

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

LUCIANE MIRELLE CORRÊA TAKEDA

ESTEIRA E VIBRAÇÃO: EFEITOS NA NAVEGAÇÃO

RIO DE JANEIRO

2014

LUCIANE MIRELLE CORRÊA TAKEDA

ESTEIRA E VIBRAÇÃO: EFEITOS NA NAVEGAÇÃO

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

Orientador PROF.: HERMANN REGAZZI GERK

RIO DE JANEIRO

2014

LUCIANE MIRELLE CORRÊA TAKEDA

ESTEIRA E VIBRAÇÃO: EFEITOS NA NAVEGAÇÃO

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador:

Titulação (Mercante/Especialista/Mestre/Doutor)

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

RESUMO

A importância da melhoria do ambiente de trabalho de homens e mulheres do mar e do habitat natural de milhares de espécies marinhas fez com que a tecnologia humana evoluísse de tal forma a possibilitar mudanças significativas na propulsão dos navios. Os ruídos produzidos no navio podem ser divididos em três tipos “ruídos a bordo de navios”, “ruído aéreo emitido pelos navios” e “som subaquático irradiado” e após anos de exposição a esses ruídos e à vibração seus efeitos desencadearam modificações não só na tecnologia como propulsores elétricos, azimutais ou de dois eixos, mas também no fortalecimento de normas que se tornaram indispensáveis à navegação como o *Noise Code*, que estabelece recomendações para o critério de ruídos tanto em ambientes de trabalho como em ambientes de vivência para membros da tripulação de navios. Os estudos sobre a formação de esteira (*Wake*) e o avanço na tecnologia dos dispositivos estabilizadores de fluxo, tais como o *Skeg*, o cilindro rotativo e os equalizadores de esteira como duto *Schneekluth*, duto *Mewis*, duto Mitsui foram também de grande importância ao se tratar de melhoria da eficiência da navegação.

Palavras chave: vibração, ruído, esteira, propulsores, *Noise Code*.

ABSTRACT

The importance of improving the working environment of men and women of the sea and the natural habitat of thousands of marine species made human technology evolved in such a way that allowed significant changes for ships' propulsion. The noises of the ship can be divided into three types "noise on board ships", "airborne noise emitted by vessels" and "radiated underwater sound" and after years of exposure to such noise and vibration effects triggered changes not only in technology as electrical, azimuth or two propeller shafts, but also in strengthening norms that have become indispensable to navigation as the Noise Code, which provides advice on the criterion of noise in the workplace and in the living places of crew members. Studies on the formation of the wake and the advancement in technology of equalizers devices like Skeg, duct Schneekluth, Mewis Duct, Duct Mitsui and rotating cylinder were also very important when dealing with improving the efficiency of navigation.

Key words: vibration, noise, wake, propellants, Noise Code.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tabela de limites de níveis de ruídos do *Noise Code* (revisado)

13

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Vibração de Corpo Inteiro – frequências características	10
Figura 2	Efeitos do Ruído na Produtividade	11
Figura 3	Tipos de ruídos do navio	14
Figura 4	Diagrama de eficiência no consumo em relação à carga na propulsão	15
Figura 5	Electric Propulsion Pods Azipods	16
Figura 6	Comparação de manobra de uma unidade Azipod com uma com leme convencional	17
Figura 7	Propulsores Schottel	17
Figura 8	Propulsor Voith Schneider	18
Figura 9	Tipos de alimentação	20
Figura 10	Propulsor azimuthal	21
Figura 11	Com hélices contra-rotativos	21
Figura 12	Propulsor tipo Azipull	22
Figura 13	Subaquático montável	22
Figura 14	Propulsor lateral	22
Figura 15	Tunnel Thruster Standard Hydraulic	23
Figura 16	Double Tunnel Thruster	23
Figura 17	Tipo Mermaid	23
Figura 18	Pods do Queen Mary 2	24
Figura 19	Sistema de dois hélices e dois lemes	25
Figura 20	O efeito da interação do propulsor com a esteira do navio	27
Figura 21	Skeg ou deadwood	29
Figura 22	<i>Schneekluth</i> aplicado a um navio	29
Figura 23	Gráfico de comparação de navios com e sem duto <i>Schneekluth</i>	30
Figura 24	Diferença nos pulsos de pressão sem e com o duto <i>Schneekluth</i>	32
Figura 25	Duto <i>Mewis</i> depois de instalado	33
Figura 26	Análise com CFD	34
Figura 27	Aletas	35
Figura 28	Cilindro rotativo	35
Figura 29	Diagrama “borboleta”	36
Figura 30	Diferença com e sem <i>Voith Turbo Fin</i>	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
2	EFEITOS DA VIBRAÇÃO E DO RUÍDO	09
2.1	Efeitos da vibração na saúde do ser humano	09
2.2	Efeitos do ruído na saúde do ser humano	10
2.3	Efeitos do ruído na vida marinha	11
2.4	Fortalecimento do <i>Noise Code</i>	12
2.5	Tipos de ruídos do navio	13
3	SISTEMA DE PROPULSÃO DOS NAVIOS	14
3.1	Propulsores elétricos	14
3.2	Azipods	15
3.3	Siemens Schottel	17
3.4	Voith Schneider	18
3.5	Bow Thruster / Tunnel Thruster	19
3.6	Propulsores azimutais	20
3.7	Propulsão com dois eixos	24
4	ESTEIRA	26
4.1	Formação de Esteira (Wake)	26
4.2	Dispositivos equalizadores de esteira	28
4.2.1	Skeg	28
4.2.2	Duto <i>Schneekluth</i>	29
4.2.3	Duto <i>Mewis</i>	33
4.2.4	Duto Mitsui	34
4.2.5	Aletas	35
4.2.6	Cilindro rotativo	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
6	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Há muitos anos os efeitos da vibração, do ruído e da esteira na navegação vem sendo estudados, assim como a importância de sua redução. Modificações foram feitas na propulsão dos navios para que essa diminuição fosse possível, visando à melhoria na vida humana e na vida marinha. Essa melhoria na vida humana proporciona um melhor desempenho com relação ao trabalho visto que a transmissão de vibração para o ser humano resulta em desconforto e perda de eficiência.

Várias pesquisas experimentais revelaram que a exposição a níveis elevados de ruído por um curto período de tempo, pode desencadear respostas cardiovasculares semelhantes às que ocorrem no estresse agudo, com aumento da frequência cardíaca e da pressão sanguínea, mediado pelo aumento da resistência vascular periférica.

Este trabalho tem por objetivo mostrar o resultado de uma série de estudos que visam o melhoramento da eficiência dos navios dando ênfase na diminuição da vibração e dos ruídos assim como os efeitos da esteira. Estes estudos proporcionaram a evolução da propulsão dos navios, modificando-os de forma significativa para se adaptarem a modelos específicos de embarcações. Serão apresentados os efeitos da vibração e do ruído na saúde do ser humano e na vida marinha, sistemas de propulsão dos navios e a formação de esteira (Wake) juntamente com os dispositivos equalizadores de esteira.

2 EFEITOS DA VIBRAÇÃO E DO RUÍDO

2.1 EFEITOS DA VIBRAÇÃO NA SAÚDE DO SER HUMANO

A exposição ocupacional à vibração é bastante frequente e seus efeitos na saúde humana são consideráveis, sendo necessários, portanto, avaliação e controle. A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui características de inércia e elasticidade que lhe conferem valores de frequência natural distintos, relativos a cada uma de suas partes. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. Assim, a energia vibratória associada a esse efeito é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos. Este fator de risco é focalizado nas NR-9 e NR-15, do Ministério do Trabalho e Emprego, sendo estabelecido que a avaliação da exposição ocupacional de vibração deve ser realizada com base nas normas ISO-2631 e ISO-53831 e suas substitutas.

Em muitos sistemas de engenharia, o ser humano atua como parte integrante do mesmo. A transmissão de vibração para o ser humano resulta em desconforto e perda de eficiência, podendo constituir um risco em potencial para os trabalhadores, uma vez que as vibrações podem desencadear perturbações neurológicas ou musculares, vasculares e lesões ósteo-articulares, no caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço e patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral, para o caso das vibrações transmitidas a todo o organismo.

Vibração ou oscilação é qualquer movimento que se repete, regular ou irregularmente, depois de um intervalo de tempo. De um modo geral, a vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui características de inércia e elasticidade que lhe conferem valores de frequência natural distintos, relativos a cada uma de suas partes (ver Figura 1). Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. Assim, a energia vibratória associada a esse efeito é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos.

