

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

MARINA MELO PEREIRA

A EVOLUÇÃO DOS NAVIOS MERCANTES QUANTO À HIDRODINÂMICA

RIO DE JANEIRO

2014

MARINA MELO PEREIRA

A EVOLUÇÃO DOS NAVIOS MERCANTES QUANTO À HIDRODINÂMICA

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: Prof^o HERMANN REGAZZI GERK

RIO DE JANEIRO

2014

MARINA MELO PEREIRA

A EVOLUÇÃO DOS NAVIOS MERCANTES QUANTO À HIDRODINÂMICA

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador (a): Professor HERMANN REGAZZI GERK

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar, inspirar e iluminar meu caminho, permitindo que eu chegasse até aqui depois de percorrer uma longa jornada de estudo e dedicação antes mesmo de ingressar na EFOMM. Agradeço a minha mãe Cleci por ter sempre me ajudado e estado ao meu lado nos momentos difíceis e ao meu namorado Philippe pelo apoio com esta monografia e por ter acreditado em mim.

"Os que descem ao mar em navios, e os que fazem comércio nas grandes águas, esses vêem as obras do Senhor e as suas maravilhas nas profundezas"

(Salmo 107:23 e 24)

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo demonstrar a evolução dos navios mercantes desde a antiguidade, ou seja desde que o homem descobriu que um tronco de árvore poderia ser usado para deslocar pessoas e objetos na água, até os dias atuais. Será analisado os diversos aspectos do navio e a hidrodinâmica envolvida nestes. Serão abordados as características dos navios primitivos e os modernos quanto ao formato do casco, à propulsão empregada, o design, os materiais utilizados na sua construção dentre outros. Novas tecnologias serão mostradas, como aquelas aplicadas aos cascos de navios quebra-gelo. O naufrágio do Titanic também será abordado, não só pela importância histórica do fato, mas também para atentar quanto à evolução da construção naval em 100 anos e a hidrodinâmica envolvida no acidente.

Palavras-chave: evolução, casco, hidrodinâmica, propulsor, antiguidade, design, materiais, eficiência, desenvolvimento

ABSTRACT

This search has the goal of showing the merchant Ship's evolution from its beginnings, when men discovered that a wood could be used to transport people and objects through water, until today. It will be analysed several aspects of the ship and its dynamics involved in it. It will be coment about the ancient ships' characteristics and modern ships in relation to hull shape, the propulsion, design, materials used in its building and others. Modern technologies will be talked about, as icebreakers' hull technologies. The sinking of Titanic will be talked too, not only by the historic importance, but also aware about evolution of shipbuilding in 100 years and dynamic involved in the accident.

Key-words: evolution, hull, dynamics, propulsion, ancient, design, materials, efficiency, development

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-:	Embarcação romana	14
Figura 2:	Navio Viking	14
Figura 3:	Forma Típica de Carena de Deslocamento de Baixa Velocidade	16
Figura 4:	Forma Típica de Carena de Deslocamento de Alta Velocidade	16
Figura 5:	Forma Típica de Carena Planante (Series 62)	17
Figura 6:	Carenas planares com aresta dupla	17
Figura 7:	Aerobarco	19
Figura 8:	Hidrofólio	19
Figura 9:	Catamaran	20
Figura 10:	Trimaran	21
Figura 11:	SWAT	21
Figura 12:	Coeficientes de secção a meio navio	22
Figura 13:	Contorno de Popa	23
Figura 14:	Bulbo Original	25
Figura 15:	Bulbo Otimizado	25
Figura 16:	Antes do uso do CFD	25
Figura 17	Após o uso do CFD	25
Figura 18	Resistência do Casco	26
Figura 19	Bulbo e a resistência de ondas	27
Figura 20	Navio X-Bow	29
Figura 21	Navio Quebra-Gelo	31
Figura 22	Navio com casco côncavo	32
Figura 23	Casco reto e inclinado num ângulo perfeito	32
Figura 24	Embarcação romana de junco	34

Figura 25	Casco Compósito	35
Figura 26	Casco de Aço	35
Figura 27	Casco com rebites	35
Figura 28	Soldagem do Casco	35
Figura 29	Navio Great Eastern com roda de paletas a meia nau	38
Figura 30	Gráfico relacionando a potência,torque e eficiência	40
Figura 31	Redução de poluentes com a propulsão elétrica	41
Figura 32	Propulsores Schottel	43
Figura 33	Propulsor Voith Schneider	44
Figura 34	A hidrodinâmica do Tubo Kort TM	46
Figura 35	Tunnel Thrusters	47
Figura 36	Propulsor com jato de água	47
Figura 37	Casco rebitado do Titanic	49
Figura 38	Leme do Titanic	49
Figura 39	Perfis de leme	50
Figura 40	Razão de aspecto e ângulo de STALL	51
Figura 41	Secções NACA 0015	51
Figura 42	FoilSlim Simulator	52
Figura 43	Tipos de Flap	53
Figura 44	Slats e Flaps	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DESIGN DO NAVIO	11
3 EVOLUÇÃO QUANTO AO FORMATO DO CASCO.....	12
3.1 Antiguidade.....	12
3.2 Atualmente	13
3.2.1 A forma do casco adotada deve satisfazer um conjunto de requisitos:	14
3.2.2 Classificação da Carena.....	14
3.2.2.1 Quanto ao tipo de sustentação.....	15
3.2.2.2 Quanto à forma do casco.....	15
3.2.2.1 Quanto ao tipo de sustentação.....	15
3.2.2.2 Quanto à forma do casco.....	18
3.2.2.2.1 Multi-casco.....	18
3.2.3 Coeficientes de Forma.....	21
3.2.3.1 Coeficiente de secção a meio navio (C_m)	21
3.2.3.2 Coeficiente da área de flutuação (C_w)	21
3.2.3.2 Coeficiente da área de flutuação (C_w).....	21
3.2.3.3 Coeficiente de Bloco (C_B).....	21
3.2.3.4 Coeficiente Prismático (C_p).....	22
3.2.4 Contorno de Popa.....	22
3.2.5 Otimização da Forma do Casco.....	23
3.2.5.1 Através da relação entre as dimensões do casco.....	23
3.2.5.2 Pela otimização das linhas do casco.....	23
3.2.5.3 Minimizando as Resistências.....	23
3.2.5.1 Através da relação entre as dimensões do casco.....	23
3.2.5.3 Minimizando as Resistências.....	24
3.2.4 Novas Tecnologias utilizadas para forma do casco.....	28
3.2.4.1 Tecnologia “X-Bow”	28
3.2.4.2 Navio Quebra-Gelo.....	30
4 EVOLUÇÃO QUANTO AOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	33
4.1 Antiguidade.....	33
4.2 Atualmente.....	34

5 EVOLUÇÃO QUANTO À PROPULSÃO.....	36
5.1 Antiguidade.....	36
5.2 Atualmente.....	37
5.3 Comparação entre a propulsão elétrica e propulsão mecânica.....	38
5.4 Vantagens da Propulsão elétrica.....	38
5.5 Tipos de hélice.....	41
5.6 Sistemas Propulsores.....	41
5.6.1 Azipods TM	41
5.6.2 Siemens Schottel TM	42
5.6.3 Voith Schneider TM	43
5.6.4 Tubo Kort TM	44
5.6.5 Tunnel Thrusters.....	45
5.6.6 Propulsor com jato de água.....	46
6 A HIDRODINÂMICA DO NAUFRÁGIO DO TITANIC.....	47
6.1 Casco.....	47
6.2 Leme.....	48
6.2.1 Perfil do Leme.....	49
6.2.2 Flaps.....	51
6.2.3 Slats.....	52
6.3 Velocidade.....	53
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A navegação começa na pré-história, no momento em que o homem descobriu que um tronco de árvore ao flutuar na água poderia lhe ser útil para deslocar-se ou para transportar objetos. Não levou muito tempo para compreender que, unindo esses troncos (formando assim uma jangada), ou com ajuda de uma vara ou um remo, lhe seria mais fácil navegar. Ou ainda, cavando um tronco, dando-lhe um formato, percebeu rapidamente que isto lhe proporcionaria melhor controle do rumo e mais resistência. A partir de então, foi aumentando o seu tamanho e acrescentando tecnologias até chegar ao “navio”.

Atualmente o principal objetivo de um navio mercante é obter lucro com o comércio marítimo, portanto a eficiência e conseqüentemente a economia é de suma importância ao se projetar um navio. O armador requer que o navio que ele irá possuir lhe forneça o melhor retorno possível para o seu investimento inicial e demais custos decorrentes da construção.

A evolução dos navios pode ser observada no formato do casco, que são projetados objetivando minimizar as componentes da resistência ao avanço, através da relação entre as dimensões do casco, da análise dos coeficientes de forma e através do uso de recursos como o bulbo de proa.

Os materiais empregados na construção naval foram sendo aperfeiçoados ao longo dos anos, de maneira que pudessem resistir aos constantes esforços, que tornasse o navio mais leve ou ainda que diminuísse a viscosidade no casco.

Os sistemas de propulsão evoluíram do remo, vela e roda de paletas para o hélice, que foi sendo gradativamente desenvolvido e incrementado, aumentando a eficiência da embarcação, consumindo menos combustível e poluindo menos. Os sistemas de propulsão modernos conferem maior manobrabilidade e resposta rápida à mudança de direção.

O naufrágio do Titanic também será analisado neste trabalho, objetivando estudar a hidrodinâmica envolvida e acompanhar as mudanças ocorridas nas embarcações 100 anos após o acidente.

2 DESIGN DO NAVIO

Na construção de um navio mercante, ao se realizar o projeto deste, o design final deve levar em conta não somente considerações econômicas atuais como também aquelas que provavelmente irão surgir durante a vida do navio. Esse é especialmente o caso de alguns tipos de navio como o LNG, na qual o navio é esperado navegar a mesma rota por toda a sua vida útil. Design para operação é o resultado. Para outros navios, incluindo graneleiros, o primeiro custo do navio é o principal fator para o armador e o navio deve ser designado de acordo com a sua finalidade, ou seja dependendo do tipo de carga que irá carregar ou da operação que fará.

Com o auxílio de computadores é possível fazer um estudo de um grande número de parâmetros de design e chegar a um modelo de navio que além de tecnicamente viável, seja principalmente o mais eficiente economicamente. Preferencialmente, este design deverá levar em consideração o custo inicial, o custo de operação e manutenções futuras.

O design inicial do navio geralmente procede através de três etapas: a concepção, a preliminar e o design de contrato.

3 EVOLUÇÃO QUANTO AO FORMATO DO CASCO

3.1 Antiguidade

No Império Antigo o formato clássico do casco dos barcos egípcios era a proa com forma de cabeça de animal, posteriormente a popa passou a ser mais alta. Até o Império Novo estes não possuíam quilha. Os navios egípcios foram os primeiros navios mercantes, cujo formato arquitetônico foi chamado de “redondo”. O navio mercante “redondo” foi desenvolvido para transportar um grande volume de mercadorias, este possuía um grande e forte calado. Posteriormente, a popa passou a ser mais alta do que a proa pois o mecanismo de direção era acionado por um timoneiro em pé.

Os fenícios adotaram os modelos dos barcos cretenses e egípcios, eram curtos, robustos, amplos e largos, as amuradas altas em forma de grades protegiam a tripulação das ondas que quebravam sobre o barco, na proa e na popa. Com o passar do tempo, surgiram as galeras gregas usadas para o transporte de carga, tinham cascos curtos e largos e carregavam até 250 toneladas.

