

MINISTÉRIO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE NÁUTICA (APNT)

LEANDRO EMANUEL CARDOSO PEREIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ADVINDAS DOS APERFEIÇONAMENTOS DOS
CASCOS, SISTEMAS DE GOVERNO E PROPULSÃO.**

RIO DE JANEIRO

2015

LEANDRO EMANUEL CARDOSO PEREIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ADVINDAS DOS APERFEIÇONAMENTOS DOS
CASCOs, SISTEMAS DE GOVERNO E PROPULSÃO**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para a conclusão Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica – APNT, ministrado no Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Professor Hermann Regazzi Gerck

RIO DE JANEIRO

2015

LEANDRO EMANUEL CARDOSO PEREIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ADVINDAS DOS APERFEIÇONAMENTOS DOS
CASCOs, SISTEMAS DE GOVERNO E PROPULSÃO**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para a conclusão Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica – APNT, ministrado no Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

PROFESSOR-ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA: _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Professor-Orientador: Hermann Regazzi Gerk
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Professora Laís Rayssa Lopes Ferreira
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Professor Henrique Vaicberg
Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo, ao meu orientador pelos conselhos, orientação, incentivo para o direcionamento na construção deste trabalho.

Aos amigos Carlos C. Mendes Bueno, Igor C. Pinto Bandeira e Alex F. Silva Souza, pela cumplicidade, apoio e dicas, que muito me ajudaram nos momentos críticos e que servirão de aprendizagem para os primeiros passos no caminhar desta nova etapa da minha vida.

Aos outros professores e colegas de classe, que nos ajudaram em agregar conhecimentos para levar conosco durante toda nossa vida profissional.

Agradeço também aos meus familiares e a empresa Wilson Sons por me apoiarem e acreditarem em mim.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo mostrar as diversas inovações tecnológicas aplicadas às embarcações mercantes no decorrer dos anos, onde vários estudos foram realizados com resultados positivos, visando contribuir com as reduções das componentes resistivas devido ao movimento do navio, diminuição das altas taxas de gases poluentes emitidas e minimizar efeitos indesejáveis como vibrações e ruídos. Conseqüentemente o uso desses resultados foram extrema importância para o desenvolvimentos de novos projetos de embarcações propondo um aumento da eficiência energética para cada tipo de atividade no qual as embarcação realizará.

Palavras-chave: Eficiência energética, combustível, emissão de gases e componentes resistivas.

ABSTRACT

This work aims to show the various technological applications the merchant vessels over the years, where several studies have been conducted with positive results, in order to contribute to the reduction of the resistive component due to ship movement, decrease the high greenhouse gas charges issued and minimize side effects such as vibration and noise. consequently the use of these results were extremely important for the development of new craft projects proposing an increase in energy efficiency for each type of activity in which the vessel will hold.

Keywords: Energy efficiency, fuel, gas emissions and resistive components.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Navio o <i>Savannah</i> em 1819	12
Figura 2	– Hélice de Yosip Ressel	13
Figura 3	– Navio ‘‘SS Great Britain’’ 1943 x Hélice Revitalizado	13
Figura 4	– Navio Selandia x Motor de Diesel 1911.....	14
Figura 5	– Casco	17
Figura 5(a)	– Casco Otimizado Proa	18
Figura 5(b)	– Casco Otimizado Popa	18
Figura 6	– Linhas Atuantes no Bulbo	19
Figura 7	– Os três tipos de bulbos: delta, nabla e ‘‘O’’	19
Figura 8	– Bulbos Analisados	20
Figura 9	– Comparação do Tipos de Bulbos CW x Fr	21
Figura 10	– Proa X-BOW	22
Figura 11	– Comparativo Proa Bulbo x Proa X-Bow	23
Figura 12	– Linhas de Fluxo de Resistência	24
Figura 13	– Gráfico Velocidade X Altura de Onda	25
Figura 14	– Comportamento da Proa Ulstein X-BOW em mar Alteroso	26
Figura 15	– CBO Flamengo	26
Figura 16	– Realidade do Grupo Ulstein no Brasil	27
Figura 17	– Navio Cruzeiro Casco X-BOW.....	28
Figura 18	– Navio Pratulha	28
Figura 19	– Pé de Galinha	29
Figura 20	– Pé de Galinha dois Eixos	29
Figura 21	– Pé-de-galinha	30
Figura 22	– Pé-de-galinha	30
Figura 23	–Variação do Coeficiente Drag Relativo de um cilindro em Função do seu Angulo de ataque	31
Figura 24	– Rebocadores Cicloidal e Azimutal com Skeg	32
Figura 25	– Skegs Duplos	32
Figura 26	– Tipos de Popa	33
Figura 27	– Formas de Popa.....	33
Figura 28	– PSV Baturai	34
Figura 29	– Sistema de Propulsão mecânica.....	35

Figura 30	– Sistema de Propulsão combinada Diesel ou Gás	36
Figura 31	– Sistema de Propulsão combinado Diesel e Gás	36
Figura 32	– Sistema de Propulsão combinado Diesel Elétrico e Gás.....	37
Figura 33	– Sistema de Propulsão a jato	37
Figura 34	– Sistema de Acionamento Elétrico Integrado	38
Figura 35	– Sistema de Propulsão Diesel-elétrica.....	39
Figura 36	– Sistema Propulsão Diesel-elétrica.....	40
Figura 37	– Tubulão Kort Fixo e Movel	41
Figura 38	– Wing Nozzle	41
Figura 39	– Propulsor com pás end-plates	42
Figura 40	– Propulsor Kappel	42
Figura 41	– Propulsores Azimutais	43
Figura 42	– Propulsor L- Drive	44
Figura 43	– Propulsor Z-Drive	44
Figura 44	– Propulsor Retrátil.....	45
Figura 45	– Propulsão AZIPOD do navio Freedom of the Seas 2004	46
Figura 46	– Teste de curva em círculo	47
Figura 47	– AZIPOD VS Convencional	47
Figura 48	– Propulsores AZIPULL.....	48
Figura 49	– Propulsor com duplo hélice	49
Figura 50	– Hélice de Contra Rotação	50
Figura 51	– Hélice de Contra Rotação Híbrido.....	50
Figura 52	– Propulsor Cicloidal	51
Figura 53	– Esteira Formada Por Uma Embarcação Mercante	52
Figura 54	–Valores Típicos de W paea embarcações Mono-Hélices	53
Figura 55	– Duto Schneekluth	54
Figura 56	– Comparação em Navios Com Dutos e Sem Dutos	54
Figura 57	– Aletas Grothue	55
Figura 58	– Duto Mewis	56
Figura 59	– Duto Mitsui.....	57

LISTA DE SIGLAS

MARPOL Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios

CODOG Combined Diesel or Gas

CODAG Combined Diesel And Gas

CODLAG Combined Diesel-electric And Gas

CPP Hélices de Passo Controlável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	HISTÓRICO DOS NAVIOS	12
3	RESISTÊNCIAS.....	15
3.1	Resistência Friccional.....	15
3.2	Resistência de Onda.....	15
3.3	Resistência Viscosa.....	15
3.4	Resistência devido a apêndices.....	16
4	CASCOS.....	17
4.1	Bulbos.....	18
4.2	X-BOW	21
4.3	Aplicações Casco X-BOW.....	27
4.4	Pés de galinha	29
4.5	<i>SKEG</i>	31
4.6	<i>Skees duplos</i>.....	32
4.7	Popa: novos formatos	33
4.7.1	Sistemas de Propulsão	34
4.7.2	Propulsão Mecânica.....	35
4.7.3	Propulsão CODOG - <i>Combined Diesel or Gas</i>	35
4.7.4	Propulsão - CODAG - <i>Combined Diesel And Gas</i>	36
4.7.5	Propulsão – CODLAG - <i>Combined Diesel-electric And Gas</i>	37
4.7.6	Propulsão a jato.....	37
4.7.7	Propulsão Diesel-elétrica	38
4.7.8	Propulsão Diesel-elétrica (AZIPOD).....	39
4.7.9	Atualidade dos Propulsores.....	40
4.7.10	Propulsores em dutos	40
4.7.11	Propulsores <i>end-plates</i> e <i>Kappel</i>	42
4.7.12	Propulsores Azimutais	43
4.7.13	Propulsores Azimutais <i>L- Drive</i>	43
4.7.14	Propulsores Azimutais <i>Z- Drive</i>	44
4.7.15	Propulsores Azimutais Retrátil.....	45
4.7.16	Propulsores Azimutais AZIPOD.....	45

4.7.17	Vantagens do Sistema Azipod	46
4.7.18	Desvantagens	48
4.7.19	Propulsores Azimutais AZIPULL.....	48
4.7.20	Propulsores com duplo hélice	48
4.7.21	Hélice de Contra rotação	49
4.7.22	Propulsores Cicloidais ou <i>Voith Schneider</i>	50
5	EFEITO ESTEIRA	52
5.1	Redução do efeito de esteira.....	53
5.2	Duto <i>Schneekluth</i>	53
5.3	Aletas <i>Grothue</i>	55
5.4	Duto <i>Mewis</i>	55
5.5	Duto <i>Mitsui</i>	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Demarcando desde que foi lançada a primeira embarcação a vapor, as embarcações mercantes sofreram diversas modificações ao passar dos anos. Citando como exemplo o aparecimento dos navios construídos de ferro, o surgimento da hélice e substituição das pás de rodas, ainda sim que os hélices tinham baixa rotação em contrapartida os navios tinham baixa velocidade, foi um marco da época. O aparecimento das turbinas a vapor e logo após os navios a diesel. Todas essas transformações trouxeram problema, como por exemplo, a grande emissão de gases poluentes no qual a (MARPOL), limitou as emissões de óxido de enxofre (SO_x) e óxido de nitrogênio (NO_x). O Anexo VI entrou em vigor internacionalmente em maio de 2005, e o Brasil o ratificou em fevereiro de 2010.

Sentiu-se a necessidade da criação de vários software para otimizar novos projetos de cascos, hélices e lemes com o uso de modelos teóricos e numéricos de simulação do escoamento ao redor de cascos, que tem dados bons resultados na obtenção de valores totais de resistência, sempre buscando melhores valores de eficiência energética.

Outro grande passo da indústria naval foi o surgimento do sistema de propulsão Elétrica vem se difundindo fortemente nos diversos setores da indústria marítima, e está se estabelecendo como uma das melhores e mais atrativas opções para promover a redução dos custos operacionais, tão desejada neste ambiente altamente competitivo. Inicialmente adotada em projetos de quebra-gelos e navios especializados, a Propulsão Elétrica tem conquistado novos mercados. Ela já é padrão nos mais modernos navios comerciais de cruzeiro, como o “Transatlântico Queen Mary”.

No decorrer do trabalho serão mostrados projetos e modelos de bulbos para minimizar resistência hidrodinâmica causada pela formação de onda, e de mesma forma uma atualidade ou talvez uma nova tendência dentre embarcações de apoio marítimo um projeto de proa inovadora denominada X-BOW. Serão também esplanadas os Skegs que são estabilizadores, os pés de Galinha denominados apêndices, novos desenhos de popa, arranjos dos sistemas de propulsão e subsequente será dada ênfase nos novos formatos propulsores que reduzem efeitos de ruído e vibração. Por fim serão apontados mecanismos de redução de esteira produzida pelas embarcações.

2 HISTÓRICO DOS NAVIOS

Em 1783 foi lançado o primeiro navio movido a vapor. Em 1807, Robert Fulton, dos Estados Unidos, conseguiu uma façanha. Seu barco de rodas Clermont foi equipado com um motor a vapor inventado por James Watt. A nova engenhoca mostrou-se rentável e passou a ser empregada na navegação fluvial e costeira (DEUTSCHE WELLE, 2015).

Em 1819 o *Savannah*, contando com rodas de pás, cruzou o Atlântico, da Inglaterra para os Estados Unidos. (TRANSPORTE MARÍTIMO, p. 1.2013).

Figura 1 – Navio o *Savannah* em 1819.



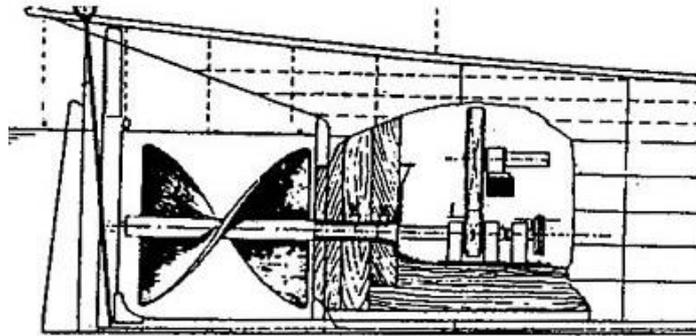
Fonte: Portal Marítimo¹.

Sua máquina, no entanto, esteve em funcionamento apenas durante 85 horas. No resto do tempo, a propulsão foi através das velas. Depois de uma pausa de quase 20 anos, em 1838 logo dois navios ingleses a vapor completaram a travessia até Nova York. O Sirius chegou primeiro e, seis horas mais tarde, atracou o Great Western. Era a confirmação do início da era do navio a vapor, que marcou a independência da navegação dos ventos. (DEUTSCHE WELLE, 2015).

No ano de 1820 na Inglaterra foi lançado o primeiro navio de ferro e somente em 1827 primeiro hélice para navio foi construído por Yosip Ressel, tendo-se inspirado no saca-rolhas espiral comum, onde em 1826 foram efectuando os seus primeiros testes, na cidade de Trieste, Áustria, porém sem grande sucesso.

¹Disponível em: <http://portalmaritimo.com/2011/05/24/savannah-o-primeiro-navio-a-vapor-a-atravesar-o-atlantico/>; Acesso em: 07 out. 2015.

Figura 2 – Hélice de Yosip Ressel.



Fonte: Radio Praha².

