

JUAN CARLOS ARNAIZ RENDÓN

**ESCOLHA DE HÉLICES PARA EMBARCAÇÕES
PESQUEIRAS: APLICAÇÃO AO CASO PERUANO**

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

**São Paulo
1996**

JUAN CARLOS ARNAIZ RENDÓN

**ESCOLHA DE HELICES PARA EMBARCAÇÕES
PESQUEIRAS: APLICAÇÃO AO CASO PERUANO**

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


Area de Concentração:
Engenharia Naval

Orientador:
Prof. Dr. Mardel B. de Conti

**São Paulo
1996**

1981
BIBLIOTECA DE ESCOLA LOMBRINI
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

*Aos meus maravilhosos pais, cujos exemplos
de superação e amor, foram estímulos constantes
para a realização deste trabalho.*

DEDALUS - Acervo - EPMN

31600010089

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mardel Bongiovanni de Conti, pelo ensino e orientação proporcionados não só na execução desta dissertação, mas também no aprendizagem de conceitos importantes no estudo da engenharia naval.

Ao Prof. Dr. Hernani Brinati, pelos esclarecimentos e incentivos dados no decorrer destes dois anos de trabalho e de estudo.

Ao Prof. Dr. Toshi-Ichi Tachibana, pelas sugestões recebidas na elaboração do trabalho.

Aos meus amigos Eng. Borci Romero e Eng. José Moreno pela constante disposição e boa vontade em me ajudar.

A meu amigo Sr. Dante Paz pela ajuda prestada no desenvolvimento do trabalho.

As minhas amigas Giuliana Bonatelli Dario e Damaris dos Santos Vaz pela ajuda na revisão do texto.

A minha esposa Patricia pelo apoio demonstrado nas diversas horas de estudo necessárias neste trabalho.

Aos todos os professores que tive nas diferentes disciplinas cursadas durante o mestrado.

A todos os amigos do Departamento de Engenharia Naval, que direta ou indiretamente, colaboraram na execução desta dissertação, com boa disposição e vontade em todo o momento.

SUMÁRIO

Lista de Figuras
 Lista de Tabelas
 Lista de Abreviações
 Lista de Símbolos
 Resumo
 Abstract

CAPÍTULO 1

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.2	Generalidades.....	1
1.3	Objetivo.....	4

CAPÍTULO 2

2.	RECURSOS PESQUEIROS PERUANOS.....	5
2.1	Características gerais.....	5
2.2	Classificação segundo capturas.....	5
2.3	Tendência de produção do ecossistema marinho peruano.....	7
2.4	Incidência do fenômeno "EL NINÑO".....	9
2.4.1	Fenômeno "EL NINÑO" no Peru.....	9
2.5	O produto "farinha de peixe".....	14
2.5.1	Área de mercado.....	15
2.5.2	Produção peruana de farinha de peixe.....	15
2.5.3	Produção mundial e consumo.....	16
2.6	O problema do setor pesqueiro peruano.....	18
2.6.1	Exploração e reservas.....	20
2.7	Qual é o tamanho apropriado do pesqueiro para a pesca pelágica no litoral peruano?.....	23
2.8	Principais portos pesqueiros do Peru.....	26
2.9	Equipamentos e métodos de pesca mais utilizados no litoral peruano.....	27
2.9.1	Principais tipos de equipamentos de pesca.....	28
2.10	Sistema de conservação para peixes.....	34

CAPÍTULO 3

36	ALGORITMOS PARA A ESTIMATIVA DA	3.1
36	RESISTÊNCIA AO AVANÇO	3.1
36	Revisão histórica da análise de regressão na predição de	3.1
36	resistência	3.2
38	Método de Holtrop	3.2
39	Método de Ortmeressen	3.3
40	Método de resistência da FAO	3.4
42	Campo de validade	3.4.1

CAPÍTULO 4

43	PROJETO DO PROPULSOR	4.1
43	Aspectos gerais	4.1
44	Projeto do propulsor por série sistemática	4.2
50	Séries sistemáticas	4.3
51	Série B-Troost	4.3.1
52	Série Kaplan	4.3.2
54	Propulsores com duto	4.3.2.1
54	Aspectos teóricos	4.3.2.2
57	Comparação das séries sistemáticas	4.4
58	Propulsores de passo controlável	4.5
58	Tipos de propulsores de passo controlável	4.5.1

CAPÍTULO 5

62	MARGENS DE SERVIÇO	5.1
62	Generalidades	5.1
63	Método "BSRA"	5.2
64	Rugosidade inicial do casco	5.3
65	Incremento da rugosidade com a vida útil do navio	5.4
71	Alcances atingidos na proteção do casco	5.5
71	Efeitos de rugosidade nos navios pesqueiros	5.6
72	Degradação do hélice	5.7
74	Perdas na eficiência do propulsor	5.7.1
78	Degradação do motor principal	5.8
80	Aumento da resistência devido à existência de ondas	5.9
81	Estimativa da resistência do vento	5.10

CAPÍTULO 6

6.	PROPOSTA DO MÉTODO E DESENVOLVIMENTO DO "SOFTWARE".....	84
6.1	Descrição sumária.....	84
6.2	Parâmetros de análise.....	85
6.3	Proposta do método.....	88
6.4	Desenvolvimento do programa "Power Fish".....	89
6.4.1	Menu "Métodos de Economia".....	93
6.4.2	Menu "Projetos Iniciais".....	101

CAPÍTULO 7

7.	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	104
7.1	Aspectos gerais.....	104
7.2	Análise dos resultados.....	127

CAPÍTULO 8

8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	131
8.1	Comentários gerais.....	131
8.2	Conclusões finais.....	132
8.3	Recomendações para desenvolvimentos futuros.....	133

ANEXOS

.....	ANEXOS.....	134
.....	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159

APÊNDICES

LISTA DE FIGURAS

7	Tendências da pescaria peruana.....	Figura 2.1
8	Tendências do grupo de peixes.....	Figura 2.2
8	Tendências do grupo de pelágicos.....	Figura 2.3
11	Acessibilidade e vulnerabilidade das espécies pelágicas em condições normais.....	Figura 2.4
12	Acessibilidade e vulnerabilidade das espécies pelágicas durante o fenômeno "EL NINO".....	Figura 2.5
13	Relação entre os desembarques de pesca e o fenômeno "EL NINO".....	Figura 2.6
16	Principais países consumidores da farinha de peixe peruana.....	Figura 2.7
17	Produção mundial de carnes de aves.....	Figura 2.8
21	Captura do Biqueirão.....	Figura 2.9
21	Captura da Sardinha.....	Figura 2.10
22	Captura do Carapau.....	Figura 2.11
22	Captura da Cavala.....	Figura 2.12
22	Custo de investimento inicial versus capacidade de portão das embarcações peruanas.....	Figura 2.13
24	Captura de pesca versus capacidade de portão das embarcações peruanas.....	Figura 2.14
24	Rendimento por portão versus capacidade de portão das embarcações peruanas.....	Figura 2.15
25	Principais portos pesqueiros do litoral peruano.....	Figura 2.16
27	Seqüência da manobra de pesca tipo cerco.....	Figura 2.17
30	Método de pesca de arrasto.....	Figura 2.18
32	Claras permissíveis do propulsor.....	Figura 4.1
45	Diagrama de Burtl.....	Figura 4.2
50	Geometria dos hélices da série B-Troost.....	Figura 4.3
52	Geometria dos hélices da série Kaplan.....	Figura 4.4
52	Comparação entre o sistema hélice-duto e hélice convencional.....	Figura 4.5
55	Eficiências máximas dos hélices das séries em função do carregamento.....	Figura 4.6
57	Comparação das forças de rebouque entre propulsores de passo fixo e controlável.....	Figura 4.7
59	Sistema de hélice de passo controlável.....	Figura 4.8
61	Envoltoiras para a obtenção dos valores de rugosidade em MAA e em MHR.....	Figura 5.1
63	Influência das incrustações na resistência ao avanço nos testes do navio "Yayoi-Maru".....	Figura 5.2
68	Influência da deterioração superficial no diagrama de forças de um elemento de pa.....	Figura 5.3
73		

76	.....	76
76	Efeito da rugosidade no ensaio do hélice.....	Figura 5.4
83	.....	Figura 5.5
83	Áreas projetadas do navio.....	Figura 6.1
86	.....	Figura 6.2
86	peruanos.....	Figura 6.2
86	A relação L/B em função do comprimento L (m) de navios.....	Figura 6.2
86	peruanos.....	Figura 6.3
86	Menu "Métodos de Economia".....	Figura 6.3
91	.....	Figura 6.4
92	Menu "Projetos Iniciais".....	Figura 6.4
97	Fluxograma do menu "Métodos de Economia".....	Figura 6.5
97	.....	Figura 6.6
98	Algoritmo 1, acoplamento do casco-hélice-motor, utilizado no fluxograma da figura 6.5.....	Figura 6.7
98	Algoritmo 2, escolha do propulsor otimizando o diâmetro com a série B-Troost, utilizado no fluxograma da figura 6.5.....	Figura 6.8
99	Algoritmo 2, escolha do propulsor otimizando o diâmetro com a série Kaplan, utilizado no fluxograma da figura 6.5.....	Figura 6.9
101	Fluxograma do menu "Projetos Iniciais".....	Figura 7.1
103	.....	Figura 7.1
105	Perfil operativo da embarcação "SMA".....	Figura 7.2
106	.....	Figura 7.2
106	Arranjo geral do navio "SMA".....	Figura 7.3
107	.....	Figura 7.4
107	Comparação de gastos de combustivel na situação 2 com o propulsor original e o novo propulsor de passo fixo.....	Figura 7.5
112	.....	Figura 7.5
112	Comparação de gastos de combustivel na situação 3 entre o propulsor original e o novo propulsor de passo fixo.....	Figura 7.6
114	.....	Figura 7.6
114	propulsor original e o novo propulsor de passo fixo.....	Figura 7.7
116	.....	Figura 7.7
116	propulsor original e o novo propulsor de passo controlável.....	Figura 7.8
118	.....	Figura 7.8
118	Arranjo geral do navio "Eastward-Ho".....	Figura 7.9
121	.....	Figura 7.9
121	Comparação de gastos de combustivel na situação 1 do navio "Eastward-Ho" entre o propulsor original e o sistema hélice-duto.....	Figura 7.10
123	.....	Figura 7.10
123	de passo controlável.....	Figura 7.11
125	.....	Figura 7.11
125	Comparação de gastos de combustivel na situação 2 do navio "Eastward-Ho" entre o propulsor original e o sistema hélice-duto.....	Figura 7.11
127	.....	Figura 7.11
127	de passo controlável.....	Figura 7.11

LISTA DE TABELAS

13	Avaliação da presença do fenômeno "EL NINO".....	Tabela 2.1
14	Desvio médio das temperaturas superficiais marinhas do litoral peruano.....	Tabela 2.2
16	Produção, aproveitamento e exportação de farinha de peixe.....	Tabela 2.3
17	Utilização da farinha de peixe nos países importadores.....	Tabela 2.4
17	Biomassa, captura permissível e desembarque dos principais recursos pelágicos no período 1988-1995.....	Tabela 2.5
22	Faixas de operação para o método de Holtrop.....	Tabela 3.1
38	Faixas de aplicação do algoritmo de Oortmerssen.....	Tabela 3.2
40	Parâmetros das variáveis de equação da regressão do algoritmo da FAO.....	Tabela 3.3
41	Campo de validade do método da FAO.....	Tabela 3.4
42	Claras permissíveis do propulsor recomendadas pelas classificadoras.....	Tabela 4.1
44	Aproveitamento do motor pelos sistemas de propulsores em termos de porcentagens da sua potência nominal.....	Tabela 4.2
56	Variação da rugosidade durante a construção do navio.....	Tabela 5.1
65	Exemplo de medições de rugosidade de navios de diferentes anos de idade.....	Tabela 5.2
66	Incremento da rugosidade em serviço.....	Tabela 5.3
67	Características principais do navio "Yayoi-Maru".....	Tabela 5.4
68	Características das incrustações nos testes do navio "Yayoi-Maru".....	Tabela 5.5
69	Fator de incrustações.....	Tabela 5.6
70	Altura de ondas segundo a escala de Beaufort.....	Tabela 5.7
81	Variáveis dos coeficientes das componentes das forças do vento.....	Tabela 5.8
83	Velocidade do vento segundo a escala de Beaufort.....	Tabela 5.9
83	Relação de motores Caterpillar utilizados no programa.....	Tabela 6.1
87	Parâmetros requeridos pelos algoritmos de resistência ao avanço.....	Tabela 6.2
93	Parâmetros do propulsor.....	Tabela 6.3
94	Dutos tipo Kort.....	Tabela 6.4
94	Parâmetros do motor.....	Tabela 6.5
94	Parâmetros de pesca.....	Tabela 6.6
95	Parâmetros de rugosidade.....	Tabela 6.7
96	Parâmetros das condições ambientais.....	Tabela 6.8
96	Parâmetros de refrigeração.....	Tabela 6.9
105	Parâmetros do casco do pesqueiro "SMA".....	Tabela 7.1
108	Parâmetros do propulsor e motor do pesqueiro "SMA".....	Tabela 7.2
108	Parâmetros de pesca do navio "SMA".....	Tabela 7.3
108	Parâmetros de rugosidade do pesqueiro "SMA".....	Tabela 7.4
108	Utilização de refrigeração do pesqueiro "SMA".....	Tabela 7.5
109	Condições ambientais do pesqueiro "SMA".....	Tabela 7.6
109	Resultados do navio "SMA" em condições de prova de mar.....	Tabela 7.7

110	Resultados do navio "SMA" na situação 2 com o propulsor original.....	Tabela 7.8
111	Resultados do navio "SMA" na situação 2 com novo propulsor de passo fixo.....	Tabela 7.9
111	Comparação de consumos de combustível do navio "SMA" na situação 2 entre o propulsor original e o propulsor de passo fixo.....	Tabela 7.10
111	Resultados do navio "SMA" na situação 3 com o propulsor original.....	Tabela 7.11
113	Resultados do navio "SMA" na situação 3 com o novo propulsor de passo fixo.....	Tabela 7.12
113	Comparação de consumos de combustível do navio "SMA" na situação 3 entre o propulsor original e o propulsor de passo fixo.....	Tabela 7.13
114	Resultados do navio "SMA" na situação 3 com o novo propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.14
115	Comparação de consumos de combustível do navio "SMA" na situação 3 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.15
115	Parâmetros do casco do navio "Eastward-Ho".....	Tabela 7.16
117	Parâmetros do motor e do hélice do navio "Eastward-Ho".....	Tabela 7.17
117	Parâmetros de pesca do navio "Eastward-Ho".....	Tabela 7.18
119	Parâmetros de rugosidade do navio "Eastward-Ho".....	Tabela 7.19
119	Utilização de refrigeração do navio "Eastward-Ho".....	Tabela 7.20
119	Condições ambientais do navio "Eastward-Ho".....	Tabela 7.21
120	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor original.....	Tabela 7.22
120	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.23
120	Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 1 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.24
121	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor original.....	Tabela 7.25
121	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.26
122	Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 1 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.27
124	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 2 com o sistema original.....	Tabela 7.28
124	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 2 com o propulsor com duto.....	Tabela 7.29
124	Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 2 entre o propulsor original e o propulsor com duto.....	Tabela 7.30
125	Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 2 com o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.31
126	Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 2 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável.....	Tabela 7.32

LISTA DE ABREVIACÕES

Rugosidade local média do casco	AHR
Potência no freio em HP	BHP
British Ship Research Association	BRSA
Consumo específico de combustível	Cec
Potência efetiva em HP	EHP
Food and Agriculture Organization of the United Nations	FAO
International Towing Tank Conference	ITTC
Amplitude aparente média	MAA
National Physical Laboratory	NPL
Netherlands Ship Model Basin	NSMB
Pequenas Empresas de Exploração do Biqueirão	PEEAS
Rendimento por porão	RPB
Refrigerated Salted Water	RSW
Servicio Industrial de la Marina	SIMA
Swedish State Shipbuilding Experimental Tank	SSPA
toneladas métricas	ton

LISTA DE SÍMBOLOS

<p><i>Geral</i></p> <p>ρ densidade ($\text{kg s}^2/\text{m}^4$)</p> <p>g aceleração da gravidade (m/s^2)</p>	<p><i>Geometria do Navio</i></p> <p>ABT área transversal do bulbo (m^2)</p> <p>A_{keel} área transversal da quilha (m^2)</p> <p>AL área lateral projetada (m^2)</p> <p>AM área da seção mestra (m^2)</p> <p>ASS Área lateral projetada da superestrutura</p> <p>AT área transversal projetada (m^2)</p> <p>ATR área da popa tipo "tansom" (m^2)</p> <p>A_{WP} área do plano de linha d'água (m^2)</p> <p>B boca molhada (m)</p> <p>B/T relação boca - calado</p> <p>C_b coeficiente de bloco</p> <p>C_M coeficiente de seção mestra</p> <p>C_p coeficiente prismático longitudinal</p> <p>C_{stem} coeficiente da forma da popa</p> <p>C_{WP} coeficiente de área na linha d'água</p> <p>hb distância do centro do área do bulbo à linha base da quilha (m)</p> <p>L comprimento total (m)</p> <p>L_{pp} comprimento entre perpendiculares (m)</p> <p>L_R comprimento do corpo de saída (m)</p> <p>L_{WL} comprimento na linha d'água (m)</p> <p>Lcb posição longitudinal do centro de carena</p> <p>L/B relação comprimento - boca</p> <p>L/V^{1/3} relação comprimento - volume do navio</p> <p>M número de mastros</p> <p>S superfície molhada (m^2)</p> <p>T calado médio (m)</p> <p>T_A calado de popa (m)</p> <p>T_F calado de proa (m)</p> <p>Trim diferença de profundidade entre os calados de popa e proa (m)</p> <p>V_p volume de porão de pescado (m^3)</p> <p>Δ deslocamento (ton.)</p> <p>Δ volume deslocamento (m^3)</p> <p>$1/2\alpha_e$ meio ângulo de entrada (graus)</p> <p>$1/2\alpha_r$ meio ângulo de saída (graus)</p> <p>β_{bn} ângulo "buttock" (graus)</p>
--	--

Geometria do Propulsor

A_e	área expandida da pá (m^2)
A_o	área do disco (m^2)
A_p	área projetada do disco (m^2)
A_e/A_o	razão área expandida pela área do disco
$A_e/A_{o_{min}}$	razão área expandida por área do disco mínima segundo o critério de Burtill
c	corda da pá
D	diâmetro (m)
L/D	razão corda - diâmetro do duto Kort
P/D	razão passo - diâmetro
r	raio (m)
R	raio (m)
t	espessura do perfil da pá
Z	número de pás

Resistência e Propulsão

C_A	coeficiente de correção modelo-navio
C_F	coeficiente de resistência de atrito do casco
C_R	coeficiente de resistência do navio
C_{T16}	coeficiente de resistência total do modelo de 16 pés
C_T	coeficiente de carregamento
C_D	coeficiente de arrasto do propulsor
C_L	coeficiente de sustentação do propulsor
C_V	coeficiente de resistência viscosa
C_X	componente axial da força do vento
C_Y	componente lateral da força do vento
F_n	número de Froude
F_r	fator de redução
h	distância do propulsor com respeito ao nível do mar (m)
j	coeficiente de avanço
k_p	amplitude aparente média de rugosidade da pá do hélice em μm
K_Q	coeficiente de torque do propulsor
K_T	coeficiente de empuxo do propulsor
K_{TN}	coeficiente de empuxo do duto ensaiado
n	rotação do hélice (rps)
P_D	potência desenvolvida (kW)
P_M	potência do motor (kW)
P_S	potência no eixo (kW)
PE	potência efetiva (kW)
Q	torque (kgm)
R_B	resistência do bulbo (kN)
R_F	resistência de atrito (kN)
R_{APP}	resistência de apêndice (kN)

NOTA:

Os símbolos utilizados no presente trabalho são apresentados em unidades do sistema internacional. Porém, alguns foram utilizados com outro sistema, e são comentados para cada caso específico.

Cavitação

R_{AR}	resistência do vento (kN)
R_{CA}	resistência de correlação modelo-navio (kN)
R_n	numero de Reynolds
R_R	resistência residual (kN)
R_T	resistência total (kN)
R_{TR}	resistência de pressão (kN)
R_V	resistência viscosa (kN)
R_W	resistência de ondas (kN)
RPM	rotação por minuto
S_{APP}	superfície molhada dos apêndices (m ²)
T	empuxo (kN)
t	coeficiente de redução da força propulsora
V	velocidade do navio (nós)
V_A	velocidade de avanço (m/s)
V_T	velocidade resultante em $r=0,7R$ da pá (m/s)
V_R	velocidade relativa do vento (nós)
V/\sqrt{L}	numero de Taylor (v em nós e L em pés)
w	coeficiente de esteira
W_h	altura da onda (m)
η	eficiência do propulsor na popa do navio
η_D	eficiência propulsiva
η_h	eficiência do casco
η_o	eficiência do propulsor em água aberta
η_R	eficiência relativa rotativa
η_t	eficiência de transmissão
$I+k_2$	fator de apêndice
$I+k_1$	fator de forma
pa	pressão atmosférica (kgf/m ²)
pV	pressão de vaporização de água (kgf/m ²)
τ_c	coeficiente de carregamento
$\sigma_{0,7R}$	índice de cavitação
K	constante utilizada na fórmula de Keller

RESUMO

O propósito deste trabalho é implementar uma metodologia de análise de características propulsivas de embarcações pesqueiras, destinado a:

- avaliar diferentes alternativas quanto a modificações de propulsores já instalados, ou quanto a novas instalações, que levem a bons desempenhos propulsivos;

- verificar a conveniência de alteração de parâmetros de operação de embarcações já construídas, que diminuam o consumo de combustível, mantendo o desejado desempenho;

- orientar o desenvolvimento de novas embarcações.

Em particular, foi feita uma aplicação ao caso da pesca no litoral peruano, mostrando-se a facilidade de aplicação da metodologia e como os seus resultados podem de fato serem aproveitados na prática.

Desenvolveu-se um programa em linguagem C, que pode ser processado num micro-computador. Prevê-se que o programa seja ampliado à medida em que se vai ampliando o seu banco de dados sobre desempenho e características de cascos, propulsores e motores.

ABSTRACT

A methodology for analysis of propulsive characteristics of fishing boats is here presented, which enables to:

- evaluate modifications of already installed propellers, and also new installations, aiming good propulsive performance;*
- modify operation parameters of already built boats, in order to reduce the oil consumption, while keeping the performance at desired levels;*
- develop new boats propulsive design.*

In particular, an application for the Peruvian littoral fishing is shown, being the ease of use of the methodology verified in a practical situation.

A C-software was developed, which may be processed in an ordinary PC. Its range of application may be broadened in the future, as a result of enlargement of the hulls, propellers and engines performance data bank.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

O mar tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento das civilizações desde tempos remotos. O desenvolvimento da cultura inca nas zonas costeiras do Peru não só sustentou-se na agricultura, mas também teve vinculações marítimas essenciais.

A crescente população mundial deste século, concentrada principalmente nas zonas costeiras, tem causado um impacto nos recursos vivos do mar. Uma demonstração deste impacto do homem na ecologia do mar se dá na própria atividade pesqueira, cujo crescimento descontrolado tem ocasionado o desaparecimento de muitas espécies por excesso de exploração. Hoje, o conhecimento do mar e dos recursos pesqueiros deve levar a um melhor direcionamento, orientado à preservação das principais reservas de peixes que são de vital importância para conservar a biomassa. Esta observação, segundo FLORES [2], é de grande importância no caso peruano, cujas correntes marítimas o tornam uma das regiões oceânicas mais férteis do planeta, e onde o colapso registrado em 1972 pelo quase desaparecimento da espécie biqueirão foi uma séria advertência sobre a fragilidade do sistema ecológico marinho.

Um melhor direcionamento da exploração marinha não só deve abranger melhores planejamento e controle de captura das espécies pelos organismos

competentes, mas também ser orientado com alternativas mais eficientes na execução dos projetos de embarcações pesqueiras para o melhor aproveitamento da biomassa.

O navio pesqueiro é uma embarcação especializada. A missão para a qual o navio pesqueiro é feito afeta muito seu projeto. OKONSKI [9] afirma que as dimensões da embarcação, o arranjo do convés, a capacidade de carga do porão, o sistema propulsivo e os equipamentos de pesca se encontram todos relacionados com o método de pesca empregado e o tipo de espécie a capturar.

O computador desempenha atualmente um papel importante no projeto de pesqueiros em todas as suas etapas. Com esse equipamento consegue-se uma sistematização do cálculo, propiciando novos projetos, incorporando eficiência e economia. Sem dúvida, os avanços no ambiente computacional proporcionaram melhorias significativas no projeto de navios pesqueiros, sendo que antigamente a maioria dessas embarcações era construída com conhecimentos empíricos, carecendo de um maior grau de embasamento técnico.

Em última instância, um projeto elaborado em melhores condições acarreta menos erros e leva a um navio de melhor desempenho e a que a tripulação trabalhe em condições mais apropriadas e com maior segurança.

Em particular, a aplicação de ferramentas computacionais tornaram certas estimativas mais precisas, como por exemplo a de resistência hidrodinâmica e a de escolha do propulsor. Isto se tornou necessário uma vez que tais parâmetros, que no passado não tinham tanta relevância, hoje são muito importantes. De fato, cada vez mais os armadores procuram sistemas mais eficientes, isto é, de menor consumo de combustível, de mais fácil manutenção e de maior confiabilidade.

Com este objetivo é que o trabalho foi desenvolvido, estudando os principais parâmetros envolvidos no projeto propulsivo do navio pesqueiro para, a partir deles, construir uma ferramenta de cálculo adequada.

Uma exposição sobre os recursos pesqueiros peruanos é importante para ressaltar o significado que o desenvolvimento da indústria pesqueira têm para a

economia do Peru. É o que se faz no capítulo 2: apresentaram-se as tendências de produção do ecossistema marinho peruano, conforme CALIENES [1], a incidência do fenômeno oceano-atmosférico "EL NIÑO" nos recursos marinhos, e a transformação desses recursos na produção de farinha de peixe, cuja exportação consiste numa das maiores receitas do Peru. Também foi abordada a problemática do setor pesqueiro e os métodos de pesca tradicionais principais utilizados no litoral do Peru para a pesca de suas espécies.

As embarcações de pesca industrial que operam no litoral peruano são principalmente do tipo de cerco, e algumas de arrasto. No capítulo 3 utilizaram-se algoritmos para cálculo da resistência ao avanço destes tipos de navios: o método de HOLTROP [16, 17] que, além de se aplicar a navios pesqueiros, também é utilizado para outros tipos de casco, o método de OORTMERSSSEN [13], específico para as embarcações de pequeno porte, como pesqueiros e rebocadores, e por último o método da FAO [22], que se baseia somente em navios pesqueiros.

No capítulo 4 sintetiza-se o projeto do propulsor, tendo por base os métodos de otimização recomendados por BERNITSAS [43], que dependem de quais dados são disponíveis e de qual é a finalidade da otimização. Apresentam-se as séries sistemáticas tipicamente utilizadas para navios pesqueiros, como a B-Troost [26] e a Kaplan [27], esta última para hélices com duto Kort. Também são mostradas comparações entre os tipos de propulsores utilizados para estes navios, já que o incremento da eficiência pela escolha apropriada do propulsor, em contraposição a práticas empíricas usuais, pode, algumas vezes, ser significativo. 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.

Outro fator responsável para um bom desempenho do navio é a correta seleção do ponto de projeto do propulsor. O capítulo 5 apresenta os principais parâmetros que podem ser considerados pelo projetista na especificação de margens mais adequadas, de modo a manter limites de operação adequados da máquina principal. Segundo KRESIC [35], os procedimentos de manutenção e conservação do casco e do hélice

durante sua vida útil, a rota de serviço, entre outras considerações, influem sobre o desempenho da máquina principal, podendo acarretar sobrecargas, que se traduzem em altos custos de manutenção para o armador.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fornecer subsídios para orientar projetistas a desenvolver novos navios pesqueiros, e auxiliar armadores na avaliação de suas embarcações já construídas, eventualmente incorporando melhorias. Para tanto, apresenta-se no capítulo 6 deste trabalho um método para avaliação de diferentes alternativas de propulsores, ou para alteração de parâmetros de operação que minimem o consumo de combustível. O método foi implementado em programa de computador (programa "*Power Fish*"). Testam-se embarcações em determinadas rotas de navegação, de acordo com o processo de pesca executado.

Assim, é possível o projeto do sistema propulsivo de uma embarcação pesqueira de cerco ou de arrasto. Para o hélice, o programa considera as seguintes possibilidades existentes no mercado: hélices de passo fixo, hélices de passo controlável e hélices com duto. O programa dispõe de um catálogo de vinte e quatro motores, que poderá vir a ser ampliado; com isto, facilita-se a definição, de maneira rápida e sistemática, da instalação propulsora apropriada.

Na aplicação apresentada no capítulo 7 consideram-se dois tipos de embarcações: de cerco ("*purse seiner*") e de arrasto ("*trawler*") que realizam a pesca pelágica. Testa-se mais de um tipo de propulsor para os navios citados, mostrando as vantagens e desvantagens de cada um deles. Concentra-se em embarcações que possuem uma capacidade de porão acima de 100 m³, com instalação frigorífica que permite a pesca de espécies cujo habitat é afastado da costa, assim diminuindo a pressão sobre espécies superexploradas, como será discutido no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 2

2. RECURSOS PESQUEIROS PERUANOS

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O mar peruano, de uma excepcional riqueza ictiológica, é no mundo uma das reservas mais importantes de vida marinha. Sua biomassa tem grande proporção de espécies industrializáveis e, graças a esta circunstância, a indústria pesqueira no Peru pode desenvolver-se.

A corrente de HUMBOLT traz consigo o plancton, alimento que permite às pequenas espécies, em sua maioria, maturar, esta sendo a razão de o mar peruano ser uma grande fonte de recursos alimentícios.

2.2 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO CAPTURAS

No mar peruano existem 113 espécies comercialmente mais frequentes na abundante fauna e flora marinhas, dentre elas peixes, crustáceos, moluscos, equinodermos, quelônios, toninas e algas.

O grupo dos peixes, apresentado no anexo 1, é o mais abundante, se dividindo em 4 sub-grupos, segundo CALIENES [1].

O primeiro grupo é o dos "PELAGICOS", e está constituído por espécies que vivem na camada superficial do mar, se deslocando de acordo com a temperatura das

água e outros fatores, podendo ficar perto da costa ou a grandes distâncias da mesma.

Suas espécies são escassas, mas se agrupam em grandes cardumes, constituindo enormes recursos para a exploração. Os tipos de espécies e seus respectivos nomes científicos são:

Biqueirão	<i>"Engraulis Ringes"</i>
Sardinha	<i>"Sardinops Sagax"</i>
Carapau	<i>"Trachurus Pictarus"</i>
Cavala	<i>"Scomber Japonicus Peruanus"</i>
Bonito	<i>"Sarda Chilensis"</i>
Atum	<i>"Thunnus Spp"</i>

No segundo grupo estão os "DEMBERSAIS", integrado por um complexo de espécies que vivem nos fundos marinhos, apresentando ampla diversidade. As espécies mais dominantes são as seguintes:

Merluza	<i>"Merluccius Gayi Peruanus"</i>
Cagão	<i>"Mustelus Whitneyi"</i>

O terceiro grupo é o "COSTEIRO", constituído por espécies cuja característica principal é a de estarem associadas às águas costeiras. Integram este grupo as espécies conhecidas como:

Menhadem	<i>"Etmidium Macul Atruns"</i>
Seriolas	<i>"Seriola Spp"</i>
Tainha	<i>"Mugil Cephalus"</i>
Corvinata	<i>"Otolithus Peruanus"</i>

No quarto e último item encontra-se o grupo "OUTROS", que inclui um bom número de espécies cujas quantias de desembarque não são elevadas, embora sem dúvida algumas sejam muito cotadas por sua qualidade, destacando-se:

Peixe-elefante	" <i>Callorhynchus Spp</i> "
Enguia	" <i>Anguilla Spp</i> "

2.3 TENDÊNCIAS DE PRODUÇÃO DO ECOSISTEMA MARINHO PERUANO

1. No período entre 1950-1994 [1, 3] o desembarque total acumulado da pesca marinha foi de 208.920.329 ton, com uma média anual de 4.642.673 ton.
2. Deste total, o grupo peixes representou 99,6%, com um total acumulado de 208.084.647 ton e uma média anual de 4.624.103 ton. Os grupos restantes (crustáceos, moluscos, equinodermos, quelônios, toninas e algas) registrou 0,4%, com 832.338 ton acumuladas (ver figura 2.1).

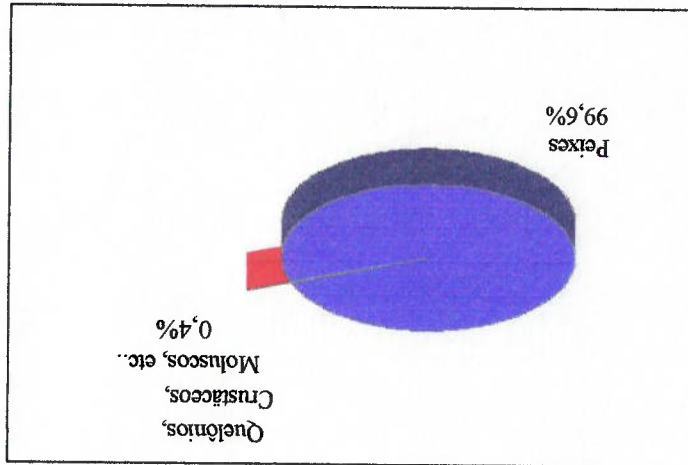


Figura 2.1 - Tendências da pesca peruana

3. Do grupo peixes, os recursos pelágicos acumularam no período 201.634.022 ton, representando 96,9%, com média por ano de 4.480.756 ton. Os demais

grupos, demersais, costeiros e de outros peixes, acumularam 6.450.062 ton, equivalentes a 3,1%, como se mostra na figura 2.2.

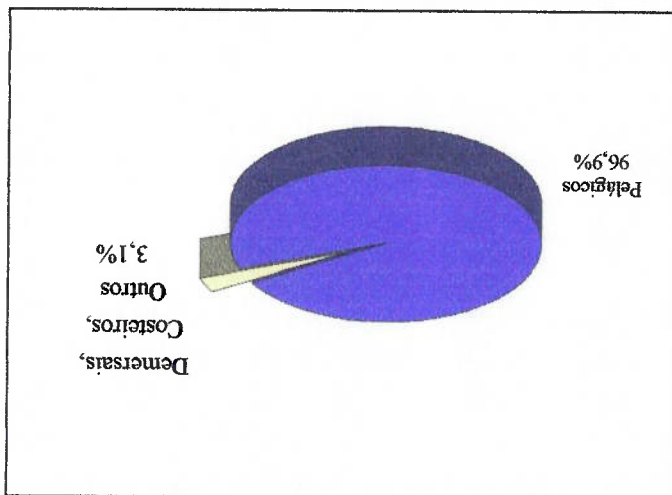


Figura 2.2 - Tendências do grupo de peixes

- Do grupo dos pelágicos, o biqueirão acumulou um total de 169.995.740 ton (84,3%), com uma média por ano de 3.777.683 ton. A sardinha acumulou um total de 25.121.877 ton (12,5%), e 558.263 ton de média por ano. Os demais pelágicos principais como, carapau, cavala, bonito e atum, acumularam 6.516.405 ton (3,2%) (ver figura 2.3).

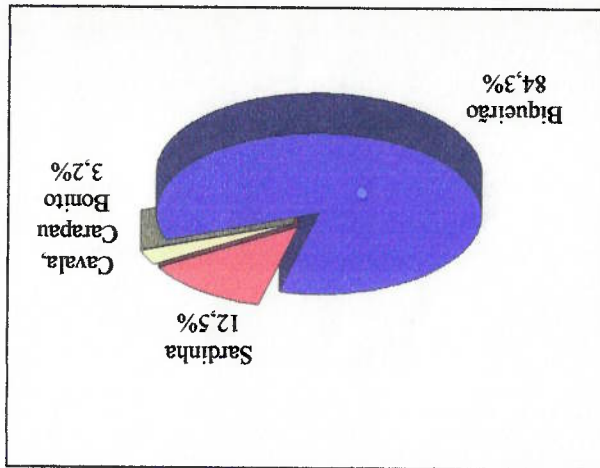


Figura 2.3 - Tendências do grupo de pelágicos

2.4 OCORRÊNCIA DO FENÔMENO “EL NIÑO”

É importante, quando nos referirmos à biomassa, conhecer de perto a influência do fenômeno denominado “EL NIÑO” com relação ao desembarque dos recursos pesqueiros.

O que é o fenômeno “EL NIÑO” ?

“EL NIÑO” é uma alteração oceano-atmosférica que acontece em níveis de grande escala, abrangendo amplas regiões geográficas do Pacífico e de vários continentes, cujas principais áreas de manifestação são as zonas costeiras e áreas marítimas do Pacífico Sudeste. Tal área inclui a região litorânea peruana.

Este fenômeno é muito complexo e está sendo estudado por diversos pesquisadores [2, 4]. Afeta várias regiões do mundo, manifestando-se das seguintes maneiras:

- Aumento das temperaturas marinhas, principalmente superficiais e costeiras.
- Alteração da ecologia do meio, com implicações na disponibilidade de recursos pesqueiros.
- Redução da intensidade e quantidade dos afloramentos.
- Aumento da evaporação, com consequente aumento de nebulosidade, chuvas torrenciais, transbordamentos, deslizamentos, desabamentos.
- Elevação do nível do mar.
- Secas severas nas regiões andinas.

2.4.1 FENÔMENO “EL NIÑO” NO PERU

O Peru é uma das áreas mais críticas de manifestação do fenômeno no Pacífico Sudeste. Em seu território continental, o “EL NIÑO” se manifesta com chuvas intensas, ventos fortes, seca no sudeste (altiplano), etc.. Em seu domínio marítimo, ocorrem manifestações de aumento da temperatura superficial, elevação do

nível do mar, transbordamentos, alterações da salinidade e do teor de oxigênio na água, redução da intensidade e amplitude dos afloramentos, etc..

O fenômeno determina diversas alterações no ecossistema marinho, principalmente na cadeia biológica e nos seus processos; com diminuição da produção primária. Mais especificamente com relação aos recursos pesqueiros, afeta principalmente os pelágicos (biqueirão e sardinha), com efeitos majoritariamente danosos. Em menor grau, e com efeitos benéficos, afeta os recursos demersais (merluza e fauna acompanhante). Com efeito em parte de dano e em parte de benefício, afeta os recursos costeiros. Há também influências majoritariamente negativas sobre as espécies dependentes das indicadas, tais como aves e mamíferos marinhos, principalmente.

◆ Recorrência

O fenômeno "EL NINO" é repetitivo apesar de não haver ciclos precisamente definidos. Um fenômeno "EL NINO" de intensidade débil ou moderada, no entanto, pode ser esperado a cada 3 ou 4 anos. Há registros dos fenômenos "EL NINO" fortes em 1925/1926, 1930/1931, 1940/1941, 1957/1958 e 1972/1973. Estes tem ocorrido em média, por tanto, a cada 10 ou 11 anos. Eventos extraordinários, como o de 1982/1983, ocorrem muito esporadicamente.

◆ Intensidade

Considerando que numerosos parâmetros oceanográficos e meteorológicos intertem no fenômeno "EL NINO", torna-se difícil estimar com propriedade sua intensidade. A temperatura superficial do mar é um parâmetro sobre o qual se dispõe de dados abundantes, não sendo complicado o seu registro, e constitui um dos principais fatores para as alterações de habitat das diferentes espécies marinhas, sendo influenciado pelo "EL NINO". Outro parâmetro importante relacionado ao fenômeno é a redução da intensidade e frequência de afloramentos, ocasionando diminuição de nutrientes para o desenvolvimento e o crescimento da produção primária (plâncton), que constitui o principal alimento das espécies pelágicas.

Admite-se [2] que o maior prejuízo que o fenômeno causa na pesca é a menor disponibilidade de recursos pesqueiros, em razão de os afloramentos afetarem o ciclo alimentício das espécies pelágicas, e ao fato do aquecimento superficial do mar determinar um aprofundamento da isoterma de 15°C até 150-200 m de profundidade, em lugar dos usuais 50-60 m, alterando o habitat do biqueirão e da sardinha. Com o aprofundamento da isoterma os equipamentos de pesca tradicionais (rede de cerco) se tornam inadequados para a captura, ainda que as embarcações possam estar sobre os cardumes (vulnerabilidade negativa; acessibilidade positiva) (ver figuras 2.4 e 2.5).

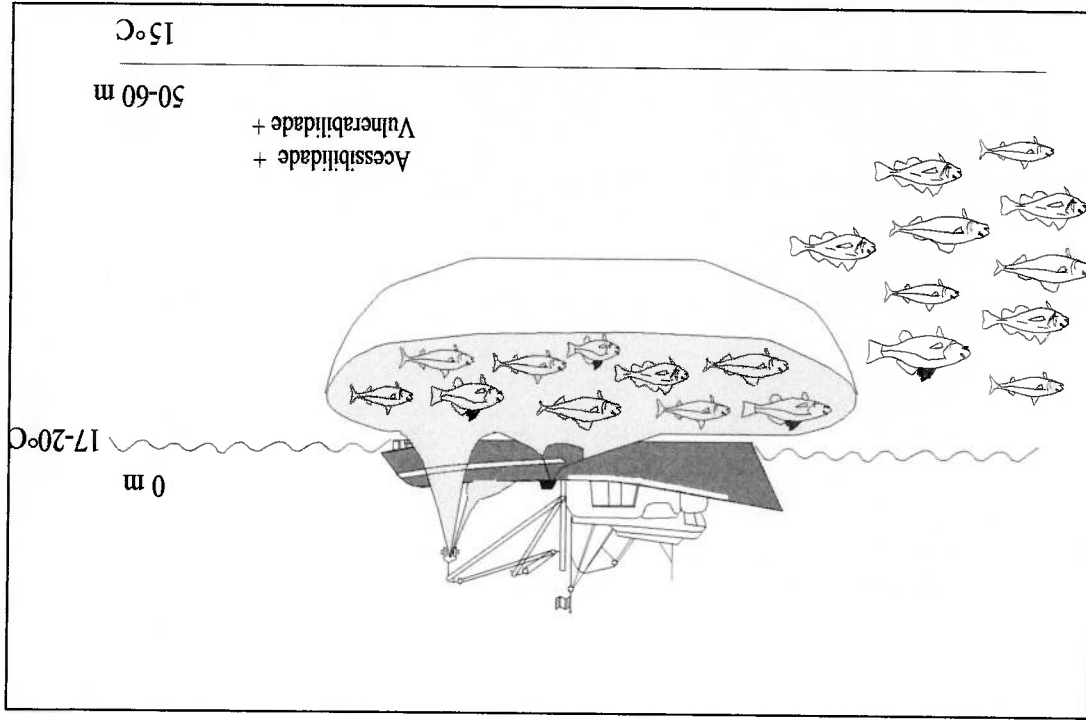
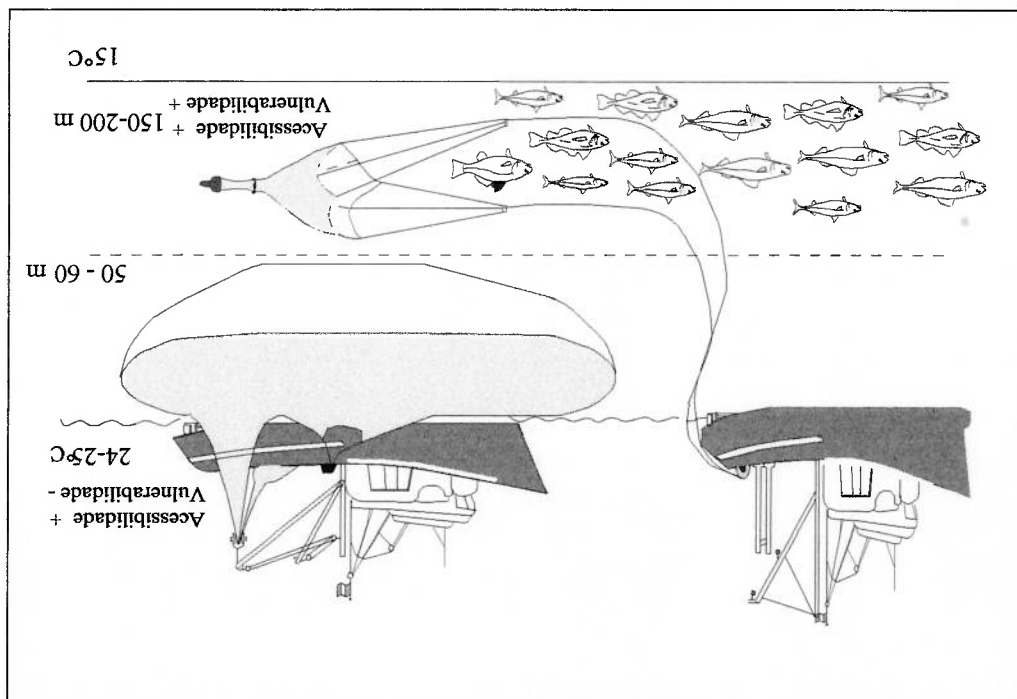


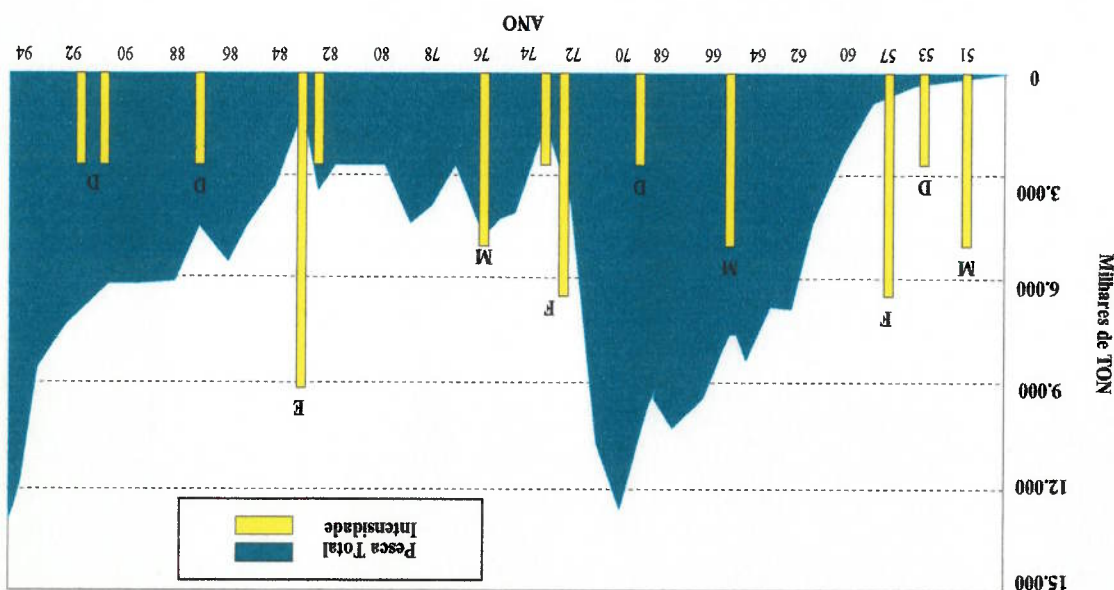
Figura 2.4 - Acessibilidade e vulnerabilidade das espécies pelágicas em condições normais [2]

- Pode-se concluir que, com relação a um período de 50 anos:
- Existe uma relação direta entre a intensidade do fenômeno e a diminuição dos desembarques pesqueiros no ano que acontece o fenômeno, referenciado ao ano anterior (condições normais), como se apresenta na tabela 2.1.
 - A intensidade do fenômeno é determinada, entre outros fatores, pelo acréscimo da temperatura superficial marinha. Na tabela 2.2 são apresentados os desvios de temperatura dos principais portos do litoral peruano para as condições de normalidade e de ocorrência do fenômeno.

