

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

KAREN BARBOSA RODRIGUES

ESTUDO DAS MELHORIAS HIDRODINÂMICAS NO NAVIO

RIO DE JANEIRO

2014

KAREN BARBOSA RODRIGUES

ESTUDO DAS MELHORIAS HIDRODINÂMICAS NO NAVIO

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. Hermann Regazzi Gerk
Bacharel licenciado em Química

**Rio de Janeiro
2014**

KAREN BARBOSA RODRIGUES

MELHORIAS HIDRODINÂMICAS NO CASCO DO NAVIO

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. Hermann Regazzi Gerk

Bacharel licenciado em Química

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Aos meus pais, por acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Cristiane, meu pai Edno e minha irmã Kamila por estarem comigo, sendo meus guias. E toda minha família pela fé e confiança depositada em mim. Agradeço a todos que estiveram ao meu lado, torcendo e orando por mim. Não estaria aqui sem o apoio e suporte de vocês, que conquistaram um lugar cativo em meu coração. Agradeço ao meu namorado Victor, por ter me feito mais feliz. E aos meus amigos, pelos sorrisos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Hermann Regazzi Gerk, pela sua disponibilidade e incentivo para a realização deste projeto, assim como pelo material cedido e ajuda prestada na realização desta monografia.

“As pessoas veem estrelas de maneiras diferentes. Para aquelas que viajam, as estrelas são guias. Para outros, elas não passam de pequenas luzes. Para os sábios, elas são problemas. Para o empresário, eram ouro. Mas todas essas estrelas se calam. Tu, porém, terás estrelas como ninguém nunca as teve...”

O Pequeno Príncipe

RESUMO

Quando se pretende introduzir mudanças de projeto no navio e na instalação de dispositivos de incremento (PID), pensa-se nas melhorias aplicáveis, sejam do ponto de vista técnico, econômico ou ambiental. O aumento do transporte marítimo criou uma demanda de navios com capacidade para transportar uma maior quantidade de carga, com exemplos práticos de navios que se tornam ultrapassados devido a não atenderem as disposições do mercado atual. Isto exigiu a criação de leis que assegurem a manutenção e cumprimento de tais disposições. O objetivo desta monografia é o estudo integrado das melhorias aplicáveis ao casco do navio, e como podem causar uma possível economia de combustível.

Palavras-chave: Propulsão. Dispositivos de melhoria. Economia de combustível. Eficiência.

ABSTRACT

When we intend to make changes in the ship design and in the installation of incremental devices (PID), we think in the improvements applicable, being from a technical, economic or environmental point of view. The increase of maritime transportation created a demand for vessels capable of carrying a larger amount of charge, with practical examples of vessels that become outdated due to not meeting with the provisions of the current marked. This required the creation of laws that ensure the maintenance and compliance of such provisions. The purpose of this monograph is the integrated study of the improvements applicable to the ship's hull, and how they can cause a possible fuel economy.

Key-words: Propulsion. Device for improvement. Fuel economy. Efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Proa sem a otimização do bulbo	pagina 15
Figura 2 Proa com a otimização do bulbo.....	pagina 15
Figura 3 Interação entre as ondas de proa e de bulbo.....	pagina 16
Figura 4 Gráfico comparativo do número de Froud	pagina 16
Figura 5 Desenho da proa X-bow	pagina 17
Figura 6 Desenho de casco sem pintura de proteção.....	pagina 17
Figura 7 Desenho de casco com pintura de proteção	pagina 17
Figura 8 Dutos Equalizadores Shneekluth.....	pagina 19
Figura 9 Gráfico comparativo da pressão sofrida pelos navios com duto e sem o duto.....	pagina 20
Figura 10 Foto de Aletas Grothues	pagina 21
Figura 11 Dutos equalizadores Shneekluth combinado com Aletas Grothues.....	pagina 21
Figura 12 Foto de um Estator.....	pagina 22
Figura 13 Foto de um Duto Becker's Mewis.....	pagina 23
Figura 14 Desenho de um Duto Becker's Mewis.....	pagina 24
Figura 15 Foto de uma Aleta de Impulso localizada no cadaste.....	pagina 24
Figura 16 Foto de um Bulbo de leme (Costa)	pagina 25
Figura 17 Desenho de um leme próximo ao propulsor.....	pagina 26
Figura 18 Desenho demonstrando o efeito do aumento da distância e da relação entre os diâmetros do leme e propulsor.....	pagina 26
Figura 19 Desenho de um leme assimétrico.....	pagina 27
Figura 20 Foto de leme assimétrico com inclusão do bulbo de leme Costa	pagina 27
Figura 21 Desenho de um propulsor Azipull fechado.....	pagina 28
Figura 22 Desenho de um propulsor Azipull aberto.....	pagina 28
Figura 23 Desenho de um propulsor Azipod.....	pagina 29
Figura 24 Desenho de um propulsor Azipod aberto.....	pagina 29
Figura 25 Foto de proa de navio com propulsão dupla.....	pagina 30
Figura 26 Foto de proa de navio com projeto de skeg duplo.....	pagina 31
Figura 27 Esquema de um Sistema de Acionamento Elétrico Integrado.....	pagina 32
Figura 28 Foto do navio tipo E-Ship1.....	pagina 33
Figura 29 Foto do barco Turanor PlanetSolar.....	pagina 35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IMO – International Maritime Organization

MARPOL – International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios)

MEPC 203(62) - Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho

IECC – Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios

EEDI - Energy Efficiency Design Index (Índice de Eficiência Energética de Projeto)

DWT – Deadweight Tonnes (Tonelada de Porte Bruto)

CO₂ – Dióxido de Carbono

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REGULAMENTAÇÃO	13
2.1 Legislação Ambiental	13
2.2 Economia em números	13
3 FORMA DO CASCO	15
3.1 Bulbo de proa	15
3.2 Proa alta (“X-bow”)	16
3.3 Pintura do casco	17
3.4 Principais dimensões	18
4 Instalação de Dispositivos de Incremento (PID)	19
4.1 Dispositivos equalizadores de Esteira	19
4.1.1 Dutos Equalizadores Shneekluth	19
4.1.2 Aletas Grothues	20
4.1.3 Dutos equalizadores Shneekluth combinado com Aletas Grothues	21
4.2 Dispositivos Pré- Hélice	22
4.2.1 Estatores	23
4.2.2 Duto Becker’s Mewis	23
4.3 Dispositivos Pós-hélice	24
4.3.1 Aleta de Impulso no cadaste	24
4.3.2 Bulbo de leme (Costa)	25
4.3.3 Leme assimétrico	26
5 OTIMIZAÇÃO DA PROPULSÃO	28
5.1 Azipull	28
5.2 Azipod	29
5.3 Propulsão com dois eixos	30
6 ENERGIA ALTERNATIVA	32
6.1 Propulsão Elétrica	32
6.2 Propulsão Eólica	33
6.3 Propulsão Solar	34
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

A evolução da humanidade está intrinsecamente ligada ao aumento do transporte, seja marítimo, aéreo ou terrestre. O aumento das necessidades humanas gerou um aumento no consumo, suprido pela maior produção de bens e conseqüente transporte até o consumidor.

Ao longo da história é possível observar as mudanças na frota marítima, começando nas barcaças mercantes até os gigantes navios com quatrocentos metros de comprimento.