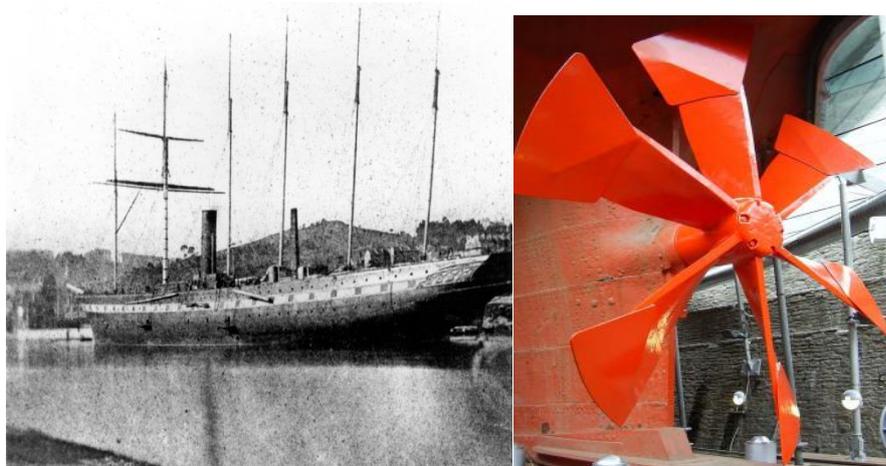
Mais tarde em 1837, foi lançado o primeiro navio com o casco totalmente em ferro a ser registado e notado (classe A) pela Lloyds, conhecido por *Syrius*, de nacionalidade francesa e com 180 toneladas de arqueação. (TRANSPORTE MARÍTIMO, p. 2, 2013).

A primeira viagem através do Atlântico com um navio propulsionado apenas por hélice foi em 1839, com um hélice de Ressel melhorado pelo engenheiro sueco John Ericsson. (TRANSPORTE MARÍTIMO, p. 3, 2013).

Esta novidade, que veio a generalizar-se até à actualidade, deve ser considerada como um dos processos de desenvolvimento mais inovadores.

O SS *Great Britain* foi o primeiro navio transatlântico a ter um casco e um hélice propulsor de ferro e, quando lançado em 1843, era o maior navio da época (98 metros).

Figura 3 – Navio “SS *Great Britain*” 1843 x Hélice Revitalizado.



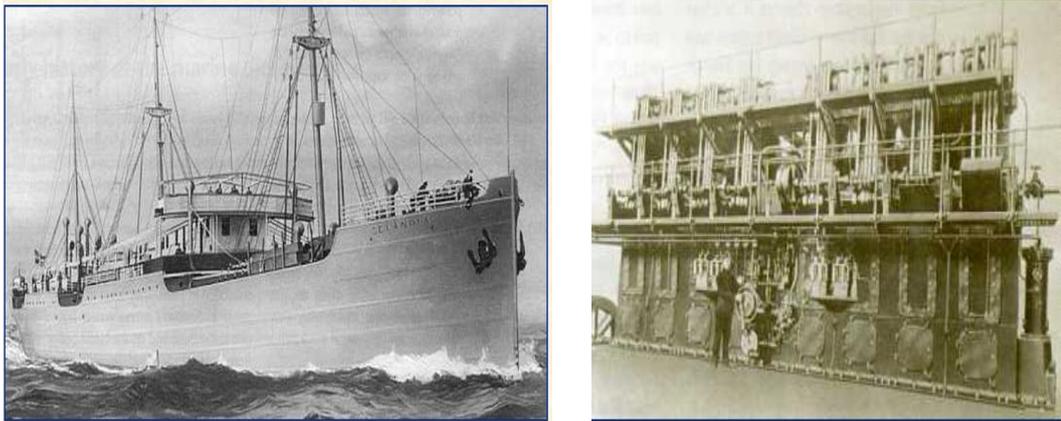
Fonte: IKBRUNEL³

² Disponível em: <http://www.radio.cz/fr/rubrique/histoire/hommage-a-josef-ressel-inventeur-de-la-propulsion-a-helice/>;. Acesso em 07 out. 2015

³ Disponível em: <http://www.ikbrunel.org.uk/ss-great-britain/>;. Acesso em 07 out. 2015.

Finalmente no ano de 1845 deu-se a substituição total das rodas propulsoras por hélices, e em subseqüente em 1897 foi apresentado ao mundo o primeiro navio a turbina e logo a seguir no ano 1911 entrou em serviço o primeiro navio a diesel inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel.

Figura 4 – Navio Selandia x Motor de Diesel 1911.



Fonte: Escola Superior Náutica Infante D. Henrique ⁴

Assim logo após o desenvolvimento do motor de combustão interna os navios e empresas sentiram a necessidade de substituir a Turbina a Vapor, devido ao consumo de carvão em comparação a uma menor quantidade de diesel. Em contrapartida um aumento expressivo a capacidade de carga dos navios.

Porém com os avanços das embarcações seus problemas, como resistências ao avanço, gasto de combustível, energia, vibrações, ruídos não aumentavam linearmente, mas sim exponencialmente que apesar de tudo eram aceitáveis na época. Contudo, a partir de 1970 com as ideias de eficiência energética diversas alternativas surgiram para complementar, otimizar o rendimento e amenizar esses problemas e até em alguns casos substituir a propulsão convencional por propulsão elétrica e até energia nuclear. (GOMES, 2014, p. 14).

⁴Disponível em: <http://www.radio.cz/fr/rubrique/histoire/hommage-a-josef-ressel-inventeur-de-la-propulsion-a-helice/>. Acesso em 07 out. 2015

3 RESISTÊNCIAS

3.1 Resistência Friccional

É o "atrito" entre a água e a superfície do casco. É como se o casco, ao se movimentar, revolvesse a porção de água no seu entorno e arrastasse consigo parte dela. Em princípio, quanto mais rugoso o casco, mais espessa é a camada de água arrastada. Um casco, depois de raspado, por exemplo, produz menos resistência friccional do que antes, com limo e cracas.

Esta expressão é definida pelo ITTC.

Onde Re significa o número de Reynolds.

A Resistência é então definida pela expressão:

$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} * \rho * S * V^2}$$

Onde ρ é massa específica da água, V a velocidade de serviço da embarcação e S a área molhada.

3.2 Resistência de Onda

A resistência por formação de ondas equivale, exatamente, à energia transportada pelas ondas geradas pela embarcação. Por isso em alguns casos, o uso do bulbo diminui essa componente da Resistência. “Logo, quanto menor é a formação de ondas (quanto menos “marola”) mais econômica” é a embarcação. Mantém uma relação com o número de

Froude, $\frac{V}{\sqrt{gL}}$.

3.3 Resistência Viscosa

Esta componente surge em função da viscosidade da água e da presença de uma geometria (um corpo) capaz de perturbar o escoamento. Entende-se como "perturbação" no escoamento a mudança na direção das linhas de corrente que são obrigadas a contornar o corpo e, com isso, têm sua velocidade alterada.

O coeficiente de resistência viscosa C_v , é determinada multiplicando-se o fator de correção da forma $(1+k)$ pelo coeficiente de resistência friccional C_f . A constante 'k' neste caso é expressa por:

Desta forma:

$$\frac{C_t - C_f}{C_f}$$

$$C_v = (1+k) * C_f$$

E a resistência pode ser dada por:

$$R_v = \frac{1}{2} * \rho V_s^2 * S * C_v$$

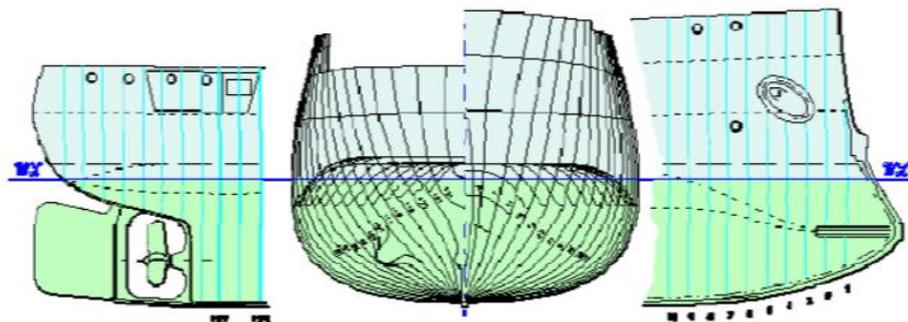
3.4 Resistência devido a apêndices

Causada por separações e turbulências em volta de extremidades do casco. Citando como exemplos de apêndices: Lemes; Cadaste, Pé de Galinha, Bosso do eixo, Eixo do propulso Estabilizador e Bolina.

4 CASCOS

Novos formatos de cascos estão sendo desenvolvidos com objetivo de diminuir as componentes de resistência criadas devido ao movimento do navio, contudo aumentar a eficiência energética da embarcação.

Figura 5 – Casco



Fonte: Instituto Superior Técnico⁵.

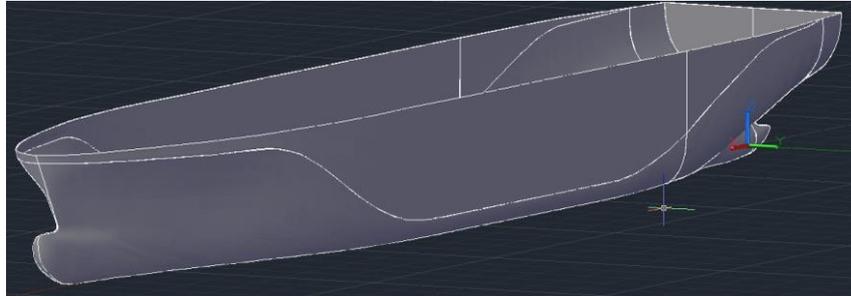
Uma embarcação é um produto muito especial, geralmente de alto custo de construção e altos custos operacionais, que será utilizado por um longo período de tempo 25 anos ou mais, dependendo do tipo de embarcação e de sua missão. A tendência atual é que haja uma pressão cada vez forte, vinda sociedade e da comunidade internacional para que as embarcações, já existentes ou novas, tenham uma maior eficiência operacional, com redução de consumo de combustíveis e, conseqüentemente, com redução de emissão de gases poluentes. O aumento da eficiência de um navio pode ser obtido pela melhoria do projeto do casco, por melhorias nos sistemas de propulsão e pela melhoria no processo de manutenção. Assim, a eficiência operacional será maximizada pela minimização dos custos diretos e indiretos, o que implica em reduzir o consumo de combustível, em diminuir a poluição ambiental, mas sempre mantendo a confiabilidade alta dos sistemas (custos reduzidos de manutenção). Portanto, devem ser sempre procurados os projetos mais adequados otimizados de cascos e de propulsores de embarcações.

No contexto atual os softwares estão sendo os principais responsáveis pela otimização dos novos formatos de cascos para todas as condições de operação a fim de obter as dimensões ótimas de comprimento, boca e calado. Em contrapartida começando também por

⁵ Disponível em: <http://www.mar.ist.utl.pt/>; Acesso em: 07 out. 2015.

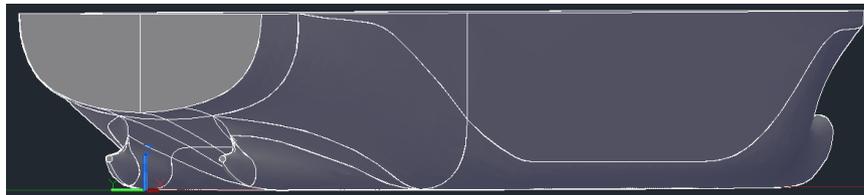
um estudo de resistência ao avanço a partir dos testes em tanque de prova com intuito de obter a resistência mínima e a máxima eficiência propulsiva.

Figura 5(a) – Casco Otimizado Proa.



Fonte: MAGNANI, 2015, p. 23.

Figura 5(b) – Casco Otimizado Popa



Fonte: MAGNANI, 2015, p. 23.

4.1 Bulbos

A vantagem do bulbo de proa foi investigada por um físico escocês no século XIX, mas o aproveitamento efetivo surgiu nos anos 60 do século passado (POPA, 2010). O bulbo é um apêndice do casco introduzido na proa do navio com o propósito de diminuir a resistência ao avanço durante a navegação, situado abaixo da linha d'água, na proa dos navios, é diminuir a resistência hidrodinâmica causada pela formação de ondas, com importante redução no consumo de combustível.

A água empurrada forma uma onda (marola). O comprimento desta onda é proporcional à velocidade do casco. Quanto maior a velocidade do casco, maior o comprimento de onda.

Quando o navio atinge certa velocidade, o comprimento da onda é igual ao comprimento do navio, tendo uma crista na proa e outra próximo à popa. O navio navega na vaga desta onda. Onde esta velocidade é chamada de "velocidade de casco". Considerada aproximadamente igual a 1,34 vezes a raiz quadrada do comprimento da linha d'água do casco, em pés. (popa, 2010).

Figura 6 – Linhas Atuantes no Bulbo.

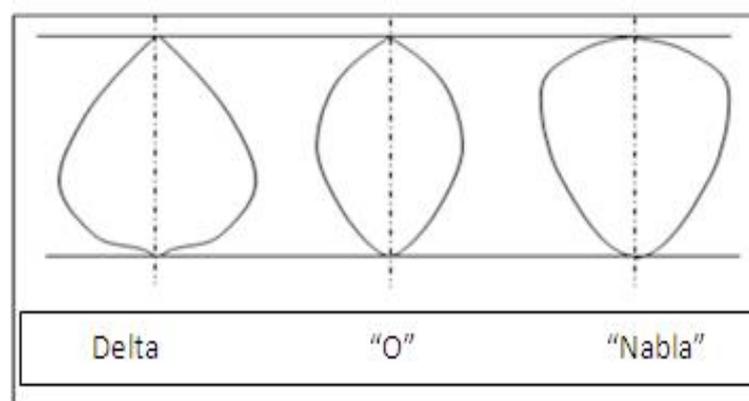


Fonte: Popa.com.br⁶

A função do bulbo é alterar a natureza da onda causada pela proa em movimento, com o fim de reduzir o arrasto induzido pela onda no casco. O bulbo de proa cria sua própria onda, mais a vante e "fora de fase" em relação à onda criada pelo casco. Dessa forma, a onda do casco é reduzida, diminuindo o efeito do arrasto.