No período compreendido entre 1950-1995 ocorreram 11 fenômenos "EL NINO", com diferentes características e diversos efeitos nos desembarques, em sua maioria negativos, como se apresenta na figura 2.6.

Figura 2.5 - Acessibilidade e vulnerabilidade das espécies pelágicas durante o fenômeno "EL NINO" [2]





c. As porcentagens de variação, calculadas pelas diminuições do desembarque nos anos do "EL NIÑO" com relação aos anos anteriores têm sido negativas, em sua maioria, salvo em 1976 e 1992.

Tabela 2.1- Avaliação da presença do fenômeno "EL NIÑO" [7]

ANOS	TEMPO ENTRE FENÔMENOS (anos)	INTENSIDADE DO FENÔMENO	LAPSO DO FENÔMENO (MESES)	% DE VARIAÇÃO DE DESEMBARQUE COM RESPEITO AO ANO ANTERIOR
1951	0,0	moderado (M)	7,0	Não significativo
1953	2,0	débil (D)	6,0	Não significativo
1957/58	4,0	forte (F)	11,0	Não significativo
1965	7,0	moderado (M)	6,0	-13,50
1969	4,0	débil (D)	5,0	-11,40
1972/73	3,0	forte (F)	14,0	-55,50
1976	3,0	moderado (M)	7,0	28,50
1982/83	6,0	extraordinário (E)	10,0	-57,60
1987	4,0	débil (D)	3,0	-18,36
1991/92	4,0	débil (D)	13,0	+7,60
1995	3,0	moderado (M)	6,0	-18,42

Tabela 2.2 - Desvio médio das temperaturas superficiais marinhas do litoral peruano [4]

PORTOS	1981			1982			1983				
	Nov. Dec.	Jan. Feb.	Mar.	Nov. Dec.	Jan. Feb.	Mar.	Jan. Feb.	Mar. Abr.			
TUMBESES	-0,8	3,0	1,8	-1,9	0,9	5,6	7,2	8,1	6,0	8,8	10,0
TALARA	0,2	0,6	1,4	-2,0	1,6	4,9	7,0	7,9	6,5	8,9	10,3
PAITA	-0,3	0,4	0,5	-0,4	0,7	5,2	6,8	8,0	6,4	7,0	9,2
SALAVERRRY	0,8	0,2	0,4	-0,3	0,6	5,3	6,8	7,0	6,4	7,1	7,9
CHIMBOTE	1,6	1,2	1,9	1,1	0,2	5,4	6,4	6,3	6,6	6,8	7,6
HUARMAY	1,5	1,4	-0,4	1,3	0,4	5,2	6,4	6,5	6,6	6,0	7,2
CALLAO	0,8	0,5	0,4	-0,3	0,3	5,5	6,2	4,1	5,9	6,0	7,3
PISCO	0,9	2,1	0,1	-0,1	0,5	4,5	5,6	4,0	5,2	5,8	7,2
ILO	1,0	0,9	0,2	0,9	0,5	4,2	5,8	4,2	4,2	5,8	6,5

2.5 O PRODUTO "FARINHA DE PEIXE"

A farinha de peixe é obtida pelo processo de redução da água e do óleo do peixe, nas fases:

- ◆ cozimento
- ◆ prensagem
- ◆ separação dos sólidos
- ◆ evaporação de líquidos
- ◆ secagem
- ◆ moagem

Como resultado, obtém-se um composto de proteínas, gordura, cinzas, matéria mineral e umidade, em porcentagens padronizadas para este tipo de farinha.

As porcentagens de cada um dos componentes variam de acordo com a qualidade da matéria prima (espécies pelágicas), e da maquinaria e equipamentos instalados nas fábricas de farinha de peixe. Os constituintes da farinha de peixe 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.

2.5.1 ÁREA DE MERCADO

O universo da colocação do produto farinha de peixe é bastante amplo. Os principais mercados importadores são [7]: China, Oriente Médio, Reino Unido, África do Sul, Alemanha, França, Itália, Estados Unidos, Japão e Coreia.

A produção mundial de farinha de peixe tem variado nos últimos anos entre 5 e 8,5 milhões de toneladas, sendo o Japão, o Chile e o Peru os principais produtores, com volumes que variam desde 0,8 milhões até 3,0 milhões de toneladas por país por ano. A Ex-URSS, os Estados Unidos, a Dinamarca, a Noruega, a Islândia, a Tailândia, a África do Sul, o Equador e o México são produtores mais modestos, com volumes que flutuam entre 100 e 800 mil toneladas por ano.

2.5.2 PRODUÇÃO PERUANA DE FARINHA DE PEIXE

O volume total de produção peruana de farinha de peixe tem a seguinte característica: cerca de 70 % da produção depende da associação "Pequeñas Empresas de Exploração de Biqueirão" (PEBAS), que pertence ao setor privado; os outros 30 % estão a cargo da "PESCAPERU", empresa do estado que atualmente se encontra em etapa de privatização. A mencionada produção está concentrada nos portos de Chimbote, Coishco, Samanco, Huarney e Casma.

O Peru destina mais de 90% do total de sua produção a exportações [7], e o restante para o mercado interno, como se observa na tabela 2.3. Os produtos são oferecidos a mais de 70 países, sendo os principais compradores: China, Alemanha, Estados Unidos, Taiwan, Japão e Filipinas, que adquirem perto de 70% do total das exportações, como se mostra na figura 2.7.

A farinha de peixe é considerada como um produto alimentício animal tradicional, com um volume importante no mercado mundial e que se cota

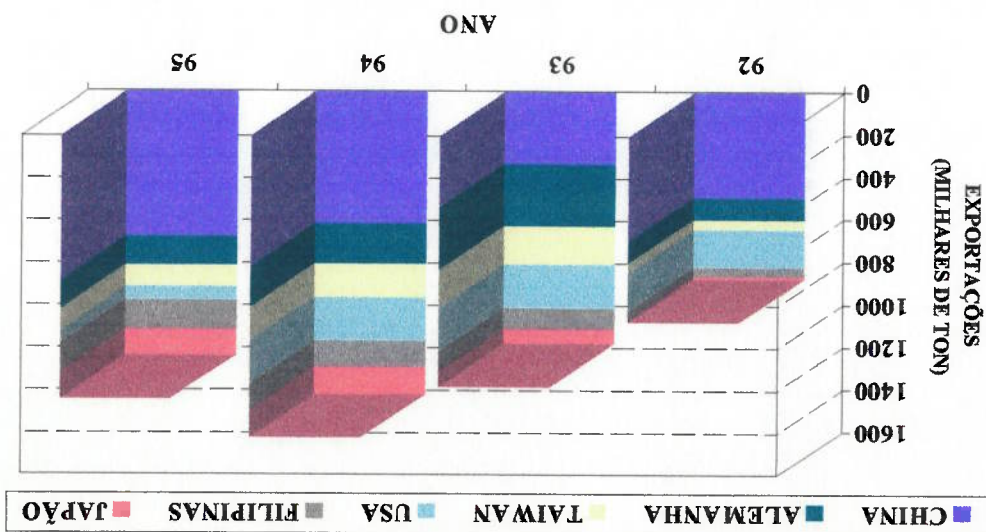
2.5.3 PRODUÇÃO MUNDIAL E CONSUMO

ANO	MATERIA PRIMA	APROVEITAMENTO (%)	PRODUÇÃO PERUANA	EXPORTAÇÃO	PORCENTAGEM EXPORTAÇÃO (%)
1990	6.483	19,07	1.236	1.135	91,80
1991	6.658	19,50	1.298	1.190	91,60
1992	7.294	15,31	1.117	1.032	92,30
1993	8.143	22,93	1.867	1.797	96,20
1994	11.027	21,78	2.402	2.273	94,60
1995	8.995	22,26	2.002	1.862	93,00

Tabela 2.3- Produção, aproveitamento e exportação de farinha de peixe (milhares de toneladas) [7]

As porcentagens de aproveitamento da farinha de peixe não são os melhores, como se observa na tabela 2.3. As mesmas têm piorado, devido principalmente à baixa qualidade da matéria prima que chega às fábricas para seu processamento, por falta de embarcações adequadas para este tipo de pesca, na maioria dos casos.

Figura 2.7 - Principais países consumidores da farinha de peixe peruana



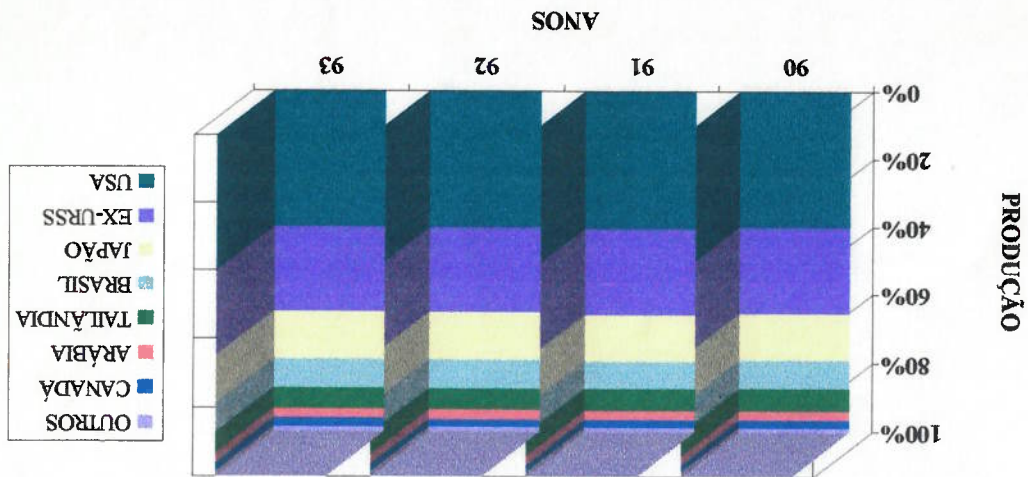
internacionalmente a preços conhecidos publicados e difundidos por agentes comerciais e/ou compradores especializados.

Mostram-se na tabela 2.4 os principais países consumidores de farinha de peixe e para que animais são destinados estes produtos.

Tabela 2.4- Utilização da farinha de peixe nos países importadores [7]

PAÍS	PARA ALIMENTAÇÃO DE:
PAÍSES DO ORIENTE MEDIO	Aves, Porcos
CHINA	Aves, Peixes
ESTADOS UNIDOS	Aves, Porcos
REINO UNIDO	Aves, Porcos
ÁFRICA DO SUL	Aves
ALEMANHA	Aves, Porcos
EUROPA	Aves, Porcos

Os volumes mundiais de produção de carnes de aves têm sido crescentes, com liderança dos Estados Unidos, seguido por EX-URSS, Japão, Brasil, Arábia, Canadá, entre outros, como se mostra na figura 2.8.



Deverá haver um aumento dos atuais níveis de demanda a curto prazo, uma vez que:

- há uma tendência de aumento da demanda no Continente Asiático;
- há uma crescente produção de frangos;
- há uma maior difusão de criação de peixes, alimentados com farinha de peixe.

2.6 O PROBLEMA DO SETOR PESQUEIRO PERUANO

O Peru em um passado recente foi o principal produtor de farinha de peixe do mundo. A década de 60 se caracterizou pelo crescimento e auge da atividade pesqueira no Peru, 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. Por sua vez, a atividade de produção de farinha de peixe explorava irracionalmente o biqueirão. No princípio dos anos 70 foram desembarcados ao redor de 12,5 milhões de toneladas anuais de pescado para o consumo industrial, quando a capacidade hidrobiológica total era só de 14 milhões de toneladas por ano. A sardinha é outra das espécies pelágicas que foi irracionalmente explorada a tal ponto que os volumes desembarcados superassem as quantidades permitíveis.

Os armadores pesqueiros que abastecem de matéria prima as fábricas de farinha de peixe recorrem à captura indiscriminada do biqueirão e da sardinha, devido principalmente ao fato de suas embarcações não estarem preparadas para sair em busca do carapau e da cavala, ou de qualquer outra espécie pelágica cujo habitat esteja distanciado da costa, desde as 80 até as 200 milhas, seja pelo seu projeto, tamanho, sistemas de navegação, equipamentos de refrigeração ou antiguidade.

Nos anos 1972 e 1973 o desembarque do biqueirão registrou 3,5 milhões de toneladas por ano, em média. Os altos preços internacionais e as políticas estatais do

momento levaram o estado a nacionalizar a indústria farinha de peixe. Como resultado desse direcionamento, desde essa época até 1990, a frota, a indústria e a tecnologia não foram renovadas.

É também importante a pesca artesanal, praticada com pequenas embarcações motorizadas construídas em sua maioria de madeira, com capacidades de porões não maiores que 30 toneladas, e em que predominam o esforço humano direto com equipamentos de pesca não sofisticados. No litoral peruano existem aproximadamente 2000 dessas embarcações e 6000 pescadores artesanais.

Estas embarcações, devido à sua pouca autonomia, às pequenas capacidades de porão e, especialmente, à falta de câmaras refrigeradas para a conservação dos peixes, pescam perto da costa, e sua pesca está destinada ao consumo humano direto, e não ao consumo industrial para a elaboração da farinha de peixe.

Um outro problema se soma aos já citados acima: a falta de competitividade dos estaleiros peruanos com relação aos estrangeiros. Devido à crise naval a partir de 1984, os estaleiros não renovaram sua tecnologia, e muitos deles se voltaram à manutenção de embarcações, deixando de lado a construção. Atualmente, o estaleiro SIMA (*"Servicio Industrial de la Marina"*) é o maior do Peru. Junto ao SIMA, dois outros estaleiros são os únicos a serem competitivos, tendo adquirido equipamentos e máquinas relativamente modernos.

Com a privatização da *"PESCAPERU"*, e com a intervenção do setor privado e de capitais estrangeiros, a frota pesqueira começou a ser renovada, construindo-se embarcações de maior porte com câmaras refrigeradas para a pesca afastada do litoral. Estaleiros estrangeiros ganharam algumas das concessões para a construção de embarcações pesqueiras, devido ao seu melhor nível tecnológico, preterindo-se, assim, os pequenos estaleiros peruanos. Devido a crises na economia do Peru entre os anos 1987-1990 e a ajustes para diminuir a inflação, executados pelo último governo, os pequenos e médios armadores peruanos não têm tido capacidade para construir novas embarcações. Têm no entanto se adequado à situação, fazendo algumas modificações (encomprimentos) em navios existentes, ou substituições de

equipamentos (sistemas propulsivos mais eficientes), para conseguir maiores capacidades de porão e economia no consumo de combustíveis.

2.6.1 EXPLORAÇÃO E RESERVAS

Como mencionado anteriormente, a biomassa correspondente ao biqueirão e à sardinha tem sido explorada de forma irracional, a tal ponto que os volumes desembarcados destas espécies superaram as quantidades permitíveis em porcentagens bastante altas, resultando em perigo de extinção por predação.

Por outro lado, o mar peruano oferece outras alternativas, estando por exemplo a relação biomassa/captura do carapau e da cavala ainda muito abaixo dos limites permitíveis. Isto ocorre pelo fato das embarcações não estarem preparadas para sair em busca destas espécies, cujo habitat é afastado da costa. Esta pressão da pesca sobre o biqueirão e a sardinha, e a insipiência de pesca do carapau e da cavala são apresentadas nas figuras 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 e na tabela 2.5.

O biqueirão e a sardinha são espécies pelágicas cujo habitat está entre os 0 e 60 m de profundidade, de 10 a 80 milhas da costa; o carapau e a cavala são espécies pelágicas cujo habitat está entre 120 e 200 milhas da costa e de 0 a 60 m de profundidade.

Quando acontece o fenômeno "EL NINO", as regiões próximas às áreas costeiras do Pacífico Sul são afetadas, obrigando assim o biqueirão e a sardinha a mudar de habitat para as costas chilenas, ou aprofundar-se entre 60 e 200 m. Como consequência disto, as embarcações de cerco não obtêm êxito algum na captura dessas espécies. Ao contrário, as embarcações de arrasto de média profundidade são as mais apropriadas para esta circunstância; porém, em condições normais estas embarcações não têm o mesmo rendimento, quando comparadas com as embarcações de cerco.

Figura 2.10 - Captura da Sardinha

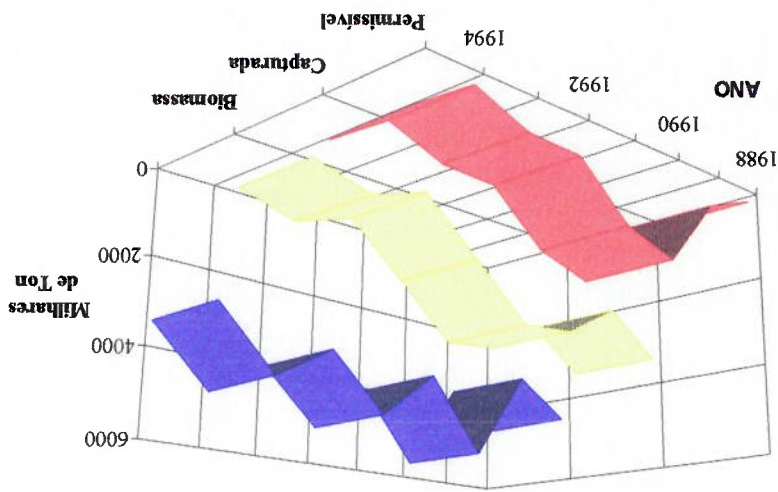
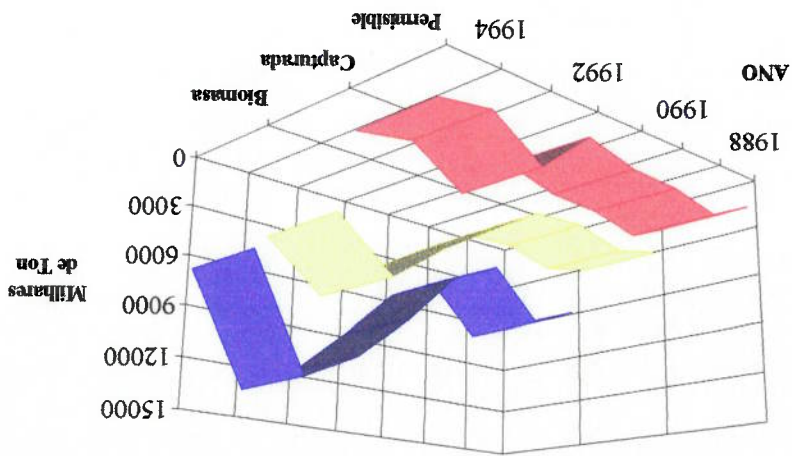


Figura 2.9 - Captura do Biqueirão



A ocorrência deste fenômeno afeta em pequenas proporção a área compreendida entre 80 e 200 milhas. Por isso, as espécies como o carapau e cavala continuam em seu habitat original e as embarcações maiores com equipamentos de pesca de cerco são as mais apropriadas para a captura dessas espécies pelágicas.

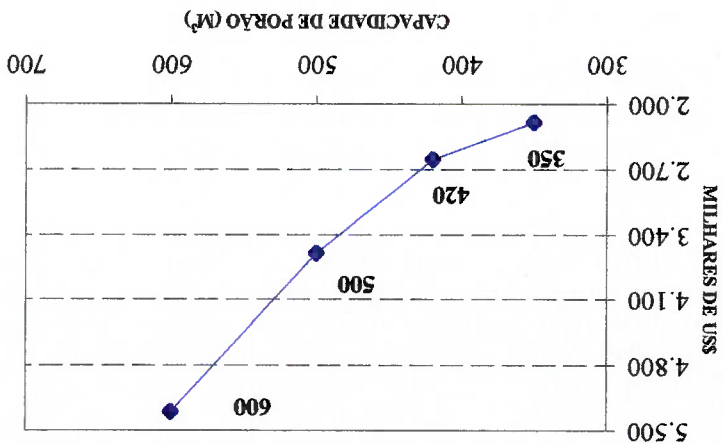
2.7 QUAL É O TAMANHO APROPRIADO DO PESQUEIRO PARA A PESCA PELÁGICA NO LITORAL PERUANO ?

Para desenvolver uma nova embarcação pesqueira, necessita-se de intercâmbio de idéias com pescadores, armadores e donos das empresas de fabricação de farinha de peixe, que algumas vezes são as mesmas pessoas. Necessita-se também de fazer projetos preliminares, de construir modelos para testes em tanque de provas e de outras providências antes que se possa lançar ao mercado um novo casco.

Se as dimensões são muito distintas com relação às dos cascos existentes (boca, comprimento, deslocamento), pode ser necessário fazer alterações importantes nos estaleiros para se construir e se lançar uma nova embarcação, especialmente naqueles estaleiros menores, e nos que se encontram afastados do mar. É por isso que é tão importante, também, esta pergunta para os estaleiros: Qual é o tamanho apropriado, ou seja, a capacidade mais adequada de porão, para a pesca pelágica no litoral peruano?

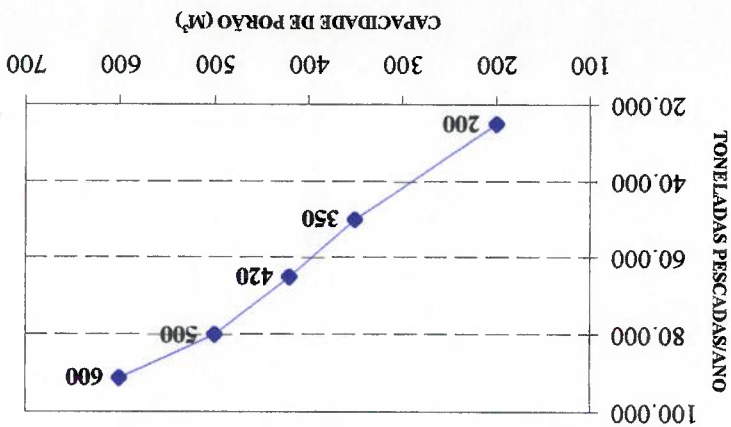
Como em todo o mundo, a tendência é construir embarcações de maiores capacidades para obter melhores retornos. O crescimento nos portes dos navios pesqueiros que operam no litoral do Peru tem sido considerável nos últimos anos, devido principalmente à decisão dos armadores de realizar a pesca afastada da costa com instalações refrigeradas. Um fator importante a se considerar é o custo do investimento inicial. Na figura 2.13 pode-se observar que os custos de investimento inicial variam significativamente para cada capacidade de porão.

Figura 2.13 - Custo de investimento inicial versus capacidade de porão das embarcações peruanas [7]



Se o navio maior custa mais, como se pode observar na figura acima, também é verdade que captura uma maior quantidade, mas não em proporção direta aos metros cúbicos de porão como se mostra na figura 2.14. Também é certo que quando a pesca é abundante, as embarcações maiores se tornam mais eficientes e rentáveis em comparação com as pequenas, deixando estas últimas com menor competitividade. Outros fatores devem ser considerados na escolha da capacidade de porão. Por exemplo, quando há pouca quantidade de pesca, todos pescam de modo relativamente igual, ainda que os custos de operação sejam diferentes. Também deve ser considerada a distância a que a pesca se encontra, se a pesca é distante, as embarcações pequenas não chegam, não compensando a sua saída.

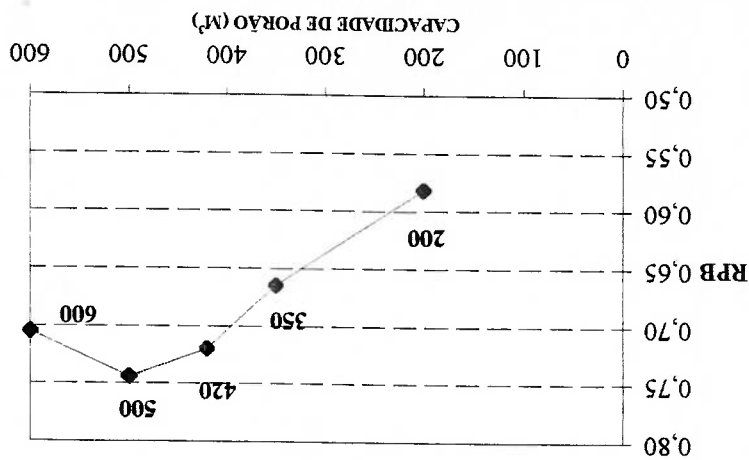
Figura 2.14 - Captura de pesca versus capacidade de porão das embarcações peruanas [7]



No litoral peruano, a pesca é abundante a poucas horas do porto. Porém, mas quando ocorre o fenômeno "EL NINO", ou quando o Ministério da Pesca não permite a pesca de uma determinada espécie, por se encontrar em etapa de reprodução, ou por estar superexplorada, então as embarcações têm que procurar outras espécies mar adentro; com isso, a embarcação pequena se torna inadequada.

Registros [1] realizados nos portos do litoral peruano sobre os desembarques de sardinha são abundantes entre 20 e 60 milhas de porto. Também registrou-se que os efeitos do fenômeno "EL NINO" no norte se manifestaram em maior escala que no sul do litoral peruano, acarretando que as espécies pelágicas mudassem de habitat algumas vezes para o sul do país, para as costas chilenas ou simplesmente passassem a habitar regiões mais profundas.

Figura 2.15 - Rendimento por porto versus capacidade de porto das embarcações peruanas



O "Rendimento por Porto" (RPB) é um índice no qual três variáveis importantes interveem, a saber, a captura anual (ton), a capacidade de porto (m³) e os dias de operação, consistindo na razão da primeira pelo produto das duas últimas. Este índice é uma medida da eficiência da embarcação. No caso peruano [5], observa-se que a incorporação de novas unidades melhoram o RPB, já que a taxa de captura aumenta devido ao aumento dos dias de operação da embarcação. O índice é mostrado na figura 2.15, onde as embarcações de melhores desempenhos

econômicos (RPB maiores) têm um volume de porão compreendido entre 400 e 600 m³, em razão principalmente do aumento da captura anual, como apresentado na figura 2.14. Outro motivo [7] que justifica essas capacidades é as referidas embarcações poderem trabalhar na pesca do carapau e cavala, que têm seu habitat afastado da costa, e assim diminuir a pressão sob as espécies mais deprimidas. Também podem pescar perto da costa o biqueirão e a sardinha, nos limites das restrições das espécies e, nos próximos fenômenos "EI NINO" que venham a ocorrer, poderiam operar sem restrição alguma, em qualquer área de pesca. Outra vantagem importante dessas embarcações é o calado, já que não apresentam problemas de descarga do pescado em portos e berços de pouca profundidade.

2.8 PRINCIPAIS PORTOS PESQUEIROS DO PERU

Há 70 lugares [3] para desembarques e considerados como os mais regulares do litoral peruano, nos quais se encontram portos, enseadas, baías, praias e pontas. Estima-se que, ao longo do litoral, podem ser encontrados 30 outros pontos de desembarque, menores e irregulares.

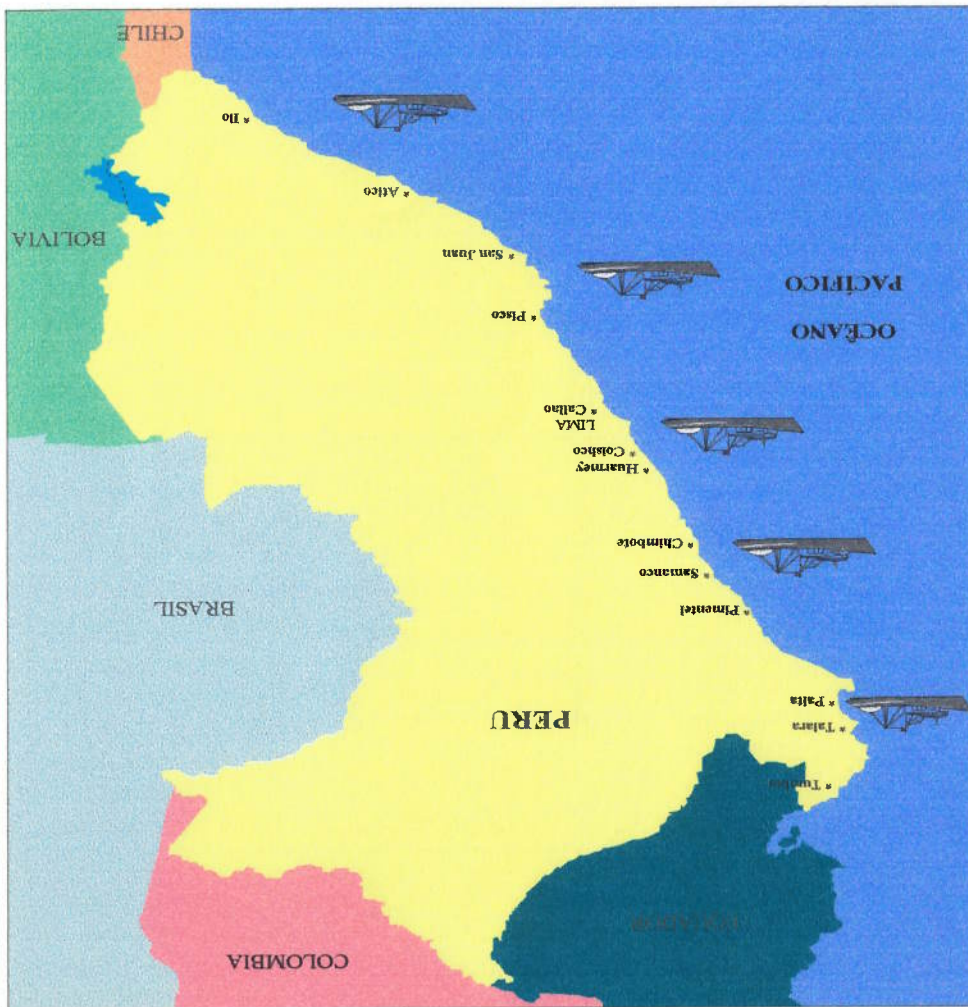
A importância dos portos segundo o volume de desembarque varia com os anos, inclusive para os portos com maior desembarque e regularidade. Considerando os valores de 1994, superiores às 100.000 ton, os principais portos por volume desembarcado são: Chimbote, Ilo, Pisco, Chancay, Supe, Coishco, Huarmey, La Planchada, Yambo de Mora, Atico, Mollendo e Callao. Na figura 2.16 apresenta-se o mapa do Peru com seus principais portos segundo seus desembarques.

A primeira vista, parecia que os métodos e equipamentos utilizados pelo pescador são rústicos e antigos. Não obstante, tecnologia, sofisticação, complexidade, investimento em embarcações e equipamentos, conjuntamente com novas técnicas de localização e capturas, demonstram que se está vivendo uma

O navio pesqueiro, sob o ponto de vista de seu projeto, é muito complexo, já que zarpa do porto com seu porão vazio ou eventualmente pouco cheio (com gelo, iscas, etc.), toma sua carga fora da costa utilizando uma grande variedade de equipamentos de captura que dependem dos métodos de pesca, e está submetido a uma grande variação de seu "deadweight", devido às variações da taxa de captura.

2.9 EQUIPAMENTOS E MÉTODOS DE PESCA MAIS UTILIZADOS NO LITORAL PERUANO

Figura 2.16 - Principais portos pesqueiros do litoral peruano [3]



transformação desta atividade. Investimentos crescentes em pesquisa e desenvolvimento estão continuamente melhorando a eficiência das operações e condições sob as quais trabalha o pescador.

Para a escolha do sistema de pesca [6], diversos fatores influem na seleção dos equipamentos e métodos empregados para pescar uma espécie numa determinada área. A escolha depende de:

- espécie que deverá ser pescada (pelágica, demersais, moluscos, crustáceos);
- velocidade da espécie;
- valor econômico unitário dos integrantes da espécie;
- profundidade do mar;
- características do fundo marinho;
- obtenção do maior rendimento de captura.

2.9.1 PRINCIPAIS TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE PESCA

De acordo com a operação das embarcações pesqueiras os equipamentos de pesca podem agrupar-se do seguinte modo [6]:

- a. Rede de cerco.
- b. Rede de arrasto.
- c. Pesca de espínhel - "*longline*".
- d. Armadilhas.
- e. Pesca de isca viva - "*pole and line*".

Atualmente no Peru efetua-se a pesca de "cerco" e a de "arrasto" para as espécies pelágicas como o biqueirão, sardinha, carapau e a cavala; a pesca de espínhel é praticada para a captura de peixes da espécie demersais e a pesca de isca viva excepcionalmente para a captura do atum.

A pesca de cerco é o método mais praticado e mais rentável para os armadores do litoral peruano comparado com a pesca tipo arrasto, já que o método de cerco é mais seletivo para a captura de uma espécie específica, menos depredadora e desenvolvida na superfície do mar.

a. Rede de cerco

A rede de cerco possui forma retangular. Esta rede, no caso mais geral, é lançada ao mar por uma de suas extremidades presa a uma bóia ancorada, enquanto a embarcação realiza uma manobra de giro de 360° graus, fechando o cardume. Como a rede possui um lado com flutuadores e outro com pesos, tem-se, ao final da manobra, um espaço cilíndrico contido pela rede. Passa-se então a puxar o cabo de fundo de rede numa atividade contínua até que, junto ao navio, tenha-se formada uma sacola cercando o cardume. Durante a manobra de recolhimento da rede, o casco tende a derivar lateralmente, devido à força de arrasto da própria rede ser maior que a do casco. O bote ("skiff" - "panga") evita essa deriva puxando o casco no sentido contrário através de um cabo de aço, evitando assim que o navio se junte à rede e dificulte a manobra de pesca. O peixe é retirado da rede com um cesto movimentado por guincho, ou por sucção de uma bomba, dependendo da espécie, com a rede ainda no mar. Na figura 2.17 apresenta-se a sequência da manobra de pesca realizada por um navio pesqueiro tipo cerco.

O arranjo de convés da embarcação que opera com rede de cerco possui variantes, mas os equipamentos básicos são os seguintes:

- guincho de pesca;
- "power block" (para a movimentação da rede);
- pequenos roletes para guia dos cabos;
- "skiff" ou "panga" (pequena embarcação na popa);
- bóia para fixação durante o lançamento da rede.

As embarcações de cerco contêm bombas de sucção para a descarga de peixes

capturados na pesca, cuja vazão depende do diâmetro do mangote e da potência da bomba. Durante a descarga geralmente enchem-se os porões de água para facilitar sua descarga sem prejuízo aos peixes.

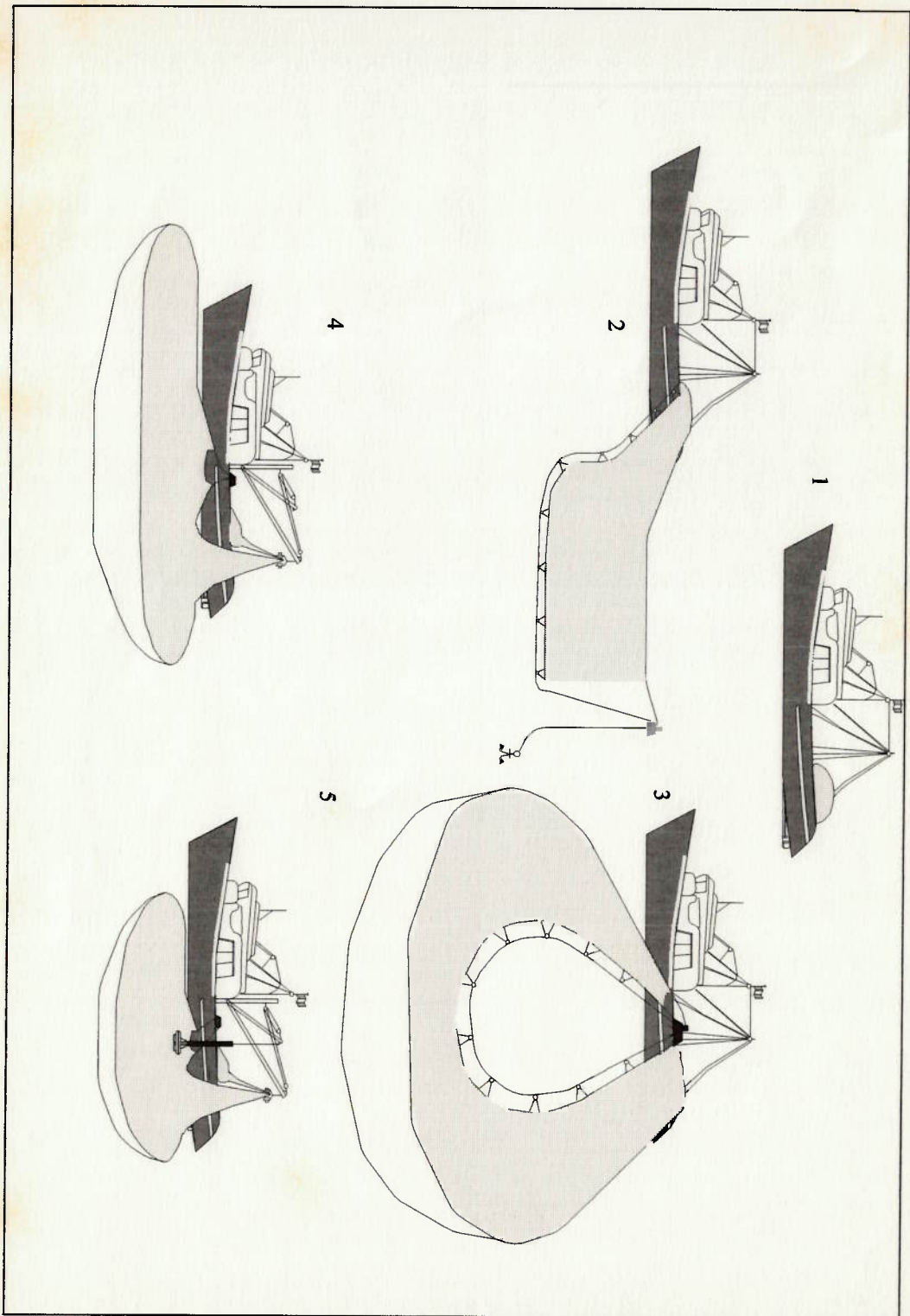


Figura 2.17 - Sequência da manobra de pesca tipo cerco

b. Rede de arrasto

Este método consiste em rebocar a uma certa velocidade (entre 3 e 5 nós) uma rede em forma de saco, cuja boca é mantida aberta através de dispositivos diversos, que podem ser varas horizontais ou verticais, ou "portas", todos contribuindo para o aumento da resistência hidrodinâmica ao fluxo de água de mar. A rede é rebocada no fundo ou em meia profundidade, criando assim mais duas classes de equipamentos de manuseio. Na figura 2.18 mostra-se o método de arrasto.

Além das portas, já citadas, a abertura da rede é garantida por flutuadores na parte superior da boca e por pesos (eventualmente roletes que tocam o fundo) na parte inferior. A operação de pesca engloba uma sequência de atividades compreendendo o lançamento da rede, o desenrolamento dos cabos principais, o arrasto propriamente durante um certo tempo e, por fim, o içamento, que corresponde a enrolar os cabos e trazer a rede e o pescado para o convés da embarcação.

Esta operação é efetuada nos costados ou na popa da embarcação. O arrasto pela popa é análogo ao arrasto pelo lado, inclusive quanto aos equipamentos necessários; apenas o lançamento e içamento da rede é que se processa pela popa da embarcação.

Os equipamentos básicos para operação de arrasto são praticamente os mesmos para o navio de arrasto de popa ou pelo lado, verificando-se que o posicionamento no convés é que varia entre as duas classes. Têm-se os seguintes equipamentos:

- guincho de pesca com 2 tambores principais e 2 auxiliares;
- roldanas para guias dos cabos principais;
- cabeços e roletes posicionados convenientemente no convés;
- mastros e paus de carga para içamento da rede com o pescado;
- acessórios diversos para manuseio de cabos e da rede.

- a localização conveniente dos pontos onde se realiza o arrasto.
- o adequado arranjo do convés para a acomodação da rede e a captura, com sua carga;
- a força de tração (do guincho) requerida para içar e deslocar a rede a bordo a rede
- a necessidade de potência para arrastar o aparelho de pesca;

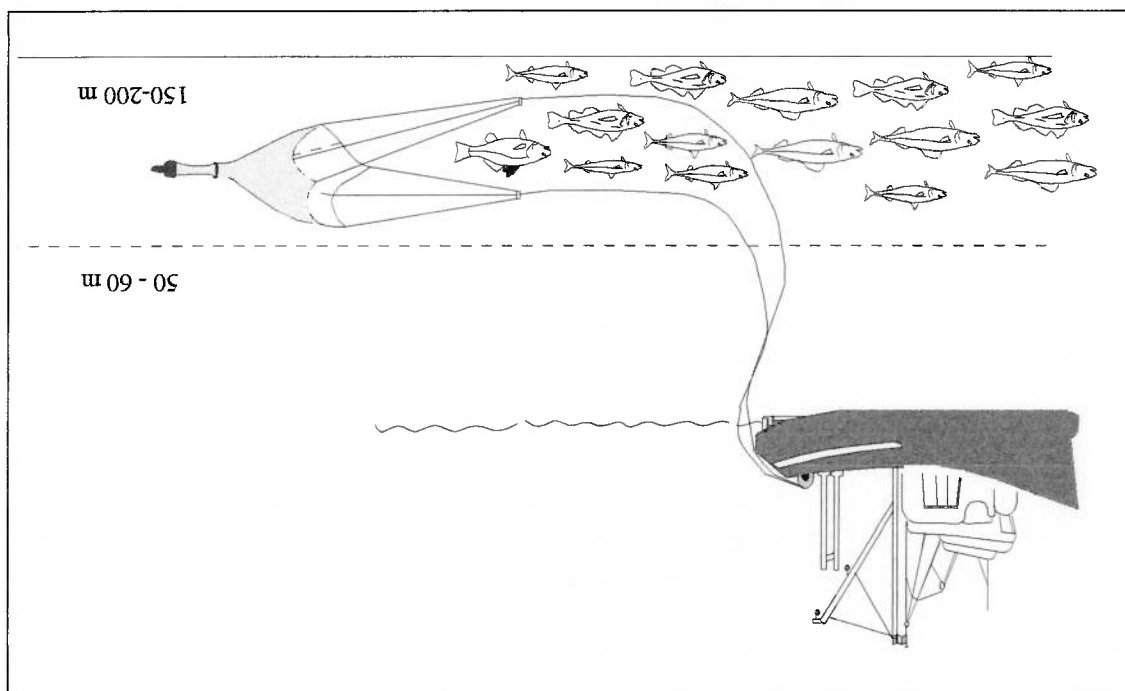
que utilizam este método são:

As considerações mais importantes que influem no projeto das embarcações

um argumento forte para utilização do método.

arrasto pela popa ganhou adeptos rapidamente, que viram na facilidade de operação hélice e no leme da embarcação causava preocupação. Como isto não foi verificado, o encontrou alguma resistência no início porque a possível interferência da rede no outros métodos, pela facilidade operacional que representa. A sua utilização O uso de rede pela popa tem ocupado posição de destaque em relação aos

Figura 2.18 - Método de pesca de arrasto



c. Pesca de espinhel - "*longline*"

Este tipo de pesca é usado para a captura das espécies demersais no litoral peruano. O método consiste em se lançar um aparelho de pesca ao longo de uma rota que varia entre 8 a 10 Km e em se voltar recolhendo. O aparelho de pesca consiste numa linha ou corda onde as linhas com anzóis e iscas estão montadas em segmentos sucessivos, limitados por bóias.

As embarcações geralmente deixam cair o aparelho pela popa, e o recolhem por través. Devem ter uma adequada distribuição de convés, que permita estivar convenientemente o equipamento de pesca, e facilitar sua passagem desde a proa até a popa, para liberar a captura. Atualmente têm-se desenvolvido métodos automáticos para liberar a captura e os anzóis.

d. Armadilhas

Empregam-se armadilhas especialmente para a captura de lagosta e siris, isto é, crustáceos de grande valor econômico. Às vezes também usa-se com peixes demersais de elevado preço de venda. É comum na atualidade que a manobra de colocar e recolher as armadilhas se faça por meios mecânicos (guinchos, roldana motriz). Se a embarcação deve ir mar adora, deve haver algum paiol para o armazenamento de iscas.

e. Pesca de isca viva - "*pole and line*"

Este tipo de pesca é utilizado na captura de atum e de outros peixes. Utiliza-se este método em águas pouco profundas. Para atrair o cardume, coloca-se a isca ao redor da embarcação. A captura se realiza utilizando varas de 3 a 4 metros de comprimento, com linha e anzol.

As iscas são transportadas pela embarcação e, por isto, é necessária a instalação de um pequeno tanque para o armazenamento das iscas vivas, que são geralmente capturadas através de uma pequena rede de arrasto, durante o caminho até a zona de pesca.

2.10 SISTEMA DE CONSERVAÇÃO PARA PEIXES

A decomposição do peixe se deve a duas causas: a autólise e a multiplicação dos germes. A decomposição natural (autólise) inicia-se com a coagulação das proteínas que produzem o rigor mortis; após algumas horas se desfaz a rigidez cadavérica pela influência de enzimas e se inicia a decomposição das proteínas em compostos de nitrogênio, sobretudo a trimetilamina, que produz um cheiro desagradável, sintoma inequívoco do mal estado do produto.

A rápida multiplicação dos germes tem uma influência muito mais decisiva que a autólise na decomposição do peixe. A invasão dos germes ocorre nos peixes através das brânquias, indo ao sangue, e também pela mucosa e escamas, através da pele, e ainda nos intestinos.

O mecanismo para manter o peixe em condições de consumo é mantê-lo frio. Não obstante, as baixas temperaturas não destroem nem as enzimas nem os microorganismos, só retardam sua ação destrutiva.

A conveniência de contar com uma câmara isolada termicamente em lugares de clima tropical é evidente. O norte do Peru se caracteriza por ter elevadas temperaturas, o que ocasiona uma rápida degradação do produto de pesca, levando a uma menor cotação no momento da descarga.