A relação da eficiência energética com a economia de combustível se tornou culminante para que a indústria de construção investisse em uma renovação do desenho hidrodinâmico. Novos dispositivos foram criados para atender as disposições atuais do mercado, sejam ambientais ou econômicas, e o conforto, para os tripulantes e passageiros.

Navios antigos se tornam mais obsoletos a cada dia, em virtude de não suprirem a demanda do mercado. Um exemplo são os dispositivos que visam diminuir o ruído e, por conseqüência, a vibração. Tais agentes, além de danificarem as estruturas físicas do navio, geram um desconforto para aqueles que ficam embarcados.

Do ponto de vista econômico, é fácil entender o porquê da crescente busca por melhorias que gerem uma economia. Uma quota de Thomas Jefferson, “O espírito egoísta do comércio não conhece países e não sente paixão ou princípio, exceto o do lucro”, esclarece isso. Um motor comum consome toneladas de combustível por dia. Uma pequena porcentagem de economia representa milhões de reais quando praticada na frota inteira de navios.

Esse trabalho tem por objetivo o estudo dos dispositivos que podem ser instalados no casco do navio, de forma a aperfeiçoar o aproveitamento energético.

2 REGULAMENTAÇÃO

2.1 Legislação Ambiental

No ano de 2011 foi realizada a MEPC 2039(62), para a inclusão de regras sobre a eficiência energética para navios, no anexo VI da MARPOL. A inclusão do Capítulo 4, que trata sobre as Regras sobre Eficiência Energética para Navios, a criação da Regra 6, que cria o IECC (Certificado Internacional de Eficiência Energética), considerado a primeira regulamentação para estabelecer os valores padrões de CO₂ ao redor do mundo e da Regra 19, que define a aplicação em navios com Arqueação Bruta igual ou superior a 400. Tendo como exceções navios engajados exclusivamente na cabotagem ou que possuem propulsão diesel-elétrica, turbinas de propulsão ou sistemas de propulsão híbrida.

As Regras 20 e 21 definem e tratam sobre o EEDI (em inglês, *Energy Efficiency Design Index* ou Índice de Eficiência Energética de Projeto). O valor do EEDI pode ser obtido através da fórmula:

$$\text{EEDI}(\text{ g/ t.nm}) = \frac{\text{Emissões CO}_2 (\text{ sist. de Propulsão} + \text{ sist. Auxiliar}) - \text{inovações tecnológicas}}{\text{DWT} \times \text{velocidade do projeto} \times \text{fator específico}}$$

Todos os novos navios construídos deverão possuir o índice EEDI quando tiverem: a assinatura do contrato a partir de 1º de janeiro de 2013; a quilha batida a partir de 1º de julho de 2013; ou forem entregues a partir de 1º de julho de 2015.

No Brasil, as datas exigidas são: a assinatura do contrato a partir de 1º de janeiro de 2017; a quilha batida a partir de 1º de julho de 2017; ou forem entregues a partir de 1º de julho de 2019. O valor do EEDI atingido deverá ser igual ou menor que o valor do EEDI exigido.

2.2 Economia em números

O livro introdutório de 1965, “Bulbo Esso”, afirmava que “Potência e consumo de combustível podem ser reduzidos na faixa entre 10 e 15 por cento sem sacrificar a velocidade ou a capacidade de transporte”. A maioria argumenta que a corrente “ECO” propulsão é impulsionada pelo preço do combustível. O preço do óleo cru em 1964 era de \$1.80 dólares por barril quando o “Bulbo Esso” foi introduzido. Claramente, a indústria sempre se voltou para a eficiência na operação.

O que recentemente mudou foi o estudo da velocidade. Considerando que uma diminuição de velocidade produz uma redução próxima a 40% quando diminuída de 14 para 11 nós e uma economia ainda maior com velocidades acima de 18 nós. Um cuidadoso uso da potência elétrica no mar e a adição da eficiência de energia podem resultar em uma economia de até 0.7t por dia. Ajustando a velocidade para planejar chegadas eficientes do navio e assim não sofrerem o tempo de espera no fundeadouro, pode economizar de 1% a 5% e a correta análise da previsão meteorológica entre 2% a 3%.

Em muitos casos, melhorias no casco são difíceis para serem implantadas. Entretanto, avanços no design e uma combinação com o seu novo e reavaliado motor principal podem produzir economias em até 8% no custo de aproximadamente 350.000 dólares, incluindo o trabalho de modelagem e design.

Ao adicionar um duto Becker Marine Mewis para acelerar e aperfeiçoar o fluxo da esteira por 280.000 dólares pode-se gerar uma economia de 3% dependendo das linhas na popa do casco. Uma vez que esse equipamento é instalado em diques secos, protegendo o navio com “International Paint 8000” com tecnologia de polímeros Lubyon® e outros 6% de economia podem ser alcançados. Em alguns casos, melhorias são “asseguradas”. O retorno do investimento é previsto em 3.5 a 4 anos dependendo da rota de viagem e do histórico de operações do navio. O consumo total de combustível, sem incluir a diminuição da velocidade, alcança um valor considerado com a redução entre 10 a 13 por cento quando comparada com os valores do consumo de combustível usuais.

3 FORMA DE CASCO

O estudo exigido para o desenvolvimento do desenho do casco pode ser considerado uma das etapas mais difíceis do projeto, haja em vista a enorme quantidade de variantes que devem ser consideradas, criando soluções para a geometria do projeto e aperfeiçoando o desempenho energético da embarcação.

3.1 Bulbo de proa

O bulbo otimizado reduz a resistência de ondas através da criação de um sistema de ondas transversais e divergentes. A utilização de bulbo de proa somente se mostra interessante para valores de Fr (número de Froude) entre 0,2 e 0,3.

Figura 1: Foto do bulbo de proa original.

Figura 2: Foto do bulbo de proa otimizado.

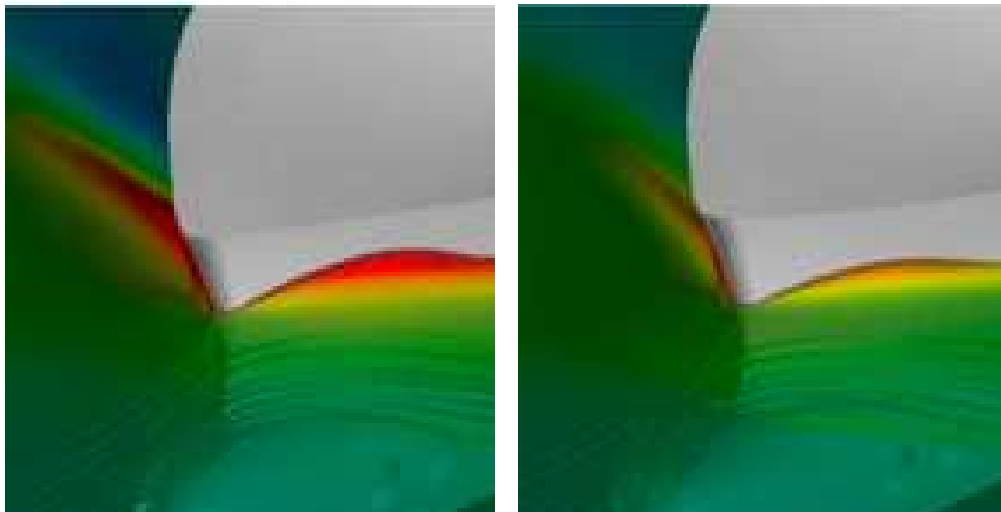


Figura 1

Figura 2

Fonte: Estratégias para eficiência energética em embarcações.