Antes de atingir a "velocidade de casco" o bulbo representa uma resistência de fricção extra do casco com a água. Quando o navio está descarregado, o bulbo aparece acima da linha de flutuação. Os fatores físicos considerados na construção do bulbo incluem: volume, comprimento e forma. (CARLOS, 2013, p. 20). O projeto do bulbo deve ser desenvolvido com muita atenção usando cálculos de fluxo potencial e viscoso. (LEWIS, 1989)

Figura 7– Os três tipos de bulbos: delta, nabla e “O”



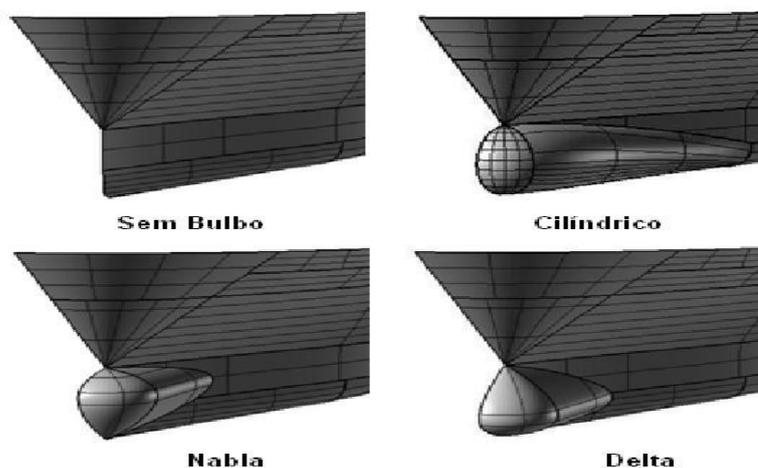
Fonte: CARLOS, 2013 , p. 20.

⁶ Disponível em: http://www.popa.com.br/_2009/CRONICAS/bulbo-de-proa.htm. Acesso em: 08 out. 2015

O bulbo tipo nabla é mais eficiente na condição de projeto, já o tipo delta funciona melhor para calados baixo do calado de projeto (por exemplo, condição em lastro ou carregamento parcial) e do tipo “O” oferece uma solução balanceada entre as acima expostas. O projeto do bulbo deve ser desenvolvido com muita atenção usando cálculos de fluxo potencial e viscoso. (CARLOS, 2013, p. 20).

Um estudo realizado pelo Departamento de Engenharia Naval e Oceânica Universidade de São Paulo, usando um software chamado “Shipflow”, simula graficamente comparando os CW coeficiente de resistência de ondas e Fr o numero de Froude dividindo por zonas para tirar conclusões hidrodinâmicas de melhor desempenho dos Bulbos .

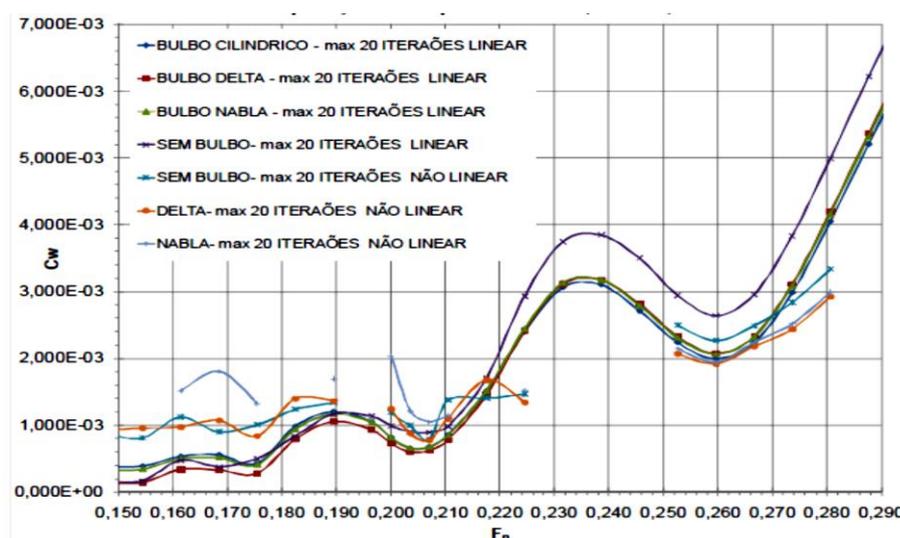
Figura 8- Bulbos Analisados



Fonte: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica Universidade de São Paulo

O escoamento ao longo do navio em uma região de escoamento potencial, em uma segunda zona que adota teoria de camada limite e, finalmente, a terceira região (corpo de popa), o escoamento viscoso é resolvido através da equação de Navier-Stokes. Por estar localizado na proa, onde o efeito viscoso é reduzido, a avaliação é obtida utilizando-se o módulo potencial, isto é, discretizando o navio em painéis. Os resultados são expressos através do coeficiente de resistência de ondas, C_w e as condições de teste correspondem à faixa de velocidades entre 10 e 20 nós. O procedimento é iterativo (máximo 20 iterações) com relação à posição final do navio (afundamento e trim) incluindo ainda duas alternativas de geração de ondas ,isto é, linear e não-linear. (MYAKI, 2008).

Figura 9 – Comparação dos Tipos de Bulbos CW x Fr



Fonte: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica Universidade de São Paulo.

As curvas mostram um aumento do coeficiente de ondas com a velocidade, este ocorrendo em cristas/cavados associados à interferência dos campos de pressão do navio e do bulbo. Pode-se ainda observar que, em alguns trechos, os resultados numéricos não-lineares são incompletos, isto é, a solução numérica não convergiu. Este fato ainda está sendo avaliado, entretanto, pode estar fisicamente associado ao aparecimento de ondas de proa se quebrando devido à extrema declividade. (MYAKI, 2008).

Contudo, a mínima resistência ao avanço, o desempenho e, portanto, a seleção do tipo de bulbo mais adequado depende da faixa de velocidade em que o navio deverá operar. Deve-se ressaltar que a resistência total do navio ainda inclui a componente viscosa que deverá ser avaliada. (MYAKI, 2008). Um bulbo mal projetado pode não significar aumento de eficiência e talvez até contribua com algum acréscimo de resistência.

4.2 X-BOW

O novo desenho de proa denominado Ulstein X-Bow representa a segunda maior revolução no desenho de cascos de navios desde o aparecimento do bulbo da proa, instalado pela primeira vez nos paquetes alemães Europa (1928) e Bremen (1929). Neste novo desenho, o bulbo da proa integra-se totalmente na proa e a roda da proa inclina-se para trás na parte acima da linha de água como é visível na figura 10.

A vantagem deste revolucionário desenho da proa está demonstrada nos primeiros dois navios sísmicos construídos com esta inovação e em mais de 40 unidades já construídas ou em construção. Fundamentalmente, a proa X reduz a resistência hidrodinâmica ao avanço do navio e numa velocidade superior em condições de mar alteroso dado que o afundamento da proa é

menor que nos navios com bolbo de proa, pois a roda da proa está sempre acima da superfície da água. O movimento do navio é mais suave em todas as condições de mar, o que permite um menor número de acelerações negativas e reduz o “peso” da água arrastada pela proa, induzindo uma apreciável economia de combustível.

Este tipo de proa foi inventado ou desenvolvido para resolver o problema dos navios sísmicos de pesquisas petrolíferas e conferir-lhes maior estabilidade nas situações de grande turbulência, daí ter sido desenvolvido pela empresa norueguesa Ulstein.

O verdadeiro segredo da proa X-Bow consiste na distribuição volumétrica que permite uma redução do impacto da proa nas ondas ou superfície do mar, que significa reduzir o volume de água levantado que em mar bravo inunda os convés e parte das superestruturas. Além disso, a onda não é como que empurrada pelo bolbo da proa ou outros tipo de proa, mas cortada. A perda de velocidade em muitas rotas atlânticas com ondulação e 2,5 a 10,0 metros não passa dos 19%, ao contrário de outros navios que perdem até 50%. Em estudos e experiências em tanque ficou demonstrado que um porta-contentores desenhado para uma velocidade de 18 nós pouparia 7 a 18% de combustível em função da velocidade e das condições do mar, daí que muitos dos novos navios com propulsão diesel-elétrica estão a ser construídos com a proa Ulstein X-Bow”. (Revista de Marinha RM987, 2012, p. 1).

Figura 10 – Proa X-BOW.



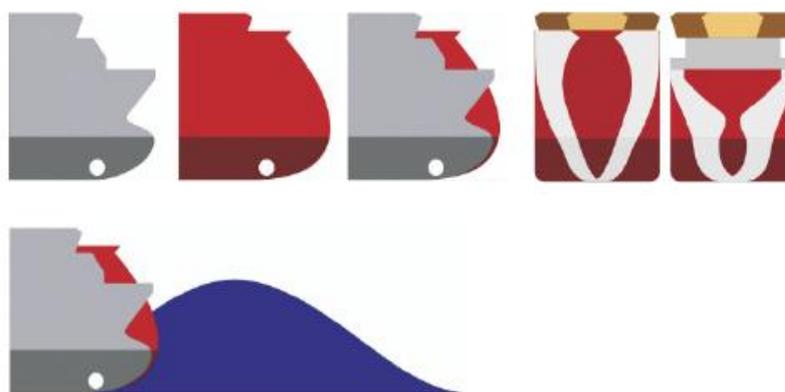
Fonte: Revista de Marinha⁷

A proa Ulstein X-Bow produz parte do efeito do bolbo da proa, mas em vez de o deslocamento formar duas ondas, a do bolbo e a do casco, forma uma só do casco-bolbo. Estas ondas são formadas pela água empurrada que forma uma onda (marola) e que é proporcional à velocidade do casco. Quanto maior a velocidade do casco, maior o comprimento da onda e há sempre uma certa velocidade em que o comprimento da onda é igual à do navio, tendo uma crista na proa e outra na popa. O navio navega na vaga desta onda à chamada “velocidade do casco”. Esta velocidade, em nós, é aproximadamente igual a 1,34 vezes a raiz quadrada do comprimento da linha d’água do casco, em pés.

⁷ Disponível em : <http://www.revistademarinha.com/> Acesso em 13 out.2015.

O bolbo da proa dos navios atuais cria a sua própria onda, mais à vante e “fora da fase” em relação à onda criada pelo casco. Por isso, o bolbo cria a sua própria onda que diminui a onda do casco e o seu efeito de arrastamento. Nas proas X-Bow, estas são quase em forma de bolbo, fazendo com que a sua onda seja a própria onda do casco e sobem mais sobre as ondas maiores, perfurando mais os menores ou a superfície lisa da água em mar calmo. O efeito é visível nas fotos, tal como o levantamento de água para os lados e para cima do navio. Fazendo um comparativo das proas contendo Bulbo e proa X-Bow, percebe-se o aumento do volume de deslocamento e à secção de ângulos do casco. Estudos foram realizados para mostrar uma redução no volume de deslocamento na introdução da Proa X-Bow (ULSTEIN, 2011)

Figura 11 – Comparativo Proa Bulbo x Proa X-Bow

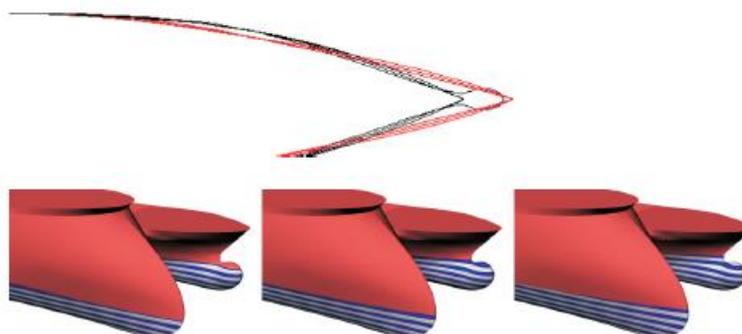


Fonte: TECHNO News⁸

A um ganho expressivo de resistência às ondas, quando há pequenas ondas refletidas na proa, ou seja, encontro das ondas de comprimento menor que o da metade do comprimento do navio e na Grande movimentação do navio havendo encontro com ondas de comprimento igual ao do navio.

⁸ Disponível em: <http://www.technonews.com.br/2011/UlsteinXBow.pdf>. Acesso em: out.2015.

Figura 12 – Linhas de Fluxo de Resistência.



Fonte: TECHNO News⁹

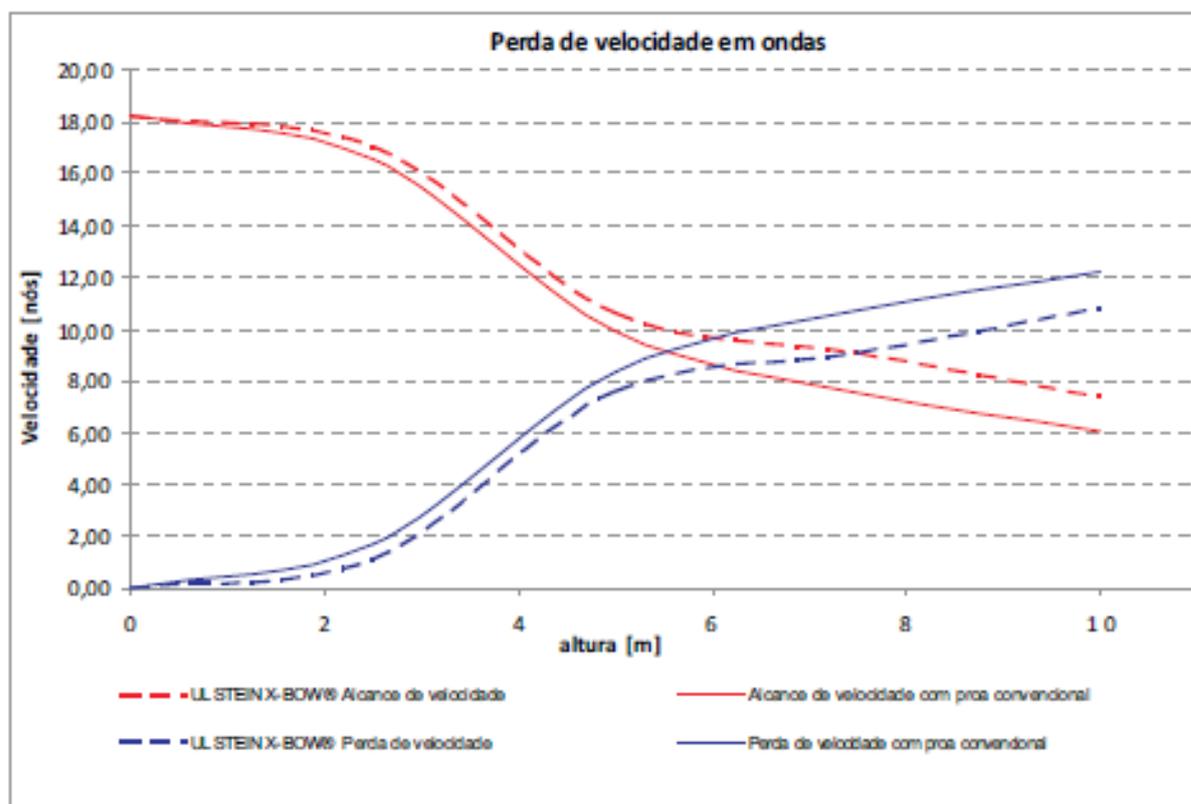
De acordo com que se mostra acima, as linhas resistência da proa X-Bow aparentam ser contínuas e mais suaves tanto em águas tranquilas ou sob ondas de 2,5 m de altura, comparando-as com as linhas bruscas de um navio container convencional e proa com bulbo sendo os mesmos comprimento totais (LOA).