No passado, os navios pesqueiros efetuavam exclusivamente o transporte dos produtos da pesca com gelo, o que limitava a duração das jornadas a certos períodos, e indiretamente limitava também o tamanho das embarcações. Devido aos avanços conseguidos pelas técnicas de congelamento e armazenamento, hoje tal limite não existe para os tempos de duração da jornada. Estas podem ser cada vez maiores, ficando a jornada limitada por razões econômicas, ou simplesmente em função de sua capacidade. O peixe chega assim em bom estado ao porto de descarga. Existem três tipos [8] de formas para a conservação do peixe.

a. Acondicionamento em gelo

Este tipo prevê que a embarcação transporte desde o porto de saída a

quantidade suficiente de gelo para refrigerar o peixe a 0°C e mantê-lo nessa temperatura durante o resto da viagem. O porão deve possuir isolamento térmico, de tal maneira que se possa obter um bom rendimento do consumo de gelo, sem alterar o volume disponível para o peixe. O acondicionamento em gelo é largamente utilizado, por constituir-se num processo eficaz de conservação. Possui uma restrição de tempo no mar, o qual não deve exceder a 5 dias.

b. Instalação frigorífica

Contrapondo-se ao acondicionamento através do gelo, a instalação frigorífica possui um alto custo de instalação e manutenção, e sua temperatura normal de acondicionamento é de -25°C, prolongando-se com isto o tempo de permanência no mar, de até 6 meses, dependendo do tipo de peixe. A princípio, é possível afirmar que somente espécies de alto valor econômico, capturadas em zonas de pesca distantes, justificam uma embarcação com instalação frigorífica.

c. Acondicionamento misto

É um sistema intermediário, e se resume em refrigerar o porão do navio. Atualmente, os pesqueiros peruanos estão utilizando sistemas de refrigeração por água salgada chamados RSW ("*Refrigerated Salted Water*") [9], o qual utiliza o amoníaco como gás refrigerante. Consiste em refrigerar água armazenada nos porões, numa temperatura de 0 a 2°C e em porcentagens de 25 - 15% de água salgada para 75 - 85% de peixes.

CAPÍTULO 3

3. ALGORITMOS PARA A ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA AO AVANÇO

3.1 REVISÃO HISTÓRICA DA ANÁLISE DE REGRESSÃO NA PREDIÇÃO DE RESISTÊNCIA

São bastante conhecidos os métodos para a estimativa de potência para navios de carga geral, petroleiros, porta-contenteadores, etc.. De maneira geral, estes estão apresentados em forma de gráficos e tabelas. Métodos para a estima de potência para navios pesqueiros desenvolvidos por DOUST e O'BRIEN [10], RIDGELBY [11], INUI e NAKAMURA [12] também são conhecidos e apresentados na forma de gráficos.

Com o advento dos computadores, gradativamente os métodos convencionais estão sendo substituídos por métodos matemáticos, facilmente programáveis e que levam em consideração um maior número de variáveis. Estes métodos apresentam ainda a vantagem adicional de que um número maior de dados pode ser analisado.

O mérito por introduzir a análise estatística para prever a resistência ao avanço de navios é geralmente atribuído a DOUST (1959). O trabalho apresenta um método de cálculo da resistência, baseado nos resultados de 120 modelos de navio de pesca de arrasto, e é descrito em publicação do NPL ("National Physical Laboratory"). Os resultados dos ensaios foram apresentados para um comprimento entre perpendiculares padrão de 200 pés. DOUST não só executou trabalhos para

navios de pesca de arrasto, mas também estendeu sua pesquisa em 1962 a navios cargueiros, com base em 100 modelos.

Sete anos depois do esforço de DOST na análise estatística de navios de arrasto, TODD (1966) utilizou uma formulação similar para a predição da resistência de navios de guerra, mais não alcançou o sucesso atingido por DOST, porque os erros de predição algumas vezes chegaram perto de 30%. Dois anos depois da pesquisa realizada por TODD, NEAL continuou trabalhando na predição de resistência de navios de guerra. Suas equações foram testadas para razões v/\sqrt{L} entre 1,4 e 1,8 (v em nós e L em pés). Os números de termos usados foram reduzidos, e atingiu-se um melhor desempenho em comparação ao estudo de TODD.

De 1971 a 1976, SABIT completou satisfatoriamente sua análise de regressão para a predição de resistência e coeficientes propulsivos da série BRSA ("British Ship Research Association") e a série SSPA ("Swedish State Shipbuilding Experimental Tank"). As equações desenvolvidas são aplicáveis para faixas de velocidade baixas.

Em 1973, MERCIER estendeu o trabalho de SAVITSKY para predição de resistência de cascos de planeiros para baixos regimes de carga. De 1971 em diante, numerosos estudos analíticos foram criados. OORTMERSSEN [13] em 1971 executou uma análise para pequenas embarcações, HOLTROP em 1978 [15] e 1982 [16] publicou seus resultados de análise estatísticas de resistência com 191 modelos, e em 1984 [17] estendeu seu método incluindo a série 64.

Em 1993 CALISAL et al. [18] publicaram os algoritmos para o cálculo de resistência de uma série sistemática gerada a partir de 13 modelos de navios pesqueiros da UBC ("University of British Columbia"), apresentando como principal característica baixos valores L/B .

3.2 MÉTODO DE HOLTROP

Em 1978, HOLTROP [15] realizou uma avaliação estatística de modelos e

resultados de ensaios, selecionados nos arquivos do NSMB ("Netherlands Ship Model Basin"). Utilizaram-se múltiplos métodos de análise de regressão. O objetivo deste estudo foi desenvolver uma descrição matemática para a resistência dos navios, as propriedades propulsivas e os efeitos de escala entre os modelos e a escala real.

A avaliação foi executada a partir dos resultados de 1707 medições de resistência, 1287 medições de propulsão, conduzidas com 147 modelos de navios e dos resultados de 82 medições de ensaios feitas a bordo de 46 novos navios. Este material havia sido utilizado em estudos prévios [14], enquanto muitas das medições em escala real foram destinadas para o estudo de correlação modelo-navio realizado pela ITTC ("International Towing Tank Conference"). As faixas e parâmetros dos tipos de navio examinados são dados na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Faixas de operação para o método de HOLTROP [19]

ITEM	MÁXIMO	C _p			L/B		B/T
		MIN	MÁX	MIN	MÁX	MIN		MÁX
1	0,24	0,73	0,85	5,1	7,1	2,4	3,2
2	0,38	0,55	0,65	3,9	6,3	2,1	3,0
3	0,45	0,55	0,67	6,0	9,5	3,0	4,0
4	0,30	0,56	0,75	5,3	8,0	2,4	4,0
5	0,35	0,55	0,67	5,3	8,0	3,2	4,0

* Item 1 - petroleiros, graneleiros, carga geral

* Item 2 - rebocadores, pesqueiros

* Item 3 - porta-contentores

* Item 4 - "cargolimers"

* Item 5 - "roll-on, roll-off"

Em 1982 [16] foi novamente apresentado o método, porque sua precisão foi anteriormente considerada insuficiente. A adaptação deste método resultou numa formulação com uma maior faixa de aplicação, e sua extensão se deu para a melhoria da predição da potência de navios de altos coeficientes de bloco com razões baixas de L/B, e de navios afilados com um complexo arranjo de apêndices e popa "transom" submersa. Algumas partes do estudo foram executadas no NSMB e, no caso de embarcações navais, foi conduzido através da "Royal Netherlands Navy".

HOLTROP, em 1984 [17], realizou uma reanálise estatística, já que o método resultou impreciso para o cálculo de alguns tipos de navios, especialmente para cascos de alta velocidade em números de Froude acima de 0,5. Com o objetivo de melhorar o método, este foi estendido para faixas de interesse mais amplas. Em extensão dos dados publicados, incluiu-se a série 64, sendo a análise de regressão baseada em provas com 334 modelos.

A formulação do método de HOLTROP [16, 17] é apresentada no apêndice A.

3.3 MÉTODO DE OORTMERSSEN

OORTMERSSEN em 1971 [13] no NSMB em Wageningen, desenvolveu um modelo matemático para calcular a resistência de navios. Construiu 93 modelos e realizou um total de 970 ensaios; no análise foram testadas diversas formas de casco, como empurradores, rebocadores e navios pesqueiros.

Para os cálculos dos coeficientes propulsivos, um total de 66 modelos foram construídos e 668 provas realizadas. Com este método é possível prever a potência efetiva de pequenas embarcações como as acima mencionadas, com uma confiabilidade da ordem de 95% segundo os resultados publicados em 1971 [13]. As faixas de aplicação são mostradas na tabela 3.2. A formulação do método de OORTMERSSEN [13] é apresentada no apêndice B.

Tabela 3.2 - Faixas de aplicação do algoritmo de OORTMERSSEN [13]

OORTMERSSEN		
Parâmetro	Mínimo	Máximo
F _n	-	0,50
C _p	0,52	0,70
C _m	0,73	0,98
B/T	1,90	3,40
L/B	3,40	6,20

3.4 MÉTODO DE RESISTÊNCIA DA FAO

A FAO (*"Food and Agriculture Organization of the United Nations"*) recompilou durante muito tempo os resultados dos ensaios de modelos de embarcações pesqueiras realizados em diversos países.

A primeira recompilação de informações efetuada por DOST (1963) e HAYES (1964) [20] é baseada numa análise de regressão estatística das embarcações de pequeno porte e um conjunto de dados de navios de arrasto recompilados pelo NPL (*"National Physical Laboratory"*).

O NPL foi solicitado pela FAO para investigar a possibilidade de executar uma análise similar com os próprios dados recompilados pela FAO. Os primeiros resultados do trabalho publicado pela (NPL/FAO) relacionados aos dados de resistência ao avanço para embarcações pesqueiras são descritos no *"Terceiro Congresso de Navios de Pesca"* da FAO em Gothenburg-Sweden, 1965.

Para provar a validade da análise, DOST decidiu projetar e ensaiar quatro tipos de casco de diferentes tamanhos. Estes projetos foram realizados considerando-se a melhor forma hidrodinâmica de cada um deles [21]. A informação destas 276 provas foi usada na análise de regressão. Todos estes ensaios de modelos foram realizados no tanque de testes na Europa, principalmente no tanque experimental de construção naval da Suécia.

Adicionaram-se 337 testes de navios pesqueiros, realizados em tanques de

provas de Tóquio. Foram feitos intercâmbios de informações, para se obter uma única análise de regressão. Todos estes dados auxiliaram na obtenção de parâmetros em faixas mais amplas, para se ter uma melhor faixa de validade para as variáveis. Após o ajuste da equação com os dados europeus e japoneses obtidos nas diferentes tentativas de análise estatística de cada grupo de termos, chegou-se a uma forma de equação de regressão para estas embarcações pesqueiras, a qual contém 72 termos e seus correspondentes coeficientes numéricos, como se mostra no anexo 3.

O mencionado algoritmo foi desenvolvido por HAYES e ENGVALL [22] em 1969, e possibilita sua aplicação no computador com os métodos de regressão de dados, para estimar a resistência ao avanço de embarcações pesqueiras numa faixa limitada pelo número de TAYLOR (V/\sqrt{L}) entre 0,9-1,2 (onde V em nós e L em pés).

Estes resultados mostraram a resistência do casco em função de um coeficiente chamado C_{R16} , baseado num modelo de 16 pés. Este cálculo é expresso por uma equação de regressão, os quais utiliza basicamente onze parâmetros adimensionais como se mostra na tabela 3.3. A formulação do método da FAO [22] é apresentada no apêndice C.

Tabela 3.3 - Parâmetros das variáveis da equação de regressão do algoritmo da FAO [22]

X ₁	função do comprimento/boca (L/B)
X ₂	função do boca/calado (B/T)
X ₃	função do coeficiente seção mestra (C _M)
X ₄	função do coeficiente prismático (C _P)
X ₅	função da posição do centro de carena (Lcb)
X ₆	função do meio ângulo de entrada (1/2α _e)
X ₇	função do meio ângulo de saída (1/2α _r)
X ₈	função do ângulo "buttock" (β _{bt})
X ₉	função do trim (trim)
X ₁₂	presença da quilha
X ₁₃	função do área transversal da quilha e área da seção mestra (A _{keel} /A _M)

3.4.1 CAMPO DE VALIDADE

A faixa de validade dos parâmetros que intervem nas variáveis da equação de regressão do anexo 3, são mostrados na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Campo de validade do método da FAO [22]

L/B	<	3,10
B/T	<	2,00
C _M	<	0,53
C _P	<	0,55
Lcb	<	-6
1/2α _c	<	15
1/2α _r	<	30
β _{bu}	<	12
(A _{keel} /A _M)	<	0,0
trim	<	-0,4
	>	0,8

CAPÍTULO 4

4. PROJETO DO PROPULSOR

4.1 ASPECTOS GERAIS

Selecionar e projetar o propulsor mais adequado de uma determinada embarcação não é tarefa simples. Devem ser levados em conta todos os parâmetros pertinentes para se chegar a um propulsor adequado para cada caso. Se em cada projeto de hélices fosse necessário estudar todos os parâmetros geométricos, como a distribuição de cordas dos perfis ao longo do raio do hélice, o passo médio da pá, a distribuição de passo ao longo do raio, assimetria, o tipo de perfil, etc., muito tempo deveria ser gasto em cada caso. Notadamente nos projetos de hélices de pequenas embarcações, onde se procura obter bons resultados com custos relativamente baixos, o estudo teórico-experimental, caso a caso, é, na maioria, inviável economicamente. Felizmente, existem as chamadas séries sistemáticas de hélices, que facilitam muito a tarefa de se projetar hélices de pequenas embarcações.

Tais séries consistem, basicamente, da fixação de uma geometria padrão de hélice e de variação de alguns parâmetros (razão área de pá por área do disco, razão passo por diâmetro e número de pás). Para o hélice resultante de cada combinação das variáveis são realizados ensaios de "água aberta", obtendo-se as suas curvas características. A coleção destes resultados consiste na chamada série sistemática.

4.2 PROJETO DO PROPULSOR POR SÉRIE SISTEMÁTICA

O projeto de hélices por série sistemática pode seguir basicamente os itens

abaixo.

1. Identificação dos requisitos do armador, que são:

- Velocidade de serviço.
- Resultados dos cálculos de resistência do casco e dos coeficientes propulsivos. Uma das maneiras mais precisas de se obter os resultados é através da realização de ensaios de resistência ao reboque e de auto-propulsão de modelos em tanque de provas. Outras maneiras podem ser por meio de navios semelhantes, e também usando regressões estatísticas como as utilizadas no presente trabalho.

- Restrições ao diâmetro do hélice.

Estas geralmente são resultantes da combinação entre o calado e as claras recomendadas pelas classificadoras. No projeto do propulsor considera-se o diâmetro máximo permíssivel, quando este é fixado. Quando a rotação é fixada, nem sempre o maior diâmetro é o mais eficiente. Na tabela 4.1, mostram-se as claras recomendadas pelas principais classificadoras [24], associadas à figura 4.1.

Tabela 4.1 - Claras permíssíveis do propulsor recomendadas pelas classificadoras [24]

CLARAS	a	b	c	d	e
LLOYD'S REGISTER	0,08D a 0,15D	0,15D	0,08D		
DET NORSKE VERITAS	0,72 (v/c)D	0,11D	0,08D	0,30D	
INTITUTE DE RESEARCHES	0,06D a 0,10D	0,15D a 0,17D	0,07D	0,04D	
NPL	0,08D a 0,15D	0,20D	0,08D a 0,10D	0,20D a 0,03D	
Teddington NSMB	0,08D a 0,12D	0,15D	0,10D a 0,12D	0,03D	
Wageningen MARINHA USA		0,20D a 0,25D	0,12D a 0,25D		

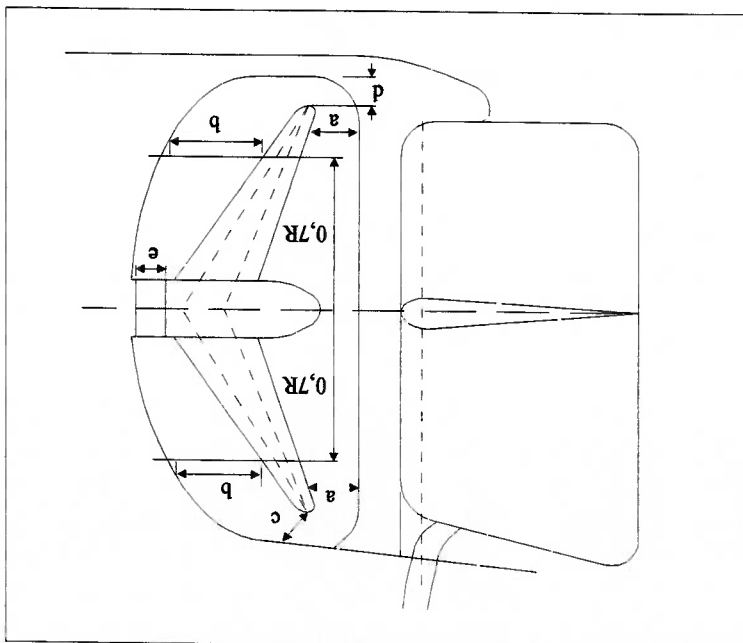


Figura 4.1 - [Claras permissíveis do propulsor [24]]

• Margens de serviço.

Estas margens se referem a:

- a. Aumento da rugosidade do casco e do hélice pelo tempo de serviço,
- corrosão e incrustações entre docagens;

- b. Condições hidro-meteorológicas adversas.

A prática de se utilizar simplesmente 15 a 20 % de margem nem sempre se mostra adequada. Ao longo dos anos, tem-se encontrado muitos hélices que provocam a sobrecarga da máquina principal no curso da vida útil do pesqueiro. Isto ocorre por se menosprezar os dois fatores mencionados acima. O capítulo 5 aborda as considerações principais que o projetista deve ter em relação à margens de serviço.

2. Escolha do tipo de série sistemática de hélices.

Esta escolha pode ser a chave que pode abrir ou fechar determinadas possibilidades de projeto. É necessário que seja uma série adequada ao caso e que existam informações suficientes sobre os propulsores.

Deve-se atentar para:

- Escolha do número de pás nas embarcações pesqueiras de cerco e arrasto.

Estas possuem geralmente três a cinco pás, embora alguns pesqueiros utilizem de duas a quatro pás em propulsores de passo controlável. Há uma tendência a diminuição do número de pás provocar o aumento da vibração induzida pelo propulsor.

- Definição da razão de área expandida-área do disco.

Pode-se utilizar a fórmula de KELLER [25]:

$$A_e/A_0 = \frac{(P_0 - P_V) \cdot D^2}{(1,3 + 0,3 \cdot Z)T + K} \quad (4.1)$$

onde:

P_0 = pressão estática na linha de centro do eixo do hélice;

P_V = pressão de vaporização da água;

T = empuxo do hélice;

D = diâmetro do propulsor;

Z = número de pás;

K = constante, nula para embarcações rápidas bi-hélices, igual a 0,1 para o resto de embarcações bi-hélices, e igual a 0,2 para navios mono-hélices.

3. O projeto propriamente dito.

Para o projeto utilizam-se as curvas características das séries sistemáticas. Atualmente, com a transformação dos resultados de ensaios de água aberta de várias séries em polinômios, existe extrema facilidade de se realizar esta tarefa através de programas de computador. Segundo BERNITSAS et al. [43] os métodos de otimização utilizados para a escolha do propulsor dependem dos dados disponíveis para o projeto. Estes métodos são os seguintes:

a. Primeiro método:

- utiliza os resultados obtidos da resistência ao avanço na velocidade de projeto e o diâmetro escolhido segundo as claras permissíveis;

- calcula-se o coeficiente da curva de K_T necessário para o casco (K_T/j^2):

$$K_T/j^2 = \frac{R_T}{V^2(1-w)^2(1-t)\rho D^2} \quad (4.2)$$

- agrupam-se as potências de j da série polinomial grau 3 em j para formar os coeficientes A_0, A_1, A_2, A_3 da curva K_T , e os coeficientes B_0, B_1, B_2, B_3 da curva K_Q :

$$A_0 + A_1 j + A_2 j^2 + A_3 j^3 \quad \text{(curva } K_T)$$

$$B_0 + B_1 j + B_2 j^2 + B_3 j^3 \quad \text{(curva } K_Q);$$

- cruza-se a curva de K_T necessário para o casco com as curvas de K_T da série sistemática do hélice, determinando-se o j de operação e os valores de K_T ,

$$K_Q, \eta_o;$$

- repetindo-se este processo, através da variação das razões passo-diâmetro P/D para um número de pás especificado, e comparando-se os rendimentos obtidos, obtêm-se o hélice de melhor rendimento;

- a partir do K_Q do hélice de melhor rendimento e da rotação n , obtêm-se a potência fornecida ao propulsor, e após se acrescentar a eficiência de transmissão, calcula-se a potência de freio (BHP).

b. Segundo método:

- é adequado quando se especifica a potência contínua do motor e o diâmetro do propulsor para um casco específico;

- o coeficiente é:

$$K_Q = P_D n_R^3 / 2\pi p D^2 V^3 (1-w)^3 \quad (4.3)$$

– agrupam-se as potências de J da série polinomial grau 3 em J para formar os coeficientes A_0, A_1, A_2, A_3 da curva K_T , e os coeficientes B_0, B_1, B_2, B_3 da curva K_Q .

– os cruzamentos das curvas K_Q do hélice e K_Q do torque do motor determinarão o J de operação e os valores K_T, K_Q, η_o .

– repetindo-se este processo, através da variação das razões passo-diâmetro P/D para um número de pás especificado, e comparando-se os rendimentos obtidos, obtém-se o hélice de melhor rendimento;

– a partir do K_T do hélice de melhor rendimento e da rotação n , obtém-se o empuxo do propulsor .

c. Terceiro método:

– é praticado com frequência nos estaleiros de pequenas embarcações, como estaleiros de pesqueiros e rebocadores;

– geralmente o armador especifica o motor (potência contínua) e a rotação de redução, fixando a rotação do propulsor; neste caso o diâmetro mais adequado nem sempre é o maior, devido à fixação da rotação;

– o cruzamento segue a mesma metodologia do caso anterior, utilizando o coeficiente formado pela expressão (4.4):

$$K_Q = P_D n_R^2 / 2\pi p V^5 (1-w)^5 \quad (4.4)$$

d. Quarto método:

– fixa-se a rotação do hélice; a resistência ao avanço do navio na velocidade de projeto é conhecida;

- calcula-se o diâmetro mais adequado do propulsor segundo a metodologia do primeiro método exposto;
- o coeficiente apropriado neste caso é:

$$K_T / J^4 = R_T n^2 / \rho V^4 (1-t)(1-w)^4 \quad (4.5)$$

- A integração casco-hélice-motor é realizada utilizando-se as curvas dos coeficientes de empuxo K_T e de torque K_Q em função do coeficiente de avanço J do hélice projetado, a curva de operação do motor, potência nominal versus rotação e a curva de potência efetiva versus velocidade. Variando-se a velocidade da embarcação e utilizando o mesmo procedimento básico do item 3, respeitando-se os limites mínimos e máximos de operação do motor, chega-se à previsão de operação do sistema.

Como itens comuns aos quatro métodos, têm-se:

- A possibilidade de cavitação nas pás é verificada sempre por ocasião da hélice de melhor rendimento. O programa faz uma comparação do hélice projetado com os dados do diagrama Burtli [25] da figura 4.2, que tem como ordenada o coeficiente de carregamento:

$$r_c = T / 0,5 \rho A_p V_T^2 \quad (4.6)$$

onde:

T = empuxo;

A_p = área projetada das pás;

$A_p = A_e (1,067 - 0,229 P/D)$;

(4.7)

V_T = a velocidade resultante em $r = 0,7R$ da pá.

Como abscissa do diagrama, tem-se o índice de cavitação local em $r = 0,7R$:

0,7r.

- O fenômeno de vibrações é de estudo complexo, porque está ligado às variações de velocidades na região do hélice devidas às formas da popa da embarcação. A distribuição de esteras efetivas axial e tangencial e sua interação com as pás do hélice nas condições de operação da embarcação é que vão determinar a possibilidade de ocorrência de vibrações induzidas pelo propulsor. As claras entre o propulsor e o casco também influem nas ocorrências de vibrações. Quanto maiores as folgas entre o propulsor e o casco do navio menores são as possibilidades de vibrações.

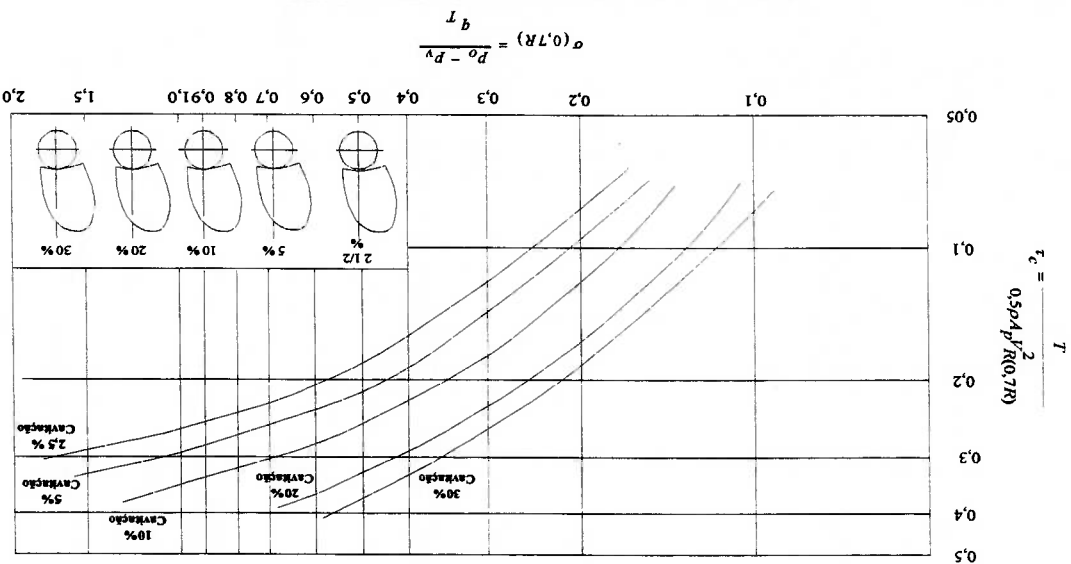


Figura 4.2 - Diagrama de Burrill [25]

- Uma vez projetado o hélice de uma embarcação, a qualidade deste projeto deverá ser mantida na etapa de confecção do hélice. Sabe-se que distorções geométricas de certa ordem alteram as características hidrodinâmicas dos hélices, piorando as eficiências resultantes e as condições de cavitação, como vai ser abordado no capítulo seguinte.

4.3 SÉRIES SISTEMÁTICAS

Analisando as várias séries sistemáticas existentes, escolheu-se duas delas, tem sido utilizadas para o projeto de hélices de navios pesqueiros de cerco e arrasto.

Para esta escolha, levaram-se em conta as aplicações típicas de cada uma e a quantidade e qualidade das informações disponíveis sobre geometria, curvas características, previsões de cavitação e de vibração. As duas séries são: B-Troost [26] e a série Kaplan, ensaiada com dutos Kort [27], conforme mostram o anexo 4 e anexo 5, respectivamente.

4.3.1 SÉRIE B-TROOST

Trata-se da série de hélices mais utilizada, por cobrir uma ampla faixa de aplicação e por possuir um grande número de estudos publicados. Inicialmente foi estudada com 4 pás, sendo estendida para 2, 3, 5, 6 e 7 pás. Com exceção dos hélices B-Troost de 3 pás, todos os outros têm a mesma distribuição de cordas (ver anexo 4).

A distribuição do passo ao longo do raio é uniforme para todos os hélices da série, exceto para aqueles de 4 pás, onde há uma redução de passo nas regiões da raiz da pá. A figura 4.3 apresenta um exemplo da geometria de um hélice B-Troost. Nota-se o ângulo de caimento ("rake", aqui com 15°) e a assimetria em relação à linha de referência ("skew").

Toda a geometria da série B-Troost encontra-se detalhada na referência [26], que também apresenta a geometria de uma variação da série B-Troost, chamada de "BB". Tal variação apenas acrescenta maiores cordas nas pontas das pás, o que, em alguns casos, pode melhorar o desempenho em relação à cavitação. As curvas características da série "BB" são as mesmas da série "B-Troost".

Os polinômios $K_T = K_T(j, P/D, Ae/Ao, Z)$ e $K_Q = K_Q(j, P/D, Ae/Ao, Z)$ também são apresentados na referência [26] e anexo 6, que inclui ainda polinômios para correção de K_T e K_Q por efeitos do número de Reynolds (Rn). Os resultados em "água aberta" apresentados para K_T e $K_Q \times j$ são referidos a um número de Reynolds igual a 2×10^6 , e a utilização destes resultados em outros Reynolds implicam na necessidade de sua correção.

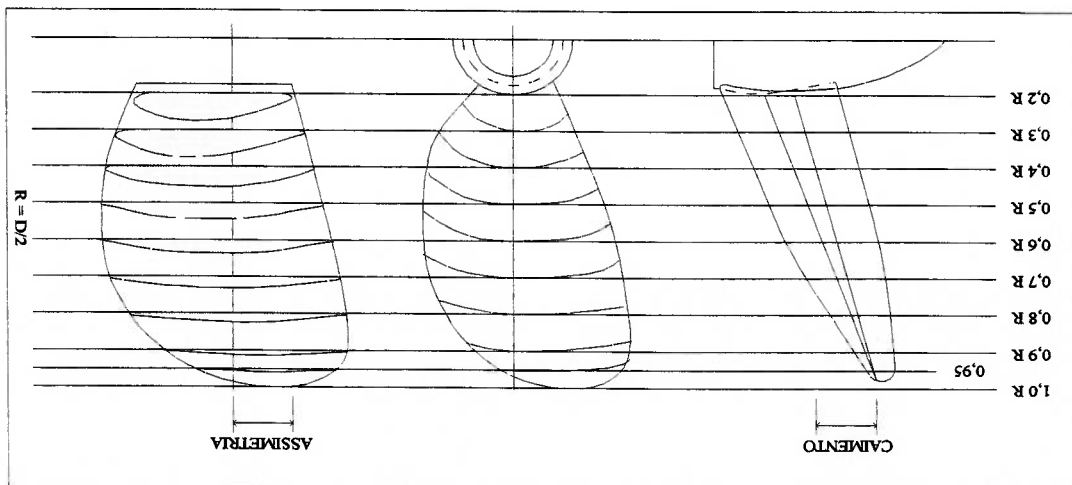


Figura 4.3 - Geometria dos hélices da série B-Troost [25]

A série B-Troost é utilizada no projeto de hélices convencionais (passo fixo) com carregamento moderado, como por exemplo embarcações pesqueiras de cerco cujo coeficiente de empuxo C_T encontra-se abaixo de 1,5.

4.3.2 SÉRIE KAPLAN

A invenção dos tubos Kort levou à necessidade de criação de uma série especial de hélices, próprios para operação dentro de dutos. A série Kaplan, mostrada na figura 4.4, tem como principal característica o fato de sua corda máxima ser localizada na ponta da pá.

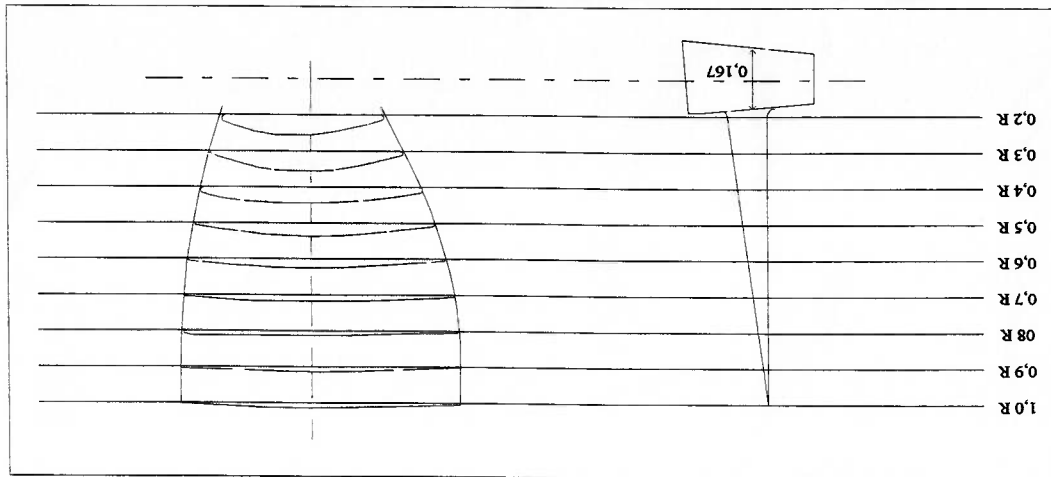


Figura 4.4 - Geometria dos hélices da série Kaplan [25]

Os resultados dos coeficientes de empuxo total, dos coeficientes de empuxo no duto e dos coeficientes de torque em função do coeficiente de avanço dependem da geometria do duto e também do duto em que ele foi ensaiado. Os coeficientes das séries polinomiais são utilizados nas expressões (4.8), (4.9) e (4.10):

$$K_T = \sum_{x,y} C_T(x,y) (P/D)^x (j)^y \quad (4.8)$$

$$K_Q = \sum_{x,y} C_Q(x,y) (P/D)^x (j)^y \quad (4.9)$$

$$K_{TN} = \sum_{x,y} C_{TN}(x,y) (P/D)^x (j)^y \quad (4.10)$$

$$K_{Tp} = K_T - K_{TN} \quad (4.11)$$

onde K_T é o coeficiente de empuxo total do sistema, K_{TN} o coeficiente de empuxo do duto ensaiado, K_Q o coeficiente do torque e K_{Tp} o coeficiente de empuxo do propulsor.

Os resultados estão disponíveis [28] em forma de regressões polinomiais, para os seguintes sistemas hélices-dutos no anexo 6:

- hélice KA 3-65 (3 pás, $A_e/A_o = 0,65$) e duto 19A;
- hélice KA 4-70 (4 pás, $A_e/A_o = 0,70$) e duto 19A;
- hélice KA 4-55 (4 pás, $A_e/A_o = 0,55$) e duto 19A;
- hélice KA 5-75 (5 pás, $A_e/A_o = 0,75$) e duto 19A;
- hélice KA 4-70 (4 pás, $A_e/A_o = 0,70$) e duto 22;
- hélice KA 4-70 (4 pás, $A_e/A_o = 0,70$) e duto 24;
- hélice KA 4-70 (4 pás, $A_e/A_o = 0,70$) e duto 37.

4.3.2.1 PROPULSORES COM DUTO

Entre as inúmeras embarcações de pesca, destaca-se o pesqueiro de arrasto, que apresenta bom desempenho para capturar os recursos marinhos. A pesca de arrasto é praticada em algumas partes do litoral peruano e em outros países pesqueiros do mundo, como o Japão, a Rússia, o Reino Unido e a Espanha.

A utilização do sistema hélice-duto tem-se generalizado na atualidade para muitos tipos de navios. Os resultados mais notáveis têm sido conseguidos em navios cujos propulsores estão submetidos a carregamentos elevados, sobretudo pesqueiros de arrasto e rebocadores, que têm obtido melhorias significativas em suas qualidades propulsivas.

4.3.2.2 ASPECTOS TEÓRICOS

Geralmente, quando se refere ao hélice com duto, entende-se ser um hélice no qual o fluxo que incide sobre o disco tenha sofrido uma maior aceleração do que se incidisse sobre o disco de um hélice livre. Este incremento de velocidade deve-se à forma convergente do duto até o plano do propulsor. Os estudos de Kort realizaram-se com este tipo de dutos aceleradores, chamados também dutos Kort.

O empuxo do hélice não aumenta pela ação do duto. De fato, se se considerar a região do hélice mais próxima à parede interior do duto, aí observa-se um aumento da velocidade, devido ao estreitamento fluxo. Como consequência, se se considera a mesma potência desenvolvida (expressão 4.12) o empuxo a ser dado pelo hélice será mais reduzido.

$$P_D = T V_a$$

(4.12)

onde:

$$T = \text{empuxo da hélice;}$$

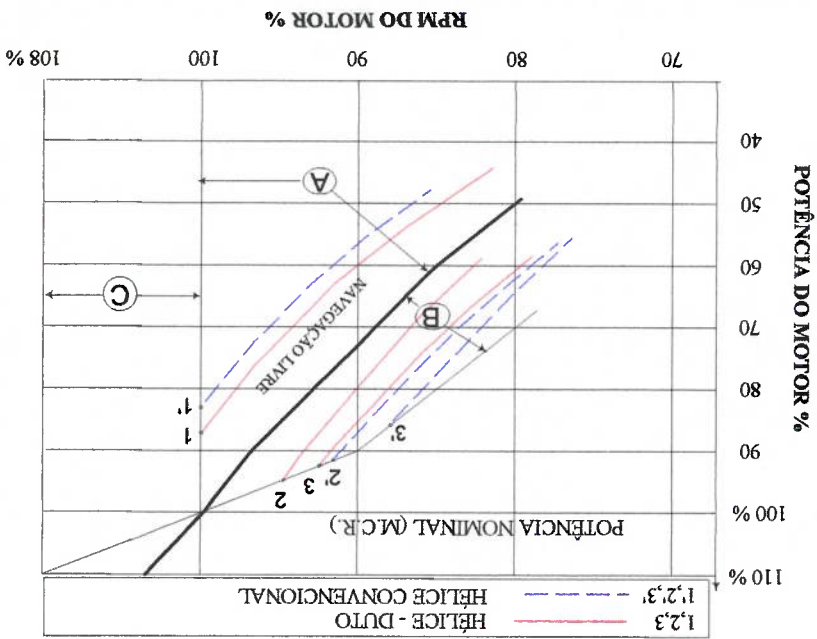
$$V_a = \text{velocidade da água na entrada do duto.}$$

Por outro lado, como a velocidade com que a água incide nas pás do hélice é maior que a velocidade de entrada da água no duto, a pressão exercida pela água sobre a superfície interior do duto é menor que a pressão exercida pela água exterior do mesmo duto. Isso provoca que a ação resultante das pressões que atuam sobre toda a superfície do duto origine um empuxo axial, dirigido para a proa, apreciavelmente maior que a diminuição do empuxo sofrido pelo hélice, citada anteriormente.

Duto e hélice formam um sistema integrado que se deve considerar como um conjunto. O empuxo total do sistema hélice-duto fica apreciavelmente incrementado devido à ação do duto.

A figura 4.5 representa as diversas condições de carregamento de um hélice convencional e de um sistema hélice-duto, empregando um diagrama de funcionamento do conjunto hélice-motor, no qual se apresentam as potências desenvolvidas em função das rotações.

Figura 4.5 - Comparação entre o sistema hélice-duto e hélice convencional [29]



Lá indicam-se três zonas, A, B, e C, em que se pode caracterizar diferentemente o funcionamento do motor. As zonas ficam definidas como segue:

- A, zona de funcionamento contínuo do motor sem sobrecargas;
- B, zona de funcionamento por um tempo limitado, com temperaturas e gases de escape superiores aos normais;
- C, zona de sobrecarga em RPM admissíveis, por tempo limitado, em condições de provas.

Pode-se observar um melhor aproveitamento da potência instalada nas diversas condições de funcionamento que se apresentam durante o serviço do pesqueiro de arrasto com hélice com duto, em comparação com um propulsor convencional. A tabela 4.2 mostra as porcentagens de aproveitamento para um propulsor com duto e um propulsor convencional.

Tabela 4.2 - Aproveitamento do motor pelos sistemas de propulsores em termos de porcentagens da sua potência nominal [29]

<i>Hélice -Duto</i>	<i>Hélice Conventional</i>	<i>Condição</i>
88%	85%	Navegação Livre
95%	91%	Arrasto
92%	86%	"bollard pull"

O anexo 5 apresenta a geometria dos dutos aceleradores 19A, 22, 24 tendo como única diferença a razão corda/diâmetro L/D. Enquanto o duto 19A tem razão L/D = 0,50, os dutos 22 e 24 têm razões L/D iguais a 0,8 e 1,0, respectivamente. Um outro modelo de duto (37) foi projetado para a utilização em empurra-dutos cuja condição de "bollard pull" para vante e para ré sejam muito importantes. O duto 37 tem como principal diferença seu relativo incremento de espessura no seu bordo de ataque para evitar a separação do fluxo na condição a ré.

4.4 COMPARAÇÃO DAS SÉRIES SISTEMÁTICAS

Na tabela 2 do anexo 5 mostram-se algumas comparações das características das duas séries sistemáticas. Na figura 4.6 são apresentadas as eficiências máximas dos hélices de cada série em função do coeficiente de carregamento.

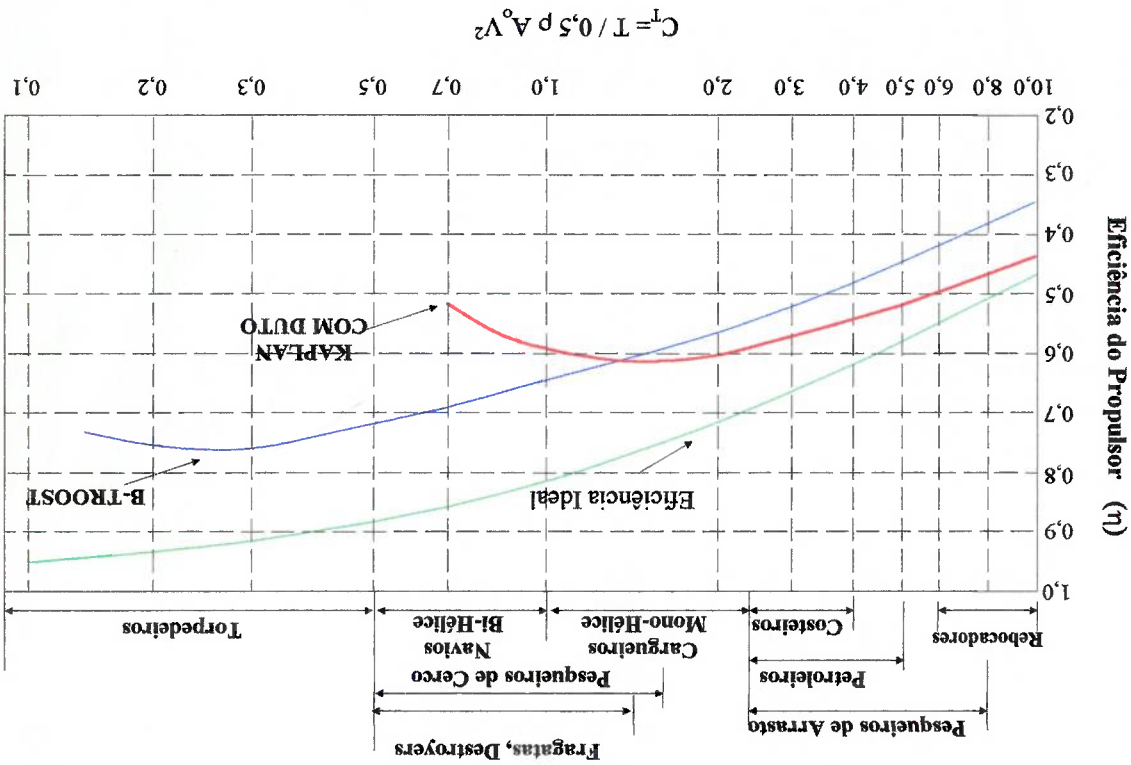


Figura 4.6 - Eficiências máximas dos hélices das séries em função do carregamento [30]

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho V a^2 A_0} \quad (4.13)$$

onde:

T = empuxo do propulsor;

Va = velocidade axial no disco propulsor;

Ao = área do disco do propulsor;

p = densidade da água.

Também estão indicados os valores de eficiência ideal η_i em função de C_T determinados pela teoria do disco atuador. Na parte superior da figura 4.6, têm-se indicações de valores típicos de C_T para vários tipos de embarcações. Observa-se que para pesqueiros de arrasto o C_T encontra-se na faixa de 2,0-8,0 e para navios de cerco entre 0,5-1,5. A utilização da série Kaplan em hélices com dutos que operam com altos carregamentos tende a ser vantajosa em termos de eficiência. Assim, tais hélices podem ser bem utilizados em embarcações como rebocadores, empurradores e pesqueiros de arrasto, que necessitam de alto empuxo em velocidades relativamente baixas. Obviamente, os custos de construção e instalação do sistema hélice mais duto são maiores (aproximadamente 1,5-2,5 vezes mais) que os custos de hélices sem dutos. Tal questão de custos também deve ser levada em conta na decisão do projeto.

A série B-Troost cobre a maior faixa de aplicação onde hélices de carregamento moderado são necessários. Suas vantagens se constituem em enormes atrativos para sua utilização em projetos de hélices para embarcações de cerco.

4.5 PROPULSORES DE PASSO CONTROLÁVEL

Existe uma solução simples para os problemas de acoplamento de passo em diferentes condições de carregamento: instalar um propulsor de passo controlável. Este tipo de propulsor permite o giro das pás sobre seus próprios eixos. O diâmetro é determinado da mesma forma que para um propulsor de passo fixo e, já que o passo é controlável, torna-se desnecessário fazer cálculos do passo.

Os sistemas de controle do passo podem ser manuais, operando mediante acoplamentos mecânicos, ou por meio de sistemas hidráulicos. As principais diferenças entre os controles de passo são os custos.

4.5.1 TIPOS DE PROPULSORES DE PASSO CONTROLÁVEL

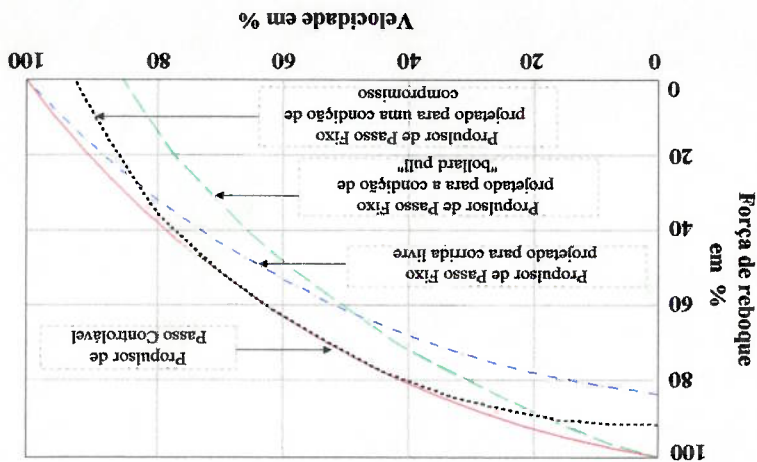
Devido aos limites da rotação, os propulsores de passo controlável são geralmente disponíveis em três configurações:

- Propulsores de ajustes discretos de passos, sem reversão.
- Variação contínua do passo, desde "tudo a ré" até "tudo a vante", passando por um passo "neutro" em que o propulsor gira sem gerar empuxo.
- Completamente móveis, em que a variação do passo está compreendida entre zero e o máximo valor determinado para navegação livre, mas não possuindo passos de reversão.

Existem duas razões principais pelas quais os propulsores de passo controlável não são comumente utilizados. A primeira e a mais importante é o custo de aquisição e manutenção; a segunda é que não são tão eficientes quanto os propulsores de passo fixo, em operação de reversão. Para rebocadores que precisam exercer altos empuxos, tanto para frente como para ré, isto pode significar uma grande diferença.

Na figura 4.7 mostra-se uma comparação entre um hélice de passo fixo e um hélice de passo controlável para as condições de navegação livre, "bollard pull", e para uma condição de compromisso. Observa-se uma desvantagem considerável para o propulsor de passo fixo quando atuando em navios que operam em condições extremas de carregamento. O exemplo mostra um rebocador de 1200 HP [31] de potência instalada, cuja característica de propulsão é similar à de um pesqueiro de arrasto.