Nos quadros abaixo, retirados do filme explicativo do navio Queen Mary, pode-se analisar a interação entre as ondas formadas pela proa e pelo bulbo. Na primeira figura demonstra-se a formação das ondas de bulbo. Na segunda, o processo de interferência entre as ondas de proa e de bulbo. Finalmente, na terceira, o trem de onda resultante após a interferência entre as duas ondas.

Figura 3: Interação entre as ondas de proa e de bulbo.



Figura 3

Fonte: Filme explicativo do navio Queen Mary 2.

Figura 4: Gráfico comparativo com o valor do número de Froude, sofrido por navios com costado sem bulbo de proa e com costado com bulbo de proa.

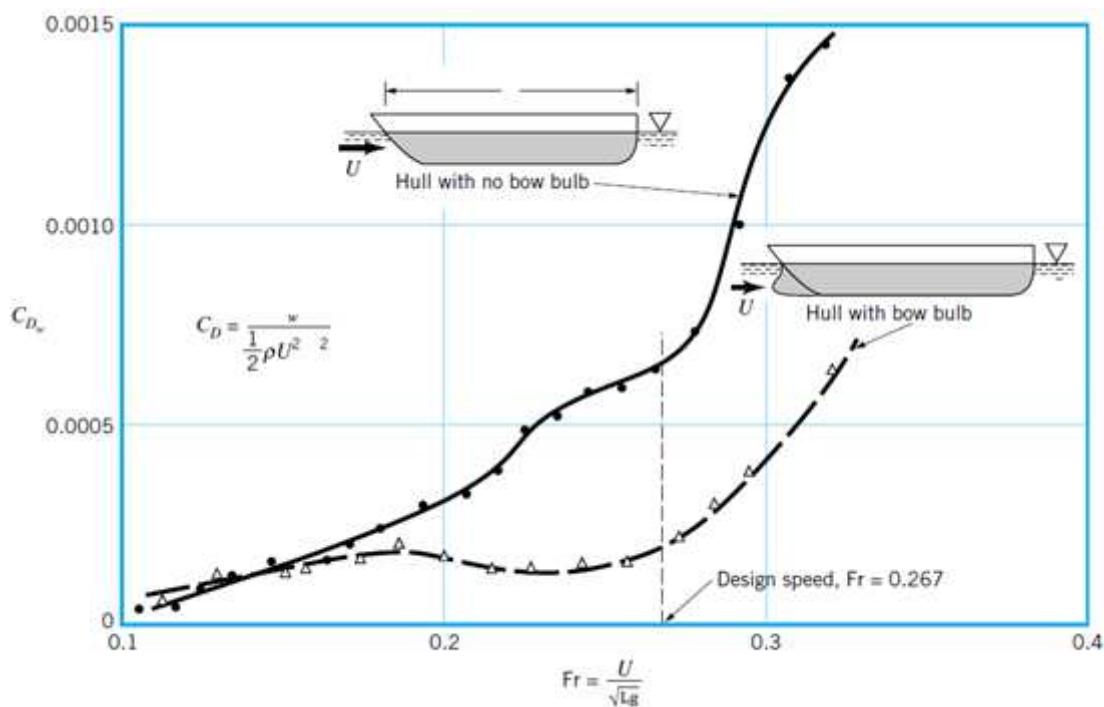


Figura 4

Fonte: Eficiência Energética em Embarcações.

3.2 Proa alta (X- Bow)

A proa alta pode ser considerada como uma das maiores inovações da atualidade, no campo da engenharia naval. Seu desenho de proa elevado foi projetado para mares mais agitados, sendo estanque, empurrando a água para os lados e sustentando o navio acima na saída da onda.

A proa alta produz um efeito semelhante ao do bulbo de proa, mas ao invés do deslocamento do navio formar duas ondas, a do bulbo e a do casco, forma somente uma, a do

casco-bulbo. A proa com bulbo atuará com o navio produtor de onda enquanto a proa X-bow atua prioritariamente com o navio na condição de receptor de onda. O melhor cenário de atuação seria combinar os dois sistemas de forma a atuarem sinergicamente.

Figura 5: Proa com bulbo e Proa X-Bow.

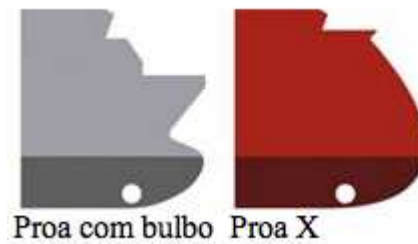


Figura 5

Fonte: www.revista.de.marinha.com

3.3 Pintura do casco

O método da pintura do casco é uma das mais difundidas técnicas de proteção contra a corrosão, principalmente a do aço. Além de tornar a superfície mais homogênea, ao diminuir a superfície de contato e o atrito no deslocamento, tem como consequência a redução da resistência de superfície.

Ao longo da história foi almejada uma tinta que imitasse a cobertura dos golfinhos e tubarões, ao oferecer um baixo valor de resistência na água e não provocar ruídos. Atualmente, já é possível encontrar tintas produzidas com nanotecnologia. Nas figuras abaixo, é possível observar uma superfície de menor fricção na que foi pintada.

Figura 6: Desenho de casco sem pintura.

Figura 7: Desenho de casco com pintura.

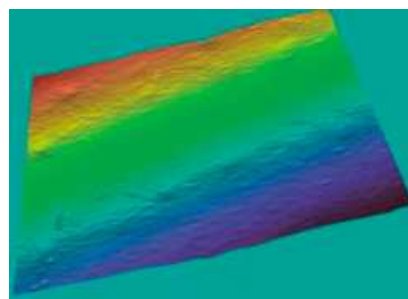
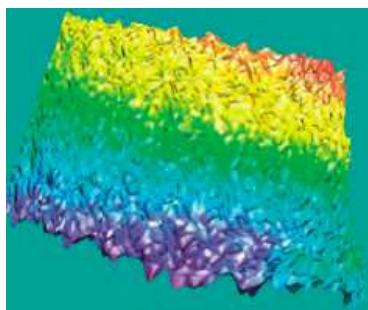


Figura 6

Figura 7

Fonte: Eficiência Energética em Embarcações.

3.4 Principais dimensões

Quando existe interferência nas dimensões do navio, ainda durante o estágio do projeto, se torna possível conseguir uma significativa diminuição no consumo de combustível.

Para obter um melhor aproveitamento energético é necessário um desenho de casco elaborado para evitar um grande coeficiente de bloco, calculado pela divisão do Volume deslocado pelo produto dos valores do calado, boca e comprimento total. Também é possível obter um resultado semelhante diminuindo as razões do comprimento total pela boca ou a da boca pelo calado. Todos os navios podem adotar esse método, entretanto, por se tratar de um processo que envolve o desenho do casco, somente os modelos novos são projetados considerando essa técnica.