Falando de eficiência energética o aumento de consumo de combustível se dá pela perda de velocidade para a mesma velocidade como também em tempo de trânsito mais rápido para embarcações com menor resistência às ondas.

A perda da velocidade aumenta com a altura da onda. Citando como caso no Atlântico Norte, as ondas costumam ter altura igual ou maior do que 2,5 metros durante 74% do tempo de navegação. O modelo ULSTEIN X-Bow permite uma melhoria de 19,3% na perda de velocidade em uma variação de 2,5 m a 7,5 m de altura das ondas. (ULSTEIN, 2011).

⁹ Disponível em: <http://www.technonews.com.br/2011/UlsteinXBow.pdf>. Acesso em: out.2015.

Figura 13 – Gráfico Velocidade X Altura de Onda



Fonte: TECHNO News¹⁰

Para a operação de navios porta containers com uma velocidade de 18 nós, a perda de velocidade em ondas de 2,5 m, 5,0 m, e 7,5 m determina um considerável ganho econômico. (ULSTEIN, 2011).

Tabela 1 - Consumo

Hs	Speed	Fuel Reduction of Ulstein X-Bow
[m]	[knots]	[%]
2,5	17,5	7
5	12	8,3
7,5	10	16

Hs	Speed	Equiv. Energy Speed of Ulstein X-Bow
[m]	[knots]	[knots]
2,5	17,5	18,1
5	12	12,6
7,5	10	11,5

Fonte: TECHNO News¹¹

¹⁰ Disponível em: <http://www.technonews.com.br/2011/UlsteinXBow.pdf>. Acesso em out.2015.

¹¹ Idem.

Resultados de testes com modelos demonstram uma redução no incremento da resistência com conseqüente redução do consumo de combustível de aproximadamente 7 a 16%, números estimados em condições normais de estados de mar; em situações de mares agitados, este índice é significativamente melhor. (ULSTEIN, 2011).

Figura 14 – Comportamento da Proa Ulstein X-BOW em mar Alteroso.



Fonte: Revista Marinha: Embarcação AHTS Bourbon Orca¹²

A proa X-BOW reduz ainda mais o mergulho do navio na onda e permite conceber navios como mostra a Figura 10, com a ponte de comanda ligada à parte final e superior da roda da proa.

No Brasil, já existem três embarcações tipo X-BOW construídas, todas pelo estaleiro Aliança para a CBO até o ano de 2012. O último foi entregue em agosto do mesmo e se chama CBO Flamengo. Onde a embarcação AHTS Bourbon Orca como mostra na figura 15, Projeto AX104 da Ulstein foi a primeira embarcação a adotar esse desenho de proa, lançada em 2006.

Figura 15 – CBO Flamengo



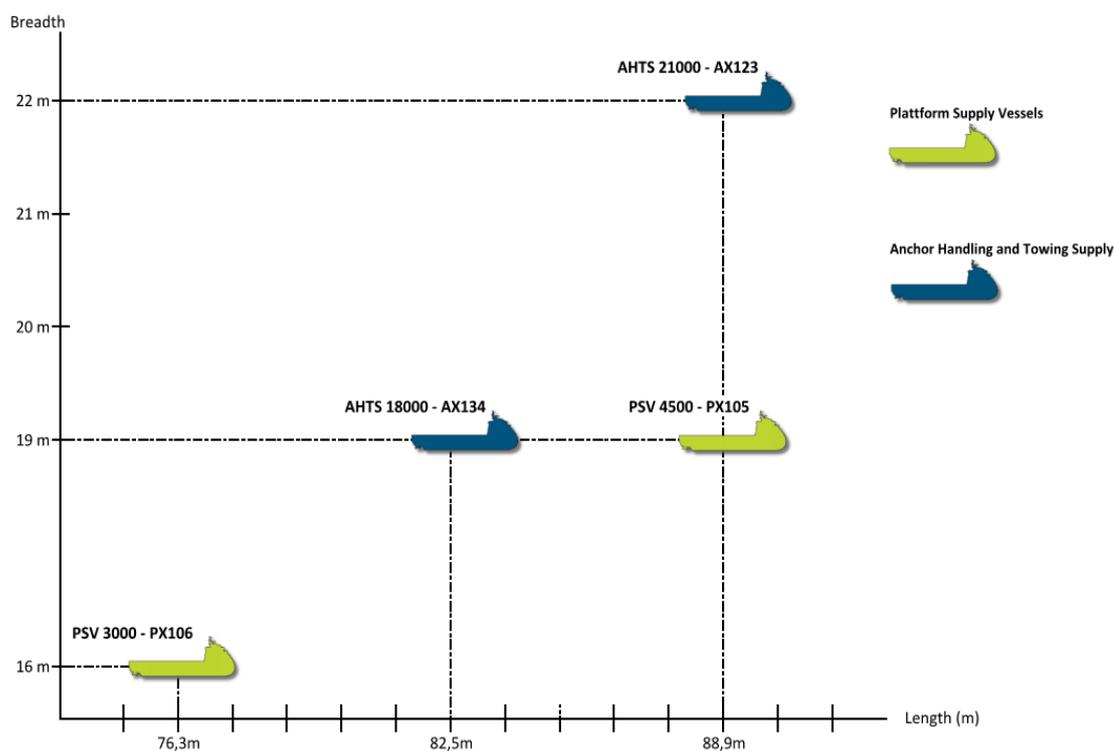
Fonte: Estaleiro Aliança - Ulstein¹³

¹² Disponível em :<http://marportosanto.blogspot.com.br/> Acesso em 13 out.2015

¹³ Disponível em :<http://marportosanto.blogspot.com.br/> Acesso em out.2015

Em uma preocupação geral do grupo Ulstein visa atender às solicitações de projeto e na medida das necessidades des fazer pequenas modificações, se necessário economia de tempo, otimizar custos e reduzir riscos soluções comprovadas conhecidos de desempenho. Abaixo mostra a evolução de construção das embarcações tipo X-Bow no Brasil até agosto de 2015.

Figura 16 – Realidade do Grupo Ulstein no Brasil.



Fonte: Ulstein¹⁴

4.3 Aplicações Casco X-BOW

A Ulstein apresenta seu conceito Discovery Series, que inclui três navios diferentes no ramo da exploração, dos cruzeiros e patrulha costeira. Navios de exploração, de cruzeiros e patrulhas são três segmentos diferentes que podem ser desenvolvidos com base em experiência da Ulstein. (LEÃO, 2015).

¹⁴Disponível em :< <http://www.ulstein.com> > Acesso em out.2015

Figura 17 – Navio Cruzeiro Casco X-BOW.



Fonte: ULSTEIN¹⁵

Todos eles pertencem à mesma base de projeto e tem em comum, elementos gráficos tais como janelas verticais em partes da ponte, a acumulação e armazenamento de energia renovável, e materiais alternativos. (LEÃO, 2015).

Um navio patrulha tem que ser robusto para enfrentar condições meteorológicas muito duras, e precisa de uma grande quantidade de energia, a fim de manter a velocidade. Navios de cruzeiros e de pesquisa, por outro lado, precisam de mais do que a velocidade e robustez: Assim serão usados em materiais alternativos no casco, assim como a utilização de fontes de energia alternativas, como painéis solares. (marportosanto, 2015).

Figura 18 – Navio Patrulha



Fonte: ULSTEIN¹⁶

O casco eficiente com as suas linhas esguias, a propulsão set-up, baixo atrito pintura inferior e peso reduzido do material do casco, tudo contribui para reduzir o consumo de combustível. O X-BOW tem um grande impacto na navegação e conforto. Os navios X-Bow são capazes de manter a velocidade em mar grosso e reduzir o impacto sobre o meio ambiente, reduzindo a velocidade consequentemente, economiza uma quantidade significativa de combustível. (LEÃO, 2015).

¹⁵ Disponível em: < <http://ulsmo.com/Kunder/ulstein/cms66.nsf/doc> > Acesso em out. 2015.

¹⁶ Disponível em: < <http://ulsmo.com/Kunder/ulstein/cms66.nsf/doc> > Acesso em out. 2015.

4.4 PÉS DE GALINHA

Sistema bastante simplificado, onde o eixo do motor, localizado no centro do barco ou próximo deste, é ligado diretamente ao hélice. Geralmente são utilizados neste sistema motores automotivos, com a caixa de reversão, onde, por meio de acoplamento elástico, transmite-se a força ao hélice por um eixo que transfixa o casco em ângulo bastante agudo. Como vantagem, tem-se o baixo custo de construção e manutenção e, como maior problema, o grande espaço exigido no barco para sua instalação.

Figura 19 – Pé de Galinha.



Fonte: Página do piratas do belem¹⁷

Existe também adaptação dos Pés de Galinha ao sistema azimutal de propulsão, o que permitirá obter uma grande manobrabilidade na embarcação. Em contrapartida a grande dificuldade encontrada é quanto ao aumento do calado.

Figura 20 – Pé de Galinha dois Eixos.



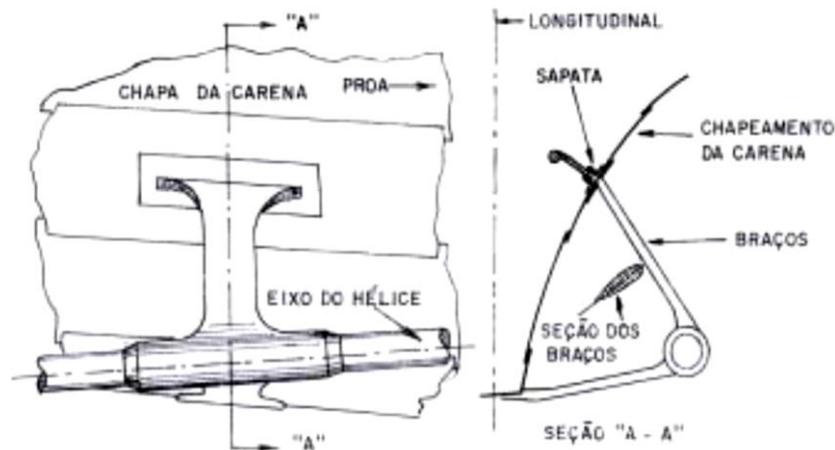
Fonte: Página do piratasdobelem¹⁸

¹⁷ Disponível em :<<https://piratasdobelem.wordpress.com/>> acesso em :14 out .2015

¹⁸ Disponível em :<<https://piratasdobelem.wordpress.com/>> acesso em :14 out .2015

Nos navios de dois e de quatro hélices, um grande comprimento do eixo fica fora do casco. Nestes navios a extremidade do eixo do hélice e o próprio hélice são suportados pelos pés-de-galinha, estruturas de dois braços feitas de aço fundido e colocadas imediatamente a vante dos hélices. Os dois braços do pé-de-galinha unem-se em um mancal que recebe uma bucha de bronze revestida, em geral, de taliscas de pau de peso ou resina, onde trabalha o eixo do hélice. O comprimento da bucha é igual a 2,5 a 3,5 o diâmetro do eixo. Um dos braços do pé-de-galinha é horizontal ou quase horizontal e o outro é inclinado formando um ângulo de 60° a 70°. A seção dos braços tem formato hidrodinâmico, e é orientada segundo a direção da água ao longo do casco. Os braços terminam em sapatas que atravessam as chapas do casco e são soldadas a uma peça da estrutura, que pode ser uma caverna ou uma longarina. (FONSECA, 2005, p. 270).

Figura 21 – Pé-de-galinha.



Fonte: FONSECA, 2005, p.270.

Figura 22 – Pé-de-galinha



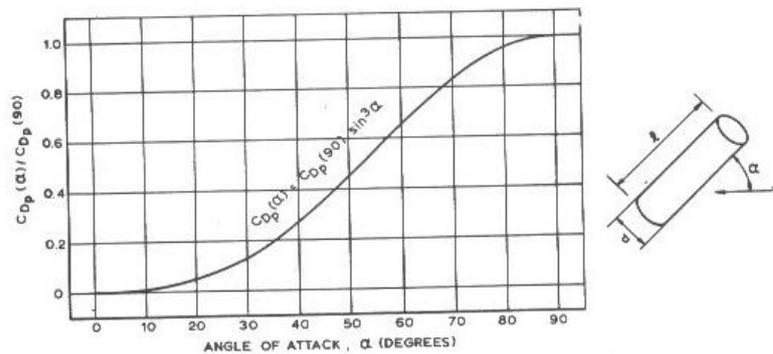
Fonte: Becker-marine¹⁹

Os Pés de galinha é um apêndice no qual suportam os eixos inclinados dos helices em relação ao escoamento leva em apreciavel *lift* e *drag* .

¹⁹ Disponível em :<http://www.becker-marine-systems.com/>. Acesso em out.2015.

Para o projeto de protuberância e hastes que produzem resistência mínima é necessário explorar o escoamento na região de popa. Onde o acréscimo de resistência de casco nudo por superfície molhada é da ordem 1% a 5% e pelo efeito de curvatura 5% a 9%. Uso de hastes em eixos muito longos leva à faixa de 16% a 18%. (LEWIS, 1989, p. 38).

Figura 23 –Variação do Coeficiente Drag Relativo de um cilindro em Função do seu Angulo de ataque.



Fonte: PNA - LEWIS, 1989, p. 38.

Onde a resistência de apêndice se encontra pela expressão; $R_{ap} = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S$ e salientando-se que ρ é massa específica da água, V_s a velocidade de serviço da embarcação e S a área molhada.