Figura 4.7 - Comparação das forças de reboque entre propulsores de passo fixo e controlável [31]



Vantagens dos propulsores de passo controlável

- ◆ Os danos das pás podem ser reparados sem necessidade de trabalhar no casco do hélice, estes reparos podem ser efetuados fora do dique;

- ◆ Não precisa de instalação de reversor (dependendo do tipo escolhido);

- ◆ No caso de navios de arrasto e rebocadores, em que as condições mais importantes são as de arrasto e a condição de *"bollard pull"*, respectivamente, o passo pode ser reduzido para que a máquina possa trabalhar em suas rotações nominais e desenvolver sua máxima potência e empuxo;

- ◆ O navio pode atingir sua velocidade máxima, bem como empuxo máximo no arrasto;

- ◆ Há uma só direção de giro do eixo do motor principal;

- ◆ Rápida resposta a manobrabilidade;

- ◆ Ajuda para um melhor dimensionamento da máquina principal, com ganhos no seu custo;

- ◆ Economia de consumo de combustível e de manutenção da máquina principal.

Desvantagens dos propulsores de passo controlável

- Maior custo de que um propulsor de passo fixo e de que um propulsor com duto;

- Manutenção cuidadosa, devida à alta precisão com que são construídos, e também os seus sistemas de controle; precisam de pessoal altamente capacitado;

- Quase sempre precisam ficar *"off hire"* quando estão em reparo, situação esta que deve ser mais freqüente, em tese, de que para o hélice de passo fixo.

Na figura 4.8 mostra-se o arranjo de um sistema de passo controlável instalado numa embarcação peruana de cerco com capacidade de porão de 650 m³,

recentemente construída pelo estaleiro SIMA-CALTAO, possuindo um motor Caterpillar 3606 de 2480 HP de potência.

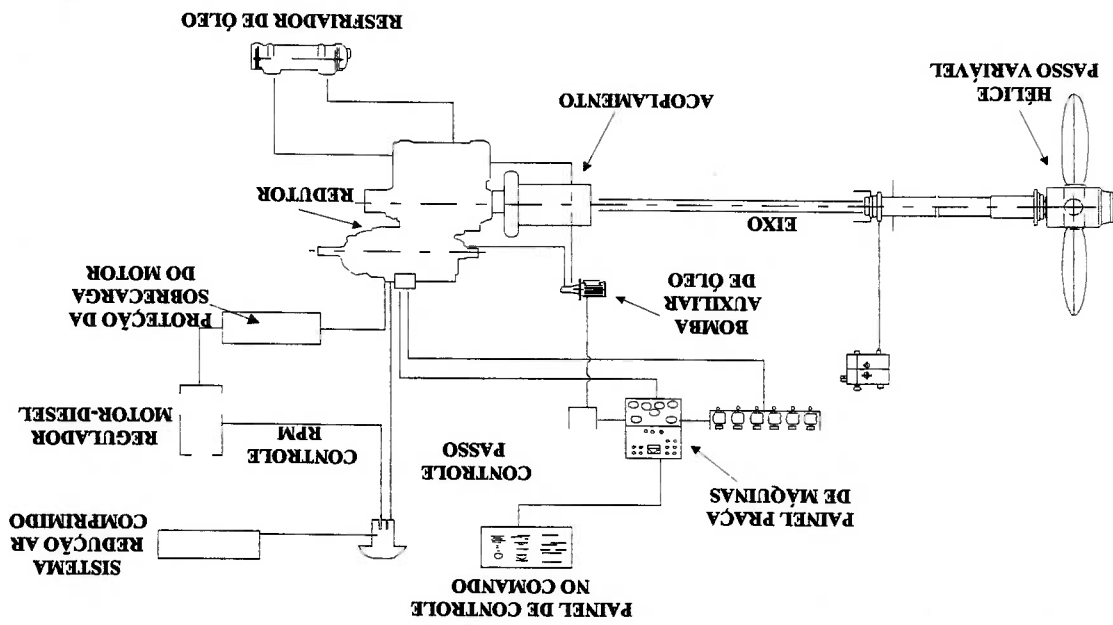


Figura 4.8 - Sistema de hélice de passo controlável

CAPÍTULO 5

5. CONSIDERAÇÕES PARA A ESTIMATIVA DAS MARGENS DE SERVIÇO

5.1 GENERALIDADES

Para obter um bom desempenho do navio durante seu serviço, é necessário estimar corretamente os margens de serviço, para então selecionar o ponto de projeto do propulsor. Falhas na correta estimativa dos margens ocasiona durante a vida útil do navio sobrecargas da máquina principal, traduzida em maiores gastos de manutenção e consumos de combustível.

Os efeitos da rugosidade do casco e hélice, a degradação do motor, a ação do vento, as ondas, são os principais fatores que interveem no incremento da carga da máquina principal. Às vezes, devido a incorretas estimativas desses efeitos, muitos navios têm que efetuar modificações nos sistemas propulsivos, como redução do diâmetro, adaptação do passo ou substituição do propulsor.

As perdas de desempenho devidas à deterioração superficial do casco são caracterizadas principalmente por três causas: um aumento contínuo do nível de rugosidade, um intermitente desenvolvimento de incrustações e avarias mecânicas provocadas na superfície do casco pelas contínuas entradas e saídas de bergos e por chatas para a descarga da pesca e abastecimento de óleos lubrificante, combustível e água.

Neste capítulo apresentam-se as causas e efeitos do incremento da rugosidade no casco, rugosidade do hélice, e as características específicas da rugosidade nos navios pesqueiros.

5.2 MÉTODO “BSRA”

A caracterização do estado de conservação de cascos e hélices tem sido baseada somente na medição do nível de rugosidade superficial. As primeiras tentativas no sentido de quantificar o nível de rugosidade de cascos de navios foram desenvolvidas pela BRSA (“*British Ship Research Association*”), ainda na década de 50, e baseavam-se no registro de perfis de altura das imperfeições superficiais.

Método padrão BSRA, como tornou-se usualmente conhecido, consiste na determinação da distância vertical máxima observada entre a envoltória das cristas e a dos vales de diversos registros de perfis de rugosidade (≥ 12) de 50 mm de comprimento, tomadas em um grande número de diferentes pontos do casco (≥ 100). Em cada ponto, a média das distâncias verticais máximas medidas é chamada de amplitude aparente média MAA (“*Mean Apparent Amplitude*”), como apresenta-se na figura 5.1.

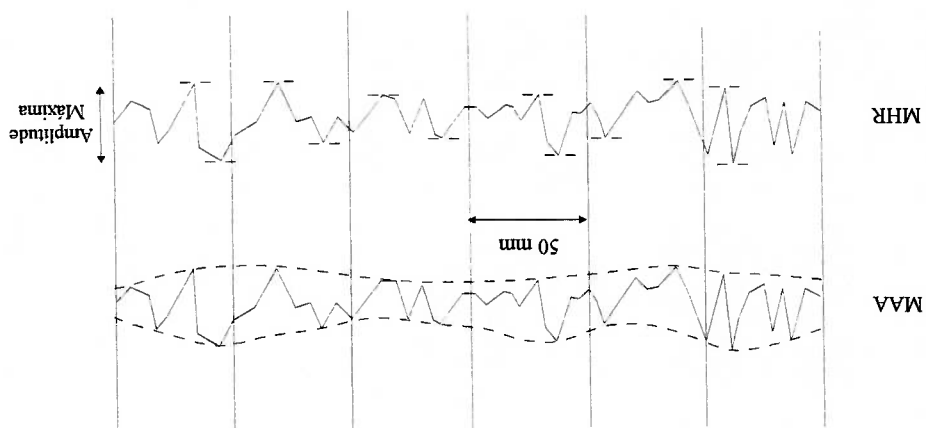


Figura 5.1 - Envoltórias para a obtenção dos valores de rugosidade em MAA e em MHR

Durante muitos anos, as envoltórias das cristas e dos vales foram traçadas à mão livre, sobre registros em papel da topografia da superfície do casco. Somente nos anos 70, com o desenvolvimento de instrumentação apropriada, capaz de fornecer diretamente o valor da amplitude máxima para cada trecho de 50 mm, foi possível eliminar a análise visual das medições. A partir de então, a média aritmética das amplitudes máximas de cada ponto de medição passou a ser designada por rugosidade local média do casco - AHR.

5.3 RUGOSIDADE INICIAL DO CASCO

A rugosidade acumulada durante o processo de construção do navio é estimada em termos de MAA, devido à simplicidade e disponibilidade de expressões de correlação entre o nível de rugosidade e o aumento da resistência. A rugosidade [32] pode ser entendida como composta por:

- MAA_{chapa} , relativa à qualidade de fabricação do chapameento; esta componente é fixa durante a vida útil do navio, se não ocorrem mudanças no chapameento; a chapa do casco utilizada nas embarcações possui uma rugosidade da ordem de 50 μm , mas se o aço é tratado incorretamente, esta pode superar os 200 μm ;
- $MAA_{recobrimento}$, relativa às camadas de tintas e proteções, depende do tipo de tinta e/ou proteção utilizada, do método de aplicação adotado e do controle de qualidade efetuado durante as docagens, que podem variar significativamente de estaleiro para estaleiro; o número de camadas aplicadas de cada componente (anti-corrosivos e anti-incrustantes) depende do tipo de tinta e do tempo de vida desejado para o recobrimento;
- $MAA_{corrosão}$, relativa ao ataque corrosivo em áreas onde a proteção se tornou insuficiente, e as condições ambientais desfavoráveis durante as aplicações das tintas protetoras.

Na tabela 5.1 são apresentadas medições de rugosidade feitas durante a construção de um navio, incluindo a preparação do chapameento, os vários estágios

de pintura, e a docagem final de acabamento. Os resultados obtidos ilustram a variação dos níveis de rugosidade antes do lançamento definitivo do navio.

Tabela 5.1 - Variação da rugosidade durante a construção do navio [33]

<i>Operação</i>	<i>AHR (µm)</i>
Preparação do Chapeamento (jateamento e base)	55
Aplicação de três camadas de anticorrosivo	135
Aplicação do anti-incrustante	160
Acabamento final para entrega	180

Em síntese, o tratamento do aço, a efetividade do jateamento ou técnica de limpeza, as qualidades e texturas das tintas anti-corrosivas e anti-incrustante, a adequação dos procedimentos de aplicação das tintas utilizadas, e as condições ambientais durante sua aplicações são os principais indicativos dos níveis de rugosidade durante a construção.

A estimativa é de que a superfície rugosa de um navio novo, antes de sua operação, apresenta níveis de rugosidade como se mostram na tabela 5.1. Para fins de correção, a ITTC-1978 adotou uma rugosidade de 150 µm para os navios novos que iniciam suas operações. Valores abaixo de 100 µm são encontrados em alguns navios; também foram medidos níveis de rugosidade superiores a 500 µm em navios recém construídos.

5.4 INCREMENTO DA RUGOSIDADE COM A VIDA ÚTIL DO NAVIO

O incremento da rugosidade do casco não tem uma relação direta com sua idade. Esta falta de correlação pode ser entendida levando em conta:

- os sistemas de recobrimentos e seus desempenhos;
- a proteção catódica;
- o número de docagens e a qualidade do trabalho realizado em cada docagem.

As faixas do incremento da rugosidade obtidas de uma amostra de navios [33] são mostradas na tabela 5.2. Em média, a rugosidade para todos os navios é de aproximadamente 30 $\mu\text{m}/\text{ano}$, mas alguns navios com tintas especiais e com proteção catódica só atingiram um incremento de 20 $\mu\text{m}/\text{ano}$. Estas faixas de medições dependem principalmente da área onde opera a embarcação. No caso específico de embarcações pesqueiras, as águas dos portos pesqueiros são poluídas em razão de resíduos industriais subsidiários da pesca lançados pelas fábricas de farinha de peixe.

Tabela 5.2 - Exemplo de medições de rugosidade de navios de diferentes anos de idade [32]

<i>CONDICÃO</i>	<i>AHR (μm)</i>
Navio novo durante sua construção, colocação da quilha e tinta primer	40-60
Navio novo com recobrimentos anti-corrosivo e anti-incrustante	80-180
Navio depois de três anos de serviço	melhor 110 pior 350
Navio depois de seis anos de serviço	melhor 130 pior 650
Navio depois de quatorze anos de serviço	melhor 380 pior 1100

• **Mudanças na Rugosidade durante os Docagens**

Um estudo realizado por TOWSIN [32] indica que a mudança da rugosidade durante o docagem (MA^{docagens}) pode variar, dependendo dos métodos utilizados para a limpeza do casco e aplicação das tintas, incluindo também as condições ambientais durante a realização dos trabalhos e limitações de espaço do estaleiro para executar os mesmos. O incremento médio da rugosidade adotado pela ITTC-1978 por cada docagem realizada pela embarcação é 14 μm .

• **Incremento da Rugosidade em Serviço**

Em serviço, o aumento da rugosidade do casco ($MA_{serviço}$) é causado principalmente pela ocorrência de falhas na pintura, sendo as mais comuns a perda da efetividade das proteções anti-corrosiva e anti-incrustante e a ocorrência dos fenômenos de descascamento e escamação. A rugosidade devida à corrosão e ao desenvolvimento de incrustações varia em função do tempo e do desempenho das respectivas proteções aplicadas. As tintas anti-corrosivas podem mostrar-se ineficientes em certas regiões do casco após um determinado período de tempo, ocasionando o aparecimento dos fenômenos de ponteamto e craqueamento. Fatores análogos induzem o aparecimento de incrustações, dentre os quais os mais significativos têm origem nos danos causados à pintura do casco pelas avarias mecânicas ocorridas em serviço. Na tabela 5.3 apresenta-se o incremento da rugosidade em condições de serviço.

Tabela 5.3 - Incremento da rugosidade em serviço [32]

Valor médio	+ 2,8 $\mu\text{m}/\text{mês}$
Casco com alto nível de rugosidade antes do docagem	+ 4,3 $\mu\text{m}/\text{mês}$
Casco com baixo nível de rugosidade antes de docagem	+ 1,9 $\mu\text{m}/\text{mês}$
Casco recobertos com tintas especiais ("self polishing copolimers") (esta razão depende da rugosidade inicial do casco)	-3,1 $\mu\text{m}/\text{mês}$

As principais causas de elevação da rugosidade em serviço são:

- Corrosão do chapameento, função do tipo de proteção catódica e do desempenho da pintura anti-corrosiva.
- Falha da proteção aplicada, ocasionando principalmente a escamação e/ou descascamento da tinta.
- Utilização de anti-incrustante de baixo desempenho ou inadequados, favorecendo a ocorrência de falhas.

- Avarias mecânicas causadas à superfície da tinta por choques com amarras e âncoras, docagens, encalhes, operação no gelo, etc..

Em um dos poucos trabalhos sobre o tema, Kan e outros [34] desenvolveram um extenso programa de testes experimentais com um navio real sobre a influência da incrustação da superfície do casco na resistência ao avanço. Os testes foram realizados com um navio escola de pequeno porte, de nome "Yayoi-Maru", cujas principais características são mostradas na tabela 5.4:

Tabela 5.4 - Características principais do navio "Yayoi-Maru" [34]

Comprimento Total	19,90 m
Boca	4,30 m
Calado	1,90 m
Coefficiente de Bloco	0,540
Coefficiente prismático	0,584
Coefficiente de seção mestra	0,925
Superfície molhada	95,0 m ²
Deslocamento	78,60 ton
Motor diesel	150 Kw - 380 RPM

As investigações sobre os efeitos da incrustação na resistência ao avanço do casco foram conduzidas através de testes de reboque. As medições foram realizadas ao longo de um período de pouco mais de um ano, durante o qual o navio permaneceu ancorado durante os testes. Observou-se que, nestes testes, as cracas aumentavam no casco. Os resultados dos testes são apresentados na figura 5.2.

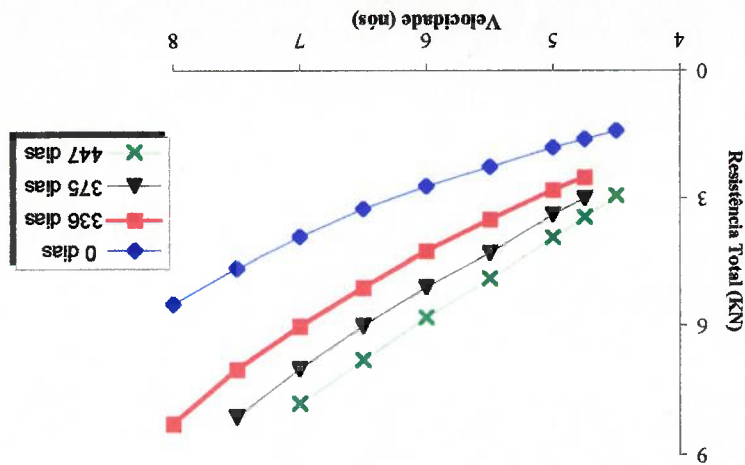


Figura 5.2 - Influência das incrustações na resistência ao avanço nos testes do navio "Yayoi-Maru"

Tabela 5.5 - Características das incrustações nos testes do navio "Yayoi-Maru"

Período	Posição de Medida	Dímetro Médio (mm)	MAA (µm)
336 dias	costado	6	200
336 dias	fundo	5	200
375 dias	costado	10	500
375 dias	fundo	17	800
447 dias	costado	12	900
447 dias	fundo	14	1000

Este gráfico mostra que a permanência do navio atracado ou fundeado em porto por longos períodos favorece o surgimento de incrustações que podem aumentar a resistência ao avanço em quantidades significativas da ordem de 60-100%.

• Cálculo do Incremento por Incrustações [35]

A componente da rugosidade devida às incrustações, MAA_{rouling} , é composta

por:

$$MAA_{\text{(custados)}} = \text{(HRF)} \text{(PT)} \text{(CEFF)} \tag{5.1}$$

$$MAA_{\text{(fundo)}} = 0,75 \text{(HRF)} \text{(PT)} \text{(CEFF)} \tag{5.2}$$

onde:

$$\text{HRF} = \text{fator de incrustações por dia em porto ou operação a uma velocidade menor de 4 nós (tabela 5.6);}$$

$$\text{PT} = \text{dias em porto ou operação a uma velocidade menor de 4 nós;}$$

$$\text{CEFF} = \text{fator de efetividade do recobrimento anti-incrustante;}$$

$$\text{CEFF} = 1 - \left(2,72 / e^z - 0,24(z - 1)^{0,263} \right); \tag{5.3}$$

$$z = \text{tempo entre aplicações por tempo da vida útil do anti-incrustante.}$$

O fator CEFF mostrado na expressão (5.3) pode ser igual a zero durante a vida efetiva do anti-incrustante, quando não tenha havido acumulação de incrustações. Uma vez passada a sua vida efetiva, o valor de CEFF se eleva rapidamente até 1,0. O anti-incrustante geralmente perde toda sua efetividade quando supera um lapso igual

ao dobro de sua vida efetiva. Porém, mas em zonas onde a tinta anti-corrosiva falha, CEEF chega a 1,0.

Tabela 5.6 - Fator de incrustações [35]

ESTADO DO "FOULING"	HRF ($\mu m/da$)
LIMPO	0,0
TRAÇOS	$5,334 \times 10^{-4}$
TRAÇOS PARA LEVE	$7,849 \times 10^{-3}$
LEVE	$3,828 \times 10^{-2}$
LEVE PARA MODERADO	0,1178
MODERADO	0,2822
MODERADO PARA SEVERO	0,5755
SEVERO	1,052

A seguinte expressão é recomendada pela ITTC-1978 para preizer o incremento da resistência total em termos do coeficiente C_f :

$$\Delta C_f = \left[105 \left(M_{MA} / L^{WL} \right)^{0,333} - 0,64 \right] * 10^{-3} \tag{5.4}$$

onde:

ΔC_f = coeficiente de rugosidade;

MAA = amplitude aparente média total, que é igual à somatória de:

$$[M_{AA}^{chapa} + M_{AA}^{recobrimentos} + M_{AA}^{corrosão} + M_{AA}^{fouling} + M_{AA}^{docagens} + M_{AA}^{serviço}]; \tag{5.5}$$

L^{WL} = comprimento da linha d'água.

O coeficiente de incremento de potência efetiva é dado por:

$$C_s = \Delta C_f^{total} - \Delta C_f^{inicial} (150 \mu m) \tag{5.6}$$

Com a expressão (5.6) pode-se calcular o incremento de potência devido à rugosidade do casco por:

5.5 ALCANCES ATINGIDOS NA PROTEÇÃO DO CASCO

O efeito das incrustações foi limitado pela utilização de tintas anti-incrustantes de alto desempenho, cuja efetividade pode alcançar, dependendo das circunstâncias, períodos de até 36 meses.

Outros esforços têm sido empregados no sentido de reduzir os efeitos da rugosidade, dentre os quais pode-se citar um dos de maior relevância, a utilização dos chamados copolimeros de auto-polimento SPC (“*Self Polishing Copolimers*”). Estes compostos possuem, além da característica de impedir o desenvolvimento de incrustações, a capacidade de propiciar uma redução do nível de rugosidade após a entrada em serviço. Este efeito é obtido através do atrito da água com o casco em movimento, o que, em função de suas propriedades, provoca o polimento da superfície, e a consequente diminuição do nível de rugosidade.

5.6 EFEITOS DA RUGOSIDADE NOS NAVIOS PESQUEIROS

No caso específico de navios pesqueiros, os valores relativamente baixos de R_F/R_T , da ordem de 20-25% para a condição de máximo deslocamento em navegações livre, e os altos valores de V/\sqrt{L} , próprios destes navios, nos levam as seguintes considerações:

- Pouca influência do envelhecimento do casco (situação que afeta diretamente R_F).
- Alta influência na resistência ao avanço por condições de mar (situação que influem em R_R).
- Períodos entre docagens altos, superando-se em muitos casos os dois anos.

- Altos fatores de crescimento de incrustações e de corrosão em portos provenientes de resíduos industriais subsidiários e derivados da pesca que são descarregados nas proximidades dos portos.

- Abundância do plâncton; estes seres microscópicos contribuem para o aumento das algas e incrustações no casco do navio.
- Estacionaridade em zonas de pesca, com velocidades baixas ou nula, contribuindo para o crescimento de incrustações.

- Ausência de aplicação corrente em navios pesqueiros de tintas modernas, com validades maiores que dois anos, nem tampouco de copolímeros de auto-polimento. Embora a sua eficiência já tenha sido amplamente comprovada, muitos navios não utilizam este tipo de proteção. Além de seu custo de aquisição, as proteções anti-incrustantes de auto-polimento requerem bases de alta qualidade e superfícies tratadas previamente por processos de limpeza por jateamento, o que encarece o seu custo de aplicação.

- Utilização, devida aos requerimentos explicados anteriormente das tintas especiais, de tintas e proteções convencionais de aplicação à base de borracha clorada, que são de frequente utilização pelos estaleiros, e que não asseguram uma proteção maior de um ano.

5.7 DEGRADAÇÃO DO HÉLICE

O propulsor constitui outra parte importante no estudo do sistema propulsivo; as perdas de eficiência do propulsor em serviço são significativas e podem ocorrer muito rápido. Estas perdas dependem do tempo de navegação, do tempo em porto, dos métodos utilizados para a limpeza durante os docagens, do carregamento do propulsor e das condições de temperatura da água de mar e de sua salinidade.

Existem dois fatores principais que afetam o desempenho de um propulsor em serviço [35, 36]: rugosidade e incrustações da superfície das pás.

Analogamente ao efeito provocado na resistência ao avanço experimentada pelo casco, a deterioração superficial causa o aumento do arrasto pelo atrito das pás do hélice. Estudos demonstraram que, além da variação no arrasto pelo atrito, é verificada, também, uma redução na força de sustentação produzida pelas pás.

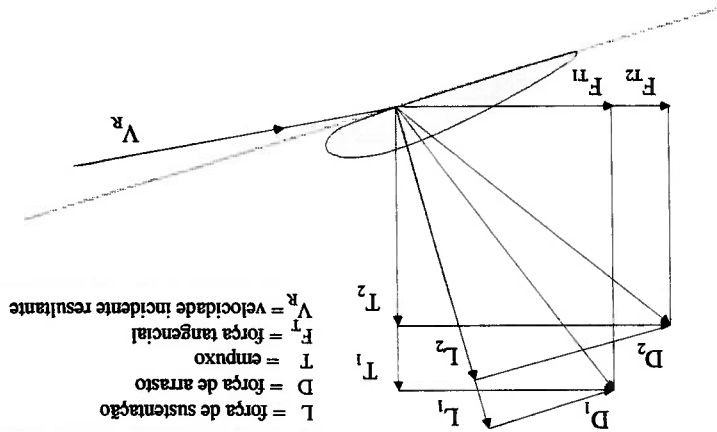


Figura 5.3 - Influência da deterioração superficial no diagrama de forças de um elemento de pá

Nota-se pelo diagrama da figura 5.3 que a redução da força de sustentação L entre as condições de superfície lisa (1) e superfície rugosa (2) causam a diminuição dos valores de empuxo T e de força tangencial F_T . A variação do arrasto pelo atrito de D_1 para D_2 produz o mesmo efeito no valor do empuxo, porém ocasiona o aumento da força tangencial.

A deterioração das condições de conservação nas características operacionais do hélice leva à diminuição do empuxo e ao aumento do torque-motor para um mesma rotação.

5.7.1 PERDAS NA EFICIÊNCIA DO PROPULSOR

A rugosidade da superfície tem dois efeitos sobre a eficiência do propulsor: quando se compara um propulsor de superfície rugosa com um propulsor liso, verifica-se que o arrasto das pás do rugoso causa aumento do coeficiente de torque; também decresce a circulação relacionada com a sustentação e o coeficiente de empuxo, dado um certo ângulo de incidência do escoamento.

Em termos dos coeficientes de empuxo (K_T) e do coeficiente de torque (K_Q), a eficiência de um hélice, para uma superfície “hidrodinamicamente lisa”, é:

$$\eta = \frac{K_T}{J} \cdot \frac{K_Q}{2\pi} \quad (5.8)$$

sendo os coeficientes de empuxo e torque definidos por:

$$K_T = \frac{\rho n^2 D^4}{T} \quad (5.9)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (5.10)$$

$$J = \frac{V}{nD} \quad (5.11)$$

Na expressão 5.8 o subscrito “1” refere-se à condição de “hélice lisa”. Nas

definições dos coeficientes de empuxo e torque, K_T e K_Q , ρ é a densidade de água, D o diâmetro do hélice, T o empuxo produzido e Q o torque de acionamento na rotação de operação n . No caso de um hélice real, os coeficientes K_T e K_Q devem ser reescritos para que seja considerada a influência da qualidade do acabamento superficial das pás nas forças de sustentação e arrasto, de acordo com [35]. As variações dos coeficientes de torque e empuxo do propulsor em provas de mar e em condições de serviço podem ser estimadas em função da rugosidade das pás do propulsor pelas seguintes expressões:

$$K_{T2} = K_{T1} - \Delta K_{Tp} - \Delta K_{Tl} \quad (5.12)$$

onde K_{T_1} , K_{Q_1} , K_{T_2} , K_{Q_2} são os coeficientes de empuxo e torque para as condições de provas e serviço respectivamente; os subscritos D e L indicam as parcelas de correção respectivas à alteração do arrasto e da força de sustentação das pás nos coeficientes de empuxo e de torque.

Abaixo mostram-se, para fins de análise dos efeitos da degradação do hélice, as expressões adotadas pela ITTC-1978 [35] para a correção dos efeitos da rugosidade na extrapolação dos valores dos coeficientes de empuxo, K_{T_1} , e de torque, K_{Q_1} , do modelo para a escala real:

$$\Delta K_{T_D} = -\Delta C_D \cdot 0.3 \frac{P}{cZ} \frac{D}{D} \quad (5.14)$$

$$\Delta K_{Q_D} = \Delta C_D \cdot 0.25 \frac{D}{cZ} \quad (5.15)$$

$$\Delta K_{T_L} = \frac{0.733 + 0.132J^2}{\sqrt{1 + 0.180(P/D)^2}} Z \left(\frac{D}{c}\right)^{0.75} \Delta C_L \quad (5.16)$$

$$\Delta K_{Q_L} = \frac{0.117 + 0.021J^2}{\sqrt{1 + 0.180(P/D)^2}} Z \left(\frac{D}{c}\right)^{0.75} \Delta C_L \quad (5.17)$$

onde P/D é razão passo-diâmetro, c é o comprimento da corda, Z o número de pás, D o diâmetro, J o coeficiente de avanço e ΔC_L , ΔC_D são as diferenças dos coeficientes de arrasto (C_D) e de sustentação (C_L) entre as provas de mar e a condição de serviço. O coeficiente C_D pode ser estimado para provas de mar e serviço em função da rugosidade da pá:

$$C_D = 2 \left(1 + 2 \frac{c}{t}\right) \left(1.89 + 1.62 \log \frac{K_p}{c}\right)^{-2.5} \quad (5.18)$$

onde t é o máxima espessura da pá e c o comprimento da corda a 0,75 do raio, e k_p é a amplitude média aparente de rugosidade da pá do propulsor:

A relação entre os efeitos de rugosidade nos coeficientes de sustentação e arrasto propostos pela ITTC-1978 [35] é igual a $\Delta C_L = -1,1\Delta C_D$.

Existe uma tendência de perda de eficiência do propulsor quando uma

pequena quantidade de rugosidade esta presente, como mostra na figura 5.4. Por exemplo [35], um incremento de 27 μm de rugosidade para um propulsor novo da classe "S" de 3 μm reduz a eficiência do propulsor em água aberta em 5,50%; esta corresponde a uma perda de 0,19% de eficiência por μm de amplitude de rugosidade. Quando a rugosidade é alta e há incrustações, k_p atinge valores entre 650 e 1300 μm . As perdas de eficiência do propulsor para uma variação de rugosidade de 650 μm até 1300 μm geram 9,9% de perda de eficiência, isto correspondendo a uma perda de só cerca de 0,02% na eficiência por μm de amplitude de rugosidade. Assim a taxa de perda de eficiência é perto de 14,3 vezes menor para um propulsor pesadamente incrustado em relação a um propulsor novo.

Dai, a importância de se manter o propulsor limpo e de prover um programa de manutenção regular para evitar grandes perdas de eficiência.

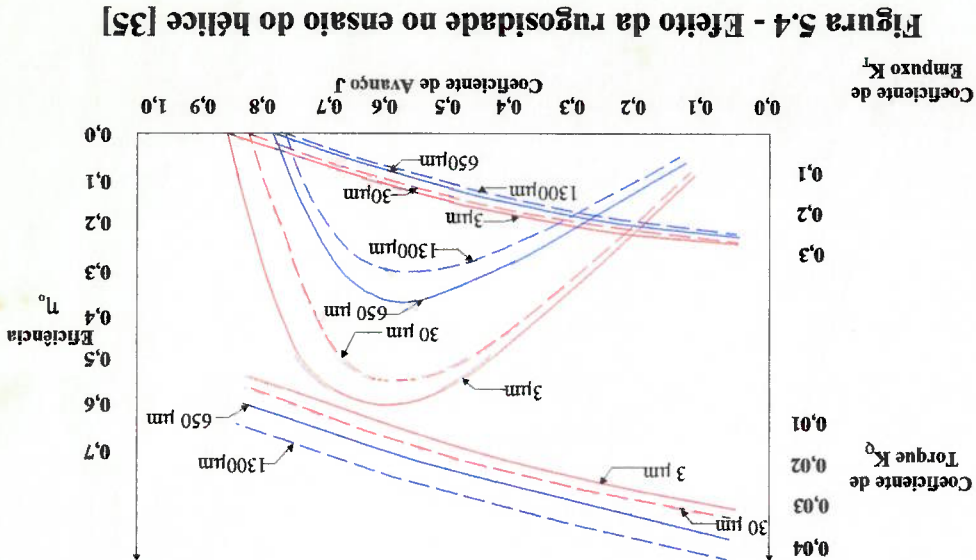


Figura 5.4 - Efeito da rugosidade no ensaio do hélice [35]

Como foi descrito anteriormente, existem basicamente dois tipos de rugosidade, uma devida a imperfeições na superfície e outra a incrustações. A superfície rugosa do hélice pode ser facilmente medida antes e após a docagem, de uma maneira similar àquela usada para medições da rugosidade do casco. As incrustações podem ser expressas em amplitude média aparente equivalente em microns. A ITTC-1978 propõe uma rugosidade na pá de 30 μm para propulsor em prova de mar. A rugosidade média para um propulsor novo baseado nas normas ISO ("International Standard Organization") é entre 3 e 10 μm , dependendo da qualidade de fabricação. No entanto, durante o tempo que o navio permanece amarrado ao berço para realizar os trabalhos de acabamento, o propulsor adquire uma rugosidade adicional, perto de 20 μm , resultando um acumulado de 30 μm antes de o navio realizar a prova de mar.

Em serviço, o incremento de rugosidade varia de propulsor para propulsor. Foi admitido pela ITTC-1978 [35] que a deterioração do propulsor causaria um incremento de 20 μm por ano. Durante os trabalhos de docagem, realiza-se uma limpeza do propulsor, considerando-se uma diminuição da ordem de 10 μm por cada docagem efetuada. Quando se considera que um propulsor é submetido a um polimento, a quantidade de rugosidade diminui consideravelmente, até 40 μm , deixando o propulsor praticamente liso, com a mesma rugosidade inicial. A variação da rugosidade devida às incrustações é admitida ser um terço da rugosidade total antes que o navio realize o docagem.

Em geral, a magnitude das perdas de eficiência, que resultam dos fatores anteriormente mencionados, são de grande importância para a análise do sistema motor-hélice. Devem ser consideradas para não haver problemas na sua operação que provoquem uma sobrecarga do motor.

5.8 DEGRADAÇÃO DO MOTOR PRINCIPAL

Na ref.44 estuda-se a degradação de motores; alguns comentários são feitos nesta seção.

O fator preponderante do processo de deterioração do motor é o desgaste de seus componentes internos. As principais causas de desgaste dos motores marítimos estão relacionadas ao atrito entre as partes móveis, à ação dos resíduos da combustão e dos possíveis contaminantes existentes no óleo combustível.

As tecnologias de projeto e os materiais utilizados na fabricação dos motores diesel marítimos atuais garantem baixos níveis de desgaste, para condições normais de operação e consumo de combustível de boa qualidade. Na prática, estas condições desejáveis ocorrem, e o processo de deterioração do motor é significativamente influenciado pela baixa qualidade dos combustíveis normalmente consumidos.

A causa primordial da deterioração das camisas, pistões e anéis de segmento originam-se no seu mútuo atrito. O desgaste das camisas do cilindro é observado pela sua ovalização. O aumento das folgas de operação do pistão é resultado de uma perda de eficiência de compressão, e do crescimento do escape ou "blow by" dos gases da combustão.

Diversos fatores aceleram a deterioração desses componentes. Por exemplo, altas temperaturas de funcionamento durante a operação de arrasto do navio pesqueiro reduzem a viscosidade do óleo lubrificante, intensificado, assim, o atrito entre os anéis e as paredes do cilindro. Entretanto, o principal fator causador de desgaste do conjunto camisa-pistão-anéis é a presença de contaminantes sólidos no óleo combustível, em particular alumínio e silício.

Compostos de alumínio e silício são encontrados em óleos combustíveis produzidos através do processo de craqueamento catalítico do petróleo. Estes compostos são altamente porosos, sendo, portanto, muito difícil a sua eliminação através dos processos de sedimentação e centrifugação disponíveis a bordo do navio. Misturados ao óleo combustível ou, no interior dos cilindros, ao óleo lubrificante, tais

componentes do sistema de injeção, bombas e válvulas injetoras, assim como em pistões, camisas e anéis de segmento. O aumento das folgas nos componentes internos das bombas e válvulas de injeção causam a redução da pressão de injeção, comprometendo a qualidade da atomização e pulverização do combustível. O resultado é uma combustão deficiente.

Motores diesel de média e alta velocidade, operando com combustíveis residuais, como por exemplo os motores Caterpillar da série 3606-3608 utilizados em pesqueiros acima de 1000 toneladas de deslocamento, são particularmente propensos a apresentar avaria nas válvulas de descarga, devidos à presença de outros contaminantes no óleo combustível. De fato, quantidades excessivas de vanádio e sódio ocasionam corrosão em alta temperatura. A corrosão em alta temperatura forma depósitos nas válvulas de descarga e nos turbo-alimentadores. Quando atingem altas concentrações, atacam a camada oxidante protetora do aço.

A chamada "corrosão em baixa temperatura" é o resultado da presença de enxofre no combustível. O enxofre é um elemento não-metálico existente no óleo combustível, principalmente sob a forma de compostos orgânicos. Durante a combustão, o enxofre combina-se com o oxigênio formando dióxido de enxofre - SO_2 e, em menor quantidade, o trióxido - SO_3 . Este último reage com o vapor d'água originando ácido sulfúrico - H_2SO_4 , o qual é altamente corrosivo quando é condensado. Dependendo das circunstâncias, a temperatura de condensação pode alcançar valores relativamente baixos, próximos a 160°C , facilitando a ocorrência do ataque corrosivo.

Uma certa quantidade de água esta presente em praticamente todos os tipos de combustível. A frequência de problemas registrados nas bombas injetoras aumenta significativamente com a elevação da quantidade de água existente no combustível. Os efeitos mais danosos são causados pela contaminação por água salgada. Eles acontecem em função da limpeza dos tanques de serviço feita com este tipo de água, ou por apresentar infiltração no fundo dos tanques. O sódio contido na água provoca sérias avarias, concentrando-se nas válvulas e nos turbo-alimentadores. A presença de

L_{pp} = comprimento entre perpendiculares;

onde:

$$PE_{ondas} = 6,25BA(2,0W_h + 0,152)^2 / TL_{pp}^2 \text{ (KW)} \quad (5.19)$$

ondas, a seguinte equação [39] deve ser aplicada:

Para calcular o incremento de potência efetiva devida à ação da altura de

5.9 AUMENTO DA RESISTÊNCIA DEVIDO À EXISTÊNCIA DE ONDAS

Do ponto de vista da análise do desempenho, o efeito da degradação do motor principal é caracterizado pelo aumento do consumo específico de combustível. A magnitude da variação do consumo está relacionada ao nível de desgaste e/ou desregulagem dos sistemas e componentes do motor. Todavia, não há padrão de correlação entre causas e efeitos aplicáveis a todos os motores. As variações quantitativas dos efeitos observados para diferentes motores estão vinculadas às particularidades e circunstâncias de operação de cada instalação. No entanto, a análise serve para ilustrar a importância de se minimizar as perdas induzidas pela degradação do motor no desempenho do sistema propulsivo.

Conforme vista, a caracterização do estado de conservação dos componentes e sistemas do motor principal não é uma tarefa das mais simples. A avaliação das condições de funcionamento do motor é normalmente caracterizada por métodos comparativos, em que comportamento apresentado pelas suas diversas variáveis operacionais é analisado com base em padrões referenciais de desempenho e/ou regulagem. Os resultados das investigações até hoje feitas nesse sentido são apresentados, em geral, sob forma qualitativa, não oferecendo a possibilidade de uma correlação mais específica dos efeitos observados.

água salgada em pequenas quantidades no combustível contribui para ocorrência mais frequente de engripamentos da agulha dos injetores, e de erosão, corrosão e cavitação das bombas de combustível.

W_h = altura da onda;

B = boca molhada do navio;

Δ = deslocamento em ton.;

T = calado.

A altura de onda deve ser obtida segundo a escala de Beaufort, mostrada na

tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Altura de ondas segundo a escala de Beaufort

Escaia de Beaufort	Altura de Onda, em m
Beaufort 2	0,3
Beaufort 3	0,8
Beaufort 4	1,6
Beaufort 5	4,1
Beaufort 6	6,6

5.10 ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA DO VENTO

O cálculo da resistência do vento é realizada através do método desenvolvido por ISHERWOOD [40]. Este método calcula as forças e momento atuantes no navio para um particular ângulo de ataque de vento. Os resultados experimentais de modelos em túneis de vento foram expressos em forma dos seguintes coeficientes:

a.- Coeficiente da componente axial da força do vento.

$$C_x = \frac{F_x}{1/2 \rho (V_R)^2 A_T} \quad (5.20)$$

onde:

F_x = componente axial da força do vento, considerada positiva na direção de proa a popa;

V_R = velocidade relativa do vento ao navio, em nós;

A_T = Área transversal projetada;

ρ = Densidade do ar (1,223 kg/m³).

b.- Coeficiente da componente lateral da força do vento.

$$C_y = \frac{F_y}{1/2 \rho (V_R)^2 A_L} \quad (5.21)$$

onde:

F_y = componente lateral da força do vento;

V_R = velocidade relativa do vento ao navio, em nós;

A_L = área lateral projetada;

ρ = densidade do ar (1,223 kg/m³).

Os coeficientes C_x e C_y são calculados em função dos parâmetros do tipo de navio apresentados na tabela 5.8, para particulares ângulos de ataque e também em função dos coeficientes $A_0 \dots A_6$, $B_0 \dots B_6$ que são mostrados no anexo 7.

$$C_x = A_0 + A_1 \frac{2A_L}{L^2} + A_2 \frac{B^2}{2A_T} + A_3 \frac{B}{L} + A_4 \frac{L}{S} + A_5 \frac{L}{C} + A_6 M \quad (5.22)$$

$$C_y = B_0 + B_1 \frac{2A_L}{L^2} + B_2 \frac{B^2}{2A_T} + B_3 \frac{B}{L} + B_4 \frac{L}{S} + B_5 \frac{L}{C} + B_6 \frac{A_L}{A_{ss}} \quad (5.23)$$

onde:

L = comprimento total do navio;

B = boca molhada;

S = comprimento do perímetro da projeção lateral do casco, excluindo a linha d'água e os corpos alinhados como mastros, em m;

C = distância da proa ao centro do área lateral projetada;

A_{ss} = área lateral projetada da superestrutura;

M= número de mastros.

Tabela 5.8 - Variáveis dos coeficientes das componentes das forças do vento [40]

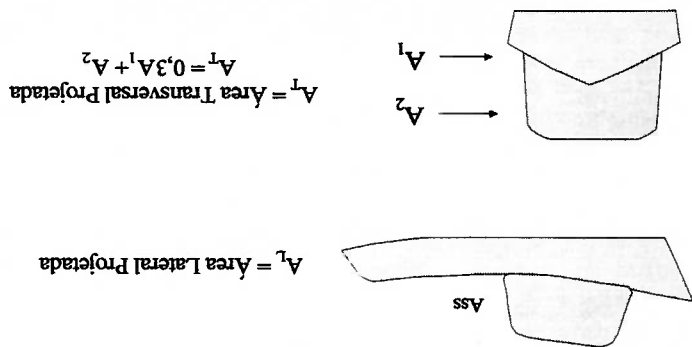
Artasto	0,239	1,15	3,78	1,48	0,410	0,386	1
Cerco	0,166	1,80	6,47	1,45	0,476	0,229	2
<i>Tipo de Casco</i>	$\frac{2A_L}{L^2}$	$\frac{B^2}{2A_T}$	$\frac{B}{L}$	$\frac{L}{S}$	$\frac{L}{C}$	$\frac{A_L}{A_{SS}}$	M

No programa, para o cálculo da resistência do vento, considerou-se o ângulo mais crítico igual a 30 graus relativamente à proa do navio, e uma dada velocidade média do vento, segundo a escala de Beaufort (tabela 5.9). O área lateral e área projetada do navio pesqueiro são mostradas na figura 5.5

Tabela 5.9 - Velocidade do vento segundo a escala de Beaufort

<i>Escala de Beaufort</i>	<i>Velocidade do Vento, em nós</i>
Beaufort 2	5
Beaufort 3	8,5
Beaufort 4	14
Beaufort 5	19
Beaufort 6	25

Figura 5.5 - Áreas projetadas do navio



CAPÍTULO 6

6. PROPOSTA DO MÉTODO E DESENVOLVIMENTO DO

“SOFTWARE”

6.1 DESCRIÇÃO SUMÁRIA

A frota industrial de pesca que opera no litoral peruano é em sua maioria não refrigerada, isto é, não possui sistemas de refrigeração adequados para poder realizar a pesca afastada da costa. Como consequência, sua autonomia está limitada em muitos casos pela quantidade e tempo de duração do gelo.

A maioria das embarcações possui capacidades de porões que variam entre 100 e 350 m³. Algumas embarcações estão sendo substituídas por novas unidades com maiores capacidades e com sistemas RSW (“*Refrigerated Sailed Water*”) para refrigeração da pesca.

Porém, parte das embarcações está sendo modificada, com vista a maiores capacidades de captura, tendo seu comprimento aumentado pela inserção de um corpo paralelo médio.

Ainda, uma outra medida é adotada nos cascos em que existe uma sobrecarga do motor, provocada pela estimativa incorreta de margens de serviço ou por erros no projeto original do propulsor: a troca desse propulsor, com a finalidade de obter economia no consumo de combustível.

O propósito deste trabalho é colocar à disposição dos armadores e projetistas de embarcações pesqueiras, em particular dos armadores peruanos, um método para gerar alternativas de propulsores, que possa ser aplicado nas situações acima, ou para orientar alteração de parâmetros de operação, basicamente redução de velocidade, que diminuem o consumo de combustível da embarcação.

Apresenta-se um "Software" chamado "Power Fish", com o qual o armador poderá orientar novos projetos e também avaliar embarcações construídas ou com projeto já iniciado, comparando seu desempenho com novas opções geradas pelo programa.

No desenvolvimento de novos projetos, o programa "Power Fish" pode ser utilizado para o cálculo da resistência ao avanço, escolha do propulsor segundo o tipo de embarcação em projeto, escolha do motor principal e cálculo das margens necessárias para evitar a sobrecarga do motor em condições de serviço.

Na avaliação de embarcações já em operação ou em etapa de construção, o programa "Power Fish" calcula o consumo de combustível considerando o propulsor originalmente instalado, as rotas navegadas, o tipo de pesca executada pelo navio e incrementos de resistência devidos à rugosidade do casco e do hélice, compara seu desempenho com novas opções de propulsores geradas pelo programa e indica o tempo de retorno do investimento do novo sistema proposto.

6.2 PARÂMETROS DE ANÁLISE

As embarcações pesqueiras que operam no litoral peruano são muito variadas. A frota consta principalmente de embarcações de cerco e de algumas de arrasto que realizam suas operações de pesca durante o dia e a noite, dependendo da quantidade de peixes disponíveis e do sistema frigorífico instalado na embarcação.

Para uma amostra [41] (anexo 8) coletada destas embarcações, são apresentadas em forma gráfica as razões L/B e B/T em função do comprimento (figuras 6.1 e 6.2).

Os gráficos mostram uma faixa de variação do comprimento, que foi aumentado nos últimos anos em razão de maiores demandas de capacidade de porão. Os anos de construção dos navios da amostra estão compreendidos entre 1970 e 1994.