Os navios Vikings, conhecidos como “drakkas” eram de sólida construção, de tamanho médio, sua popa e proa formavam ângulos quase retos com a quilha, esta de formato pontiagudo e mais longa que as galeras. O casco era construído com tábuas finas, de calado baixo. Devido a essas características, eram estáveis, fáceis de manejar e mais velozes que as galeras.

Os venezianos, devido à ataques de piratas, desenvolveram um tipo de navio que combinava as características das galeras de guerra com os redondos de comércio. Eram navios cujo comprimento era três vezes a largura, mais estáveis que as galeras, porém mais compridos, mais baixos e mais leves e, conseqüentemente mais rápidos do que os pesados navios redondos, estes foram chamados de galeões.

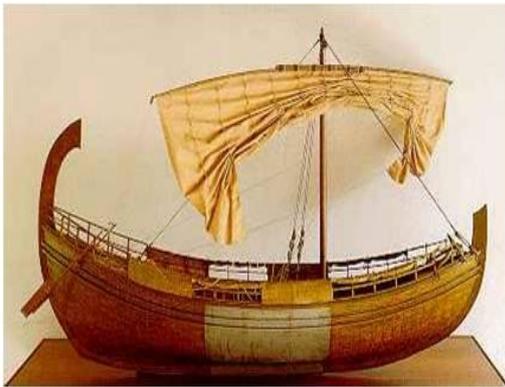
Os portugueses utilizaram dois tipos de navio: a carraça e a caravela. A primeira, denominada de naus, era um navio de grande porte e a segunda era uma versão menor da carraça porém com perfil mais esguio e de linhas mais finas das obras vivas.

No século XVIII, diversas modificações importantes foram introduzidas graças ao estudo da influência do vento e da resistência da água. Assim, o casco passou a ser de tábuas duplas. A quilha passou a ter novos perfis, passando a ser forrada com lâminas de cobre para

protegê-la contra a ação das plantas aquáticas e, ao mesmo tempo, aumentar a velocidade pela diminuição da resistência.

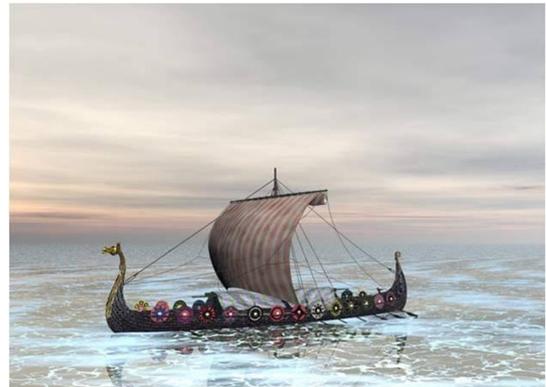
O esporão, estrutura utilizada em navios de guerra do final do séc. XIX, deu origem ao bulbo de proa utilizado atualmente para amenizar a resistência de onda.

Figura 1: Embarcação romana



Fonte: Konijnenburg (1926)

Figura 2: Navio Viking



Fonte: Francisco Diocélio Alencar de Oliveira (2007)

3.2 Atualmente

Para projetar a forma de um casco, deve-se levar em conta a função que este vai desempenhar (o que determina o volume do espaço fechado de que se necessita, a disposição dos motores e do equipamento dentro dele, e questões relacionadas com a sua flutuabilidade), e sua velocidade, que é diminuída pela resistência ao avanço que atua sobre ele quando se desloca sobre a água. Para que um barco possa flutuar, a parte que se encontra sob a água deve ter uma densidade menor que a água que desloca. Apesar de os cascos finos serem melhores para atravessar ondas, ocupam volumes relativamente pequenos. Se esse barco transportar uma carga pesada, poderá se afundar nas águas do mar.

Os desenhos dos cascos variam desde os iates de competição estreitos e leves, construídos especialmente para movimentar-se com grande velocidade, até enormes petroleiros projetados para transportar carga máxima da maneira mais econômica possível. Os cascos com frequência incorporam tabiques que o dividem em volumes menores. Isso ajuda a manter a carga bem distribuída na embarcação e também evita inundação no casco caso este se rompesse. Recentemente, projetos de cascos múltiplos desenvolvidos para iates como os

catamaras e os trimaras foram utilizados por buques de passageiros. Seu desenho reduz a resistência ao avanço, permitindo que estas embarcações desenvolvam grandes velocidades.

Um superpetroleiro é estreito acima da água para reduzir a resistência ao avanço, mas possui uma curvatura na parte inferior para aumentar a capacidade de armazenamento e flutuação.

3.2.1 A forma do casco adotada deve satisfazer um conjunto de requisitos:

• **Capacidade**

- Volume
- Deslocamento

• **Estabilidade**

- Intacta
- Em Avaria

• **Hidrodinâmica**

- Velocidade de serviço (carga / lastro)
- Comportamento no mar
- Manobrabilidade

• **Funcionalidade**

• **Estéticos**

- Forma agradável

3.2.2 Classificação da Carena

3.2.2.1 Quanto ao tipo de sustentação:

- Carenas de Deslocamento
- Carenas Planantes
- Semi-Planantes
- Hidrofoil

3.2.2.2 Quanto à forma do casco:

- Monocasco
- Multi-casco
- Catamaran
- Trimaran
- SWATH

3.2.2.1 Quanto ao tipo de sustentação

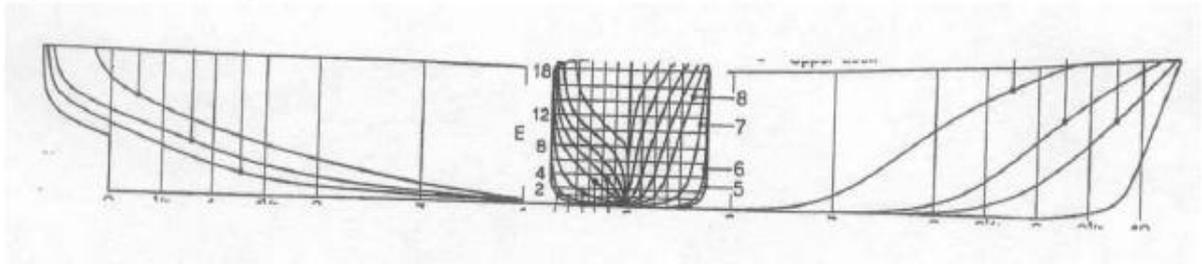
Carenas de Deslocamento

Geralmente com o fundo redondo e com uma velocidade máxima de deslocamento que é determinada pelo comprimento na linha de água.

Quanto maior for o comprimento na linha de água maior é a velocidade da carena no modo de deslocamento.

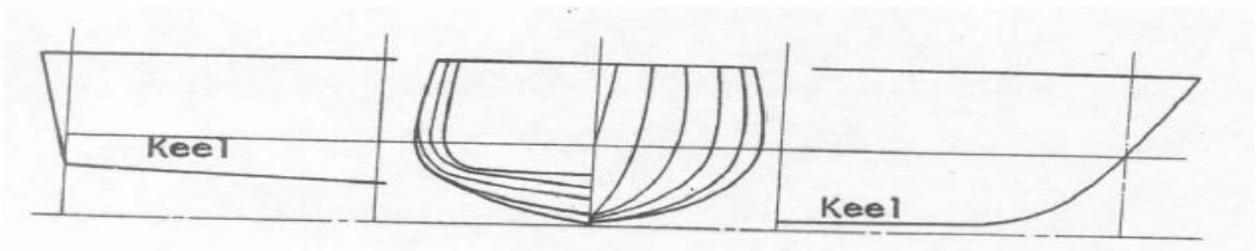
Na sua velocidade de deslocamento, a carena mantém-se imersa na sua totalidade.

Figura 3: Forma Típica de Carena de Deslocamento de Baixa Velocidade



Fonte: Ventura (2012)

Figura 4: Forma Típica de Carena de Deslocamento de Alta Velocidade (Series 64)



Fonte: Ventura (2012)

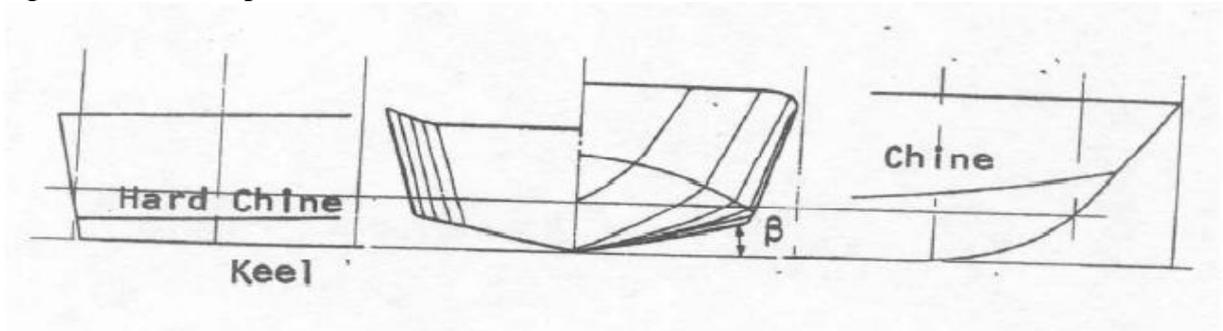
Carenas Planares

Carenas cuja forma é caracterizada por uma forte descontinuidade ao longo do fundo, que pode ser plano ou em V.

A descontinuidade tem a forma de uma aresta bem vincada (hard chine).

O objetivo é que a embarcação plane em duas pequenas áreas e assim a superfície molhada pode ser reduzida em 60% ou mais.

Figura 5: Forma Típica de Carena Planante (Series 62)

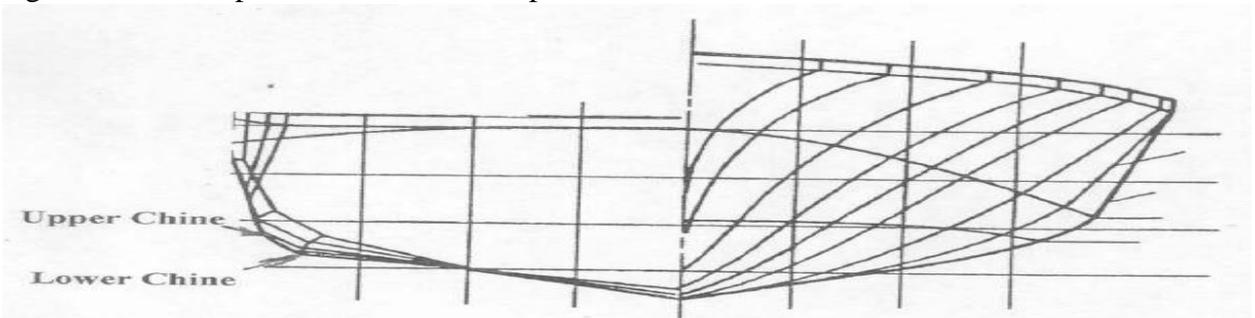


Fonte: Ventura (2012)

Carenas Planares com aresta dupla

Existem também carenas planares com duas arestas.

Figura 6: Carenas planares com aresta dupla



Fonte: Ventura (2012)

Carenas Semi-Plamares

Algumas carenas de deslocamento quando submetidas a potências mais elevadas podem adquirir velocidades superiores à sua velocidade de deslocamento.

Nestas condições, a proa eleva-se acima da linha de água à medida que a velocidade aumenta e diz-se que a carena é semi-planante.

Existem dois tipos principais:

- Com boca estreita e encolamento circular (Nelson-style)
- Com arestas acentuadas (hard-chine)

Hidrofólio e Aerobarcos

Muitos poucos barcos viajam a mais de 55km/h, por causa da resistência ao avanço de seus cascos quando transitam sobre a água, que é aproximadamente 800 vezes mais densa que o ar. Ao viajar sobre um colchão de ar, os aerodeslizadores resolvem o problema da lentidão que a água impõe. Já os hidrofólios minimizam o contato com a água utilizando superfícies em forma de asa para elevar seus cascos fora dela quando viajam em alta velocidade.