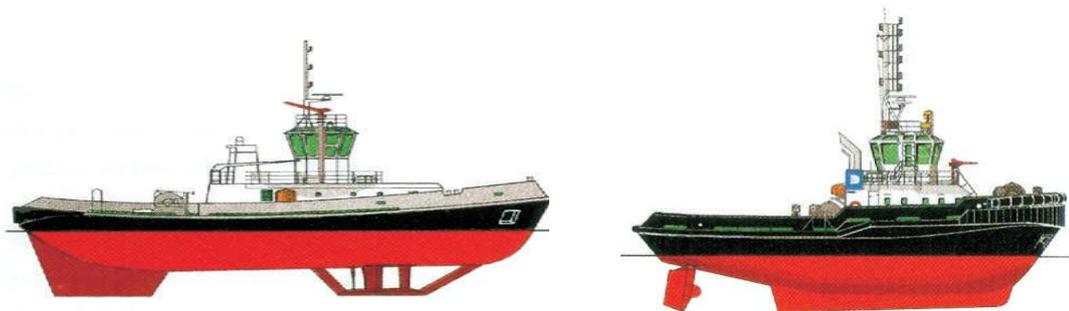
4.5 SKEG

A parte da popa da embarcação geralmente é caracterizada por uma parte no fundo que é estreita e em formato de “V”, a qual é conhecida como skeg ou deadwood no qual por dentro passa o eixo do propulsor. Mas esta posição é muito importante para direcionar o fluxo até o propulsor e para aumentar a resistência lateral da popa. O skeg vai influenciar no comportamento do navio, pois moverá o centro de força hidrodinâmica do casco para mais a vante e então irá aumentar a estabilidade direcional, entretanto em navios de casco muito largo como, graneleiros e tanques, a área disposta para o skeg na popa pode acabar ficando limitada devido aos tipos de projetos dos navios.

Os skegs são muito utilizados nas embarcações de apoio portuários e marítimos contribuindo principalmente no aumento da estabilidade governo, no qual em particular é de

muita importância também nas fainas com cabo da proa ou popa do navio para embarcações de apoio marítimo.

Figura 24 – Rebocadores Cicloidal e Azimutal com Skeg.

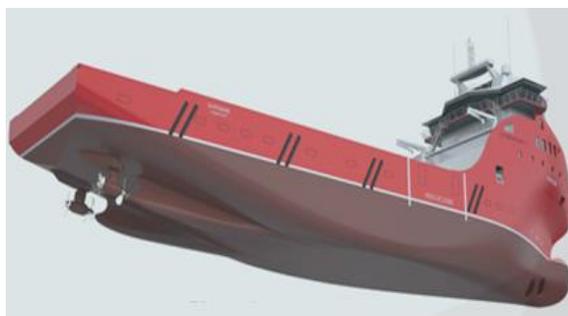


Fonte: Fragoso, O. A.; Cajaty, M, 2002, p. 20.

4.6 Skegs Duplos

Cascos twin-skeg permitem adotar dois propulsores e dois motores, fornecendo melhor manobrabilidade e maior força propulsiva quando não possível em casco de um propulsor, por exemplo, em casos de calado restrito. (MAGNANI, 2015, p. 19)

Figura 25 – Skegs Duplos.



Fonte: GERK , 2014, p. 107.

Os twin-skeg podem fornecer melhor campo de esteira, com menos possibilidade de cavitação e pulsos de pressão na estrutura, a posição longitudinal do centro de flutuação do navio, pode ficar mais à popa, permitindo que o ângulo de entrada seja menor, além de fornecer melhor estabilidade direcional. (MAGNANI, 2015, p. 19)

Uma vantagem aos twin-skeg terá uma menor resistência de apêndices na ordem de 2 a 3% de aumento na eficiência e a principal desvantagem é a adição de 3 a 4% de área a carena, com maior peso em aço no casco e conseqüentemente maior custo de projeto. (GERK, 2014, p. 107).

4.7 Popa: novos formatos

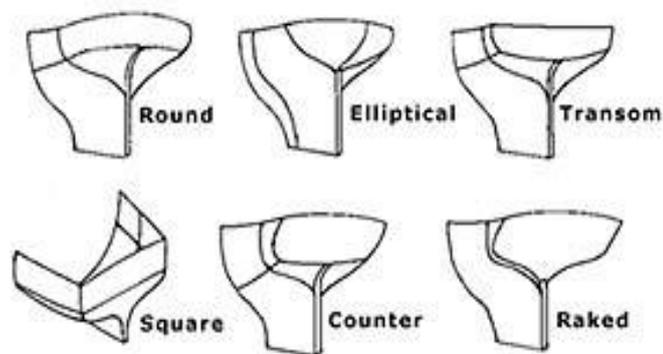
A popa corresponde à região traseira do navio e é a última parte do navio que oferece resistência a navegação adequada para facilitar a passagem dos filetes líquidos que vão encher o vazio produzido pelo navio em seu movimento, a fim de tornar mais eficiente a ação do leme e do hélice. (FONSECA, 2005, p. 1). Existem vários formatos de popa projetadas com intuito de melhorar o escoamento e eficiência propulsiva para uma diminuição expressiva na resistência ao avanço.

Figura 26 – Tipos de Popa.



Fonte: Instituto Superior Técnico²⁰

Figura 27 – Formas de Popa.



Fonte: British Columbia Shipwreck Recording Guide²¹

²⁰ Disponível em: <http://www.mar.ist.utl.pt>. Acesso em : out.2015.

²¹ Disponível em https://www.for.gov.bc.ca/archaeology/docs/shipwreck_recording_guide/wreck_description.htm#D13. Acesso em out.2015.

A figura 27, ilustra popa nos formatos redondo, elíptico, quadrado, contador, quadrado e transom. Basicamente, os seguintes critérios governa a escolha da forma popa do navio:

- Deve ser concebido para fornecer uma baixa resistência.
- Deve ser capaz de proporcionar uma elevada eficiência de propulsão assegurando fluxo uniforme da água.
- A popa projetada deve evitar vibrações.

No projeto dos delgados da popa de apenas um eixo, podem ser utilizados os formatos em “V”, em “U” e bulbo. A tendência atualmente é o uso do formato em bulbo, já que a esteira resultante reduz a cavitação e a vibração. (JUNIOR, 2013, p. 21)

Popa no formato transom basicamente, é reforçada severamente caracterizada por uma forma geralmente plana que se estende até a linha d' água. A popa reforçada oferece uma maior área de convés de popa, é uma construção mais simples, e também pode fornecer um melhor fluxo em torno da popa.

O formato transom muito usado em projetos de embarcações de apoio marítimo, pela sua facilidade de adaptação dos propulsores e lemes, principalmente em sistemas de propulsão azimutal.

Figura 28 – PSV Baturai



Fonte: *shipspotting*²²

4.7.1 Sistemas de Propulsão

A escolha de uma máquina propulsora ou configuração mais apropriada para a instalação propulsora num projeto de nova ou reconversão não é atualmente uma decisão simples. É imperioso que esta decisão seja precedida de uma análise rigorosa das várias

²² Disponível em: <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1705165>. Acesso em out.2015.

opções disponíveis para o perfil de operação futura definida para o navio. Uma vez determinada a potência absorvida pelo hélice, torna-se necessário identificar as soluções que satisfazem os requisitos de potência, velocidade de rotação, consumo e dimensões.

4.7.2 Propulsão Mecânica

Nas embarcações dotadas de propulsão mecânica tradicional, a rotação do motor diesel é quem define a rotação do hélice, portanto, o motor em algumas condições de operação não opera na faixa do rendimento ótimo, gerando desta forma, um inevitável desperdício de combustível.

Figura 29 – Sistema de Propulsão mecânica.

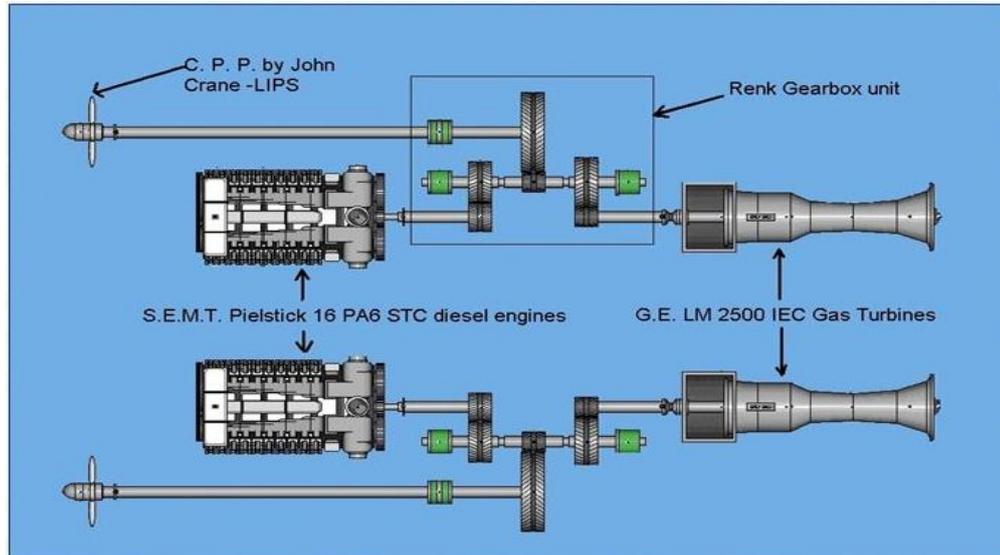


Fonte: DIAS, 2012, p.15

4.7.3 Propulsão CODOG - *Combined Diesel or Gas*

É um sistema de propulsão que utiliza motores diesel para a propulsão em velocidade de cruzeiro. Para velocidades mais elevadas, e durante períodos não muito prolongados, utiliza-se uma turbina a gás de elevada potência (sistema muito usado em fragatas e outros navios de guerra); nesta situação, os motores diesel não funcionam. (BAPTISTA, 2014, p. 23).

Figura 30 – Sistema de Propulsão combinada Diesel ou Gás.

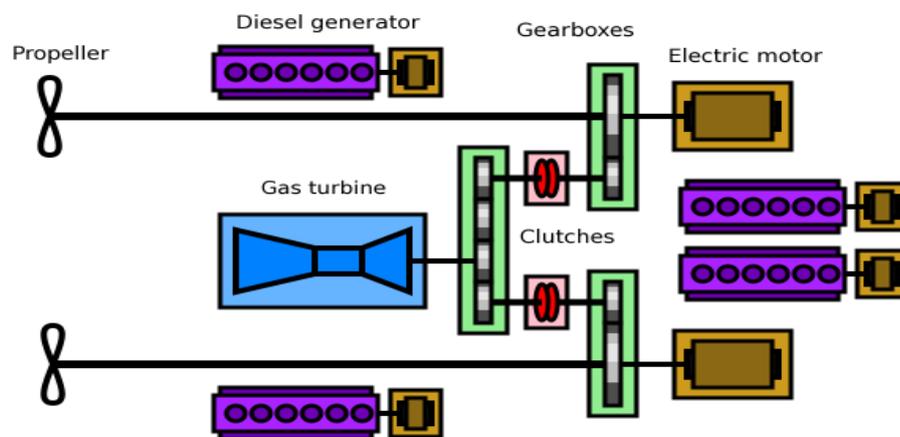


Fonte: Escola Superior Náutica infante D. Henrique²³

4.7.4 Propulsão - CODAG - *Combined Diesel And Gas*

É um sistema de propulsão que utiliza motores Diesel para a propulsão em regime de velocidade de cruzeiro. Para aumentar a velocidade do navio, utiliza-se uma turbina a gás auxiliar em conjunto com os motores diesel para aumentar a potência total de propulsão do navio. Desvantagem maior complexidade das engrenagens redutoras. (BAPTISTA, 2014, p. 25).

Figura 31 – Sistema de Propulsão combinado Diesel e Gás



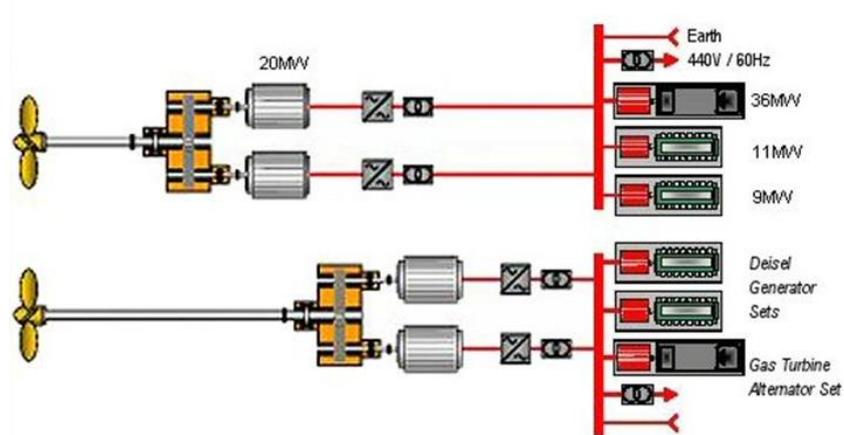
Fonte: Escola Superior Náutica infante D. Henrique²⁴

²³ Disponível em http://www.enautica.pt/publico/.../baptista/TecMar/SlidesCap5-Sist_Propulsao. Acesso em out.2015.

4.7.5 Propulsão CODLAG *Combined Diesel-electric And Gas*

Utiliza motores diesel para produzir energia eléctrica que vai alimentar os motores de propulsão do navio (velocidade de cruzeiro). Para obter velocidades mais elevadas, utiliza-se uma turbina a gás auxiliar de modo a aumentar a potência eléctrica total utilizada para a propulsão do navio. (BAPTISTA, 014, p. 36).

Figura 32 – Sistema de Propulsão combinado Diesel Elétrico e Gás

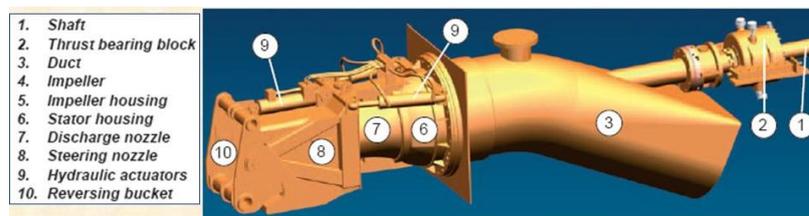


Fonte: Escola Superior Náutica infante D. Henrique ²⁵

4.7.6 Propulsão a jato

A descarga de uma bomba a alta velocidade provoca o impulso necessário para deslocar a embarcação. O seu uso está limitado a certos tipos de embarcações. Destacam-se Ferries rápidos, navios militares, Lanchas rápidas (guarda costeira, recreio...). Motos de água (jet Ski). Utiliza uma bomba que descarrega o caudal de água a elevada velocidade, à ré do navio. (BAPTISTA, 2014, p. 45).

Figura 33 – Sistema de Propulsão a jato.