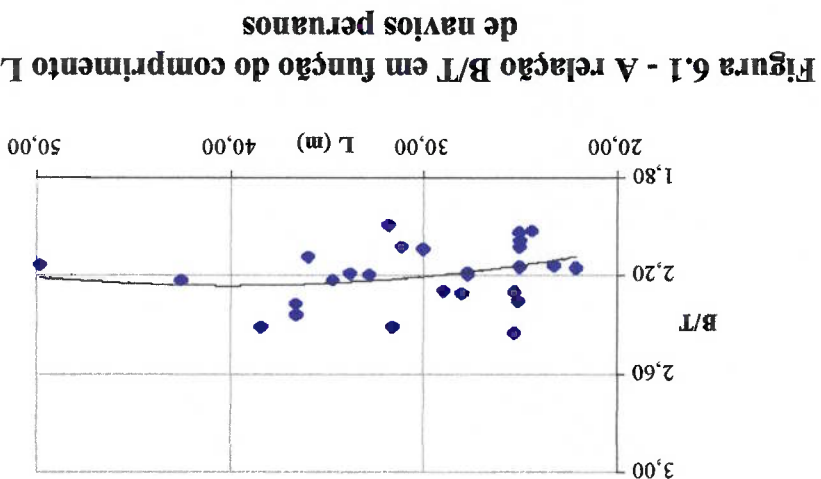
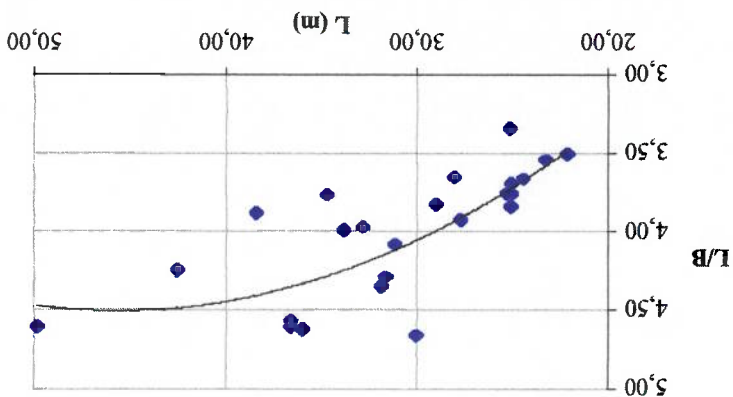


Figura 6.2 - A relação L/B em função do comprimento L (m) de navios peruanos



O tipo mais freqüente de cascos é o de cerco, com a sala de comando e a praça de máquinas na sua proa, e o porão na popa. Este tipo de casco segue o padrão americano, que é diferente do padrão escandinavo, este último possuindo a sala de comando e a praça de máquinas na popa e o porão no centro do casco. Tal distribuição, característica de alguns navios da amostra, era praticada antigamente nos navios de arrasto do Peru.

Devido às diferentes dimensões e aos tipos distintos de cascos foi preciso utilizar mais de um algoritmo para abranger a maioria dos navios utilizados na pesca peruana.

A eficiência do propulsor é calculada no programa "Power Fish", dependendo do tipo de hélice, que pode ser eventualmente de passo fixo ou controlável, série B-Troost, ou hélice com duto, série Kaplan. Para o cálculo da eficiência propulsiva também interveem a eficiência do casco e a eficiência relativa rotativa, obtidas de resultados de auto-propulsão.

A grande maioria das embarcações pesqueiras peruanas utiliza como máquinas principais motores Caterpillar, porém algumas também trabalham com motores MAN e General Motors. O programa "Power Fish" dispõe de um catálogo de vinte e quatro (24) motores Caterpillar [42], cujas potências nominais variam entre 164 KW / 220 HP e 2460 KW / 3299 HP, e podem ser utilizados em pesqueiros de até mais de 1500 toneladas de deslocamento. O programa dispõe de curvas de potência nominal versus rotação e de consumo específico de combustível versus rotação, constantes dos manuais da Caterpillar. A relação dos motores utilizados é mostrada na tabela 6.1, e suas especificações técnicas são listadas no anexo 9.

Tabela 6.1 - Relação de motores Caterpillar utilizados no programa [42]

MODELO	KW	HP		MODELO	KW	HP
CAT-3306B	164	220	13	CAT-3512	877	1176
CAT-3306B	205	275	14	CAT-3516	895	1200
CAT-3408C	280	375	15	CAT-3512	955	1281
CAT-3408C	350	469	16	CAT-3512	1015	1361
CAT-3408C	448	601	17	CAT-3516	1051	1409
CAT-3508	526	705	18	CAT-3512	1078	1446
CAT-3508	561	752	19	CAT-3516	1156	1550
CAT-3508	578	775	20	CAT-3516	1276	1711
CAT-D398	634	850	21	CAT-3606	1560	2092
CAT-3512	638	856	22	CAT-3606	1850	2481
CAT-3512	671	900	23	CAT-3606	2030	2722
CAT-3512	791	1061	24	CAT-3608	2460	3299

Os efeitos da rugosidade do casco e do hélice são estimados no programa "Power Fish" segundo o exposto no capítulo 5 deste trabalho. Para navios já construídos, o incremento na resistência ao avanço e a perda de eficiência devida à rugosidade do hélice atingem, em alguns casos, valores significativos, que resultam em sobrecarga do motor principal. Esta sobrecarga, traduzida em maior consumo de combustível, indica a necessidade de redução de passo e de diâmetro do propulsor, justificando na maioria das vezes a sua troca.

Durante a operação do navio pesqueiro, pode-se observar que esta embarcação percorre três rotas específicas. A primeira rota é a de navegação livre de ida, cuja trajetória consiste na saída do porto de origem até a zona de pesca navegando-se com velocidades entre 10 e 12 nós. A segunda rota consiste na pesca especificamente, sendo que as embarcações de cerco navegam a uma velocidade entre 6 e 8 nós para realizar a procura dos peixes por meio de aparelhos eletrônicos, como sonar e ecossonda, e as embarcações de arrasto navegam entre 4 e 7 nós. A terceira rota consiste no retorno do navio ao porto onde se vai realizar a descarga do peixe, geralmente com velocidades de 8-95% daquela de navegação livre de ida.

Em adição aos incrementos na potência devidos às rugosidades do casco e do hélice, considera-se a possibilidade de utilizar sistema de refrigeração, e a ocorrência de condições hidro-meteorológicas para cada rota específica, com a finalidade de prever um possível consumo maior de combustível.

6.3 PROPOSTA DO MÉTODO

O método proposto leva em conta os seguintes itens para avaliar o consumo de combustível:

* Resistência ao avanço para condição de prova de mar.

A resistência pode ser estimada pelos algoritmos apresentados no capítulo 3: método de OORTMERSSSEN [13], método de HOLTROP [17] e o método da FAO [22].

* Eficiência propulsiva.

* Consumo específico de combustível do motor.

* Rugosidade do casco e do propulsor em diferentes etapas da vida útil do

navio.

* Ocorrência de condições hidro-meteorológicas.

* Possibilidade de utilizar um sistema de refrigeração.

* Rotas de pesca, condições de deslocamento de cada rota e tipo de navio

utilizado.

O método propõe examinar as seguintes alternativas de propulsores e

alterações dos parâmetros de operação:

◆ Instalar um hélice de passo fixo da série Kaplan com duto Kort para o caso

de pesqueiros de arrasto.

◆ Instalar um hélice de passo controlável para navios que praticam a pesca de

cerco e arrasto.

◆ Alterar um hélice já instalado.

◆ Reduzir a velocidade de navegação livre de ida, de retorno ou a velocidade

durante a pesca.

O método apresenta o retorno do investimento, calculado em função da

redução do custo de combustível, ao melhorar a eficiência propulsiva do navio. São

calculados os ganhos no consumo de combustível para cada rota específica durante

um ano de operação, considerando o número de viagens que essa embarcação

realiza ao ano. Também é calculado o tempo necessário para o retorno do

investimento utilizando o critério "Pay back".

6.4 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA "POWER FISH"

O "Software" está desenvolvido em dois níveis de programação. Os

algoritmos para cálculo da resistência ao avanço, do propulsor, da rugosidade do casco e hélice, dos efeitos das condições hidro-meteorológicas, assim como para

apresentação gráfica de resultados são realizados no entorno "Borland C++ for DOS".

A interface com o usuário para fins de entrada de dados, de visualização dos menus principais e dos resultados, está desenvolvida no entorno "Microsoft Foxpro 2,5 for DOS & Distribution Kit".

As principais vantagens do uso de "Microsoft Foxpro 2,5" são as seguintes:

- permite criar janelas com menus para uma melhor operação do usuário e utilizar os programas executáveis do "Borland C++" em sequência qualquer;
- utiliza caixas de diálogo para a entrada de dados que podem ser alteradas em caso de erros na digitação; mostra caixas de advertência caso o usuário introduza dados fora da faixa de operação dos algoritmos do programa;

- possibilita utilizar o "mouse" e o teclado;

- o "Distribution Kit" pode criar o programa executável (EXE) para ser utilizado sem necessidade de instalar o "Microsoft Foxpro 2,5" no computador.

Os requisitos básicos de "hardware" para instalação são:

- a. IBM / PC ou compatível PC / XT / AT / 386;
- b. MB de memória RAM livre;

c. co-processador numérico (8087, 287, 387);

d. recursos gráficos (CGA, EGA, VGA).

Ao iniciar, o programa "Power Fish" mostra na tela uma janela de apresentação; após isso, ingressa no menu principal, que contém duas alternativas:

- a. "Métodos de Economia", utilizada para a análise de projetos já iniciados ou de navios operando (Figura 6.3).

b. "Projetos Iniciais", utilizada para a realização de novos projetos (Figura 6.4).

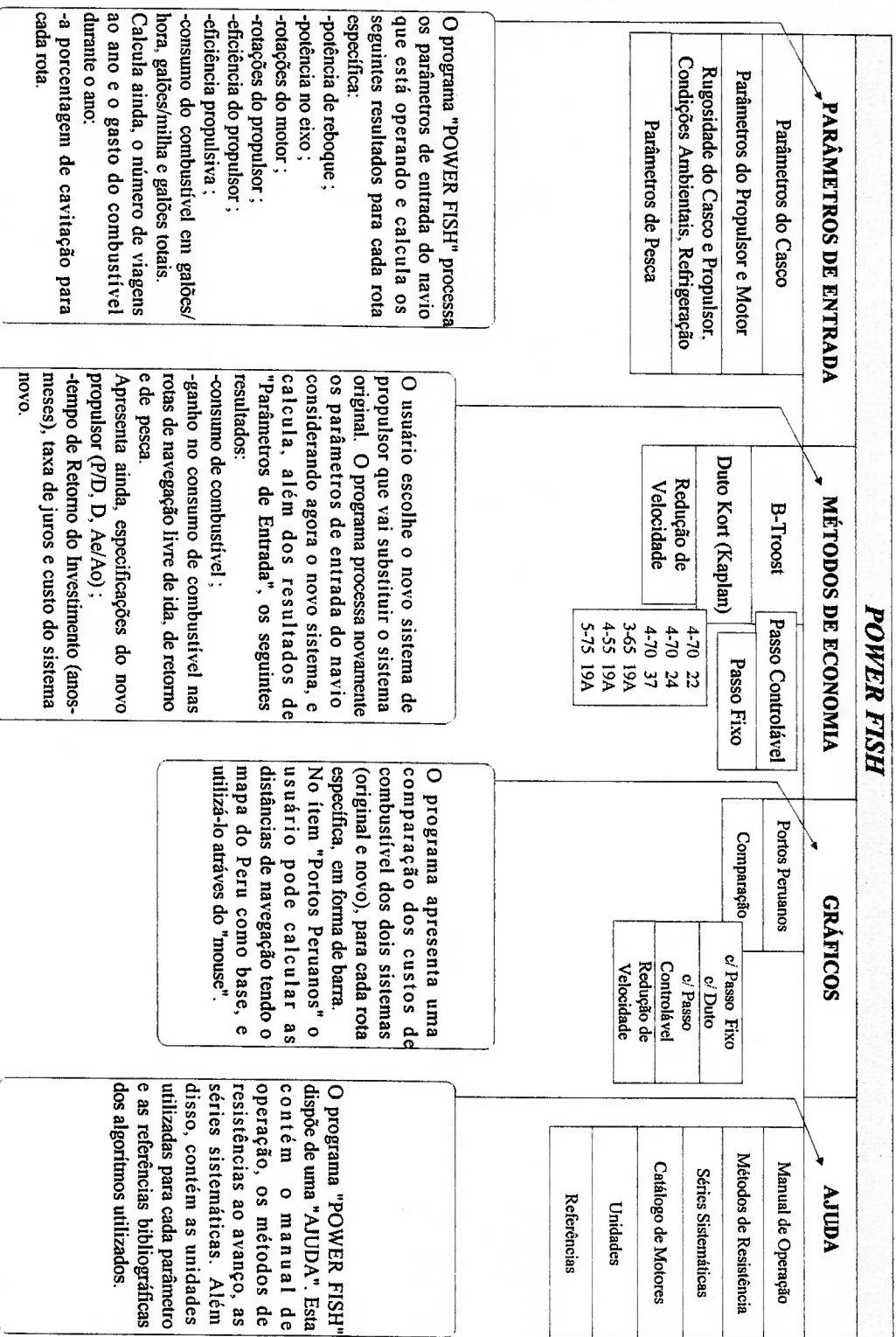


Figura 6.3- Menu "Métodos de Economia"

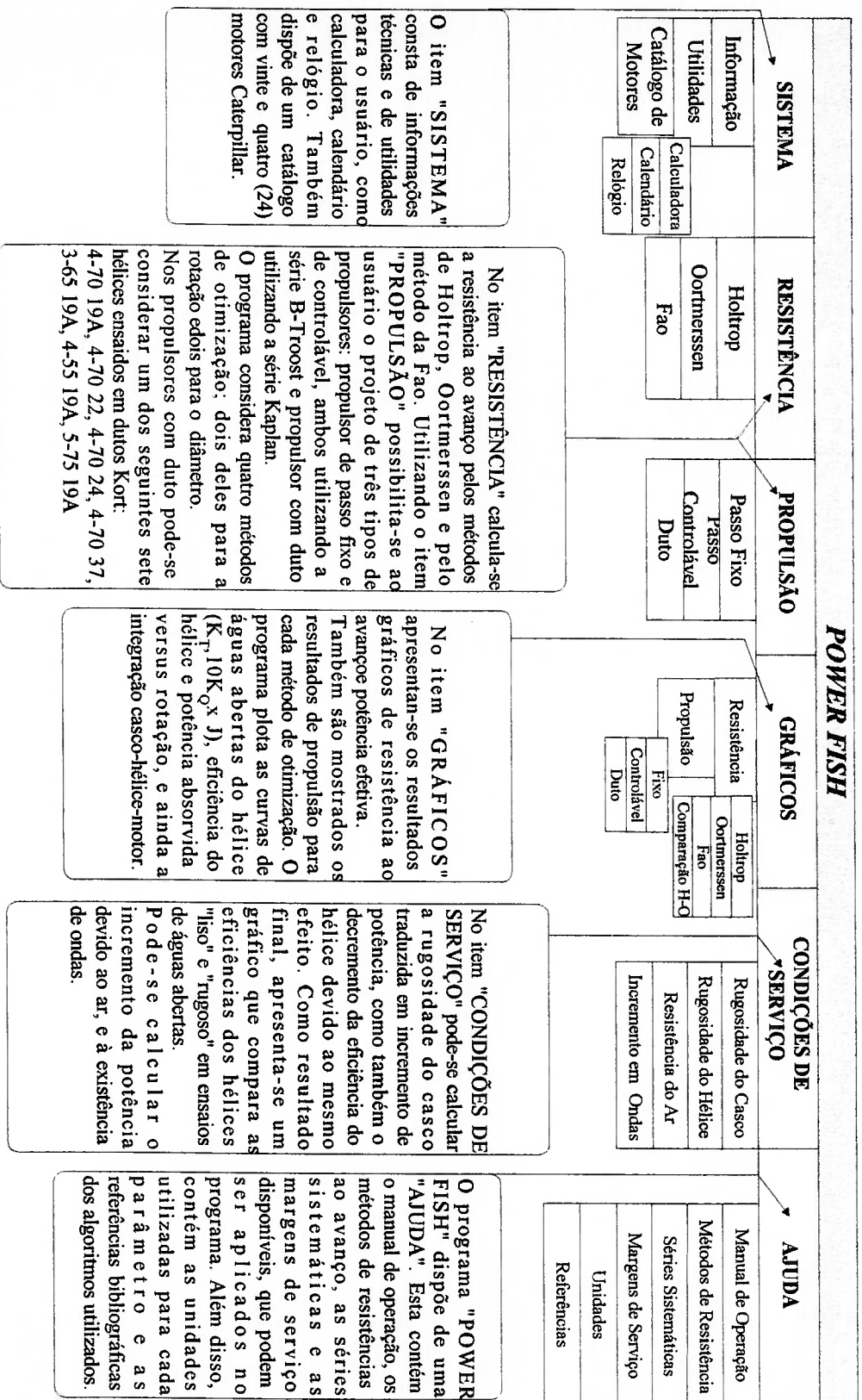


Figura 6.4.- Menu "Projetos Iniciais"

6.4.1 MENU "MÉTODOS DE ECONOMIA"

Os dados de entrada são divididos em cinco categorias.

- Parâmetros do casco
- Parâmetros do propulsor
- Parâmetros do motor
- Parâmetros de pesca
- Parâmetros de rugosidade
- Condições ambientais
- Refrigeração

Os dois algoritmos para estimativa dos parâmetros do casco apresentam algumas diferenças quanto aos dados requeridos. Alguns dados de entrada podem ser estimados, caso sejam desconhecidos, ocasionando uma pequena perda de precisão na potência efetiva calculada. Na tabela 6.2 apresentam-se os parâmetros requeridos dos diferentes métodos.

Tabela 6.2 - Parâmetros requeridos pelos algoritmos de resistência ao avanço

REQUISITOS DOS ALGORITMOS PARA O CÁLCULO DA RESISTÊNCIA E DOS COEFICIENTES PROPULSIVOS		
PARAMETRO	HOLTRON	OORTMERSSEN
Comprimento da linha d'água	sim	sim
Comprimento entre perpendiculares	não	sim
Boca molhada	sim	sim
Calado médio	não	sim
Calado de proa e de popa	sim	não
Coefficiente de bloco	calculado	calculado
Coefficiente prismático	calculado	calculado
Coefficiente de seção mestra	sim	sim
Coefficiente de área na linha d'água	sim	não
Posição longitudinal do centro de carena	sim	sim
Deslocamento em ton	sim	sim
Área transversal da popa "transom"	sim	não
Superfície de apêndices	sim	sim
Superfície molhada	calculada	calculada
Área transversal do bulbo	sim	não
Altura da linha base ao centro do bulbo	sim	não
Meio ângulo de entrada na linha d'água	calculado	sim
Área transversal projetada	sim	sim
Área lateral projetada	sim	sim

Os parâmetros requeridos do propulsor são apresentados na tabela 6.3. Utiliza-se a série sistemática B-Troost para o cálculo dos propulsores de passo fixo e controlável e a série Kaplan para sistemas de propulsores com dutos Kort. As alternativas de dutos são mostradas na tabela 6.4.

Tabela 6.3 - Parâmetros do propulsor

Parâmetro	Descrição
D	diâmetro
Z	número de pás
P/D	razão passo-diâmetro
Ae/Ao	razão área expandida-área do disco
x	número de propulsores

Tabela 6.4 - Dutos tipo Kort

No. do Duto	Propulsor
19A	3-65
19A	4-55
19A	4-70
19A	5-75
22	4-70
24	4-70
37	4-70

Os parâmetros do motor que se devem considerar são mostrados na tabela 6.5. O programa "Power Fish" trabalha com os motores Caterpillar que são utilizados nas embarcações pesqueiras peruanas. No caso de o navio em análise não possuir a mesma marca ou modelo de motor, o usuário deve escolher o mais próximo que se assemelhe ao motor instalado na embarcação.

Tabela 6.5 - Parâmetros do motor

Parâmetros do Motor
Marca e modelo Potência nominal, KW RPM máxima (100 % MCR) RPM mínima Redutor

O navio pesqueiro navega em três trechos de rota com diferentes deslocamentos, que dependem da quantidade de peixe disponível no mar. Quando uma boa pesca é realizada com o primeiro lançamento da rede, não precisando de outro lançamento, a embarcação realiza a pesca rapidamente e retorna ao porto. Quando isso não acontece, a embarcação retorna ao porto de descarga a uma velocidade menor, já que continua procurando mais peixes; esta velocidade é geralmente menor do que a velocidade de retorno e maior do que a de pesca. Para calcular melhor o consumo de combustível é preciso considerar essas diferenças nos deslocamentos e calados de cada rota. Também deve-se especificar o tipo de embarcação ou tipo de pesca (cerco, arrasto). Os parâmetros de pesca são apresentados na tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Parâmetros de pesca

<i>Parâmetro de Pesca</i>	
Velocidade de saída do porto	Velocidade média durante a pesca
Velocidade de retorno ao porto	Milhas navegadas do porto de saída à zona de pesca
Milhas navegadas na zona de pesca	Milhas navegadas da zona de pesca ao porto de retorno
Calado de saída	Calado médio durante a pesca
Calado de retorno	Deslocamento de saída
Deslocamento médio durante a pesca	Deslocamento de retorno
Porto de saída	Porto de retorno
Tipo de pesca (cerco ou arrasto)	

No capítulo 5 foi observado que o navio durante sua vida útil sofre um incremento da rugosidade do casco e do propulsor. Este incremento junto com a mudança das condições de mar e a utilização de refrigeração para a conservação dos peixes são os principais fatores que devem ser considerados no cálculo do consumo

de combustível do navio pesqueiro. Estes parâmetros são mostrados nas tabelas 6.7, 6.8 e 6.9.

Tabela 6.7 - Parâmetros de rugosidade

Parâmetros de Rugosidade	
Rugosidade do Casco :	Anos de serviço Número de docagens
Rugosidade do Hélice :	Anos de serviço Número de docagens Ano do último polimento

Tabela 6.8 - Parâmetros das condições ambientais

Condições Ambientais (Escala Beaufort) :	Rota de ida Rota de pesca Rota de retorno
---	---

Tabela 6.9 - Parâmetros de refrigeração

Refrigeração : (ON - OFF)	Rota de ida Rota de pesca Rota de retorno
----------------------------------	---

Logo após a entrada de todos os dados, o programa calcula o consumo de combustível para o sistema original e, dependendo da escolha do novo sistema, o programa é reprocessado, fazendo a comparação dos dois consumos de combustíveis. Para realizar isto, o programa "Power Fish" utiliza os algoritmos que são mostrados nos fluxogramas das figuras 6.5, 6.6, 6.7, 6.8.

No caso de não trocar o sistema original, e optar pela redução de velocidade, o programa pede as novas velocidades para cada rota de navegação, calculando a diminuição do consumo por viagem redonda. Esta diminuição não é baseada no número de viagens ao ano, pois este diminui em comparação com a situação original.

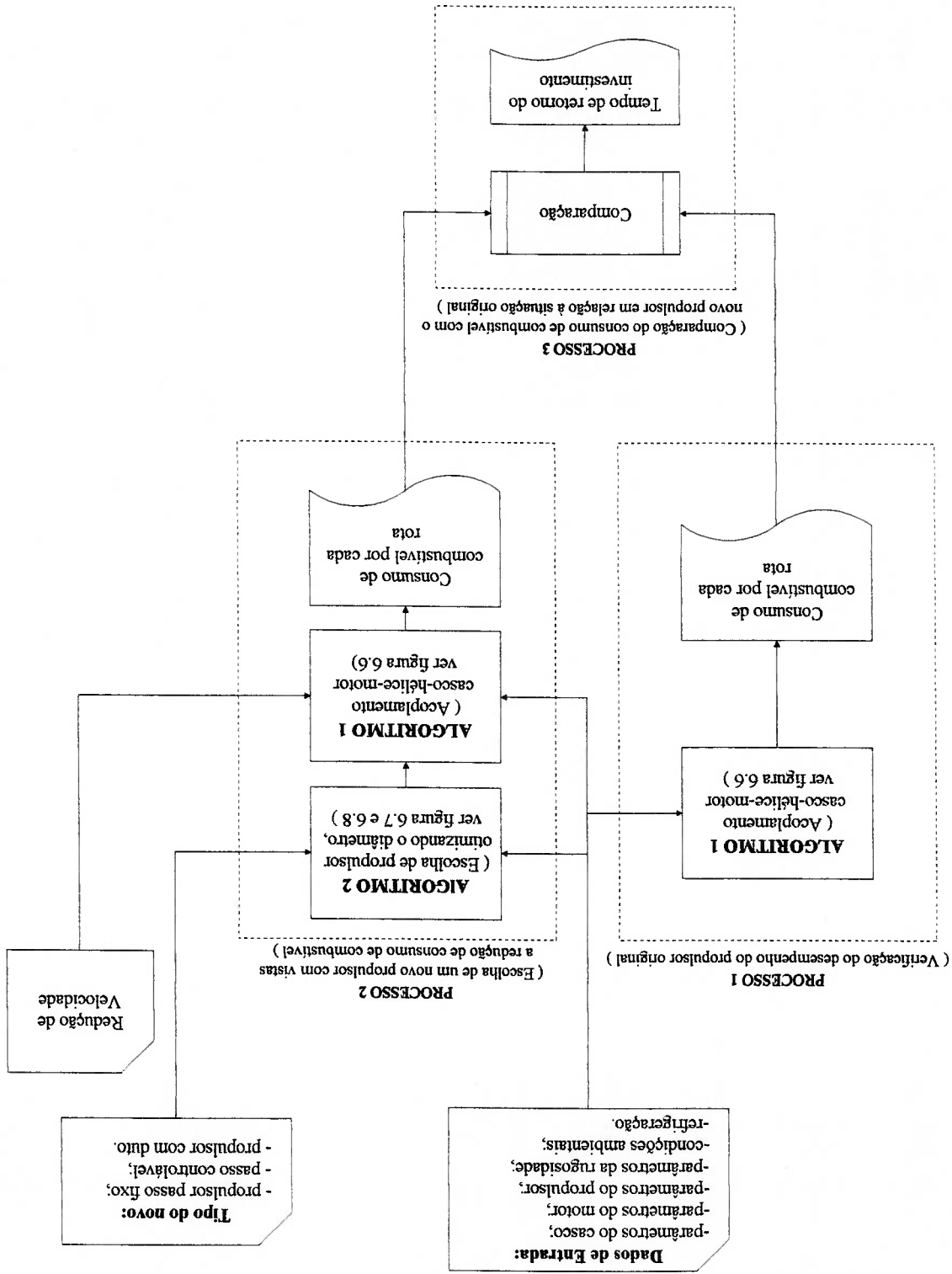


Figura 6.5 - Fluxograma do menu "Métodos de Economia"

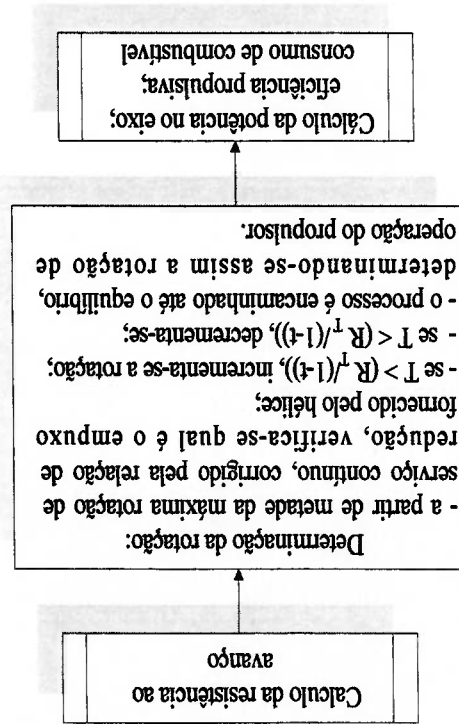


Figura 6.6 - *Algorithm 1*, acoplamento do casco-hélice-motor, utilizado no fluxograma da figura 6.5

Algorithm 1 - Ao finalizar a entrada de parâmetros do navio, o cálculo do consumo de combustível é iniciado. O programa primeiro calcula, para cada rota, a resistência ao avanço com o método estatístico escolhido (Holtrup e Oortmerssen). Busca-se a rotação de operação do hélice numa faixa desde a metade da máxima rotação de serviço contínuo, até esta mesma rotação corrigida pela relação de redução. O programa procura a rotação em que o propulsor desenvolve o empuxo necessário para vencer a resistência do navio. O empuxo do hélice é calculado utilizando as curvas de águas abertas da série B-Troost ou série Kaplan, dependendo do tipo de propulsor utilizado. Uma vez encontrada a rotação, o programa calcula a eficiência do hélice, a eficiência propulsiva e a potência requerida no eixo. O programa utiliza as curvas de consumo específico de combustível do motor, a potência no eixo e as horas navegadas em cada rota para calcular o consumo do motor em galões de combustível.

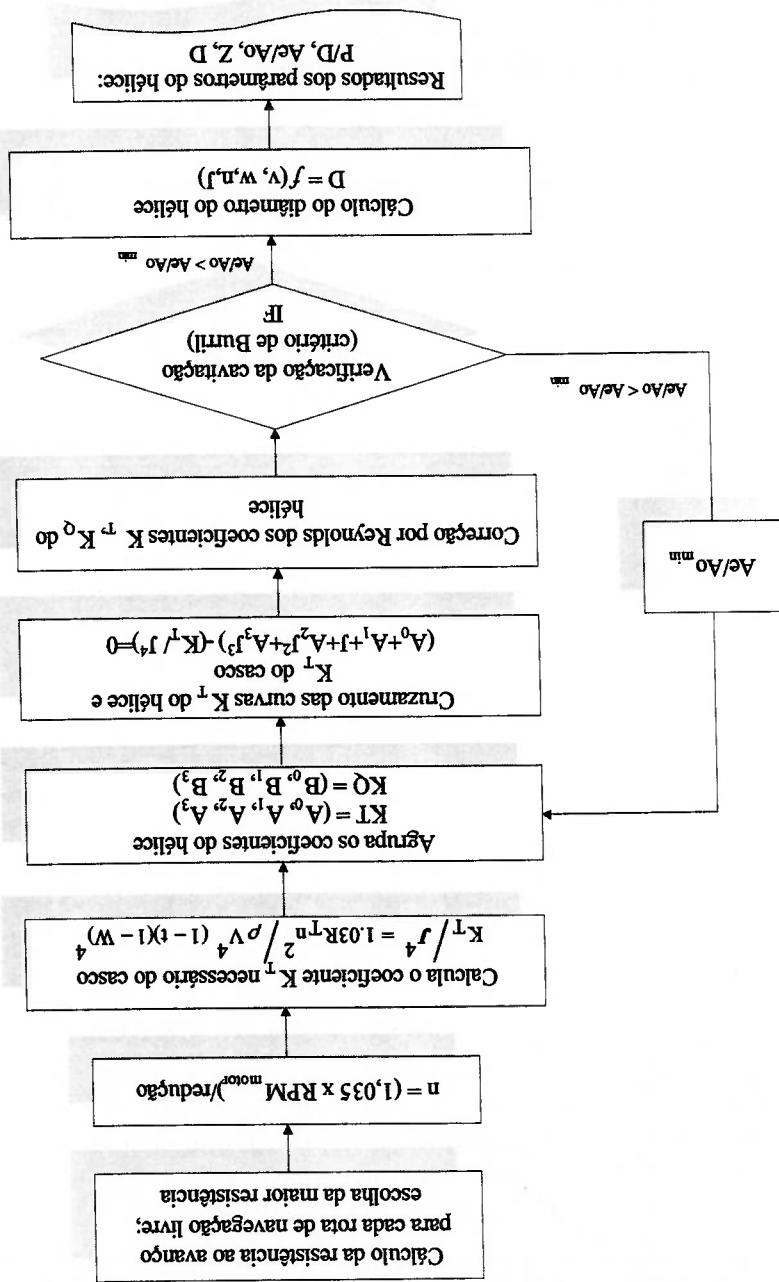


Figura 6.7 - Algoritmo 2, escolha do propulsor otimizando o diâmetro com a série B-Troost, utilizado no fluxograma da figura 6.5

Algoritmo 2 - Terminado o cálculo do sistema original, os parâmetros do propulsor original são introduzidos no algoritmo 2 para otimização. O algoritmo prevê uma margem de rotação (3,5%) para projetar o novo propulsor. Com esse dado, calcula-se a curva de K_T necessário para o casco (K_T/j^4), cruza-se com as curvas de K_T da série sistemática do hélice (B-Troost para passo fixo e controlável e série

Kaplan para hélice com duto), determinando-se o J (coeficiente de avanço) de operação e, conseqüentemente, o diâmetro. Após realizar o acoplamento casco-hélice, o programa verifica a cavitação e implementa modificações, caso a área expandida mínima seja menor do que a área do propulsor original.

Ao final, o programa calcula os novos parâmetros do hélice: P/D , Ae/Ao , Z , D . Para o cálculo do hélice de passo controlável utiliza-se o mesmo algoritmo, mas não se consideram margens na rotação.

Para o cálculo do hélice com duto, foi usada a mesma metodologia exposta anteriormente, apenas com uma diferença: aqui utilizou-se a série Kaplan ao invés da B-Troost, como pode ser visto na figura 6.8. Como a figura 6.5 mostra, após realizar o cálculo do novo propulsor, o programa "Power Fish" utiliza o mesmo algoritmo *I* para novamente calcular o consumo de combustível. No final, faz-se a comparação de gastos e calcula-se o tempo de retorno do investimento do novo sistema pelo critério "pay-back".

O programa projeta o novo propulsor de passo fixo ou controlável na condição de maior potência de reboque requerida, que depende das velocidades de navegação e das condições de deslocamento do navio. Algumas vezes, a resistência ao avanço é maior para condição de deslocamento de saída, quando o navio está praticamente vazio, em comparação com a condição de deslocamento de retorno, embora neste último caso o porão esteja cheio. No caso de propulsor com duto, o hélice é projetado para a condição de pesca, quer dizer, na condição de arrasto (90% das RPM nominais).

Os preços [44] dos propulsores foram obtidos do mercado peruano, brasileiro e americano. A relação de preços dos propulsores de passo fixo e hélice com duto encontram-se no anexo 10.

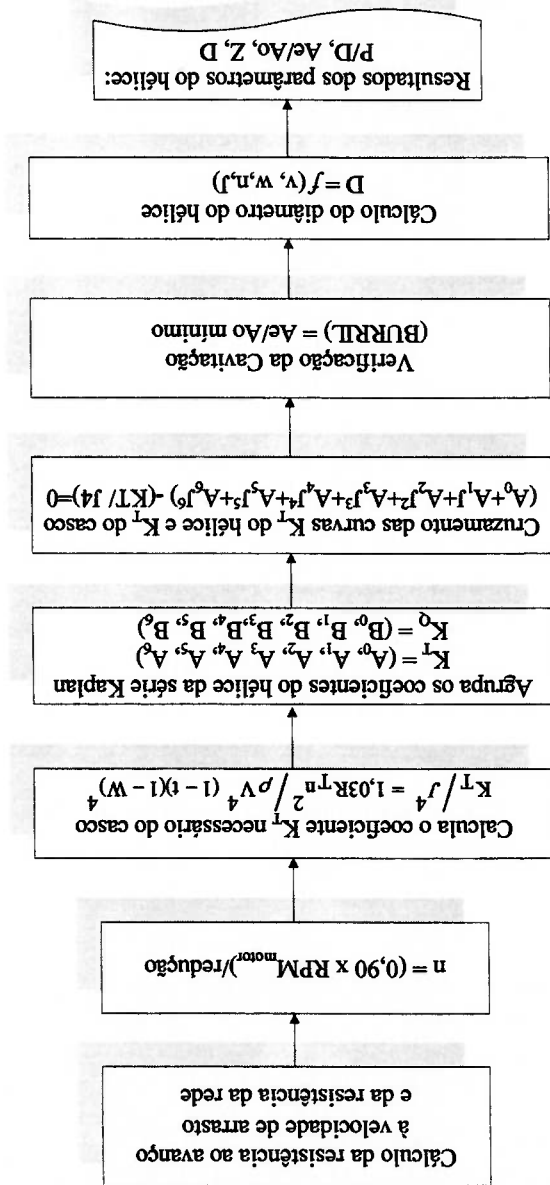


Figura 6.8 - Algoritmo 2, escolha do propulsor otimizando o diâmetro com a série Kaplan, utilizado no fluxograma da figura 6.5

6.4.2 MENU "PROJETOS INICIAIS"

Os dados de entrada utilizados em "Projetos Iniciais" variam em relação ao menu anterior. Para introduzir os dados do casco do navio e poder calcular a resistência ao avanço é preciso incluir a velocidade de serviço do navio, as velocidades nas quais a embarcação vai ser testada e a velocidade de arrasto, no caso específico de navios de arrasto.

O usuário também tem a possibilidade de especificar incrementos no cálculo da resistência ao avanço, em porcentagens, para serem considerados como margens de serviço, devidos à rugosidade do casco, do hélice e a condições ambientais prevalentes na rota de navegação. Como foi visto no capítulo 4, existem quatro métodos para otimizar o propulsor. O programa tem todas essas opções, sendo que estes métodos dependem dos dados disponíveis do projetista e do objetivo da otimização. Além das margens na resistência ao avanço, o programa tem a possibilidade de acrescentar margens nas rotações e na potência instalada.

O programa permite calcular a rugosidade do casco, a perda de eficiência do hélice, a resistência do ar e o incremento de potência devido à existência de ondas. Tais parâmetros podem ser considerados pelo projetista na especificação de margens mais ampliadas em projetos futuros, de modo a manter limites de operação eficientes da máquina principal.

Outra possibilidade permitida pelo menu "Projetos Iniciais" é o projetista observar os resultados em forma gráfica, já que o programa exibe gráficos da resistência ao avanço e dos parâmetros de propulsão, e mostra as variações da eficiência do hélice com o incremento da rugosidade das pás.

No caso especificamente de navios de arrasto, o programa tem a opção de calcular o propulsor utilizando dados Kort e de passo controlável. O programa mostra as porcentagens de aproveitamento do motor para as diferentes condições de carregamento, a saber, condições de arrasto e de "bollard pull". Ao utilizar para projeto o hélice de passo controlável para este tipo de navio, o programa calcula o passo para cada condição de carregamento.

Durante o desenvolvimento dos algoritmos de resistência ao avanço, os resultados dos mesmos foram comparados com exemplos publicados nas referências [13, 16]. Os resultados se encontram no anexo 11.

O fluxograma do menu "Projetos Iniciais" é mostrado na figura 6.9.

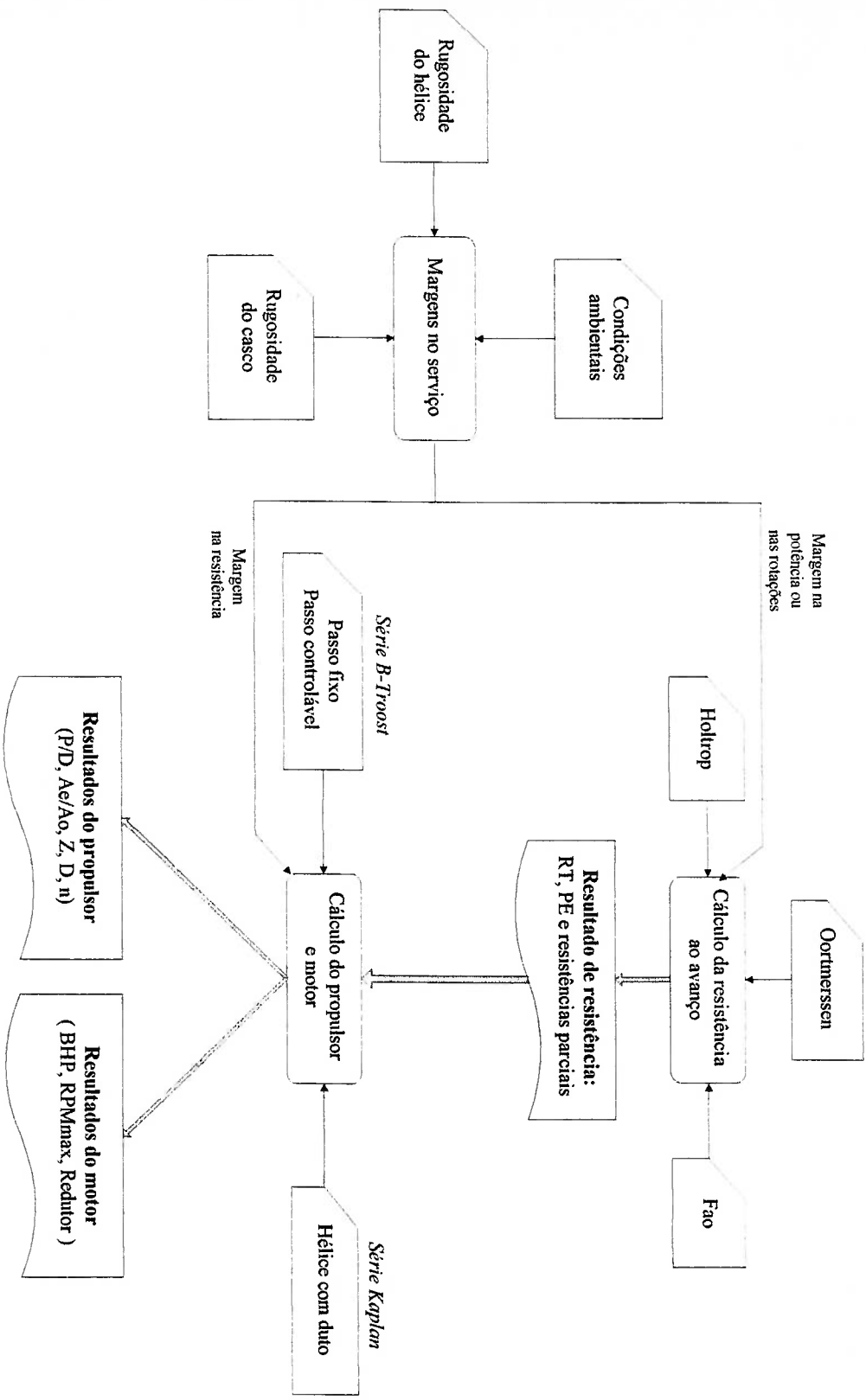


Figura 6.9 - Fluxograma do menu "Projetos Iniciais"

CAPÍTULO 7

7. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

7.1 ASPECTOS GERAIS

A metodologia desenvolvida no capítulo 6 foi aplicada, utilizando o programa "Power Fish", para duas embarcações que praticam as pescas tradicionais peruanas, de cerco e de arrasto.

A primeira aplicação foi realizada com o pesqueiro de cerco "SIMA", construído pelo estaleiro peruano SIMA-CALLAO em abril de 1994. Esta embarcação, cujas dimensões principais e sistema propulsivo instalado são mostrados nas tabelas 7.1 e 7.2, foi testada em três rotas de navegação, com diferentes deslocamentos e velocidades, como se apresenta na tabela 7.3. Assim, o navio foi avaliado em três situações, dependendo do nível de rugosidade do casco e propulsor ao longo de sua vida útil, como se mostra na tabela 7.4. Adicionalmente, considera-se a possibilidade de se utilizar sistema de refrigeração, e a ocorrência de condições ambientais, conforme cada rota, como apresentado nas tabelas 7.5 e 7.6, respectivamente.

O navio "SIMA" possui originalmente um propulsor de passo fixo, cujas características são mostradas na tabela 7.2. O navio foi avaliado nas situações acima definidas, com novos propulsores, de passo fixo e de passo controlável, utilizando a série sistemática B-Troost.

Esta embarcação possui sistema frigorífico RSW ("Refrigerated Sailed Water") para a refrigeração da pesca. Este tipo de pesqueiro realiza em média 160

a 180 saídas por ano, que dependem principalmente da distância navegada e das velocidades de operação. A figura 7.1 apresenta o perfil operativo deste navio no litoral peruano durante um ano de operação. O arranjo geral do convés principal e o plano de linhas são mostrados nas figuras 7.2 e 7.3, respetivamente.

