

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

LUCAS MOTTA DOMINGUES

RESISTÊNCIA AO AVANÇO E ALTERNATIVAS PARA SUA REDUÇÃO

**RIO DE JANEIRO
2014**

LUCAS MOTTA DOMINGUES

RESISTÊNCIA AO AVANÇO E ALTERNATIVAS PARA SUA REDUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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: Professor Mestre Hermann Regazzi Gerk

**RIO DE JANEIRO
2014**

LUCAS MOTTA DOMINGUES

RESISTÊNCIA AO AVANÇO E ALTERNATIVAS PARA SUA REDUÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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: Professor Mestre Hermann Regazzi Gerk

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Àqueles que muito me incentivaram e apoiaram a enfrentar esse grande desafio, meu pai Antônio, minha mãe Marta, minha irmã Isabella e meus amigos de camarote pela convivência durante esses três anos de EFOMM, dedico essa monografia.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento primeiramente a Deus, que me acompanhou, me guiou no decorrer desses três anos dando-me forças para enfrentar todos os obstáculos e problemas pelos quais tive que passar.

À minha família, meus pais e irmã, que com muito empenho, apoio e incentivo me acompanharam em toda essa jornada. A eles, que com muita sabedoria me educaram para que eu tivesse uma convivência harmoniosa com as pessoas desde muito antes de eu cruzar pela primeira vez os portões do CIAGA.

E, por fim, e não menos importante, a mim mesmo que nem à beira da maior dificuldade enfrentada, seja ela individual ou coletiva, deixei de provar que com persistência e otimismo vamos cada vez mais longe.

Agradeço também aos professores, que com dedicação e amizade passaram seus conhecimentos e experiências, os quais serão valiosos para mim que muito em breve estarei guarnecendo cargos que exigem responsabilidade e preparo. Em especial gostaria de agradecer ao professor Hermann, que, como meu orientador, me ajudou muito a aparar as arestas deste trabalho. Sempre muito atencioso e disposto a ajudar, mesmo tendo muitos orientandos e pouco tempo livre, me guiou nas minhas pesquisas, no foco que eu deveria dar em cada assunto e apontando uma melhor maneira de abordá-lo.

"A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original."
(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho trata dos diversos tipos de resistências que dificultam o avanço das embarcações na água, apresentando suas definições e alternativas para que essas resistências sejam evitadas ou, pelo menos, diminuídas. Visto que as empresas de navegação visam o lucro como objetivo principal, redução de gastos com óleos combustíveis é muito bem quista. Muito recurso vem sendo investido nessa área de pesquisa para que sejam desenvolvidos projetos que atendam a essas necessidades. Juntamente com esse objetivo, vem sendo buscada uma menor emissão de gases poluentes para atender aos requisitos da Organização Marítima Internacional (IMO) e a uma demanda natural da sociedade de preservação do meio ambiente cada vez maior. Ambos os propósitos são atendidos com o mesmo tipo de pesquisa de redução da Resistência ao Avanço do Navio e são abordados nesta monografia.

Palavras-chave: resistência, avanço, navio, embarcação, viscosa, ondas, apêndices, vento, diminuição

ABSTRACT

This work is devoted to various types of resistance that hinder the progress of the boats in the water, presenting their definitions and alternatives for these resistances to be avoided or at least diminished. Since shipping companies seek profit as the main objective, reduced spending on fuel oil is fine conquest. Much resource is being invested in this area of research for projects that meet these needs are developed. Along with this goal has been pursued less greenhouse gas emissions to meet the requirements of the International Maritime Organization (IMO) and a natural demand of society for preservation of the environment. Both purposes are met with the same kind of search about reduction of Advance Ship Resistance and are covered in this monograph.

Keywords: resistance, advance, ship, boat, viscous, waves, appendage, wind, diminution

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemática da Resistência ao Avanço.....	12
Figura 2 - Duto Schneekluth.....	20
Figura 3 - Popa assimétrica.....	21
Figura 4 - Aletas Grothues.....	21
Figura 5 - Duto parcial de popa.....	21
Figura 6 - Estatores.....	22
Figura 7 - Duto Mitsui.....	22
Figura 8 - Duto Becker's Mewis.....	23
Figura 9 - Aleta de impulso no cadaste.....	23
Figura 10 - Boss cap.....	24
Figura 11 - Bulbo de leme.....	24
Figura 12 - Volante Grim Vane.....	25
Figura 13 - Leme assimétrico.....	25
Figura 14 - Propulsor em duto.....	26
Figura 15 - Propulsor Kappel.....	27
Figura 16 - Propulsor end-plates (CLT).....	28
Figura 17 - Propulsores contra-rotativos.....	29
Figura 18 - Propulsores sobrepostos.....	29
Figura 19 - Twin propeller (Schottel).....	30
Figura 20 - Azimutal (Schottel).....	30
Figura 21 - Azipull (Rolls-Royce).....	31
Figura 22 - Azimutal Contra-rotativo (Rolls-Royce).....	31
Figura 23 - ABB Azipod.....	32
Figura 24 - Lubrificação por ar.....	32
Figura 25 - Casco com tinta convencional.....	33
Figura 26 - Casco com tinta de baixa fricção.....	33
Figura 27 - Redução da rugosidade do casco.....	34
Figura 28 - Redução da resistência de ondas: bulbo original e o otimizado.....	35
Figura 29 - Navio com skegs duplos.....	36
Figura 30 - Sistema SkySails sendo usado em um navio.....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 RESISTÊNCIA AO AVANÇO.....	12
2.1 Resistência Viscosa.....	13
2.2 Resistência de Ondas.....	14
2.3 Resistência de Apêndices.....	15
2.4 Resistência do Vento.....	16
3 ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA AO AVANÇO.....	18
3.1 Redução da Resistência Viscosa.....	19
3.1.1 Otimização da Forma do Casco.....	19
3.1.2 Dispositivos de Incremento da Propulsão (PID).....	20
3.1.3 Otimização do Propulsor.....	25
3.1.4 Redução da Resistência de Superfície.....	32
3.2 Redução da Resistência de Ondas.....	34
3.3 Redução da Resistência de Apêndices.....	35
3.4 Redução da Resistência do Vento.....	36
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Produzir uma embarcação é algo muito especial, pois seu custo de construção e custos operacionais são geralmente muito altos, e esta será utilizada por um longo período de tempo – 25 anos ou mais, dependendo do tipo de embarcação e a que se destina.