Fonte: Escola Superior Náutica infante D. Henrique ²⁶

²⁴ Disponível em <http://www.enautica.pt/publico/.../baptista/TecMar/SlidesCap5-Sist Propulsao>. Acesso em out.2015

²⁵ Disponível em <http://www.enautica.pt/publico/.../baptista/TecMar/SlidesCap5-Sist Propulsao>. Acesso em out.2015.

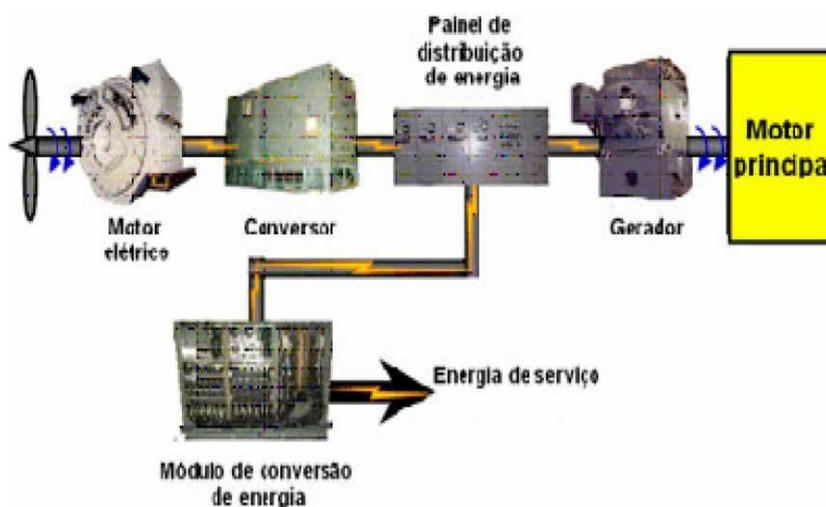
4.7.7 Propulsão Diesel-elétrica

Para embarcações de propulsão elétrica não é nova, a idéia originou-se a mais de 100 anos. No entanto, com o desenvolvimento da eletrônica de potência nas décadas de 80 e 90, possibilitou-se o melhor controle de motores elétricos com velocidade variável em uma grande faixa de potência, além de ser um sistema compacto, confiável e competitivo.

As informações de o conceito de Propulsão Elétrica Integrada, utilizando o acionamento elétrico, é a tecnologia mais promissora nos desenvolvimentos da engenharia naval atual, desde o advento dos reatores nucleares e das turbinas a gás. Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da propulsão da embarcação pelo motor elétrico. (WHITMAN E. C., 2001, p. 18).

A propulsão Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão da embarcação com os sistemas auxiliares. E com a eletrificação dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras. (MCCOY, 2002, p. 67).

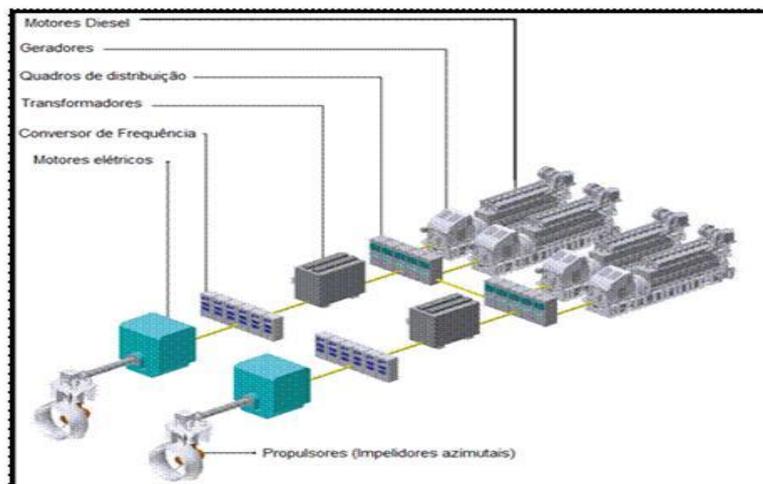
Figura 34 – Sistema de Acionamento Elétrico Integrado.



Fonte: Melo,2012,p.11

²⁶ Disponível em <http://www.enautica.pt/publico/.../baptista/TecMar/SlidesCap5-Sist Propulsao>. Acesso em out.2015.

Figura 35 – Sistema de Propulsão Diesel-elétrica



Fonte: Oceanica UFRJ²⁷

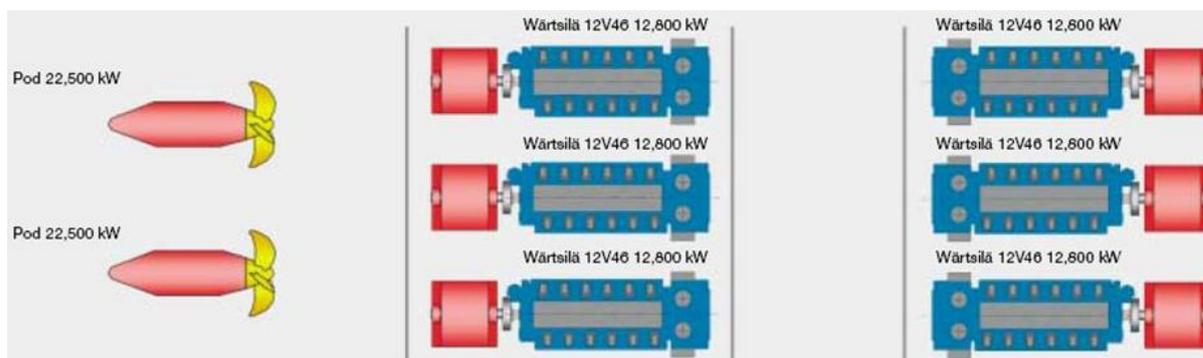
Onde o Sistema de Propulsão Diesel-elétrica veio para alcançar uma redução de consumo de 20 a 30% ,quando utilizando em operação de posicionamento dinâmico,e de 5 a 8% nos casos de instalações convencionais (WARTSILLA, 2010).

4.7.8 Propulsão Diesel-elétrica (AZIPOD)

Pode utilizar uma ou mais unidades, cada uma constituída por um motor eléctrico e um hélice.O conjunto é acoplado à estrutura do navio sendo capaz de rodar 360°.Este fato, permite eliminar o sistema de governo (leme), uma vez que o fluxo de água de propulsão é direccionado pelo Azipod.As perdas de potência nas caixas de engrenagens e linhas de veios, são eliminadas, e o respectivo espaço ocupado pode ser utilizado para outros fins.Proporciona uma maior estabilidade ao navio e uma redução média de 15% no consumo de combustível. Quando utiliza duas unidades, os hélices operam em contra-rotação. (BAPTISTA, 2014, p. 28).

²⁷ Disponível em :http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2013/Yuri+FelipeB/relat1/Relatorio.htm. Acesso em out.2015

Figura 36 – Sistema Propulsão Diesel-elétrica.



Fonte: Escola Superior Náutica infante D. Henrique²⁸

4.7.9 Atualidade dos Propulsores

Hélices de passo fixo chamados de direitos na macha a vante, giram no sentido do movimento dos ponteiros do relógio para um observador colocado à popa do navio virado para proa. Dizendo-se esquerdo quando giram em sentido contrário. Os navios que utilizam dois hélices de passo fixo, com duas linhas de eixo adotam normalmente um esquerdo e outro direito a fim de facilitar a sua progressão no meio líquido.

Hélices de passo controlável (CPP) para sistemas de propulsão marítima foram projetados para dar a maior eficiência de propulsão em uma ampla faixa de velocidades e condições de carga. Quando o navio está completamente carregado, a propulsão requerida é muito maior do que se o navio estivesse vazio. Ao ajustar o passo das pás, a máxima eficiência pode ser obtida e pode haver economia de combustível.

4.7.10 Propulsores em dutos

Propulsores em dutos são aqueles operando em uma seção de tubo cilíndrico. O perfil da seção do duto é similar a um aerofólio e tem a função de acelerar ou desacelerar o fluxo na frente, durante e após a passagem no propulsor. Dutos desaceleradores são raros em navios mercantes e a maioria é usada para controlar a cavitação. Dutos aceleradores são normalmente usados para melhoras características de propulsão dos navios de baixa velocidade (notavelmente a maioria rebocadores). Nesses casos, uma significativa porção do impulso é gerada pela força de sustentação criada no duto pela aceleração do fluxo, mas esse efeito é

²⁸ Disponível em http://www.enautica.pt/publico/.../baptista/TecMar/SlidesCap5-Sist_Propulsao. Acesso em out.2015

prejudicado pelo arrasto adicional criado pelo próprio duto, esse último torna-se mais evidente a medida em que a velocidade da embarcação aumenta.

Figura 37 – Tubulão Kort Fixo e Movel.



Fonte: Fragoso, 2002, p. 17

O Wing Nozzle com seu pequeno comprimento e forma hidrodinâmica especial, foi desenvolvido especialmente para navios de maior velocidade, como navios tanque e cargueiros com objetivo de aumentar sua capacidade de governo.

Figura 38 –Wing Nozzle.



Fonte: Fragoso, 2002, p.18

Propulsores em dutos tem inumeras vantagens onde algumas delas é o aumento do empuxo e bollard pull, maior eficiência da propulsão, proteção da hélice contra impactos e menor vibração. (GERK , 2014, p. 116)

4.7.11 Propulsores *end-plates* e *Kappel*

Ambos os tipos de propulsores possuem a geometria da ponta das pás modificadas, visando reduzir ou suprimir os vórtices criados nas pontas e melhorar a eficiência geral de propulsão. (JUNIOR, 2013, p. 31)

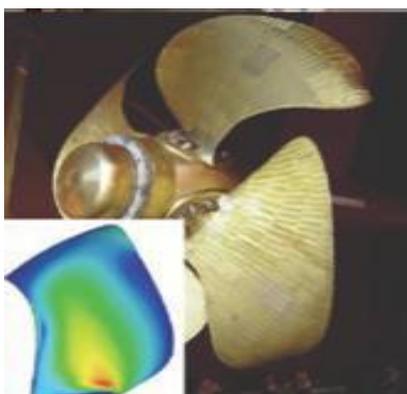
A maior diferença entre eles é que o propulsor Kappel alcança isso ao curvar as pontas das pás, enquanto o propulsor com placas nas pontas também conhecidos como pontas carregadas (CLT) ou ponta sem vórtices (TVF) – são caracterizados pela maior espessura na ponta com uma placa fina estendendo-se na direção do lado de maior pressão da pá.

Figura 39 – Propulsor com pás end-plates.



Fonte: JUNIOR, 2013, p.32

Figura 40 – Propulsor Kappel



Fonte: GERK, 2014, p. 97.

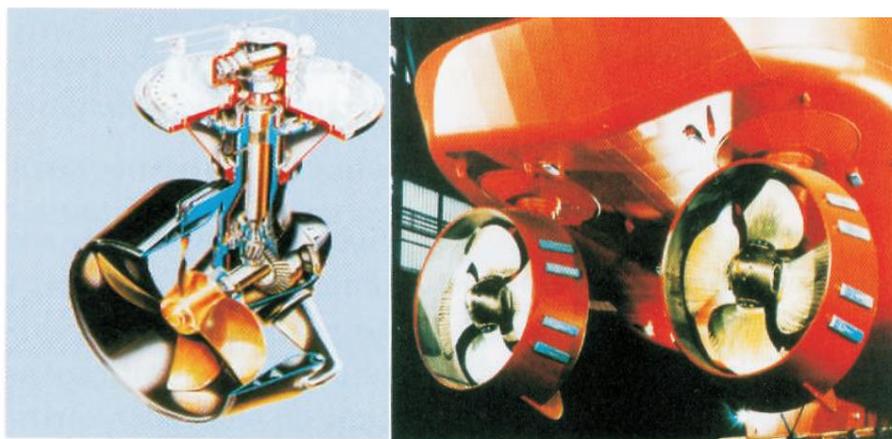
O Propulsor Kappel tem como características evitar vórtices nas pontas das pás melhorar a eficiência de propulsão e curvatura para lado de baixa pressão propagação de 4 ~6%. Onde os propulsores end-plates também tem a função de evitar vórtices nas pontas das

pás, melhorar a eficiência de propulsão, Curvatura para lado de alta pressão e propagação de 8~12% .

4.7.12 Propulsores Azimutais

A idéia por trás dos propulsores azimutais é combinar as funções de propulsão e governo para obter melhores características para ambas. Indiscutivelmente, grandes ganhos foram alcançados pela utilização desta tecnologia em termos de manobrabilidade, mas sua adoção ainda está restrita para um setor do mercado, em parte porque os ganhos de eficiência atingidos pela eliminação da necessidade de um leme, foram compensados pelo maior custo de instalação desses dispositivos, a limitada potência disponível para cada unidade, e um certo número de problemas relacionados com sua complexidade.

Figura 41 – Propulsores Azimutais



Fonte: FRAGOSO, 2002, p. 23.

4.7.13 Propulsores Azimutais L- Drive

Um tipo de propulsor azimutal em que o “pod” é movido mecanicamente ao invés de eletricamente. O “pod” pode ser girado através de uma faixa de 360° graus, permitindo mudanças rápidas na direção da propulsão e eliminando a necessidade de um leme convencional. (DIAS, 2012, p. 20)

Esta forma de transmissão de energia é chamada uma L drive, porque o movimento de rotação tem que fazer um girar ângulo reto, parecendo, assim, um pouco com a letra "L".

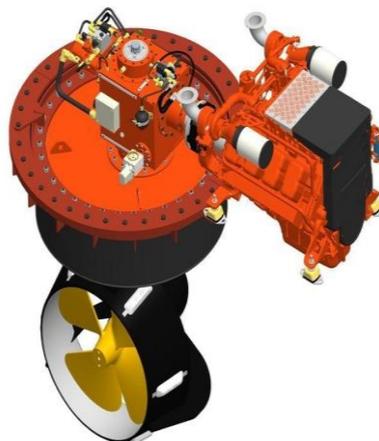
Figura 42 – Propulsor L- Drive

Fonte: Nauticexpo²⁹

4.7.14 Propulsores Azimutais Z- Drive

Um sistema de transmissão mecânico em que o “pod” pode girar até 360 graus, permitindo mudanças rápidas na direção de impulso. Isso elimina a necessidade de um leme convencional. O Z-drive é assim chamado pela aparência (na seção transversal) do eixo motor mecânico, ou configuração de transmissão, utilizado para conectar a energia mecânica fornecida ao dispositivo acionador do hélice. O movimento de rotação tem que realizar duas voltas em ângulo reto, assemelhando-se, assim, à letra "Z". Tem como desvantagem o fato de possuir duas “Caixas de Velocidade”, no pod e no interior do casco, causando perdas.