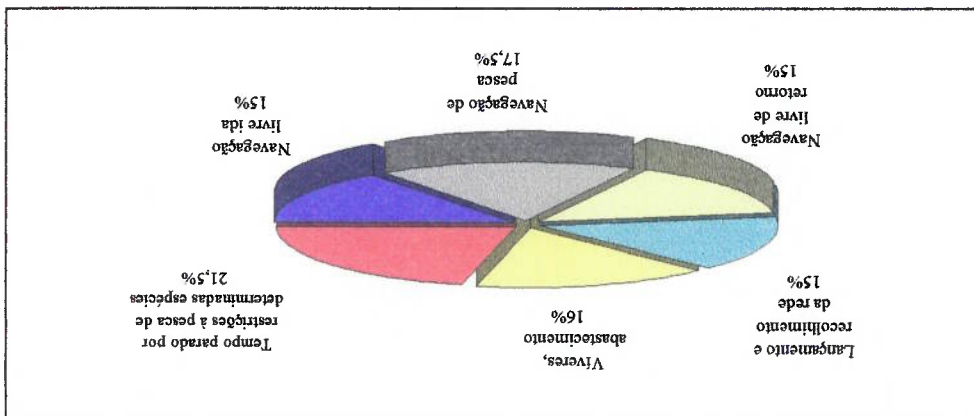


Figura 7.1 - Perfil operativo da embarcação "SIMA"

Tabela 7.1 - Parâmetros do casco do pesqueiro "SIMA"

PARÂMETROS DO CASCO	ROTA DE IDA	ROTA DE PESCA	ROTA DE RETORNO
Comprimento total	37,30	37,30	37,30
Comprimento da linha d'água	33,50	34,50	34,70
Comprimento entre perpendiculares	32,40	32,40	32,40
Boca molhada	8,70	9,00	9,20
Calado de proa	3,00	3,20	3,60
Calado de popa	3,30	4,00	4,40
Posição longitudinal do centro de carena (% L a popa l/2L)	-1,10	-3,30	-4,10
Superfície de apêndices	25	25	25
Deslocamento, em ton	320	455	595
Coefficiente de bloco	0,34	0,40	0,45
Coefficiente prismático	0,55	0,58	0,62
Coefficiente da seção mestra	0,58	0,62	0,65
Area da seção mestra	17,85	21,90	26,80
Coefficiente de área na linha d'água	0,76	0,80	0,82
Volume do porão	350	350	350
Porcentagem da carga (%)	0,0	50	100
Area da seção do bulbo	4,50	4,50	4,50
Distância do centro do bulbo à linha base	2,05	2,05	2,05
Area lateral projetada	60	60	60
Area transversal projetada	47,50	47,50	47,50

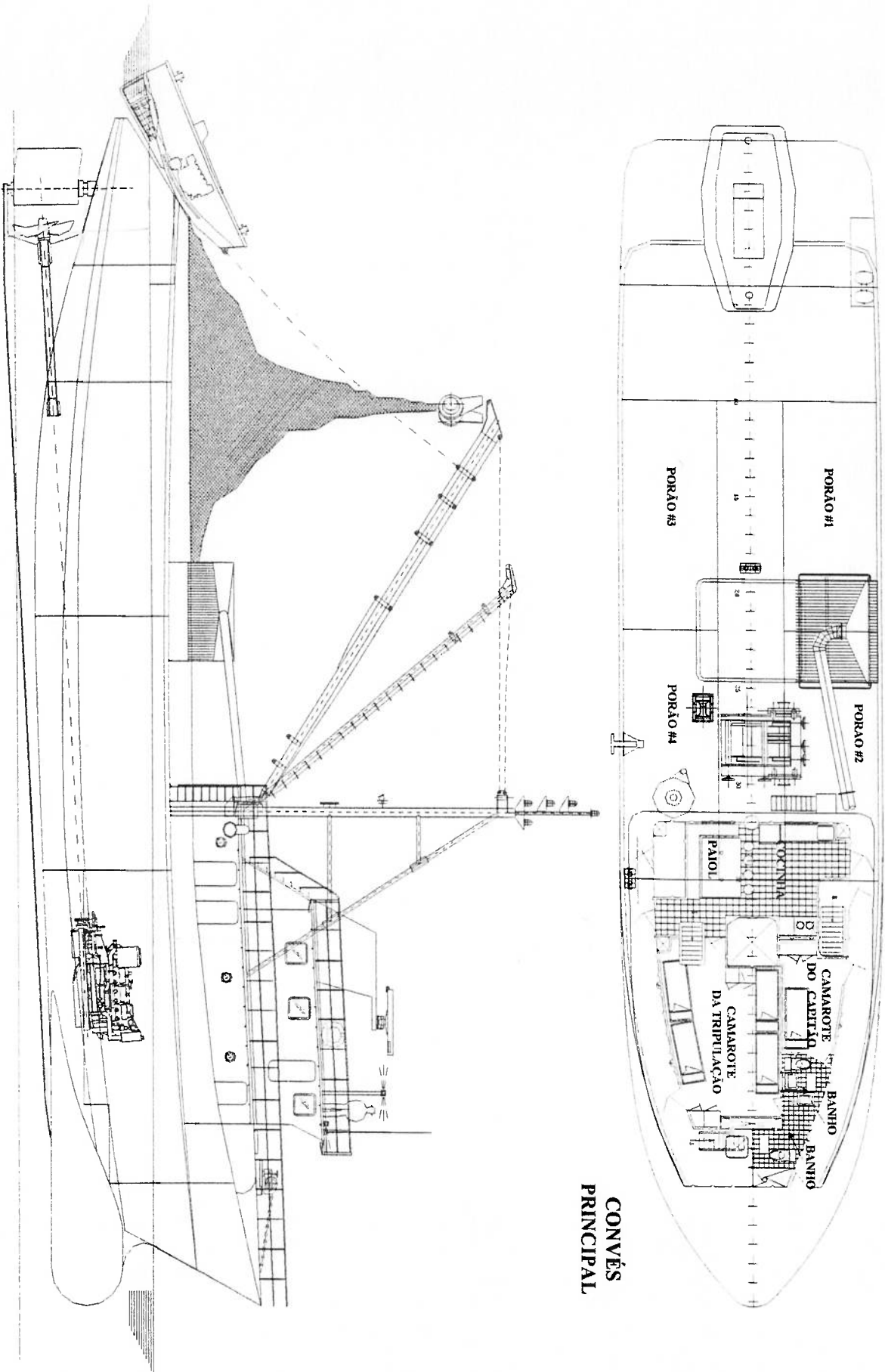


Figura 7.2 - Arranjo geral do navio "SIMA"

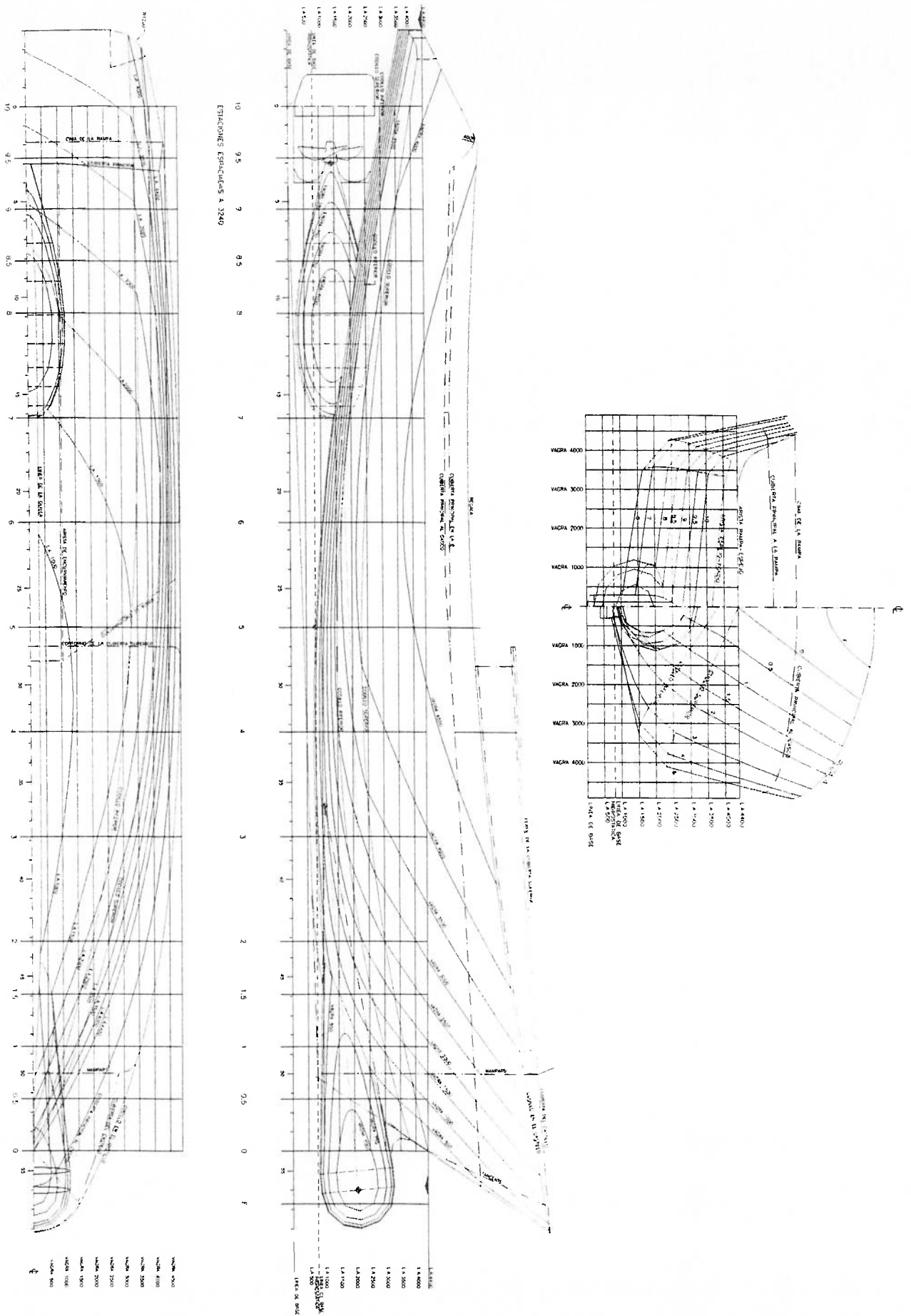


Figura 7.3 - Plano de linhas do navio "SIMA"

Tabela 7.2 - Parâmetros do propulsor e motor do pesqueiro "SIMA"

PARÂMETROS DO PROPULSOR	
Dímetro	1,96
Número de pás	4
Razão passo-dímetro	0,75
Razão área expandida-área do disco	0,70
Número de propulsores	1
Série sistemática	B-Troost
PARÂMETROS DO MOTOR	
Marca e modelo	Caterpillar-D398
Potência contínua, em kW	634
RPM máxima (100% MCR)	1225
RPM mínima	800
Redutor	3,95:1

Tabela 7.3 - Parâmetros de pesca do navio "SIMA"

PARÂMETROS DE PESCA	
Velocidade de saída do porto, em nós	11,00
Velocidade média durante a pesca, em nós	8,0
Velocidade de retorno ao porto, em nós	10,50
Milhas navegadas do porto de saída à zona pesca	60
Milhas navegadas na zona de pesca	50
Milhas navegadas da zona pesca ao porto de retorno	70
Tipo de pesca	Cerco
Porto de saída	Chumbote
Porto de retorno	Salaverry

Tabela 7.4 - Parâmetros de rugosidade do pesqueiro "SIMA"

PARÂMETROS DE RUGOSIDADE			
SITUAÇÃO 1	SITUAÇÃO 2	SITUAÇÃO 3	
NOVO	6 anos	12 anos	
180 µm	3 docagens	6 docagens	
NOVO	6 anos	12 anos	
30 µm	3 docagens	6 docagens	
	6 anos	12 anos	
	3 docagens	6 docagens	polimento ano 10

Tabela 7.5 - Utilização de refrigeração do pesqueiro "SIMA"

REFRIGERAÇÃO			
ROTA DE	OFF	ON	
IDA	ROTA DE	ON	
ROTA DE	PESCA	ON	
RETORNO	ROTA DE	ON	

Tabela 7.6 - Condições ambientais do pesqueiro "SIMA"

CONDICÕES AMBIENTAIS	SITUAÇÃO 1	SITUAÇÃO 2	SITUAÇÃO 3
Rota de ida	Beaufort 2	Beaufort 3	Beaufort 3
Rota de pesca	Beaufort 2	Beaufort 4	Beaufort 4
Rota de retorno	Beaufort 2	Beaufort 5	Beaufort 5

A tabela 7.7 mostra o desempenho do navio "SIMA" em condições de prova de mar (situação 1).

Os resultados referentes à situação 2 estão na tabela 7.8. Observa-se um incremento no consumo de combustível em relação à situação anterior ao redor do 23%. Isto é razoável, pois na situação 1 não se consideram efeitos do casco e do hélice, as condições ambientais são mais brandas (Beaufort 2), e não se utiliza equipamento de refrigeração.

Tabela 7.7 - Resultados do navio "SIMA" em condições de prova de mar

SISTEMA ORIGINAL			
Casco: "Purse Seiner"			
Condição: Situação 1			
PARÂMETRO			
ROTA	IDA	PESCA	RETORNO
Potência efetiva, em KW	162,59	59,56	270,02
Potência no eixo, em KW	257,60	94,73	490,51
Eficiência do hélice	0,638	0,638	0,570
Eficiência propulsiva	0,632	0,629	0,550
Rotação do motor, em RPM	1024	740	1195
Rotação do hélice, em RPM	259	187	302
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	17,78	7,99	32,47
Consumo de combustível, em galões/milha	1,62	1,00	3,09
Consumo total de combustível, em galões	96,98	49,91	216,46
Numero de viagens aproximados ao ano	169		
Consumo total por ano, em US\$	110529		

Na situação 2 testa-se um novo hélice, porém ainda de passo fixo. Os resultados para o propulsor original e o novo são apresentados na tabela 7.8 e 7.9, respectivamente. Na tabela 7.10, apresenta-se a comparação destes resultados.

Observa-se um pequeno ganho ao se substituir o propulsor. No entanto, este ganho não justifica economicamente a sua troca. Indica, porém, uma tendência do aumento do consumo de combustível, caso não se efetue a substituição do propulsor nos anos seguintes.

O aumento do consumo é devido principalmente ao incremento da resistência ao avanço, ocasionada pelo aumento da rugosidade do casco com o tempo, principalmente, e não pela perda de eficiência do hélice devido à sua rugosidade, já que se supõe que seja efetuado um polimento.

Tabela 7.8 - Resultados do navio "SMA" na situação 2 com o propulsor original

SISTEMA ORIGINAL			
Casco: "Purse Seiner"			
Condição: Situação 2			
PARÂMETRO			
IDA	PESCA	RETORNO	
186,56	80,35	301,15	Potência efetiva, em KW
305,69	180,66	613,65	Potência no eixo, em KW
0,615	0,601	0,548	Eficiência do hélice
0,610	0,592	0,530	Eficiência propulsiva
1061	801	1236	Rotação do motor, em RPM
269	203	313	Rotação do hélice, em RPM
60	50	70	Distância, em milhas
20,67	14,48	40,62	Consumo de combustível, em galões/hora
1,88	1,81	3,87	Consumo de combustível, em galões/milha
112,77	90,48	270,80	Consumo total de combustível, em galões
			Número de viagens aproximados ao ano
			Consumo total por ano, em US\$
		144206	

Na figura 7.4 observam-se os custos de combustível para ambos sistemas na situação 2. As porcentagens de gastos com combustível são mostradas por condição de operação na rota. Podemos verificar as componentes do sistema original e do sistema novo em valores absolutos e porcentagens.

Os resultados da tabela 7.10 indicam um ganho de 1,70 % no consumo total de combustível, quantidade que não é significativa para recomendar a troca do sistema.

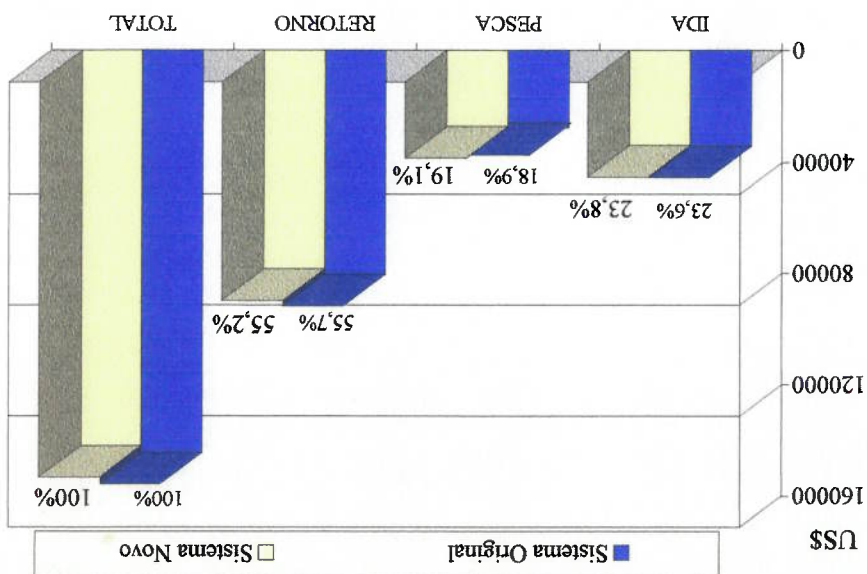
Tabela 7.9 - Resultados do navio "SIMA" na situação 2 com novo propulsor de passo fixo

SISTEMA NOVO			
de passo fixo			
Casco: "Purse Seiner"			
Condição: Situação 2			
PARÂMETRO			
ROTA	IDA	PESCA	RETORNO
Potência efetiva, em KW	186,56	80,35	301,15
Potência no eixo, em KW	301,91	178,42	598,29
Eficiência do hélice	0,623	0,611	0,563
Eficiência propulsiva	0,618	0,602	0,544
Rotação do motor, em RPM	1051	793	1225
Rotação do hélice, em RPM	266	201	310
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	20,53	14,40	39,60
Consumo de combustível, em galões/milha	1,87	1,80	3,77
Consumo total de combustível, em galões	112,00	89,98	264,02
Consumo total por ano, em US\$	141759	141759	141759

Tabela 7.10 - Comparação de consumos de combustível do navio "SIMA" na situação 2 entre o propulsor original e o novo propulsor de passo fixo

COMPARAÇÃO			
NOVO PROPULSOR			
Tipo de Propulsor	Dímetro	P/D	Ae/Ao
Passo fixo (B-Troost)	2,02	0,70	0,50
Z			4
Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$	144206		
Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$	141759		
Número de viagens ao ano	169		
Economia de combustível na rota de ida, em US\$	234		
Economia de combustível na rota de pesca, em US\$	151		
Economia de combustível na rota de retorno, em US\$	2061		
O "pay back"			não é viável
Custo do novo sistema, em US\$			18000
Taxa de juros anual			12 %

Figura 7.4 - Comparação de gastos de combustível na situação 2 com o propulsor original e o novo propulsor de passo fixo



Para a situação 3, além do análise do propulsor de passo fixo, é considerada a utilização de um propulsor de passo controlável. Os resultados do sistema original são apresentados na tabela 7.11, e dos novos sistemas nas tabelas 7.12 e 7.14.

Os resultados do sistema original apresentam uma sobrecarga no motor instalado na rota de retorno, ocasionada pelo aumento da resistência ao avanço devido ao incremento da rugosidade do casco e à perda de eficiência do propulsor. O incremento da eficiência do propulsor novo de passo fixo, com relação ao original, é de 5,5%. Este aumento é percebido na diminuição do custo total de combustível, da ordem de 5% como é visto na tabela 7.13 e figura 7.5. O decréscimo maior se apresenta na rota de retorno, pelo fato de o novo propulsor ser projetado para essa condição.

O ganho do combustível possibilita o retorno do investimento do novo propulsor de passo fixo em apenas 3 anos, seu custo é de aproximadamente \$18000 dólares.

Tabela 7.11 - Resultados do navio "SIMA" na situação 3 com o propulsor original

SISTEMA ORIGINAL			
Casco: "Purse Seiner"			
Condição: Situação 3			
PARAMETRO			
Potência efetiva, em KW	199,43	85,70	314,02
Potência no eixo, em KW	342,64	196,56	662,81
Eficiência do hélice	0,587	0,573	0,526
Eficiência propulsiva	0,582	0,565	0,508
Rotação do motor, em RPM	1081	815	1254
Rotação do hélice, em RPM	274	206	317
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	22,92	15,58	43,87
Consumo de combustível, em galões/milha	2,08	1,95	4,18
Consumo total de combustível, em galões	125	97,38	292,49
Número de viagens aproximados ao ano	169	169	169
Consumo total por ano, em US\$	156637	156637	156637
ROTA			
IDA	PESCA	RETORNO	

Tabela 7.12 - Resultados do navio "SIMA" na situação 3 com o novo propulsor de passo fixo

SISTEMA NOVO 1			
Casco: "SIMA", "Purse Seiner"			
Condição: Situação 3			
PARAMETRO			
Potência efetiva, em KW	199,43	85,70	314,02
Potência no eixo, em KW	325,10	188,50	624,48
Eficiência do hélice	0,619	0,606	0,561
Eficiência propulsiva	0,613	0,597	0,542
Rotação do motor, em RPM	1057	798	1225
Rotação do hélice, em RPM	267	202	310
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	22,04	15,13	41,34
Consumo de combustível, em galões/milha	2,00	1,89	3,94
Consumo total de combustível, em galões	120,21	94,59	275,58
Número de viagens aproximados ao ano	169	169	169
Consumo total por ano, em US\$	149174	149174	149174
ROTA			
IDA	PESCA	RETORNO	

Tabela 7.13 - Comparação de consumos de combustível do navio "SIMA" na situação 3 entre o propulsor original e com propulsor de passo fixo

COMPARAÇÃO	
156637	Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$
149174	Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$
169	Número de viagens ao ano
1469	Economia de combustível na rota de ida, em US\$
849	Economia de combustível na rota de pesca, em US\$
5145	Economia de combustível na rota de retorno, em US\$
3 anos	O "pay back"
18000	Custo do novo sistema, em US\$
12 %	Taxa de juros anual
NOVO PROPULSOR	
<i>Z</i>	<i>Diâmetro</i>
4	2,05
	<i>P/D</i>
	0,69
	<i>Ae/Ao</i>
	0,50
	<i>Passo Fixo(B-Troot)</i>
	4

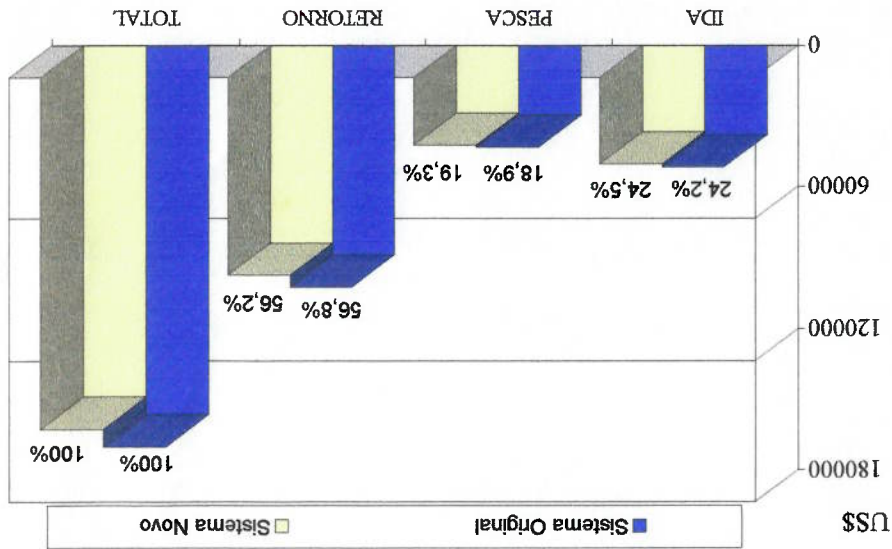


Figura 7.5 - Comparação de gastos de combustível na situação 3 entre o propulsor original e o novo propulsor de passo fixo

Outro sistema testado na situação 3 foi o propulsor de passo controlável, apresentado na tabela 7.14. O ganhos deste sistema não são tão expressivos, devido ao propulsor trabalhar nas rotações nominais para as três rotas, e ao passo ser projetado para a condição de retorno ao porto. As rotações e o diâmetro estão fixados, havendo daí uma queda da eficiência do propulsor. Além disso, o alto custo deste propulsor não viabiliza a troca.

Tabela 7.14 - Resultados do navio "SIMA" na situação 3 com o novo propulsor de passo controlável

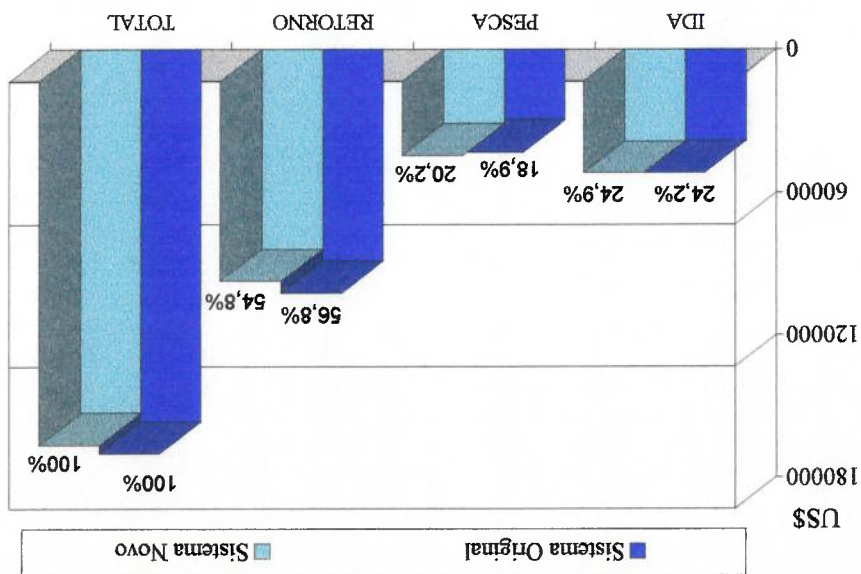
SISTEMA NOVO 2			
Casco: "Purse Seiner"			
Condição: Situação 3			
PARÂMETRO			
ROTA		IDA	PESCA
RETORNO			
Potência efetiva, em KW	314,12	199,42	85,69
Potência no eixo, em KW	624,43	347,54	245,86
Eficiência do hélice	0,561	0,579	0,433
Eficiência propulsiva	0,542	0,574	0,427
Rotação do motor, em RPM	1225	1225	1225
Rotação do hélice, em RPM	310	310	310
Distância, em milhas	70	60	50
Consumo de combustível, em galões/hora	41,33	23,00	16,27
Consumo de combustível, em galões/milha	3,94	2,09	2,03
Consumo total de combustível, em galões	275,56	125,48	101,72
Consumo total por ano, em US\$	152938	169	152938

A comparação dos consumos entre o hélice original e o propulsor de passo controlável são mostrados na tabela 7.15 e na figura 7.6. O ganho total é da ordem de 2,5%, porém poderia aumentar significativamente se se trabalhasse em regiões de menor consumo do motor.

Tabela 7.15 - Comparação de consumos de combustível do navio "SIMA" na situação 3 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável

COMPARAÇÃO			
Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$		Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$	
156637	152938	169	152938
Número de viagens ao ano			
Economia de combustível na rota de ida, em US\$		Economia de combustível na rota de pesca, em US\$	
-133		-1319	
Economia de combustível na rota de retorno, em US\$		Economia de combustível na rota de retorno, em US\$	
5152		5152	
O "pay back"		Taxa de juros anual	
Custo do novo sistema, em US\$		Custo do novo sistema, em US\$	
80,000		80,000	
12 %		12 %	
NOVO SISTEMA			
Tipo de Propulsor		Diâmetro	
Controlável(B-Troost)		2,05	
P/D		Ae/Ao	
0,56-0,37-0,68		0,50	
Z		4	

Figura 7.6 - Comparação de gastos de combustível na situação 3 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável



Outra embarcação utilizada para o teste foi o navio de arrasto canadense "Eastward-Ho" que opera na costa oeste de Canadá.

Esta embarcação apresenta suas dimensões principais e seu sistema propulsivo descritos nas tabelas 7.16 e 7.17, respectivamente. Este casco somente foi avaliado na condição de deslocamento carregado para as rotas de navegação, de ida, de pesca e de retorno, nas velocidades apresentadas na tabela 7.18.

O navio "Eastward-Ho" foi testado em duas situações de rugosidade, como mostra a tabela 7.19. Adicionalmente, considerou-se a possibilidade de se utilizar sistema de refrigeração, e a ocorrência de condições ambientais ao longo de cada rota, segundo o apresentado nas tabelas 7.20 e 7.21, respectivamente.

Este navio possui um propulsor de passo fixo. Para as duas condições de rugosidade, avaliaram-se propulsores de passo controlável, utilizando a série sistemática B-Troost, e de passo fixo com duto 19A, utilizando a série Kaplan.

O arranjo geral desta embarcação é mostrado na figura 7.7.

Tabela 7.16 - Parâmetros do casco do navio "Eastward-Ho"

PARÂMETROS DO CASCO	
Comprimento total	33,48
Comprimento da linha d'água	30,40
Comprimento entre perpendiculares	29,30
Boca molhada	8,70
Calado de proa	3,25
Calado de popa	3,25
Posição longitudinal do centro de carena (% L a popa 1/2L)	-4,10
Superfície de apêndices	25
Deslocamento em ton	402
Coefficiente de bloco	0,45
Coefficiente prismático	0,59
Coefficiente da seção mestra	0,77
Área da seção mestra	21,94
Coefficiente de área na linha d'água	0,78
Área do plano na linha d'água	206,8
Trim	0,0
Área lateral projetada	50
Área transversal projetada	40,50

Tabela 7.17 - Parâmetros do motor e do hélice do navio "Eastward-Ho"

PARÂMETROS DO PROPULSOR	
Diâmetro	2,08
Número de pás	4
Razão passo-diâmetro	0,68
Razão área expandida-área do disco	0,70
Número de propulsores	1
Série Sistemática	B-Troost
PARÂMETROS DO MOTOR	
Marca e modelo	Caterpillar-D398
Potência contínua, em KW	634
RPM máxima (100% MCR)	1225
RPM mínima	800
Redutor	3,95:1

Tabela 7.18 - Parâmetros de pesca do navio "Eastward-Ho"

PARÂMETROS DE PESCA	
Velocidade de saída do porto, em nós	11,50
Velocidade média durante a pesca, em nós	3,0
Velocidade de retorno ao porto, em nós	11,50
Milhas navegadas do porto de saída à zona de pesca	60
Milhas navegadas na zona de pesca	50
Milhas navegadas da zona de pesca ao porto de retorno	70
Tipo de pesca	Atrasto

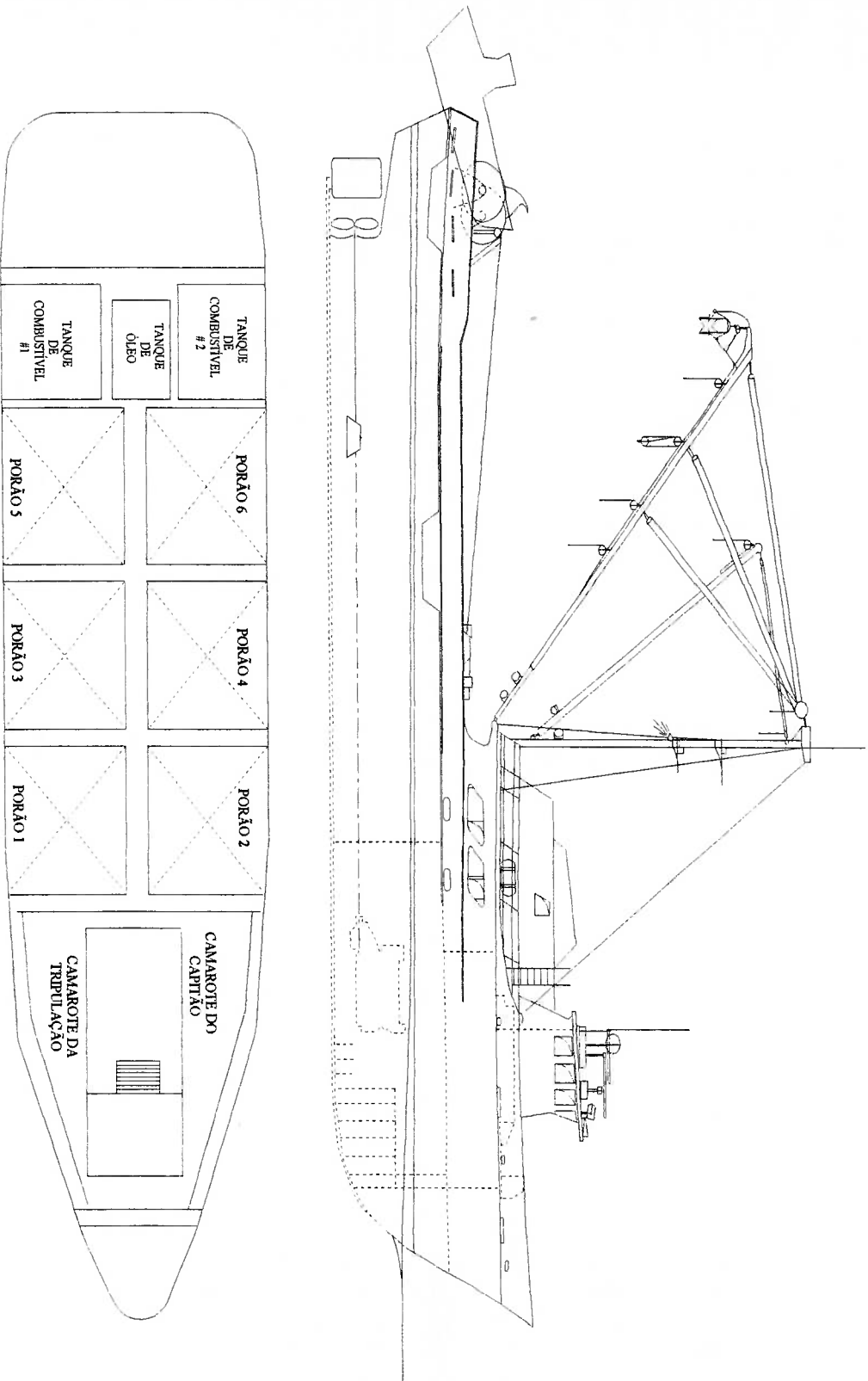


Figura 7.7 - Arranjo geral do navio pesqueiro "Eastward-Ho"

Tabela 7.19 - Parâmetros de rugosidade do navio "Eastward-Ho"

PARÂMETROS DE RUGOSIDADE	SITUAÇÃO 1		SITUAÇÃO 2	
	6 anos	3 docagens	12 anos	6 docagens
Casco	6 anos	3 docagens	12 anos	6 docagens
Hélice	6 anos	3 docagens	12 anos	6 docagens
	polimento ano 4		polimento ano 4	

Tabela 7.20 - Utilização de refrigeração do navio "Eastward-Ho"

REFRIGERAÇÃO	OFF	ON	ON
	ROTA DE IDA	ROTA DE PESCA	ROTA DE RETORNO

Tabela 7.21 - Condições ambientais do navio "Eastward-Ho"

CONDIÇÕES AMBIENTAIS	SITUAÇÃO 1			SITUAÇÃO 2		
	Beaufort 3	Beaufort 4	Beaufort 5	Beaufort 3	Beaufort 4	Beaufort 5
Rota de ida						
Rota de pesca						
Rota de retorno						

Na situação 1, o navio de arrasto "Eastward-Ho" foi testado com dois tipos de propulsores: propulsor com duto e propulsor de passo controlável. Os resultados do sistema original e dos sistemas avaliados são mostrados nas tabelas 7.22, 7.23 e 7.25.

Na comparação dos resultados entre o propulsor original e o propulsor com duto, apresentados na tabela 7.24, nota-se o seguinte:

- para as condições de navegação de ida e de retorno o consumo do combustível aumenta ligeiramente, uma vez que este propulsor em geral é menos eficiente que o propulsor de passo fixo para a condição de corrida livre;

- ao contrário do visto acima, na condição de arrasto, condição de projeto do novo propulsor, apresenta-se um ganho considerável, da ordem de 12,0%, como mostra a tabela 7.24 e a figura 7.8.

Tabela 7.22 - Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor original

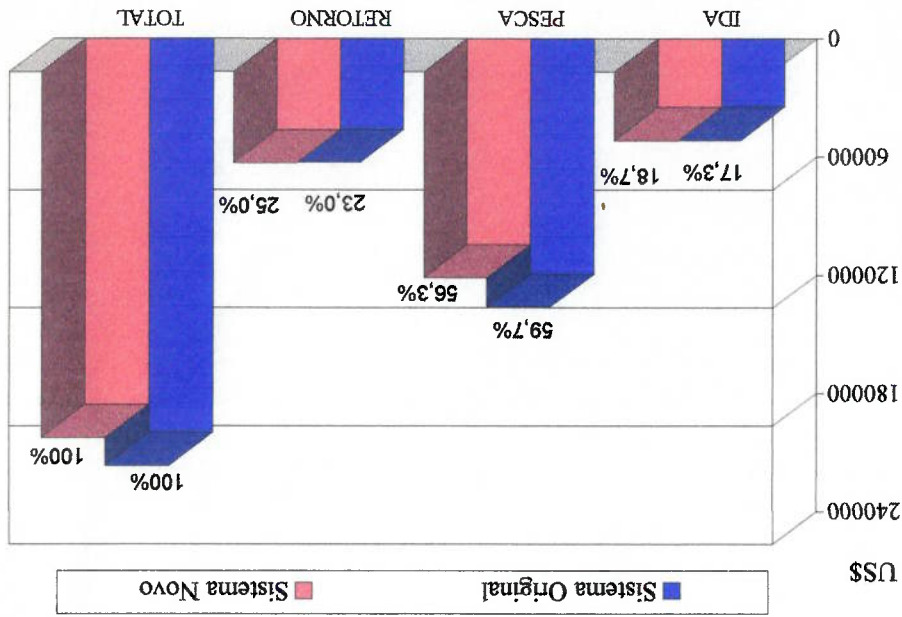
SISTEMA ORIGINAL			
Casco: "Trawler"			
Condição: Situação 1			
PARÂMETRO			
Potência efetiva, em KW	248,53	81,31	256,64
Potência no eixo, em KW	421,16	415,29	481,55
Eficiência do hélice	0,577	0,225	0,575
Eficiência propulsiva	0,590	0,222	0,588
Rotação do motor, em RPM	1148	940	1158
Rotação do hélice, em RPM	291	238	293
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	27,88	30,13	31,88
Consumo de combustível, em galões/milha	2,42	10,04	2,77
Consumo total de combustível, em galões	145,45	502,16	194,02
Número de viagens aproximados ao ano	132	132	132
Consumo total por ano, em US\$	199972	199972	199972
ROTA			
IDA	PESCA	RETORNO	

Tabela 7.23 - Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor com duto

SISTEMA NOVO 1			
Casco: "Trawler"			
Condição: Situação 1			
PARÂMETRO			
Potência efetiva, em KW	248,53	81,31	256,64
Potência no eixo, em KW	424,62	395,94	485,20
Eficiência do hélice	0,572	0,237	0,570
Eficiência propulsiva	0,585	0,232	0,583
Rotação do motor, em RPM	1212	1086	1225
Rotação do hélice, em RPM	307	275	310
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	28,11	26,42	32,12
Consumo de combustível, em galões/milha	2,44	8,81	2,79
Consumo total de combustível, em galões	146,65	440,30	195,50
Número de viagens aproximados ao ano	132	132	132
Consumo total por ano, em US\$	185906	185906	185906
ROTA			
IDA	PESCA	RETORNO	

O propulsor de passo controlável também foi testado na situação 1. Os resultados são apresentados na tabela 7.25, e indicam, ao contrário do propulsor com duto, um ganho para as três rotas, isto se deve ao incremento da eficiência do

Figura 7.8 - Comparação de gastos de combustível na situação 1 do navio "Eastward-Ho" entre o propulsor original e o sistema hélice-duto



Os custos para cada rota são apresentados na figura 7.8 e mostram um ganho no custo total de combustível, uma vez instalado um hélice com duto 19A.

COMPARAÇÃO			
Tipo de Propulsor	Dímetro	P/D	Ae/Ao - Duto
Hélice-Duto (Kaplan)	1,61	1,15	0,70 - 19A
Z			4
Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$			
199972			
Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$			
185906			
Número de viagens ao ano			
132			
Economia de combustível na rota de ida, em US\$			
-284			
Economia de combustível na rota de pesca, em US\$			
14699			
Economia de combustível na rota de retorno, em US\$			
-350			
O "pay back"			
Custo do novo sistema, em US\$			
30400			
2 anos 7 meses			
Taxa de juros anual			
12 %			

Tabela 7.24 - Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 1, entre o propulsor original e o propulsor com duto

propulsor, destacando-se as condições de navegação de ida e de retorno, cujas eficiências estão perto do 60%. Há um decréscimo de eficiência no caso do hélice de passo controlável em relação ao hélice com duto de cerca de 8% nesta condição de arrasto.

Tabela 7.25 - Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 1 com o propulsor de passo controlável

SISTEMA NOVO 2			
Casco: "Trawler"			
Condição: Situação 1			
PARAMETRO			
ROTA		IDA	PESCA
RETORNO			
Potência efetiva, em KW	248,52	81,30	256,63
Potência no eixo, em KW	403,16	424,05	463,61
Eficiência do hélice	0,603	0,220	0,599
Eficiência propulsiva	0,616	0,214	0,613
Rotação do motor, em RPM	1225	1225	1225
Rotação do hélice, em RPM	310	310	310
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	26,69	28,07	30,69
Consumo de combustível, em galões/milha	2,32	9,36	2,67
Consumo total de combustível, em galões	139,24	467,83	186,80
Número de viagens aproximados ao ano	132		
Consumo total por ano, em US\$	188622		

Tabela 7.26 - Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 1 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável

COMPARAÇÃO			
Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$		Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$	
19972	188622	132	
Número de viagens ao ano			
Economia de combustível na rota de ida, em US\$		Economia de combustível na rota de pesca, em US\$	
1477	8157	1717	
Economia de combustível na rota de retorno, em US\$		O "pay back"	
1717	81600	Custo do novo sistema, em US\$	
Taxa de juros anual		Taxa de juros anual	
12 %		12 %	
NOVO PROPULSOR			
Tipo de Propulsor	Diâmetro	P/D	Ae/Ao
Controlável(B-Troost)	1,89	0,75-0,59-0,75	0,50
Z			4

Se é certo que o propulsor de passo controlável seja mais eficiente e proporcione um ganho considerável, é também muito custoso. O tempo de retorno não é muito alto (17 anos), o que desanima o armador em alguns casos a utilizá-lo. A comparação de custos para este sistema é mostrado na figura 7.9.

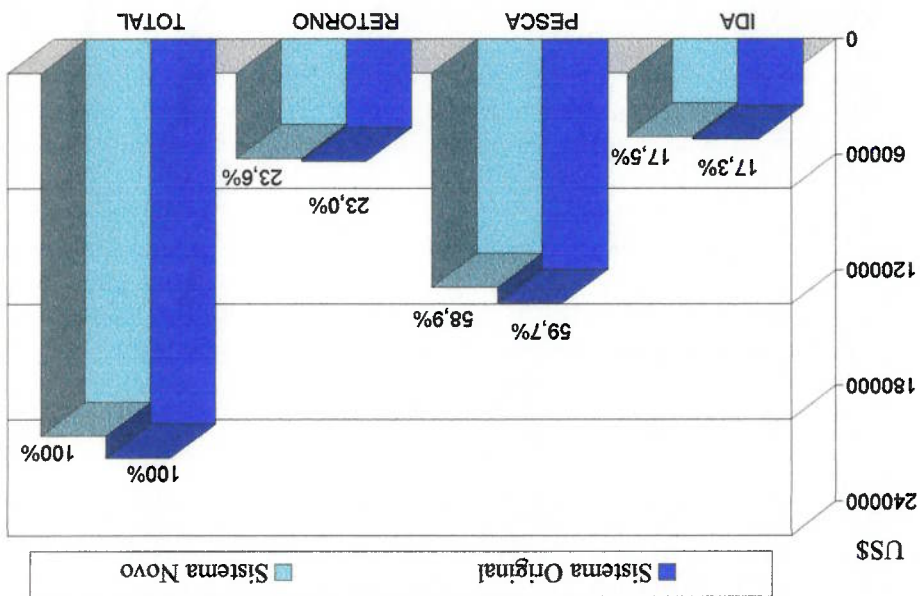


Figura 7.9 - Comparação de gastos de combustível na situação 1 do navio "Eastward-Ho" entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável

Na situação 2 também são testados os mesmos tipos de propulsores. O primeiro é o propulsor 4-70 da série Kaplan com duto Kort 24. Este propulsor apresenta um pior desempenho que o propulsor 4-70 com o duto 19A; os incrementos de eficiência são menores e os consumos se incrementam, especialmente nas condições de corrida livre. Na condição de arrasto, condição de projeto deste propulsor, apresenta-se um ganho de 13%, e para as condições de navegação de ida e de retorno, os incrementos no consumo chegam a perto de 5%. Os resultados do sistema original e do hélice com duto estão apresentados nas tabelas 7.27 e 7.28.

Tabela 7.27 - Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 2 com o sistema original

SISTEMA ORIGINAL			Casco: "Trawler"		
Condição: Situação 2			PARÂMETRO		
269,98	81,54	261,87	Potência efetiva, em KW	471,04	261,87
532,22	427,50	471,04	Potência no eixo, em KW	0,543	471,04
0,542	0,218	0,543	Eficiência do hélice	0,556	0,543
0,554	0,213	0,556	Eficiência propulsiva	1164	1164
1174	940	1164	Rotação do motor, em RPM	295	295
297	238	295	Rotação do hélice, em RPM	60	60
70	50	60	Distância, em milhas	31,18	31,18
35,23	30,99	31,18	Consumo de combustível, em galões/hora	2,71	2,71
3,06	10,33	2,71	Consumo de combustível, em galões/milha	162,68	162,68
214,44	516,54	162,68	Consumo total de combustível, em galões	132	132
			Numero de viagens aproximados ao ano	212334	212334
			Consumo total por ano, em US\$		
ROTA	IDA	RETORNO			
	PESCA	RETORNO			

7.28 - Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 2 com o propulsor com duto

SISTEMA NOVO 1			Casco: "Trawler"		
Condição: Situação 2			PARÂMETRO		
269,97	81,54	261,86	Potência efetiva, em KW	497,71	261,86
558,23	392,77	497,71	Potência no eixo, em KW	0,514	497,71
0,514	0,240	0,514	Eficiência do hélice	0,526	0,514
0,526	0,234	0,526	Eficiência propulsiva	1212	1212
1225	1031	1212	Rotação do motor, em RPM	307	307
310	261	307	Rotação do hélice, em RPM	60	60
70	50	60	Distância, em milhas	32,95	32,95
36,95	27,00	32,95	Consumo de combustível, em galões/hora	2,86	2,86
3,21	9,00	2,86	Consumo de combustível, em galões/milha	171,89	171,89
224,92	450,07	171,89	Consumo total de combustível, em galões	132	132
			Numero de viagens aproximados ao ano	201219	201219
			Consumo total por ano, em US\$		
ROTA	IDA	RETORNO			
	PESCA	RETORNO			

A tabela 7.29 e figura 7.10 demonstram os ganhos e perdas para cada rota de navegação.

Tabela 7.29 - Comparação de consumos de combustível do navio "Eastward-Ho" na situação 2 entre o propulsor original e o propulsor com duto

COMPARAÇÃO	
Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$	212334
Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$	201219
Número de viagens ao ano	132
Economia de combustível na rota de ida, em US\$	-2189
Economia de combustível na rota de pesca, em US\$	15794
Economia de combustível na rota de retorno, em US\$	-2490
O "pay back"	3 anos 6 meses
Custo do novo sistema, em US\$	30400
Taxa de juros anual	12 %
NOVO PROPULSOR	
Tipo de Propulsor	Hélice-Duto (Kaplan)
Diâmetro	1,61
P/D	1,26
Ae/Ao - Duto	0,70 - 19A
Z	4

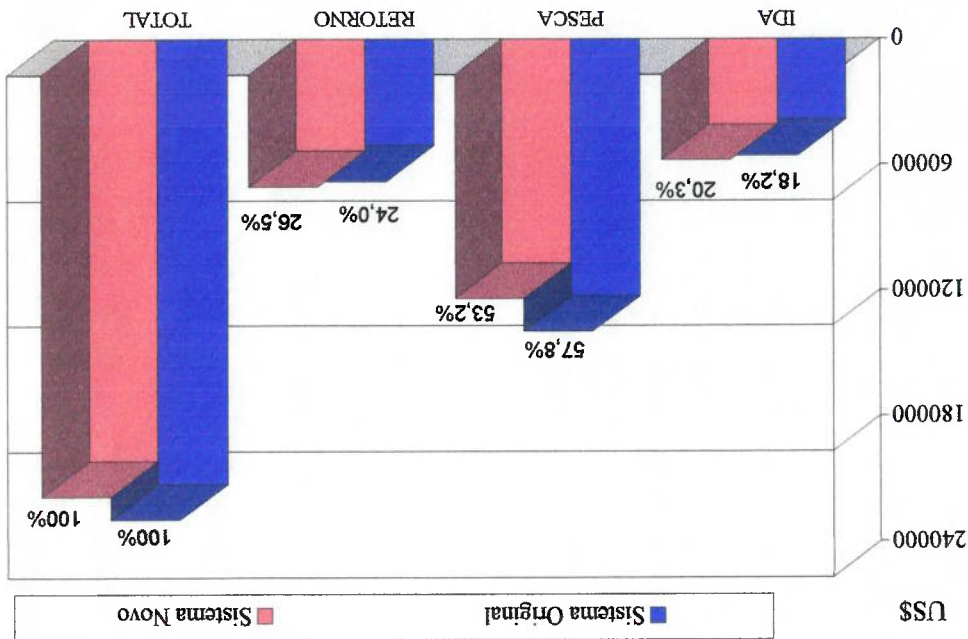


Figura 7.10 - Comparação de gastos de combustível na situação 2 do navio "Eastward-Ho" entre o propulsor original e o sistema hélice-duto

O segundo sistema avaliado na situação 2, é um propulsor de passo controlável. Os ganhos de eficiência e no consumo de combustível neste sistema são também bastante significativos para as três rotas de navegação. Os incrementos de eficiência do propulsor para as rotas de navegação livre chegam a perto de 10%, enquanto na rota de arrasto só a 2%. A diferença significativa do consumo de

combustível para a condição de pesca se deve, principalmente, a que o propulsor trabalha em uma zona de maior consumo de combustível. Além disso, a eficiência do propulsor nessa condição é menor que utilizando um propulsor com duto.

