



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



JOSELY VIEIRA DE SOUZA



MANOBRABILIDADE

**RIO DE JANEIRO
2013**

JOSELY VIEIRA DE SOUZA

**MANOBRABILIDADE: COMPONENTES E ELEMENTOS QUE INFLUENCIAM NA
MANOBRA DO NAVIO**

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

Orientador (a): José Conde Rodrigues

Rio de Janeiro
2013

JOSELY VIEIRA DE SOUZA

**MANOBRABILIDADE: COMPONENTES E ELEMENTOS QUE INFLUENCIAM NA
MANOBRA DO NAVIO**

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador (a): José Conde Rodrigues

Capitão-De-Mar-E-Guerra (RM-1)
Instrutor

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Dedico esse meu trabalho a minha família, principalmente minha mãe Marly que em todos os momentos esteve ao meu lado, ao meu irmão Josmar que almejou o meu futuro promissor, ao meu pai José Lima (*in memorian*) que onde quer que esteja está orando por mim, as minhas amigas Rayana Tamara e Ana Carolina Nunes por torcerem pela minha vitória.

Dedico também as minhas amigas maquinistas Luciana, Gabriela Santos, Nayance e Renata Santos pelos momentos felizes, tristes e por mostrarem que fiz a escolha certa: náutica. Dedico a todos que contribuíram durante essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as minhas amigas pelos momentos de descontração, pelo apoio nas horas mais difíceis, aos mestres que passaram experiências e conhecimentos proporcionando uma pesquisa mais selecionada, ao orientador Professor Rodrigues que ajudou a enriquecer meu tema, a turma de 2011 por esses três anos de lutas e glórias para alcançar o nosso objetivo: a formatura.

RESUMO

No estudo da manobrabilidade do navio a preocupação fundamental é estudar sua capacidade de manter o rumo durante a navegação, além de medir sua capacidade de realizar uma curva de giro. Indiretamente, essas duas análises tem por finalidade avaliar a eficiência do leme pré-projetado. Para desenvolver um navio de alto desempenho, é necessário satisfazer três requisitos básicos que devem ser tratados de maneira unificada e orientada para o desempenho total do navio e sua missão: propulsão, “seakeeping” e manobrabilidade. A máquina do hélice tem grande importância destacada na manobra do navio. A eficiência mecânica do hélice é medida através de uma fórmula matemática. Há vários fatores que contribuem para a eficiência de uma hélice como o ângulo de ataque das pás, ou o ângulo entre a direção da velocidade resultante do escoamento e a direção de rotação das pás. Os navios devem apresentar alta eficiência na propulsão, ter capacidade para enfrentar situações adversas de vento e ondas e estar adequados para garantir uma navegação segura mesmo em mares turbulentos. É fundamental a compreensão das causas que levam ao movimento do navio, para a compreensão da capacidade que o mesmo possa ter para executar uma determinada manobra.

Palavras-chave: Leme. Hélice. Propulsor.

ABSTRACT

When studying the maneuverability of a vessel, the main scope is to analyze its ability to maintain a steady heading, as well as to measure its turning ability. Indirectly, these two assessments intent to evaluate the rudder efficiency. In order to develop a ship of high performance it is imperative to satisfy three basic requirements that should be dealt with in a single manner and oriented towards the ship's performance as a whole and its mission: propulsion, seakeeping and maneuverability. The propeller has great importance when it comes to maneuvering a ship. The mechanic efficiency of a propeller is measured through mathematical formulae. There are various factors that concur to the propeller's efficiency such as the blade angle of attack, or the angle between the resulting direction of the flow speed and the blade rotation direction. Vessels should present high performance in propulsion, be able to face adverse winds and waves and be comprised to deliver safety when navigating even when in turbulent seas. It is basal to understand the causes underlying ships' movement so as to understand the ability that they have to execute certain maneuvers.

Keywords: Rudder. Propeller. Blade. Maneuverability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Leme ordinário

Figura 2 Leme compensado

Figura 3 Leme semicompensado

Figura 4 Leme apoiado

Figura 5 Leme suspenso

Figura 6 Escoamento normal e anormal em torno do leme

Figura 7 Leme Oertz

Figura 8 Contraleme, o tubo Kort e um outro leme por ante-a-vante do hélice

Figura 9 Leme Kitchen

Figura 10 Leme com flaps

Figura 11 Leme com rotor

Figura 12 Leme T

Figura 13 Leme enformado

Figura 14 Placas Horizontais

Figura 15 Leme Schilling Simples

Figura 16 Leme cicloidal passivo

Figura 17 Leme cicloidal no modo ativo

Figura 18 Leme de flanco

Figura 19 Partes da hélice

Figura 20 Hélice direito e hélice esquerdo

Figura 21 Hélice dando adiante

Figura 22 Hélice dando atrás

Figura 23 Hélice dando atrás com efeito da corrente

Figura 24 Tabela

Figura 25 Navio e hélice dando marcha à ré

Figura 26 Propulsor Cicloidal

Figura 27 Tubo Kort

Figura 28 Propulsor Azimutal

Figura 29 Twin Propeller

Figura 30 Tunnel Thruster

Figura 31 Propulsão a jato de água

.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 LEME	13
1.1 Tipos de leme	13
1.1.1 Quanto a posição da madre em relação a porta	13
1.1.2 Leme ordinário	13
1.1.3 Leme compensado	13
1.1.4 Leme semicompensado.....	14
1.1.5 Quanto à sustentação vertical	14
1.1.5.1 Apoiado	14
1.1.5.2 Leme suspenso.....	14
1.2 Lemes comuns	14
1.2.1 Leme Oertz	15
1.2.2 Contraleme	15
1.2.3 Leme Kitchen	15
1.2.4 Leme ativo	16
1.3 Lemes especiais	16
1.3.1 Leme com flaps	16
1.3.2 Lemes com rotor	16
1.3.3 Lemes T (T – rudder)	16
1.3.4 Lemes enformados.....	17
1.3.5 Lemes cicloidais	17
1.3.6 Lemes de flanco.....	18
1.4 Efeitos do leme	18
2 HÉLICE	21
2.1 Estrutura do hélice	22
2.2 Definições.....	22

2.2.1 Superfície helicoidal.....	22
2.2.2 Hélice.....	22
2.2.3 Pá do hélice.....	23
2.2.4 Bosso do hélice.....	23
2.2.5 Aresta de ataque	23
2.2.6 Aresta de saída.....	23
2.2.7 Face.....	23
2.2.8 Dorso	23
2.2.9 Ponta.....	23
2.2.10 Diâmetro do hélice.....	24
2.3 Passo.....	24
2.4 Cálculo do passo.....	24
2.5 Avanço.....	25
2.6 Posição dos hélices	25
2.7 Hélice de passo controlável.....	26
2.8 Passo constante X passo variável	26
2.9 Passo fixo X Passo controlável.....	27
2.10 Hélice direito X hélice esquerdo	27
3 GOVERNO DO NAVIO	29
3.1 Efeitos do hélice propulsor.....	30
3.1.1 Hélice dando adiante	30
3.1.2 Hélice dando atrás	31
3.2 Pressão lateral das pás	31
3.3 Corrente de esteira.....	31
3.4 Ação conjunta do leme e do hélice.....	32
3.5 Navio e hélice em marcha a vante.....	32
3.5.1 Leme a meio	32

3.5.2 Leme para um dos bordos.....	33
3.6 Navio e hélice em marcha à ré	33
3.6.1 Leme a meio	34
3.6.2 Leme a boreste.....	34
3.6.3 Leme a bombordo.....	34
3.7 Navio com seguimento para vante e hélice dando atrás.....	35
3.7.1 Leme a meio	35
3.7.2 Leme a bombordo.....	35
3.7.3 Leme a boreste.....	36
3.8 Navio com seguimento para ré e hélice dando adiante	37
3.8.1 Leme a meio	37
3.8.2 Leme a bombordo.....	37
3.8.3 Leme a boreste.....	37
3.9 Navio de um hélice	38
3.9.1 Manobra de ‘máquinas atrás toda força’, estando em marcha a vante.....	38
3.9.2 Distância percorrida até o navio parar	39
3.9.3 Manobra em águas limitadas	39
3.10 Navio de mais de um hélice.....	40
3.10.1 Efeito dos hélices no governo.....	40
3.10.2 Navio e hélice em marcha a vante	41
3.10.3 Navio e hélice dando marcha à ré.....	41
3.10.4 Navio com seguimento para vante e hélice dando atrás.....	42
3.10.5 Navio com seguimento para ré e hélice dando adiante	42
4 SISTEMAS PROPULSORES	43
4.1 Definição	43
4.2 Vantagens	44
4.3 Voith- Schneider.....	44

4.3.1 Vantagens	44
4.4 Tubo Kort	44
4.5 Propulsores azimutais	45
4.5.1 Z-drive	45
4.5.2 L-drive	46
4.5.3 Vantagens	46
4.6 Twin Propeller (Siemens Schottel).....	46
4.6.1 Vantagens	47
4.7 Tunnel thrusters	47
4.7.1 Vantagens	47
4.8 Propulsores com jato de água	47
4.8.1 Vantagens.....	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
BIBLIOGRAFIA	51

CAPÍTULO 1

LEME

Leme é um acessório destinado ao governo de uma embarcação. Porém, pode atuar, de maneira secundária, na estabilização do movimento retilíneo e ainda contribuir para a redução da velocidade da embarcação.

1.1 Tipos de leme

A maioria das embarcações tem um único leme que se localiza bem junto à popa. Os navios que navegam em lagos e rios podem ter dois lemes: um a vante e outro a ré. Alguns rebocadores e embarcações de desembarque têm um leme por ante-a-vante e outro ante-a-ré do hélice. Os lemes podem ser compensados ou não compensados e, quanto ao suporte, podem ser apoiados e suspensos. Eles podem ser classificados quanto à posição da madre em relação à porta e quanto à sustentação vertical.

1.1.1 Quanto à posição da madre em relação à porta

1.1.2 Leme ordinário

A porta fica por ante-a-ré da madre. (Figura 1 – anexo). O leme ordinário é suportado pelo cadaste, por meio das governaduras e, principalmente, pelo pino mais baixo.

1.1.3 Leme compensado

A parte da porta fica por ante-a-vante da madre (Figura 2 – anexo).

1.1.4 Leme semicompensado

Leme semicompensado é o leme quando a parte por ante-a-vante da madre não se estende em toda a altura da porta (Figura 3 – anexo).

1.1.5 Quanto à sustentação vertical

1.1.5.1 Apoiado

São aqueles em que a madre é sustentada verticalmente, seja por uma base na parte inferior do cadaste, seja por meio de governaduras (Figura 4 – anexo).

1.1.5.2 Leme suspenso

O leme é sustentado unicamente pela parte superior da madre (Figura 5 – anexo). É próprio de embarcações menores, pois são mais leves.

1.2 Lemes comuns

Convencionalmente, os lemes para navios costumam ser maiores em altura do que em comprimento. Vistos de cima, serão ligeiramente mais largos na parte dianteira do que na traseira, semelhantemente ao que ocorre nos lemes Oertz. Atingem, em média, uma deflexão de até trinta e cinco graus para cada bordo. Se a abertura for além desse valor, ocorrerá com o leme o fenômeno conhecido como “estolar” (Figura 6 – anexo). Há, contudo, alguns lemes que conseguem chegar aos quarenta e cinco graus sem estolar. O termo “estolar” normalmente se aplica a asas ou aerofólios e significa que essas peças perderam a sustentação que possuíam. Sem sustentação nas asas, um avião começa a cair. Importado do inglês para a linguagem marinheira, o verbo significa a perda de sustentação no leme, dificuldade em levar a popa para o bordo de manobra, acarretando em ineficácia para governar a embarcação.