Figura 43 – Propulsor Z-Drive

Fonte: Nauticexpo³⁰

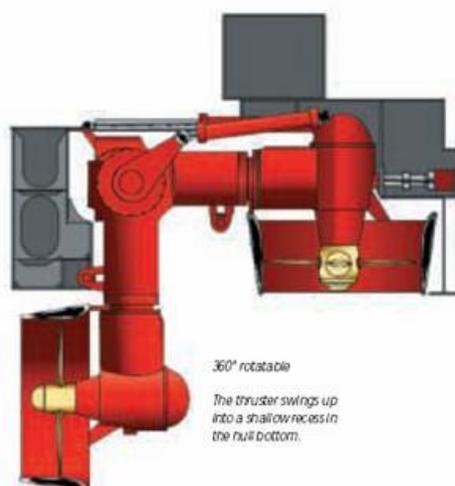
²⁹Disponível em: <http://www.nauticexpo.es/prod/masson-marine/product-27412-320206.html>. Acesso em out.2015.

³⁰Disponível em: <http://www.nauticexpo.es/prod/masson-marine/product-27412-320206.html>. Acesso em out.2015.

4.7.15 Propulsores Azimutais Retrátíl

A máquina motriz é um motor elétrico alimentado pelo gerador, dentro da embarcação. O hélice pode ter passo variável com acionamento hidráulico ou fixo controlado por inversor de frequência. Este tipo de thruster usado como propulsor é mais comum em pequenas embarcações. (DIAS, 2012, p.19).

Figura 44 – Propulsor Retrátíl



Fonte: Oceanica UFRJ³¹

4.7.16 Propulsores Azimutais AZIPOD

Azipod é marca registrada da ABB (Asea Brown Boveri), termo que significa "pod" + Azimuth, pod é devido ao formato do thruster e AZI de azimuth por conta da capacidade de giro de 360°. (DIAS, 2012, p. 17).

Seu princípio é a substituição do hélice com eixo fixo, que produz uma força sempre na direção longitudinal, por um propulsor que pode mudar o sentido de sua corrente de descarga, dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação.

No entanto, no arranjo azipod, os sistemas de propulsão e de manobra são combinados e fabricados em uma única peça. O sistema consiste de um hélice o qual é manobrado por um motor elétrico e o hélice é girado pelo leme que é conectado ao sistema.

³¹ Disponível em http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Caio%20Ricardo/Relat1/Selecao%20do%20sistema%20de%20DP.htm. Acesso em out.2015.

O motor é localizado dentro do casulo selado e é conectado ao impelidor. Deve se observar que o sistema de selagem deve ser perfeito caso contrário pode danificar o motor integralmente. O motor utilizado para este sistema é um motor elétrico de frequência variável. Usando frequência variável, a velocidade rotacional do impelidor pode ser controlada onde a velocidade pode ser aumentada ou diminuída.

Figura 45 – Propulsão AZIPOD do navio Freedom of the Seas 2004



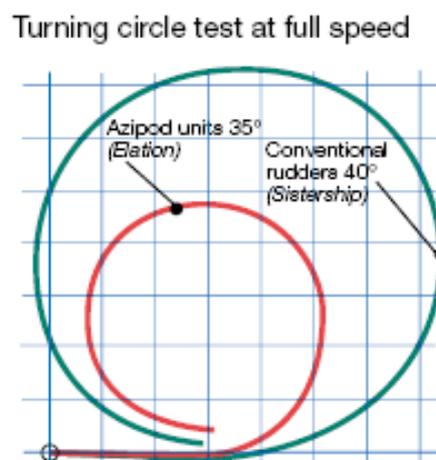
Fonte: tecnologiamaritima³²

4.7.17 Vantagens do Sistema Azipod

Maior manobrabilidade conforme figura 46, já que o impelidor pode ser girado em todas as direções. Isto proporciona melhor distancia de parada durante as manobras do que aquela fornecida pelos sistemas convencional. No caso de navios enormes, dois ou mais azipods os quais são independentes entre si podem ser utilizados. Isto proporciona manobras mais precisas. Economiza-se muito espaço na praça de máquinas já que não existem motores, impelidores, eixos e outros arranjos. O espaço economizado pode ser utilizado para mais carga do navio. O sistema pode ser posicionado embaixo do navio promovendo desta forma mais eficiência do que o sistema convencional. O uso de impelidores lateral (bow thruster, side thruster) pode ser eliminado já eu os pods podem prover tais esforços lateral. Vibrações e barulho menores do que no sistema convencional. Baixo consumo de combustível e lubrificantes amigáveis com o meio ambiente, já que as emissões são extremamente baixas”. (Tecnologia maritima, 2012)

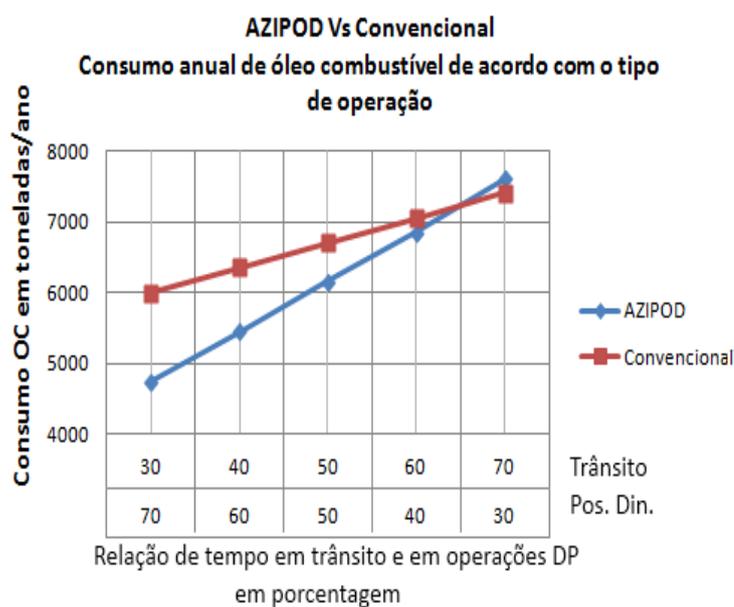
³²Disponível em: <http://tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012/07/posicionamento-dinamico-par-te-4.html>. Acesso em out.2015

Figura 46 –Teste de curva em círculo



Fonte: Oceanica UFRJ³³

Figura 47 – AZIPOD VS Convencional



Fonte: DIAS, 2012, p. 32

Com análise do gráfico, mostra que mais de 70% do tempo em trânsito e menos de 30% em operações DP, ela deixa de apresentar vantagens em relação ao sistema convencional, pois consome mais combustível. O ideal então é utilizar o sistema AZIPOD em embarcações que requeiram grande capacidade de manobra e que façam uso do posicionamento dinâmico por longo período.

³³ Disponível em http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/DanielW+LeandroTrov/Relat1/05_sistema_propulsivo.htm. Acesso em out.2015

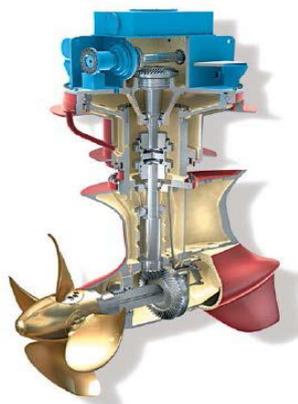
4.7.18 Desvantagens

Nos Sistemas azipod requerem um custo inicial elevado. Um grande número de motores diesel é necessário para a produção necessária de energia. Há uma limitação da potência produzida pelo motor. Atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 21 MW. Não pode ser instalado em grandes navio com grandes capacidades de carga os quais precisão de muita potência e grandes motores.

4.7.19 Propulsores Azimutais AZIPULL

Finalmente, o propulsor Ulstein Aquamaster, do tipo Azipull. Este tipo de unidade difere quanto à posição do hélice, que fica de frente para o escoamento, ou seja, virado para proa, enquanto que em outras unidades o hélice fica atrás.

Figura 48 - Propulsores AZIPULL



Fonte: DIAS, 2012, p. 19

Os propulsores azimutais AZIPULL apresentam vantagens na manobrabilidade, um melhor desempenho e eficiência, baixo arrasto, estabilidade de curso; baixo ruído e vibração.

4.7.20 Propulsores com duplo hélice

SCHOTTEL TWIN PROPELLER é equipado com dois hélices que giram no mesmo sentido de rotação. O sincronismo dos hélices e do tubo de governo com aletas integradas proporcionam um aumento significativo da eficiência se comparados a unidades com apenas um hélice. O SCHOTTEL TWIN PROPELLER é sucesso de otimização do completo sistema de propulsores azimutais e assim ideal como sistema de propulsão para todas as embarcações

de velocidade média com aplicações que usam cargas de hélice mais elevadas. Isto acontece por causa da tecnologia do duplo hélice que distribui a potência em dois hélices reduzindo a carga em cada hélice e aumentando desta forma a eficiência do sistema.

Figura 49 – Propulsor com duplo hélice.



Fonte: Schottel Azimuth Thrusters³⁴

O STP funciona com um hélice frontal “Zugpropeller” e um hélice de pressão. Eles estão dispostos entre si de tal maneira que a esteira de turbulência do hélice frontal passa por entre as pás do hélice de pressão posterior, sem obstruí-lo.

Uma de suas vantagens é redução do diâmetro do hélice, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção. Esse propulsor tem 20% a mais de eficiência propulsiva comparado a propulsores comuns. Os níveis de ruído e vibração serão reduzidos consideravelmente.

4.7.21 Hélice de contra rotação

Consiste em dois eixos propulsores, um dentro do outro, com direção rotacional contrária, podendo aumentar a eficiência propulsiva em até 10%. Outro tipo conhecido é o híbrido, no qual consiste em um eixo propulsor e um propulsor azimutal, tal combinação pode garantir um aumento da eficiência em até 15%, além de garantir uma melhor manobrabilidade através do azimutal.

³⁴Disponível em: <http://www.schottel.de/pt/propulsao-maritima/stp-twin-propeller/> Acesso em out. 2015.

Figura 50 – Hélice de Contra Rotação.



Fonte: MAGNANI, 2015, p. 14.

Figura 51 – Hélice de Contra Rotação Híbrido.



Fonte: MAGNANI, 2015, p. 14.

4.7.22 Propulsores Cicloidais ou *Voith Schneider*

O sistema de propulsão cicloidal é composto de dois conjuntos de lâminas verticais móveis fixados em discos paralelos ao fundo do rebocador. Os dois conjuntos são localizados na mesma transversal. Os discos giram em velocidade constantes produzindo uma força de intensidade e sentido controlados através da variação do ângulo de cada uma lâmina. (FRAGOSO, 2002, p. 22).

Figura 52 – Propulsor Cicloidal.



Fonte: FRAGOSO, 2002, p.22

A grande vantagem do sistema cicloidal além de atuar para vante e para ré com a mesma força de tração, é a velocidade com que as alterações do sentido da aplicação e da intensidade da força podem ser feitas. (FRAGOSO, 2002, p. 22).

Desvantagem são, principalmente, um grande calado, além da lâminas, uma estrutura que protege o propulsor e funciona como direcionador do fluxo de água, o formato do fundo do casco prejudica a hidrodinâmica, operação em mar aberto ou na velocidade. (FRAGOSO, 2002, p. 22)

5 EFEITO ESTEIRA

A água que move para diante é denominada esteira, e uma das consequências deste fato é que o propulsor não avança, em relação à água com a mesma velocidade do navio (V_s), e sim com uma velocidade menor (V_a), também designada como velocidade de avanço.

A diferença entre a velocidade do navio (V_s) e a velocidade relativa do propulsor em relação a água (V_a), velocidade de avanço, é denominada velocidade de esteira (*Wake Speed*). Froude, propôs a expressão fração de esteira, na qual relaciona a velocidade de esteira ($V_s - V_a$) com a velocidade de avanço (V_a).

$$Wf = \frac{V - V_a}{V_a} V_a = \frac{V_s}{A + Wf}$$

Taylor introduziu uma definição diferente, usualmente conhecida como fator de esteira (Wake factor), definida na fórmula:

$$W = \frac{V_s - V_a}{V_s} \quad V_a = V(1 - W)$$

Como o fator de esteira varia ao longo da popa e do propulsor, isso afeta o bom funcionamento do mesmo, em função das diferentes condições de atuação para cada uma das pás do propulsor. O valor do coeficiente de esteira é influenciado amplamente pela forma do casco da embarcação, e em menor escala pela configuração do sistema propulsivo e suas características físicas, por exemplo: um maior valor do diâmetro do propulsor para um mesmo comprimento do navio diminui o valor deste coeficiente. O coeficiente de esteira tem grande influência na eficiência do propulsor. Em relação à ocorrência de cavitação no propulsor, este risco é diretamente proporcional ao valor deste coeficiente, devido ao elevado grau de não homogeneidade do escoamento ao redor do propulsor.

Figura 53– Esteira formada por uma embarcação mercante



Fonte: Atlantic_shipping³⁵

³⁵Disponível em: http://www.4petbookstore.com/atlantic_shipping/WEB/pix%20referencia/Acesso em out.2015.

Figura 54 –Valores Típicos de W paea embarcações Mono-Hélices

Fração de esteira (w)	Arranjo/Coef. blocagem	nota
0,3	$C_B=0,7$	Cargueiros rápidos
0,4-0,5	$C_B=0,8-0,85$	Cargueiros pesados
0,25	$C_B=0,6-0,65$	Porta-containers

Fonte: CASTRO, 2006, p. 41

5.1 Redução do efeito de esteira

Em geral, dispositivos de equalização da esteira e alívio da separação do fluxo são recursos para aperfeiçoar o fluxo ao redor do casco, os quais foram desenvolvidos para obviar problemas no propulsor e/ou resistências adicionadas ao navio causado pelas imprecisões na forma do casco na popa. Assim sendo, eles são menos efetivos quando a geometria da embarcação fora corretamente projetada, com os olhos na otimização do fluxo no propulsor e evitando a geração de efeitos hidrodinâmicos indesejáveis, como os vórtices no bojo. Os mais comuns dispositivos de incremento da propulsão (PID) são aletas Grothues, dutos Schneekluth e túneis de popa.