4 INSTALAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE INCREMENTO (PID)

4.1 Dispositivos equalizadores de Esteira

4.1.1 Dutos Equalizadores Shneekluth®

Os dutos equalizadores de onda (em inglês, WED - *wake equalizing duct*) são concebidos como uma unidade integral do casco, tendo como função direcionar a água ao Ponto Morto Superior (posição das doze horas), ajudando a estabelecer um fluxo mais uniforme na hélice, através da aceleração do fluxo na parte superior do hélice, na tentativa de minimizar a componente tangencial da velocidade no campo da esteira. Com o duto, a propulsão se torna mais eficaz, haja em vista que todas as pás do propulsor passam a trabalhar de forma igualitária. O aumento esperado na velocidade do navio é de 0,3 nós por hora.

Figura 8: Duto Equalizador Shneekluth®.

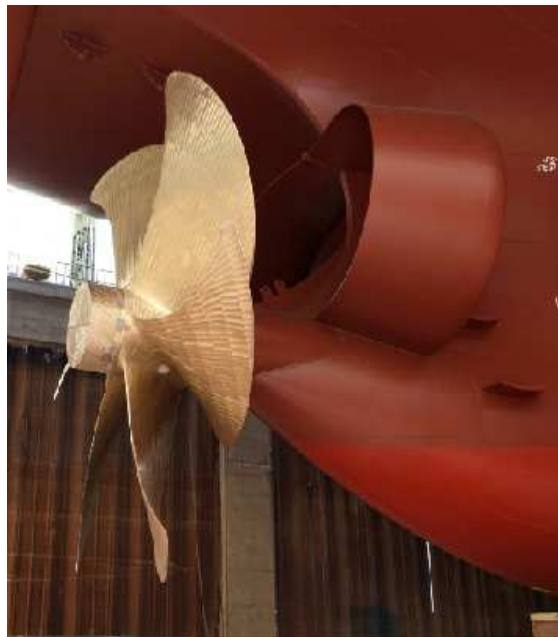


Figura 8

Fonte: Revista *The Naval Architect*.

Os dutos também atuam na diminuição da produção de ruído, que poderiam causar rachaduras e fadiga de material na parte posterior do costado, assim como redução do rendimento podendo levar a destruição dos equipamentos técnicos e eletrônicos. Com a instalação do duto é esperado uma diminuição de 50 % no efeito da vibração.

Figura 9: Gráfico comparativo da pressão sofrida pelos navios, sem (apresentado na cor verde) e com o duto (apresentado na cor azul).

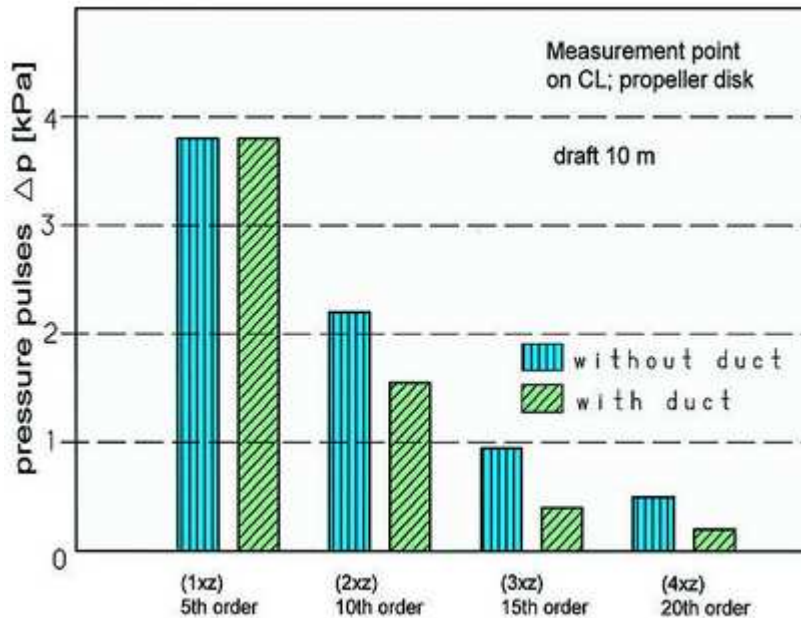


Figura 9

Fonte: www.schneekluth.com

A instalação em um navio de 2500 TEU com o duto Schneckluth resulta em um ganho na potência do navio de cerca de 950 kW por hora, o que corresponde a uma economia de combustível de 4 toneladas por dia. Isto corresponde em uma redução diária na emissão de CO₂ de aproximadamente 12 toneladas por navio.

4.1.2 Aletas Grothues®

As aletas (em inglês Grothues Spoilers) consistem em um conjunto de aletas fixadas no casco a frente do hélice. Como consequência somente é aplicada a navios que possuem um único propulsor (single- screw vessels). Tem por objetivo corrigir o fluxo de água da camada limite e torná-lo axial, criando com isso um fluxo de pressão direta e melhorando a eficiência da propulsão.

O efeito esperado é a redução da resistência de casco juntamente com uma melhora no rendimento do propulsor, causado pelo efeito da homogeneização das aletas no campo da esteira, podendo gerar um aumento na eficiência entre 3 - 4%.

Figura 10: Aletas Grothues®:



Figura 10

Fonte: Eficiência Energética em Embarcações

4.1.3 Dutos equalizadores Shneekluth combinado com Aletas Grothues

A ação conjunta dos dois dispositivos melhora o desempenho do propulsor à medida que as Aletas diminuem o efeito do fluxo cruzado pela esteira, direcionando o fluxo de água para o hélice, enquanto o duto concentra a água para a pá superior, aumentando o rendimento da propulsão e reduzindo o efeito da cavitação.

Figura 11: Dutos equalizadores Shneekluth combinado com Aletas Grothues.



Figura 11

Fonte: www.schneekluth.com

Foi realizada uma experiência que comparou a eficiência do duto com e sem as aletas. Após um determinado período, foi descoberto que a eficiência do duto seria aumentada se fossem incluídos no projeto duas aletas em cada bordo, uma acima da linha de centro e mais próxima do duto e outra mais afastada e abaixo da linha de centro.

A utilização desse sistema gerou um aumento na velocidade do navio em 0.3 nós. Esse aumento representa um ganho de potência médio de 950 kW ou 5%, podendo gerar uma economia de aproximadamente quatro toneladas de combustível por dia.

4.2 Dispositivos Pré- Hélice

4.2.1 Estatores

Os estatores de pré- giro são um dos mais atrativos dispositivos para melhorar a eficiência, já que é baseado em um mecanismo de energia otimizada. Consistem em um conjunto de laminas fixadas na popa de frente para o propulsor, com isso o fluxo é redirecionado antes de entrar no disco do propulsor. Apesar do estator não economiza energia nem criar um uma propulsão, na verdade adiciona resistência, sua interação com as pás do propulsor aumenta a eficiência da propulsão e resulta numa redução da força gasta. Devido a sua complexidade, os estatores podem ser bem sucedidos ou não, dependendo da sua aplicação. Por isso, deve ser integrado com o desenho do casco para sua otimização.

Figura 12: Foto de um estator.



Figura 12

Fonte: www.flowtech.se.