1.2.1 Leme Oertz

É leme especial que tem a seção transversal hidrodinâmica (em forma de uma gota d'água) para melhor dirigir a passagem dos filetes líquidos (Figura 7 – anexo). A porta do leme trabalha por ante-a-ré de uma peça fixa que lhe completa a forma hidrodinâmica e serve de cadaste exterior do casco. Foi patenteado em mil novecentos e vinte e cinco pelo engenheiro alemão Oertz.

1.2.2 Contraleme

Leme especial que consta de um arranjo do leme em que a metade de cima da porta é ligeiramente torcida para um bordo e a metade de baixo para outro bordo.

O objetivo desta torção é o endireitamento da corrente espiral que é descarregada pelo hélice; com isto se consegue melhorar o efeito da tração do propulsor e também se aumenta o efeito do leme. O sistema foi patenteado em mil novecentos e vinte pela Star Contra-Propeller (Figura 8 – anexo).

1.2.3 Leme Kitchen

Outro tipo de leme especial. O leme kitchen tem sido aplicado com sucesso nas embarcações pequenas (Figura 9 – anexo). Consiste em duas pás semicirculares, que se movem em torno de um eixo vertical comum, por ação de duas madres concêntricas. Com este leme governa-se, varia-se a velocidade e inverte-se o movimento da embarcação, sem alterar o regime do motor. A variação da velocidade é determinada pelas aberturas das lâminas; quando elas vão se fechando, vai aumentando a resistência oposta à corrente de descarga do hélice. Quando se fecham completamente a embarcação passa a dar atrás. O governo é feito carregando-se o leme para um ou para outro bordo, como nos lemes ordinários.

1.2.4 Leme ativo

O leme ativo é um leme especial que consiste em um motor elétrico pequeno, embutido no leme. Este motor aciona um hélice que guina com o leme, apresentando assim uma força propulsora na direção da guinada.

1.3 Lemes especiais

1.3.1 Leme com flaps

O objetivo dos flaps é gerar uma sustentação extra para os lemes. Eles ficam na extremidade mais a ré e funcionam de modo a gerar uma força a mais para atuar na parte de ré do leme (Figura 10 – anexo). Um dos modelos mais conhecidos é o Becker, que leva o nome da firma fabricante.

O flap pode atingir um ângulo de setenta graus em relação à linha de centro do leme quando este está a meio, sem que haja o risco de estolar, como aconteceria com um leme convencional. A atuação do flap rende um maior acúmulo de água na extremidade mais a ré do leme, gerando uma pressão maior naquela região, contribuindo para manobras mais eficientes.

1.3.2 Lemes com rotor

Alguns lemes possuem um cilindro rotativo em sua extremidade de vante. (Figura 11 – anexo). Isto ajuda a organizar o escoamento em torno do leme, evitando que ele estole. Um dos modelos mais conhecidos é o Jastram, nome da firma fabricante.

1.3.3 Lemes T (T - rudder)

Combina o cilindro rotativo do leme com rotor e o uso de flaps (Figura 12 – anexo).

1.3.4 Lemes enformados

Vistos de cima, os lemes têm o formato de um peixe, isto é, mais largos na parte de vante e estreitando para ré, sendo côncavos no meio (Figura 13 – anexo). Todavia, nas partes superior e inferior são colocadas placas na horizontal, de tal modo que, olhando os lemes por trás, vemos o desenho do número um em algarismos romanos (Figura 14 – anexo).

As placas horizontais ajudam a conter e canalizar o escoamento em torno do leme, evitando que ele se torne excessivamente turbulento.

Desse modo, os lemes podem atingir até setenta graus de deflexão sem estolar. Este tipo de leme também é conhecido pelo nome de Leme Schilling Simples ou MonoVec Schilling.

1.3.5 Lemes cicloidais

Um sistema não convencional que aproveita a ideia do propulsor Voith-Schneider. Existe um disco no fundo da embarcação de onde partem duas lâminas verticais.

Esse disco pode ser posto a girar em torno de um eixo vertical imaginário que passa pelo interior do disco. As lâminas giram ao redor desse eixo, da mesma forma que a Terra executa o movimento de translação em torno do Sol. Além disso, enquanto executam esse movimento de translação, as lâminas também podem modificar o ângulo com que incidem na água, executando uma rotação parcial sobre seu próprio eixo vertical. O leme cicloidal pode atuar de dois modos diferentes: modo passivo e modo ativo. O modo passivo é adequado a altas velocidades (Figura 15 – anexo). Nesse modo, as lâminas são giradas em torno de seu próprio eixo até assumirem um certo ângulo em relação à linha de centro da embarcação. Ficam como se fossem dois lemes defletidos para um certo bordo. A descarga do hélice incide sobre as lâminas e temos a embarcação manobrando. Nesse modo não existe translação e a rotação só dura o tempo de se atingir a deflexão desejada.

O modo ativo é adequado a baixas velocidades (Figura 16 – anexo). Nesse modo, as lâminas executam translação em torno de um ponto no interior do disco, enquanto mantém um determinado ângulo em relação à água. Operando nesse modo, ocorre a geração de uma descarga adicional (além da descarga do propulsor), cuja direção pode ser controlada pelo operador da embarcação, movimentando a popa para esse ou aquele bordo, conforme a sua vontade.

Nesse modo de operação, o leme cicloidal não atua como leme, propriamente; mas, sim, como um propulsor cicloidal, pois gera uma descarga de direção e intensidade controladas pelo operador (a atuação de propulsores cicloidais será estudada mais adiante).

1.3.6 Lemes de flancos

Os lemes de flancos são lemes que se posicionam adiante dos propulsores convencionais (Figura 17 – anexo). São lemes adicionais. Há o leme principal ou lemes principais (a ré do propulsor) e, além desses, existem os lemes de flancos (adiante do propulsor).

1.4 Efeitos do leme

Considere um navio em marcha a vante, leme a meio. Neste caso, o navio está submetido a duas forças opostas:

- a. a resistência oferecida pelo meio líquido; e
- b. a força de propulsão a vante.

Se o navio está em movimento é porque a força de propulsão para avante é maior do que a resistência oferecida pelo meio líquido. Como o casco é simétrico, a resistência à propulsão é igual nos dois bordos, e o navio se movimenta em linha reta.

Estando o navio em movimento, quando se carrega o leme para um dos bordos, a água passa a exercer uma forte pressão sobre o leme. A pressão pode ser decomposta em duas componentes, uma paralela e outra perpendicular à porta. A primeira constitui uma resistência de atrito semelhante à dos filetes líquidos na carena e de pouca importância (pressão de atrito). A segunda, que é chamada de pressão normal, também é composta de outras duas:

- a. uma componente transversal ao casco, empurrando a popa para o bordo contrário àquele para onde foi o leme (isto produz guinada do navio, além de um abatimento para esse bordo); e
- b. uma componente longitudinal ao casco que constitui uma resistência à propulsão do navio.

Portanto, quando se gira o leme para um bordo, com o navio dando adiante, a proa guina para este bordo, a velocidade diminui, e há um ligeiro abatimento do navio para o bordo

oposto. Com o navio dando a ré, o efeito do leme é o contrário ao do navio dando adiante. Quando se gira o leme para um dos bordos, a pressão normal se exerce de ré para vante, sobre a porta do leme, obrigando a popa guinar para o bordo em que girou o leme. Portanto, com o navio dando atrás, a proa guina para o bordo contrário àqueles em que se pôs o leme.

Para a mesma velocidade, a ação evolutiva do leme, com a embarcação em marcha à ré, é muito menor do que na marcha a vante. Os filetes líquidos, depois de contornarem o costado, vão diretamente ao ângulo formado pelo leme e o costado, criando uma reação favorável à evolução. Na marcha à ré, os filetes líquidos contornam a face externa do leme, deixando na face interna uma zona de água mortas, com efeito semelhante ao que seria obtido se o casco fosse fechado entre o leme nesta posição e o costado e, portanto, assimétrico em relação ao plano diametral.

A pressão normal e a amplitude da guinada do navio dependem do ângulo do leme, da velocidade dos filetes líquidos (que varia com a velocidade do navio), da área do leme e da forma da popa. Contudo, a ação evolutiva do leme depende de sua forma, isto é, da relação entre a altura e comprimento da porta. Teoricamente a pressão normal aumenta com o ângulo do leme até quarenta e cinco graus, mas, na prática, verifica-se que isto não acontece. Quando o leme atinge certo ângulo, os filetes líquidos, que corriam suavemente na sua superfície, passam a borbulhar e a pressão normal torna-se irregular. Isto reduz o aumento da ação evolutiva à proporção que o ângulo de borbulho cresce. Nos pequenos giros de leme, os lemes altos e estreitos tem maior efeito de guinada do que lemes baixos e largos da mesma área. Porém, os primeiros borbulham em ângulos moderados, o que limita o emprego de lemes muito altos em relação à largura. Por outro lado, os lemes baixos e largos, que só borbulham em ângulos maiores, geralmente atingem maior efeito evolutivo do que os lemes altos e estreitos, antes de ocorrerem os borbulhos. Por isto e por causa do aumento da resistência à propulsão, e também devido às limitações apresentadas pela forma da popa, o ângulo máximo do leme é geralmente de trinta e cinco graus, raramente chegando a quarenta graus.

Nos navios de guerra, onde a forma da popa exige lemes baixos, eles tem o máximo efeito num ângulo que varia entre trinta e trinta e cinco graus. Os navios mercantes, que não precisam ter as mesmas qualidades evolutivas e cuja forma da popa permite colocar lemes mais altos, tem o ângulo máximo de leme entre vinte e cinco e trinta graus. Entre os navios de mesmo tamanho, os de menor velocidade devem ter maior área do leme, porque a pressão normal varia com o quadrado da velocidade da embarcação. O efeito do leme também é influenciado pela forma da popa, pois esta pode formar redemoinhos e águas mortas,

reduzindo a pressão normal. É o caso dos batelões e certas embarcações de popa quadrada, que tem lemes relativamente grandes.

A forma em V das seções do casco a ré, junto ao cadaste, aumenta a estabilidade de rumo das embarcações. As embarcações com popa desta forma tem menor tendência a cabecear em mar grosso, mas oferecem maior resistência à ação evolutiva do leme. Por isto é que estas seções em V, na popa, desaparecem em certos tipos de navios, como os contratorpedeiros, que tem a popa em balanço.

O centro de pressão do leme fica situado sempre abaixo do centro de gravidade do navio, no início de uma guinada estabelece-se um momento de inclinação do navio (banda) para dentro da curva de giro. Normalmente este ângulo de inclinação é pequeno; com a continuação da guinada vai-se estabelecendo uma força centrífuga, aplicada no centro de gravidade do casco, que não só anula a inclinação inicial do navio para dentro, como estabelece uma inclinação para o bordo contrário. O ângulo máximo desta inclinação é alcançado logo após o primeiro balanço do navio, de dentro para fora da curva, porque o navio se inclina além da posição de equilíbrio estático, devido à sua inércia da massa. Se o leme for trazido a meio nesse instante, é anulado o equilíbrio existente na curva de giro, e isto pode resultar num ângulo perigoso de inclinação para fora. Em uma curva fechada, em alta velocidade, um timoneiro não avisado pode tentar quebrar a guinada, com receio da inclinação para fora, e sua ação resultará justamente no aumento desta inclinação. A única manobra possível é reduzir a velocidade, sem alterar o leme, até que o navio comece a voltar à posição normal. A força centrífuga varia com o quadrado da velocidade, e por isto pode-se avaliar a influência que a redução da velocidade terá nesta manobra.

CAPÍTULO 2

HÉLICE

Muitos são os tipos de propulsão encontrados a bordo das embarcações: propulsão a vela, a remo, a jato, a roda de pás, etc. Dentre os vários propulsores encontrados, o hélice é o tipo mais comum. Posto a girar, promove o deslocamento do fluido em uma direção, lançando-o de frente para trás ou de trás para frente. Como está envolto nesse fluido, a ação que promove ao empurrá-lo corresponde a uma reação. Se o hélice empurra o fluido, o fluido empurra o hélice com a mesma intensidade e sentido contrário. Esse princípio é conhecido como a Lei da Ação e Reação e foi elaborado por Isaac Newton.