Atualmente a sociedade e a comunidade internacional pressionam no sentido de que as embarcações já existentes ou novas tenham uma maior eficiência operacional, tendo como objetivo uma redução de consumo de combustíveis e, conseqüentemente, uma redução de emissão de gases poluentes.

Tornar um navio mais eficiente requer melhoria do projeto do casco, nos sistemas de propulsão e no processo de manutenção. Assim, a eficiência operacional será maximizada pela minimização dos custos diretos e indiretos, o que leva à redução do consumo de combustível, à diminuição da poluição ambiental, mas sempre mantendo a confiabilidade alta dos sistemas (custos reduzidos de manutenção). Portanto, deve-se procurar sempre os projetos mais adequados de cascos e de propulsores de embarcações.

E por que nem sempre temos projetos otimizados de cascos e de propulsão das embarcações? Às vezes, por pressa, por uma conveniência momentânea são adotados, sem questionamentos, projetos prontos e até incompletos. Existem casos também gerados pela falta de conhecimento técnico das vantagens e desvantagens das diferentes opções de formas de cascos ou das diversas opções de sistemas propulsores. Outro fator importante quase sempre presente é o receio de adotar soluções que signifiquem inovações não devidamente testadas. Isso leva a crer que o fato de uma embarcação durar no mínimo meio século leva a opções técnicas mais conservadoras porque, em primeira análise, seriam mais confiáveis.

Ocorre que projetar, construir e operar embarcações com esta visão de conservadorismo técnico pode significar conviver com ineficiências por toda a longa vida da embarcação. Se uma embarcação pode ser mais eficiente 5% a 10% do que seria se não fosse otimizada, em 25 anos ocorreriam ganhos operacionais significativos, tanto financeiros como ambientais.

2 RESISTÊNCIA AO AVANÇO

Na área da hidrodinâmica, a resistência ao avanço consiste na força que se opõe ao avanço de um navio e é o resultado do atrito da água com o casco e da formação do sistema de ondas que o deslocamento provoca.

Ela tem origem complexa e, para facilidade de análise, é tradicionalmente decomposta em vários termos. No entanto, não existe uniformidade nos diversos textos quanto à forma como realizar essa decomposição.

A resistência ao avanço depende da forma, tamanho e velocidade da embarcação, é o fator que determina a potência necessária para se atingir uma determinada velocidade e pode ser dividida em quatro componentes principais: Resistência Viscosa, Resistência de Ondas, Resistência de Apêndices e Resistência do Vento.

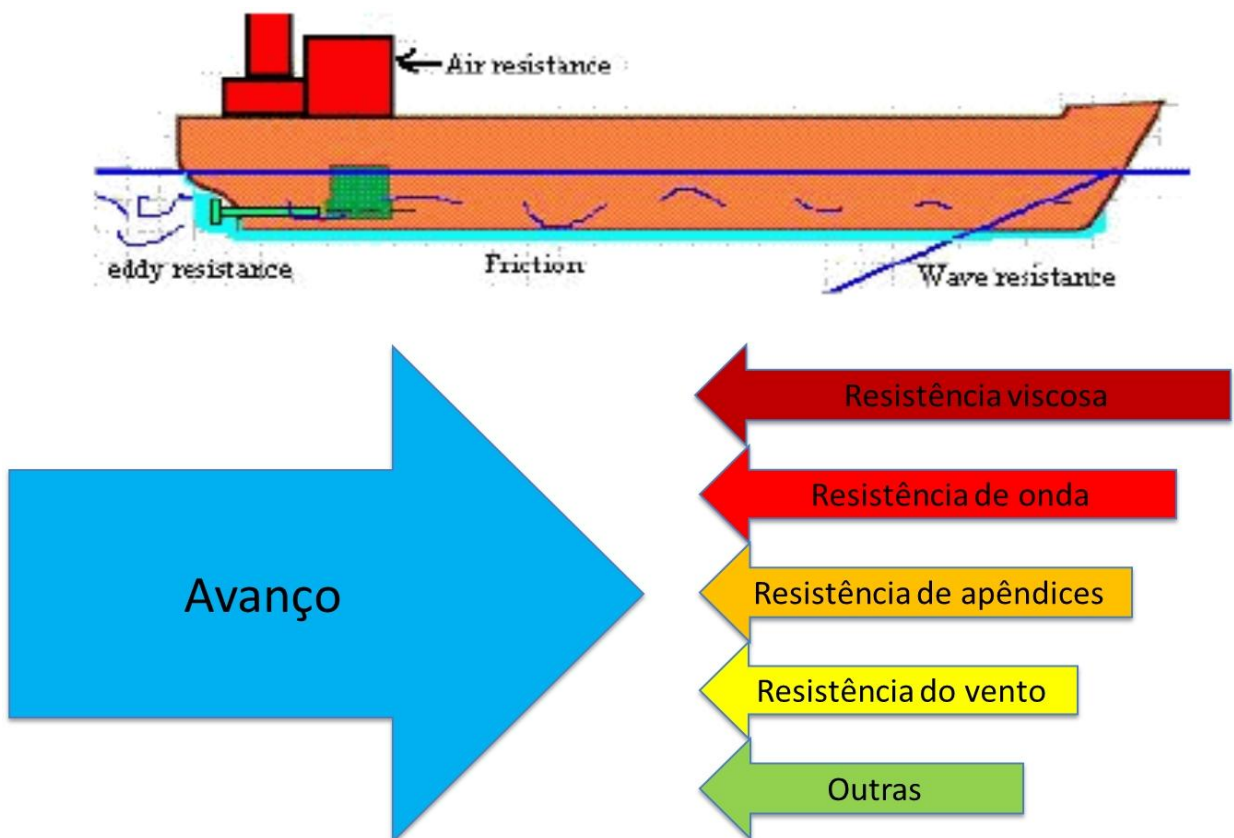


Figura 1 - Esquemática da Resistência ao Avanço.