Num aerodeslizador, grandes ventiladores criam uma corrente de ar descendente através de orifícios de ventilação localizados ao longo da borda externa da embarcação. Este ar é preso por um rebordo de borracha flexível e se acumula sob o veículo, empurrando-o para cima. Ventiladores na parte traseira, acionados por motores, geram uma força propulsora que impulsiona a embarcação para frente.

Já o Hidrofólio, possui lâminas em forma de asa localizadas sob o nível da água que permite obter um impulso que, a velocidades elevadas permite ao casco elevar-se acima da água reduzindo a resistência. O primeiro hidrofólio foi projetado pelo italiano Forlanini em 1906.

Existem dois tipos principais de hidrofólio: os perfuradores de superfície e os completamente submersos, que utilizam diferentes métodos para evitar que o casco do veículo choque contra as ondas enquanto viaja velozmente. Os submersos usam sistemas de sonares para determinar a altura das ondas e modificar o ângulo das lâminas a fim de ajustar o nível de elevação e assim manter constante a altura do bote sobre a superfície. O perfurador de

superfície produz maior elevação na água que no ar. Quando o bote atravessa uma onda, uma porção maior da lâmina em forma de V fica coberta por água. Isto cria mais elevação e levanta o casco sobre o topo da onda.

Figura7:Aerobarco



Fonte: Ventura (2012)

Figura 8: Hidrofólio



Fonte: Ventura (2012)

3.2.2.2) Quanto à forma do casco:

3.2.2.2.1) Multi-casco

Catamaran

Tipos de Carena:

- Carena em Túnel
- Carenas de Deslocamento
- Carenas Planantes

Figura 9: Catamaran



Fonte: Ventura (2012)

Tipos de carena Catamaran:

Carenas em Túnel

- Força de sustentação (lift)
- Alta velocidade
- Elevada potência
- Mau comportamento em ondas devido ao fundo plano

Carenas de Deslocamento

- Impulsão
- Superfície molhada, resistência de atrito
- Velocidade máxima limitada
- Sujeitas a slamming

Trimaran

Figura 10: Trimaran



Fonte: Ventura (2012)

SWAT

Figura 11: SWAT



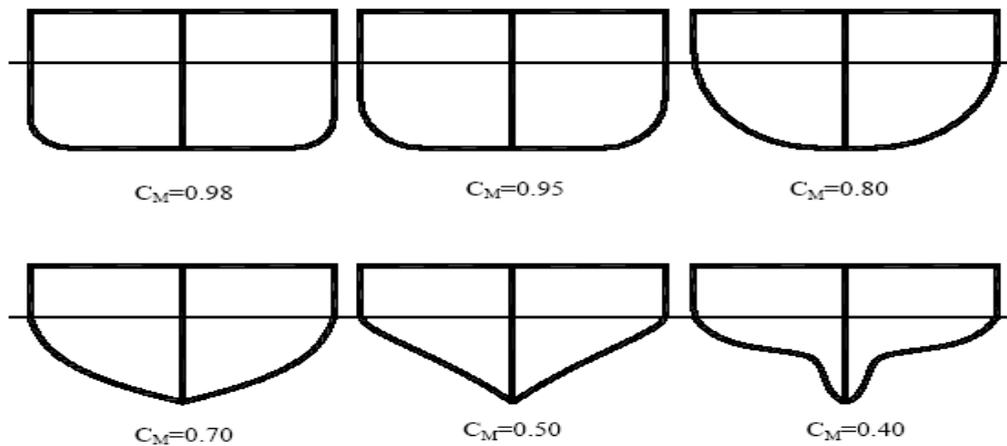
Fonte: Ventura (2012)

3.2.3 Coeficientes de Forma

3.2.3.1 Coeficiente de secção a meio navio (C_m)

$$C_m = \frac{Am}{Bm \times T}$$

Figura 12: Coeficientes de secção a meio navio



(2012)

Fonte: Ventura

3.2.3.2 Coeficiente da área de flutuação (C_w)

$$C_w = \frac{Aw}{Lpp \times Bm}$$

3.2.3.3 Coeficiente de Bloco (C_B)

Um navio que tenha um coeficiente de bloco pequeno é considerado como “fino”. Em geral, navios de alta velocidade têm pequenos coeficientes de bloco. Um coeficiente da área de flutuação alto em combinação com um coeficiente de bloco baixo é favorável à estabilidade em ambas as direções, transversal e longitudinal.

$$C_b = \frac{V}{Lpp \times Bm \times T}$$

3.2.3.4 Coeficiente Prismático (C_p)

Este coeficiente é importante para a resistência e portanto para mensurar a força necessária de propulsão. Se o C_p diminui, a força de propulsão necessária também se torna menor.

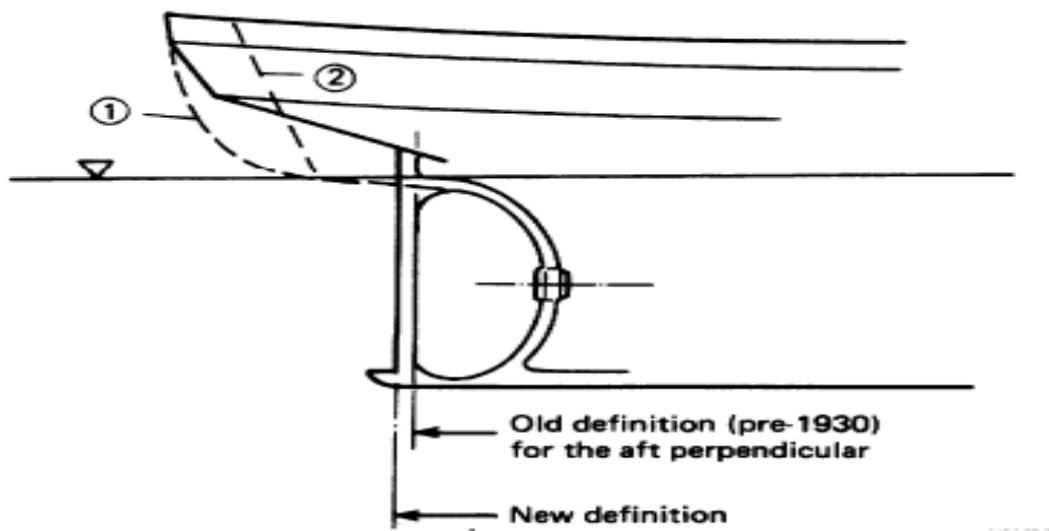
O valor máximo alcançado de todos estes coeficientes é 1, no caso do casco ter formato de caixa retangular e o valor mínimo é teoricamente 0.

$$C_p = \frac{V}{L_{pp} \times A} = \frac{Cb}{Cm}$$

3.2.4 Contorno de Popa

A figura representa algumas das evoluções das linhas da popa, desde a popa em colher (1) à popa em painel (2).

Figura 13: Contorno de Popa



Fonte: Ventura (2012)

A forma do contorno tem evoluído desde as soluções com cadaste (stern post) até ao bolbo de popa que se encontra em muitos navio recentes.

Em navios com propulsão POD a forma da popa torna-se bastante mais simplificada.

3.2.5 Otimização da Forma do Casco:

3.2.5.1) Através da relação entre as dimensões do casco;

3.2.5.2) Pela otimização das linhas do casco;

3.2.5.3) Minimizando as Resistências

3.2.5.1) Através da relação entre as dimensões do casco

Principais Dimensões:

- Comprimento Total (LOA)
- Boca (B)
- Calado (H)
- Coeficiente de Bloco (C_b)

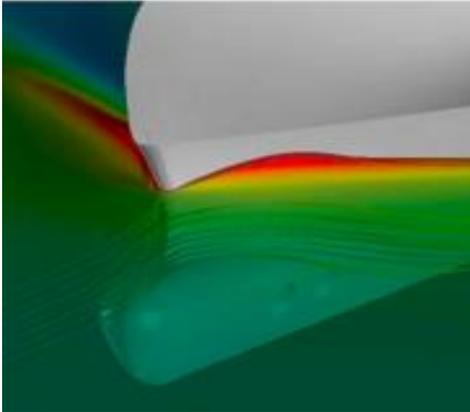
Aumentando a razão LOA/B ou um aumento do comprimento e reduzindo o C_b pode proporcionar a redução do consumo de combustível para propulsão de até 3 a 5%, ou seja resulta na melhora da eficiência do casco. Em relação ao custo com a construção, o comprimento é a dimensão mais cara.

Uma maior razão comprimento/boca tende a diminuir a resistência de ondas, enquanto ao reduzir a razão boca/calado tende a diminuir a carena e desta forma a resistência de superfície.

3.2.5.2) Pela otimização das linhas do casco

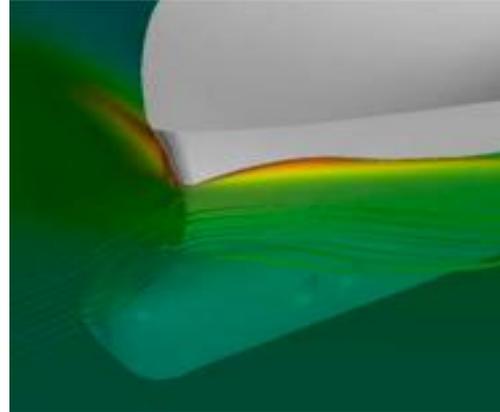
Redução da resistência de ondas através do Bulbo de Proa Otimizado.

Figura 14: Bulbo Original



Fonte: Dokkum (2008)

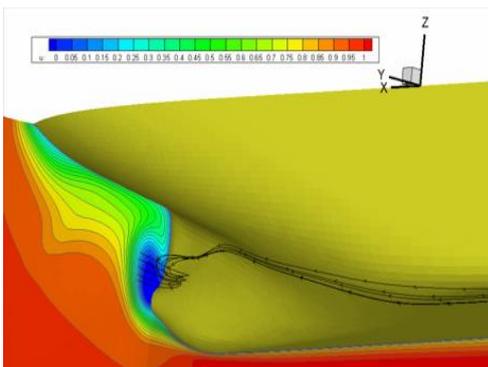
Figura 15: Bulbo Otimizado



Fonte: Dokkum (2008)

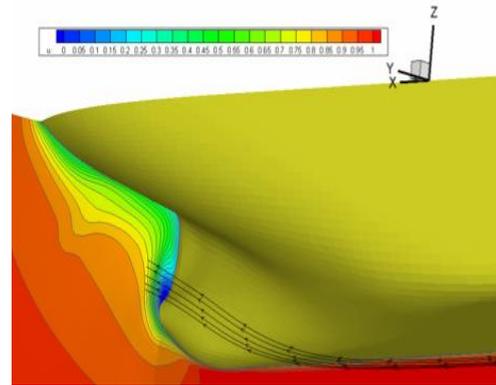
Na Popa: Uso de CFD (Computacional Fluid Dynamics).