A pá do hélice, ao girar, vai empurrando a água no sentido do movimento que executa (de um bordo para o outro), tendendo a fazer com que as moléculas de água se acumulem, umas sobre as outras. As moléculas de água não se deixam comprimir e, ao serem empurradas pela pá do hélice, vão se empurrando umas às outras, pois aumenta a pressão que cada uma faz sobre suas vizinhas. Pressionadas, algumas moléculas vão sendo impelidas para vante ou para ré, gerando um deslocamento de moléculas nessa direção. É o que chamamos de corrente de descarga (as moléculas serão deslocadas para vante ou para ré, dependendo do sentido da rotação do hélice).

Nesse empurra-empurra, as moléculas não apenas se pressionam mutuamente, mas também pressionam a pá do hélice no sentido contrário ao movimento que faz. Como houve a geração de uma corrente de descarga de vante para ré ou de ré para vante, significa que a água foi empurrada nessa direção.

Isso quer dizer que as moléculas são empurradas não somente em direção aos bordos da embarcação (devido ao giro do hélice), mas, também, na direção longitudinal.

Portanto as moléculas exercem pressão longitudinal umas sobre as outras e, sendo assim, concluímos que também exercem pressão longitudinal sobre as pás.

Quando essa pressão longitudinal exercida sobre a pá vence a resistência que a água impõe ao casco da embarcação, acontece que se rompe o equilíbrio longitudinal e a embarcação é acelerada para vante ou para ré, ganhando velocidade.

Conforme a velocidade vai aumentando, a resistência também aumenta, só que numa proporção bem maior. Assim, ao ser atingido certo valor de velocidade, a resistência se iguala à propulsão e a velocidade para de aumentar, passando a ser constante.

2.1 Estrutura do hélice

O hélice compõe-se de:

- a. pá;
- b. face;
- c. dorso;
- d. ponta;
- e. bosso;
- f. aresta de ataque; e
- g. aresta de saída.

Praticamente todos os navios são movidos por meio de hélices, instalados em posição submersa, na popa, com eixo horizontal (Figura 18 – anexo).

2.2 Definições

2.2.1 Superfície helicoidal

É a superfície determinada por uma linha que gira em torno de um eixo, sobre o qual se inclina, avançando ao longo dele sob velocidade constante.

2.2.2 Hélice

É um conjunto do bosso e um determinado número de pás do hélice (geralmente duas, três ou quatro), espaçadas em ângulos iguais em torno do eixo (Figura 19 – anexo).

Olhando-se para um hélice na direção de ré para a vante, diz-se que este é direito ou esquerdo, de acordo com a pá de cima que desloca para a direita ou para a esquerda, em marcha a vante.

2.2.3 Pá do hélice

É uma peça em forma de pá. Tendo por superfície uma porção de superfície helicoidal.

2.2.4 Bosso do hélice

É uma peça de forma geralmente troncônica, que sustenta as pás do hélice e se liga ao eixo de rotação.

2.2.5 Aresta de ataque

É a aresta que corta primeiro a água, na marcha a vante.

2.2.6 Aresta de saída

É a aresta oposta à de ataque.

2.2.7 Face

É a superfície de propulsão da pá do hélice na marcha a vante, isto é, superfície de ré da pá.

2.2.8 Dorso

É a superfície oposta à face.

2.2.9 Ponta

É o ponto da pá mais afastado do eixo.

2.2.10 Diâmetro do hélice

É o diâmetro da circunferência gerada pelas pontas das pás. Os hélices de maior velocidade caracterizam-se pelo menor diâmetro.

2.3 Passo

É o avanço ao longo do eixo durante uma rotação, se, como um parafuso, o hélice, trabalhasse numa porca. A face da pá pode ter o mesmo passo em cada ponto, ou o passo pode variar de diferentes modos.

O hélice tem passo constante quando este é o mesmo em qualquer ponto da face da pá. Se o passo aumenta de aresta de ataque para aresta de saída, é chamado passo aumentando axialmente. Se diminui do bossô para a ponta das pás, é chamado passo diminuindo radialmente. O passo pode variar axialmente e radialmente ao mesmo tempo. Neste caso, usa-se nos cálculos o passo médio de uma pá.

O passo que se considera é o passo da face. O dorso tem um passo diferente em cada ponto, devido aos métodos usuais de construção em que se coloca nessa superfície o metal necessário para dar resistência à pá. Assim, na maioria dos cálculos de hélice, não se leva em conta o passo do dorso.

Os hélices de passo variável, atualmente, são muito empregados.

2.4 Cálculo do passo

O Passo é uma distância, enquanto o ângulo de passo, como o próprio nome já diz, é um ângulo. O primeiro é medido em metros ou pés e o segundo é medido em graus. Para medir o passo de um hélice, deveríamos pô-lo a girar e medir a distância percorrida para uma rotação. Contudo, isso não seria possível, porque se o engatarmos em um eixo de navio, a resistência que a água oferecerá ao casco para avançar interferirá no resultado.

A distância longitudinal percorrida para uma rotação dependerá da massa e das dimensões do navio. Também dependerá da densidade do fluido – o ar, por exemplo, é muito menos denso do que a água. Logicamente, a pressão das moléculas de ar sobre a pá não seria a mesma que a pressão das moléculas de água sobre a pá.

O valor do passo do hélice no ar, definido como distância longitudinal percorrida para uma única volta, seria diferente do valor do passo do hélice na água. Logo, o passo do hélice não pode ser medido de maneira isenta livre de interferências.

2.5 Avanço

É o avanço real do propulsor, em uma rotação, para certas condições de operação.

Avanço aparente é o avanço medido em relação a águas tranquilas externas à água em que o hélice está trabalhando, isto é, o avanço em relação ao fundo do mar.

Avanço real é o avanço medido em relação à porção da água na popa do navio, onde o hélice está trabalhando; esta água, devido ao movimento do navio, tem um movimento para vante em relação às águas tranquilas que lhe são externas. Como os hélices são desenhados para as condições da água em que realmente vão trabalhar, é o avanço real que se emprega em todas as fórmulas dos cálculos para hélices.

O avanço varia com as condições de operação e não é propriamente um dado do propulsor.

$$\frac{\text{Velocidade do hélice} - \text{velocidade do avanço}}{\text{velocidade do hélice}} = \text{coeficiente do recuo}$$

Se a velocidade do avanço usado é a velocidade de avanço do navio, isto é, a velocidade sobre o fundo do mar tranquilo, a relação é chamada de coeficiente do recuo real. Este coeficiente é o que se emprega geralmente nos cálculos dos hélices.

Obtém-se o máximo rendimento com o coeficiente do recuo real igual a vinte por cento; o rendimento diminui pouco até trinta por cento; em geral ele não deve ser menor que quinze por cento.

2.6 Posição dos hélices

Os hélices devem, de preferência, ser colocados a ré. Deve-se ter o hélice tão submerso quanto o possível, a fim de diminuir a possibilidade de ele disparar, isto é, as pás girarem fora d'água com o mar de vagas. Isto ocorre com o navio em deslocamento leve.

A folga entre o tope da pá e o casco do navio é de cerca de doze polegadas (30,5 centímetros) para navios de um só propulsor.

Nos navios de dois ou quatro propulsores procura-se aumentar a folga para cerca de trinta polegadas. Uma folga menor entre topes das pás e o casco resultará em vibrações na popa.

É aconselhável que os topes dos propulsores não se projetem abaixo da linha de base, nem para fora da boca da seção transversal, onde eles estão localizados. Nos navios mercantes é geralmente possível isto. Nos cruzadores e nos contratorpedeiros nem sempre se consegue tal coisa. Os hélices estão mais sujeitos a avarias em caso de encalhe e a pancadas no cais, e tornam as docagens e atracações mais perigosas.

A distância dos hélices laterais ao plano diametral do navio não influi na eficiência, mas um afastamento excessivo é ruim para o leme.

Nos navios de três hélices, os propulsores laterais ficam usualmente por ante-a-vante do hélice central, para que este fique safo da ação daqueles. Nos navios de quatro hélices, os dois propulsores externos ficam a vante e acima dos dois internos.

2.7 Hélice de passo controlável

Este tipo de hélice facilita a manobra do navio, tornando-a bem mais rápida. Este sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. Pode ser utilizado em qualquer tipo de embarcação. Tem ao seu favor o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com baixo custo de manutenção.

O passo é controlado por um mecanismo hidráulico dentro do cubo e não tem necessidade de caixas inversoras. O impulso é controlado pelo passo do hélice, fazendo com que o navio possa navegar com sua velocidade mais eficiente.

2.8 Passo constante X passo variável

Um hélice de passo constante possui ângulo de passo constante ao longo de toda a superfície a pá. A pá é reta e ocupa um só plano. Um hélice de passo variável possui ângulo de passo que varia ao longo da superfície da pá. A pá é curva. A curvatura pode ser ao longo do eixo da pá (axial) ou ao longo do seu raio (radial). O objetivo do hélice de passo variável ao torcer as pás é acumular mais água, aumentando a pressão de contato e, logicamente, a sustentação sobre elas.

A concavidade na face (lado de ré) da pá favorece o acúmulo de água nessa região e, conseqüentemente, a descarga para ré. Assim, aumenta a eficiência da máquina adiante. Todavia, com máquina atrás, a pá recebe a água pelo dorso (lado de vante), que é convexo.

Há um prejuízo na eficiência da ação. Somando prós e contras, como as embarcações movem-se para vante a maior parte do tempo, torna-se interessante possuir as pás do propulsor com a concavidade na face (lado de ré da pá), ou seja, com ângulo de passo variável.

O hélice de passo variável tem as pás torcidas para favorecer o regime de máquina adiante. Esta torção prejudica o regime de máquinas atrás. Entretanto, como os navios movem-se para vante a maior parte do tempo, é vantagem as embarcações possuírem hélices de passo variável.

2.9 Passo fixo X passo controlável

Um hélice de passo fixo será um hélice com ângulo de passo fixo e um hélice de passo controlável será um hélice com ângulo de passo controlável. A grande maioria das embarcações possui hélices de passo fixo, isto é, hélices em que não se consegue mudar o ângulo de passo, conforme a vontade do controlador. Há, no entanto, uma minoria para a qual isso já é possível. Para se conseguir mudar o ângulo de passo é necessário haver um mecanismo no interior do bossô do hélice, que consiga fazer girar as pás de maneira sincronizada, modificando o ângulo de passo. As pás de um hélice de passo controlável normalmente se ligam ao bossô por meio de grandes parafusos, pois podem ser retiradas para darem acesso ao mecanismo de engrenagens no interior do bossô e permitirem manutenção.

Os hélices de passo fixo, uma vez que não existe a pretensão de modificar o ângulo de passo, o hélice costuma ser fundido em uma peça única.

2.10 Hélice direito X hélice esquerdo

Hélice direito é aquele cujas faces de suas pás são vistas girando no sentido horário quando a máquina está adiante (Figura 20 – anexo). Hélice esquerdo é aquele cujas faces de suas pás são vistas girando no sentido anti-horário quando a máquina está adiante (Figura 20 – anexo). Um hélice gira em um sentido e o outro gira no sentido oposto.

Para que ambos consigam descarregar para ré, é necessário que tenham ângulos de passo diferentes. Portanto, o hélice é esquerdo ou direito, conforme o ângulo de passo que apresenta quando a máquina está adiante e essa característica é irreversível.

Se for invertido o sentido da rotação, a descarga irá para vante, isto é, teremos máquina atrás. Contudo, a definição de hélice esquerdo ou direito está atrelada à máquina adiante. É o sentido do giro com máquina adiante que diz se o hélice é direito ou esquerdo, para um observador olhando de ré para vante.