2.1 Resistência Viscosa

A resistência de atrito do navio resulta do escoamento em torno da carena com número de Reynolds elevado. Quando um corpo se move num fluido em repouso, uma fina camada de fluido adere ao corpo em movimento, ou seja, tem velocidade nula relativamente ao corpo. A variação de velocidade é elevada nas proximidades da superfície do corpo e diminui com o aumento da distância ao mesmo. É prática habitual convencionar-se para a definição da espessura da camada limite, a distância a partir da superfície do corpo até que a velocidade do fluido seja 1% da velocidade do corpo.

Desenvolve-se assim da proa para a popa do navio uma camada limite tridimensional. Esta camada limite inicia-se em escoamento laminar e sofre transição para o regime turbulento. Normalmente, esta transição ocorre junto à proa do navio. Esta transição é controlada pelo número de Reynolds do escoamento. Em regime turbulento os efeitos dissipativos de energia vão além do atrito molecular. Com crescente número de Reynolds, verificam-se intensas trocas de quantidade de movimento em camadas adjacentes do fluido, ou seja, maior transporte de energia.

Num navio, o gradiente longitudinal de pressão na região da proa é, em geral, favorável ao escoamento. Pelo contrário, este gradiente é adverso na região da popa e a camada limite aumenta significativamente de espessura deixando de poder ser considerada pequena quando comparada com o comprimento ou a boca do navio. Para todos os efeitos práticos, a camada limite de um navio pode ser considerada completamente turbulenta.

Num escoamento ideal a pressão exercida na popa do navio seria igual à exercida na proa, ou seja, força resultante nula. Na prática, os efeitos viscosos vão reduzir a pressão exercida na popa do navio.

Parte desta resistência será devida à geração de vórtices nas discontinuidades do casco. Outra parte será devida a um aumento de espessura da camada limite em alguns casos potenciada por fenômenos de separação do escoamento. Estes aspectos são fundamentalmente condicionados pela forma do casco pelo que são normalmente considerados como uma "resistência de forma".

2.2 Resistência de Ondas

Quando o navio avança na superfície tranquila do mar é rodeado e seguido por uma formação ondular. Esta formação é quase imperceptível à baixa velocidade. No entanto, a partir de uma dada velocidade torna-se claramente visível e, a partir daí, tem dimensão crescente com a velocidade. Para além da dependência com a velocidade, a formação ondular depende também da forma da carena.

Nos estudos de resistência de onda não se pode afirmar que uma dada velocidade é elevada ou baixa sem conhecermos também a dimensão do navio. Assim, surge frequentemente a referência ao conceito de velocidade relativa, como razão entre a velocidade do navio e um parâmetro representativo da dimensão do navio, com V em nós e L em pés, em substituição do adimensional número de Froude.

Numa perspectiva do estudo hidrodinâmico do escoamento, o navio pode ser considerado como um campo de pressão em movimento. Kelvin resolveu analiticamente o caso simplificado do sistema de ondas criado pelo movimento de um ponto de pressão. Demonstrou que o padrão da formação ondular inclui um sistemas de ondas divergentes e um outro sistema cujas cristas das ondas se apresentam normais à direção do movimento. Ambos os sistemas de ondas viajam à velocidade do ponto de pressão.

Esse sistema associado ao movimento de um navio é muito mais complicado.

No entanto, como primeira aproximação, o navio pode ser considerado como um campo de pressão em movimento composto por uma sobrepressão considerada pontual na proa e uma depressão, também pontual, na popa. Assim, num navio que se desloque a uma velocidade relativa elevada, a formação ondular provocada é constituída por dois sistemas principais de ondas:

- o sistema da proa;
- o sistema da popa.

Cada um dos sistemas de ondas formados, com origem na proa e na popa do navio, é constituído por dois tipos de ondas:

- as ondas transversais;
- as ondas divergentes.

Geralmente, os dois sistemas de ondas divergentes são detectáveis apesar de o sistema da popa ser muito mais fraco. Não é normalmente possível isolar o sistema transversal da popa, sendo apenas visível à ré do navio a composição dos dois sistemas, transversal e divergente.

A proa produz um sistema de ondas semelhante ao descrito por Kelvin para um ponto de pressão em movimento e, pelo contrário, na popa forma-se um sistema de ondas semelhante, mas com uma depressão localizada na popa. Se a linha que une os pontos de maior elevação das cristas das ondas divergentes fizer com a direção longitudinal do navio um ângulo "a", então a direção destas fará um ângulo "2a" com a mesma direção.

Existe uma interação entre as formações ondulares transversais dos sistemas de ondas da proa e da popa. Se os sistemas estiverem "em fase", de tal forma que as cristas das ondas coincidam, o sistema resultante terá maior altura e, conseqüentemente, maior energia. Se, pelo contrário, a cava de um dos sistemas de ondas ficar sobreposta com uma crista do outro sistema, a energia consumida para gerar o sistema de ondas será reduzida. A velocidade V e o comprimento do navio L são muito importantes para a determinação da energia total do sistema de ondas gerado e, conseqüentemente, para a resistência de onda do navio.