Tabela 7.30 - Resultados do navio "Eastward-Ho" na situação 2 com o propulsor de passo controlável

SISTEMA NOVO 2			
Casco: "Trawler"			
Condição: Situação 2			
PARÂMETRO			
ROTA	IDA	PESCA	RETORNO
Potência efetiva, em KW	261,86	81,54	269,97
Potência no eixo, em KW	427,04	423,02	487,60
Eficiência do hélice	0,599	0,221	0,596
Eficiência propulsiva	0,613	0,216	0,610
Rotação do motor, em RPM	1225	1225	1225
Rotação do hélice, em RPM	310	310	310
Distância, em milhas	60	50	70
Consumo de combustível, em galões/hora	28,27	28,0	32,28
Consumo de combustível, em galões/milha	2,46	9,33	2,81
Consumo total de combustível, em galões	147,48	466,70	196,47
Consumo total por ano, em US\$			192608
Número de viagens aproximados ao ano			132

Tabela 7.31 - Comparação de consumos de combustíveis do navio "Eastward-Ho" na situação 2 entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável

COMPARAÇÃO			
Estima do consumo de combustível com sistema original, em US\$	Estima do consumo de combustível com sistema novo, em US\$		
212334	192608	Número de viagens ao ano	
3610		Economia de combustível na rota de ida, em US\$	
11845		Economia de combustível na rota de pesca, em US\$	
4271		Economia de combustível na rota de retorno, em US\$	
6 anos		O "pay back"	
81600		Custo do novo sistema, em US\$	
12 %		Taxa de juros anual	
NOVO PROPULSOR			
Tipo de Propulsor	Diâmetro	P/D	Ae/Ao
Controlável (B-Troost)	1,91	0,75-0,58-0,75	0,50
Z			4

O retorno do investimento é bastante promissor para este navio, já que, embora o custo seja alto com relação a um propulsor com duto (aproximadamente 3 vezes maior) o tempo de retorno de 6 anos é razoável.

O consumo e ganho de combustível para cada rota é mostrado na tabela 7.31 e na figura 7.11.

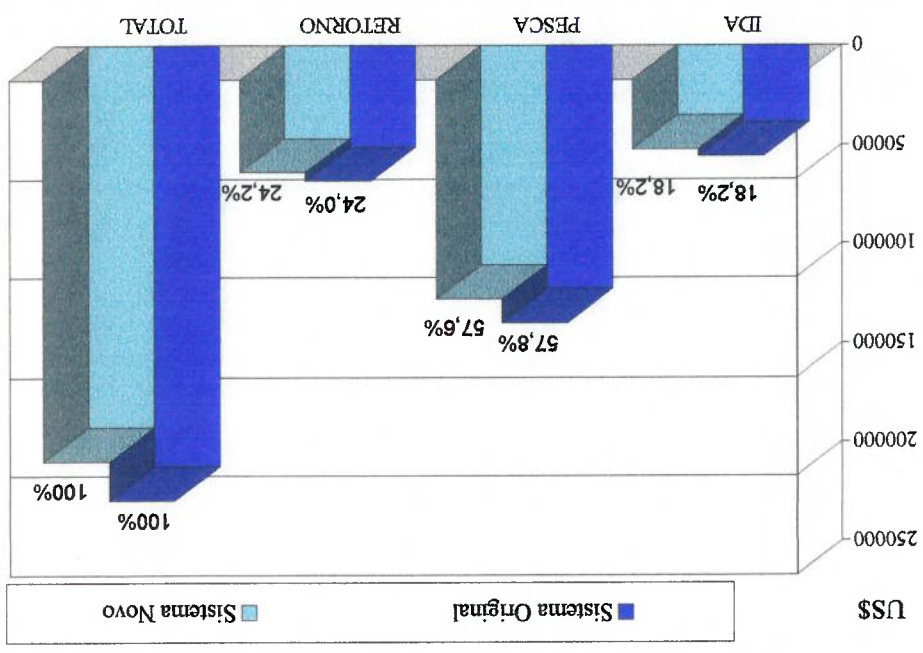


Figura 7.11 - Comparação de gastos de combustível na situação 2 do navio "Eastward-Ho" entre o propulsor original e o propulsor de passo controlável

7.2 ANALISE DE RESULTADOS

1. Para navios que praticam o método de cerco, apresentam-se as seguintes considerações:

A utilização do hélice de passo fixo é recomendável pelos seguintes motivos:

a. O custo inicial de aquisição é relativamente baixo em comparação com outros tipos de propulsores.

- b. O custo de renovação é baixo, em caso de substituição por outro do mesmo tipo.
- c. Devido a estas embarcações operarem com carregamentos moderados, estes propulsores obtêm altas eficiências (ao redor de 60%) para as condições de navegação livre.

d. Seu custos de manutenção são baixos.

e. O tempo recomendável para a substituição depende principalmente dos métodos e materiais utilizados na manutenção do casco e do hélice durante os trabalhos de docagens, para conseguir diminuir o incremento da resistência devido à rugosidade do casco e a perda de eficiência devida à rugosidade do hélice.

f. É necessário projetar o propulsor com margens apropriadas para evitar sobrecargas do motor principal, devido principalmente a estes navios serem propensos ao incremento da rugosidade, com um efeito majoritário na parcela de incrustações.

A utilização de hélice de passo controlável não é recomendável para navios pesqueiros de pequeno e médio porte devido ao encarecimento do custo da embarcação e também por não apresentar variações apreciáveis nas condições de carregamento, podendo estas serem absorvidas com um bom projeto do propulsor de passo fixo.

Atualmente embarcações pesqueiras de cerco, com mais de 1000 toneladas de deslocamento, estão instalando propulsores de passo controlável, principalmente pelo seguinte motivo:

Durante a operação de recolhimento da rede, o casco tende a derivar lateralmente, devido à força de arrasto da própria rede ser maior que a do casco. Daí, um bote ("skiff") puxa o casco no sentido contrário. No entanto, se um propulsor de passo controlável for utilizado, juntamente com outros dois propulsores laterais, essa deriva pode ser evitada sem a utilização do

bote, diminuindo o custo associado ao bote, embora com os custos pertinentes aos propulsores.

2. Para navios que praticam o método de arrasto, apresentaram-se as seguintes considerações:

A utilização do hélice com duto Kort é recomendável pelos seguintes motivos:

a. A instalação do sistema hélice-duto permite um incremento na potência utilizada do motor, com relação ao hélice sem duto. De fato a variação do coeficiente de torque (K_Q) em função do coeficiente de avanço (J) é menor para o hélice com duto do que para hélice convencional, ao se passar da condição de corrida livre para arrasto. Em consequência, há um menor decréscimo da rotação da condição de corrida livre para condição de arrasto no caso do hélice com duto, e portanto um melhor aproveitamento de regiões de curva do motor com potências mais altas.

b. Utilizando o sistema hélice-duto consegue-se incremento apreciável do empuxo na condição de arrasto.

c. O emprego deste sistema se faz conveniente em pesqueiros de arrasto que têm o cadaste reduzido, não permitindo utilizar hélices convencionais com um diâmetro apropriado. Já este diâmetro no caso do sistema hélice-duto seria 12 a 18 % menor em relação ao de um hélice convencional para se obter o mesmo empuxo.

d. Este tipo de propulsor apresenta economias consideráveis para o armador na condição de arrasto, se se compara com um hélice de passo convencional.

O propulsor de passo controlável apresenta vantagens e desvantagens na sua utilização. As principais vantagens são:

a. O propulsor permite ao motor trabalhar na sua potência nominal.

b. O propulsor permite que se trabalhe com rotação constante para qualquer condição de carregamento.

c. Permite que o navio desenvolva a máxima velocidade em navegação livre e o máximo empuxo na condição de arrasto.

d. Apresenta boa manobrabilidade durante a pesca.

e. Reduz os gastos na aquisição do motor, evitando sobredimensionamento e gastos de manutenção.

f. Permite economias para o armador na condição de arrasto e navegação livre, em contraposição ao sistema hélice-duto, que só apresenta ganhos no arrasto.

A principal desvantagem deste sistema é seu alto custo de aquisição e manutenção, em comparação com outros sistemas, algumas vezes desanimando o armador.

3. No entanto, para os navios de cerco e de arrasto, além das virtudes e desvantagens já mencionadas, o armador deve ter em consideração que a substituição do propulsor depende também dos seguintes fatores:

a. custo do combustível no mercado;

b. velocidades de operação para determinada rota;

c. distâncias navegadas por cada rota.

Estes três fatores devem ser estudados cuidadosamente, já que são bastante influentes no tempo de retorno do investimento do sistema.

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente capítulo é efetuada uma apreciação crítica do trabalho realizado, apontando as conclusões mais importantes obtidas no seu desenvolvimento, e também algumas sugestões para a continuação do trabalho.

8.1 COMENTÁRIOS GERAIS

O programa "*Power Fish*" utiliza métodos estatísticos matemáticos para o cálculo da resistência ao avanço, que são aplicáveis também para outros tipos de casco, como rebocadores, empurradores, os quais são considerados no método de OORTMERSSEN [13], e cascos de deslocamento de grande porte, como petroleiros e graneleiros, os quais são tratados pelo método de HOLTROP [15].

Além do cálculo de resistência ao avanço, o cálculo do propulsor também é factível para outros tipos de navios, já que as séries sistemáticas utilizadas neste programa são aplicáveis a outros cascos.

Em países sul-americanos poucos estudos são encontrados sobre projeto de embarcações pesqueiras, o que motivou a realização deste trabalho, que poderá ser efetivamente útil não só no Peru mas em outros países pesqueiros, como Chile, Equador, Colômbia, México, Canadá, Estados Unidos, etc..

8.2 CONCLUSÕES FINAIS

- O método de avaliação e projeto de propulsor utiliza o programa "Power Fish", que foi desenvolvido em duas linguagens de programação: "Borland C++" e "Microsoft Foxpro 2,5 & Distribution Kit for DOS".
- Com ajuda deste programa o armador poderá avaliar suas embarcações, testando os diferentes propulsores disponíveis no mercado, com a finalidade de obter economia de consumo de combustível, e assim permitir maiores faturamentos.
- O programa auxilia os projetistas a orientar seus novos projetos, podendo tornar-se uma alternativa viável para uma solução barata, rápida e suficientemente precisa para estimar as propriedades propulsivas da embarcação em projeto.
- Existem diferentes programas de computador relacionados com o projeto do navio, mas poucos são os direcionados à embarcações pesqueiras e especialmente ao sistema propulsivo. O trabalho realizado por MORENO [8] propõe um método computacional para projetos de navios pesqueiros de forma automatizada, que atendam os requisitos operacionais definidos pelo projetista. Programas anteriores não abordaram elementos essenciais à análise das condições de serviço durante a vida útil do navio, assim como não levaram em consideração parâmetros individuais de cada embarcação, visando obter resultados mais precisos e reais. Neste contexto, o programa "Power Fish" preenche estes requisitos.
- O programa desenvolvido foi estruturado de tal forma de que o usuário não precisa realizar a entrada de dados repetitivos, já que a informação é compartilhada ao longo dos cálculos no programa.
- Os resultados são expostos convenientemente, de forma ordenada, para facilidade do usuário. Além disso, o programa permite visualizar os resultados em forma gráfica, para uma melhor interpretação dos resultados.

- O tempo de processamento do conjunto de programas que integram o "Power Fish" é pequeno, praticamente imediato, permitindo assim o rápido desenvolvimento de um projeto.

8.3 RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As seguintes recomendações são propostas para futuros trabalhos, com respeito ao melhoramento e ampliação do programa "Power Fish":

- Incluir novos algoritmos para o cálculo da resistência ao avanço, que abranjam outros tipos de casco, como embarcações de recreio, embarcações de alta velocidade, etc.
- Adicionar outras séries sistemáticas de hélices, como por exemplo a série Gawn-Burtil, utilizada em cascos de alta velocidade.
- Ampliar o catálogo de motores com outros fornecedores, modelos e potências, assim como os números de redutores, para que o usuário tenha uma maior faixa de aplicação do programa.
- Melhorar o cálculo econômico, nele incluindo custos de instalação e de manutenção dos propulsores, assim como consideração outros critérios econômicos que utilizem outras variáveis, como inflação, depreciação do sistema, etc..
- Acondicionar o programa "Power Fish" a outra linguagem de programação que trabalhe no ambiente "Microsoft Windows", com a finalidade de fazê-lo mais dinâmico, com maior facilidade de interação, entim, mais atual.

ANEXOS

ANEXOS

135	1.	Desembarque total dos recursos pesqueiros peruanos no período 1990-1994.....	
ANEXO 2			
136	1.	Coefficientes do método de Ortmerssen para o cálculo da resistência residual.....	
136	2.	Coefficientes do método de Ortmerssen para o cálculo dos coeficientes propulsivos.....	
ANEXO 3			
137	1.	Equação de regressão do método da FAO.....	
137	2.	Coefficientes da equação de regressão de HAYES, J. G. e ENGVALL, L.O.....	
ANEXO 4			
140	1.	Geometria do hélice da série B-Troost.....	
ANEXO 5			
142	1.	Geometria do hélice da série Kaplan.....	
142	2.	Principais características das séries sistemáticas selecionadas.....	
143	3.	Geometria dos dutos Kort.....	
ANEXO 6			
144	1.	Séries polinomiais da série B-Troost.....	
146	2.	Polinômios para correção do efeito de Reynolds.....	
147	3.	Séries polinomiais da série Kaplan com duto Kort.....	
ANEXO 7			
152	1.	Coefficientes das componentes axial e lateral do vento.....	
ANEXO 8			
153	1.	Listagem de embarcações pesqueiras do litoral peruano.....	
ANEXO 9			
154	1.	Listagem dos motores disponíveis no programa "Power Fish".....	
ANEXO 10			
155	1.	Listagem de preços dos propulsores de passo fixo e passo controlável utilizando a série B-Troost e sistemas hélice-duto utilizando a série Kaplan.....	
ANEXO 11			
156	1.	Validação do método de Holtrop.....	
158	2.	Validação do método de Ortmerssen.....	

ANEXO 1

a. Desembarque dos principais recursos pesqueiros peruanos no período

1990-1994 [3].

<i>ESPECIES</i>	1990	1991	1992	1993	1994
	A	N	O	S	
A. PELÁGICOS	6.483.762	6.658.228	7.294.002	8.143.019	11.027.581
Bigueirão	2.926.408	3.080.992	4.869.966	6.827.015	9.176.420
Bonito	40.142	25.198	54.661	45.390	49.623
Cavala	60.776	17.304	17.907	17.810	23.153
Carapau	191.139	136.337	108.563	101.334	189.459
Sardinha	3.265.297	3.398.397	2.242.905	1.151.470	1.588.926
B. DEMERSAIS	155.385	85.265	50.356	78.162	178.082
Alegrim	5.078	1.861	2.035	1.718	2.324
Serrano	3.543	1.497	3.385	2.310	3.302
Roncadeta	8.704	4.150	4.358	1.182	2.953
Merluza	127.291	72.971	30.310	66.341	164.256
Raia	4.311	2.081	2.202	1.830	1.169
Cagão	6.458	2.705	8.066	4.781	4.078
C. COSTEIROS	55.961	15.058	39.687	23.146	38.400
Olhalvo	1.359	253	1.417	195	186
Seriolas	10.065	3.212	8.897	7.160	9.394
Tainha	21.110	5.868	19.431	9.011	17.728
Corvinata	6.715	1.364	3.007	2.140	3.495
Menhadem	6.454	3.013	5.479	3.750	5.556
Peixe-rei	10.258	1.348	1.456	890	2.041
D. OUTROS PEIXES	81.675	46.562	35.314	18.293	75.355
I. TOTAL PEIXES	6.776.783	6.805.113	7.419.359	8.262.620	11.319.418
II. CRUSTACEOS	10.837	10.487	10.202	5.260	9.514
III. MOLUSCOS	52.954	98.543	134.391	142.096	213.393
IV. OUTROS	1.222	162	165	124	175
TOTAL GERAL	6.841.796	6.914.305	7.564.117	8.410.100	11.542.500

ANEXO 2

1. Coeficientes do método de Ortmeressen para o cálculo da resistência residual [13]

!	=	1	2	3	4
d ₁₀	79,32134	6714,88397	-908,44371	3012,14549	
d ₁₁	-0,09287	19,83	2,52704	2,71437	
d ₁₂	-0,00209	2,66997	-0,35794	0,25521	
d ₁₃	-246,4896	-19662,024	755,1866	-9198,8084	
d ₁₄	187,13664	14099,904	-48,93952	6886,60416	
d ₁₅	-1,42893	137,33613	9,86873	-159,92694	
d ₁₆	0,11898	-13,36038	-0,77652	16,23621	
d ₁₇	0,15727	-4,49852	3,7902	-0,82014	
d ₁₈	-0,00064	0,021	-0,01879	0,00225	
d ₁₉	-2,52862	216,44923	-9,24399	236,3797	
d ₁₀	0,50619	-35,07602	1,28571	-44,1782	
d ₁₁	1,62851	-128,72535	250,6491	207,2558	

2. Coeficientes do método de Ortmeressen para o cálculo dos coeficientes propulsivos [13]

!	=	1	2	3
e ₁₀	-0,9329	0,72681	0,0814	
e ₁₂	3,94349	-1,74379	3,69241	
e ₁₃	-2,98757	1,37241	-2,86213	
e ₁₄	-0,98059	0,26229	-0,33299	
e ₁₅	1,0486	-0,22019	-0,70954	
e ₁₅	0,0049	0,01379	-0,00204	
e ₁₆	0,00228	-0,00786	-0,00336	
e ₁₇	-0,00152	0,00216	-0,0035	

ANEXO 3

1. Equação de regressão do método da FAO [22]

$$\begin{aligned}
 CR16 = & a0 + a1*x1 + a2*x2 + a3*x3 + a4*x4 + a5*x5 + a6*x6 + a7*x7 + a8*x8 + \\
 & a9*x9 + a10*x10 + a11*x11 + a12*x12 + a13*x13 + a14*(x1)^2 + a15*(x2)^2 + \\
 & a16*(x3)^2 + a17*(x4)^2 + a18*(x5)^2 + a19*(x6)^2 + a20*(x7)^2 + a21*(x8)^2 + a22*(x1)^3 + \\
 & a23*(x2)^3 + a24*(x3)^3 + a25*(x4)^3 + a26*(x5)^3 + a27*(x6)^3 + a28*(x8)^3 + \\
 & a29*(x1)^4 + a30*(x4)^4 + a31*(x6)^4 + a32*x1*x3 + a33*x1*x4 + a34*(x1)^2*x4 + \\
 & a35*(x4)^2*x1 + a36*(x1)^3*x4 + a37*(x1)^2*(x4)^2 + a38*(x4)^3*x1 + a39*x6*x1 + \\
 & a40*(x1)^2*x6 + a41*(x6)^2*x1 + a42*(x1)^3*x6 + a43*(x1)^2*(x6)^2 + a44*(x6)^3*x1 + \\
 & a45*x8*x1 + a46*(x1)^2*x8 + a47*(x8)^2*x1 + a48*x2*x3 + a49*(x2)^2*x3 + \\
 & a50*(x3)^2*x2 + a51*x2*x4 + a52*(x2)^2*x4 + a53*(x4)^2*x2 + a54*x2*x6 + \\
 & a55*(x2)^2*x6 + a56*(x6)^2*x2 + a57*x2*x8 + a58*x4*x5 + a59*x5*(x4)^2 + \\
 & a60*(x5)^2*x4 + a61*x4*x6 + a62*x4*x7 + a63*x4*x8 + a64*(x4)^2*x8 + \\
 & a65*x4*(x8)^2 + a66*x5*x6 + a67*x6*(x5)^2 + a68*(x6)^2*x5 + a69*x5*x8 + \\
 & a70*(x5)^2*x8 + a71*x5*(x8)^2
 \end{aligned}$$

2. Coeficientes da equação de regressão de HAYES e ENGVALL [22].

\sqrt{t}	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₂ ¹	X ₂ ²	X ₂ ³	X ₂ ⁴	X ₂ ⁵	X ₂ ⁶	X ₂ ⁷	X ₂ ⁸	X ₂ ⁹	X ₃	X ₃ ²	X ₃ ³	X ₃ ⁴	X ₃ ⁵	X ₃ ⁶	X ₃ ⁷	X ₃ ⁸	X ₄	X ₄ ²	X ₄ ³	X ₄ ⁴	X ₄ ⁵	X ₄ ⁶	X ₄ ⁷	X ₄ ⁸	X ₄ ⁹	X ₄ ¹⁰	X ₄ ¹¹	X ₄ ¹²	X ₄ ¹³	X ₄ ¹⁴	X ₄ ¹⁵	X ₄ ¹⁶	X ₄ ¹⁷	X ₄ ¹⁸	X ₄ ¹⁹	X ₄ ²⁰	X ₄ ²¹	X ₄ ²²	X ₄ ²³	X ₄ ²⁴	X ₄ ²⁵	X ₄ ²⁶	X ₄ ²⁷	X ₄ ²⁸	X ₄ ²⁹	X ₄ ³⁰	X ₄ ³¹	X ₄ ³²	X ₄ ³³	X ₄ ³⁴	X ₄ ³⁵	X ₄ ³⁶	X ₄ ³⁷	X ₄ ³⁸	X ₄ ³⁹	X ₄ ⁴⁰	X ₄ ⁴¹	X ₄ ⁴²	X ₄ ⁴³	X ₄ ⁴⁴	X ₄ ⁴⁵	X ₄ ⁴⁶	X ₄ ⁴⁷	X ₄ ⁴⁸	X ₄ ⁴⁹	X ₄ ⁵⁰	X ₄ ⁵¹	X ₄ ⁵²	X ₄ ⁵³	X ₄ ⁵⁴	X ₄ ⁵⁵	X ₄ ⁵⁶	X ₄ ⁵⁷	X ₄ ⁵⁸	X ₄ ⁵⁹	X ₄ ⁶⁰	X ₄ ⁶¹	X ₄ ⁶²	X ₄ ⁶³	X ₄ ⁶⁴	X ₄ ⁶⁵	X ₄ ⁶⁶	X ₄ ⁶⁷	X ₄ ⁶⁸	X ₄ ⁶⁹	X ₄ ⁷⁰	X ₄ ⁷¹	X ₄ ⁷²	X ₄ ⁷³	X ₄ ⁷⁴	X ₄ ⁷⁵	X ₄ ⁷⁶	X ₄ ⁷⁷	X ₄ ⁷⁸	X ₄ ⁷⁹	X ₄ ⁸⁰	X ₄ ⁸¹	X ₄ ⁸²	X ₄ ⁸³	X ₄ ⁸⁴	X ₄ ⁸⁵	X ₄ ⁸⁶	X ₄ ⁸⁷	X ₄ ⁸⁸	X ₄ ⁸⁹	X ₄ ⁹⁰	X ₄ ⁹¹	X ₄ ⁹²	X ₄ ⁹³	X ₄ ⁹⁴	X ₄ ⁹⁵	X ₄ ⁹⁶	X ₄ ⁹⁷	X ₄ ⁹⁸	X ₄ ⁹⁹	X ₄ ¹⁰⁰	
1,2	43,726	18,134	18,5	-5,872	1,062	2,075	17,585	1,016	8,529	0,841	0,00	0,00	0,147	2,505	1,547	6,128	4,116	-2,16	-1,45	1,687	-1,604	0,66	9,371	7,884	3,77	2,765	-3,359	-18,775	3,133	18,387	8,856	-6,51	-4,271	-3,933	-13,483																																																																																																
1,15	42,422	18,086	17,883	-6,152	4,338	0,763	12,815	0,374	7,757	0,421	0,00	0,00	0,416	3,566	4,67	4,381	3,703	-1,233	-1,199	3,069	-0,896	-1,382	13,587	4,191	3,16	-6,505	-1,866	-6,606	3,866	18,995	3,331	-0,716	-6,806	-5,821	-28,158																																																																																																
1,1	39,326	16,557	13,582	-6,597	5,791	-0,655	10,413	0,097	5,481	0,494	0,00	0,00	0,159	4,224	1,877	7,625	4,658	-0,929	-1,624	-1,941	-0,611	0,206	13,097	7,998	3,213	-6,923	-0,097	-3,591	4,628	20,382	3,353	4,878	-7,527	-3,859	-32,762																																																																																																
1,05	36,965	14,38	13,189	-5,891	1,993	-0,125	7,06	0,437	6,704	0,688	0,00	0,00	0,72	3,54	-0,905	4,916	3,891	-2,215	-1,082	-5,484	-0,499	1,594	3,919	6,173	1,156	-4,896	-0,184	-3,864	3,728	11,204	2,931	5,49	-6,697	-3,851	-14,724																																																																																																
1	33,595	11,013	11,587	-5,749	0,778	-0,718	4,942	0,35	5,171	0,921	0,00	0,00	0,953	2,557	-1,881	1,777	3,821	-2,861	-1,173	-6,718	-0,344	1,226	5,644	3,825	0,301	-4,681	-0,169	-3,476	2,949	11,842	2,048	4,534	-6,821	-3,12	-14,53																																																																																																
0,95	31,282	9,526	10,815	-6,526	-1,194	-1,01	2,985	0,505	5,174	0,653	0,00	0,00	0,711	2,225	-2,238	0,232	3,307	-2,441	-2,427	-7,023	0,396	1,546	3,873	3,004	0,805	-3,227	1,008	-2,512	1,876	10,807	1,05	2,594	-7,81	-2,289	-10,733																																																																																																
0,9	28,57	8,552	9,474	-6,365	-1,904	-1,818	2,306	0,598	4,091	0,297	0,00	0,00	0,665	2,177	-1,185	1,703	2,307	-2,696	-3,317	-5,069	0,921	1,22	4,139	4,676	1,103	-3,29	2,001	-2,026	0,726	9,887	0,127	1,324	-7,863	-2,371	-10,511																																																																																																
\sqrt{t}	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₂ ¹	X ₂ ²	X ₂ ³	X ₂ ⁴	X ₂ ⁵	X ₂ ⁶	X ₂ ⁷	X ₂ ⁸	X ₂ ⁹	X ₂ ¹⁰	X ₃	X ₃ ²	X ₃ ³	X ₃ ⁴	X ₃ ⁵	X ₃ ⁶	X ₃ ⁷	X ₃ ⁸	X ₄	X ₄ ²	X ₄ ³	X ₄ ⁴	X ₄ ⁵	X ₄ ⁶	X ₄ ⁷	X ₄ ⁸	X ₄ ⁹	X ₄ ¹⁰	X ₄ ¹¹	X ₄ ¹²	X ₄ ¹³	X ₄ ¹⁴	X ₄ ¹⁵	X ₄ ¹⁶	X ₄ ¹⁷	X ₄ ¹⁸	X ₄ ¹⁹	X ₄ ²⁰	X ₄ ²¹	X ₄ ²²	X ₄ ²³	X ₄ ²⁴	X ₄ ²⁵	X ₄ ²⁶	X ₄ ²⁷	X ₄ ²⁸	X ₄ ²⁹	X ₄ ³⁰	X ₄ ³¹	X ₄ ³²	X ₄ ³³	X ₄ ³⁴	X ₄ ³⁵	X ₄ ³⁶	X ₄ ³⁷	X ₄ ³⁸	X ₄ ³⁹	X ₄ ⁴⁰	X ₄ ⁴¹	X ₄ ⁴²	X ₄ ⁴³	X ₄ ⁴⁴	X ₄ ⁴⁵	X ₄ ⁴⁶	X ₄ ⁴⁷	X ₄ ⁴⁸	X ₄ ⁴⁹	X ₄ ⁵⁰	X ₄ ⁵¹	X ₄ ⁵²	X ₄ ⁵³	X ₄ ⁵⁴	X ₄ ⁵⁵	X ₄ ⁵⁶	X ₄ ⁵⁷	X ₄ ⁵⁸	X ₄ ⁵⁹	X ₄ ⁶⁰	X ₄ ⁶¹	X ₄ ⁶²	X ₄ ⁶³	X ₄ ⁶⁴	X ₄ ⁶⁵	X ₄ ⁶⁶	X ₄ ⁶⁷	X ₄ ⁶⁸	X ₄ ⁶⁹	X ₄ ⁷⁰	X ₄ ⁷¹	X ₄ ⁷²	X ₄ ⁷³	X ₄ ⁷⁴	X ₄ ⁷⁵	X ₄ ⁷⁶	X ₄ ⁷⁷	X ₄ ⁷⁸	X ₄ ⁷⁹	X ₄ ⁸⁰	X ₄ ⁸¹	X ₄ ⁸²	X ₄ ⁸³	X ₄ ⁸⁴	X ₄ ⁸⁵	X ₄ ⁸⁶	X ₄ ⁸⁷	X ₄ ⁸⁸	X ₄ ⁸⁹	X ₄ ⁹⁰	X ₄ ⁹¹	X ₄ ⁹²	X ₄ ⁹³	X ₄ ⁹⁴	X ₄ ⁹⁵	X ₄ ⁹⁶	X ₄ ⁹⁷	X ₄ ⁹⁸	X ₄ ⁹⁹	X ₄ ¹⁰⁰

\sqrt{t}	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2
$X_1 X_2$	0,277	0,152	-3,361	-10,159	-11,014	-11,185	-4,274
$X_3 X_4$	-9,512	-10,136	-12,028	-10,074	-27,758	-20,894	-9,84
$X_1 X_2 X_3$	-3,991	-3,127	-4,577	-15,566	-21,784	-24,728	-19,121
$X_1 X_3$	6,421	7,634	4,936	3,257	1,888	4,318	9,82
$X_1 X_6$	-0,601	-0,806	0,569	3,999	8,386	12,52	11,555
$X_2 X_6$	5,156	1,645	4,818	4,441	15,961	33,566	16,1
$X_1 X_2 X_6$	0,332	-0,663	0,815	1,374	11,698	21,602	9,909
$X_1 X_3 X_6$	9,252	7,048	8,893	7,351	17,359	33,967	23,857
$X_1 X_6 X_3$	1,516	-2,46	-0,699	-1,713	8,039	19,063	9,635
$X_1 X_6 X_3$	5,365	6,031	7,671	7,471	11,02	12,966	0,22
$X_1 X_6$	1,31	0,967	0,754	1,678	3,36	2,432	5,946
$X_2 X_8$	-0,628	-2,306	-3,277	-3,563	-0,026	2,14	7,502
$X_1 X_8$	1,575	0,982	-0,192	-1,063	-4,63	-9,855	-5,868
$X_2 X_3$	-3,616	-4,515	-4,418	-4,349	-4,629	-4,303	-3,173
$X_2 X_3 X_6$	-3,564	-4,646	-5,157	-6,226	-7,783	-8,344	-8,613
$X_2 X_3 X_6$	0,244	2,071	2,762	3,623	3,842	1,642	3,077
$X_2 X_4$	-5,293	-3,671	-3,966	-6,53	-7,951	-6,968	-8,687
$X_2 X_4 X_6$	0,533	3,515	2,853	-2,743	-4,162	-0,321	-4,897
$X_2 X_2$	-13,031	-11,918	-10,601	-11,019	-10,402	-14,066	-16,171
$X_2 X_6$	3,852	1,665	5,744	10,642	17,134	15,606	17,743
$X_2 X_6 X_2$	6,957	3,927	6,636	14,2	18,449	13,571	16,714
$X_2 X_6 X_2$	4,655	2,74	7,338	10,116	15,274	14,476	14,659
$X_2 X_8$	2,717	4,314	4,878	6,949	6,05	10,316	9,64
$X_4 X_5$	-9,913	-10,255	-9,05	-7,599	-8,718	-6,87	-7,419
$X_2 X_5$	-7,636	-6,862	-5,544	-6,856	-7,16	-6,025	-12,249
$X_4 X_5 X_2$	10,93	10,227	10,016	9,537	9,37	10,824	6,044
$X_4 X_6$	4,984	5,2	5,391	5,051	7,98	7,081	8,381
$X_4 X_7$	-1,861	-2,238	-2,285	-1,717	-2,719	-2,037	-1,014
$X_4 X_8$	-4,159	-5,673	-5,908	-8,251	-7,265	-5,178	-3,783
$X_2 X_8$	3,032	4,812	6,07	6,372	7,151	6,947	0,451
$X_4 X_8 X_2$	-4,129	-7,501	-9,539	-12,549	-11,695	-7,752	-0,85
$X_5 X_6$	3,591	3,625	4,203	3,615	5,533	4,817	6,009
$X_2 X_6 X_5$	-10,735	-7,734	-6,088	-5,306	-4,923	-5,925	-4,407
$X_5 X_6 X_2$	8,393	8,245	12,109	13,95	16,272	14,78	22,057
$X_5 X_8$	-0,521	1,379	3,077	4,524	4,312	6,178	5,999
$X_2 X_8 X_5$	-8,42	-9,245	-9,874	-9,986	-11,067	-10,993	-12,033
$X_5 X_8 X_2$	-0,136	1,614	3,576	4,167	4,7	6,431	5,515

ANEXO 4

1. Geometria do hélice da série B-Troost

a. Para $Z = 3$ pás [26]

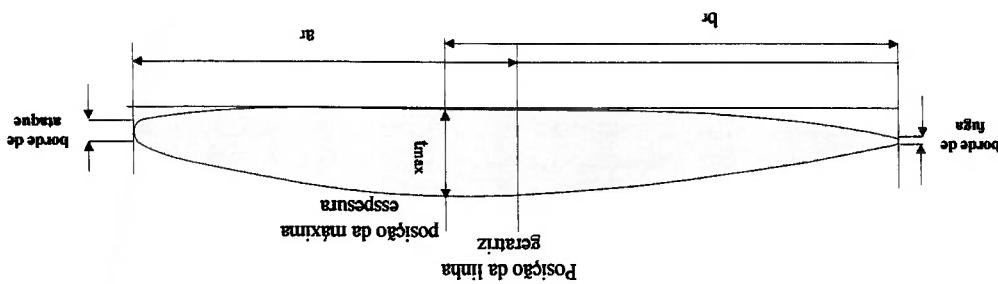
r/R	$\frac{D_{Ae}/A_0}{c_r}$	a/c_r	b/c_r	t/D
1,0	0,5543	0,616	0,350	0,0406
0,9	0,6107	0,611	0,350	0,0359
0,8	0,6667	0,599	0,350	0,0312
0,7	0,7067	0,583	0,355	0,0265
0,6	0,7287	0,558	0,389	0,0218
0,5	0,7227	0,526	0,442	0,0171
0,4	0,7090	0,481	0,478	0,0124
0,3	0,5523	0,400	0,500	0,0077
0,2	0	0	0	0,0030

b. Para $4 \leq Z \leq 7$ pás [26]

r/R	$\frac{D_{Ae}/A_0}{c_r}$	a/c_r	b/c_r	A_r	B_r
				$t/D = A_r B_r$	
1,0	1,662	0,617	0,350	0,0526	0,0040
0,9	1,882	0,613	0,350	0,0464	0,0035
0,8	2,050	0,601	0,351	0,0402	0,0030
0,7	2,152	0,586	0,355	0,0340	0,0025
0,6	2,187	0,561	0,389	0,0278	0,0020
0,5	2,144	0,524	0,443	0,0216	0,0015
0,4	1,970	0,463	0,479	0,0154	0,0010
0,3	1,582	0,351	0,500	0,0092	0,0005
0,2	0	0	0	0,0030	0

c. Contornos e linhas de referência [26]

r/R	c/z	D_{Ae}/A_0	a/c_r	b/c_r	c/z	D_{Ae}/A_0	a/c_r	b/c_r	$t/D = A_r B_r Z$	A_r	B_r
0,2	1,633	0,616	0,350	1,662	0,617	0,350	0,617	0,350	0,0526	0,0040	0,0035
0,3	1,832	0,611	0,350	1,882	0,613	0,350	0,601	0,351	0,0402	0,0030	0,0035
0,4	2,000	0,599	0,350	2,050	0,601	0,351	0,586	0,355	0,0340	0,0025	0,0030
0,5	2,120	0,583	0,355	2,152	0,586	0,355	0,561	0,389	0,0278	0,0020	0,0025
0,6	2,186	0,558	0,389	2,187	0,561	0,389	0,443	0,443	0,0216	0,0015	0,0020
0,7	2,168	0,526	0,442	2,144	0,524	0,443	0,479	0,479	0,0154	0,0010	0,0015
0,8	2,127	0,481	0,478	1,970	0,463	0,479	0,500	0,500	0,0092	0,0005	0,0010
0,9	1,657	0,400	0,500	1,582	0,351	0,500	0,500	0,500	0,0030	0,0005	0,0005
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



ar = distância entre o borde de ataque e a linha geratriz na seção r
 br = distância entre o borde de fuga e a máxima espessura na seção r
 tr = espessura máxima na seção r
 cr = corda da seção a um raio r

d. Distribuição do passo para $Z = 4$ pás.

r/R	% do passo
0,167	80
0,2	82,2
0,3	88,7
0,4	95,0
0,5	99,2
0,6	100
0,7	100
0,8	100
0,9	100
1,0	100

ANEXO 5

1. Geometria do hélice da série Kaplan [27]

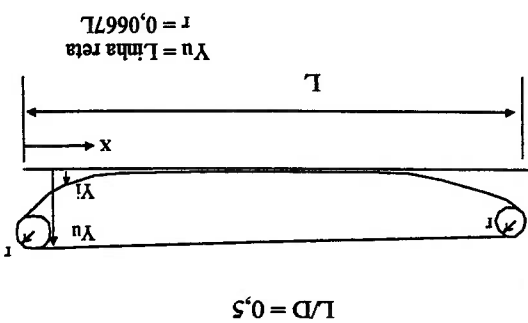
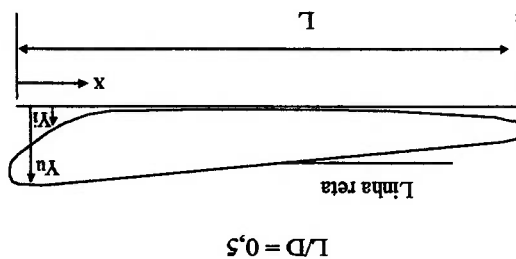
r/R	c/z	D_{Ae}/A_0	a/c_r	b/c_r	t/D
1,0	1,3222	0,550	0,500	0,500	0,0050
0,9	1,5081	0,528	0,500	0,500	0,0061
0,8	1,6774	0,513	0,500	0,500	0,0092
0,7	1,8314	0,506	0,500	0,500	0,0138
0,6	1,9690	0,501	0,500	0,4998	0,0190
0,5	2,0844	0,500	0,500	0,500	0,0245
0,4	2,1675	0,500	0,500	0,4602	0,0300
0,3	2,2183	0,500	0,500	0,3976	0,0352
0,2	2,2226	0,500	0,500	0,3498	0,0400

- Espessura máxima no centro do eixo = 0,049 D.
 - Passo uniforme ao longo do raio do hélice.

2. Principais características das séries sistemáticas selecionadas

SÉRIE SISTEMÁTICA	NÚMERO DE PAS	RAZÃO DE ÁREA EXPANDIDA	RAZÃO P/D	DISTRIBUIÇÃO RADIAL PASSO
B-TROOST	2 3 4 5 6 7	0,35 a 0,80 0,40 a 1,00 0,45 a 1,05 0,50 a 0,80 0,55 a 0,85	0,5 a 1,4	Uniforme menos para Z = 4 pás.
KAPLAN	3 4 5	0,65 0,55 a 0,70 0,75	a 1,6	Uniforme
SÉRIE SISTEMÁTICA	RAZÃO DIÂMETRO BOSSO/HÉLICE	POSICÃO DA CORDA MÁXIMA	"RAKE"	ASSIMETRIA
B-TROOST	0,167	r/R = 0,60	15	Sim
KAPLAN	0,167	r/R = 1,00	0	Não

3. Geometria dos dutos Kort (cotas dos perfis dos dutos) [28]



PERCENTAGEM DA CORDA

100 X/L	100 Y/L	100 Y/L
0	18,25	18,25
1,25	14,66	20,72
2,5	12,80	21,07
5,0	10,07	20,80
7,5	8,00	linha reta
10	6,34	linha reta
15	3,87	↑
20	2,17	↓
25	1,10	linha reta
30	0,48	linha reta
40	0,48	↑
50	0,29	↓
60	0,29	linha reta
70	0,82	linha reta
80	1,45	↑
90	1,86	↓
95	2,36	linha reta
100	±6,36	linha reta

Duto 19A
L/D = 0,50
Duto 22
L/D = 0,80
Duto 24
L/D = 1,00

PERCENTAGEM DA CORDA

100 X/L	100 Y/L
0	18,33
2,5	12,83
5,0	10,00
7,5	7,92
10	6,25
15	3,83
20	2,08
25	0,94
30	0,33
35	0,08
40	0,0
60	0,0
70	0,08
75	0,42
80	1,00
85	2,08
90	3,83
92,5	5,00
95	6,50
97,5	8,33
100	12,42

Duto 37
L/D = 0,50

ANEXO 6

1. Séries polinomiais da série B-Troost

a. Séries polinomiais dos hélices B-Troost para o cálculo do coeficiente de empuxo (K_T) [26]

$C_{s_{in}^v}$	$(j)^s$	$(P/D)^t$	$(Ae/Ao)^n$	$(Z)^v$
0,00880496	0	0	0	0
-0,20455400	1	0	0	0
0,16635100	0	1	0	0
0,15811400	0	2	0	0
-0,14758100	2	0	1	0
-0,48149700	1	1	1	0
0,41543700	0	2	1	0
0,01440430	0	0	0	1
-0,05300540	2	0	0	1
0,01434810	0	1	0	1
0,06068260	1	1	1	1
-0,01258940	0	0	1	1
0,01096890	1	0	1	1
-0,13369800	0	3	0	0
0,00638407	0	6	0	0
-0,00132718	2	6	0	0
0,16849600	3	0	1	0
-0,05072140	0	0	2	0
0,08545590	2	0	2	0
-0,05044750	3	0	2	0
0,01046500	1	6	2	0
-0,00648272	2	6	2	0
-0,00841728	0	3	0	1
0,01684240	1	3	0	1
-0,00102296	3	3	0	1
-0,03177910	0	3	1	1
0,01860400	1	0	2	1
-0,00410798	0	2	2	1
-0,00060685	0	0	0	2
-0,00498190	1	0	0	2
0,00259830	2	0	0	2
-0,00056053	3	0	0	2
-0,00163652	1	2	0	2
-0,00032879	1	6	0	2
0,00011650	2	6	0	2
0,00069090	0	0	1	2
0,00421749	0	3	1	2
0,00005652	3	6	1	2
-0,00146564	0	3	2	2

b. Séries polinomialis dos hélices B-Troost para o cálculo do coeficiente de torque (K_Q) [26]

$C_{s,m,v}$	$(J)^s$	$(P/D)^t$	$(AE/AO)^n$	$(Z)^v$
0,0037937	0	0	0	0
0,0088652	2	0	0	0
-0,0322410	1	1	0	0
0,0034478	0	2	0	0
-0,040811	0	1	1	0
-0,108090	1	1	1	0
-0,0885381	2	1	1	0
0,1885610	0	2	1	0
-0,0037087	1	0	0	0
0,0051370	0	1	0	0
0,0209449	1	1	0	0
0,0047432	2	1	0	0
-0,0072341	2	0	1	0
0,0043839	1	1	1	0
-0,0269403	0	2	1	0
0,0558082	3	0	1	0
0,0161886	0	3	1	0
0,0030055	1	3	1	0
0,0158960	0	0	2	0
0,0471729	1	0	2	0
0,0196283	3	0	2	0
-0,0502782	0	1	2	0
-0,0300550	3	1	2	0
0,0417122	2	2	2	0
-0,0397722	0	3	2	0
-0,0035002	0	6	2	0
-0,0106854	3	0	0	0
0,0011090	3	3	0	0
-0,0003139	0	6	0	0
0,0035985	3	0	1	0
-0,0014212	0	6	1	0
-0,0038364	1	0	2	0
0,0126803	0	2	2	0
-0,0031828	2	3	2	0
0,0033427	0	6	2	0
-0,0018349	1	1	0	0
0,0001125	3	2	0	0
0,0000297	3	6	0	0
0,0002696	1	0	1	0
0,0008327	2	0	1	0
0,0015533	0	2	1	0
0,0003027	0	6	1	0
-0,0001843	0	0	2	0
-0,0004254	0	3	2	0
0,0000869	3	3	2	0
-0,0004659	0	6	2	0
0,0000554	1	6	2	0

2. Polinômios para correção do efeito de Reynolds [26]

a. Polinômio para correção do coeficiente de empuxo (K_T) pelo efeito do número de Reynolds.

$$\begin{aligned} \Delta K_T = & +0.000353485 \\ & - 0.00333758 (Ae/A_0) f^2 \\ & - 0.00478125 (Ae/A_0)(P/D) f \\ & + 0.000257792 (\log R_n - 0.301)^2 \cdot (Ae/A_0) f^2 \\ & + 0.0000643192 (\log R_n - 301)(P/D)^6 f^2 \\ & - 0.0000110636 (\log R_n - 0.301)^2 (P/D)^6 f^2 \\ & - 0.0000276305 (\log R_n - 0.301)^2 Z (Ae/A_0) f^2 \\ & + 0.0000954 (\log R_n - 0.301) Z (Ae/A_0)(P/D) f \\ & + 0.0000032049 (\log R_n - 0.301) Z^2 (Ae/A_0)(P/D)^3 f \end{aligned}$$

b. Polinômio para correção do coeficiente de torque (K_Q) pelo efeito do número de Reynolds.

$$\begin{aligned} \Delta K_Q = & - 0.000591412 \\ & + 0.00696898 (P/D) \\ & - 0.0000666654 z (P/D)^6 \\ & + 0.0160818 (Ae/A_0)^2 \\ & - 0.000938091 (\log R_n - 0.301)(P/D) \\ & - 0.00059593 (\log R_n - 0.301)(P/D)^2 \\ & + 0.0000782099 (\log R_n - 0.301)^2 (P/D)^2 \\ & + 0.0000052199 (\log R_n - 0.301) z (Ae/A_0) f^2 \\ & - 0.0000088528 (\log R_n - 0.301)^2 z (Ae/A_0)(P/D) f \\ & + 0.0000230171 (\log R_n - 0.301) z (P/D)^6 \\ & - 0.00000184341 (\log R_n - 0.301)^2 z (P/D)^6 \\ & - 0.00400252 (\log R_n - 0.301)(Ae/A_0)^2 \\ & + 0.000220915 (\log R_n - 0.301)^2 (Ae/A_0)^2 \end{aligned}$$

3. Séries polinomialis da série Kaplan com duto Kort

a. Séries polinomialis dos hélices Kaplan com duto para o cálculo dos coeficiente de empuxo (K_T), coeficiente de torque (K_Q) e coeficiente de empuxo do duto (K_{TN}) [28].