CAPÍTULO 3

GOVERNO DOS NAVIOS

Manobrar um navio é uma arte e só se consegue manobrar bem à custa de muita prática no mar.

Algumas considerações teóricas e regras práticas serão apresentadas estabelecendo certos princípios que auxiliam a compreender a ação evolutiva dos navios em geral. Estes princípios devem ser empregados com o devido resguardo, não podendo ser generalizados, ou aplicados imediatamente a qualquer embarcação, ou ao mesmo navio, em situações diferentes, pois há sempre uma situação particular em cada manobra, dependendo do navio, do estado do tempo e do local.

Os seguintes fatores têm influência no governo de um navio:

- a. efeito do leme;
- b. efeitos do propulsor;
- c. corrente de esteira;
- d. condições de mar e vento;
- e. calado e compasso;
- f. pouca profundidade; e
- g. pequena largura de um canal.

O navio considerado não tem forma especial, está em sua flutuação normal, tem o leme de forma ordinária situado por ante-a-ré do hélice. Esta flutuação ocorre em mar tranquilo, de fundo regular, sem vento nem correnteza.

A bordo, nenhum dos fatores pode ser esquecido, como vento e a corrente, que se tornam preponderantes nas velocidades moderadas em que o navio em geral evolui.

Devem-se considerar os seguintes fatores:

- a. o navio (qualidade atuais de manobra);
- b. a situação que se apresenta (lugar, espaço disponível, maré, corrente, vento, etc.); e
- c. a manobra que pretende realizar.

Será admitido que os navios de um hélice com o passo direito, o mais usado, invertendo-se os resultados pode-se estudar a ação do hélice de passo esquerdo.

3.1 Efeitos do hélice propulsor

Num navio de um só propulsor, o movimento do hélice no meio líquido, que dá origem a correntes, determina o seguinte: quando gira, o hélice põe em movimento a porção de água em que está imerso, originando uma corrente de descarga, que é lançada axialmente para trás, através das pás. No lugar desta massa líquida vão afluindo novas massas de água, estabelecendo-se uma corrente de sucção.

Esta última tem a direção sensivelmente paralela ao eixo do hélice, enquanto que a corrente de descarga participa do movimento rotativo das pás, tomando uma direção diagonal à quilha. Estas correntes são dirigidas para ré, com o hélice dando adiante, e para vante, com o hélice dando atrás.

3.1.1 Hélice dando adiante

Na marcha a vante a corrente de sucção não tem efeito no governo do navio, pois é paralela ao eixo (Figura 21 – anexo).

A corrente de descarga é lançada sobre o leme, produzindo um esforço que tende a levar a popa para um bordo, se ele está a meio, ou aumenta o efeito do leme, se ele tem qualquer ângulo.

Estando o leme a meio, há dois efeitos opostos. As pás do hélice que estiverem no alto movem-se de bombordo para boreste (hélice de passo direito), lançando a água sobre a face esquerda do leme; as pás embaixo movem-se em sentido contrário, jogando a água sobre a face direita do leme.

Em geral prepondera o efeito das pás de baixo, isto é, na marcha a vante, estando o leme a meio, a popa tende a cair para bombordo, principalmente quando o navio está em lastro (com pouca carga, o hélice aflora na superfície).

3.1.2 Hélice dando atrás

A corrente de sucção não tem qualquer efeito no governo do navio se o leme estiver a meio, pois corre paralelamente a ele (Figura 22 – anexo). Com o leme para um bordo, a corrente de sucção, dirigindo-se de ré para vante sobre o leme, tem grande ação evolutiva, aumentando o efeito dele.

A corrente de descarga, na marcha à ré, é dirigida contra a popa e, como ela participa do movimento rotatório do hélice, o efeito das pás que estão no alto é fazer cair a popa para bombordo, e o das pás embaixo é o contrário (Figura 23 – anexo).

Em geral a popa tem a forma muito cheia em cima e fina embaixo (popa em V), preponderando o efeito das pás mais altas, pois a água lançada pelas pás inferiores passa por baixo da quilha. Portanto, na marcha à ré, com o leme a meio, a popa tende a cair para bombordo. Este efeito é aumentado pela pressão lateral das pás.

3.2 Pressão lateral das pás

A rotação do hélice origina na água reações no sentido transversal, podendo-se distinguir as reações causadas pelas pás no alto das reações causadas pelas pás que estão embaixo, porque elas se exercem em sentidos opostos. Como as pás inferiores giram em maior profundidade (sob pressão maior), exercem maior esforço na água e, por isso, na marcha a vante, nos navios de um só hélice (de passo direito), a tendência é ser a popa empurrada para boreste; na marcha à ré, o efeito é o inverso.

Contudo, o efeito da pressão lateral não tem importância na prática, a não ser quando as pás no alto ficam emersas (navio em lastro), ou quando essas pás agitam a superfície da água nos primeiros momentos ao se pôr em marcha o navio.

3.3 Corrente de esteira

Quando o navio está em movimento, arrasta consigo certa massa de água, em virtude do atrito da carena na água, originando-se uma corrente chamada corrente da esteira.

Ela depende da área de flutuação e, portanto, atinge seu máximo volume e velocidade máxima na linha-d'água no navio, decrescendo até a quilha, onde é praticamente nula.

É muito difícil calcular o valor exato da velocidade desta água arrastada, mas alguns autores avaliam em 1/10 da velocidade do navio.

Na marcha a vante a corrente da esteira origina-se na popa; ela reduz a velocidade dos filetes líquidos resultantes do movimento do navio, diminuindo o efeito do leme.

Como é maior nas proximidades da linha-d'água do navio, ela aumenta a pressão sobre as pás superiores do hélice. Por isso é que o efeito da pressão lateral das pás não é sensível com o navio em movimento e o hélice bem mergulhado.

Uma tabela apresentará um resumo dos efeitos do propulsor no governo dos de um só hélice (de passo direito) (Figura 24 – anexo).

3.4 Ação conjunta do leme e do hélice

A seguir será mostrada a ação conjunta do leme e do hélice no governo do navio, sem levar em conta outras influências externas, como vento e corrente. Como estas considerações têm caráter geral, é indispensável que sejam feitas experiências em cada navio, para determinar a ação evolutiva nas diferentes situações.

São os quatro casos:

- a. navio e hélice com marcha a vante;
- b. navio e hélice com marcha à ré;
- c. navio com seguimento para vante e hélice dando atrás; e
- d. navio com seguimento para ré e hélice dando adiante.

3.5 Navio e hélice em marcha a vante

Neste caso a ação do leme tem a maior importância e pode-se dizer que os efeitos do propulsor não têm ação sensível no governo do navio, exceto em certas situações.

3.5.1 Leme a meio

Partindo do repouso, com o leme a meio, ao dar o navio adiante, a proa tende a guinar para bombordo, por causa da pressão lateral das pás.

À medida que aumenta a velocidade esta tendência desaparece gradualmente (devido à corrente da esteira), e a meia velocidade pode-se admitir que o hélice não tem efeito evolutivo algum. Contudo, parece que alguns navios adquirem, nas altas velocidades, ligeira tendência para guinar para boreste.

3.5.2 Leme para um dos bordos

Suponhamos que se carrega (total ou parcialmente) o leme para um dos bordos, estando o navio parado.

Quando se der adiante, a corrente de descarga (do hélice) incidirá sobre a porta do leme, com uma força bem maior que a da pressão lateral das pás, e a proa guinará para o bordo em que foi carregado o leme.

Esta guinada se dá mais facilmente para bombordo do que para boreste, porque o efeito da pressão lateral se soma à ação da corrente de descarga sobre o leme. À medida que o navio adquire seguimento, o efeito do leme devido ao movimento do navio gradualmente se sobrepõe aos efeitos do propulsor e o governo dependerá inteiramente da ação do leme.

O efeito da corrente de descarga pode ser aproveitado quando se manobra em um canal, ou, quando partindo do repouso, quer-se levar a proa para barlavento antes que o navio adquira velocidade. Esta manobra é difícil com vento fresco, mas pode ser tentada se primeiramente o leme for carregado para um dos bordos (se possível para bombordo) e logo a seguir o hélice der adiante toda força. Com isto se obtém o máximo efeito da corrente de descarga sobre o leme.

3.6 Navio e hélice em marcha à ré

A ação do leme é muito menor na marcha à ré do que na mancha a vante. Por isso, torna-se mais importante a influência do hélice no governo do navio.

Como a corrente da esteira passa a se formar na proa, ela não exerce qualquer influência no governo.

O navio fica submetido às seguintes ações:

- a. ação do leme, que tende a levar a popa para o bordo em que foi carregado;
- b. a corrente de sucção, que se soma ao efeito do leme;
- c. a corrente de descarga, que vai sempre incidir sobre a carena, na popa, a boreste; e

- d. a pressão lateral das pás, que tende a levar a popa para bombordo, na marcha à ré (Figura 25 – anexo).

Convém lembrar que, na marcha à ré, o efeito do leme depende muito da velocidade do navio, podendo-se distinguir duas situações bem distintas:

- a. a ação do leme é quase nula quando o navio começa a dar atrás, partindo do repouso, ou nas velocidades moderadas; e
- b. a ação do leme só se faz sentir quando o navio tem muita velocidade para ré.

3.6.1 Leme a meio

A popa vai lentamente para bombordo (e, portanto, a proa guina para boreste), no início do movimento e com qualquer seguimento do navio para ré. Isto, porque a pressão lateral das pás se soma ao efeito da corrente de descarga, que incide contra a carena a boreste.

3.6.2 Leme a boreste

A popa tende a ir para bombordo por influência da pressão lateral das pás e da corrente de descarga, e para boreste pela ação da corrente de sucção, a esta se somando o efeito do leme, quando o navio tem bom seguimento para ré. Geralmente predominam as duas primeiras ações, isto é, a popa vai para bombordo (e a proa guina para boreste).

O efeito do leme aumenta com a velocidade do navio; porém, ainda que ele seja todo carregado para boreste, a popa vai para bombordo, a não ser que seja grande a velocidade a ré, ou que se pare repentinamente a máquina (para anular a corrente de descarga e a pressão lateral).

3.6.3 Leme a bombordo

A popa vai para bombordo, muito lentamente no início do movimento, por efeito da pressão lateral das pás, da corrente de descarga na popa e da corrente de sucção sobre a face posterior do leme. Quando o navio tem boa velocidade para ré, a ação do leme se soma a essas forças, levando a popa mais rapidamente para bombordo.

3.7 Navio com seguimento para vante e hélice dando atrás

Neste caso, as forças que intervêm no governo do navio são:

- a. a ação do leme, que, em todas as situações de seguimento para vante, tende a fazer guinar a popa para o bordo oposto àquele para que foi carregado;
- b. a corrente de sucção, que neste caso contraria a ação do leme, ou não tem efeito algum, se o leme estiver a meio;
- c. a corrente de descarga, que incide na popa, a boreste; e
- d. a pressão lateral das pás que, como a anterior, leva a popa para bombordo.

Temos, então, diversas forças que se opõem entre si, sem que se possa afirmar teoricamente qual delas prepondera em dado instante no governo do navio.

Contudo, como as duas últimas fazem a popa ir para bombordo, é lógico admitir que haja certa tendência do navio a guinar a proa para boreste.

3.7.1 Leme a meio

A proa guina lentamente para boreste, por efeito da pressão lateral das pás e da corrente de descarga. Esta guinada não se inicia imediatamente, porque tendo o navio grande velocidade para vante, a pressão lateral sofre a influência da corrente da esteira.

3.7.2 Leme a bombordo

A proa tende a guinar para bombordo por ação do leme e para boreste por efeito da pressão lateral das pás, da corrente de descarga a boreste na popa e da corrente de sucção na face posterior do leme.

Sendo grande a velocidade do navio, predominará a ação do leme no início da manobra. Mas esta preponderância terá pouca duração porque o navio perde seguimento rapidamente e a proa guinará para boreste. Portanto, o navio segue para boreste do rumo inicial antes de parar.

