II	2001	328.00	37.26	8.20	4.21	0.255
18	CE	MARY	2002	324.51	37.26	8.20	4.21	0.252
19	CO	ILEÑA II	2003	291.62	38.67	8.45	4.50	0.198
20	CE	ISABEL II	1996	245.60	31.48	8.00	3.66	0.266
21	CO	ESTEFANIA I	1996	228.00	39.70	7.80	3.50	0.210

Nota: **Portos**

CE Chimbote
CO Callao
PS Pisco

Média	**0.245**
Mínimo	0.179
Máximo	0.291

APÊNDICE B - Valores da borda livre mínima em relação ao comprimento da embarcação imposta pela Autoridade Marítima.

L (m)	FB (mm)	L (m)	FB (mm)	L (m)	FB (mm)	L (m)	FB (mm)
13	185	32	380	50	566	68	750
16	220	34	402	52	587	70	770
18	240	36	422	54	607	72	800
20	260	38	443	56	627	74	830
22	280	40	463	58	648	75	845
24	300	42	484	60	668		
26	320	44	505	62	689		
28	340	46	526	64	709		
30	360	48	546	66	730		

Correção por pontal:

a. O comprimento L será medido como sendo o 96% do comprimento total na linha de flutuação localizada a uma distancia da quilha igual a 85% do pontal moldado.

b. Considera-se pontal padrão aos seguintes valores:
   - D padrão de 3,00 m. para embarcações com comprimento entre 13,00 m. e 18,30 m.
   - D padrão de 3,67 m. para embarcações com comprimento entre 18,30 m. e 55,00 m. podendo-se interpolar entre estes valores.
   - D padrão de L/15 m. para embarcações com comprimentos maiores a 55,00 m.

c. Em caso de pontais maiores que o padrão se aumentara a borda livre em:

   $(D_{real} – D_{padrão}) \times 2L$ (mm) onde L e D estão em metros.

d. Em caso de pontal menor ao padrão não haverá redução de borda livre.

APÊNDICE C – Cálculo do índice de cavitação utilizando redes neurais.

Dados de Entrada

τ_C	Parâmetro 1	0,143733831
$\Sigma_{0,7r}$	Parâmetro 2	0,590563614

Dados de Entrada Normalizados

	Camada de entrada (X_1 e X_2)	
τ_C	Parâmetro 1	0,211488711
$\Sigma_{0,7r}$	Parâmetro 2	0,304428598

Camada oculta de 8 neurônios (K_n)	Pesos [$P(X_n,K_n)$]	Entrada (Z_n)	Limiar (K_n)	Saída $f(z_n)=S_n$
1	-42,6339339211580			
	115,6007107738620	26,17556663	13,06007231565220	1
2	5,6482428116869			
	55,1315174142849	17,97815017	-4,40685813832994	1
3	-25,3964154418689			
	116,4517236799600	30,08017986	2,92808337315416	1
4	-4,1997657706093			
	-4,3654998195804	-2,21718604	-1,44865898566656	0,02494
5	19,3190753192253			
	-14,9816164854729	-0,475066174	4,16464514621982	0,97563
6	-32,6151754152062			
	149,2618596952230	38,54183734	0,88291607968939	1
7	-8,8539993997080			
	13,1276807668576	2,123920537	2,80683996493073	0,99283
8	5,7371669264513			
	-2,5980505202958	0,422425159	0,71254931871340	0,75676

	Neurônio de Saída					
	Pesos [P'(K_n,1)]	Entrada $f(z_n)=S_n$	Entrada Ponderada	Entrada Total (W_1)	Limiar (*) (K')	Saída (Y_1)
1	-69,8410454238750	1	-69,84105	-82,701145	74,686622	0,0003305
2	0,9483483668675	1	0,9483484			
3	-142,3950784458700	1	-142,3951			
4	64,2414781783168	0,02494	1,6024653			
5	86,7205502398674	0,97563	84,606858			
6	22,8665650643837	1	22,866565			
7	-1,7882455841252	0,99283	-1,775425			
8	28,1281868194504	0,75676	21,286167			

(*) Limiar de ativação do neurônio de saída

Saída Normalizada

	Camada de saída (Y_1)	
%	Saída	0,00033052

Dado de Saída

%	Saída	2,509

Nota:

1. Para dois dados de entrada e um dado de saída.
2. Feito com uma camada escondida de oito neurônios.
3. Normalizado quer dizer que foi transformado em um valor numérico equivalente entre 0 e 1, pois as redes neurais artificiais trabalham melhor nessa faixa de valores por questões numéricas de treinamento.
4. Neste caso a função de ativação do neurônio é uma função exponencial.

APÊNDICE D – Cálculo do $KM/\nabla^{1/3}$ utilizando redes neurais.