Figura 16: Antes do uso do CFD



Fonte: Dokkum (2008)

Figura 17: Após o uso do CFD



Fonte: Dokkum (2008)

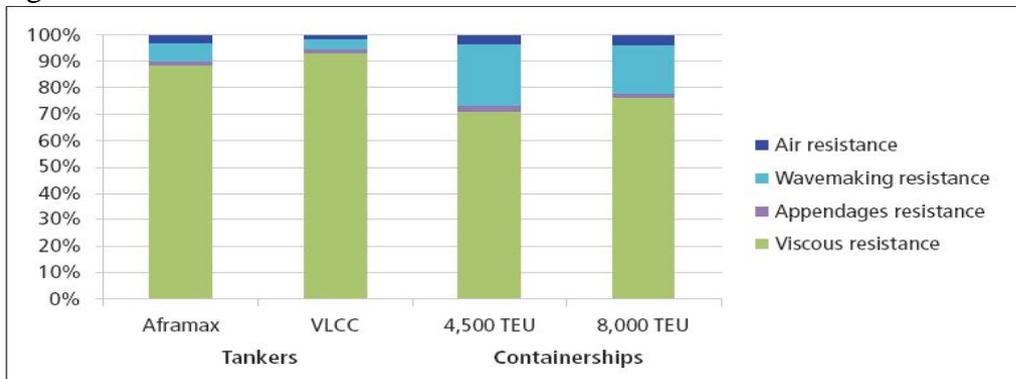
3.2.5.3) Minimizando as Resistências

Componentes da resistência ao avanço (Arrasto):

- Resistência ao vento;
- Resistência Viscosa;
- Resistência dos apêndices;
- Resistência de ondas

Componentes da resistência do casco em águas calmas no calado de projeto:

Figura18: Resistência do casco



Fonte: Ventura (2012)

Coefficiente de Arrasto:

D= Arrasto

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho v^2 S$$

Resistência Viscosa

É composta pela resistência de superfície, devido à esforços cisalhantes e pela resistência de forma que se dá pela distribuição das pressões ao longo do casco. A resistência viscosa (superfície) é a maior componente entre as resistências ao avanço.

A resistência de superfície ocorre na região do escoamento adjacente à fronteira sólida, onde ocorre o efeito da viscosidade do fluido (atrito fluido) que afeta a velocidade de escoamento, essa região é denominada **camada limite** (boundary layer).

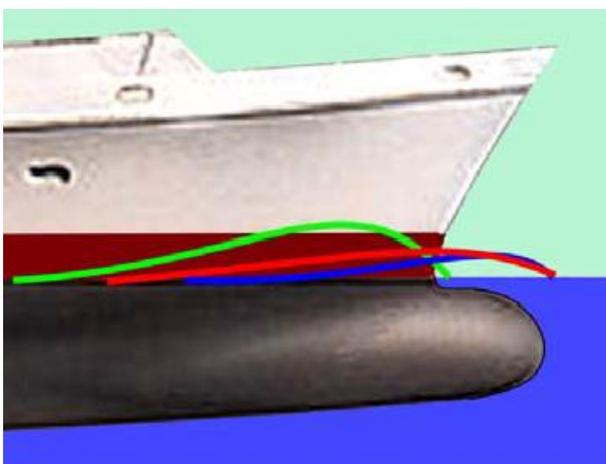
Resistência dos apêndices

Para navios de carga em condição de águas calmas, a resistência de apêndices é em torno de 2 a 3%. Aproximadamente, metade da resistência é atribuída ao leme e a outra parte para as bolinas no bojo. A influência do leme pode aumentar substancialmente em condições severas de mar ou para navios direccionalmente instáveis.

Resistência de ondas

O **bulbo de proa** é o recurso utilizado mais eficiente pra minimizar a resistência de ondas. Este gera um tem de ondas defasado de meio comprimento de onda em relação as ondas de proa. Como resultado disto tem-se uma interferência destrutiva entre elas, suavizando as ondas resultantes e, conseqüentemente, economizando o combustível da embarcação. O comprimento do bolbo define a fase de interferência e o seu volume determina a largura do seu sistema de ondas.

Figura 19: Bulbo e a resistência de ondas



Fonte: Dokkum (2008)

Vantagens do bulbo de proa:

- Reduz a onda de proa, devido à onda gerada pelo próprio bolbo, tornando o navio mais eficiente em termos energéticos;
- Aumenta o comprimento do navio na flutuação, aumentando ligeiramente a velocidade do navio, reduzindo os requisitos de potência instalada e portanto o consumo de combustível;
- Funciona como um "para-choques" robusto em caso de colisão;
- Permite a instalação mais a vante do impulsor de proa, tornando-o mais eficiente;
- Permite maior reserva de flutuação ou maior capacidade de lastro a vante;
- Reduz o movimento de cabeceio (pitching)

Desvantagem do bulbo de proa:

De acordo com Lewis (1989), a adição do bulbo às obras vivas da embarcação contribui negativamente na resistência friccional ao aumentar a área molhada ao casco. O que se obtém, ao final, é um ganho relativamente pequeno uma vez que ao reduzir-se a componente de ondas da resistência acaba-se por aumentar a componente friccional, e ao mesmo tempo uma grande complicação na construção das seções de vante da embarcação.

Aspectos do projeto do bulbo:

- O bolbo nunca deve emergir completamente. O ponto da extremidade mais a vante deve ficar ao nível da linha de água;
- Distribuição do volume do bolbo:
 - Demasiada imersão não produz efeito
 - Volume concentrado longitudinalmente perto da superfície livre aumenta o efeito de interferência nas ondas
- O bolbo é vantajoso em navegação no gelo – os pedaços de gelo deslizam ao longo do bolbo com o seu lado “molhado” que tem coeficiente de atrito inferior

Relação do bulbo de proa com o número de Froude:

Número de Froude:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{Lg}}$$

Normalmente a velocidades baixas o efeito do bolbo é negativo. Quando o número de Froude (F_r) aumenta o seu efeito torna-se positivo e aumenta até um valor máximo. Deste ponto para cima, quando o F_r tende para infinito, o efeito do bolbo tende para zero.

Quando F_r é pequeno, ou seja, aproximadamente 0,16, o navio não precisa de bulbo.

3.2.4 Novas Tecnologias utilizadas para forma do casco:

3.2.4.1 Tecnologia “X-Bow”

Figura 20: navio x-bow



Fonte: Dokkum (2008)

A nova proa concebida pela Ulstein promove as vantagens similares àquelas proporcionadas pela proa bulbosa sem o incremento à resistência friccional, promovendo um ganho final superior e uma construção mais simples das seções de vante.

No Brasil, já existem três embarcações tipo X-BOW construídas, todas pelo estaleiro Aliança para a CBO.

Benefícios:

1) Quanto à eficiência e meio ambiente

- Maior velocidade de transito

O resultado obtido no tanque de provas de Marin na Holanda, mostra que há uma melhoria de “perda de velocidade” em estado do mar com ondas entre 2,5 e 10 metros de 19%;

- Menor consumo de energia;
- Melhor eficiência de combustível;

A economia de combustível é obtida primordialmente pela redução da componente de geração de ondas da resistência, pois possui uma proa contínua e afiada que divide suavemente as ondas e o mar calmo. O aumento de volume acima e na frente permite que a embarcação responda com eficiência à grandes ondas, diferentemente de uma proa convencional, que empurra as ondas para baixo e para vante, retardando o avanço da embarcação.

O teste no tanque de provas de Marin na Holanda mostrou que dependendo do estado do mar e da velocidade da embarcação, o teste mostra uma redução de consumo de combustível entre 7 e 16%;

- Redução das emissões;
- Aumento do tempo operacional;

2) Quanto à segurança e conforto:

- Eliminação de batida e impactos de proa;
- Entrada suave nas ondas;
- Menos borrifo;
- Menores níveis de aceleração vertical;
- Nível de vibração reduzido;
- Aumento do conforto e do descanso da tripulação

Devido ao fato de não existir batidas de proa, e também devido aos níveis de aceleração serem menores;

- Área de trabalho mais segura devido a movimentos mais suaves e proteção fornecida pelo casco.

Desvantagem:

A proa fechada observada nas embarcações com proa “X-Bow” dificulta as manobras de atracação por dificultar a passagem das retinidas. Há também questionamento quanto à capacidade deste novo tipo de proa de evitar que o mar espalhado pela proa do navio atrapalhe a visão do navegante.

3.2.4.2 Navio Quebra-Gelo

Figura 21: Navio Quebra-Gelo



Fonte: National Geographic, (2010)

Esses navios utilizam o casco não para cortar o gelo e sim o seu peso para quebrá-lo. A proa é projetada para subir no gelo, quebrá-lo e jogá-lo para baixo da quilha onde será triturado pelo propulsor azimutal.

O documentário “Gigantes da Engenharia” da National Geographic sobre navios quebra-gelo, mostra as invenções quanto ao casco de navios quebra-gelo.

Estas serão demonstradas a seguir:

1) Casco Côncavo

No passado os cascos eram afiados e retos para que cortassem o gelo como uma faca, porém se batessem em uma calota ficariam presos, além de que gelo poderia danificar o casco. Em 1871, o engenheiro Carl Ferdinand Stelzner criou um projeto de casco côncavo como uma colher. Assim, o navio conseguiria deslizar em cima do gelo.

Figura 22: Navio com casco côncavo

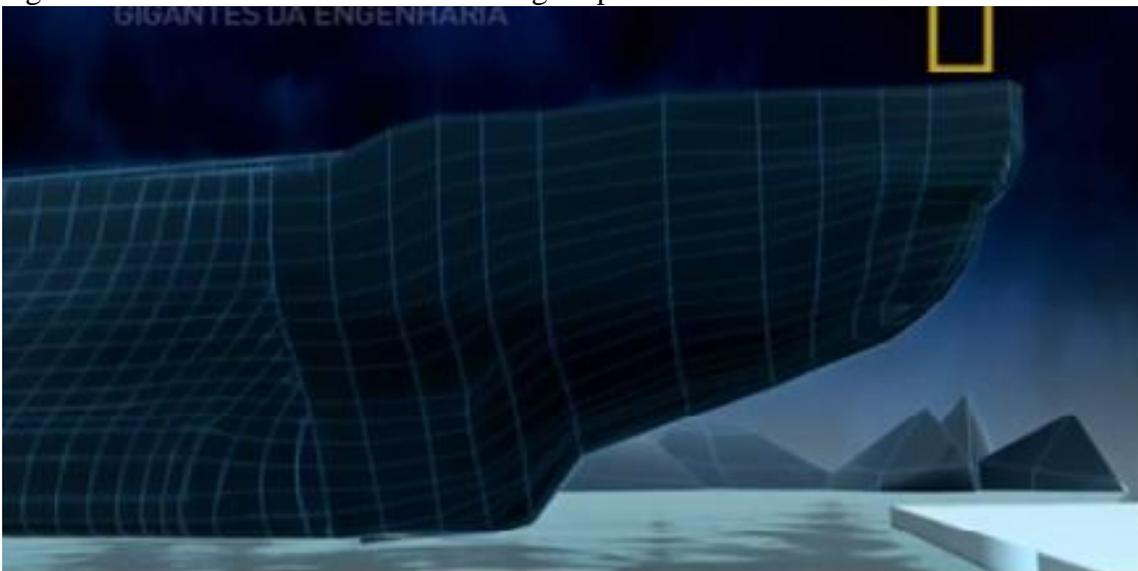


Fonte: National Geographic (2010)

2) Navio Petroleiro

Um outro design para casco foi projetado para um petroleiro Finlandês, em que o casco era reto e inclinado em um ângulo perfeito para quebrar o gelo, não importando o quanto de petróleo estivesse carregando. Foi utilizado esse formato de casco também no navio Lenin, o primeiro quebra-gelo movido a energia nuclear, que podia navegar de 3 a 4 anos sem recarregar seus reatores nucleares.