3.7.3 Leme a boreste

A proa tende a guinar para boreste, por ação do leme, da pressão lateral das pás e da corrente de descarga, mas a corrente de sucção tem o efeito contrário. Com a perda de velocidade do navio, diminui a ação do leme, ao mesmo tempo em que aumenta o efeito da corrente de sucção. Portanto, a proa guina a princípio para boreste, mas a amplitude desta guinada vai diminuindo e o navio se mantém a caminho, ou guina, em seguida, um pouco para bombordo, antes de perder o seguimento para vante.

Observa-se que há preponderância dos efeitos do hélice sobre os do leme. Quanto menor for a velocidade do navio na marcha a vante e maior a velocidade do hélice ao inverter a marcha, estes efeitos se apresentarão em maior grau. É o caso, por exemplo, em que se navega em cerração ou em águas reduzidas ou muito frequentadas, sem desenvolver grande velocidade na marcha a vante, mas podendo dar atrás com a máxima força, em caso de emergência.

No caso inverso, em que o navio estando a toda força adiante inverte a marcha com o hélice a meia força, ele continuará obedecendo ao leme por algum tempo, isto é, se for posto o leme a boreste, a proa guinará para boreste, apesar do efeito contrário do hélice. Como o comportamento do navio está sujeito à diferença entre os efeitos do leme, devidos à velocidade do navio para vante, e das correntes geradas pelo hélice em marcha a ré, pode haver muitos casos em que as condições de equilíbrio entre tais efeitos sejam diferentes das que expusemos. Assim sendo, devem ser feitas experiências em cada navio, para ver como ele se comporta nesta manobra. Em qualquer caso, porém, deve-se ter em conta que um navio dando adiante, invertendo a marcha a toda a força, só continua a obedecer ao leme por tempo limitado.

A ocasião exata em que se carrega o leme tem muita importância neste caso. Pondo-se o leme para qualquer bordo antes de inverter a marcha, a proa começará logo a guinar, obedecendo ao leme, e a ação do hélice não mais poderá se sobrepor a ele, pois o navio provavelmente já adquiriu grande velocidade angular para aquele bordo. Se, ao contrário, o leme for carregado depois de inverter a marcha, o efeito do hélice será mais acentuado.

Em condições normais, é possível, portanto, fazer o navio guinar para o bordo desejado durante a manobra de inverter rapidamente a marcha, eliminando-se assim o efeito do hélice, que independe do movimento do navio: basta pôr o leme para esse bordo antes de inverter a marcha.

Para guinar a boreste (ou a bombordo), para-se a máquina e carrega-se o leme a boreste (ou a bombordo); logo que o navio começar a obedecer ao leme, inverte-se a marcha a toda a força (para bombordo deixa-se guinar um pouco mais, pois o navio vai mais facilmente para boreste do que para bombordo) e em seguida quebra-se a guinada pondo o leme a bombordo (ou a boreste).

3.8 Navio com seguimento para ré e hélice dando adiante

Estando o hélice em marcha a vante, a corrente de sucção não tem efeito no governo do navio. Este depende de três forças:

- (1) a ação do leme, que tende a levar a popa para o bordo em que foi carregado;
- (2) a pressão lateral das pás, que atua de modo a levar a popa para boreste; e
- (3) a corrente de descarga, do hélice, que contraria a ação do leme.

3.8.1 Leme a meio

A popa teoricamente vai para boreste por causa da pressão lateral do hélice, única força que atua neste caso. Mas, na prática, é impossível generalizar, prevendo para onde guinará o navio, porque a pressão lateral tem efeito reduzido.

3.8.2 Leme a bombordo

A popa tende a ir para boreste por influência da pressão lateral das pás e da corrente de descarga sobre a porta do leme e para bombordo pela ação do leme na marcha a ré. Em geral, predominam as duas primeiras forças, a não ser que o navio tenha muito seguimento para ré, quando o efeito do leme será maior. Portanto, comumente, a popa vai para boreste.

3.8.3 Leme a boreste

A popa tende a ir para boreste por ação do leme e da pressão lateral das pás e para bombordo por efeito da corrente de descarga sobre a porta do leme. Com a máquina a toda

força adiante, a corrente de descarga do hélice provavelmente será maior que as outras duas e a popa vai para bombordo. Se a máquina estiver adiante devagar, é possível que a popa se mantenha a caminho, ou caia a boreste.

Na manobra dos navios de um hélice, o leme deve ser colocado de acordo com o que o hélice está fazendo e não com o sentido do movimento do navio na água.

3.9 Navio de um hélice

3.9.1 Manobra de “máquinas atrás toda força”, estando em marcha a vante

Esta manobra é empregada para os seguintes fins:

- a. em caso de emergência, para evitar abalroamento com outro navio ou com um obstáculo qualquer; e
- b. ao tomar uma boia, fundear, ou atracar, para fazer o navio perder seguimento ou parar no ponto que se deseja.

Nesta manobra, no estudo do efeito conjunto do leme e hélice, é muito importante considerar o momento exato em que o hélice começou a girar em sentido contrário e o leme foi carregado.

Depois de dada a voz de manobra, até a execução, decorre um intervalo de tempo (pequena fração de um minuto), que depende do tipo de propulsor, do passo do hélice, da instalação de governo, e da velocidade do navio.

Esse intervalo é ligeiramente maior nos navios a turbinas, pois se deve parar primeiro a turbina de marcha a vante e ligar em seguida a de marcha à ré.

A experiência mostra que, num navio ordinário a vapor, de um hélice (de passo direito), navegando em velocidade normal, com o leme a meio, depois que o hélice começa a girar em sentido contrário, o navio abate para bombordo do rumo inicial e a proa cai de dez a vinte graus para boreste. Pouco antes de se extinguir o seguimento do navio a proa cairá mais rapidamente para boreste.

3.9.2 Distância percorrida até o navio parar

O espaço percorrido será menor se o leme for carregado para um dos bordos (de preferência a boreste), do que se mantendo o leme a meio.

Assim, se quiser parar o navio o mais depressa possível, dá-se “máquina atrás toda força”, e põe-se o leme “todo a boreste”. Logo que hélice comece a girar em sentido contrário, inverte-se o leme para bombordo.

Contudo, como o navio guinará para boreste nesta manobra, é preciso verificar se há espaço para isto, em caso de emergência. Admite-se que o navio guinará a noventa graus para boreste, percorrendo cerca de quatro vezes seu comprimento até parar.

3.9.3 Manobra em águas limitadas

Num canal, por exemplo, a manobra de um navio de um hélice em águas limitadas, é um pouco difícil, tornando-se muitas vezes demorada. Contudo, ela será facilitada aplicando-se inteligentemente a ação combinada do leme e do hélice, de acordo com os princípios que regem a influência do hélice no governo do navio, como exposto anteriormente.

Suponhamos o navio parado, em águas tranquilas:

- a. carrega-se todo o leme a boreste e logo em seguida dá-se adiante com a máquina (a corrente de descarga do hélice age sobre a porta do leme). A proa vai para boreste, cada vez mais rapidamente;
- b. dá-se atrás a toda força e, simultaneamente, carrega-se o leme dez a quinze graus para bombordo (a ação do hélice se soma à do leme, no sentido de rabejar a popa para bombordo);
- c. o navio perde o seguimento para vante e começa a vir a ré, com a popa rabeando para bombordo. Para-se então a máquina e carrega-se o leme todo a bombordo. Procura-se assim ganhar o máximo possível a ré;
- d. dá-se adiante toda força e, ao mesmo tempo, inverte-se o leme para boreste;
- e. o navio perde o seguimento para ré e começa a navegar adiante guinando mais rapidamente para boreste;
- f. se ainda for necessário, repetem-se as manobras até o navio atingir o rumo desejado; e
- g. se não for possível iniciar a manobra dando adiante, começa-se pelo segundo item (atrás toda força, com o leme a bombordo).

3.10 Navio de mais de um hélice

3.10.1 Efeito dos hélices no governo

Os dois hélices ficam situados de um lado e do outro do plano longitudinal do navio. Em geral, giram de dentro para fora, isto é, o de boreste é de passo direito e o de bombordo é de passo esquerdo.

Admite-se que, neste sistema, a ação do leme é um pouco maior do que no caso dos hélices girarem em sentido inverso, de fora para dentro. Os navios de dois hélices têm as seguintes vantagens sobre os navios de um hélice, sob o ponto de vista evolutivo

- a. os efeitos dos hélices no governo do navio se anulam na maioria dos casos e o navio fica somente sob a ação do leme; e
- b. pode-se estabelecer um conjugado de rotação, que será maior ou menor, dependendo da distância dos eixos ao plano longitudinal do navio e do comprimento deste; será menor nos navios compridos e finos e maior nos navios de grande boca.

A desvantagem principal dos navios de dois hélices é que os pés-de-galinha dos eixos representam uma resistência à propulsão, que é mais sensível nos navios de alta velocidade e na navegação imersa dos submarinos.

Sob o ponto de vista de manobra, os navios de dois hélices exigem maiores cuidados na atracação, pois as extremidades das pás ficam muito afastadas do costado.

As pressões laterais dos hélices não têm influência no governo do navio, mesmo que girem em velocidades diferentes, pois os hélices têm diâmetro relativamente pequeno e, por isso, as pás superiores e as inferiores trabalham praticamente sob mesma pressão de água.

As correntes de descarga e de sucção também não têm influência, estando o leme a meio e as máquinas no mesmo regime de funcionamento.

As correntes de descarga, além de produzirem efeitos opostos, não têm importância quando atuam nas faces laterais da popa, em virtude de serem os hélices afastados da linha de centro do navio. As correntes de descarga e de sucção só têm alguma influência sobre o leme no bordo para que ele fosse carregado, e assim mesmo para auxiliar a ação evolutiva dele.

Assim, com o navio em marcha a vante e o leme para um bordo, a corrente de descarga do hélice desse bordo atuará na porta do leme, facilitando a guinada.

Do mesmo modo, na marcha à ré, com o leme para qualquer bordo, a corrente de sucção do hélice desse bordo agirá na face posterior do leme, auxiliando o efeito deste.

3.10.2 Navio e hélice em marcha a vante

O governo dependerá exclusivamente do leme, exceto se houver influências externas de mar e vento.

Com o leme a meio, o navio seguirá em linha reta. Com o leme carregado para um bordo, a proa guinará rapidamente para esse bordo e a ação do leme será auxiliada pela corrente de descarga do hélice do bordo para o qual ele foi carregado.

O poder evolutivo é igual para ambos os bordos nos navios de dois hélices.

Entretanto, por causas que não são bem explicadas, alguns navios de dois hélices giram mais facilmente para um bordo do que para o outro. Esta tendência, que varia muito de um navio para outro, depende de diversos fatores, inclusive do compasso do navio, e é menor que nos navios de um hélice; ela não se faz notar, a não ser quando o navio gira num círculo completo ou quando os navios de guerra navegam em formatura evoluindo a mais de cento e oitenta graus. Se um dos hélices parar ou diminuir o número de rotações, a proa guinará para o bordo correspondente; neste caso, agirão duas forças: a pressão lateral das pás e o conjugado de rotação do outro hélice. Entretanto, mesmo com um hélice parado, o rumo poderá ser mantido com um pequeno ângulo do leme (cinco a dez graus) para o bordo oposto.

Inversamente, se houver uma avaria no leme, pode-se governar o navio com a conveniente variação de velocidade no hélice de um ou outro bordo. Nestas condições, o melhor é manter uma das máquinas em regime de rotação fixo, abaixo da velocidade máxima, e variar o número de rotação da outra máquina como for necessário.

3.10.3 Navio e hélice dando marcha à ré

O governo dependerá do leme, como no caso anterior, se os hélices girarem no mesmo regime e não houver influências externas de mar e vento.