Dados de Entrada

$L/\nabla^{1/3}$	Parâmetro 1	4,27
$H/\nabla^{1/3}$	Parâmetro 2	0,43

Dados de Entrada Normalizados

	Camada de entrada (X_1 e X_2)	
$L/\nabla^{1/3}$	Parâmetro 1	0,3174749
$H/\nabla^{1/3}$	Parâmetro 2	0,2868105

Camada oculta de 8 neurônios (K_n)	Pesos [$P(X_n,K_n)$]	Entrada (Z_n)	Limiar (K_n)	Saída $f(z_n)=S_n$
1	5,65703			
	1,984837	2,365237146	-2,9658117	0,3542
2	-1,45841			
	-3,3528	-1,42462673	1,0496597	0,4073
3	7,512015			
	21,32156	8,500124037	-4,791372	0,9761
4	6,907041			
	15,73804	6,706647921	-8,2071639	0,1823
5	-2,36661			
	0,512593	-0,60432087	-2,3559599	0,0493
6	-0,4715			
	8,892558	2,400790448	-2,0809159	0,5793
7	-4,8947			
	1,67036	-1,07486867	-0,3246694	0,1979
8	3,472491			
	12,26846	4,621150933	-5,3944552	0,3158

	Neurônio de Saída					
	Pesos $[P'(K_n,1)]$	Entrada $f(z_n)=S_n$	Entrada Ponderada	Entrada Total (W_1)	Limiar (*) (K')	Saída (Y_1)
1	9,74976	0,3542	3,4534838	-19,894	21,623	0,8493
2	9,68351	0,4073	3,9444953			
3	-34,863	0,9761	-34,02894			
4	8,34443	0,1823	1,5215941			
5	2,04431	0,0493	0,100688			
6	16,3024	0,5793	9,4438643			
7	12,6249	0,1979	2,4983354			
8	-21,622	0,3158	-6,827517			

(*) Limiar de ativação do neurônio de saída

Saída Normalizada

	Camada de saída	
$KM/\nabla^{1/3}$	Saída	0,8492982

Dado de Saída

$KM/\nabla^{1/3}$	Saída	0,514

Nota:

1. Para dois dados de entrada e um dado de saída.
2. Feito com uma camada escondida de oito neurônios.
3. Normalizado quer dizer que foi transformado em um valor numérico equivalente entre 0 e 1, pois as redes neurais artificiais trabalham melhor nessa faixa de valores por questões numéricas de treinamento.
4. Neste caso a função de ativação do neurônio é uma função exponencial.

APÊNDICE E - Característica de motores marinos marca Caterpillar utilizados no banco de dados do programa.

	Kw	Peso (Kg)	RPM (max)	U.S.gph	L/h
1	317,00	2.838,00	1.200	20,70	78,30
2	354,00	2.838,00	1.200	23,10	87,40
3	375,00	2.838,00	1.800	26,20	99,30
4	403,00	2.838,00	1.800	27,90	105,80
5	448,00	2.838,00	1.800	30,60	115,70
6	459,00	2.838,00	1.800	31,20	118,10
7	474,00	2.838,00	1.800	32,10	121,40
8	485,00	2.838,00	1.800	32,70	123,90
9	537,00	2.838,00	1.800	35,60	134,80
10	561,00	2.838,00	2.100	37,80	143,10
11	597,00	2.838,00	2.300	40,40	152,90
12	615,00	2.838,00	2.100	41,00	155,20
13	634,00	2.838,00	2.100	42,10	159,40
14	671,00	2.838,00	2.100	44,10	166,90
15	690,00	2.838,00	2.100	45,40	171,90
16	709,00	2.838,00	2.300	48,60	183,90
17	746,00	2.838,00	2.100	48,60	184,00
18	783,00	2.838,00	2.300	53,70	203,30
19	821,00	2.838,00	2.300	55,50	210,10
20	895,00	2.838,00	2.300	60,60	229,40
21	932,00	2.838,00	2.300	63,40	240,00
22	939,00	6.537,00	1.200	59,70	226,00
23	954,00	6.537,00	1.600	60,40	229,00
24	969,00	6.537,00	1.200	61,80	234,00
25	1.007,00	6.537,00	1.200	64,60	244,00
26	1.014,00	6.537,00	1.600	63,40	240,00
27	1.051,00	6.537,00	1.600	65,70	249,00
28	1.100,00	6.537,00	1.200	71,30	270,00
29	1.118,00	6.537,00	1.600	69,80	264,00
30	1.074,00	6.537,00	1.600	72,90	276,00
31	1.195,00	6.537,00	1.200	76,10	288,00
32	1.230,00	6.537,00	1.600	76,30	289,00
33	1.249,00	6.537,00	1.600	75,80	287,00
34	1.305,00	6.537,00	1.600	78,90	299,00
35	1.342,00	6.537,00	1.785	87,20	330,00