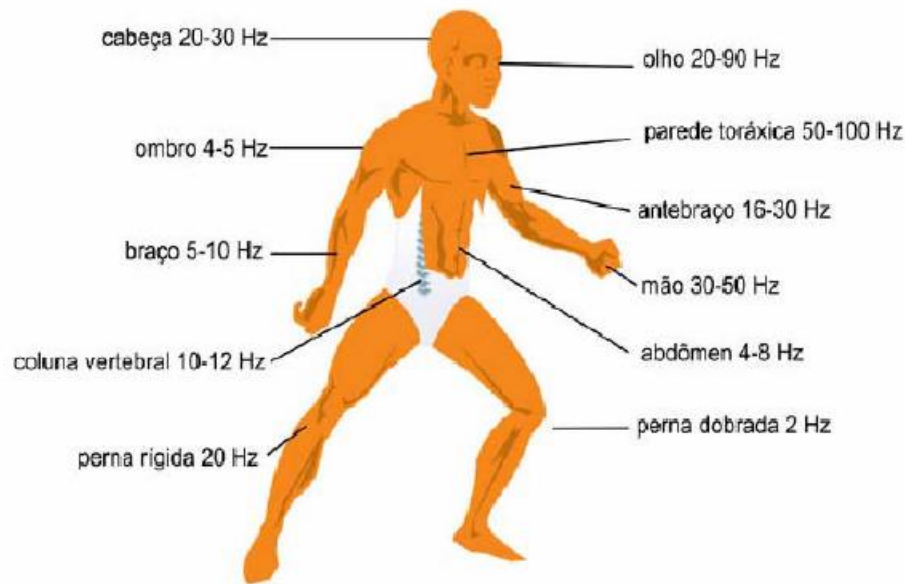


Figura 1 - Vibração de Corpo Inteiro – frequências características

2.2 EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE DO SER HUMANO

O ruído age sobre o organismo humano de várias maneiras, prejudicando não só o funcionamento do aparelho auditivo como comprometendo a atividade física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto. Sabe-se que ruídos acima de 60 decibéis (dB), são prejudiciais aos seres humanos, ocasionando extremo desconforto, proporcionando problemas de concentração e resultando em alterações fisiológicas.

A Legislação Brasileira estabelece que os trabalhadores só podem ficar expostos a ruídos de, no máximo, até 85dB (A) durante sua jornada de trabalho diária de 8 horas, onde níveis acima desse patamar começam a surgir riscos para a saúde dos trabalhadores.

Várias pesquisas, confirmadas por dados experimentais, revelaram que exposições a níveis elevados de ruído por um curto período de tempo, podem desencadear respostas cardiovasculares semelhantes às que ocorrem no estresse agudo, com aumento da frequência cardíaca e da pressão sanguínea, mediado pelo aumento da resistência vascular periférica. Em animais, já se demonstrou que este aumento agudo da pressão sanguínea, ocorrendo repetidamente, pode tornar-se uma alteração permanente devido à hipertrofia da musculatura lisa dos vasos sanguíneos periféricos, levando à hipertensão arterial. Estudos epidemiológicos vêm avaliando a associação entre exposição ocupacional a ruído e hipertensão.

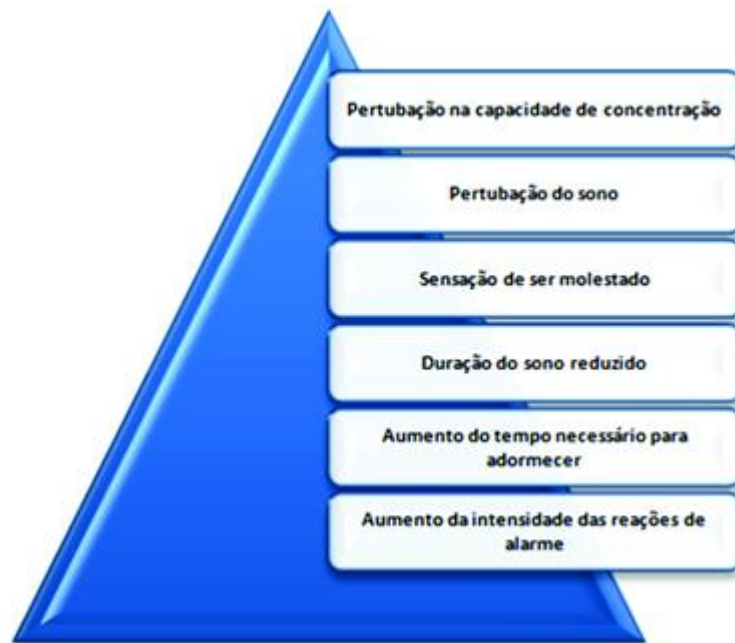


Figura 2 - Efeitos do Ruído na Produtividade

O ruído prejudica não só a produtividade, mas atua diretamente no sistema neurovegetativo nas horas de folga, no sono, afetando a saúde e bem estar, favorecendo o surgimento de doenças. Assim Considerando os danos causados às pessoas expostas ao ruído excessivo, torna-se necessário adotar medidas de proteção à saúde, visando reduzir ao máximo a intensidade da pressão sonora nos ambientes de trabalho.

2.3 EFEITOS DO RUÍDO NA VIDA MARINHA

Os ruídos causados pelos navios não afetam apenas a vida e saúde de seus tripulantes e passageiros, estudos têm mostrado que a vida marinha também é fortemente prejudicada por esses fatores. Ambientalistas andam de preocupados quanto à problemática ecológica causada pelo tráfego naval. Os dados apontam que 90% das mercadorias entre países são transportadas por navios em aproximadamente 100 mil unidades que singram o mar anualmente, sem contar os navios de guerra. Cada navio de carga emite, pelo estouro das bolhas que seus propulsores criam na água, ruídos na faixa de 150 a 195 dB, causando transtornos na vida marinha. Os animais marinhos usam a audição para quase tudo, para encontrar o lugar de procriação, o parceiro sexual, a comida. Cientistas concluíram que a baleia azul está ficando surda, escuta a distâncias até 90% menores do que antes.

O ruído causado pelo tráfego marítimo causa “estresse crônico” nas baleias, revela um estudo de investigadores norte-americanos na revista *Proceedings of the Royal Society B*. Segundo o estudo, a poluição sonora tem origem nas hélices e motores dos navios comerciais feita em frequências baixas, entre os 20 e os 200 Hertz, as mesmas que são utilizadas pelas baleias para comunicarem entre si. Nos últimos 50 anos, a prospecção petrolífera, os sonares militares e o aumento do tráfego marítimo têm feito aumentar a poluição sonora submarina. Atualmente, a Organização Marítima Internacional (IMO) está estudando formas de reduzir o ruído nos oceanos.

2.4 FORTALECIMENTO DO *NOISE CODE*

Em 1981, a IMO aprovou a Resolução A.468 (XII) que estabelece recomendações para o critério de ruídos tanto em ambientes de trabalho como em ambientes de vivência para membros da tripulação de navios de 1600 toneladas de porte bruto ou mais. O objetivo do *Noise Code* era garantir a saúde da tripulação proporcionando ambientes de vivência e de trabalho silenciosos e seguros, sem se preocupar com problemas de audição causados pelos ruídos a bordo. Normalmente, o nível máximo de ruídos a bordo de um navio é determinado pelo armador e pelo construtor naval quando contratado para a construção do navio. Isso era, na maioria dos casos, baseado no critério do *Noise Code* assim como nas regulamentações de vários países pelo mundo.

A proposta para o fortalecimento do *Noise Code* feita por 47 países europeus na 83ª Sessão da IMO *Maritime Safety Committee* (MSC83) em outubro de 2007 levou a discussões sobre alterações. Alterações tanto no *Noise Code* como na SOLAS foram adotadas na 91ª Sessão da IMO *Maritime Safety Committee* (MSC91) em novembro de 2012. O resultado foi que limites de ruídos se tornariam requisitos obrigatórios para navios cujos contratos de construção fossem feitos a partir do dia 1º de julho de 2014. A tabela (Figura 3) mostra os limites de ruídos da revisão do *Noise Code*. O valor para os espaços de alojamento de novos navios de 10000 toneladas de porte bruto ou mais é de 5 dB a menos que o valor especificado no código existente. Enquanto o valor para os espaços de alojamento de novos navios de 1600 a 10000 toneladas de porte bruto é o mesmo do código existente.

O *Noise Code* recomenda dispositivos de proteção para os ouvidos, como tampões e a exibição de avisos de ruído em locais onde o nível de ruído seja superior a 85 dB. Também recomenda a proteção da saúde e da segurança dos membros da tripulação considerando a

redução da exposição aos níveis de ruídos por dia por membro da tripulação a menos de 80 dB.