Figura 23: Casco reto e inclinado num ângulo perfeito



Fonte: National Geographic (2010)

3) Navio Manhattan

Seu casco era reforçado com pesadas ligas internas de aço pra torná-lo ainda mais rígido e também uma cinta de aço passada nas laterais para desviar o gelo das laterais. Em 1969, o navio Manhattan foi transformado no navio mercante mais blindado da época, mas ficou preso devido ao atrito com o gelo. Isto advertiu os construtores navais quanto ao fato de que era possível quebrar gelo e transportar carga porém não ambos.

4) Navio Pollarstern

O engenheiros alemães utilizam uma tecnologia contra o atrito com o gelo em que o navio suga a água do mar através de um buraco em seu casco, a água se mistura com o ar e então passa em bicos diretamente abaixo da quilha. A mistura borbulhante forma uma camada escorregadia entre o casco e o gelo, na qual o gelo não se prende.

5) Navio Sovcom

Esse navio petroleiro para manter a carga segura, envolve o casco com mais de 100 costelas de aço, que absorvem o impacto com o gelo. Além disso, utiliza propulsão a jatos de água e propulsores azimutais.

4 EVOLUÇÃO QUANTO AOS MATERIAIS UTILIZADOS

4.1 Antiguidade

As embarcações da antiguidade eram construídas com materiais rudimentares. As jangadas egípcias eram feitas com caules de papiro atados (sepy) por cordas de linho. Por isso tinham vida curta, mas sua substituição era fácil e barata. Já no Império Antigo o principal material de construção naval foi a madeira. Os cascos dos barcos egípcios eram constituídos de tábuas de madeira curtas para o tamanho do casco, característica essa que dificultada a navegação em mares revoltos, pois as junções não resistiam aos esforços a que eram submetidas. Por essa razão, os marinheiros envolviam a embarcação na proa e na popa com cabos ligados ao convés por outro cabo fixo, denominado “cabo tensor”. Este cabo, torcido com algumas barras, dava ao casco tensão tal que o navio era capaz de navegar em águas mais revoltas próximas da costa.

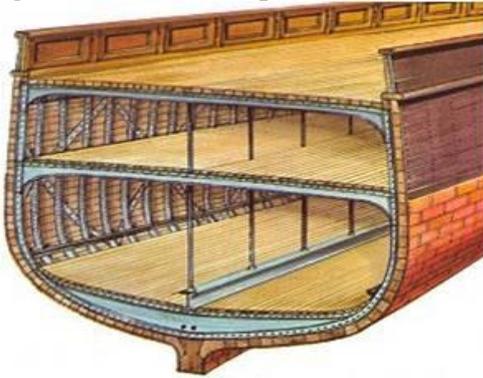
No fim do século XIX, os cascos dos navios passaram a ser construídos em chapas de aço rebitadas. Estes navios eram pesados e desajeitados, faziam água com frequência. Quando o ferro e, posteriormente, o aço, substituíram a madeira como elementos principais, na construção naval, os rebites substituíram os parafusos e pregos, como meios de fixação das peças estruturais do casco. Posteriormente, foi introduzida na construção naval a soldagem, sendo empregada também em combinação com o rebitamento. A soldagem contribuiu para o aumento da produtividade da construção naval, possibilitando a construção de grandes blocos, fora da carreira. Estes cascos soldados se assemelham aos dos nossos dias com linhas mais hidrodinâmicas, mais leves e menos desajeitados.

Figura 24: Embarcação romana de junco



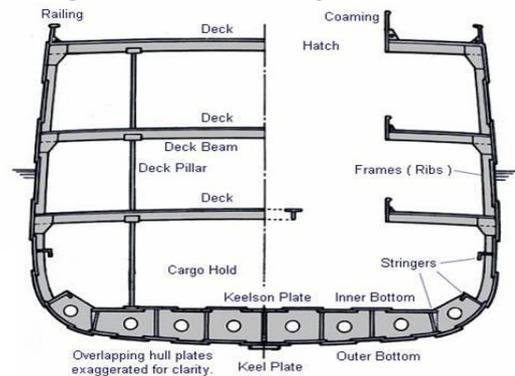
Fonte: Diocélio (2007)

Figura 25: casco compósito



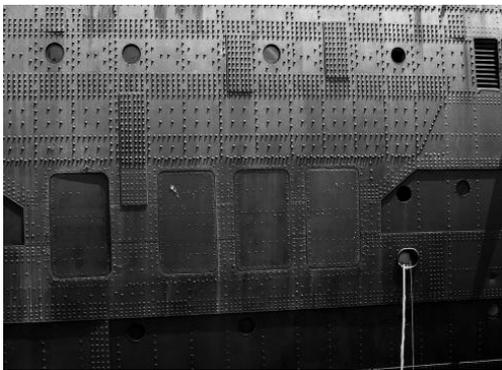
Fonte: Diocélio (2007)

Figura 26: casco de aço



Fonte: Diocélio (2007)

Figura 27: casco com rebites



Fonte: Diocélio (2007)

Figura 28: soldagem do casco



Fonte: Diocélio (2007)

4.2 Atualmente

Os cascos de metal (ferro, aço ou alumínio) são mais finos, mais fortes e mais leves que os de madeira. Os materiais modernos, como os compostos de fibra de vidro, são ainda mais leves e, para conseguir um formato ideal, tanto os metais quanto os compostos podem ser moldados com maior facilidade do que as tábuas de madeira usadas no passado.

Além disso, estes materiais podem manter sua forma e dar apoio a uma superestrutura sem que seja necessário contar com pesadas vigas estruturais dispostas horizontalmente na embarcação. Os cascos compósitos são utilizados principalmente nos iates, enquanto os de metal continuam sendo usados nos barcos grandes; além de mais econômicos e fáceis de consertar, podem transportar cargas muito mais pesadas. Os barcos modernos usam solda em vez de rebiques para unir as placas de metal, e costumam ser construídos com unidades pré-fabricadas.

As ligas de alumínio têm três vantagens se comparado com o aço na construção de navios. Primeiramente o alumínio é mais leve do que o aço (o aço pesa aproximadamente 2.723 tonnes/m³ e o alumínio pesa 7.84 tonnes/m³), é altamente resistente à corrosão e não tem propriedades magnéticas, a desvantagem porém está em seu maior custo inicial e de fabricação. Alumínio tem sido usado em navios especiais, incluindo hidrofólios e particularmente usado em ferries de alta velocidade onde o peso é crucial. O aço é até hoje o material mais usado na construção de navios devido aos seus benefícios técnicos e econômicos, adaptabilidade à soldagem, resistência, baixo custo e disponibilidade.

Os compósitos, usados geralmente em iates, não são sensíveis à corrosão, entretanto a radiação ultravioleta do sol e agentes podem degradar a sua composição. São também não magnéticos e não podem ser soldados. Em navios grandes são utilizados nos sistemas de bombeamento pois não conduz eletricidade nem sofre corrosão. Um material sintético de construção amplamente usado no mundo marítimo é o **poliéster de fibra de vidro reforçado (GRP)**, sendo principalmente usado em partes do navio onde o peso e propriedades corrosivas são importantes. Com o uso de um molde, é possível fazer formas complexas. Devido ao alto custo, GRP são usados geralmente para fabricar partes padronizadas do navio, produzidas em larga escala, como bombas, portas estanques ou até mesmo cascos de embarcações menores como bote salva-vidas, botes de resgate rápidos, iates e etc.

5 EVOLUÇÃO QUANTO À PROPULSÃO

Propulsion (“Propulsão”) é o mecanismo, ou sistema, necessário para se “vencer” a resistência imposta pela água e o ar à passagem do navio no meio fluido. O elemento responsável por desenvolver o empuxo, ou força, necessário para superar a resistência chama-se propulsor (*Propeller* ou *Thruster*).

A força requerida para mover o navio através da água depende da eficiência da propulsão e a resistência total do navio. A eficiência da propulsão é um fator primordial no processo de design do sistema de propulsão, visto que a eficiência e o consumo de combustível do navio estão diretamente relacionados.

5.1 Antiguidade

No Egito, o barco era o meio de transporte mais importante, além de transportar passageiros e carga, tinham ainda a função de se constituírem em lugares cerimoniais. Esses barcos utilizavam como meios de propulsão vários remos de popa e vela trapezoidal, e posteriormente o mecanismo de direção passou a ser de dois *remos-leme*, acionados por um timoneiro de pé à frente do poste do leme e a vela passou a ser mais larga do que alta. Este remo-leme, denominado mais tarde de remo-de-ginga ou alheta, tinha embutido no seu cabo a cana do leme, ficando preso a um mastro e à popa. O navio era dirigido pelo timoneiro, que movia lateralmente a cana do leme; esta por sua vez, rodava o cabo do leme direcionando a sua pá e, conseqüentemente o rumo do navio.

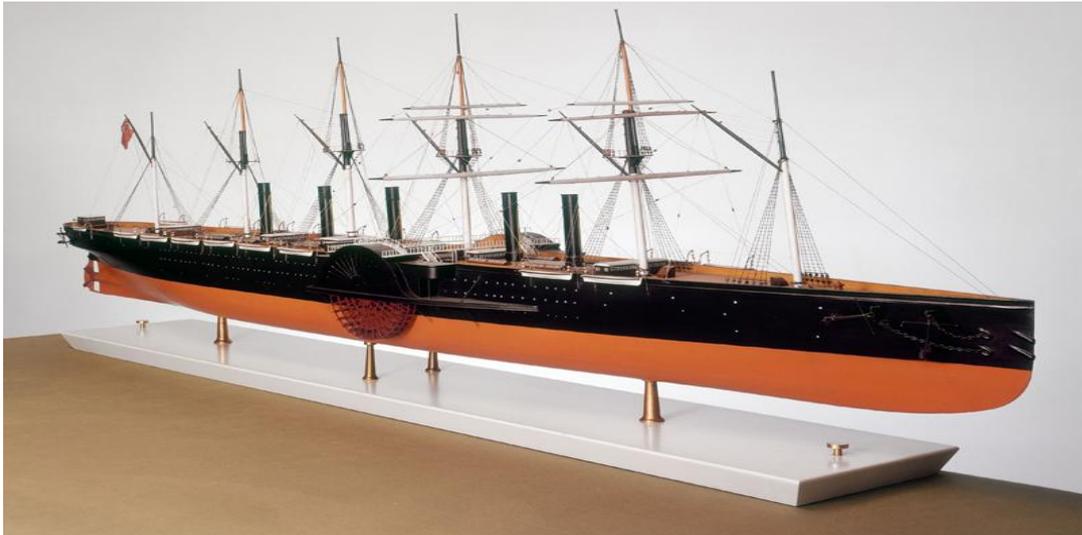
Com o passar do tempo surgiram as galeras, embarcações cobertas que utilizavam remos e velas triangulares (vela latina).

Entre os anos 1200 e 1500, os remos-leme foram gradualmente sendo substituídos pelo *leme de madeira*, dando um grande impulso à navegação e permitindo o aparecimento dos grandes navios.

Com o surgimento das máquinas à vapor, navios à vela receberam máquinas e propulsão por *rodas de paletas* (roda hidráulica), que geralmente ficavam à meia nau, nos bordos ou na popa. Esse mecanismo era incômodo e economicamente deficitário, pois ocupava grande espaço, diminuindo as praças destinadas à carga, além de atrapalhar as manobras.

Posteriormente surgiu a hélice. Em 1827 o austríaco Ressel obteve a patente para o emprego das hélices, sendo utilizada pela primeira vez em 1829 no navio “Zivetta”, passando a ser o elemento propulsor predominante até os dias atuais.

Figura 29: Navio Great Eastern com roda de paletas a meia nau



Fonte: Diocélio (2007)

5.2 Atualmente

As primeiras utilizações da propulsão elétrica datam do final do século XIX, onde algumas embarcações pequenas construídas na Rússia e na Alemanha eram movidas a baterias.