5.2 Duto *Schneekluth*

Este tipo de equalizador de esteira consiste de um anel anular, montado antes e a partir da metade do propulsor e em torno da metade de seu diâmetro. É moldado para acelerar a metade de cima do fluxo de água na direção do disco do propulsor, o qual teria sua velocidade reduzida pela fricção com o casco. Ao mesmo tempo o duto, também retarda a alta velocidade na metade inferior do fluxo que vai em direção do propulsor. Desta maneira o fluxo direcionado para área do propulsor fica equalizado, garantindo deste modo uma massa de água mais homogênea na passagem pelas pás, oque diretamente aumenta o *thrust*.

Figura 55 – Duto Schneekluth.

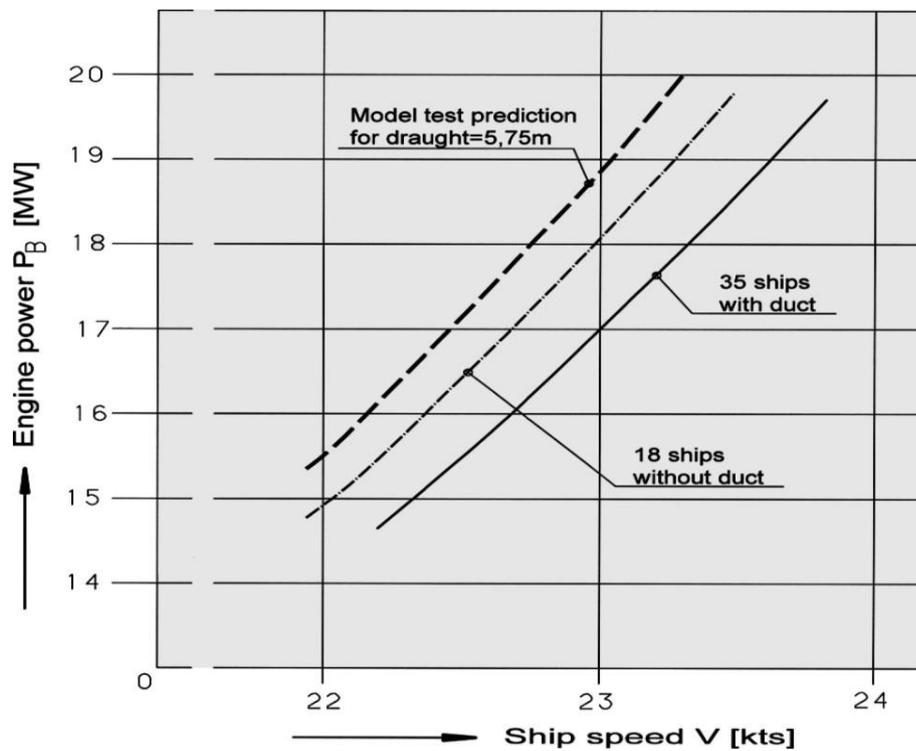


Fonte: GERK , 2014, p. 123.

O duto Schneekluth é uma estrutura hidrofólica em forma de duto localizado na parte pré- hélice que fornece ao navio ganhos como aumento na velocidade, aumento de potência do motor, e com isso, economia de combustível, redução do nível de vibração no passadiço.

A utilização desse sistema gerou um aumento na velocidade do navio em 0.3 nós. A partir de varias medições em diferentes potencias e diferentes velocidades.

Figura 56 – Comparação em Navios Com Dutos e Sem Dutos.



Fonte: SOUZA, 2013, p. 28.

A Figura 56, como se pode observar, mostra uma comparação de 36 navios com o duto e 18 navios sem o duto.

Comprovam que o ganho de velocidade pode ser maior que 0.3 nós isso representaria um ganho de 950 kw ou um aumento de 5% na eficiência do motor. Para alcançar esse aumento de velocidade é necessária a adição de 4 toneladas de combustível por dia, fato que aumentaria muito o custo operacional do navio'. (SOUZA, 2013, p. 28).

5.3 Aletas Grothue

Não é um duto e sim uma sequência de hidrofólios que são projetados para baixo e para fora da carena lateral mais próxima, avante e acima da linha de centro do propulsor. O maior efeito é criar um fluxo uniforme e axial maior dentro do disco do propulsor acelerando o fluxo lento. Esses dispositivos funcionam aliviando e reorganizando o fluido, trabalhando como uma asa de avião. Desta maneira ele consegue usar as baixas e altas pressões para direcionar o fluxo para que este chegue mais organizado no duto, que por sua vez o direciona para o propulsor. Evita o descolamento da camada limite, diminuindo o coeficiente de esteira, consequentemente evitando vibrações e cavitação.

Figura 57 – Aletas Grothue



Fonte: GERK, 2014, p. 123.

5.4 Duto Mewis

A empresa Alemanha “Becker Marine Systems” em 2009, lançou um Projeto baseado completamente em princípios hidrodinâmicos, este novo tipo de duto combina diferentes

teorias da dinâmica de fluidos. O sistema basea-se em um duto posicionada avante do propulsor integrado com um sistema de “fin” ou aletas. A força em que o duto acelera a esteira deixada pelo casco para dentro do propulsor também produz uma rede de thrust na frente do propulsor. Cada fin individualmente tem sua própria geração de um pré-redemoinho que rotaciona na direção contrária da operação do propulsor, recuperando a energia rotacional da corrente do propulsor.

Figura 58 – Duto Mewis



Fonte: SOUZA, 2013, p. 32

Utilizado em navios com grandes coeficientes de bloco, tais como graneleiros navios tanque e porta-containers em que seus propulsores operam em campos de esteiras desfavoráveis.

O modelo de teste do Duto Mewis atingiu uma velocidade de 16,45 nós o que equivale a uma economia de potencia de 4,5%. Como resultado, o protótipo teve sua velocidade aumentada para 17 nós, que corresponde a uma redução de potencia de aproximadamente 6%. Propicia ainda, economia de combustível e menores índices de emissão de poluentes atmosféricos. O duto pode não ser simétrico ao eixo. Uma de suas finalidades é homogeneizar a componente axial da esteira. O duto aumenta a eficiência da aleta pré hélice, ao prover um maior fluxo de água para o estator. O duto Mewis contribui ainda para o “thrust” total, pela geração de uma força de sustentação (lift) sobre suas paredes (GERK, 2014, p. 123)

A economia de energia viável a partir do Duto Mewis são fortemente dependentes da carga de impulso da hélice, de 3% para as pequenas multi-purpose navios de até 9% para grandes petroleiros e graneleiros. A economia de energia é virtualmente independente do projecto de navio e velocidade. Contudo O Duto Mewis é ideal tanto para novas construções.

5.5 Duto Mitsui

Esse duto equalizador de esteira é integrado ao casco e muito eficiente também sendo um duto completamente circular a vante do propulsor, mas é ao mesmo tempo assimétrico

para capturar a aceleração dos fluidos nas áreas do disco do propulsor próximas ao casco. As bordas do duto são alinhadas com as pontas das pás para que não passe para a vante do propulsor onde ficaria vulnerável a danos causados pelas bolhas de cavitação das pontas das pás que implodiriam no duto.

Figura 59 – Duto Mitsui



Fonte: GERK, 2014, p. 129

As bordas do duto são alinhadas com as pontas das pás para que não passe para a vante do propulsor onde ficaria vulnerável a danos causados pelas bolhas de cavitação das pontas das pás que implodiriam no duto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos tomar como base que a indústria naval não vai parar de medir esforços em investimentos de novos projetos com objetivo de aumentar a eficiência energética das embarcações, principalmente no que tange alcançar o baixo consumo de combustível e baixa emissão de gases poluentes.

A Vida útil das embarcações devido as inovações, está sendo cada vez mais prolongada, exigindo pouca manutenção em relação aos projetos anteriores. Outra ferramenta consolidada pelos pesquisadores para uma melhora considerável na diminuição das resistentes devido ao avanço, foram os software, que contribuem através de modelos matemáticos e métodos numérico para uma melhor performance tanto no que rege aos sistemas de propulsão, cascos e propulsores sempre visando a diminuição de causas e efeitos relacionados ao movimentos da embarcação.

REFERÊNCIAS

- Atlanticshipping.Wake. Disponível em:[http://www.4petbookstore.com/atlantic_shipping/WE B/ pix% 20referencia/](http://www.4petbookstore.com/atlantic_shipping/WE_B/pix%20referencia/)Acesso em 19 de out.2015.
- becker-marine. Pé de Galinha.<<http://www.becker-marine-systems.com/>>. Acesso em 18 out.2015.
- British Columbia Shipwreck Recording Guide. **Stern Type**,<https://www.for.gov.bc.ca/archaeology/docs/shipwreck_recording_guide/wreck_description.htm#D13>. Acesso em 16 de out.2015.
- CASTRO, José Rocha de Oliveira. **Simulação da Interação Casco –Propulsor de Uma Embarcação usando Mecânica dos Fluidos Computacional CFD**.Dissertação de Mestrado(Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).São Paulo,2006.
- DIAS R. T. Carneiro. **Propulsão elétrica azimutal realidade da propulsão naval**. Trabalho de Conclusão de Curso (Aperfeiçoamento para Oficiais de Maquinás –APMA) Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2012.
- DW Deutsche Welle. **Notícias**. Disponível em:<<http://www.dw.com/pt/1819-savannah-%C3%A9-o-primeiro-navio-a-vapor-a-atravesar-o-atl%C3%A2ntico/a-834836>>. Acesso em: 05 de out .2015.
- ESCOLA SUPERIOR NÁUTICA INFANTE D. HENRIQUE **.Sistemas de propulsão e governo**.<<http://www.enautica.pt/publico/.../baptista/TecMar/SlidesCap5-SistPropulsao./>>. **Acesso em: 07 de out.2015.**
- FONSECA, M. M. **Arte Naval**. 7. ed .Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2005.
- FRAGOSO, O. A.; Cajaty, M. **Rebocadores Portuários**. 1. ed. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Praticagem, 2002.
- GERK, Hermann Regazzi. Hidrodinamica para Navegantes. **Duplo Skeg**. Apostila de sala de aula Hidrodinamica. Rio de Janeiro: CIAGA, 2014. Impresso.
- GOMES,Wallace. **Eficiência energética para embarcações mercantes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2014.
- IK BRUNEL . **SS Great Britain**. <<http://www.ikbrunel.org.uk/ss-great-britain>> Acesso em :07 de out.2015.
- Intituto Superior Técnico. **Projeto de Navio**.< <http://www.mar.ist.utl.pt>> Acesso em :07 de out.2015.
- JUNIOR, Leandro T. Maltz. **Estratégias para eficiência energética em embarcações**. Trabalho de Conclusão de Curso (Aperfeiçoamento para Oficiais de Náutica – APNT) Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2013.

LEÃO, Elvio Drumond. **O Mar do Porto Santo**. Portugal, 14 out. 2015. Disponível em: <http://marportosanto.blogspot.com.br/>. Acesso em: 15 out. 2015.

LEWIS, Edward V. **Principles of Naval Architecture**, Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 2, 1989.

MAGNANI, Yuri Berbert. **Análise da influência de energy saving devices em casco twin-skeg otimizado de navio gaseiro**. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MELO, Eustáquio Alex. **Análise da propulsão diesel elétrica em embarcações de apoio marítimo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Aperfeiçoamento para Oficiais de Maquinás – APMA) Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2012.

Nauticexpo. **Proposores L-Drive**. <[http://www.nauticexpo.es/prod/masson-marine/ pro duct-27412-320206.html](http://www.nauticexpo.es/prod/masson-marine/pro duct-27412-320206.html)>. Acesso em 18 de out. 2015.

Oceanica UFRJ. **Sistema de Propulsão Diesel Elétrica**. <http://www.oceanica .ufrj.br /deno /prod_academic /relatorios/2013 /Yuri+ FelipeB/ relat1/Relatorio.htm >. Acesso 18 de out. 2015

Piratas do Belem. **Pés de Galinha** .< [https:// piratasdo belem .wordpress .com/ category/ eng- naval /Acesso](https://piratasdo belem .wordpress .com/ category/ eng- naval /Acesso)> em 14 de out. 2015.

Popa.com.br. **A função do bulbo de proa dos navios**.< http://www.popa.com.br/_2009/ >CRONICAS /bulbo-de-proa.htm> Acesso em :08 de out. 2015.

PORTAL MARITIMO. **O primeiro navio à vapor a atravessar o Atlântico**. <<http://portalmaritimo.com/2011/05/24/savannah-o-primeiro-navio-a-vapor-a-atravesar-o-atlantico/>> Acesso em: 07 de out. 2015.

RADIO PRAHA. **Hommage à Josef Ressel, inventeur de la propulsion à hélice**.< <http://www.radio.cz/fr/rubrique/histoire/hommage-a-josef-ressel-inventeur-de-la-propulsion-a-helice>> Acesso em: 07 de out. 2015.

Revista de Marinha. **Ulstein X-Bow** < <http://www.revistademarinha.com> > Acesso em: 13 out. 2015.

Schottel. **STPTWIN-PROPELLER**<<http://www.schottel.de/pt/propulsao-maritima/stp-twin-propeller/>>Acesso 19 de out. 2015.

Shipspotting. Psv Batuíra. <<http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php? lid= 170 5165>> Acesso em 16 de out. 2015.

SOUZA, AMAURI PHILIPPE BONFADIN. **Formação De Esteira E Vibrações Em Navios De Propulsão Moderna E Os Efeitos Na Navegação Moderna**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante) Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2013

TECHNO News. **X-BOW**. <http://www.technonews.com.br/2011/UlsteinXBow.pdf>. . Acesso em 14 de out. 2015.

Tecnologiamaritima.

ZIPOD.<http://tecnologiamaritima.blogspot.com.br/2012/07/posicionamento-dinamico-parte-4.html>.Acesso em 18de out.2015.

TRANSPORTE MARÍTIMO. **Navio que fizeram historia**<<https://transportemaritimoglobal.files.wordpress.com/2013/12/-navios-que-fizeram-histc3b3ria.pdf/>>.acesso em : 05 de out .2015.

ULSTEIN.**XBOW**.http://ulsmo.com/Kunder/ulstein/cms66.nsf/pages/newslista.htm?open&disp_key=0ca8e9f5f4de4b13c1257a6f003a5118&dato_start=196 > Acesso em 13 de out.2015

Wãrtsila.Energy-efficiency.articles.<<http://www.wartsila.com/en/marine-solutions/overview>.Acesso em 19 de out.2015.

WHITMAN, E., C. The IPS Advantage. Electric Drive: A Propulsion System for Tomorrow's Submarine Fleet?. **Seapower Magazine**, Julho, 2001.