Como a curva de resistência de onda exhibe estes máximos e mínimos locais, o navio deve ser projetado para operar num mínimo local da curva de resistência de onda, a velocidade econômica.

2.3 Resistência de Apêndices

Essa resistência poderia ser incluída na resistência viscosa, porém existem razões para o tratamento dessa componente separadamente. Em primeiro lugar, o número de Reynolds, baseado no comprimento dos apêndices é consideravelmente menor do que a do casco em si e, por conseguinte, um dimensionamento separado é necessário. Em segundo lugar, os apêndices são normalmente seções simplificadas, para as quais se aplicam relações empíricas distintas. Para iates à vela a forma correta das seções de apêndices é de extrema importância para o bom desempenho, sobretudo porque estes apêndices normalmente operam sob um

ângulo de ataque.

Os apêndices mais comumente encontrados nos navios que causam grande resistência ao avanço são:

- a) Leme: aparelho destinado ao governo da embarcação;
- b) Pé de galinha do eixo: conjunto de braços que suportam a seção do eixo do hélice que se estende para fora da carena, nos navios de mais de um hélice;
- c) Tubo telescópico do eixo: tubo por onde o eixo do hélice atravessa o casco do navio; nele são colocados o engaxetamento e a bucha do eixo;
- d) Tubulação do leme: tubo por onde a madre do leme atravessa o casco do navio; também recebe bucha e gaxeta;
- e) Quilhas de docagem: peças semelhantes a uma quilha maciça, colocadas lateralmente no fundo da carena dos navios de grande porte; contribuem com a quilha para suportar o navio nas docagens;
- f) Bolinas ou quilhas de balanço: chapas ou estruturas colocadas perpendicularmente em relação ao forro exterior, na altura da curva do bojo, no sentido longitudinal, uma em cada bordo, servindo para amortecer a amplitude dos balanços. Bolina é também o nome de uma chapa plana e resistente, em forma de grande faca, colocada verticalmente por baixo da quilha das embarcações de vela, para reduzir as inclinações e o abatimento;
- g) Zinco protetor: pedaço de chapa grossa de zinco, cortado na forma mais conveniente e preso por meio de parafuso ou estojo na carena, ou no interior de um tanque, nas proximidades de peças de bronze, a fim de proteger as peças de ferro contra a ação galvânica da água do mar. Os zincos protetores devem ser laminados e nunca fundidos. Chamados impropriamente de isoladores de zinco;
- h) Buchas: peças de metal, borracha ou pau de peso, que se introduzem nos orifícios que recebem eixos, servindo de mancal para eles. Há assim, bucha do eixo do hélice, bucha da madre do leme, etc. Nos tubos telescópicos longos há duas buchas, a bucha externa junto à carena, e a bucha interna, junto à antepara de colisão AR.

2.4 Resistência do Vento

Uma resistência adicional, que pode ser considerável, por exemplo, para navios de contentores totalmente carregados é a resistência do vento. A superfície frontal virada para o vento relativo a bordo do navio pode ser grande e os recipientes não têm uma forma aerodinâmica, de modo que as grandes forças podem ser geradas em ventos fortes. Mesmo no ar, ainda assim, há de fato um componente de resistência, ainda que pequena. Este componente, a resistência do ar, é considerado no processo de extrapolação do navio-modelo.

3 ALTERNATIVAS PARA A DIMINUIÇÃO DA RESISTÊNCIA AO AVANÇO

O que buscar? Do ponto de vista da hidrodinâmica do navio, devem ser perseguidos dois objetivos:

a) Melhorar a resistência do casco, particularmente estudando as suas linhas da proa, onde se pode reduzir a componente da resistência por conta de ondas geradas pelo navio, e as suas linhas de popa, onde se pode otimizar os coeficientes propulsivos, devido à uma maior uniformização do escoamento na região de instalação do propulsor.

b) Avaliar a utilização de propulsores mais eficientes para cada caso, levando em consideração a sua integração adequada com o casco e o sistema de motores. Também cabe avaliar a adoção de sistemas não convencionais de propulsão que se mostrem com possibilidade de aumentar a eficiência propulsiva.

As ferramentas para o bom projeto hidrodinâmico são três:

- i) Utilização de modelos teóricos e numéricos em hidrodinâmica;
- ii) Realização de estudos experimentais com modelos em escala reduzida de navios e de propulsores em laboratórios de hidrodinâmica como Tanque de Provas (de reboque) e Túnel de Cavitação;
- iii) Realização de medições de desempenho propulsivo e em manobras de navios em escala real.

O uso de modelos teóricos e numéricos tem evoluído ao longo do tempo, destacando-se a ferramenta numérica CFD (Computational Methods for Fluid Dynamics) de simulação do escoamento ao redor de cascos, que tem dados bons resultados na obtenção de valores totais de resistência, mas ainda não consegue precisão satisfatória em modelagens de escoamentos localizados (só da popa, por exemplo).

Os ensaios com modelos em escala reduzida tem uma grande importância no processo de busca de soluções para obtenção de navios mais eficientes – laboratórios como tanques de reboques e túneis de cavitação são sempre utilizados no processo de projeto de linhas de cascos e de propulsores, respectivamente.

Medições em escala real do desempenho de embarcações, tanto de seu sistema

propulsivo como de seu sistema de manobras, servem para comprovar na prática as previsões feitas durante a fase de projeto, baseada em métodos numéricos e experimentais. Estas medições podem ser expeditas, como em Provas de Mar, assim como podem ser extensas, com obtenção de dados de potências, velocidades e consumos de combustíveis durante longo período de operação da embarcação.