HELICE Ka 3-65				
x	y	C _T	C _{TN}	C _Q
0	0	0,281	0,154	0,00626
0	1	-0,14391	0,11556	0,0
0	2	0,0	-0,123761	-0,017942
0	3	-0,383783	0,0	0,0
0	4	0,0	0,0	-0,008089
0	5	0,0	-0,74124	0,0
0	6	0,0	0,646894	0,0
1	0	0,0	-0,542674	0,0
1	1	-0,429709	-0,749643	0,0
1	2	0,0	0,0	-0,016644
1	6	0,0	-0,162202	0,0
2	0	0,671298	0,972388	0,0
2	2	0,286926	1,468557	0,0
3	0	-0,182294	-0,3176	0,040041
3	2	0,0	-1,08498	0,0
3	6	0,0	-0,032298	0,0
4	3	0,0	0,199637	0,0
5	1	0,0	0,060168	0,0
6	0	0,0	0,0	-0,00346
6	1	-0,017378	0,0	-0,000674
6	2	0,0	0,0	0,001721

HELICE Ka 5-75				
x	y	C _T	C _{TN}	C _Q
0	0	0,033	-0,0	0,007
0	1	-0,15	0,035	0,0
0	2	0,0	0,0	-0,01
0	3	-0,4	-0,28	0,0
0	4	0,0	0,0	-0,01
1	1	-0,44	-0,63	0,0
1	2	0,0	0,45	-0,03
2	0	0,664	0,36	0,0
2	2	0,283	0,0	0,01
3	0	-0,16	-0,09	0,053
4	0	0,0	0,0	-0,01
6	1	-0,02	0,0	0,0
6	2	0,0	-0,0	0,0

DUO KORT 19A		HELICE Ka 4-55		
C _Q	C _{TN}	C _T	Y	X
-0,0347	-0,0451	-0,375	0	0
0,018568	0,0	-0,20305	1	0
0,0	0,0	0,830306	2	0
0,0	-0,663741	-2,74693	3	0
-0,195582	-0,244626	0,0	4	0
0,317452	0,0	0,0	5	0
-0,093739	0,0	0,067548	6	0
0,158951	0,244461	2,03007	0	1
-0,048433	-0,578464	-0,392301	1	1
0,0	1,11682	-0,611743	2	1
0,024157	0,751953	4,31984	3	1
0,0	0,0	-0,34129	4	1
-0,123376	0,0	0,0	5	1
0,0	-0,089165	0,0	6	1
-0,212253	0,0	-3,03167	0	2
0,0	-0,146178	0,0	1	2
0,0	-0,917516	0,0	2	2
0,0	0,0	-2,00786	3	2
0,156133	0,068186	2,83697	0	3
0,0	0,174041	0,0	1	3
0,0	0,102331	0,0	2	3
0,0	0,0	0,391304	3	3
0,0	0,0	-0,994962	0	4
0,03074	0,0	0,0	1	4
0,073587	0,0	0,0	2	4
-0,031826	0,0	0,0	0	5
-0,014568	0,0	0,015742	1	5
-0,109363	0,0	0,0	2	5
0,043862	0,0	0,0	4	5
0,007947	-0,008581	0,043782	0	6
0,038275	0,0	0,0	2	6
-0,021971	0,0	0,0	4	6
0,0007	0,0	0,0	6	6
0,02285	0,088319	0,0	7	0

HELICE Ka 4-70				
DUTO KORT 37				
x	y	C _T	C _{TN}	C _Q
0	0	-0,16256	-0,01681	0,016729
0	4	-0,07739	0,0	0,0
0	6	0,0	-0,09954	0,030559
1	0	0,598107	0,0	-0,04842
1	1	-1,00903	-0,54825	-0,01112
1	2	0,0	0,230675	-0,0562
2	0	0,085087	0,460206	0,083476
2	1	0,425585	0,0	0,0
2	2	0,0	0,0	0,045637
2	3	0,0	0,0	-0,042
3	0	0,0	-0,21525	-0,00865
3	5	-0,02104	0,0	0,0
4	0	0,0	0,042997	0,0
5	1	-0,03838	0,0	0,0
6	1	0,0	0,0	-0,00118
6	2	0,014992	0,0	0,002441
7	7	0,036998	0,051753	-0,01216

HELICE Ka 4-70				
DUTO KORT 19A				
x	y	C _T	C _{TN}	C _Q
0	0	0,03055	0,076594	0,006735
0	1	-0,14869	0,075323	0,0
0	2	0,0	-0,06188	-0,01631
0	3	-0,39114	-0,13809	0,0
0	4	0,0	0,0	-0,00724
0	5	0,0	-0,37062	0,0
0	6	0,0	0,323447	0,0
1	0	0,0	-0,27134	0,0
1	1	-0,43261	-0,68792	0,0
1	2	0,0	0,225189	-0,02401
1	6	0,0	-0,0811	0,0
2	0	0,667657	0,666028	0,0
2	2	0,2851	0,734285	0,005193
3	0	-0,17253	-0,20247	0,046605
3	2	0,0	-0,54249	0,0
3	6	0,0	-0,01615	0,0
4	0	0,0	0,0	-0,00737
4	3	0,0	0,099819	0,0
5	1	0,0	0,030084	0,0
6	0	0,0	0,0	-0,00173
6	1	-0,01728	0,0	-0,00034
6	2	0,0	-0,00188	0,000861

HELICE Ka 4-70		DUTO KORT 24	
x	y	C _r	C _{TN}
0	0	-0,05666	-0,0262
0	1	0,001197	0,0
0	2	0,0	0,0
0	3	-1,0	-0,83883
0	4	0,0	0,0
0	6	0,0	0,555129
1	0	0,235791	0,109434
1	1	-0,70504	-0,68164
1	2	0,0	0,77323
1	3	-0,15944	0,0
1	4	0,0	0,0
1	5	0,908113	0,0
1	6	-0,84042	0,0
2	0	0,454377	0,259217
2	2	1,254499	0,0
2	4	0,0	-0,13162
2	5	-0,27636	0,0
3	0	-0,11054	-0,05829
3	2	-0,39283	0,0
3	3	-0,20517	0,0
3	6	0,0	0,0
4	2	0,0	-0,01217
4	3	0,0	0,046464
4	4	0,0	-0,03504
5	1	-0,02267	0,0
5	3	0,0	-0,04463
6	1	0,011161	0,0
6	3	0,0	0,026228
6	6	0,009323	0,0
7	7	0,452712	-0,23901
0	0	-0,04904	-0,04904

DUTO KORT 22		HELICE Ka 4-70	
X	Y	C _T	C _{TN}
0	0	0,008043	0,001317
0	0	-0,20884	0,0
0	3	-0,90265	0,0
0	4	0,0	-0,93704
0	5	0,369317	0,0
0	6	0,0	0,682898
1	0	0,0	0,0
1	1	-0,6618	0,0
1	2	0,752246	0,0
1	3	0,0	0,951865
1	4	0,0	-0,37662
1	5	-0,15927	0,0
2	0	0,720632	0,0
3	0	-0,20208	0,096038
3	1	0,0	0,011043
5	1	0,0	0,0
5	3	0,0	-0,09345
6	1	0,0	0,0
6	3	0,0	0,0
6	4	0,0	-0,0002
0	7	0,0	-0,24455

ANEXO 7

1. Coeficientes das componentes axial e lateral do vento [40]

a. Coeficientes da componente da força axial do vento (Cx), para diferentes

ângulos de incidência do vento com respeito à proa (yr°)

yr°	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆
0	2.152	-5,00	0,243	-0,164	0,00	0,00	0,00
10	1.714	-3,33	0,145	-0,121	0,00	0,00	0,00
20	1.818	-3,97	0,211	-0,143	0,00	0,00	0,033
30	1.965	-4,81	0,243	-0,154	0,00	0,00	0,041
40	2.333	-5,99	0,247	-0,19	0,00	0,00	0,042
50	1.726	-6,54	0,189	-0,173	0,348	0,00	0,048
60	0,913	-4,68	0,00	-0,104	0,482	0,00	0,052
70	0,457	-2,88	0,00	-0,068	0,346	0,00	0,043
80	0,341	-0,91	0,00	-0,031	0,00	0,00	0,032
90	0,355	0,00	0,00	0,00	-0,247	0,00	0,018
100	0,601	0,00	0,00	0,00	-0,372	0,00	-0,02
110	0,651	1,29	0,00	0,00	-0,582	0,00	-0,031
120	0,564	2,54	0,00	0,00	-0,748	0,00	-0,024
130	-0,142	3,58	0,00	0,047	-0,70	0,00	-0,028
140	-0,677	3,64	0,00	0,069	-0,529	0,00	-0,032
150	-0,723	3,14	0,00	0,064	-0,475	0,00	-0,032
160	-2,148	2,56	0,00	0,081	0,00	1,27	-0,027
170	-2,707	3,97	-0,175	0,126	0,00	1,81	0,00
180	-2,529	3,76	-0,174	0,128	0,00	1,55	0,00

2.

Coeficientes da componente da força lateral do vento (Cy), para diferentes ângulos de incidência do vento com respeito à proa (yr°)

yr°	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
10	0,096	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,176	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,225	1,38	0,00	0,023	0,00	-0,29	0,00
40	0,329	1,82	0,00	0,043	0,00	-0,59	0,00
50	1,164	1,26	0,121	0,00	-0,242	-0,95	0,00
60	1,163	0,96	0,101	0,00	-0,177	-0,88	0,00
70	0,916	0,53	0,069	0,00	0,00	-0,65	0,00
80	0,844	0,55	0,082	0,00	0,00	-0,54	0,00
90	0,889	0,00	0,138	0,00	0,00	-0,66	0,00
100	0,799	0,00	0,155	0,00	0,00	-0,55	0,00
110	0,797	0,00	0,151	0,00	0,00	-0,55	0,00
120	0,996	0,00	0,184	0,00	-0,212	-0,66	0,34
130	1,014	0,00	0,191	0,00	-0,28	-0,69	0,44
140	0,784	0,00	0,166	0,00	-0,209	-0,53	0,38
150	0,536	0,00	0,176	-0,029	-0,163	0,00	0,27
160	0,251	0,00	0,106	-0,022	0,00	0,00	0,00
170	0,125	0,00	0,046	-0,012	0,00	0,00	0,00

ANEXO 8

1. Listagem de embarcações pesqueiras do litoral peruano [41]

	EMBARCAÇÃO							
	Δ	L	B	T	L/B	B/T	C_p	$L/V^{1/3}$
1	360	25,03	6,51	3,12	3,84	2,09	0,69	3,55
2	325	25,03	6,65	3,07	3,76	2,17	0,62	3,67
3	325	25,03	6,65	3,07	3,76	2,17	0,62	3,67
4	485	31,60	7,35	3,05	4,30	2,41	0,67	4,06
5	325	25,04	6,65	3,28	3,77	2,03	0,58	3,67
6	325	25,04	6,65	3,28	3,77	2,03	0,58	3,67
7	337	25,00	6,76	3,28	3,70	2,06	0,59	3,62
8	273	23,24	6,55	3,03	3,55	2,16	0,58	3,61
9	659	36,60	8,00	3,45	4,58	2,32	0,64	4,24
10	400	27,71	7,06	3,21	3,92	2,20	0,62	3,79
11	420	31,80	7,30	3,65	4,36	2,00	0,48	4,28
12	492	28,95	7,55	3,33	3,83	2,27	0,66	3,70
13	273	23,24	6,55	3,03	3,55	2,16	0,58	3,61
14	660	36,60	8,00	3,45	4,58	2,32	0,64	4,24
15	400	27,71	7,06	3,21	3,92	2,20	0,62	3,79
16	469	31,80	7,30	3,65	4,36	2,00	0,54	4,13
17	336	30,00	6,43	3,07	4,67	2,09	0,55	4,35
18	360	25,29	6,72	2,76	3,76	2,43	0,75	3,58
19	440	27,70	7,05	3,22	3,93	2,19	0,68	3,67
20	440	28,00	7,65	3,36	3,66	2,28	0,60	3,71
21	660	36,58	7,93	3,36	4,61	2,36	0,66	4,24
22	338	24,38	6,65	3,29	3,67	2,02	0,62	3,53
23	420	25,10	7,50	3,25	3,35	2,31	0,67	3,38
24	494	35,96	7,77	3,65	4,63	2,13	0,47	4,59
25	535	31,12	7,62	3,65	4,08	2,09	0,60	3,87
26	262	22,12	6,30	2,90	3,51	2,17	0,63	3,49
27	346	25,29	6,72	2,96	3,76	2,27	0,67	3,63
28	695	32,80	8,25	3,75	3,98	2,20	0,67	3,73
29	725	33,80	8,45	3,85	4,00	2,19	0,64	3,79
30	825	34,7	9,20	4,14	3,77	2,22	0,61	3,73
31	965	38,4	9,88	4,1	3,89	2,41	0,61	3,92
32	1200	42,5	10,00	4,50	4,25	2,22	0,61	4,03
33	1850	49,8	10,80	5,00	4,61	2,16	0,67	4,09

ANEXO 9

1. Listagem dos motores disponíveis no programa "Power Fish" [42].

pro	Marca e Modelo	Potência Contínua	Rotação Mínima	Rotação Máxima	Consumo Específico	Peso	Comprimento	Largura	Altura	Cilindro
		KW	RPM	RPM	gr/Kw-hr	Kgs	m	m	m	
1	CAT-3306B	164	1400	2000	219	1120	2,022	0,93	1,059	6L
2	CAT-3306C	205	1400	2000	220	1470	2,357	1,05	1,5	6L
3	CAT-3408C	280	900	1300	207	1681	1,482	1,32	1,302	V8
4	CAT-3408C	350	1000	1800	207	1681	1,482	1,3	1,305	V8
5	CAT-3408C	448	800	1200	213	1681	1,502	1,3	1,305	V8
6	CAT-3508	526	800	1200	216	5216	2,077	1,7	1,803	V8
7	CAT-3508	561	900	1300	209	5216	2,077	1,7	1,803	V8
8	CAT-3508	578	1000	1800	215	5216	2,077	1,7	1,803	V8
9	CAT-D398	634	800	1225	213	6723	4,095	1,6	2,022	V12
10	CAT-3512	638	800	1800	213	6723	4,095	1,6	2,022	V12
11	CAT-3512	671	800	1200	196	6532	2,605	1,7	2,053	V12
12	CAT-3512	791	800	1200	214	6532	2,602	1,7	2,053	V12
13	CAT-3512	877	1000	1800	212	6532	2,612	1,7	2,053	V12
14	CAT-3516	895	800	1200	201	8029	3,141	1,71	2,053	V12
15	CAT-3512	955	1000	1800	211	6532	2,651	1,71	2,053	V12
16	CAT-3512	1015	1000	1600	212	6532	2,652	1,71	2,053	V12
17	CAT-3516	1051	800	1200	200	8029	3141	1,7	2,053	V16
18	CAT-3512	1078	1000	1800	209	6532	2,053	1,7	2,607	V12
19	CAT-3516	1156	1000	1800	213	8029	3,141	2,05	2105	V16
20	CAT-3516	1276	800	1600	206	8029	3,145	2,17	2,15	V16
21	CAT-3606	1560	400	800	201	156000	3,495	1,8	2,855	6L
22	CAT-3606	1850	700	1000	201	156000	3,495	1,8	2,855	6L
23	CAT-3606	2030	500	1000	201	156000	3,495	1,8	2,855	6L
24	CAT-3608	2460	500	1000	200	19000	4,3	1,75	2,875	8L

ANEXO 10

- a. Listagem de preços de propulsores de passo fixo utilizando a série B-Troost e sistemas hélice-duto com a série Kaplan [44]

LISTAGEM DE PREÇOS DE PROPULSORES		
<i>Dímetro m</i>	<i>B-Troost Passo fixo</i>	<i>Kaplan Passo fixo c/duto</i>
0,70	1700	3000
0,80	2000	3600
0,90	2300	3500
1,00	2700	4000
1,10	3250	4700
1,20	3850	5500
1,30	4650	6700
1,40	5500	7800
1,50	6600	9500
1,60	7950	12000
1,70	9450	15200
1,80	11200	18000
1,90	13200	21000
2,00	15500	23500
2,10	18000	25500
2,20	21000	31500
2,30	24200	37000
2,40	27800	43000
2,50	31700	48000
2,60	33000	52000
2,70	37000	54000
2,80	40000	57000
2,90	43000	62000
3,00	45000	67000

Notação: Os preços apresentados na tabela foram obtidos do mercado peruano, brasileiro e americano. Foram baseados em propulsores de 4 pás e uma razão de área expandida de 0,70. O programa interpola os custos dos propulsores dependendo do Z e Ae/Ao para o novo propulsor.

ANEXO 11

1. Validação método de HOLTROP[16]

a. Características principais do navio exemplo

Comprimento da linha d'água	205	m
Comprimento entre perpendiculares	200	m
Boca molhada	32	m
Calado de proa	10	m
Calado de popa	10	m
Volume de deslocamento	37,500	m ³
Posição longitudinal do centro carena	2,02 % a popa de 1/2L-	
Área transversal do bulbo	20	m ²
Distância do centro do bulbo à linha base da quilha	4,0	m
Coefficiente de seção mestra	0,98	-
Coefficiente de área da linha d'água	0,75	-
Superfície de apêndices	50	m ²
Forma de popa	Forma de U	-
Diâmetro do propulsor	8,0	m
Números de pás do propulsor	4,0	-
Velocidade do navio	25,0	nós

b. Comparação de resultados de resultados dos algoritmos.

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE RESISTÊNCIA AO AVANÇO			
Parâmetro			
Cálculo	Programa	Exemplo	Dif. %
Unidades			
PE	23048	23063	0,07
R _t	1792,30	1793,26	0,05
R _f	874,17	869,63	-0,52
R _v	1005,30	1005,29	0,00
R _w	557,60	557,11	-0,09
R _{APP}	8,83	8,83	0,00
R _{CA}	220,52	221,98	0,66
R _B	0,049	0,049	0,00
R _{TR}	0,00	0	0,00
R _f	0,00139	0,00139	0,00
C _f	0,00035	0,000352	0,57
C _A	0,274	0,258	-6,20
w	0,198	0,174	-13,79
t	0,998	0,993	-0,50
η _R			
Potência efetiva			
Resistência total			
Resistência de atrito			
Resistência viscosa			
Resistência de ondas			
Resistência de apêndices			
Resistência de correlação			
Resistência do bulbo			
Resistência de pressão			
Coefficiente de atrito			
Coefficiente de correlação			
Coefficiente de esteira			
Coefficiente R. força propulsora			
Eficiência relativa rotativa			

c. Continuação de resultados

				Parâmetro	
Unidades	Dif. %	Exemplo	Programa	Calculo	Demo
-	-0,07	0,2868	0,287	Fn	0,287
-	0,00	7381,45	7381,45	S	7381,45
-	-0,07	0,5716	0,57	C _p	0,5716
-	0,05	0,5833	0,58	C _p	0,5833
-	0,52	1,156	1,15	1 + k ₁	1,156
-	0,00	1,5	1,5	1 + k ₂	1,5
-	0,00	12,08	12,08	1/2α _e	12,08
-	-2,82	2172,75	2234	T	2172,75
-	-0,12	-2,127	-2,130	m ₁	-2,127
-	0,51	-0,171	-0,170	m ₂	-0,171
-	0,00	0,000	0,000	m ₃	0,000
-	0,00	0,000	0,000	m ₄	0,000
-	0,00	1,398	1,398	C ₁	1,398
-	0,07	0,760	0,759	C ₂	0,760
-	0,90	0,021	0,021	C ₃	0,021
-	0,00	0,040	0,040	C ₄	0,040
-	0,02	0,959	0,959	C ₅	0,959
-	0,00	0,000	0,000	C ₆	0,000
-	0,06	0,156	0,156	C ₇	0,156
-	0,00	14,400	14,400	C ₈	14,400
-	0,69	14,500	14,400	C ₉	14,500
-	0,00	1,250	1,250	C ₁₁	1,250
-	0,00	1,110	1,110	C ₁₄	1,110
-	0,24	-1,694	-1,690	C ₁₅	-1,694
-	-0,07	1,380	1,381	C ₁₆	1,380
-	0,00	0,000	0,000	C ₁₇	0,000
-	0,00	0,042	0,042	C ₁₉	0,042
-	0,00	1,150	1,150	C ₂₀	1,150
-	-0,04	1,508	1,509	Fni	1,508
-	0,02	0,626	0,626	Pb	0,626
-	-1,88	0,002	0,002	Cv	0,002
-	-0,02	5,433	5,434	Fnt	5,433
-	0,05	0,651	0,651	λ	0,651
-	-0,02	81,385	81,400	Lr	81,385
-	1,41	0,548	0,540	C _{pi}	0,548

2. Validação do método de OORTMERSSEN [13]

a. Características principais do navio exemplo (pesqueiro de arrasto)

Comprimento da linha d'água	30	m
Comprimento entre perpendiculares	28	m
Boca molhada	8,4	m
Calado médio	2,95	m
Coefficiente de seção mestra	0,817	-
Coefficiente prismático	0,609	-
Volume deslocamento	376	m ³
Meio ângulo de entrada	23	graus
Posição longitudinal do centro de carena	-2,55% de L _d	-
Velocidade de projeto	13,0	nós
Superfície molhada	284	m ²

b. Resultados

RESULTADOS DE RESISTÊNCIA AO AVANÇO : OORTMERSSEN				Parâmetro	
	Calculo	Exemplo	Dif. %	unidade	
Potência efetiva	822,61	824	0,17	HP	Resistência ao avanço
R _T	9354,7	9371	0,17	Kg	Resistência viscosa
R _V	1601,4	1601	-0,02	Kg	Resistência de ondas
R _W	7752,3	7770	0,23	Kg	Coefficiente de atrito
C _F	0,00193	0,001932	0,10	-	Numero de Froude
F _n	0,3965	0,396	-0,13	-	Superfície molhada
S	284,0	284,0	0,00	m ²	Coefficiente prismático
C _p	0,609	0,609	0,00	-	Coefficiente de esteira
w	0,198	0,198	0,00	-	Coefficiente R. força propulsora
t	0,203	0,203	0,00	-	Efficiência rotativa relativa
η _R	1,019	1,019	0,00	-	Coefficiente C ₁
C ₁	0,0020	0,0020	0,00	-	Coefficiente C ₂
C ₂	0,2536	0,2536	0,00	-	Coefficiente C ₃
C ₃	-0,0793	-0,0793	0,00	-	Coefficiente C ₄
C ₄	0,0337	0,0337	-0,03	-	Coefficiente m
m	0,4266	0,4266	0,00	-	Coefficiente f ₁
f ₁	0,7390	0,7400	0,14	-	Coefficiente f ₂
f ₂	0,0662	0,0660	-0,38	-	Coefficiente f ₃
f ₃	0,0052	0,0052	0,00	-	Coefficiente f ₄
f ₄	0,0660	0,0660	0,00	-	Coefficiente L _d
L _d	29,00	29,00	0,00	-	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CALIENES, R., *Monitoreo oceanográfico pesquero en áreas seleccionadas*. Boletín Técnico 2, Callao - Perú, Mayo, 1992.
- [2] FLORES, M., *Incidencia de los fenómenos "EL NIÑO" en la extracción de recursos pesqueros marinos de la pesquería peruana en el período 1950-1987*. Simposio Internacional de los Recursos Vivos de las Pesquerías en el Pacífico Sudeste, Viña del Mar - Chile, Mayo, 1988.
- [3] FLORES, M., *Los desembarques de la pesquería marina peruana 1990-1994*. Instituto del Mar del Perú, Callao - Perú, Julio, 1995.
- [4] ARNTZ, W.; LANDA, A.; TARASONA, J., *El Niño y su impacto en la fauna marina*. Boletín Extraordinario del Instituto del Mar del Perú, Callao - Perú, 1985.
- [5] EXPOPESCA, *Qual es el tamaño óptimo de barco pesquero en la pesca pelágica en Chile*, Lima, Noviembre, 1994.
- [6] GOMES, P., *Modelo de análise a projeto de embarcações pesqueiras*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, Junho, 1981.
- [7] PAZ, D., *Estudios de factibilidad para la adquisición de diez barcos de cerco refrigerados*. Peces, Lima - Perú, 1995.
- [8] MORENO, J.A., *Automatización do projeto de embarcações pesqueiras*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, Dezembro, 1995.
- [9] OKONSKI, L., *Curso de capacitación FAO / Noruega sobre proyecto de embarcaciones de pesca*. v. I, III, Guayaquil- Ecuador, Marzo - Mayo, 1980.
- [10] DOUST, D.J.; O'BRIEN, T.P., *Resistance and propulsion of trawlers*. Transactions of the North Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, v. 75, 1959.
- [11] RIDGLEY, C., *The resistance of displacement length ration trawler series*. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers, v. 75, 1967.
- [12] INUI, T.; NAKAMURA, S., *Graphic methods for the calculation of the power of fishing vessels*. Department Naval Architecture from Japan.
- [13] OORTMERSSEN, G., *A power prediction method and its application to small ships*. International Shipbuilding Progress, June, 1971.
- [14] HOLTROP, J.; MENNEN, G.G.J., *Evaluation of performance model tests and the power prediction from test statistics*. International Shipbuilding Progress, November 1974.
- [15] HOLTROP, J.; MENNEN, G.G.J., *A Statistical Power Prediction Method*. International Shipbuilding Progress, v. 25, October, 1978.
- [16] HOLTROP, J.; MENNEN, G.G.J., *An approximate power prediction method*. International Shipbuilding Progress, v. 29, July, 1982.

- [17] HOLTROP, J.; MENNEN, G.G.J., *A statistical re-analysis of resistance and propulsion data*. International Shipbuilding Progress, v. 31, June, 1984.
- [18] CALISAL, M.; MC GREER, D.; ROHLING, F., *A fishing vessel energy analysis program*. Marine Technology, v. 26, January, 1989.
- [19] HOLTROP, J., *A statistical analysis of performance test results*. International Shipbuilding Progress, v. 24, February, 1977.
- [20] DOUST, J.; HAYES, G., *A statistical analysis of FAO resistance data for fishing craft*. Fishing Boats of the World, v. 2, London, 1964.
- [21] TRAUNG, J.O.; DOUST, D.J.; HAYES, J.G., *New possibilities for improvement in the design of fishing vessels*. Fishing Boats of the World, v. 3, London, 1967.
- [22] HAYES, J.G.; ENGVALL, L.O., *Computer-aided studies of fishing boat hull resistance*. Roma, 1969.
- [23] PREYSLER, C., *Teoría del buque*. v. 1, Madrid, 1945.
- [24] BROCKETT, T., *Design theory for marine propellers*. MIT, Cambridge Lecture Notes, June, 1981. (ref. for)
- [25] LEWIS, E., *Resistance, Propulsion and Vibration, Principles of Naval Architecture Second Revision*, v. II, May, 1988.
- [26] OOSTERVELD, C.; OOSANEM, P., *Further computer analyzed data of the wagenigen b-screw series*, International Shipbuilding Progress, v. 22, July, 1975.
- [27] OOSTERVELD, C., *Ducted propeller characteristics: symposium on ducted propeller*. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, June, 1973.
- [28] VAN GENT, W.; OOSTERVELD, C., *Los sistemas de hélice-tobera y el ahorro de energía*. Revista de Ingeniería Naval, España, Junio, 1986.
- [29] SANTARELLI, M.; NUÑEZ, J., *Consideraciones acerca del sistema propulsor de arrastres en función del arte de pesca*. Congreso Ibero-Americano de Ingeniería Naval. Lisboa, Noviembre, 1980.
- [30] VAN MANEN, J., *The choice of the propeller*. Marine Technology, April, 1966.
- [31] ROUCHE, M., *Controllable-pitch propellers for trawlers*. Fishing Boats of the World, v. 2, London, 1964.
- [32] TOWSIN, R.L.; BYRNE, D.; MILNE, A.; SVENSEN, T., *Speed, power an roughness: the economics of outer bottom maintenance*. Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Spring Meeting, paper No. 11, 1980.
- [33] TOWSIN, R.L.; BYRNE, D.; MILNE, A.; SVENSEN, T., *Estimating the technical and economical penalties of hull and propeller roughness*. Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers. v. 89, 1981.

some 64

- [34] KAN, S.; SHIBA, H.; TSUCHIDA, K.; YOKOO, K., *Effect of fouling of a ship's hull and propeller upon propulsive performance*. *International Shipbuilding Progress*, v. 5, January, 1958.
- [35] KRESIC, M.; HASKEL, B., *Effects of propeller design-point definition on the performance of a propeller/diesel engine system with regard to in-service roughness and weather conditions*. *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, v. 91, 1983.
- [36] GRIGSON, C., *Propeller roughness, its nature, and its effect upon the drag coefficients of blades and ship power*. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, v. 124, 1982.
- [37] ADAMS, E.; SPRAGUE, S.; MOORE, T., *Energy conservation by sea staff*. *Conference on Priorities for Reducing the Fuel Bill*, *Trans. IMARF*, v. 94, 1982.
- [38] TEXEIRA, A., *Procedimento para a monitoração do desempenho do sistema propulsivo de navios*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Fevereiro, 1996.
- [39] MALONE, J.A.; LITTLE, D.F., *Effects of hull foulants and cleaning/coating practices on ship performance and economics*. *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, v. 88, 1980.
- [40] ISHERWOOD, R.M., *Wind resistance of merchant ships*. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, v. 115, 1973.
- [41] DIRECCIÓN GENERAL DE CAPITANÍA Y GUARDACOSTAS DEL CALLAO-PERÚ, *Reporte NARCR66*. Marina de Guerra del Perú, Abril, 1996.
- [42] CATERPILLAR, *Marine power systems-technical*. June, 1988.
- [43] BERNITZAS, M.; RAY, (sem dados sobre referência)
- [44] ORCAMENTOS DE PROPULSORES; Metalúrgica e Mecânica ANDREONI LTDA:(São Paulo-Brasil, Setembro, 1996); L & P Comercialização, Representações y Servicios (Lima-Perú, Agosto, 1996); Marinsa Miami Corporation (Miami-USA, June, 1994).

APÉNDICES

APÊNDICES

APÊNDICE A	Formulação do método de Holtrop.....	I
APÊNDICE B	Formulação do método de Oortmerssen.....	VII
APÊNDICE C	Formulação do método da FAO.....	IX

APÊNDICE A

1. FORMULAÇÃO DO MÉTODO DE HOLTROP

Para o cálculo da resistência viscosa do navio e modelo utilizam-se os resultados experimentais com placa plana. No entanto, a resistência viscosa do navio não é igual à resistência da placa plana com a mesma superfície molhada, devido ao fato que o fluxo ao redor do navio é tridimensional, enquanto a condigão do fluxo ao redor da placa é bidimensional. A resistência de atrito é então acrescentada do coeficiente de forma, como mostra a expressão (2).

sendo “Resistência Atrito”

$$R_F = 1/2 \rho V^2 S \cdot C_F, \quad (1)$$

sendo “Resistência Viscosa”

$$R_V = R_F (1 + k_1), \quad (2)$$

O coeficiente de resistência de atrito foi determinado utilizando a seguinte fórmula recomendada pela ITTC-1957.

$$C_F = \frac{0,075}{(\log R_n - 2)^2} \quad (3)$$

A superfície molhada do navio pode ser aproximada por:

$$S = L(2T + B) \sqrt{C_M (0,453 + 0,4425 C_p - 0,2862 C_M - 0,003467 B/T + 0,3696 C_{wp})} + 2,38 A_{BT} / C_p \quad (4)$$

onde T é o calado, B a boca, C_M o coeficiente de seção mestra, C_p o coeficiente de bloco, C_{wp} o coeficiente de área na linha d'água e A_{BT} área da seção transversal do bulbo.

O fator de forma 1+k₁ foi obtido de 91 testes de resistência com uma razoável confiabilidade numérica:

$$1 + k_1 = 0,93 + 0,487118 \cdot c_{14} \cdot (B/L)^{1,06806} \cdot (T/L)^{0,46106} \quad (5)$$

$$(L/L_R)^{0,121563} \cdot (L_3/\Delta)^{0,36486} \cdot (1 - C_p)^{-0,604247} \quad (6)$$

onde L_R é o comprimento do corpo de saída. O coeficiente c₁₄ é obtido segundo a forma da popa do navio, este valor dependendo também do coeficiente de forma C_{sistem}, apresentado na tabela 1:

$$L_R = L (1 - C_p + 0,06 C_p Lcb / (4 C_p - 1)) \quad (6)$$

Tabela 1 - Valores do coeficiente C_{stern}^{stern} [16]

<i>Forma de Popa</i>	
Seção em forma de "V"	-10
Seção em forma "Normal"	0
Seção em forma de "U"	10

Tem-se: $C_{14} = 1 + 0.011C_{stern}^{stern}$ (7)

A "Resistência de Ondas" para um número de Froude até 0,4 é calculada por:

$$R^{w-A} = c_1 c_2 c_5 \Delta \rho g \exp \{ m_1 F_n^4 + m_4 \cos(\lambda F_n^2) \}, \quad (8)$$

com

$$c_1 = 2223105 c_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} \left(90^{-1} \right)^{-1,37565} ; \quad (9)$$

$$c_7 = 0,2229577 (B/L)^{0,33333}, \quad \text{quando } B/L < 0,11; \quad (10a)$$

$$c_7 = B/L, \quad \text{quando } 0,11 < B/L < 0,25; \quad (10b)$$

$$c_7 = 0,5 - 0,0625 L/B, \quad \text{quando } B/L > 0,25; \quad (10c)$$

$$m_1 = 0,0140407 L/T - 1,75254 \Delta^{1/3} / L - 4,79323 B/L - c_{16}; \quad (11)$$

$$c_{16} = 8,07981 C_p - 13,8673 C_p^2 + 6,984388 C_p^3, \quad \text{quando } C_p < 0,8; \quad (12a)$$

$$c_{16} = 1,73014 - 0,7067 C_p, \quad \text{quando } C_p > 0,8. \quad (12b)$$

Para faixas de velocidades maiores, com número de Froude acima de 0,55, a fórmula adquire a seguinte forma:

$$R^{w-B} = c_{17} c_2 c_5 \Delta \rho g \exp \left\{ m_3 F_n^4 + m_4 \cos(\lambda F_n^2) \right\}, \quad (13)$$

com

$$c_{17} = 6919,3 C_M^{-1,3346} \left(\Delta / L^3 \right)^{2,00977} (L/B) - 2)^{1,40692}; \quad (14)$$

$$m_3 = -7,2035 (B/L)^{0,326869} (T/B)^{0,605375}, \quad (15)$$

em que os coeficientes c_2 , c_5 , d , e λ são definidos pelas expressões:

$$c_2 = \exp \left(-1,89 \sqrt{c_3} \right); \quad (16)$$

$$c_5 = (1 - 0,8 A^T / (B T C_M)) ; \quad (17)$$

$$\lambda = 1,446 C_p - 0,03L/B, \quad \text{quando } L/B < 12; \quad (18a)$$

$$\lambda = 1,446 C_p - 0,36, \quad \text{quando } L/B \geq 12; \quad (18b)$$

$$d = -0,9;$$

$$c_3 = 0,56A_{BT}^{1,5} / \left\{ BT(0,31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B) \right\}; \quad (19)$$

$$m_4 = c_{15} 0,4 \exp \left(-0,034F_n^{-3,29} \right); \quad (20)$$

$$c_{15} = -1,69385, \quad \text{quando } L^3/\Delta < 512; \quad (21a)$$

$$c_{15} = -1,69385 + \left(L/\Delta^{1/3} - 8 \right) / 2,36, \quad \text{quando } 512 < L^3/\Delta < 1727; \quad (21b)$$

$$c_{15} = 0, \quad \text{quando } L^3/\Delta > 1727 \quad (21c)$$

Para faixas do número de Froude compreendidas entre 0,40 e 0,55 é necessária uma interpolação das fórmulas já apresentadas:

$$R_w = R_{w-A_{0,4}} + (10F_n - 4)(R_{w-B_{0,55}} - R_{w-A_{0,4}}) / 1,5, \quad (22)$$

onde

$R_{w-A_{0,4}}$ é a resistência de ondas para um número de Froude até 0,40.

$R_{w-B_{0,55}}$ é a resistência de ondas para um número de Froude acima de 0,55.

A "Resistência de Apêndices" pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$R_{APP} = 0,5 \rho V^2 S_{APP} (1+k_2)^{eq} C_F, \quad (23)$$

onde $1+k_2$ é o fator de resistência de apêndices e C_F o coeficiente de resistência de atrito do navio de acordo com a fórmula da ITTC - 1957.

Na tabela 2, os valores tentativos do fator $1+k_2$ foram obtidos a partir de testes com modelos de navios com casco liso e apêndices. Em alguns destes testes foram colocados simuladores de turbulência para induzir o fluxo turbulento sob os apêndices.

O valor equivalente $1+k_2$ para a combinação de apêndices é dado por:

$$(1+k_2)^{eq} = \frac{\sum S_{APP}}{\sum (1+k_2) S_{APP}} \quad (24)$$

Tabela 2 - Valores do coeficiente $(1 + k_2)$ [16]

Tipo de Apêndice	$(1 + k_2)$
Leme	1,5-2,0
Pés de galinha	3,0
Superfícies de controle fixas	1,5-2,0
Suportes de leme	2,0
Eixos	2,0-4,0
Estabilizadores	2,8
Dome	2,7
Quilha	1,4

A força devida à presença do bulbo, é determinada da expressão :

$$R_B = 0,11 \exp(-3P_B^{-2}) F_B^3 A_{BT}^{1,5} \rho g / (1 + F_B^m) \quad (25)$$

onde o coeficiente P_B é uma medida em função da imersão do bulbo e F_B^m é um número de Froude baseado na imersão.

$$P_B = 0,56 \sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1,5 h_B) \quad (26)$$

$$F_B^m = V / \sqrt{g(T_F - h_B - 0,25 \sqrt{A_{BT}}) + 0,15 V^2} \quad (27)$$

De forma similar, a resistência adicional devido à imersão da popa tipo "transom" pode ser determinada pela fórmula seguinte:

$$R_{TR} = 0,5 \rho V^2 A_{TR} c_6 \quad (28)$$

O coeficiente c_6 sendo relacionado com o número de Froude na imersão da popa:

$$c_6 = 0,2 (1 - 0,2 F_{nt}) \quad , \quad \text{quando } F_{nt} < 5; \quad (29a)$$

$$c_6 = 0 \quad , \quad \text{quando } F_{nt} \geq 5; \quad (29b)$$

F_{nt} tem a seguinte definição:

$$F_{nt} = V / \sqrt{2g A_{TR}} / (B + BC_{WP}) \quad (30)$$

A força de correlação modelo-navio R_A é dada pela seguinte expressão:

$$R_A = 0,5 \rho V^2 S C_A \quad (31)$$

Esta resistência é devida ao efeito da rugosidade do casco e a resistência do ar parado. O coeficiente C_A foi encontrado como:

$$C_A = 0,006(L + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003 \sqrt{L/7,5} C_b^2 c_2 (0,04 - c_4), \quad (32)$$

com:

$$C_4 = T_F / L, \quad \text{para: } T_F / L \leq 0,04; \quad (33)$$

ou

$$C_4 = 0,04, \quad \text{para } T_F / L > 0,04; \quad (34)$$

No final a "Resistência Total" é dada pela somatória das expressões (2), (8), 13 ou 22), (23), (25), (28), (31):

$$R_{TOTAL} = R_F (1+k_1) + R_W + R_{APP} + R_B + R_{TR} + R_A \quad (35)$$

A formulação estatística para a estimativa do coeficiente de esteira (w), o coeficiente de redução de força propulsora (t) e a eficiência rotativa relativa (η_R) foi melhorada durante todas as etapas do trabalho de HOLTROP. No início utilizaram-se 77 modelos de propulsores para fazer as medições, a reanálise de 1984 complementou seus resultados com 168 testes em propulsores de navios novos (na escala real) chegando à seguinte formulação:

para navios de um propulsor com popa convencional:

$$w = c_6 c_{20} C_V \frac{T_A}{L} (0,050776 + 0,93405 c_{11} \frac{(1-C_{PI})}{C_V} + 0,27915 c_{20} \sqrt{\frac{L(1-C_{PI})}{B}} + c_{19} c_{20}, \quad (36)$$

O coeficiente c_9 depende do coeficiente c_8 definido como:

$$c_8 = BS / (L D T_A) \quad \text{quando } B / T_A > 5 \quad (37a)$$

$$c_8 = S((7B / T_A) - 25) / (LD (B / T_A - 3)) \quad \text{quando } B / T_A > 5 \quad (37b)$$

$$c_9 = c_8 \quad \text{quando } c_8 > 28 \quad (38a)$$

$$c_9 = 32 - 16 / (c_8 - 24) \quad \text{quando } c_8 \geq 28 \quad (38b)$$

quando $C_p > 0,7$

$$c_{19} = (0,18567 / (1,3571 - C_M)) - (0,71276 + 0,38648 C_p) \quad (39a)$$

quando $C_p > 0,7$

$$c_{19} = 0,12997 / (0,95 - C_p) - 0,11056 / (0,95 - C_p) \quad (39b)$$

$$c_{20} = 1 + 0,015 C_{stem} \quad (40)$$

$$C_{PI} = 1,45 C_p - 0,315 - 0,0225 |c_b| \quad (41)$$

$$c_{11} = T_A / D > 2$$

quando $T_A / D \leq 2$ (42a)

$$c_{11} = 0,08333333(T_A / D)^3 + 1,333333 \quad \text{quando } T_A / D > 2 \quad (42b)$$

O coeficiente C_V é o coeficiente de resistência viscosa dado pela expressão:

$$C_V = (1+K) C_F + C_A \quad (43)$$

A fórmula para o coeficiente de redução de força propulsora:

$$t = 0,25014(B/L)^{0,28956} (\sqrt{BT/D})^{0,2624} / (1 - C_P + 0,0225 Lcb)^{0,01762} + 0,0015 C_{stem} \quad (44)$$

e a fórmula para a estimativa da eficiência relativa rotativa é dada como segue:

$$\eta_R = 0,9922 - 0,05908 Ae/A_0 + 0,07424 (C_P - 0,0225 Lcb) \quad (45)$$

Para o navio com um propulsor com popa "transom", os coeficientes propulsivos são dados da forma seguinte:

$$w = 0,3 C_b + 10 C_V C_b - 0,1 \quad (46)$$

$$t = 0,10$$

$$\eta_R = 0,98$$

Para a predição dos coeficientes propulsivos para navios bi-hélices são:

$$w = 0,3095 C_b + 10 C_V C_b - 0,23 D / \sqrt{BT} \quad (47)$$

$$t = 0,325 C_b - 0,1885 D / \sqrt{BT} \quad (48)$$

$$\eta_R = 0,9737 + 0,111 (C_P - 0,0225 Lcb) - 0,06325 P/D \quad (49)$$

2. FORMULAÇÃO DO MÉTODO DE OORTMERSSEN

Para a estima da resistência, as diversas fórmulas das componentes podem ser agrupadas, a primeira parcela representa a componente residual e a segunda parcela a componente viscosa.

$$R_T = (c_1 f_1 + c_2 f_2 + c_3 f_3 + c_4 + f_4) \Delta + (C_F + \Sigma \Delta C_F) \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (1)$$

O número de Froude é definido da seguinte maneira :

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL_d}} \quad (2)$$

onde L_d é dado por :

$$L_d = 1/2(L_{pp} + L_{WL}) \quad (3)$$

Os coeficientes f_i se encontram em função do número de Froude e do coeficiente prismático C_p .

$$f_1 = e^{-\frac{m}{9} F_n^{-2}} \quad (4)$$

$$f_2 = e^{-m F_n^{-2}} \quad (5)$$

$$f_3 = e^{-m F_n^{-2}} \cdot \sin F_n^{-2} \quad (6)$$

$$f_4 = e^{-m F_n^{-2}} \cdot \cos F_n^{-2} \quad (7)$$

$$m = 0,14347 C_p^{-2,1976} \quad (8)$$

O coeficiente de atrito foi calculado utilizando a seguinte fórmula para fluxo turbulento (ITTC-1957).

$$C_F = \frac{0,075}{(0,43429 \ln(R_n) - 2)^2} \quad (9)$$

ΔC_F = Coeficientes de correlação apresentados na tabela 1, utilizada na expressão (1).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação [13]

Margens para:	ΔC_F
Rugosidade do Casco	0,00035
Resistência do Leme	0,00004
Resistência da Quilha	0,00004
Resistência do Ar	0,00008

Se a área da superfície molhada é desconhecida, então, esta é calculada pela expressão:

$$S = 3,223 \Delta^{2/3} + 0,5402 L^D \Delta^{1/3} \quad (10)$$

Os coeficientes c_i dependem da forma do casco e das constantes (d_{ij}), apresentadas no anexo 2.

$$c_i = (d_{i0} + d_{i1} \cdot Lcb + d_{i2} \cdot Lcb^2 + d_{i3} \cdot Cp + d_{i4} \cdot Cp^2 + d_{i5} \cdot \frac{B}{Ld} + d_{i6} \cdot \left(\frac{B}{Ld}\right)^2 + d_{i7} \cdot C_{WL} + d_{i8} \cdot C_{WL}^2 + d_{i9} \cdot \frac{T}{B} + d_{i10} \cdot \left(\frac{T}{B}\right)^2 + d_{i11} \cdot C_M) \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

onde:

$$C_{WL} = i_E L^D / B \quad (12)$$

Para se estimar os diversos coeficientes propulsivos, as seguintes fórmulas foram usadas:

$$t = e_{1,0} + e_{1,1} Cp + e_{1,2} Cp^2 + e_{1,3} Cp F_n + e_{1,4} Cp F_n^2 + e_{1,5} Cp \cdot Lcb + e_{1,6} \frac{B}{Ld} + e_{1,7} \cdot \frac{D}{Ld} \quad (13)$$

$$w = e_{2,0} + e_{2,1} Cp + e_{2,2} Cp^2 + e_{2,3} Cp F_n + e_{2,4} Cp F_n^2 + e_{2,5} Cp \cdot Lcb + e_{2,6} \frac{B}{Ld} + e_{2,7} \cdot \frac{D}{Ld} \quad (14)$$

$$\eta_R = e_{3,0} + e_{3,1} Cp + e_{3,2} Cp^2 + e_{3,3} Cp F_n + e_{3,4} Cp F_n^2 + e_{3,5} Cp \cdot Lcb + e_{3,6} \frac{B}{Ld} + e_{3,7} \cdot \frac{D}{Ld} \quad (15)$$

onde os coeficientes e_{ij} dependem da forma do casco e das características do propulsor; os valores e_{ij} também foram determinados através de uma análise de regressão; sendo válida, porém, para cascos mono-hélices, estes coeficientes são mostrados no anexo 2.

APÊNDICE C

1. FORMULAÇÃO DO MÉTODO DA FAO

A equação de regressão apresentada no anexo 3, dá como resultado o coeficiente de resistência total, para uma embarcação de 16 pés (C_{T16}); a ITTC-1978, dá a seguinte expressão para obter o coeficiente de resistência (C_R) da embarcação pesqueira que se está projetando:

$$C_R = C_{T16} - 0.212847 \left[\frac{S \times L}{\Delta} \right] \left[\log_{10} \left[88 \frac{\sqrt{L}}{V} 10^3 \right] \right]^{-2} - \left[\log_{10} \left[1.2834 \frac{\sqrt{L}}{V} L^{3/2} 10^3 \right] \right]^{-2} \quad (1)$$

onde:

S = superfície molhada, em pés²;

$\frac{\sqrt{L}}{V}$

= número de Taylor, onde V em nós e L em pés;

Δ = deslocamento, em ton.

A potência efetiva é representada pela seguinte expressão, definida por HAYES e ENGVALL [22].

$$EHP = \frac{C_R \Delta V^3}{325.7 L} \quad (2)$$

onde:

C_R = coeficiente de resistência do navio;

Δ = deslocamento do navio, em ton;

V = velocidade do navio, em nós;

L = comprimento da linha d'água, em pés.

Para calcular a superfície molhada da embarcação nos baseamos na fórmula dada por PREYSLER [23].

$$S = L [1.5T + (0.09 + C_p)B] \quad (3)$$

onde:

S = Superfície molhada, em pés²;

L = Comprimento da linha d'água, em pés;

T = Calado, em pés;

C_p = Coeficiente de bloco;

B = Boca molhada, em pés.