O hélice foi o mais moderno meio de propulsão desenvolvido. Este sistema consiste basicamente na interação entre o Motor de Combustão Principal (MCP), linha de eixo e propulsor, representando o mais caro sistema instalado na praça de máquinas.

5.3 Comparação entre a propulsão elétrica e propulsão mecânica

A principal característica da propulsão mecânica é a simplicidade; a da elétrica, é a flexibilidade. Para chegar à conclusão do tipo de propulsão ideal para a embarcação, deve ser levado em consideração que tipo de operação o navio vai estar submetido.

No sistema de propulsão mecânico convencional o dispositivo de acionamento principal a ser empregado, que pode ser uma turbina a vapor, um motor diesel ou uma turbina a gás, é acoplado diretamente ao eixo propulsor do navio através da engrenagem redutora. Sendo necessário um diesel-gerador auxiliar, que deve localizar-se separado do sistema de propulsão, o qual é responsável por fornecer a potência elétrica aos sistemas auxiliares de bordo. Nas embarcações que utilizam este modelo de propulsão, a rotação do motor diesel é que define a rotação do hélice, e assim, o motor em algumas condições de operação não atua na faixa de rendimento ótimo, gerando um inevitável desperdício de combustível.

Já no sistema de propulsão elétrica a eficiência de transmissão é menos sensível à variação de velocidade do eixo propulsor que no sistema mecânico convencional. Portanto, nos períodos de operação do navio com velocidades mais baixas, aproximadamente 85% das atividades de navegação, a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a transmissão mecânica. Tem-se, assim, o grande diferencial positivo para o emprego da propulsão elétrica.

5.4 Vantagens da Propulsão elétrica:

1) Melhor Manobrabilidade

Permite variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, o que é essencial em situações de reboque e salvamento. Aumenta a manobrabilidade, o que permite uma segurança maior já que evita acidentes como encalhe de navios ou até mesmo colisão de embarcações de apoio marítimo com plataformas.

2) Redução do consumo de combustível e emissão de poluentes

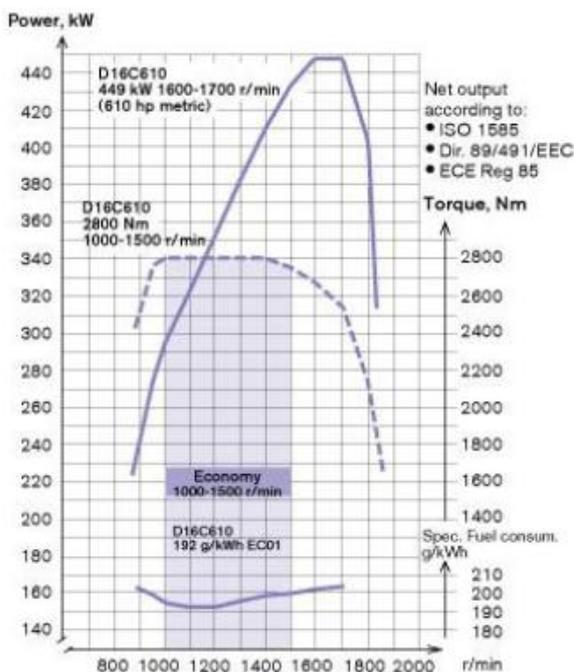
Na propulsão mecânica, a velocidade do propulsor está diretamente relacionada com a do motor diesel devido ao fato de eles estarem ligados por um longo eixo. Como a

operação do navio varia e a velocidade exigida para cada situação não garante que o motor estará na sua faixa de melhor rendimento, o resultado são maiores gastos de combustível e desgaste mecânico.

O uso da propulsão elétrica afasta esse problema porque permite que os diesel-geradores trabalhem na faixa de ótimo desempenho, já que os DGs não estão diretamente ligados aos hélices. Eles alimentam o quadro elétrico principal, que fornece energia para os MEPs e estes geram o movimento para os propulsores. A variação de velocidade ocorre por meio de inversores de frequência e, no caso de haver uma maior demanda de energia, mais geradores são colocados em barra. Ou seja, a propulsão elétrica elimina a relação direta entre as rotações do motor diesel e a velocidade do propulsor.

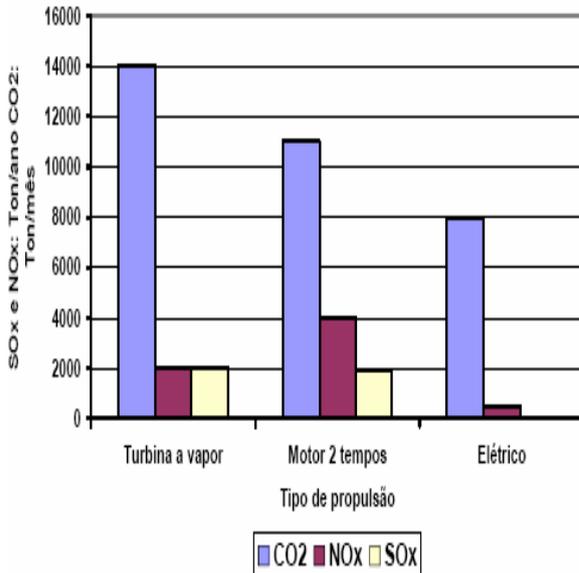
A Figura 1 mostra um gráfico de um motor diesel relacionando a potência, o torque e o consumo específico, mostrando que há uma faixa (no caso, de 1000 a 1500 RPM) em que há um ótimo rendimento. O fato de trabalhar nessa faixa significa um melhor aproveitamento do combustível gasto, evitando um consumo além do necessário. Ao considerar essa diferença, é evidente que é possibilitada a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, dada a menor quantidade de óleo gasto. A figura 2 aponta que a propulsão elétrica permite essa redução de poluentes.

Figura 30: Gráfico relacionando a potência, torque e eficiência



Fonte: Bruce (2008)

Figura 31: Redução de poluentes com a propulsão elétrica



Fonte: Bruce (2008)

2) Redução da tripulação

Por ser mais fácil de sistemas automatizados serem controlados à distância e de exigirem menos manutenção e intervenção direta do operador, abre precedentes para a diminuição da tripulação.

3) Flexibilidade de projeto

Além da produção dos equipamentos de forma modular, a eliminação do longo eixo que liga o motor de propulsão ao hélice permite a distribuição dos componentes de forma a facilitar a manutenção, possibilitar a otimização do design da embarcação, a descentralização da aparelhagem e melhor uso do espaço disponível.

4) Redução dos custos de manutenção

5) Redução das vibrações e ruídos produzidos

Desvantagem:

Requer uma corrente muito alta nas situações de manobra e mudança de rotação, porém pode-se minimizar isto com a utilização de sistemas azimutais.

5.5 Tipos de hélice:

1)Passo Fixo

O ângulo das pás não pode ser controlado.

2)Passo Controlável

O ângulo das pás (passo) é controlado por um mecanismo hidráulico dentro do cubo, não necessitando de caixas inversoras. O impulso é controlado pelo passo do hélice, permitindo que o navio navegue com sua velocidade mais eficiente.

Esse sistema é mais eficiente, se comparado com o sistema de passo fixo, por se adaptar às condições de operação que influenciam a curva de carga do motor. Essa adaptação é feita através de um computador, que calcula essas resistências e mudanças que acontecem no navio, e por meio de controles eletrônicos ajusta o ângulo de ataque da pá do hélice para manter a eficiência do sistema de propulsão. A eficiência constante ajuda a aumentar a vida útil do motor e diminuir seus custos de manutenção. Além disso, o nível de ruídos e vibrações é próximo de zero.

3)Passo Variável

As pás apresentam curvaturas, modificando a área de contato com a água durante a rotação.

4)Passo Constante

As pás não apresentam curvatura, sendo utilizado em alguns tipos de tunnel thrusters.

5.6 Sistemas Propulsores:

5.6.1) AzipodsTM

O sistema consiste em um motor de propulsão elétrica no próprio POD e um hélice de passo fixo diretamente ligado ao motor, se localizando portanto, na parte externa do casco do navio.

É basicamente um propulsor azimutal, ou seja é capaz de girar 360° em torno de um eixo vertical direcionando o fluxo de água para qualquer direção, dispensando o uso de lemes,

sendo utilizado então um hélice de passo fixo, porém o motor elétrico é conectado diretamente ao hélice ou propulsor.

Suas vantagens são:

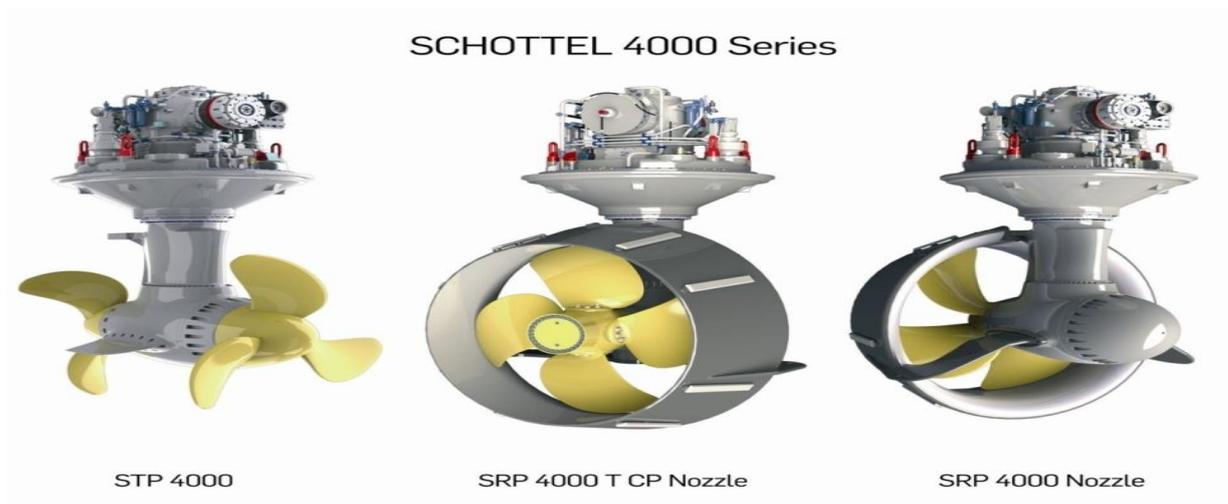
- Dispensa o uso do leme e de hélice laterais, pois gira 360° em torno do seu eixo;
- Permite mudanças rápidas de direção, logo maior manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico, possuindo com isso excelente desempenho no campo de esteira;
- Projeto de casco mais simples;
- Dispensa longos eixos, caixas redutoras e sistema de governo;
- Menor nível de ruídos e vibrações;
- Melhor distribuição e aproveitamento do espaço no navio;
- Maior segurança e redundância.

5.6.2) Siemens Schottel™

Desenvolvido na década de 70, era inicialmente acionado mecanicamente, e introduziu o conceito de POD. Sua capacidade de manobra ainda era ampliada pela movimentação do POD em azimute, ou seja, 360°, o que garante a eliminação do sistema de governo. Mais tarde passou a utilizar propulsão elétrica para o acionamento das pás.

Se diferencia dos demais sistemas pelo tipo de carcaça do motor elétrico dos PODs e, se destaca pela tecnologia *Schottel Twin Propeller™* e o motor permanentemente excitado (PEM) da Siemens, o qual utiliza ímãs permanentes, tal qual nos veículos híbridos.