Contudo, a ação do leme é menor que na marcha a vante. Com o leme a meio, o navio deve dar atrás em linha reta. Com o leme para um dos bordos, a popa irá para este bordo e, portanto, a proa guinará para o bordo oposto. A corrente de sucção auxilia o efeito do leme agindo na face posterior dele. A ação evolutiva é igual para ambos os bordos.

Com o leme a meio, se o hélice de um bordo parar, a popa irá para este bordo, por causa da pressão lateral, da corrente de descarga e do conjugado de rotação do outro hélice.

Pode-se compensar esta guinada pondo o leme para o bordo oposto; a ação do leme será, então, aumentada pela corrente de sucção do hélice em movimento.

3.10.4 Navio com seguimento para vante e hélice dando atrás

Estando o leme a meio e não havendo influência de mar e vento, o navio seguirá em linha reta, percorrendo uma distância de três a seis vezes o seu comprimento, até parar e adquirir seguimento para ré.

Uma boa indicação de que o navio está parado é que o remoinho causado pelos hélices vai aproximadamente até meia-nau. Carregando-se o leme para um bordo, no momento, ou depois de inverter a marcha dos hélices, a proa guinará para este bordo lentamente. Contudo, a ação do leme diminui muito à medida que o navio perde o seguimento para vante, pois a corrente de sucção do hélice se opõe ao leme.

Para aumentar a guinada, o leme deve ser carregado antes que as máquinas girem em sentido inverso. Se o navio estiver dando atrás somente com uma das máquinas, a popa tende a guinar para o bordo do hélice parado, por efeito da corrente de descarga, da pressão lateral e do conjugado de rotação do hélice em movimento.

3.10.5 Navio com seguimento para ré e hélice dando adiante

Se o leme for carregado para um bordo, antes da inversão da marcha dos hélices, a popa será levada para esse bordo. Depois da inversão da marcha a corrente de descarga dos hélices, agindo sobre a porta do leme, anulará o efeito dele.

Por isso, enquanto houver seguimento para ré, com hélices adiante, o leme não governa e se torna prejudicial, sendo melhor que fique a meio. Nesse caso, pode-se governar o navio alterando o regime de rotação de uma das máquinas. Se somente um dos hélices estiver dando adiante e o outro parado, a popa tende a guinar para o bordo do hélice em movimento, por causa da pressão lateral das pás e do conjugado de rotação deste.

CAPÍTULO 4

SISTEMAS PROPULSORES

Depois da segunda guerra mundial, os rebocadores de alto mar foram construídos com um arranjo de propulsão similar aos de propulsão elétrica, porque tinha a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor. O que é muito importante no manejo de grandes navios e em situações de reboque e salvamento.

Na década de setenta começaram a surgir soluções para auxiliar as embarcações de apoio marítimo no seu fim as junto às plataformas. Em meio a essas soluções veio o posicionamento dinâmico onde um processador digital recebe informações de uma referência, como o Sistema Global de Posicionamento ou outra referência na plataforma e ainda, informações da agulha giroscópica e do anemômetro da embarcação.

Este sistema mantém a embarcação no ponto determinado pelo operador, acionando hélices transversais e azimutais e usando como referência, informações do Sistema de Posicionamento Global, além de um ponto fixo de referência e instrumentos de indicação de movimento do navio. O Sistema DP começou a se desenvolver em meados da década de 70 e se mostra de grande importância, devido à responsabilidade de manter em segurança as embarcações durante as operações.

4.1 Definição

O sistema propulsor é um conjunto de meios e sistemas tecnológicos do navio, projetado convenientemente em função do tipo do navio, para vencer satisfatoriamente os efeitos das pressões dinâmicas da água e das condições atmosféricas adversas ao avanço do navio. Estes sistemas podem ser operados em serviço de propulsão manual, semi-automático ou automático.

4.2 Vantagens

Proporciona alta manobrabilidade e resultando em maior segurança, evitando acidentes como encalhamento de navios e até mesmo colisão de embarcações de apoio marítimo com plataformas.

4.3 Voith-Schneider

Voith-Schneider Propeller é um propulsor que dispensa o leme além de proporcionar imediata resposta ao comando. É simultaneamente um sistema propulsor de manobra do navio. Sua rapidez na transição de direção e intensidade de empuxo permite, inclusive, que a embarcação anule o efeito de ondas, tornando-se absolutamente estável. Este sistema de propulsão cicloidal é composto de dois conjuntos de laminas verticais móveis fixados em discos paralelos ao fundo do rebocador (Figura 26 – anexo).

Os dois conjuntos são localizados na mesma linha transversal e, geralmente, a vante do rebocador. É necessário um estabilizador localizado a ré, na altura do ponto de tração, com o objetivo de aumentar a estabilidade de governo.

Um sistema motor move um disco horizontal que tem acoplados perfis hidrodinâmicos verticais onde se geram forças hidrodinâmicas de propulsão. O disco move-se em torno de um eixo vertical e os perfis verticais podem se orientar em torno de seus próprios eixos verticais.

Por orientação dos perfis verticais é possível criar um força propulsiva em qualquer direção horizontal. A eficiência é cerca de trinta a quarenta por cento inferior à dos hélices.

Este sistema é indicado para navios que necessitam de excelentes capacidades de manobras.

4.3.1 Vantagens

Maior manobrabilidade, dispensa o uso de leme e rápida transição de direção.

4.4 Tubo Kort

Originalmente foi desenvolvido para evitar o assoreamento de rios com pequenas profundidades e proteger o hélice de troncos e outros objetos (Figura 27 – anexo).

Mais tarde foram observadas outras características positivas no uso do tubo Kort, entre elas a diminuição das perdas nas extremidades das pás dos hélices devido a porção de água que escapa do lado de alta pressão da lâmina para o lado de baixa pressão.

A eficiência máxima do reboque depende mais do esforço de tração do que da potência desenvolvida pelo motor. O tubo Kort, que envolve o hélice, controla a direção e a velocidade dos filetes líquidos que passam por seu lado de dentro e de fora. Com isto, aumenta-se o esforço de tração de um rebocador, especialmente em águas paradas. Este aumento pode ser de trinta por cento.

4.5 Propulsores azimutais

No início da década de mil novecentos e noventa surgiu o sistema de propulsão elétrica no qual o motor elétrico de propulsão fica instalado dentro do POD (podded drive) e, portanto, dentro da água. Foi considerado de concepção revolucionária.

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

São propulsores especiais que giram em torno de um eixo vertical com amplitude de trezentos e sessenta graus (Figura 28 – anexo). O hélice está acoplado a um sistema que permite orientá-lo em qualquer direção rodando em torno de um eixo vertical.

Sistemas utilizados em navios que necessitam de capacidade de manobra muito boa, por exemplo, navios de passageiros, Ferries e Supply Vessels para operações offshore.

Este tipo de unidade difere quanto a posição do hélice, que fica de frente para o escoamento, ou seja, virado para a proa.

4.5.1 Z-drive

É um tipo de propulsor azimutal. O “Pod” pode girar trezentos e sessenta graus. É assim chamado porque o movimento de rotação tem que fazer duas voltas de ângulo reto.

Tem a desvantagem de possuir duas gearbox, causando perdas.

4.5.2 L- drive

É um tipo de propulsor azimutal em que o “pod” é movido mecanicamente. O “pod” pode ser girado trezentos e sessenta graus. É chamado assim porque o movimento de rotação tem que fazer um giro de ângulo reto. Possui apenas uma gearbox, diminuindo as perdas.

4.5.3 Vantagens

Não precisar de leme para governar, pois o propulsor, com sua atuação de 360 graus, já fazem esse papel. Disponibiliza manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico, mesmo em severos ambientes antárticos e *offshore*.

Combinado com uma planta de energia elétrica, a propulsão azipod proporciona melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga, e, ainda, níveis reduzidos de ruído e vibração, menor tempo de indisponibilidade, maior segurança e mais redundância. Devido a hidrodinâmica avançada, a unidade azipod possui excelente desempenho de campo de esteira (wake field).

4.6 Twin Propeller (Siemens Schottel)

São sistemas de propulsão que diferem principalmente no tipo da carcaça do motor elétrico dos pods (Figura 29 – anexo).

Os dois pilares do SSP são a tecnologia do SCHOTTEL Twin Propeller e o motor permanentemente excitado (PEM) da Siemens, caracterizado pela construção delgada.

Pod drives na versão twin propeller, são particularmente indicados para o mercado de atuação de RoPax, ferries de dupla proa, navios de suprimento, navios tanque, porta-containers e iates. Para a indústria offshore, pods com um hélice em tubo kort, fazem parte de novos desenvolvimentos.

É a evolução dos hélices de passo controlado. Utiliza de dois hélices montados num mesmo eixo, girando na mesma direção e aletas direcionais integradas ao propulsor, obtêm-se, entre outras, as seguintes vantagens: alta confiabilidade devido à construção simples e com poucas peças móveis, redução do diâmetro do hélice sem comprometimento da eficiência, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção. Esse propulsor tem vinte por cento a mais de eficiência propulsiva comparado a propulsores comuns.

4.6.1 Vantagens

Alta confiabilidade, redução do diâmetro do hélice sem comprometimento da eficiência, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção.

4.7 Tunnel thrusters

Os Tunnel Thrusts foram inicialmente aplicados nas proas de ferrie boats e rebocadores, esses versáteis equipamentos de controle rapidamente se tornaram populares em embarcações envolvidas no serviço *offshore* e grandes navios (Figura 30 – anexo). Esse dispositivo ajuda a manobrar perto de navios, plataformas, portos etc. E ainda disponibiliza controle preciso a baixas velocidades através de pontes e canais estreitos e rasos.

Atualmente os Tunnel Thrusters são encontrados em todo o mundo em operações que necessitam de navios com manobras precisas.

4.7.1 Vantagens

Possibilidade de manutenção sem a necessidade de docagem em dique seco e pode ser movido a motor a diesel, turbina a gás, motor elétrico, e motor hidráulico.

4.8 Propulsores com jato de água

Opera com base 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, desta forma, ideal para a instalação em embarcações que operam em águas rasas (Figura 31 – anexo).

Esse sistema também se distingue por conferir alta manobrabilidade às embarcações de navegação interior e costeira que o utilizam como propulsão principal ou de emergência.

4.8.1 Vantagens

Confere alta manobrabilidade às embarcações de navegação interior e costeira que o utilizam como propulsão principal, ou como propulsão independente de manobra e emergência em navios marítimos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado nesse trabalho mostra a importância dos acessórios do aparelho de governo das embarcações usados para sua locomoção. Desde a construção até a utilização, cada parte dos elementos de governo é minuciosamente analisada devida a sua finalidade.

O leme, por exemplo, apresenta vários tipos e formatos. Sua localização está na popa da embarcação. O objetivo é simplesmente guinar a embarcação para bombordo ou para boreste. Porém, às vezes, é utilizado na redução de velocidade. O que exemplifica melhor o uso como redutor de velocidade é o embarque do práctico. O navio leva o leme de um lado para o outro até que a velocidade diminua suficiente para o embarque do práctico.

Esse trabalho também ressalta o funcionamento do hélice e apresenta alguns tipos de propulsores e thrusters comumente encontrados a bordo, ressaltando suas diferenças e os aspectos pelos quais uns são considerados mais adequados a este ou àquele tipo de manobra.

Apresenta também as possíveis composições dos aparelhos de governo de acordo com diversos tipos existentes de embarcação. Além disso, mostra, de maneira simplificada, as forças que atuam no casco por ocasião do acionamento do aparelho de governo, bem como os efeitos resultantes das velocidades desenvolvidas pela embarcação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Manobra do navio**. 1 ed. Rio de Janeiro: DPC, 1979. 103p.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Manual do tripulante**. 4 ed. Rio de Janeiro, DPC, 1978. 518p.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 6 ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 12 ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Manobra do navio**. 1 ed. Rio de Janeiro: DPC, 2008. 206p.