4.2.2 Duto Becker Mewis®

Os dutos Becker Mewis® são dispositivos de economia de energia desenvolvidos para navios, que fornece tanto uma significativa economia de combustível a uma velocidade determinada ou, alternativamente, permite que o navio navegue mais rápido com um determinado nível de energia. Os dutos são utilizados em navios com grande coeficiente de bloco, fator este que provoca com que operem em campos de esteiras desfavoráveis, tais como navios graneleiros e navios tanque. No teste do Duto Mewis, o modelo atingiu uma velocidade de 16,45 nós, o que equivaleu a uma economia de potência de 4,5%. Como resultado, o protótipo teve sua velocidade aumentada para 17 nós, que corresponde a uma redução de potência de aproximadamente 6%. Propicia ainda, além da economia de combustível, menores índices de emissão de poluentes atmosféricos.

Figura 13: Foto de um Duto Becker Mewis®.



Figura 13

Fonte: www.nauticexpo.com

O Duto é constituído por dois dispositivos fixados na embarcação: um duto posicionado a frente do propulsor juntamente com um sistema de laminas internas. O duto corrige e acelera o fluxo de água para dentro do propulsor, além de produzir uma malha de empuxo avante. O sistema de laminas produz um pré-giro no fluxo de água, o que reduz possíveis perdas na esteira do propulsor. Esse efeito resulta em um aumento na propulsão avante. Ambos os dispositivos contribuem para o melhor funcionamento do outro.

Figura 14: Desenho de um duto Becker Mewis®.

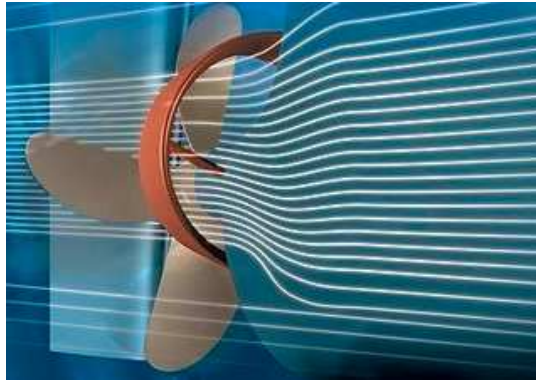


Figura 14

Fonte: Eficiência Energética em Embarcações

4.3 Dispositivos Pós-hélice

4.3.1 Aleta de Impulso no cadaste

As aletas de impulso são aparelhos em formato de um airfold, sendo fixado no cadaste atrás do propulsor, com o objetivo de maximizar o empuxo. Seu efeito é produzir uma força no fluxo rotacional, sendo considerada em seu design a teoria da geração de sustentação em aeronaves. Basicamente o sistema é composto por duas aletas dispostas horizontalmente na direção do través do navio, presas no propulsor, em linha ou ligeiramente acima do eixo do hélice. Este sistema tem sido aplicado em larga escala e com isso a atenção deve ser focada no sistema de forças estáveis e não-estáveis que atuam nas aletas; por exemplo, ao adicionar massa, regime de forças, empuxo, arrasto, peso e assim por diante. Tais fatores têm importantes conseqüências na força do leme.

Figura 15: Aleta de Impulso no cadaste.

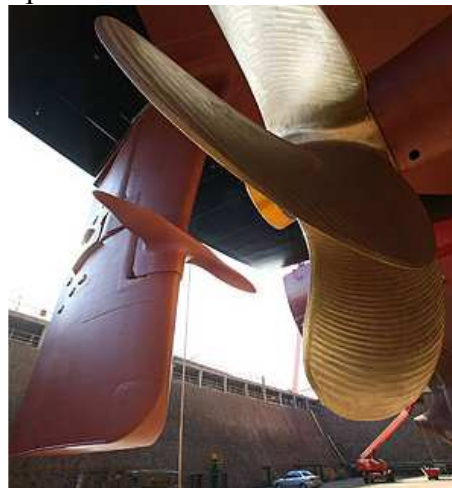


Figura 15

Fonte: Journal of Marine Science and Application.

A empresa Hyundai Heavy Industries (HHI), responsável pelo projeto, afirma que as Aletas de Impulso reduzem gastos com combustível em mais de cinco por cento, em experimento realizado por testes de mar. Um grande navio conteneiro consome aproximadamente 300 toneladas de combustível por dia. Se equipado com as Aletas, a economia anual em gastos com combustível poderia chegar a 2.4 milhões de dólares. Com uma vida útil média de 25 anos, equivaleria a 60 milhões de dólares economizados por navio. A eficiência do thrust foi calculada em função do número de aletas adicionadas e do ângulo de ataque.

4.3.2 Bulbo de leme Costa

O sistema tem por objetivo evitar a separação do fluxo e o excessivo vórtice atrás da parte central do propulsor, aumentando efetivamente o Bosso do propulsor. Seu uso é limitado a navios com um único eixo, sendo o bulbo um simples, porém efetivo dispositivo, para recuperar a energia perdida na área posterior do propulsor. Consiste em um invólucro de aço, fabricado em duas metades e soldado ao leme, imediatamente a ré do hélice e com a sua linha central contínua ao eixo da cauda.

Figura 16: Foto de um Bulbo de leme Costa.



Figura 16

Fonte: marinenote.blogspot.com.br.

O efeito ao se instalar o bulbo Costa é eliminar os vórtices criados devido ao fluxo de turbulência e repentina contração da água que corre vindo do Bosso. Essa contração é causada pela repentina liberação de um grande volume de ar liberado, sob condições normais de operação, quando a água passa pelo propulsor.

Também terá um efeito tranquilizador no fluxo de água posterior ao propulsor, reduzindo vibrações, leme duro, aumentando a flutuabilidade e melhorando a manobrabilidade, gerando uma melhoria na propulsão de cinco por cento.

As figuras abaixo mostram duas variantes, nas quais foi alterada a relação entre o diâmetro do bulbo Costa com o diâmetro do centro do propulsor e a distância entre eles. O modo de operação das linhas de fluxo revela uma significativa diferença no fluxo em torno do bulbo Costa. Mesmo com o aumento da distância entre o bulbo e o centro do propulsor, o vórtice no centro não foi evitado.

Na figura a esquerda é possível observar o leme próximo ao propulsor exercendo uma pressão maior sobre a área; Já na figura a direita observa-se que, com o aumento da distância e da relação entre os diâmetros do leme e do propulsor, a pressão exercida, e com isso a potência gasta, serão menores.

Figura 17 Desenho de um leme próximo ao propulsor.

Figura 18 Desenho demonstrando o efeito do aumento da distância e da relação entre os diâmetros do leme e propulsor.