Designation of rooms and spaces	Ship size	
	1,600 up to 10,000 GT	≥ 10,000 GT
1. Work spaces		
Machinery spaces	110	110
Machinery control rooms	75	75
Workshops other than those forming part of machinery spaces	85	85
Non-specified work spaces (other work areas)	85	85
2. Navigation spaces		
Navigating bridge and chartrooms	65	65
Look-out posts, incl. navigating bridge wings and windows	70	70
Radio rooms (with radio equipment operating but not producing audio signals)	60	60
Radar rooms	65	65
3. Accommodation spaces		
Cabins and hospitals	60	55
Mess rooms	65	60
Recreation rooms	65	60
Open recreation areas (external recreation areas)	75	75
Offices	65	60
4. Services spaces		
Galleys, without food processing equipment operating	75	75
Serveries and pantries	75	75
5. Normally unoccupied spaces		
Spaces referred to in section 3.14	90	90

Tabela 1 – Tabela de limites de níveis de ruídos do *Noise Code* (revisado)

2.5 TIPOS DE RUÍDOS DO NAVIO

Os ruídos do navio podem ser divididos em três tipos: (1) “ruídos a bordo de navios”, (2) “ruído aéreo emitido pelos navios” e (3) “som subaquático irradiado”. A Figura 4 mostra esses três tipos de ruídos do navio para o navio de treinamento Bosei Maru que pertence à Escola de Ciências e Tecnologias Marinhas da Universidade Tokai (Japão).

“Ruídos a bordo de navios” inclui ruídos transmitidos para as acomodações a partir de fontes, tais como motores e geradores principais, além do ruído de ar condicionados e ventiladores localizados dentro dos próprios alojamentos. Esse tipo de ruído pode afetar negativamente a saúde e a segurança dos membros da tripulação, e o conforto e habitabilidade dos passageiros.

“Ruído aéreo emitido pelos navios” são sons da exaustão de motores e geradores principais ou sons de sucção e descarga de ventilação. Sons como estes se originam de fora do navio e são transmitidos através das janelas dos camarotes, etc. para o interior do navio. Este tipo de ruído pode afetar negativamente os residentes de áreas próximas a portos,

especialmente quando o navio entra ou sai do porto ou quando está realizando o trabalho de carga e descarga, quando ancorado no porto.

“Som subaquático irradiado” inclui som proveniente de baixo d’água causado pelo hélice ou bow thruster, bem como outros sons das vibrações e sons de máquinas que operam a bordo do navio. É também chamado de ruído subaquático. Este tipo de ruído pode afetar ou interferir negativamente o desempenho do equipamento acústico submarino instalado no forro exterior de navios de pesquisa. Ele também pode afetar a capacidade de navios de guerra de navegarem sem serem detectados, pois reforçam as suas “assinaturas acústicas”. Além disso, os efeitos deste tipo de ruído sobre a vida marinha, como golfinhos e baleias também têm sido debatidos nos últimos anos.

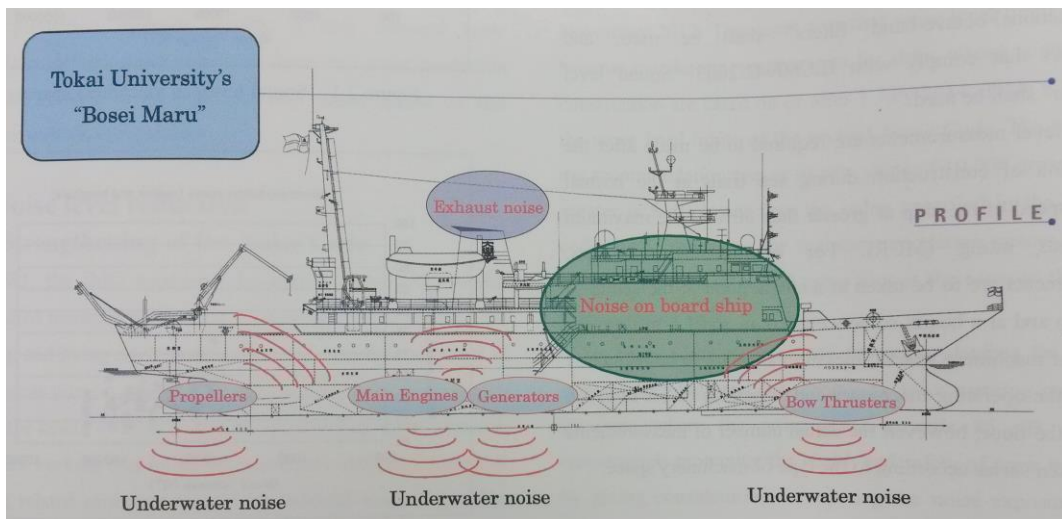


Figura 3 – Tipos de ruídos do navio

Como vimos, os propulsores são grandes causadores de ruídos a bordo de navios. Veremos alguns dos principais tipos de propulsores para que se possam entender melhor as mudanças feitas para que a redução de seus ruídos fosse possível.

3 SISTEMA DE PROPULSÃO DOS NAVIOS

3.1 PROPULSORES ELÉTRICOS

Basicamente, os propulsores elétricos foram criados como uma alternativa aos que utilizam combustíveis fósseis para gerar potência. Diferentemente desses últimos, os elétricos possuem diversas vantagens e desvantagens. Dentro dos principais fabricantes de propulsores, serão listadas e apresentadas a seguir as características, diferenças, vantagens e desvantagens dos sistemas.

Após a segunda guerra mundial, rebocadores de alto mar foram produzidos com um arranjo de propulsão similar aos de propulsão elétrica atualmente. Possuem a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, característica muito importante em fainas de reboque e salvamento.

Em embarcações de apoio marítimo com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice; conseqüentemente, dependendo do perfil de operação da embarcação, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado às altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível e excessivo desgaste mecânico.

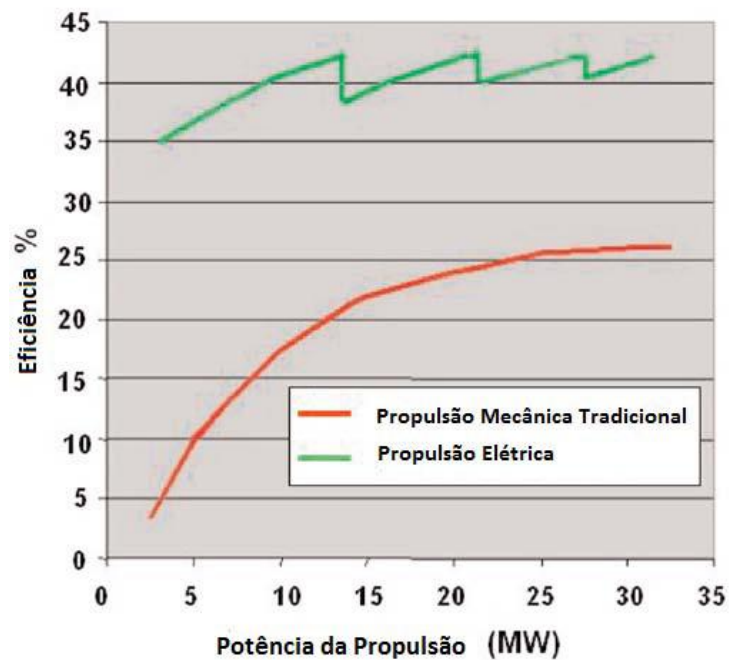


Figura 4 – Diagrama de eficiência no consumo em relação à carga na propulsão

3.2 AZIPODS™

No início da década de 1990, surgiu o sistema de propulsão elétrica Azipod™ no qual o motor elétrico, responsável pela propulsão, fica instalado dentro de um POD (*Podded Drive*), o qual permanece dentro da água. Foi considerado de concepção revolucionária, porém, teve sua origem a partir dos primeiros submarinos híbridos. Com sua montagem submersa, se ganha em espaço interno na embarcação, com uma melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga, melhor refrigeração do motor, menor nível de ruído e vibração, menor tempo de indisponibilidade, maior segurança, redundância e contribui para manter o centro de gravidade do navio o mais baixo possível.

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. O fato de não precisar de um leme para governar também reduz o peso da embarcação e o número de partes móveis, pois o propulsor, com sua atuação de 360°, executa essa função.

Este motor é acoplado a um eixo no qual está ligado um hélice. Também existe a configuração na qual o motor elétrico ainda encontra-se dentro das obras vivas da embarcação, sendo necessário um pequeno eixo de transmissão (*L-Drive ou Z-Drive*) para transmitir o movimento para o hélice na extremidade do casulo.

Na manutenção desses propulsores, as inspeções podem ser realizadas internamente a estes, facilitando assim um diagnóstico mais elaborado de problemas.



Figura 5 - Electric Propulsion Pods Azipods

A maior aplicação da propulsão do Azipod é nas embarcações dependentes de alta manobrabilidade. A propulsão elétrica apresenta aspectos positivos relevantes em

embarcações de apoio marítimo, navios de passageiros, rebocadores, *ferries*, quebra gelos e plataformas.