36	1.350,00	6.537,00	1.600	88,00	333,00
37	1.379,00	6.537,00	1.600	83,40	316,00
38	1.425,00	6.537,00	1.600	92,80	351,00
39	1.454,00	6.537,00	1.835	96,00	363,00
40	1.491,00	8.028,00	1.800	94,00	356,00
41	1.566,00	8.028,00	1.800	98,60	373,00
42	1.640,00	8.028,00	1.800	103,40	391,00
43	1.685,00	8.028,00	1.600	102,60	388,00
44	1.771,00	8.028,00	1.600	106,90	405,00
45	1.790,00	8.028,00	1.785	110,40	418,00
46	1.825,00	8.028,00	1.600	112,80	427,00
47	1.864,00	8.028,00	1.600	111,90	424,00
48	1.920,00	8.028,00	1.600	112,80	427,00
49	1.939,00	8.028,00	1.835	120,20	455,00
50	2.000,00	8.028,00	1.600	122,80	465,00
51	2.088,00	8.028,00	1.880	132,70	502,00
52	2.237,00	8.028,00	1.925	143,30	542,00
53	2.300,00	19.000,00	900	143,70	544,00
54	2.460,00	19000,00	1.000	153,20	580,00

APÊNDICE F - Resultados dos testes pré-otimização utilizando a metodologia proposta em embarcações existentes.

Embarcação		Dados	Loa	L_{WL}	Boca	Calado	Pontal	Potencia BHP	Velocidade	
1	Supe 203 m^3 (2005)	Reais	32,88		7,73		3,81	804,60		
		Calcul.	34,88	32,12	7,73	3,41	3,82	726,18	Cond. I	Condc. II
									11,50	11,07
2	Dalmácia III 250 m^3 (2004)	Reais	35,33		7,98		3,81	720,12		
		Calcul.	37,93	34,92	8,09	3,56	4,00	679,79	Cond. I	Condc. II
									11,50	10,77
3	SIMA I 350 m^3 (1996)	Reais	37,30	34,70	9,20	4,00	4,70	634,00	11,00	
		Calcul.	42,64	39,26	9,38	4,08	4,65	619,31	Cond. I	Condc. II
									11,00	10,24
4	SIMA II 408 m^3 (1995)	Reais	45,36		8,39	4,18	4,69	826,53		
		Calcul.	44,67	41,13	9,60	4,17	4,77	819,90	Cond. I	Condc. II
									12,00	10,85
5	Tasa 55 500 m^3 (2005)	Reais	48,75		10,05		5,17	1.716,48		
		Calcul.	47,17	43,44	9,86	4,27	4,92	1.606,05	Cond. I	Condc. II
									14,00	12,17
6	Polar V 535 m^3 (1995)	Reais	43,80		9,45		4,82	1.608,46		
		Calcul.	47,94	44,14	9,94	4,30	4,96	1.587,92	Cond. I	Condc. II
									14,00	12,01

Embarcação		Dados	Propulsor		Cavitac	Coef. Doust	Estabilidade (GM)		Deslocamento	
1	Supe 203 m^3 (2005)	Reais								
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			1,73	0,56	2,95	1,13	1,360	1,830	480,87	472,05
2	Dalmacia III 250 m^3 (2004)	Reais								
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			1,85	0,58	2,56	1,084	1,380	1,930	574,64	558,02
3	SIMA I 350 m^3 (1996)	Reais	1,96							
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,11	0,61	2,50	0,978	1,350	2,040	837,81	725,57
4	SIMA II 408 m^3 (1995)	Reais	2,51							
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,18	0,62	2,50	1,04	1,280	2,110	925,72	820,61
5	Tasa 55 500 m^3 (2005)	Reais								
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,28	0,61	3,07	1,18	1,360	2,400	1.076,16	959,55
6	Polar V 535 m^3 (1995)	Reais								
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,32	0,61	2,92	1,17	1,350	2,490	1.126,13	1.016,80

APÊNDICE G - Resultados dos testes pré-otimização utilizando a metodologia proposta em embarcações em projeto.