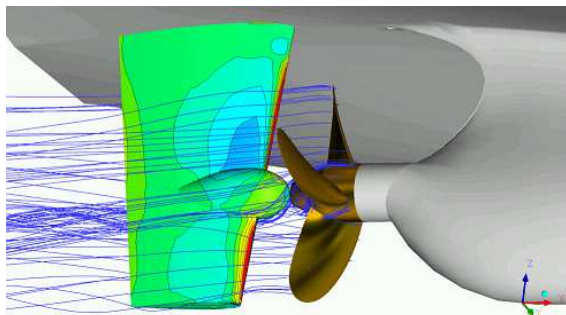


Figura 17

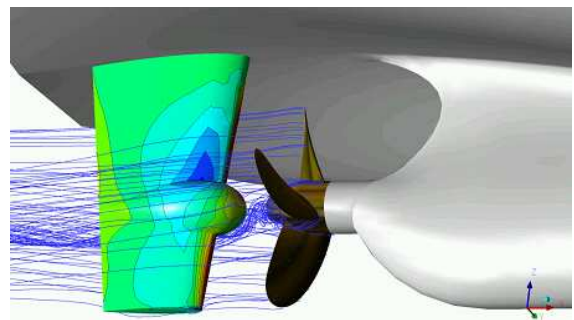


Figura 18

Fonte: www.sva-potsdam.de

4.3.3 Leme assimétrico

Os perfis das partes do leme, situadas acima e abaixo do eixo propulsor, são otimizadas para poder operar com eficiência na esteira do propulsor. Geralmente o leme assimétrico possui uma curvatura no bordo de ataque, podendo algumas vezes estar combinado com o Bulbo Costa. Ao utilizar o fluxo rotacional posterior, a assimetria também tem a vantagem de melhorar a eficiência do leme, porém sem criar um thrust adicional.

Figura 19: Foto de um leme assimétrico.



Figura 19

Fonte: Estratégias para Eficiência Energética em Embarcações.

Figura 20: conjunto formado pelo leme assimétrico com inclusão do bulbo de leme (Costa).

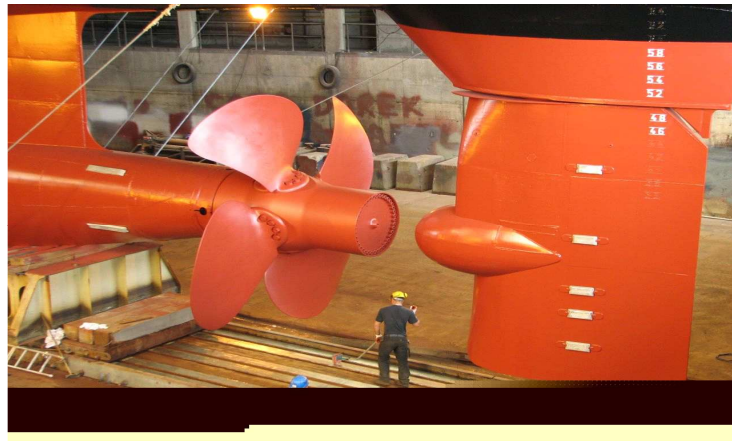


Figura 20

Fonte: Eficiência Energética em Embarcações.

5 OTIMIZAÇÃO DA PROPULSÃO

Uma das formas mais eficazes de se melhorar a propulsão é a utilização dos propulsores azimutais. O mesmo navio poderá ser instalado com um ou vários dispositivos. Também são capazes de realizar rotações de 360 graus. Com isso, dispensam o emprego do leme e melhoram a manobrabilidade do navio, produzindo melhor desempenho e eficiência.

Sua maior desvantagem é o custo elevado de instalação. Entretanto fornece benefícios que compensam o gasto inicial, como a geração de baixo arrasto, a estabilidade de curso, a produção de pouco ruído e vibração e a facilidade e flexibilidade no controle do navio.

5.1 Azipull®

O propulsor Azipull® combina as vantagens do propulsor de sucção com a flexibilidade da direção mecânica, e pode ser relacionado com qualquer propulsor primário (diesel, turbina a gás ou motor elétrico) sendo dependente dos requisitos individuais de cada comprador. Seu design oferece eficiência na propulsão e alta manobrabilidade em meio a altas velocidades.

Seu desenho é projetado para oferecer propulsão eficiente e manobras em navios de maior velocidade. A perna moldada e a quilha recuperam a energia perdida no turbilhão, aumentando a eficiência de propulsão. Nas figuras abaixo se observa o desenho de um propulsor modelo Azipull® fechado, na figura a esquerda, e aberto, na figura a direita:

Na figura 21: desenho de um propulsor modelo Azipull® fechado.

Na figura 22: desenho de um propulsor modelo Azipull® aberto.



Figura 21



Figura 22

A perna moldada possui um longo eixo para otimizar o efeito do leme e melhorar a estabilidade do curso. O propulsor Azipull está disponível com uma hélice de passo controlável ou fixo. As unidades devem ser integradas ao navio e projetadas de acordo com a forma do casco para melhores resultados, o que reduz inserções de carga no casco.

5.2 Azipod®

Um Azipod é um sistema relativamente novo usado para a propulsão de navios e para manobrá-los. O Azipod® substitui tanto o eixo da hélice tradicional como o leme.

Na extremidade frontal da cápsula existe uma hélice. A hélice é ligada por um motor elétrico dentro da cápsula e sua eletricidade é recebida através de cabos que descem pela cápsula, vindos do motor do navio.

Figura 23: desenho de um propulsor modelo Azipod® fechado.

Figura 24: desenho de um propulsor modelo Azipod® aberto.

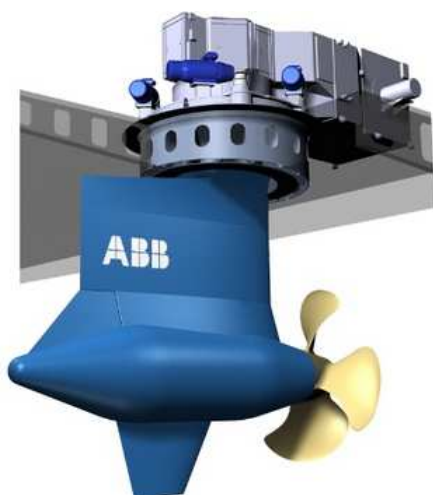


Figura 23

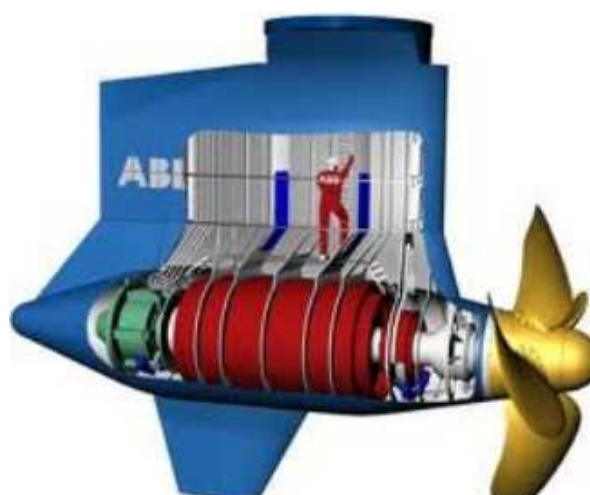


Figura 24

Fonte: www.naval-technology.com

Uma das vantagens deste sistema é que ele aumenta a capacidade de manobra do navio. O termo "Azipod" é uma contração de "pod azimuthal", o qual refere-se ao fato de que as cápsulas podem girar 360 graus. Assim, cada cápsula pode girar para qualquer direção.

O propulsor fica localizado na parte frontal da cápsula, "puxando" o navio ao invés de empurrá-lo como faria um hélice em um sistema tradicional. Num sistema Azipod®, como a hélice está na frente da cápsula, pode girar em água sem perturbações. "O Azipod é cerca de cinco a por cento mais eficiente devido ao melhor fluxo de água", explicou o Capitão John Scott.