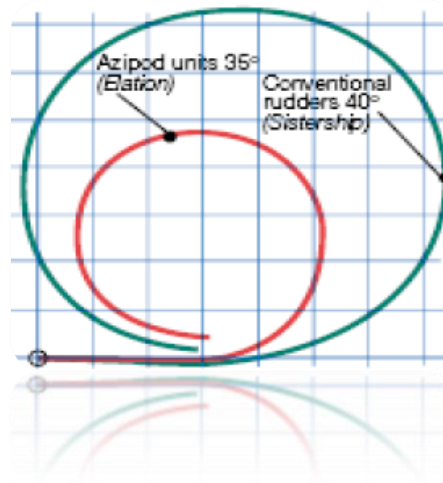


Figura 6 - Comparação de manobra de uma unidade Azipod com uma com leme convencional

3.3 SIEMENS SCHOTTEL™

Semelhante ao sistema Azipod™, o sistema Schottel™ também pode girar 360° em torno do seu eixo e utiliza propulsor elétrico para mover suas pás. Porém, além de possuir um par de hélices gêmeas, a instalação de seus motores se faz principalmente dentro da praça de máquinas. É um sistema de propulsão que difere principalmente no tipo da carcaça do motor elétrico.

Os dois pilares do SSP (*Siemens Schottel Propulsion*) são a tecnologia do *Schottel Twin Propeller™* e o motor permanentemente excitado (PEM) da Siemens, o qual utiliza ímãs permanentes, tal qual nos veículos híbridos.

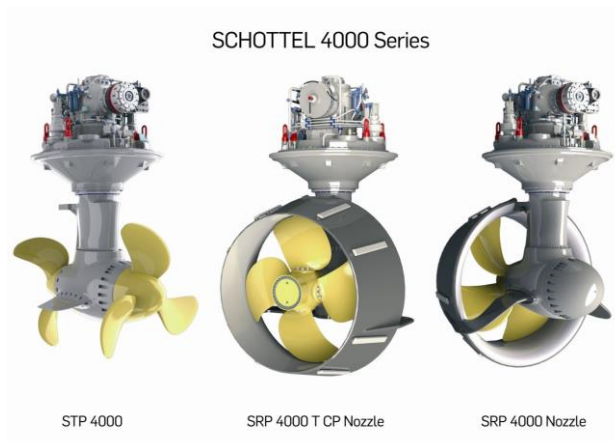


Figura 7 – Propulsores Schottel

3.4 VOITH SCHNEIDER™

No início dos anos 50 foram desenvolvidas as primeiras embarcações com esse sistema de propulsão, o qual está enquadrado dentre os sistemas de propulsão não convencionais. Utiliza-se um motor elétrico instalado na praça de máquinas da embarcação que se assemelha muito com os últimos dois tipos de propulsores mostrados. Diferentemente, o Voith Schneider™ não possui um hélice convencional. Sua principal vantagem é a rápida mudança de direção da tração gerada pelo movimento de suas pás dispostas verticalmente, sendo apenas necessária a mudança de seu ângulo de ataque.



Figura 8 – Propulsor Voith Schneider

Dentre as vantagens podem ser citadas:

- Pode atuar para avante ou para ré com a mesma força de tração;
- As alterações do sentido da aplicação e da intensidade da força podem ser feitas rapidamente, conferindo melhor manobrabilidade em espaços restritos;
- Atua fora do campo da esteira da embarcação, evitando trepidações e cavitação intermitente.

Dentre as desvantagens podem ser citadas:

- Grande calado (além das lâminas, há uma estrutura que protege cada propulsor e funciona como direcionador do fluxo de água);
- 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.

Vantagens gerais da propulsão elétrica

- Excelente controle de velocidade e torque em toda faixa de velocidade;
- Facilidade para adoção de controles automáticos e remotos;
- Flexibilidade do Projeto;
- Favorecimento das redundâncias dos sistemas;
- Redução dos Custos de Manutenção;
- Redução da Emissão de Poluentes;
- Redução do ruído do motor e da vibração transmitida do eixo ao hélice;
- Flexibilidade no gerenciamento da distribuição da potência em operações normais e rápida recuperação após a detecção de defeitos (incêndios, alagamentos e outros tipos de falhas).

3.5 BOW THRUSTER / TUNNEL THRUSTER

Inicialmente utilizado na proa de balsas e rebocadores, esse dispositivo de controle versátil logo se tornou popular em offshore de petróleo e barcos de manutenção de grandes embarcações de alto mar. Eles permitem manobrar sem ajuda nas laterais de oilrigs, embarcações, plataformas de carga e docas, e proporcionar um controle preciso em velocidades lentas em eclusas, canais estreitos e pontes. Hoje, bow thrusters são encontrados em todo o mundo, onde é necessária a precisão do navio.

O *tunnel thruster* é instalado transversalmente na proa numa posição próxima da quilha ou roda do navio. Às vezes outro *tunnel thruster* é colocado na popa (*Stern Thruster*) dependendo do tipo de navio. Para Posicionamento Dinâmico (*DP*) em torno de 5 desses dispositivos tem sido utilizados com propulsores azimutais.

Uma das suas vantagens é a possibilidade de manutenção sem a necessidade de docagem em dique seco. Pode ser movido a motor a diesel, turbina a gás, motor elétrico, e motor hidráulico.

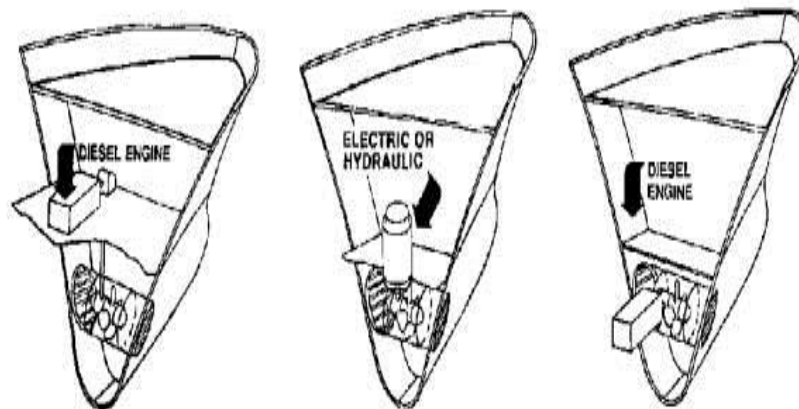


Figura 9 - Tipos de alimentação

Os *Tunnel Thrusters* são classificados e fornecidos sob as designações: *Controllable Pitch Propellers* (CP) (Propulsores de passo controlável) e *Fixed Pitch Propellers* (FP) (Propulsores de passo fixo). O projeto do navio especificará o melhor tipo de propulsor.

O tunnel thruster foi projetado para dar máxima força lateral para o navio em condição de manobra. O sistema normalmente consiste na unidade de thruster com túnel, equipamento hidráulico, controle remoto e *DriveMotor* elétrico com motor de arranque.

Agora serão apresentadas outras melhorias feitas para alcançar a redução dos ruídos produzidos pelos propulsores.

3.6 PROPULSORES AZIMUTAIS

A ideia básica por trás de um propulsor azimutal é que o hélice pode ser rodado 360° em torno do eixo vertical. A simples e robusta construção proporciona uma elevada confiabilidade juntamente com a fácil manutenção, que resultam em uma possível melhor economia total. A flexibilidade no design faz com que os propulsores azimutais sejam ideais para uma grande variedade de navios. O baixo nível de ruído e vibração aumenta ainda mais sua área de utilização. Esse tipo de propulsor pode ser para motores a diesel ou de acionamento elétrico e de passo fixo ou controlável.

O propulsor azimutal pode também ser projetado com hélices contra-rotativos. É o primeiro sistema propulsor do mundo projetado e construído especialmente para navios mercantes. Ele combina os benefícios da contra-rotação de hélices com a capacidade de guiar dos propulsores. Os benefícios gerais são melhor eficiência de propulsão, melhor economia de combustível, melhor estabilidade e redução de vibração e ruído.



Figura 10 – Propulsor azimuthal



Figura 11 – Com hélices contra-rotativas

O *azimuthing pulling propeller*, tipo Azipull, é um propulsor de baixa resistência e alta eficiência. Combina a vantagem de um propulsor Azipull com a flexibilidade de usar quase qualquer tipo de unidade para atender a exigências específicas do cliente. O Azipull é projetado para serviço contínuo a até 24 nós, mantendo excelente manobrabilidade. Alta eficiência hidrodinâmica, eficiência de combustível, estabilidade de curso, baixos níveis de ruído e vibração são outras principais características do Azipull. Ele combina as vantagens de um propulsor azimuthal oferecendo alta manobrabilidade, baixa resistência e alta eficiência do propulsor permitindo altas velocidades. A flexibilidade do aparelho é também melhorada pelo fato de que ele está disponível em passo controlável e fixo.