3.1 Diminuição da Resistência Viscosa

Existem, atualmente, algumas alternativas para a melhoria do desempenho técnico das embarcações e, dentre as que atuam diretamente no combate à Resistência Viscosa, pode-se citar:

- a) Otimização da forma do casco;
- b) Instalação de Dispositivos de Incremento (PID);
- c) Otimização do Propulsor.

3.1.1 Otimização da Forma do Casco

A otimização da forma do casco pode ser dada pela melhoria em alguns aspectos da projeção do navio como:

a) Principais dimensões: aumentando a razão LOA/B ou um aumento do comprimento e reduzindo o C_b pode proporcionar a redução do consumo de combustível para propulsão de até 3 a 5%;

b) Capacidade de carga: para contêineres, aumentar a capacidade de 4.500 para 8.000 TEU, reduz o consumo de combustível para a propulsão em cerca de 25% (medido em g / t.NM). O aumento de 8.000 para 12.500 TEU reduz o consumo em cerca de 10%. As maiores economias ocorrem para navios de maior velocidade e são mais significativas para as embarcações de menor porte. Aumentar a capacidade de 4.500 para 8.000 TEU, diminui o custo de construção, cerca de 15% por
TEU;

c) Velocidade de projeto: navios porta-contêineres de 4500 TEU e acima, reduzindo a velocidade em 1 nó reduz-se o consumo de combustível para propulsão de 12 a 15%. Para os petroleiros, reduzindo a velocidade em 1 nó reduz-se o consumo de combustível de 17 a 22%;

d) Otimização das linhas do casco da popa: utiliza-se o programa computacional CFD e teste com modelo em escala inferior para se estipular qual o melhor desenho da popa para melhor eficiência do escoamento da água no casco.

3.1.2 Dispositivos de Incremento da Propulsão (PID)

Dispositivos equalizadores de esteira:

a) Duto Schneekluth:



Figura 2 - Duto Schneekluth.

b) Popa assimétrica:

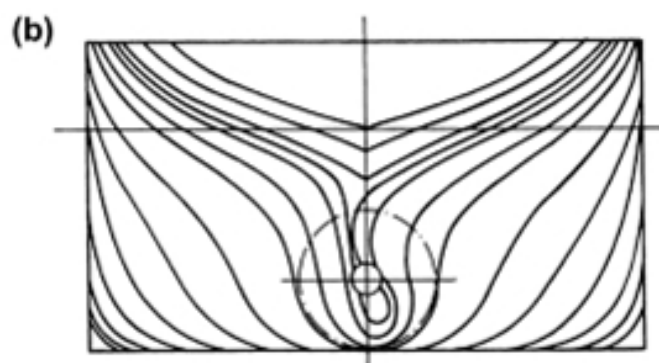


Figura 3 - Popa assimétrica.

c) Aletas Grothues:



Figura 4 - Aletas Grothues.

d) Duto parcial de popa:

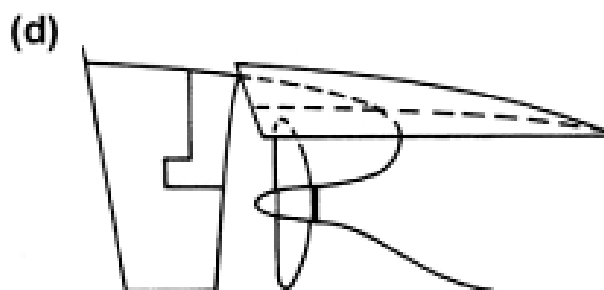


Figura 5 - Duto parcial de popa.

Dispositivos pré-hélice:

a) Estatores:



Figura 6 - Estatores.

b) Duto Mitsui:



Figura 7 - Duto Mitsui.

c) Duto Becker's Mewis:



Figura 8 - Duto Becker's Mewis.

Dispositivos pós-hélice:

a) Aleta de Impulso no cadaste:



Figura 9 - Aleta de impulso no cadaste.

b) Boss cap:

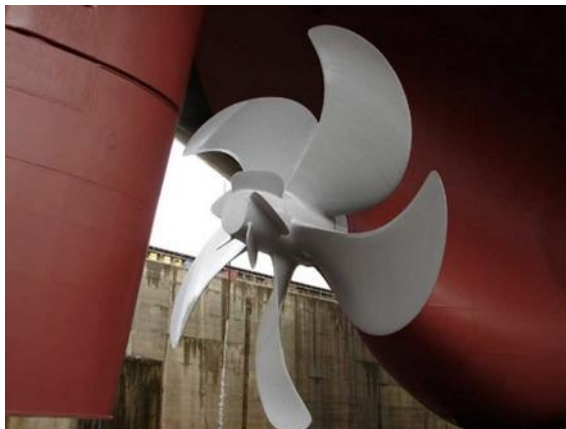


Figura 10 - Boss cap.

c) Bulbo de leme:



Figura 11 - Bulbo de leme.

d) Volante Grim Vane: É um segundo hélice localizado à ré do hélice principal e movimentado pela turbulência gerada por este na água. O fato de este volante ter um diâmetro das pás maior do que o diâmetro do hélice faz com que seja gerado um *thrust* adicional que ajuda na propulsão do navio.



Figura 12 - Volante Grim Vane.

e) Leme assimétrico:



Figura 13 - Leme assimétrico.