Figura 32: Propulsores Schottel



Fonte: Schottel (2012)

5.6.3) Voith Schneider™

Esse sistema é o único que utiliza propulsão cicloidal em todo o mundo, foi desenvolvido pela Voith partindo da idéia do engenheiro austríaco Ernst Schneider. A propulsão cicloidal consiste em propulsores de eixos verticais ou cicloidalis e uma série de pás verticais fixadas à periferia de um disco rotativo.

Atualmente são utilizados 2 discos e seis pás. Esses discos giram em velocidade constante e, para gerar impulso, cada uma das pás do hélice executa um movimento oscilatório sobre seu próprio eixo. Através da variação do ângulo de cada lâmina é definido a intensidade e o sentido da força. Este controle é feito pelo oficial através de um volante e duas alavancas sendo o movimento transmitido mecanicamente para as pás.

O que difere o sistema cicloidal do sistema de propulsão com hélice de passo controlável é apenas o posicionamento das pás em relação à força exercida, visto que no sistema cicloidal as pás estão posicionadas transversalmente ao impulso.

Figura 33: Propulsor Voith Schneider



Fonte: Voith Schneider (2012)

Vantagens:

O sistema de propulsão Voith Schneider combina em uma única unidade, governo e propulsão, dispensando portanto o uso do leme. Além disso, proporciona imediata resposta ao comando, sendo muito solicitado em embarcações rebocadoras, pois confere uma melhor manobrabilidade. Devido à rápida transição de direção e intensidade de empuxo, permite que a embarcação anule o efeito de ondas, tornando-se absolutamente estável.

Desvantagens:

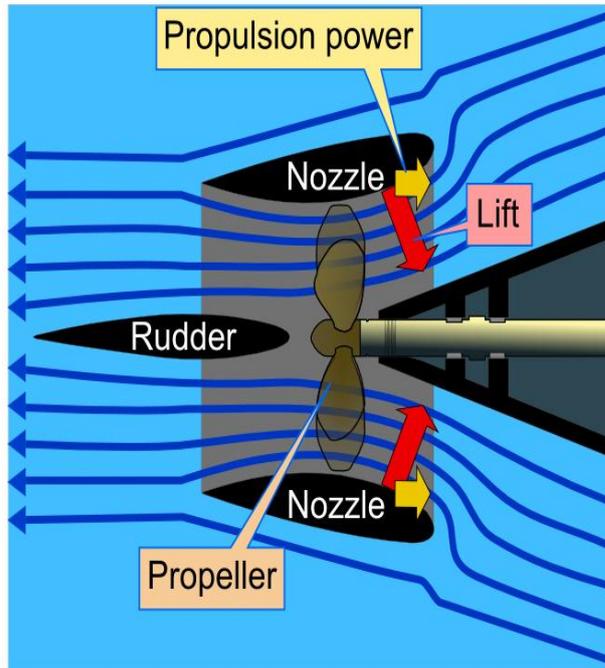
- Grande calado (além das lâminas, há uma estrutura que protege cada propulsor e funciona como direcionador do fluxo de água), o que impede que a embarcação atinja velocidades adquiridas com o propulsor azimutal;
- O formato do fundo do casco, reto e largo, pode prejudicar a hidrodinâmica, dificultando a operação em mar aberto ou em alta velocidade;
- Relação entre tração estática e potência do motor inferior a de outros sistemas de propulsão;
- Maior custo de instalação e manutenção

5.6.4) Tubo Kort™

Foi desenvolvido e difundido por uma empresa inglesa na década de 1930. Consiste em tubos fixos que envolvem o hélice, organizando o fluxo de descarga e possibilitando um ganho na tração a vante de até 30%, assim gera um aumento considerável em relação aos hélices convencionais e por isso são utilizados em rebocadores, PSVs e etc.

Porém por reduzir a capacidade de governo, necessita a associação com lemes mais eficientes. Ele é originalmente destinado a embarcações de baixa velocidade, como rebocadores.

Figura 34: : A hidrodinâmica do Tubo Kort™



Fonte: Bruce (2008)

5.6.5) Tunnel Thrusters

Consistem em túneis localizados na proa ou na popa da embarcação abaixo da linha d'água (bowthrusters e Stern thrusters respectivamente), composto de motor e hélice, auxilia na manobra, proporcionando impulsos laterais que facilitam a atracação/desatracação nos portos e as manobras durante operações com plataformas de petróleo. Inicialmente os Thrusters eram acionados por motores diesel, porém atualmente utilizam motores elétricos.

Proporciona controle preciso a baixas velocidades em pontes e canais estreitos e rasos, por isso são utilizados em todo o mundo em operações que necessitam de navios com manobras precisas. Uma outra vantagem é a possibilidade de manutenção sem a necessidade de docagem em dique seco.

Figura 35: Tunnel Thrusters



Fonte: Gerk (2012)

5.6.6) Propulsor com jato de água

Seu funcionamento se baseia no princípio de operação de uma bomba centrífuga. Um rotor aspira a água da parte debaixo do casco do navio e a transfere para uma voluta. As aberturas de saída de água estão dispostas na parte inferior do propulsor que fica tangente a linha de base do casco sendo, dessa forma, ideal para a instalação em embarcações que operam em águas rasas. O princípio é semelhante ao do hélice, no entanto suas partes móveis estão dentro do navio.

A eficiência é significativamente inferior à dos hélices devido às perdas na tomada de água e condutas, além da entrada de lixo no coletor de água, por essa razão é mais vantajoso o seu emprego em águas rasas e é mais utilizado em embarcações rápidas como hidrofólios.

Figura 36: Propulsor com jato de água



Fonte: Bruce (2008)

6 A HIDRODINÂMICA DO NAUFRÁGIO DO TITANIC

O naufrágio do Titanic ocorrido em 1912 no Atlântico Norte, foi o maior desastre marítimo da história. Este navio foi o maior objeto móvel construído na época.

Será analisado neste trabalho os aspectos de construção do Titanic que, sob o ponto hidrodinâmico, explicam o acidente e consequente naufrágio deste. Essa análise é de suma importância, pois através dela pode-se constatar a gradual evolução da construção de navios e os seus benefícios, em segurança, eficiência, economia e etc.

Os aspectos do Titanic a serem discutidos serão:

6.1) Casco

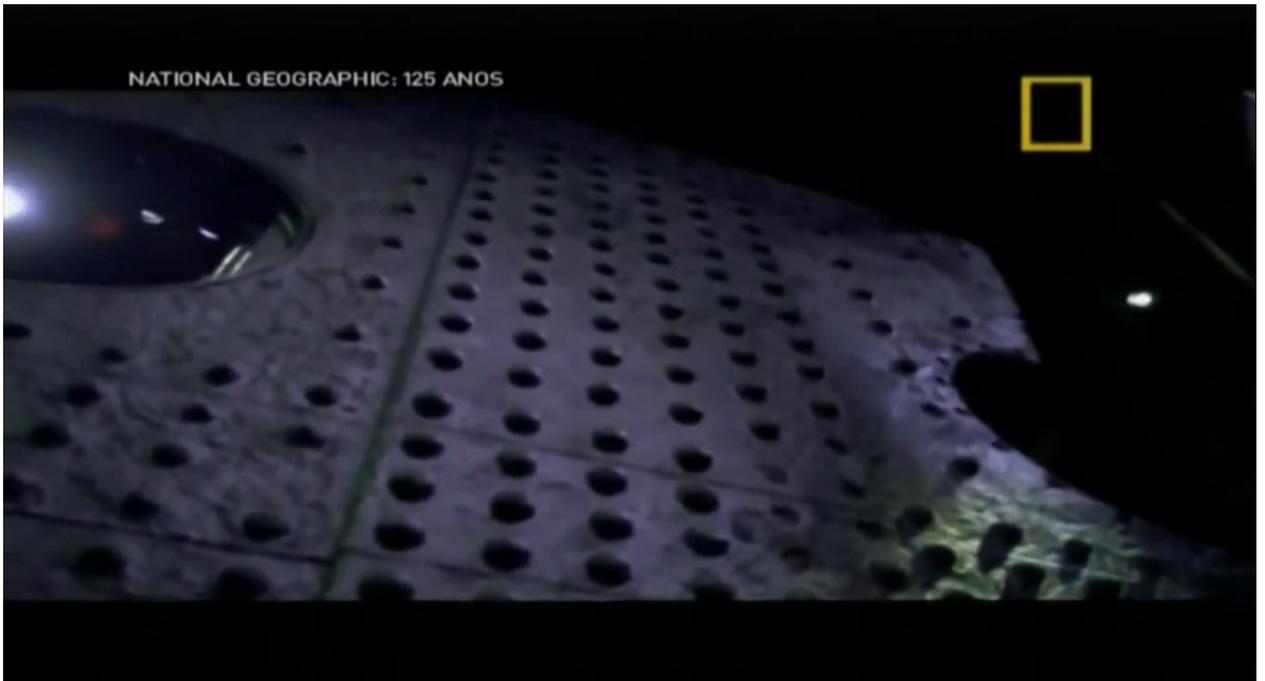
O casco do Titanic, como os navios da época, foi construído de chapas de aço rebitadas. Esses rebites aumentam a rugosidade do casco e, conseqüentemente aumentam a resistência viscosa, que é um dos componentes do arrasto, diminuindo assim a velocidade de cruzeiro.

O formato do casco era tradicional para um navio tão grande, além de não possuir nenhum recurso para minimizar a resistência de onda, como o bulbo de proa.

Os rebites eram feitos de ferro fundido porque não havia tecnologia de aço em 1912. Esses rebites analisados a microscópio revelaram ser uma estrutura metalográfica totalmente contaminados por uma espécie de escória, o que dava uma fragilidade ao metal, principalmente a baixas temperaturas. Por essa razão, os rebites não resistiram ao golpe da colisão com o iceberg e à pressão estática da profundidade à qual o navio estava, e se soltaram, fazendo com que o casco ficasse literalmente sem placas, permitindo assim, que a água pudesse entrar.

A colisão com o iceberg não ocorreu na proa do navio e sim à boreste, fazendo um rasgo. Então pode-se concluir que se os rebites não tivessem se soltado, havendo somente um rasgo na sua lateral, o Titanic teria ficado emerso por mais tempo, podendo conseguir socorro durante o dia, e a tragédia não teria tido tal proporção.

Figura 37: Casco rebitado do Titanic



Fonte: National Geographic

6.2) Leme

O leme utilizado pelos navios da época era em forma de placa, e por isso não tinha resposta rápida à guinada, precisando de um deslocamento maior para guinar, não conseguindo assim, mudar a direção a tempo.

Figura 38: Leme do Titanic



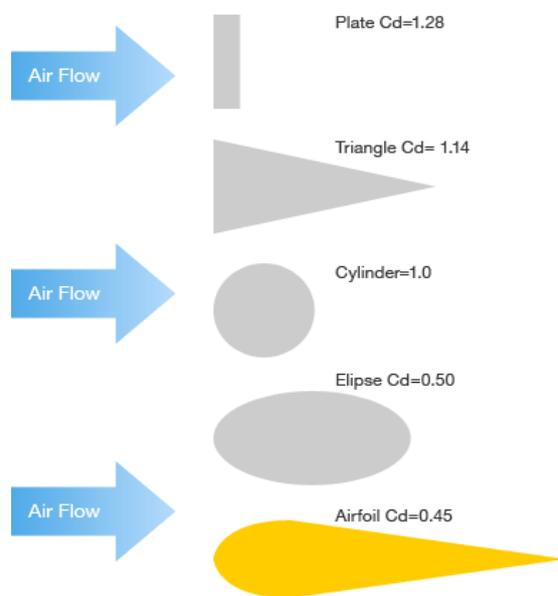
Fonte: National Geographic

6.2.1) Perfil do Leme:

O arrasto é uma força paralela ao fluxo de ar, que acontece devido ao formato do objeto que interage com o fluxo, e ao atrito do fluido com a superfície deste. A soma da sustentação com o arrasto origina a resultante aerodinâmica. Logo, a eficiência aerodinâmica de um perfil pode ser calculada dividindo-se a sustentação pelo arrasto (L/D).