Os propulsores subaquáticos montáveis são projetados para fácil montagem e desmontagem sem docagem. Isto é de extrema importância para grandes navios e plataformas de perfuração. Existem duas formas alternativas para ligar o levantamento de fios: ligação dentro do navio para o propulsor ou externamente para os olhais de elevação no propulsor. O primeiro é típico nos navios de perfuração e este último em semi submersíveis. Todos os plugues necessários, persianas e cúpulas são fornecidos com o propulsor para desmontagem debaixo d'água.



Figura 12 – Propulsor tipo Azipull



Figura 13 – Subaquático montável

O propulsor lateral se localiza no casco no navio girando 90° completamente em torno do eixo horizontal. Na posição retraída, o propulsor pode ser operado como um propulsor de força lateral. A parte superior do propulsor é articulada, permitindo que seja reduzido através de um arco em sua posição azimutal ou retraído num recesso horizontal no casco. Esse propulsor é concebido como um hélice bocal em posição retraída e mais baixa. Isso significa baixo ruído e maior empuxo em comparação com um tradicional *tunnel thruster*.

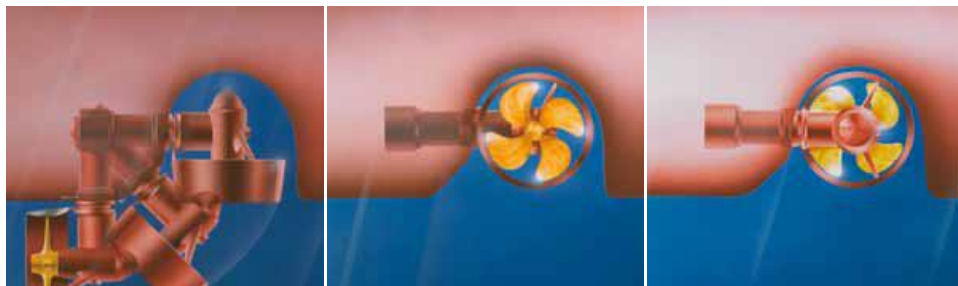


Figura 14 – Propulsor lateral

O *tunnel thruster* Super Silencioso (SS) tem um pacote de energia hidráulica modificado para produzir baixo ruído. Possui paredes duplas com o comprimento do túnel completo e um túnel interior flexível. Este conceito fornece redução de ruído de até 10 dB em comparação com projeto padrão. Uma redução de até 25 dB pode ser alcançado em combinação com os floating floors e outras medidas pelo construtor naval.

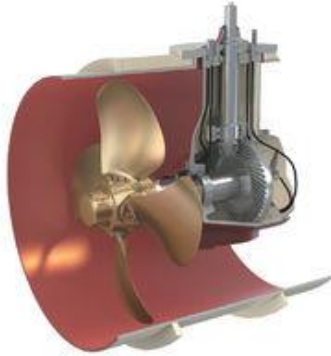


Figura 15 - Tunnel Thruster Standard Hydraulic **Figura 16 - Double Tunnel Thruster**

O propulsor elétrico tipo *Mermaid*, oferece flexibilidade nas máquinas do navio, e proporciona uma maior eficiência e excelente manobrabilidade. A unidade de motor de popa proporciona 360° de rotatividade para fins de manobras. O principal componente na unidade subaquática é o motor elétrico, com excitação *brushless* ou com uma indução do motor. Em ambos os casos, o estator é montado na carcaça do pod para aperfeiçoar hidrodinâmica e refrigeração. O rotor é montado diretamente sobre o eixo da hélice que é apoiado por rolamentos de ambos os lados. Também é equipado com um freio de eixo, dispositivo de bloqueio e equipamento que gira lentamente o eixo. O hélice é de passo fixo de alta inclinação, projetado para produzir baixo ruído e baixa vibração. Pode ser fornecido como um monobloco ou com lâminas parafusadas separadamente, com a vantagem de que eles podem ser alterados individualmente, em caso de danos. Todas as vedações contra a água do mar são do tipo ambientalmente amigável, ou seja, irá evitar qualquer derramamento de óleo na água.

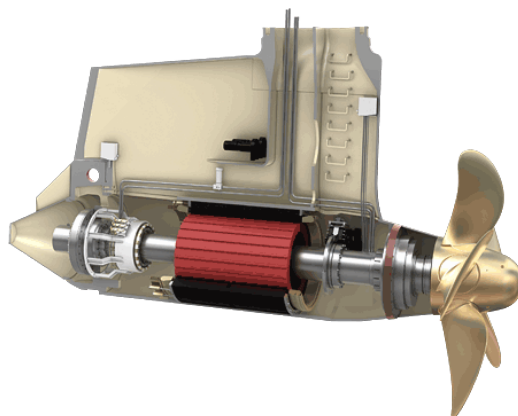


Figura 17 – Tipo Mermaid

Um exemplo de navio onde foi aplicado esse tipo de propulsão é o Queen Mary 2, que possui quatro propulsores pod tipo *Mermaid* construídos pela Rolls Royce de propriedade *Kamewa* e *Alstom Powers Motors*. Ela é o primeiro navio de passageiros a ser impulsionado por quatro pods. Os dois a vante são fixos no local, enquanto os dois de ré são azimutais capazes de girar 360° para dirigir e manobrar o navio. Cada um dos pods pesa 250 toneladas, o maior e mais poderoso de todos os tempos com 21,5 MW cada. Isto dá um total de potência de propulsão de 86 MW. Os pods são individual e hidrodinamicamente produzidos para ajudar a atingir as velocidades exigidas no Queen Mary 2. O Queen Mary 2 tem três propulsores de 3,2 MW cada, permitindo o navio girar em seu próprio comprimento no porto sem o uso de rebocadores. Eles são operados com um toque de dedo de um oficial no passadiço.



Figura 18 – Pods do Queen Mary 2

3.7 PROPULSÃO COM DOIS EIXOS

Este foi o primeiro recurso a ser utilizado pelas embarcações *supply* para aumentar a manobrabilidade e dar mais segurança nas operações *offshore*. A embarcação tem dois motores de combustão principais, cada um com seu eixo e propulsor, e depois de cada hélice, existe um leme (ambos os equipamentos deverão ser iguais).

As principais características do sistema são: repartição da carga, redução da possibilidade de trepidação, o que conseqüentemente reduz os ruídos, redução da curva de giro através de inversão do sentido dos propulsores (um a vante e outro a ré) e a capacidade de mover a popa lateralmente.

Esse tipo de propulsão oferece maior manobrabilidade e redundância, e ainda pode ser adotado quando a potência exigida ultrapassa os limites da configuração com o eixo simples,

por exemplo, restrição de calado e diâmetro do propulsor. Para o projeto de eixos duplos há opção do uso de pés de galinha (para os abertos) ou *skegs* duplos.

Para eixos duplos abertos a eficiência é geralmente comprometida quando comparada a configuração com apenas um eixo, devido ao aumento da resistência de apêndices (pés de galinha e sapatas). A introdução do projeto dos *skegs* duplos elimina a necessidade desses apêndices acima mencionados, e podem oferecer uma melhor performance hidrodinâmica, especialmente para navios volumosos ($C_b > 0,70$) e aqueles com boca amplas e/ou calados menores.

Para navios de carga em águas calmas, a resistência dos apêndices é de 2 a 3%. Aproximadamente a metade se deve ao leme e a outra parte às bolinas no bojo. A influência do leme aumenta bastante em condições severas de mar ou para navios direcionalmente instáveis. A resistência adicional gerada pela instalação de *bow thrusters* pode atingir a faixa de 1 a 2% em águas calmas. São colocadas barras nas aberturas e perpendicularmente à direção do fluxo, com a finalidade de interromper o fluxo laminar e reduzir os vórtices formados. O que também ajuda na redução de ruídos.



Figura 19 - Sistema de dois hélices e dois lemes

Agora iremos iniciar uma análise da esteira do navio e de como alguns dispositivos contribuíram para sua equalização, resultando em uma menor influência na eficiência do navio.

4 ESTEIRA

4.1 FORMAÇÃO DE ESTEIRA (WAKE)

Quando um propulsor está operando ou atuando em alto mar, o seu avanço será em águas não perturbadas. Quando o propulsor atua na sua posição junto ao casco as condições de operação ficam modificadas. O propulsor passa a atuar em águas perturbadas pela passagem ou deslocamento do casco, e a água em torno da popa adquire um movimento para avanço (adiante e no mesmo sentido do navio), de modo a preencher o “vazio” deixado pelo deslocamento do casco.