3.1.3 Otimização do Propulsor

Serão apresentados alguns propulsores altamente eficientes:

a) Propulsores em duto - duto direcionável



Figura 14 - Propulsor em duto.

b) Propulsor Kappel - evitar vórtices nas pontas das pás

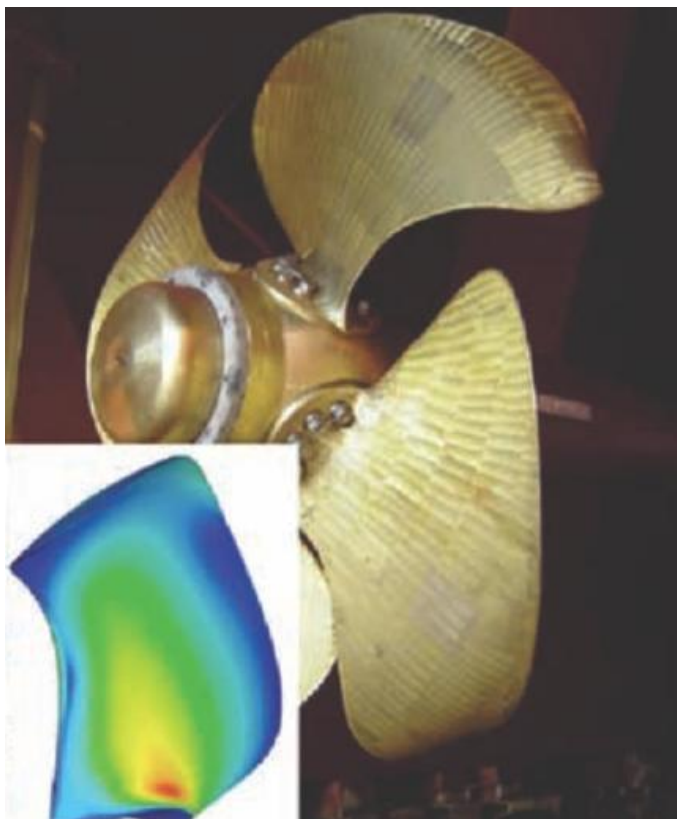


Figura 15 - Propulsor Kappel.

c) Propulsor end-plates (CLT) - evitar vórtices nas pontas das pás



Figura 16 - Propulsor end-plates (CLT).

d) Propulsores contra-rotativos e sobrepostos - aproveitam o fluxo rotacional gerado pelo primeiro propulsor, compartilham o mesmo eixo, mas giram em sentidos opostos. Arranjo bastante complexo.



Figura 17 - Propulsores contra-rotativos.



Figura 18 - Propulsores sobrepostos.

e) Propulsores Azimutais - Rotação de 360° e dispensam o emprego do leme.



Figura 19 - Twin propeller (Schottel).



Figura 20 - Azimutal (Schottel).



Figura 21 - Azipull (Rolls-Royce).

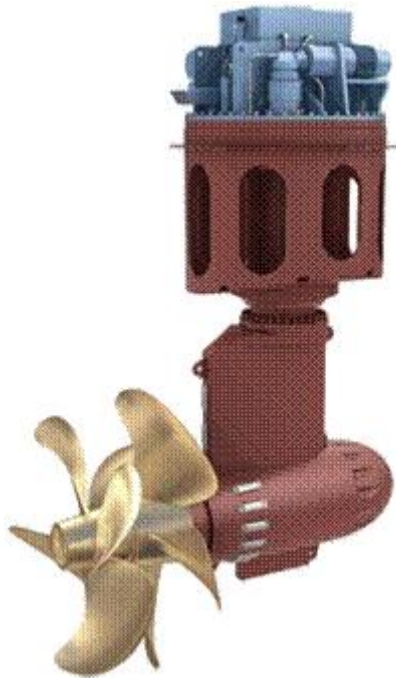


Figura 22 - Azimutal Contra-rotativo (Rolls-Royce).

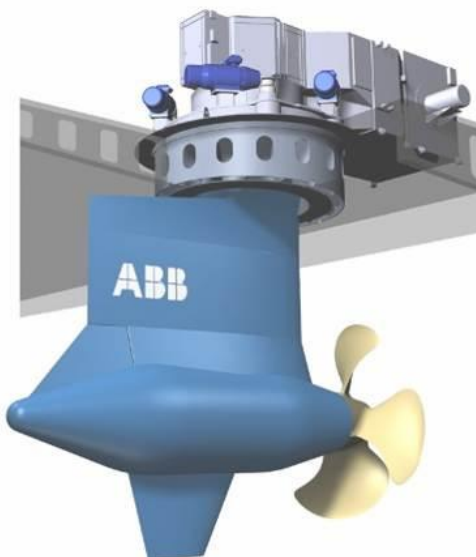


Figura 23 - ABB Azipod.

3.1.4 Redução da Resistência de Superfície

A redução da Resistência de Superfície de uma embarcação pode ser realizada pela lubrificação do casco usando-se microbolhas de ar, pela diminuição da rugosidade do casco ou pela pintura do mesmo com uma tinta especial de revestimento antiaderente que diminui a fricção com a água, quando comparado ao resultado observado com o uso de uma tinta convencional.



Figura 24 - Lubrificação por ar.

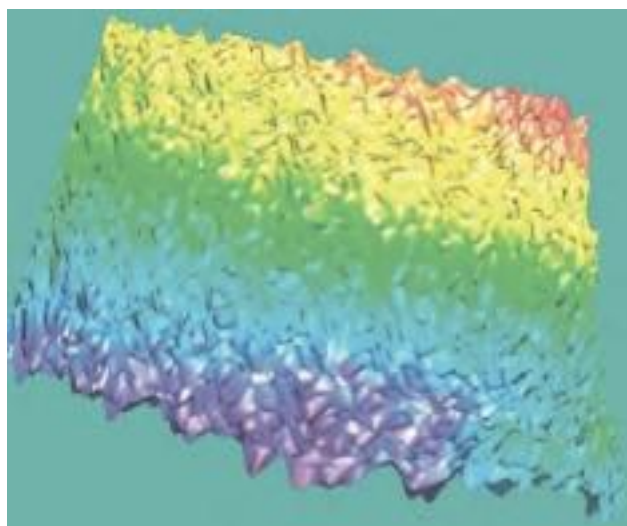


Figura 25 - Casco com tinta convencional.