AZIPOD® - Disponível em www.abb.com.br. Acesso em: 08 jul. 2013.

SCHOTTEL PROPELLER – Disponível em http://www.schottel.nl/pdf_data/port_SCP.pdf. Acesso em: 08 jul. 2013.

GERK, Hermann Regazzi. **Hidrodinâmica para navegantes**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 96p.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Manobra do navio**. 1 ed. Rio de Janeiro: DPC, 1979. 103p.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Manual do tripulante**. 4 ed. Rio de Janeiro, DPC, 1978. 518p.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 6 ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002.

FONSECA, Maurílio Magalhães. **Arte Naval**. 12 ed. Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002.

MacELREVEY, Daniel H. **Shiphandling for the Mariner**. 4 ed. Cerntrville: Cornell Maritime Press, 2004.

CRENSHAW Jr., R. S. **Naval Shiphandling**. 4 ed. Annapolis: Naval Institute Press, 1976.

BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Portos e Costas. **Manobra do navio**. 1 ed. Rio de Janeiro: DPC, 2008. 206p.

AZIPOD® - Disponível em <www.abb.com.br> Acesso em: 08 jul. 2013.

SCHOTTEL PROPELLER – Disponível em <http://www.schottel.nl/pdf_data/port_SCP.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2013.

GERK, Hermann Regazzi. **Hidrodinâmica para navegantes**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012. 96p.

ANEXOS

Figura 1- Leme ordinário.

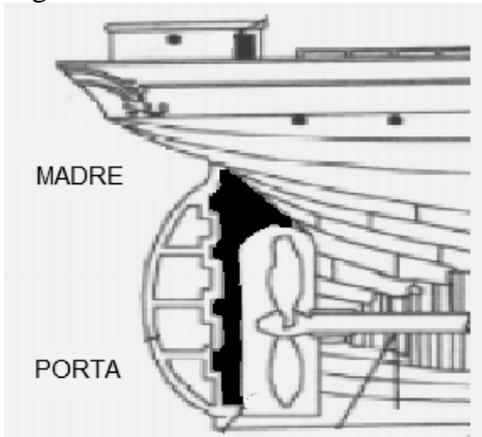


Figura 2 – Leme compensado.

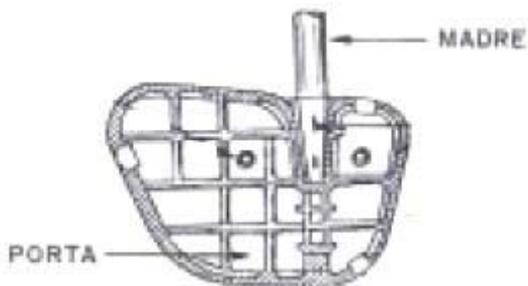


Figura 3- Leme semicomcompensado.

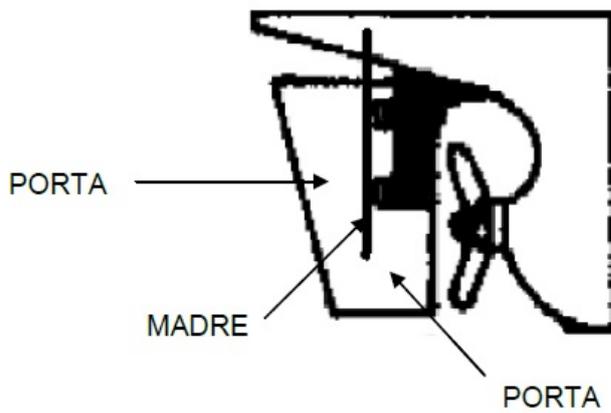


Figura 4 – Leme apoiado.

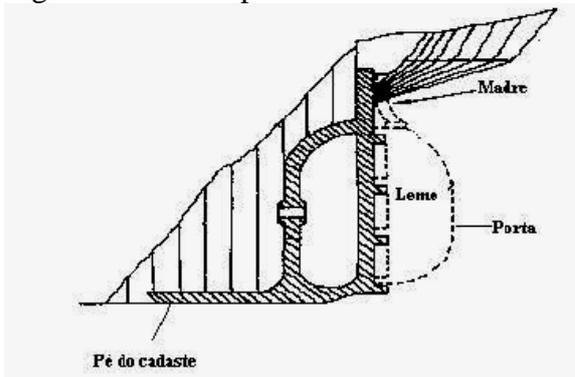


Figura 5 – Leme suspenso.

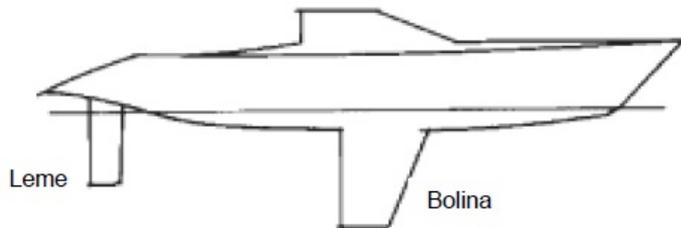


Figura 6 - Escoamento normal e anormal em torno do leme.

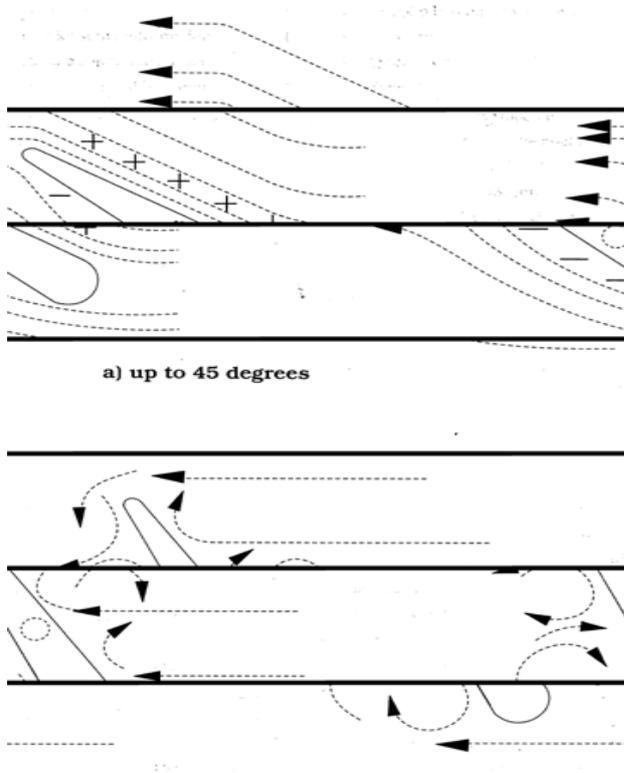


Figura 7 – Leme Oertz.

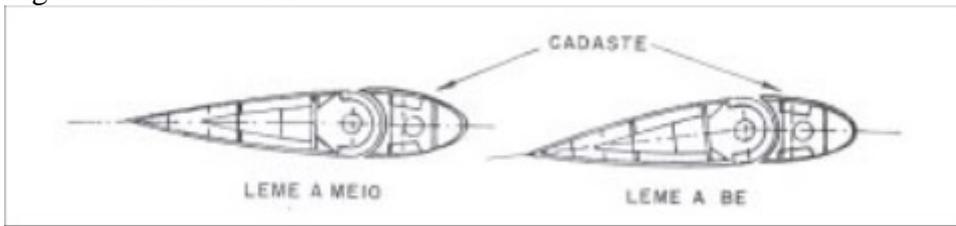


Figura 8 - Contraleme, o tubo Kort e um outro leme por ante-a-vante do hélice.

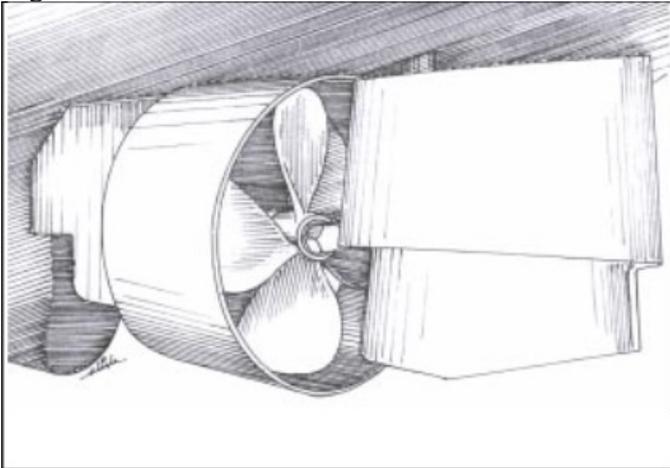


Figura 9 – Leme Kitchen.

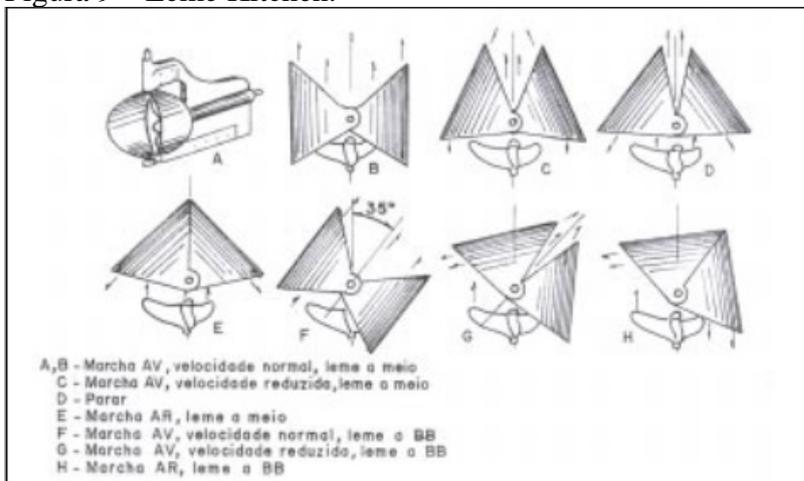


Figura 10 – Leme com flaps.

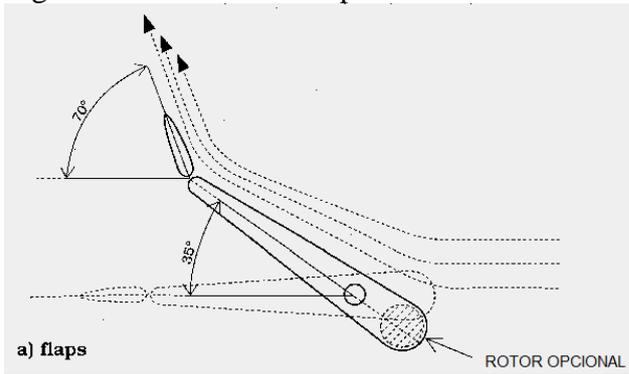


Figura 11 – Leme com rotor.

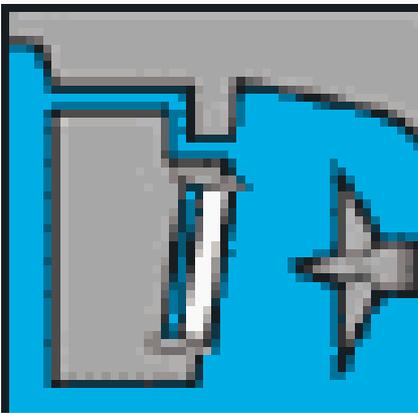


Figura 12- Leme T.

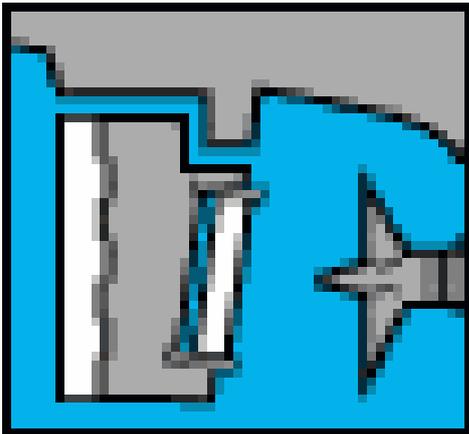


Figura 13 - Leme enformado.