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

Sabe-se também que, o propulsor acelera água à sua frente, o que ocasiona uma redução na pressão em torno da popa, aumentando também a velocidade na região. Portanto ambos os efeitos aumentam a resistência (arrasto) do navio, para valores acima daqueles medidos ou obtidos nos modelos testados em tanques de provas, pois neste caso, o casco é simplesmente arrastado através da água, não existindo esforço de propulsão.

Assim sendo, as relações entre, *thrust*, torque e revoluções (velocidade angular) em águas abertas, onde a admissão de água no propulsor é uniforme, não serão as mesmas quando as condições de escoamento após o casco variam como no caso de águas perturbadas. Deste modo existirão diferenças na eficiência dos propulsores quando operam em águas abertas ou após o casco (águas perturbadas). A diferença entre a velocidade do navio (V_s) e a velocidade relativa do propulsor em relação a água (V_a), velocidade de avanço, é denominada velocidade de esteira (*Wake Speed*). Froude, propôs a expressão fração de esteira, na qual relaciona a velocidade de esteira ($V_s - V_a$) com a velocidade de avanço (V_a).

$$Wf = \frac{V - Va}{Va} Va = \frac{Vs}{A + Wf}$$

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

$$W = \frac{Vs - Va}{Vs} \quad Va = V(1 - W)$$

Como o fator de esteira varia ao longo da popa e do propulsor, isso afeta o bom funcionamento do mesmo, em função das diferentes condições de atuação para cada uma das

pás do propulsor. Como a pá do propulsor apresenta movimento de rotação, e se considerarmos uma dada seção da pá, com um determinado raio, verifica-se que esta seção atravessará regiões com diferentes concentrações de esteira, ou seja, com fatores de esteira diferentes. A Figura 21 mostra os diferentes fatores de esteira após o casco, e são destacadas as condições diferentes para as pás do propulsor nas posições (1) ponto morto inferior e (3) ponto morto superior. Portanto o coeficiente de esteira é um parâmetro que visa em última análise, corrigir os efeitos da variação e intensidade da velocidade do escoamento incidente no propulsor, causado pela esteira.

O valor do coeficiente de esteira é influenciado amplamente pela forma do casco da embarcação, e em menor escala pela configuração do sistema propulsivo e suas características físicas, por exemplo: um maior valor do diâmetro do propulsor para um mesmo comprimento do navio diminui o valor deste coeficiente. O coeficiente de esteira tem grande influência na eficiência do propulsor. Em relação à ocorrência de cavitação no propulsor, este risco é diretamente proporcional ao valor deste coeficiente, devido ao elevado grau de não homogeneidade do escoamento ao redor do propulsor.

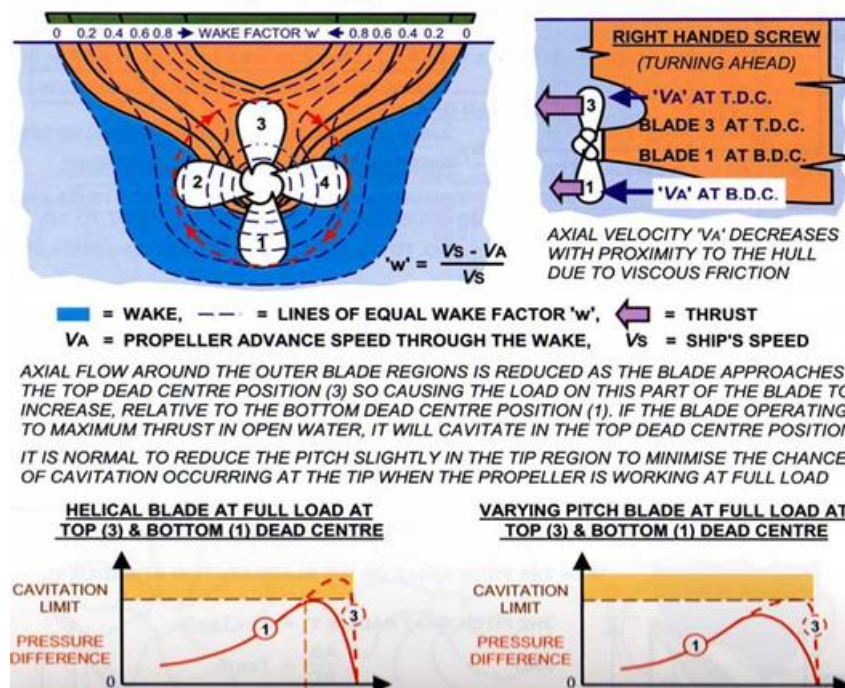


Figura 20 – O efeito da interação do propulsor com a esteira do navio

Pode-se então construir um propulsor cujo passo varia desde o bosso (*hub*) até a ponta da pá (*blade tip*), de tal modo a garantir uma esteira circunferencial média, para um dado raio. Esse tipo de passo em que o ângulo de ataque cresce desde o bosso até a ponta da pá é

conhecido como passo progressivo ou variável. Esta variação progressiva do ângulo de ataque em cada pá é uma característica construtiva imutável.

4.2 DISPOSITIVOS EQUALIZADORES DE ESTEIRA

Apesar dos novos desenhos e projetos de popa, de casco e das modificações estruturais introduzidas nas pás dos hélices, os problemas relacionados com a hidrodinâmica nas esteiras das embarcações continuam a existir, sendo mais percebidos nos navios que apresentam grandes coeficientes de bloco. Os campos das esteiras, onde os propulsores operam, caracterizam-se por serem campos não uniformes de velocidades e pressões capazes de provocar solicitações mecânicas intermitentes nas pás que induzem vibrações mecânicas indesejáveis, que podem produzir ressonância no casco, como também resultar em cavitação intermitente nas pás.

Tendo em vista a utilização das técnicas de modelos reduzidos e de protótipos testados nos modernos tanques de provas, várias empresas estão desenvolvendo e produzindo os denominados Dispositivos Equalizadores de Esteira. O emprego destes dispositivos leva a melhores eficiências de propulsão, e por consequência menores consumos de combustível, acarretando redução na emissão de poluentes atmosféricos, principalmente os óxidos de enxofre SO_x e os óxidos de nitrogênio N_xO_y , advindo daí um ganho ambiental importante, conforme o disposto no Anexo VI da MARPOL. É válido acrescentar que a utilização de qualquer dispositivo equalizador de esteira, não significa correção de nenhum defeito estrutural ou de construção no propulsor e sim um aperfeiçoamento ou um ganho na hidrodinâmica no campo das esteiras.

4.2.1 Skeg

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

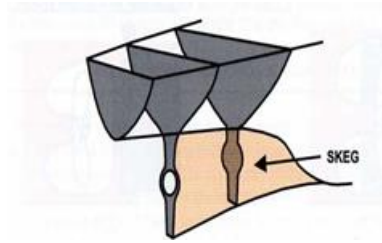


Figura 21 – Skeg ou deadwood

4.2.2 Duto *Schneekluth*

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



Figura 22 - *Schneekluth* aplicado a um navio

Durante vários anos o *Schneekluth* foi usado em uma série de 25 navios, o que possibilitou um grande estudo de casos, de medições e evolução do sistema para futuras melhorias e aperfeiçoamentos. Uma das principais características desse duto é o ângulo de inclinação em relação ao plano da linha de centro. Depois de certo tempo descobriu-se que a eficiência do duto seria aumentada se fossem incluídos no projeto duas aletas em cada bordo, uma acima da linha de centro e mais próximo do duto e outra mais afastada e abaixo da linha de centro.

A utilização desse sistema gerou um aumento na velocidade do navio em 0.3 nós. A partir de várias medições em diferentes potencias e diferentes velocidades criou-se o gráfico

da Figura 24 onde se encontra uma comparação de 36 navios com o duto e 18 navios sem o duto.

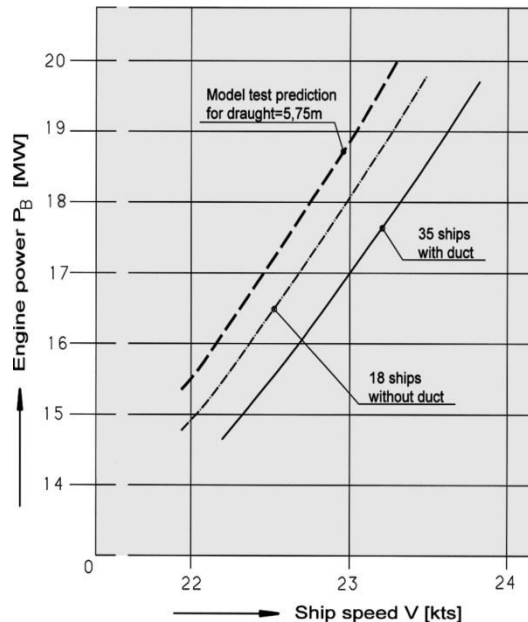


Figura 23 – Gráfico de comparação de navios com e sem duto *Schneekluth*

Esse aumento representa um ganho de potencia médio de 950 KW ou 5%. O que representa uma economia de 4 toneladas de combustível por dia.