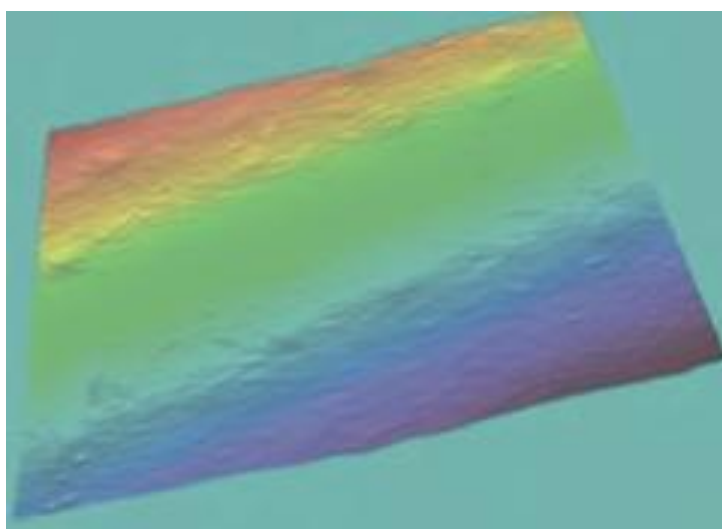


Figura 26 - Casco com tinta de baixa fricção.



Figura 27 - Redução da rugosidade do casco.

3.2 Diminuição da Resistência de Ondas

O principal mecanismo de diminuição da Resistência de Ondas é a adição de um bulbo de proa no projeto do navio. A finalidade da instalação dos bulbos de proa é a redução da resistência de onda. O mecanismo de redução consiste na interferência dos sistemas de onda. O sistema de ondas gerado pela pressão elevada no bulbo interfere com o sistema de ondas da proa, reduzindo a sua amplitude. A interferência favorável ocorre quando a cava do sistema transversal de ondas do bulbo surgir na crista do sistema de ondas da proa do navio. Esta situação de interferência favorável sendo otimizada para uma dada velocidade, pode, no entanto ser considerada como tendo efeito favorável num determinado intervalo de velocidades.

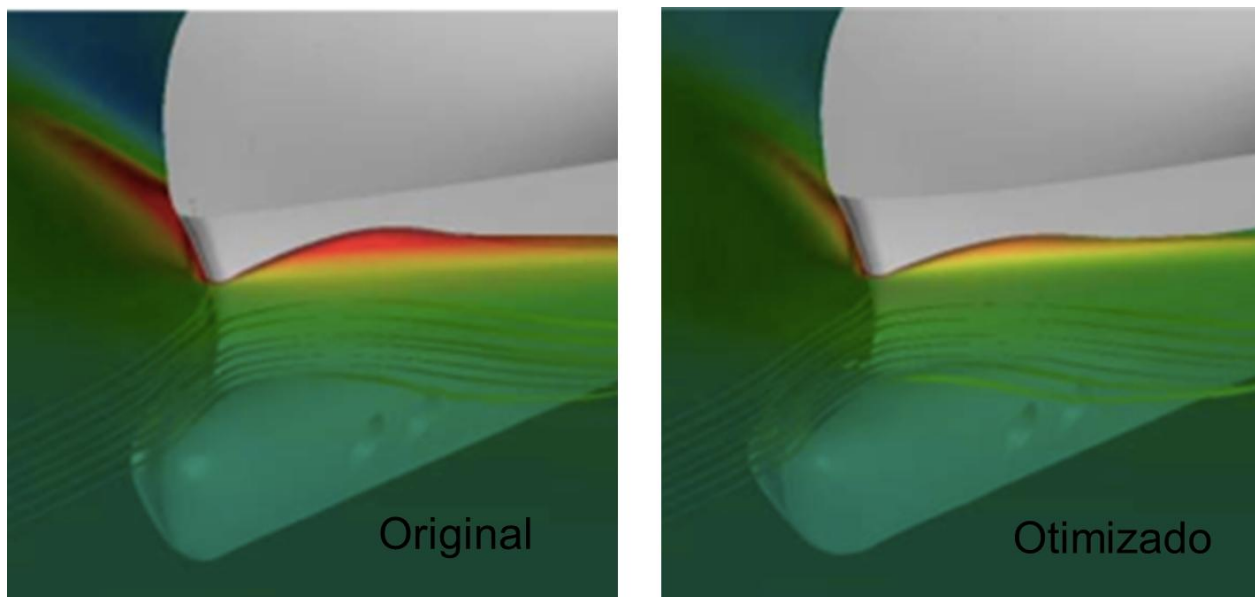


Figura 28 - Redução da resistência de ondas: bulbo original e o otimizado.

3.3 Diminuição da Resistência de Apêndices

Uma das alternativas para a diminuição da Resistência de Apêndices é a adoção de *skegs* duplos no casco que tem como vantagem, além de uma menor Resistência de Apêndices, 2 a 3% de aumento na eficiência. Porém apresenta também desvantagens como a adição de 4 a 5% de área à carena, maior peso em aço no casco e custo mais elevado.