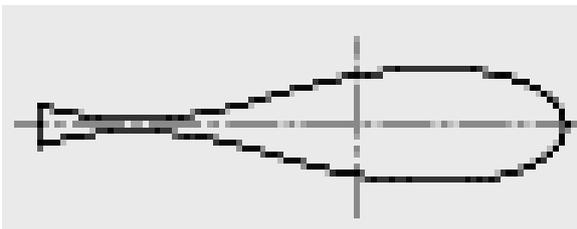


Figura 14- Placas horizontais.

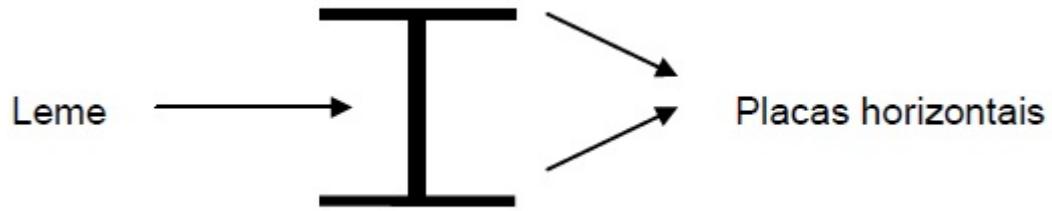


Figura 15 – Leme Schilling Simples



Figura 16 - Leme cicloidal passivo

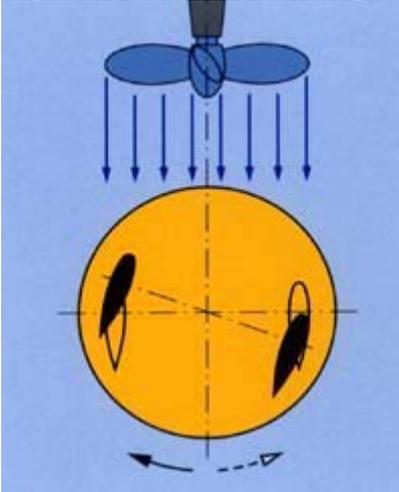


Figura 17 – Leme cicloidal no modo ativo.

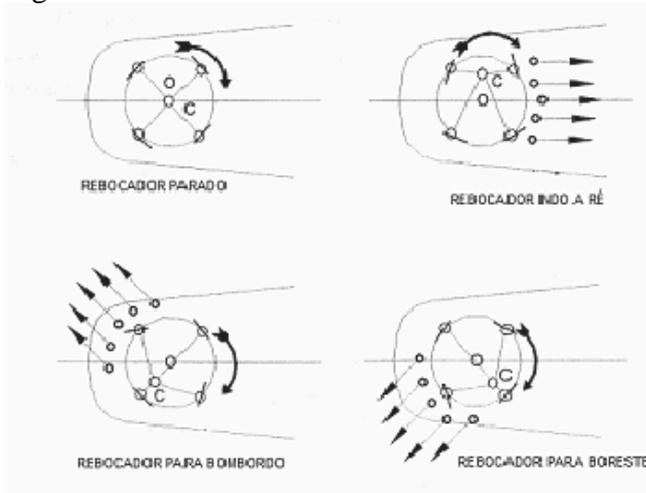


Figura 18 - Leme de flanco.

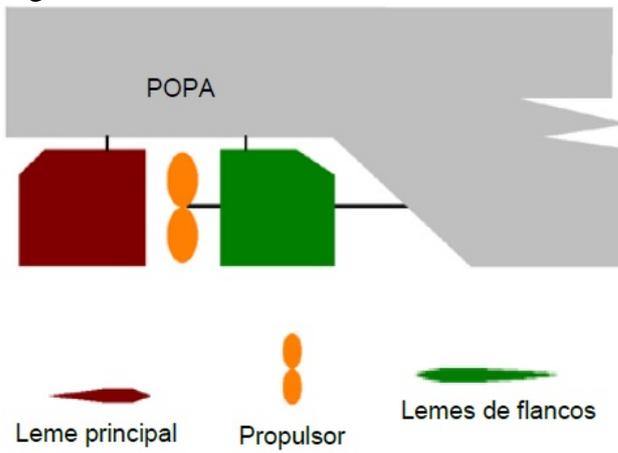


Figura 19 – Partes da hélice

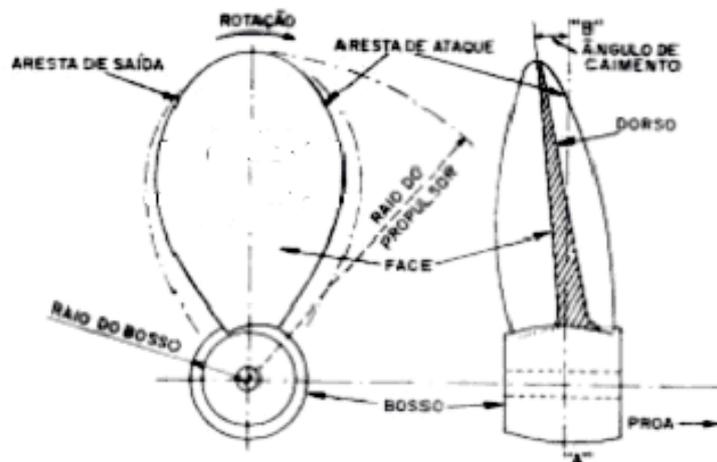


Figura 20 - Hélice direito e hélice esquerdo

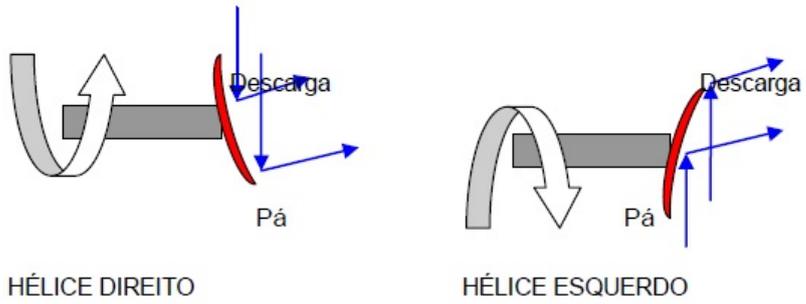


Figura 21 – Hélice dando adiante

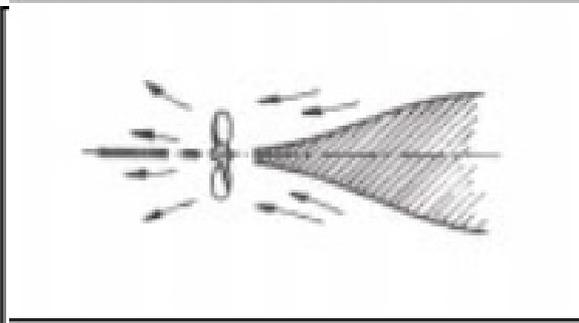


Figura 22 – Hélice dando atrás

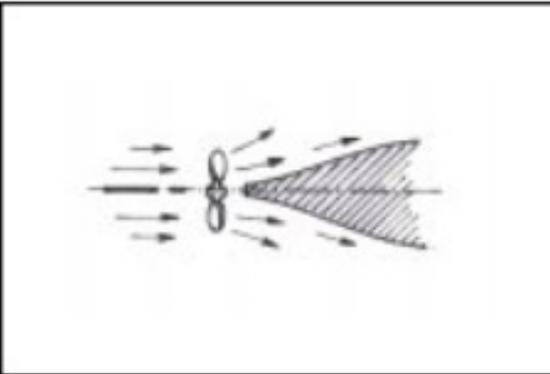


Figura 23 – Hélice dando atrás com efeito da corrente

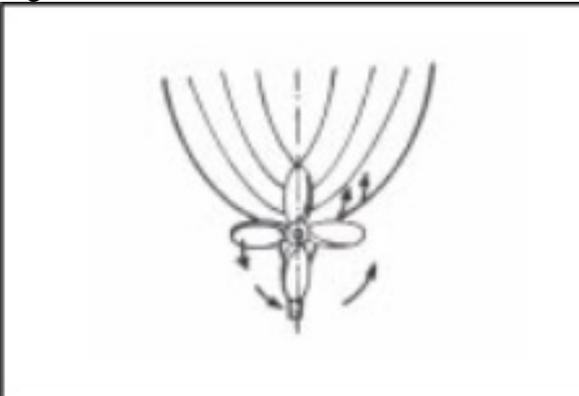


Figura 24 – Tabela

RESUMO DOS EFEITOS DO PROPULSOR NO GOVERNO DOS NAVIOS DE UM SÓ HÉLICE (DE PASSO DIREITO)		
AÇÃO DO PROPULSOR	EFEITO NO GOVERNO	
	Marcha AV	Marcha AR
Corrente de sucção do hélice	não tem efeito	não tem efeito, com o leme a meio; aumenta a ação do leme, se ele tem ângulo
Corrente de descarga do hélice	a popa tende a cair para BB, com o leme a meio; aumenta a ação do leme, se ele tem ângulo	a popa tende a cair para BB
Pressão lateral das pás (só tem efeito sensível no início do movimento, ou se as pás no alto ficam emersas)	a popa tende a cair para BE	a popa tende a cair para BB
Corrente da esteira	neutraliza a pressão lateral das pás; reduz a ação do leme	não tem efeito

Figura 25 – Navio e hélice dando marcha a ré

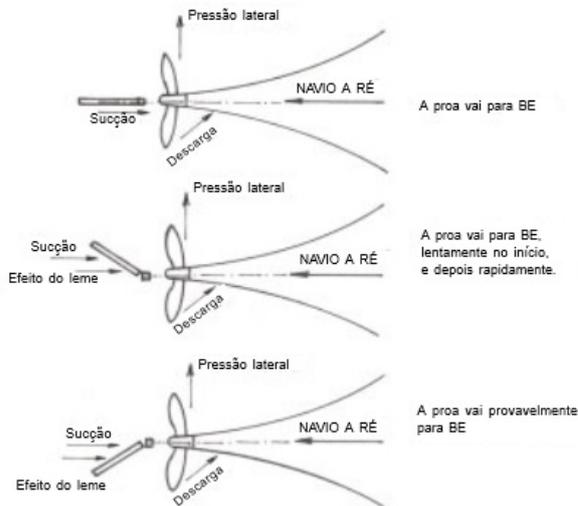


Figura 26 – Propulsor Cicloidal



Figura 27 – Tubo Kort

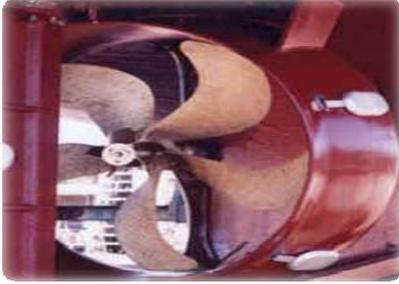


Figura 28 – Propulsor Azimutal

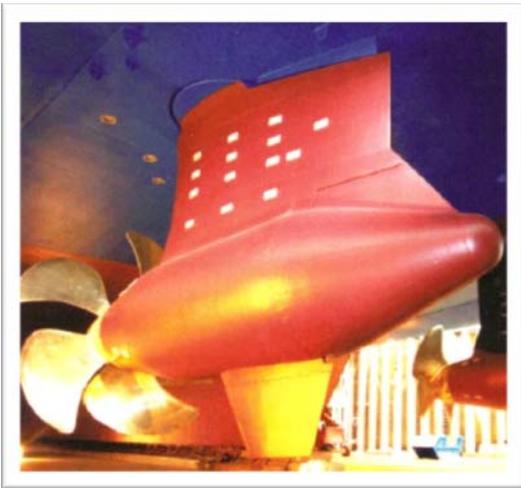


Figura 29 – Twin Propeller



Figura 30 – Tunnel Thruster



Figura 31 – Propulsão a jato de água