Concluiu-se a partir dos dados observados que o ganho na eficiência do propulsor é devido aos fatores:

- Direcionamento do fluxo para a metade de cima do propulsor que são áreas onde há maior possibilidade de haver um descolamento da camada limite. Devido ao fluido ter sido conturbado pelo casco do navio.
- Os dispositivos de equalizadores de esteira são colocados para acelerar o fluxo de água através do seu formato especial. Eles direcionam o fluxo para a área de máxima não uniformidade de fluido.
- Para adquirir o resultado de uma corrente de esteira mais homogênea em geral. Conseqüentemente, o ângulo de perfil das pás dos propulsores encaixa mais efetivamente na admissão de fluxo através de uma maior parte da circunferência de atuação e assim o propulsor é incrementado.
- O descolamento da camada limite na área do duto *Schneekluth* atua da mesma maneira como a redução na perda do *thrust* e assim como uma maior eficiência da propulsão.

- Finalmente, os dispositivos equalizadores de esteira também providenciam um componente de propulsão através da configuração do seu perfil e do resultado do fluxo circular em torno do duto.

O aumento da velocidade do fluxo de admissão resultante da instalação do duto ajuda o hélice a girar mais facilmente por 1,5 – 2 RPM, em comparação com uma embarcação sem o duto. Uma melhoria dessa magnitude, não requer uma adaptação do propulsor quando se está instalando um duto numa embarcação, nem qualquer mudança no projeto do propulsor para um navio com o duto. O aumento do alcance é a grande vantagem para as condições de operação de motores diesel em acordo com os limites de tolerância do design do propulsor.

Em navios com o dispositivo instalado, onde o armazenamento de carga fica a frente da superestrutura, as condições para satisfazer os requisitos para baixas vibrações nas acomodações e nos locais de trabalho para oficiais e demais tripulantes são extremamente desfavoráveis. As maiores fontes de vibração são o motor principal e o propulsor, que estão imediatamente bem próximos destes locais, e a estrutura de aço ajuda a criar um caminho que é curto e eficiente. A excitação do propulsor é um fator que deve ser considerado mais detalhadamente com o intuito de buscar a efetividade do duto *Schneekluth*.

Uma parte das forças é transmitida durante o funcionamento do propulsor na área de esteira através do eixo e barreiras até o casco, devido aos pulsos de pressões do propulsor. Isto é consequência da carga contínua na direção e velocidade da admissão de fluxo pela pá do propulsor, durante a rotação na área de esteira. A magnitude dos pulsos de pressão em uma parte pequena que depende da extensão da força contínua aplicada na pá é mais importante na geração e colapso das bolhas o que gera a cavitação crescente nas pontas das pás, essa camada de cavitação que esta sendo formada por uma desfavorável admissão de fluxo com uma magnitude próxima a dos pulsos de pressão.

Como o descrito acima, o propulsor encontra as piores condições em sua revolução na área das 12 horas. É o ponto em que a velocidade de admissão de fluido é a menor possível decorrente dos maiores pulsos de pressão. Esses pulsos são transmitidos através da água para o casco galvanizado.

A instalação do dispositivo equalizador de esteira *Schneekluth* não consegue processar os pulsos de pressão ineficazes; as características da área de esteira e as consequências dos resultados continuam imutáveis. Entretanto, a homogeneização do fluxo de água que vai de encontro ao propulsor gera uma menor ocorrência de cavitação na ponta das pás assim como uma redução nos pulsos de pressão.

O efeito desta influência pode ser observado através dos níveis de pulsos de pressão medidos em um navio primeiro sem o *Schneekluth* e depois com o dispositivo instalado. O diagrama da Figura 25 mostra a diferença nos pulsos de pressão sem e com o duto *Schneekluth*. Os valores mostrados foram medidos em uma magnitude individual. O efeito do duto mostra seus benefícios em grandes diferenças. Isto acontece através destas excitações que contribuem para mitigar os problemas. Este efeito é mais valioso quando confrontamos sua eficácia em relação às grandes dificuldades encontradas ao tentar transformar as estruturas de metal em estruturas livres de ressonâncias.

Descobriu-se com esse estudo que as pás se comportaram da seguinte forma: a primeira pá (1 x z) não tem uma diferença de frequência aparente sem e com o duto, mas na segunda pá (2 x z) a redução é visível e atinge 30% e 50% nas pás (3 x z) e (4 x z).

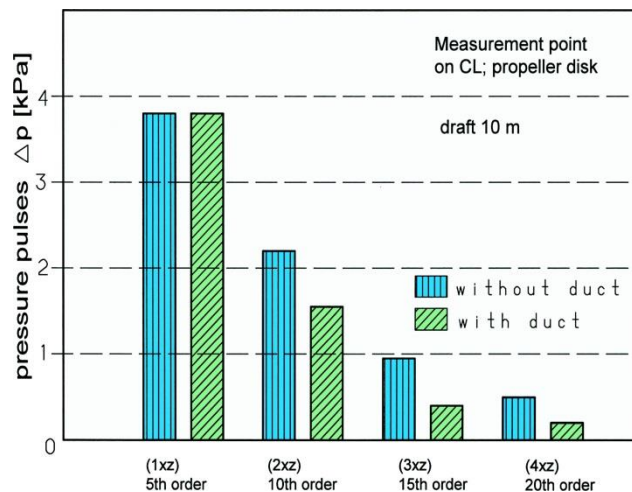


Figura 24 - Diferença nos pulsos de pressão sem e com o duto *Schneekluth*

O resultado é imediato. É bem possível evitar modificações caras e muito complexas nas partes estruturais de aço com o objetivo de atingir correções de frequências de ressonância se as vibrações forem fora do normal. Então adaptar o navio com este duto se prova muito mais eficiente do que se aventurar em modificar a parte estrutural do navio depois de sua superestrutura pronta. Não se deve criar uma expectativa muito alta, pois os méritos para atingir tal desempenho dependem da individualidade e da configuração de cada embarcação no campo de sua esteira. O que deve ficar bem claro mais uma vez, é que este duto não é uma correção de defeitos e sim uma otimização hidrodinâmica.

4.2.3 Duto *Mewis*

No ano de 2009 na Alemanha a empresa *Becker Marine Systems* lançou um projeto baseado exclusivamente em princípios hidrodinâmicos, este novo tipo de duto combina diferentes teorias da dinâmica de fluidos.

A empresa atentou para o fato de que o efeito dos campos de esteira em navios com boca muito larga, como tanques, reduz a eficiência da propulsão. As diferentes velocidades dos fluxos da água ocasionam uma falta de uniformidade no fluxo, como visto nas explicações anteriores.

O duto *Mewis* é um incremento na propulsão destes tipos de navio que contribui largamente para a redução na emissão de poluentes e economiza combustíveis fósseis na navegação. Navios são impulsionados por máquinas de combustão interna e o dimensionamento de sua potência é baseado na resistência do casco, na eficiência do propulsor e na velocidade máxima desejada. Este sistema reduz a necessidade de potência de propulsão ao aumentar o fluxo de água que vai de encontro ao propulsor para obter maior eficiência na propulsão. Este incremento consiste de dois fortes elementos montados na embarcação: um duto posicionado avante do propulsor integrado com um sistema de *fin* ou aletas. A força em que o duto acelera a esteira deixada pelo casco para dentro do propulsor também produz uma rede de *thrust* na frente do propulsor. Cada *fin* individualmente tem sua própria geração de um pré-redemoinho, que rotaciona o fluxo de água no sentido contrário ao da operação do propulsor, recuperando assim, a energia rotacional da corrente do propulsor.

A economia atingida pelo duto *Mewis* depende da carga de *thrust* do propulsor, varia de 3% em uma pequena embarcação de contêineres até 10% em um grande navio tanque ou graneleiro.



Figura 25 – Duto *Mewis* depois de instalado

Otimização

As técnicas de CFD são utilizadas no processo de otimização cujos resultados são testados por modelos apropriados. Como pode ser visto na Figura 27.

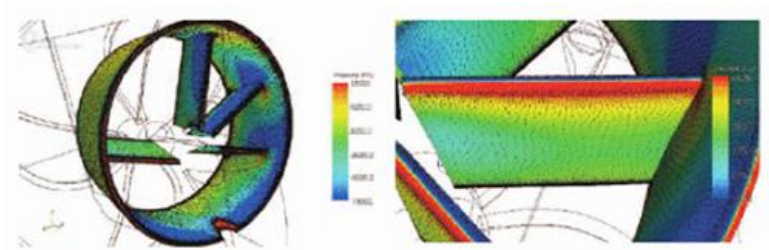


Figura 26 - Análise com CFD

Modelo de teste

De acordo com a empresa *Becker* as previsões dos cálculos do CFD sobre a economia de potência e de acordo com o Instituto de Pesquisa, estão de acordo com as medidas de teste.