Outro benefício é que o sistema Azipod libera mais espaço no interior do casco do navio. Com um sistema tradicional, os cabos de transmissão e os motores que os dirigem tem que estar localizado no casco. Além disso, um navio de cruzeiro moderno que não possui Azipods tem que ser equipado com propulsores de popa, a fim de manobrar o navio durante a atracação e desatracação. Por fim, não haverá a necessidade da instalação de propulsores na popa.

5.3 Propulsão com dois eixos

Com a utilização da propulsão com dois eixos tem-se como consequência a divisão por dois do valor requerido do empuxo, devido à presença dos dois propulsores. O sistema também oferece maior manobrabilidade e redundância, podendo ser adotado quando a potência requerida for maior que os limites na configuração com eixo simples, como nas situações de restrição de calado e diâmetro do propulsor. Para o projeto de dois eixos podem ser utilizados pés-de-galinha, para navios com proa aberta, ou o projeto dos skegs duplos.

Figura 25: Foto de proa de navio com propulsão dupla.



Figura 25

Fonte: www.operacional.pt

A eficiência para eixos duplos abertos será comprometida quando comparada a configuração com apenas um eixo, devido ao aumento da resistência de apêndices, com pés-de-galinha e sapatas. O projeto dos skegs duplos substitui a necessidade dos apêndices já mencionados, podendo oferecer um melhor desempenho hidrodinâmico, principalmente para navios com coeficiente de bloco acima de 0.70 ou aqueles com boca ampla ou calados menores.

Figura 26: Foto da proa de um navio com o skeg duplo instalado.



Figura 26

Fonte: Eficiência Energética em Embarcações

6 ENERGIA ALTERNATIVA

6.1 Propulsão Elétrica

O conceito de Propulsão Elétrica Integrada, utilizando o acionamento elétrico, é a tecnologia mais promissora nos desenvolvimentos da engenharia naval atual, desde o advento das turbinas a gás há 50 anos. A energia elétrica pode ser considerada o ponto mais moderno na evolução de energia a bordo, iniciada com o pistão e depois com o vapor.

Segundo Renata Nunes Alves: “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 velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico. No Sistema de Propulsão Elétrica (...) passa-se a dispor de uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda. Portanto, o conceito de Propulsão Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares.”

Segunda a autora ainda “No sistema de Propulsão Elétrico a eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor, como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Portanto, nos períodos em que o navio opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica.” Isso faz com que o motor trabalhe na faixa de rendimento ótima, o que por fim gera uma grande economia de combustível.

Figura 27: Esquema de um Sistema de Acionamento Elétrico Integrado.

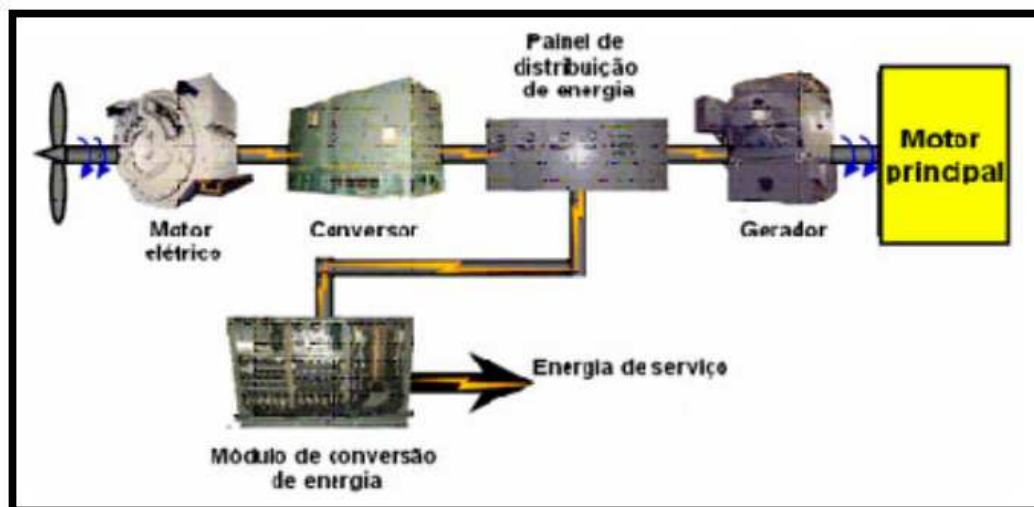


Figura 27

Fonte: Propulsão Elétrica de Navios.

6.2 Energia Eólica

A energia eólica a bordo é usada para impulsionar o navio, diminuindo com isso o consumo de combustíveis fósseis. O efeito Magnus, método pelo qual a energia é obtida, atua exercendo uma força para agir em cima de um corpo girando em movimento através de uma corrente de ar, perpendicular à direção de fluxo. Com base no Efeito Magnus o giro do cilindro juntamente com o vento proporcionam áreas de baixa e alta pressão. Nos locais onde o vento incide na mesma direção da rotação do cilindro a velocidade com que este passa é maior, portanto cria-se uma zona de baixa pressão. No outro extremo, onde o ar incide no sentido contrário de rotação do cilindro, a velocidade será menor, logo a pressão é maior. Somando as forças geradas vetorialmente é obtido o resultado da força que impulsiona o barco.

A unidade Flettner, desenvolvedora dos rotores Enercon que possuem 27 metros de altura e 4 metros de diâmetro, permite uma economia de combustível da ordem de 30 a 40 por cento, a uma velocidade de 16 nós.

Figura 28: Foto do navio tipo E-Ship1.



Figura 28

Fonte: www.popa.com.br

O navio E-Ship1, apresentado na figura 28, é um navio Flettner, que faz uso do Efeito Magnus para propulsão. Outro dispositivo utilizado são os SkySails. Consistem em um sistema totalmente automatizado para a propulsão de embarcações e um sistema de motorização otimizada para ventos. É utilizado no alto mar em conjunto com a propulsão do

motor dos navios, em condições favoráveis do vento. Tem a vantagem de poder usar tanto ventos por trás quanto ventos laterais para a impulsão.

Com a utilização dos SkySails é possível reduzir o consumo de combustível fóssil em até 35 por cento de acordo com as condições dos ventos, economizando combustível e reduzindo a emissão de CO₂. A eficiência da vela se assemelha a um parapente, ficando dependente das condições climáticas. Porém o sistema SkySails também tem a vantagem de não trabalharem apenas com ventos por trás, os ventos laterais também podem ser utilizados para a navegação.

6.3 Energia Solar

Outra tecnologia de energia renovável adequada para os navios é a energia solar. Nos últimos anos, avanços significativos foram feitos para o desenvolvimento de painéis solares leves e mais eficientes, mais adequados ao ambiente marinho severo. Alguns navios comerciais oceânicos já foram equipados com painéis solares, tais como o (NYK) Auriga Líder da Nippon Yusen.

A energia solar, por si só, não é capaz de fornecer a energia necessária para a propulsão de navios de grande porte; no entanto, pode ser uma importante fonte alternativa de energia, ajudando a reduzir o consumo de combustível e as emissões de gases considerados nocivos. O desafio para os projetistas é desenvolver uma solução para que os navios que utilizam energia solar e eólica sejam rentáveis, práticos e não coloque em risco a tripulação.

Diferentemente das soluções terrestres de energia renovável, como parques solares ou eólicos, o espaço disponível nos navios para estas formas de geração de energia é bastante limitado. Tendo isso em conta, parece vantajoso desenvolver um sistema que utiliza tanto a energia eólica e solar como fontes de energia, além de aproveitar essa energia através do mesmo sistema.