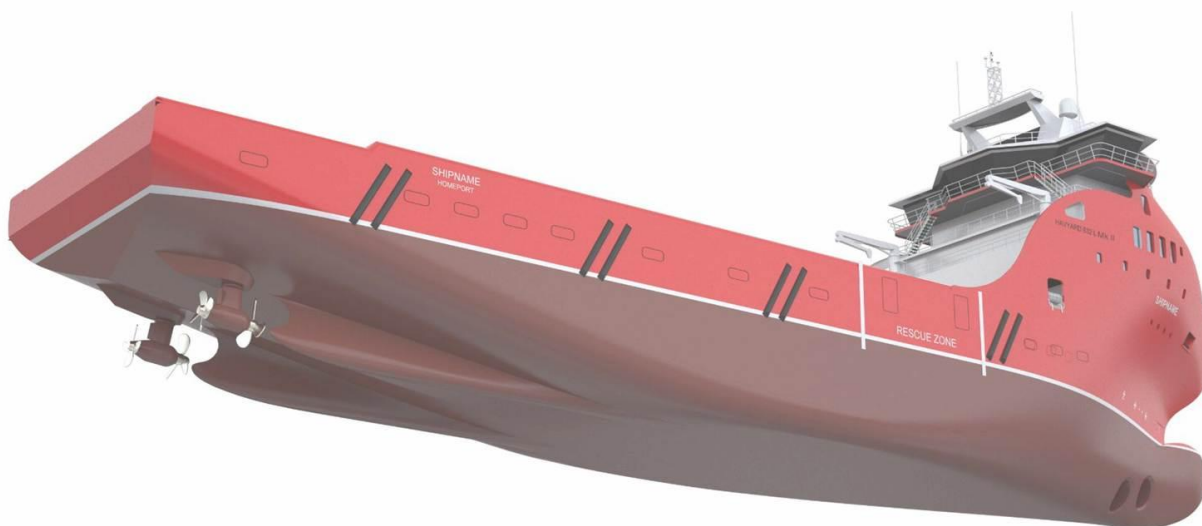


Figura 29 - Navio com skegs duplos.

Além do emprego de *skegs* duplos, pode-se eliminar os lemes e os pés-de-galinha para diminuir a Resistência de Apêndices, obviamente, utilizando outros recursos para manter a funcionalidade do apêndice que foi retirado.

3.4 Diminuição da Resistência do Vento

É muito difícil atuar contra a Resistência do Vento em uma embarcação porque essa resistência é maior quanto maior for a área da parte emersa do navio, a qual sofre a ação do vento continuamente. Portanto só se diminui essa componente alterando-se as dimensões da embarcação. Todavia pode-se aproveitar da ação do vento para auxiliar na propulsão e, com isso, reduzir o consumo de combustível.

Um equipamento que é instalado no navio e torna isso possível é o *SkySails* que consiste de uma grande vela, um sistema de controle eletrônico para a vela e um sistema automático para recolhê-la. O sistema tem semelhanças com *kitesurf* e foi testado pela primeira vez no Mar Báltico, antes da implementação comercial. As velas ou pipas, que têm uma área de cerca de 320 metros quadrados (3.400 ft²), podem ser colocadas em altitudes de 100-300 metros (330-980 pés). Por causa dos ventos mais fortes nestas alturas, elas recebem um impulso

substancialmente maior por unidade de área do que velas convencionais montadas no mastro. Um navio equipado com as atuais SkySails pode consumir de 10 a 35% menos combustível. Um navio convencional com um sistema SkySail tem dois métodos de propulsão, tornando-se um tipo de veículo híbrido.



Figura 30 - Sistema SkySails sendo usado em um navio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A definição ou síntese da forma do casco de uma embarcação é uma das atividades mais complexas do processo de projeto, tendo em vista o grande número de possíveis soluções para a geometria desta superfície e a influência decisiva que certas características geométricas têm no desempenho da embarcação. O avanço na capacidade e desempenho de processamento dos computadores induziu um grande desenvolvimento nas técnicas de representação matemática da superfície do casco, nos métodos de análise de desempenho e comportamento de navios e embarcações e nos métodos e técnicas para solução numérica de problemas de otimização, o que propiciou e vem propiciando mudanças importantes na maneira como o projeto de um navio ou embarcação é conduzido. A geração e síntese da forma do casco é um dos aspectos do problema de projeto das embarcações que recentemente vem sendo tratado como um problema de otimização, particularmente nas fases iniciais ou preliminares do projeto. O objetivo do projeto de pesquisa é desenvolver e implementar um procedimento computacional para determinação da forma ótima do casco de uma embarcação tendo por base inicial as geometrias de série sistemática. As modificações dos cascos serão realizadas de forma paramétrica a partir de alterações controladas do plano de balizas. Os cascos serão otimizados segundo os critérios de resistência ao avanço e comportamento no mar. O modelo de síntese e otimização para a solução deste problema de otimização será estruturado através do uso combinado de programas CAD de representação matemática da superfície do casco com programas de análise de desempenho hidrodinâmico.

REFERÊNCIAS

Componentes da Resistência. Disponível em:

<http://en.wikibooks.org/wiki/Ship_Resistance#Other_components_of_resistance>
Acesso em: 26 jul. 2014

Otimização de cascos. Disponível em:

<<http://www.bv.fapesp.br/pt/bolsas/54083/otimizacao-de-cascos-de-embarcacoes-a-partir-de-formas-basicas-de-series-sistematicas/>> Acesso em: 21 jul. 2014

Projeto Hidrodinâmico. Disponível em:

<<http://www.ipen.org.br/downloads/articulos/a-importancia-do-projeto-hidrodinamico.pdf>> Acesso em: 19 jul. 2014

Resistência ao avanço. Disponível em:

<http://www.scribd.com/fullscreen/94128755?access_key=key-2ns8dk787lo6n78kg4f9&allow_share=true&escape=false&view_mode=scroll> Acesso em: 17 jul. 2014

Resistência Viscosa. Disponível em:

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779579955345/RP_PT3.pdf> Acesso em: 27 jul. 2014

Tipos de Resistências. Disponível em:

<<http://www.enautica.pt/publico/professores/jorgetrindade/HidroProp/Docs/HidroPropulsao.pdf>> Acesso em: 25 jul. 2014