Embarcação		Dados	Loa	L_{WL}	Boca	Calado	Pontal	Potencia BHP	Velocidade	
1	Proj. Tasa 400 m^3	Reais	44,70	40,70	10,30		5,00	1.305,00	12,50	
		Calcul.	47,17	40,88	9,57	4,16	4,75	899,97	Cond. I	Condc. II
									12,50	11,20
2	Cerquero I 600 m^3 RSW	Reais	51,50	49,38	10,60		5,05	2.320,00	14,00	
		Calcul.	49,00	45,12	10,04	4,35	5,02	1.499,11	Cond. I	Condc. II
									14,00	11,61
3	Cerquero II 600 m^3 RSW	Reais	48,70		10,10		5,00	1.600,00	14,00	12,40
		Calcul.	49,00	45,12	10,04	4,35	5,02	1.723,74	Cond. I	Condc. II
									14,00	11,81

Embarcação		Dados	Propulsor		Cavitac	Coef. Doust	Estabilidade (GM)		Deslocamento	
1	Proj. Tasa 400 m^3	Reais	2,25							
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,17	0,62	2,51	1,09	1,160	2,030	899,55	801,62
2	Cerquero I 600 m^3 RSW	Reais								
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,36	0,63	2,66	1,16	1,200	2,660	1.214,08	1.139,07
3	Cerquero II 600 m^3 RSW	Reais								
		Calcul.	Ø	n_o	%	V/√Lwl	Cond. I	Condc. II	∑ Pesos	Eq. Regres.
			2,36	0,61	3,09	1,16	1,520	2,750	1.233,34	1.139,07

APÊNDICE H - Resultados do teste de otimização utilizando a metodologia proposta em um projeto de embarcação pesqueira do tipo de cerco de 400 m^3 de volume do porão.

Tempo de busca da solução ótima	1:06:02

Dimensões Principais do Casco

Comprimento Total		46,9
Comprimento entre perpendiculares		41,5
Pontal moldado (m)		4,8
Âng de entrada na linha d´água	(g)	28,1
Âng de saída na linha d´água	(g)	77,1
Ângulo de buttock	(g)	21,1

Propulsor

Número de pás	4
Relação Passo/Diâmetro	0,6
Relação Ae/Ao	0,6
Eficiência relativa rotativa	1,05
Diâmetro (m)	2,17

Motor

16 no catalogo

Potência	(Kwatts)	709
Massa	(t)	2,8
Rotação Máxima	(rpm)	2.300
Consumo especifico	(galões/h)	48,60
Margem Serviço na Potência		0,15

Redutor

Razão de redução	4,42

Eficiência de transmissão	0,97
Eficiência dos Mancais e Telesc.	0,98

Condição de operação: Projeto (Retorno da área de pesca)

Casco

Comprimento de linha d´agua (m)		43,18
Boca moldada (m)		9,89
Calado moldado (m)		3,94
Coeficiente de bloco		0,54
Coeficiente de seção mestra		0,92
KG	(m)	2,94
GM	(m)	2,31
LCB	(m)	20,71
LCG	(m)	24,11
Trim	(g)	4,0
Massa da embarcação	(Kgs)	934.718
Deslocamento	(t)	934,7
Velocidade de serviço	(m/s)	5,66
	(knots)	11,0
Resistência ao avanço casco nu (N)		52.687
Coef. redução da f. propulsora		0,30
Coeficiente de esteira		0,23
Potencia Efetiva	(Kwatts)	274
	(HP)	368

Propulsor

Rotação	(rpm)	310
	(rps)	5,2
Coeficiente de Avanço		0,386
Coeficiente de Empuxo	Kt0	0,123
Coeficiente de Torque	10*Kq0	0,137

Índice de Cavitação	(%)	2,6
Empuxo	(N)	74.992
Potência Gerada	(Kwatts)	424
	(HP)	569
Eficiência em água aberta		0,55

Motor

Potência fornecida	(HP)	808
	(kWatts)	603
Rotação	(rpm)	1.370
	(rps)	22,84

Condição de operação: Indo para zona de pesca

Casco

Comprimento de linha d´agua (m)		42,58
Boca moldada (m)		9,89
Calado moldado (m)		2,85
Coeficiente de bloco		0,46
Coeficiente de seção mestra		0,83
KG	(m)	3,25
GM	(m)	1,26
LCB	(m)	20,13
LCG	(m)	20,45
Trim	(g)	0,20
Massa da embarcação	(Kgs)	567.605
Deslocamento	(t)	567,6
Velocidade de serviço	(m/s)	6,59
	(knots)	12,8
Resistência ao avanço casco nu (N)		58.419
Coef. redução da f. propulsora		0,18

Coeficiente de esteira		0,21
Potencia Efetiva	(Kwatts)	401
	(HP)	538

Propulsor

Rotação	(rpm)	330
	(rps)	5,5
Coeficiente de Avanço		0,435
Coeficiente de Empuxo	Kt0	0,103
Coeficiente de Torque	10*Kq0	0,121
Índice de Cavitação	(%)	2,6
Empuxo	(N)	71.602
Potência Gerada	(Kwatts)	472
	(HP)	632
Eficiência em água aberta		0,59

Motor

Potência fornecida	(HP)	808
	(kWatts)	603
Rotação	(rpm)	1.461
	(rps)	24,34