Observa-se pela figura abaixo que um formato mais afinado terá um menor coeficiente de arrasto, e portanto menor resistência ao avanço.

Figura 39: Perfis de leme

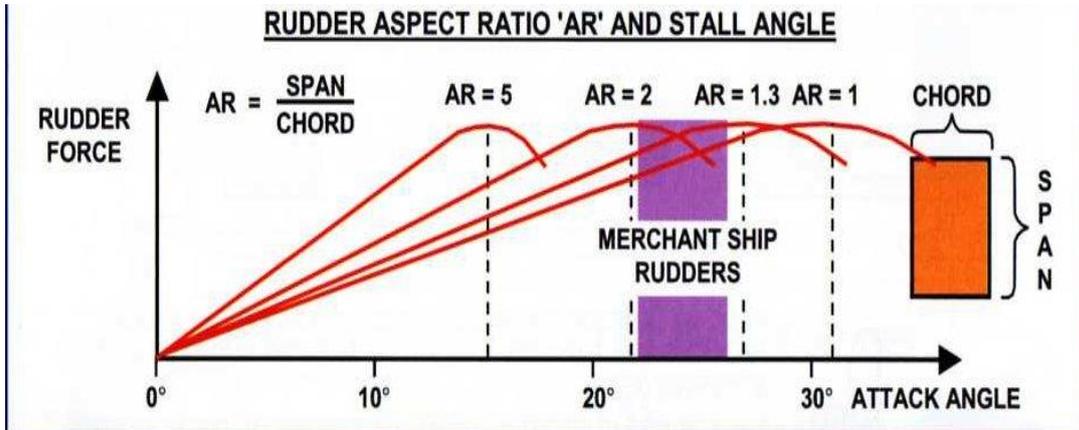


Fonte: Clark (2005)

O ângulo de ataque é o ângulo da asa em relação ao ar que se aproxima e por isso determina também a sustentação que a asa gera. Quando atinge o ângulo de ataque máximo, ocorre o STALL, ou seja a sustentação cai drasticamente e o arrasto aumenta.

A razão de aspecto é dada pela razão corda/ altura da asa, ou neste caso do leme.

Figura 40: Razão de aspecto e ângulo de STALL

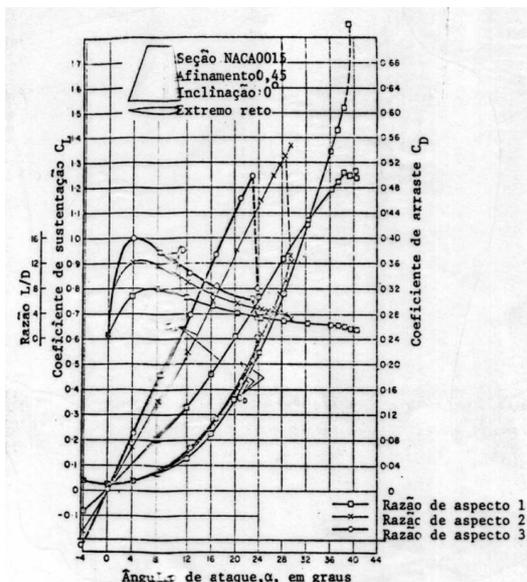


Fonte: Clark (2005)

Em 1912 ainda não havia o conhecimento do Efeito Asa, em que o leme sendo em forma de asa, é mais eficiente, pois as grandes diferenças de pressão ocorrem até 50% da corda, gerando uma maior força de guinada. Sendo o leme do Titanic em forma de placa, o bordo de ataque era rombudo e com isso não possuía rápida resposta na mudança de direção.

Atualmente o perfil de leme utilizado por ser mais eficiente é aquele com perfil NACA ou fishtail. NACA aerofólios são formatos aerofólicos desenvolvidos pela National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), onde o formato do leme ou asa é descrito usando uma série de dígitos seguidos da palavra NACA. A série recomendada atualmente é a NACA 0015.

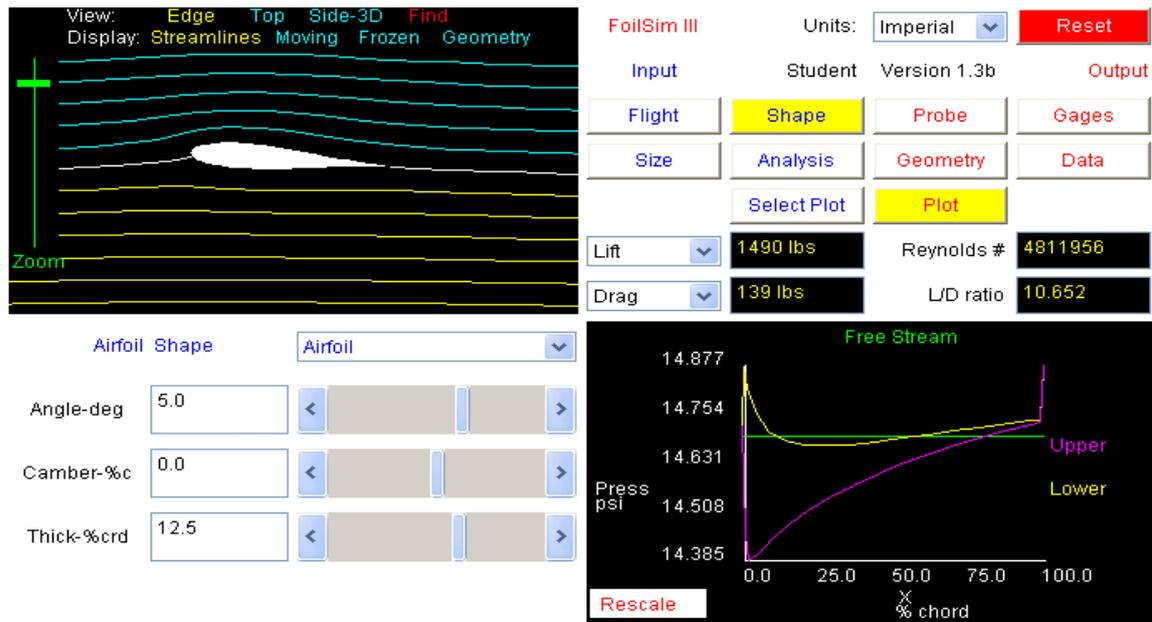
Figura 41: Secções NACA 0015



Fonte: NACA (2010)

A figura a seguir mostra o FoilSlim Simulator, onde observa-se que as grandes diferenças de pressão ocorrem até 50% da corda e a melhor performance do leme aerofólio.

Figura 42: FoilSlim Simulator



Fonte: Dokkum (2008)

O leme empregado no Titanic além de não ser NACA também não possuía nenhum dispositivo moderno, como os mostrados a seguir.

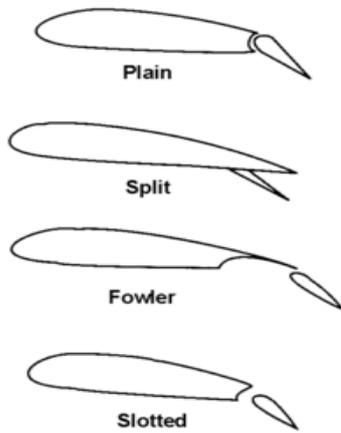
6.2.2) Flaps

Os **flaps** são dispositivos hiper-sustentadores, superfícies articuladas, existentes nos bordos de fuga (parte posterior) das **asas** de um avião, os quais, quando abaixados e/ou estendidos aumentam a sustentação e o arrasto ou resistência ao avanço de uma asa pela mudança da curvatura do seu perfil e do aumento de sua área.

Com esse dispositivo aumenta-se a força de guinada do leme.

Tipos de Flap:

Figura 43: Tipos de Flap

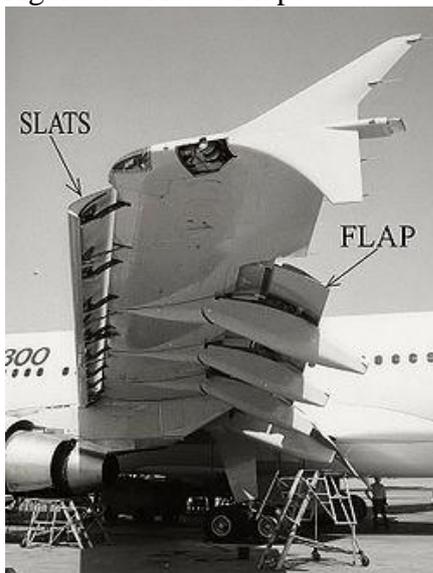


Fonte: Bruce (2008)

6.2.3) Slats

Slats são superfícies aerodinâmicas sobre o bordo de ataque das asas de uma aeronave de asa fixa, que quando implantadas, permitirão que a asa funcione com um maior ângulo de ataque. Um maior coeficiente de sustentação.

Figura 44: Slats e Flaps



Fonte: Clark (2005)

6.3) Velocidade

No momento da colisão com o iceberg, o navio estava navegando a uma velocidade acima da que foi testada em provas de mar, com todas as caldeiras em operação, além de não ter sido realizado nenhum ensaio deste em águas geladas. Portanto, conclui-se que não havia uma previsão do que pudesse acontecer em tais situações.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise das modificações sofridas pelas embarcações desde a antiguidade, é possível concluir que o conhecimento resultado da pesquisa, é o fator primordial para o desenvolvimento do navio como um todo, pois foi através do conhecimento dos princípios hidrodinâmicos, que o homem pôde desenvolver a tecnologia existente hoje nos navios, que jamais poderia ter sido imaginada na antiguidade. É necessário compreender a interação das partes do navio com a água para criar mecanismos que impulsionem o seu deslocamento, diminuindo resistências, otimizando o casco, aumentando a eficiência do sistema de propulsão empregado, dentre outros fatores.

É essencial também o entendimento das causas de acidentes ocorridos, para saber o que deve ser modificado e o que deve ser mantido em termos de equipamentos, além de criar soluções para transpor as barreiras existentes ainda nos dias atuais.

Em suma, é primordial que se conheça o passado, para entender o presente e poder planejar o futuro. Logo, ainda que as embarcações utilizadas no passado fossem rudimentares ou inferiores a tecnologia existente hoje, é preciso conhecer a história marítima para saber o que deve permanecer e o que deve ser aprimorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOKKUM, Klaas Van. **Ship Knowledge**. 3 ed. São Paulo: Dokmar, 2008

CLARK, I. C. **Ship Dynamics for Marines: a guide to the theory of hull resistance power requirements, propulsion, steering, control systems and ship motion in a seaway**. London: The Nautical Institute, 2005.

BRUCE, D.G. **Ship Construction**. 7 ed.

DE OLIVEIRA, Francisco Diocélio Alencar. **História Marítima**. Rio de Janeiro: Ciaga, 2007

WRIGHT, Michael. **Como Funciona – Scientific American**. Rio de Janeiro: Visor

National Geographic Channel, documentário **Gigantes da Engenharia: Navio Quebra-gelo**

National Geographic Channel, documentário **Titanic: A Verdadeira História**

IBRAHIM, Eden Gonzalez. **Propulsão elétrica de embarcações**. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.

<http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/projecto-navios-i/pt/pn1.5.4-projecto-bolbo.pdf>

<http://www.mar.ist.utl.pt/mventura/projecto-navios-i/pt/pn1.5.1-forma-carena.pdf>