A utilização destas modernas formas de geração de energia ainda está em seus primórdios, sendo propenso que nos próximos anos a adoção de soluções eólicas e solares se generalize no setor de transporte marítimo. Os sistemas de controle, armazenamento de energia e gerenciamento de energia algumas vezes são negligenciados, mas estes podem desempenhar um papel fundamental em termos de tornar a energia renovável uma fonte viável de energia para os navios do futuro. Muitas empresas de transporte estão pondo estas idéias em prática, adicionando velas em navios de carga.

Velas solares podem funcionar quando o navio está ancorado. Se os módulos de armazenamento de energia a bordo, alimentados pelos painéis solares e geradores principais,

forem suficientes, o navio poderia abrir mão dos geradores auxiliares a diesel. As emissões de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio seriam reduzidas consideravelmente, mas este ainda é um conceito em teste.

Abaixo uma foto do barco Turanor PlanetSolar, abastecido por energia solar, o qual concluiu sua volta ao mundo. Com isso, ele se tornou o primeiro da categoria a conseguir concluir essa tarefa.

Figura 29: Foto do barco Turanor PlanetSolar.



Figura 29

Fonte: www.ecomarinepower.com

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o fim deste projeto, pode-se afirmar a importância da implementação dos dispositivos de melhoria hidrodinâmica, seja na recuperação da energia perdida, na redução das vibrações ou na economia de combustível. Como ressalva, dispositivos pré hélice e pós hélice não devem ser considerados correções introduzidas no projeto do casco, mas dispositivos de incremento de natureza hidrodinâmica.

O estudo integrado, juntamente com a contínua busca por melhorias, deve ser o objetivo primordial em todo campo de estudo. O desenvolvimento do texto deste trabalho visa exemplificar como é possível melhorar a eficiência do navio ao longo de sua vida útil, muitas vezes sendo necessário apenas o planejamento da instalação de dispositivos na etapa inicial da construção do navio e outras vezes é preciso compatibilizá-los com os navios já em operação. Tais iniciativas provaram que os estudos aplicados na área mostram efeitos em curto e longo prazo.

No entanto, é necessário o contínuo aperfeiçoamento da engenharia naval de forma a criar novos e melhorar os já existentes dispositivos, com o objetivo de atender as disposições de um mercado cada vez mais exigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão Elétrica de Navios**. Rio de Janeiro, RJ. Brasil. Outubro de 2007.

CARLTON, John S. **Marine Propellers and Propulsion**. Publisher: Butterworth Heinemann.

GERK, Hermann Regazzi. **Eficiência Energética em Embarcações**. Rio de Janeiro, RJ. Brasil, 2014.

KESSLER, Joachim. **Use of the wake equalizing duct of Schneekluth design on fast container vessels of medium size**.

KUNLEL, Robert. **Green with Envy: the “ECO” Ship is Calling**. 10 de junho de 2013 Disponível em <http://www.marinelink.com/news/calling-green-envy355452.aspx>. Acessado em 16 de junho de 2014.

MALTZ JUNIOR, Leandro Timm. **Estratégias para Eficiência Energética em Embarcações**. Rio de Janeiro, RJ. Brasil, 2013.

NAKANISHI, Humberto de Carvalho. **Otimização de cascos de embarcações a partir de formas básicas de séries sistemáticas**. 2009.

RADOJCIC, D. (1985) **Optimal preliminary propeller design using nonlinear constrained mathematical programming technique**. Southampton, UK, University of Southampton, 24pp. (Ship Science Reports, (21)).

SCHNEEKLUTH, H. **Schneekluth wake equalising duct**. *The Naval Architect*.

A Marine renewable energy solution for modern ships. Disponível em <http://www.ecomarinepower.com/en/marine-renewable-energy-for-ships>. Acessado em 23 de julho de 2014.

Azimuthing pulling propeller. Disponível em http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/azimuth_thrusters/azipull.jsp. Acessado em 26 de junho de 2014.

CFD - Interaction propulsor – ship. Disponível em <http://www.sva-potsdam.de/cfd-hull-propulsor-interaction.html> Acessado em 25 de junho de 2014.

CFD simulation of propeller and rudder performance when using additional thrust fins. Journal of Marine Science and Application, Vol. 6, No. 4, December 2007. Sheng Huang, Xiang-yuan Zhu, Chun-yu Guo, Xin Chang Acessado em 19 de junho de 2014.

Costa Bulb Propulsion. Disponível em <http://marinenote.blogspot.com.br/p/costa-bulb-propulsion-bulb.html> Acessado em 23 de junho de 2014.

Engine for ship nozzle / propeller. MEWIS DUCT®. Disponível em <http://www.nauticexpo.com/prod/beckermarine-systems/engine-ship-nozzles-propeller-30793-192526.html>. Acessado em 18 de junho de 2014.

“JUAN CARLOS I”, Navio de Projeção Estratégica. Por Miguel Machado, 16 de Janeiro de 2013. Disponível em <http://www.operacional.pt/juan-carlos-i-navio-de-projeccao-estrategica>. Acessado em 24 de julho de 2014.

Kitesails. Disponível em <http://www.popa.com.br/docs/cronicas/kitesails.htm> Acessado em 23 de julho de 2014.

Navios de propulsão Eólica. 26 de maio de 2011. Disponível em <http://meioseculodeaprendizagens.blogspot.com/2011/05/navios-de-propulsao-eolica.html#ixzz39fSdnk1d>. Acessado em 22 de julho de 2014.

Pre Swirl Stator Optimization. Disponível em <http://www.flowtech.se/cases/pre-swirl-stator-optimization>. Acessado em 11 de junho de 2014.

Relatório de sistema propulsivo. Disponível em

http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/atuais/Caio_%20Ricardo/Relat1/Sistema%20Propulsivo.htm Acessado em 20 de julho de 2014.

Revolução na Arquitetura Naval—A Proa Ulstein X-Bow. Disponível em

<http://www.revistademarinha.com>. Acessado em 22 de maio de 2014.

Rolls-Royce - Ship Design, Propulsion Systems and Support Solutions. Disponível em

<http://www.naval-technology.com/contractors/propulsion/rolls-royce-propulsion/rolls-royce-propulsion6.html> Acessado em 27 de junho de 2014.

Site oficial Schneekluth. <http://www.schneekluth.com/en/wed/wed.php> Acessado em 30 de maio de 2014.

Thrust Fin Reduces Fuel Costs by More Than Five Percent, 23 de junho de 2008.

Disponível em <http://hyundaiheavy.com/news/view?idx=143>. Acessado em 19 de junho de 2014.

What are azipods?. Disponível em <http://www.beyondships2.com/faq-azipods.html>

Acessado em 29 de junho de 2014.

Filme explicativo do navio Queen Mary 2.

FIGURA. Disponível em:

http://www.lr.org/Images/EEDI%20Guidance%20Notes%20for%20Clients%20v2.0_tcm155232077.pdf. Acessado em 22 de maio de 2014.

FIGURA. Disponível em:

<http://www.shipbuilding.or.kr/Technical/Ship/DSME0909/DSME0909.html>. Acessado em 10 de junho de 2014.