O julgamento das medidas de potência de eixo e teste de velocidade na embarcação foram feitos por uma companhia independente. Os dados encontrados não podem ser comparados diretamente com os modelos de teste. As condições ambientais do navio devem ser corretas e dentro do padrão. Isso foi feito em uma base de testes chamada: *Hamburg Ship Model Basin* (HSVA).

As medidas de teste foram feitas com condições leves de carga. O modelo de teste com o duto *Mewis* atingiu uma velocidade de 16,45 nós, ou seja, houve uma economia de aproximadamente 4,5% na potência de propulsão. Isso corresponde a um aumento na velocidade do navio para 17 nós e uma redução de potência de aproximadamente 6% foi encontrada nas medições.

Isto corresponde a uma estimada economia de *bunker* na faixa de US\$23000,00 por ano, considerando o valor de US\$460,00 por toneladas durante 220 dias de operação por ano. Há também a redução dos gases de efeito estufa.

4.2.4 Duto Mitsui

Esse duto equalizador de esteira é muito eficiente também sendo um duto completamente circular avante do propulsor, mas é ao mesmo tempo assimétrico para capturar a aceleração dos fluidos nas áreas do disco do propulsor próximas ao casco. As bordas do duto são alinhadas com as pontas das pás para que não passe para avante do propulsor onde ficaria vulnerável a danos causados pelas bolhas de cavitação das pontas das pás que implodiriam no duto.

4.2.5 Aletas

Não é um duto e sim uma sequência de hidrofólios que são projetados para baixo e para fora da carena lateral mais próxima, avante e acima da linha de centro do propulsor. O maior efeito é criar um fluxo uniforme e axial maior dentro do disco do propulsor acelerando o fluxo lento.

Esses dispositivos funcionam aliviando e reorganizando o fluido, trabalhando como uma asa de avião. Desta maneira ele consegue usar as baixas e altas pressões para direcionar o fluxo para que este chegue mais organizado no duto, que por sua vez o direciona para o propulsor. Evita o descolamento da camada limite, diminuindo o coeficiente de esteira, consequentemente evitando vibrações e cavitação, como pode ser visualizado na Figura 28.

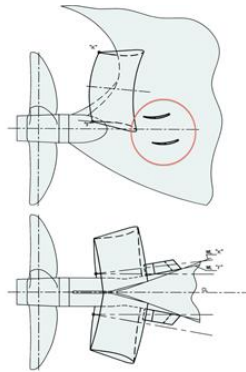


Figura 27 – Aletas

4.2.6 Cilindro Rotativo



Figura 28 – Cilindro rotativo

Este equipamento é composto de um cilindro vertical, fixado no início do *skag*, que rotaciona de maneira constante. O objetivo desse sistema é acelerar o fluxo de água que se encontra avante do *skag* para que quando esta massa encontrar a lateral do propulsor já em alta velocidade possa evitar o *stall* e ainda que o efeito da esteira e o arrasto sejam

minimizados. A maior utilização desse sistema é em uma embarcação especial chamada *Voith Water Tractor*. O componente transversal de *thrust* que o propulsor *Voith Schneider* necessita para assegurar o equilíbrio deve ser o menor possível. O *design* do navio deve fornecer ao *Voith Water Tractor* uma estabilidade suficiente e obras mortas para que ele consiga atingir seguramente o máximo de forças nos cabos. Os resultados dessa otimização está demonstrada na Figura 30.

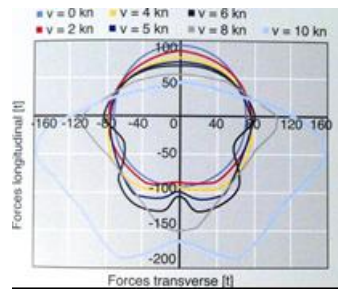


Figura 29 - Diagrama “borboleta”

A Figura 30 mostra, por exemplo, as forças de manobra que são atingidas em todo o alcance de velocidade do navio. Um sério acidente envolvendo o navio *Aegen Sea* na entrada do porto *La Coruña* foi uma das razões de se utilizar o *Voith Water Tractor* para funções de escolta na Espanha. Para que a embarcação atinja altas forças de manobra mesmo com as pequenas dimensões de um *tug* de porto, a empresa *Voith* desenvolveu o *Voith Turbo Fin*. Para este propósito, um motor de leme foi adaptado neste navio. Avante deste *skeg* existe um cilindro rotacional que pode ser ativado pelo piloto quando opera no modo indireto. Ele funciona alterando a camada da borda acelerando a velocidade do fluido, adiando assim o descolamento da camada limite e as forças de manobra no navio inteiro são aumentadas em até 18%, permitindo que este se posicione em melhores ângulos de ataque. O diâmetro do cilindro tem em torno de 50% da máxima largura do perfil do *skeg*. Para atingir os melhores resultados no *Voith Turbo Fin* a velocidade de rotação deve ser quatro vezes a velocidade de rotação do propulsor.

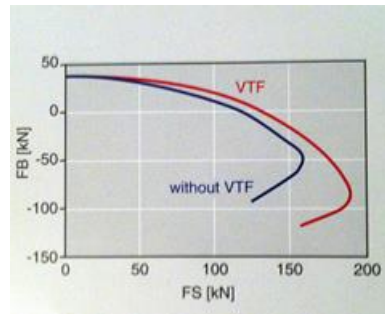


Figura 30 – Diferença com e sem *Voith Turbo Fin*

O piloto ativa o *Turbo Fin* ao apertar um botão no controle do passadiço. Quando este guinar o volante para gerar forças de manobra para qualquer um dos bordos, o cilindro começa a girar na direção da guinada. Com este recurso hidrodinâmico o *Voith Water Tractor* consegue atingir um *bollard pull* de 100 toneladas. Isto ressalta consideravelmente as características especiais deste navio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que os navios se tornaram maiores, os ruídos vindos de seus hélices e motores tiveram também um aumento significativo, agravando os problemas relacionados com a ressonância estrutural. Essa mudança impulsionou uma série de melhorias na estrutura de navios construídos posteriormente. Porém, não foi possível desenvolver uma única tecnologia, uma única mudança, que fosse capaz de suprir todas as necessidades de reduzir esses ruídos. Assim, foram feitas várias transformações capazes de possibilitar a redução dos ruídos, como Azipods, Siemens Schottel, Voith Schneider, Bow Thruster, Tunnel Thruster e propulsores azimutais.

Por fim, as vantagens obtidas como a redução da emissão de poluentes e a redução do ruído do motor e da vibração transmitida do eixo ao hélice revolucionaram a tecnologia naval de tal forma que ainda hoje novas funcionalidades são estudadas para que se obtenham resultados ainda melhores.

6 REFERÊNCIAS

- A CRESCENTE onda de ruído do homem no fundo do mar está afetando a vida dos animais marinhos. Disponível em: < <http://eco4u.wordpress.com/2011/01/04/a-crescente-onda-de-ruído-do-homem-no-fundo-do-mar-esta-afetando-a-vida-dos-animais-marinhos/>>. Acesso em: 19 jun. 2014.
- CLASSNK TECHNICAL BULLETIN. Japão: Nipon Kaiji Kyokai, dezembro 2013. Volume 31.
- CONFERÊNCIA sobre "controle de ruído em navios". Disponível em: <<http://www.exponav.org/jornada-sobre-control-del-ruído-en-buques-organizada-por-enoga/?lang=pt>>. Acesso em: 22 jun. 2014.
- EFEITO do Ruído na Saúde do Ser Humano. Disponível em: <<http://www.fiepbrasil.org/colunas/ergonomia-e-ginastica-laboral/652/efeito-ruído-na-saude-ser-humano/>>. Acesso em: 19 jun. 2014.
- ELETRIC Motor Driven Tunnel Thruster. Disponível em: <<http://www.thrustmaster.net/tunnel-thrusters/electric-motor-driven-tunnel-thruster/>>. Acesso em: 22 jun. 2014.
- HÉLICES de Manobra Elétrico Hélice Dupla. Disponível em: <<http://www.marinexpress.com.br/helices-de-manobra-eletrico-helice-dupla>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- ISO 2631-1. Mechanical vibration – *Evaluation of human exposure to whole-body vibration* - Part 1: General requirements.
- ISO 2631-2. Mechanical vibration – *Evaluation of human exposure to whole-body vibration* - Part 3: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz).
- ISO 2631-3. Mechanical vibration – *Evaluation of human exposure to whole-body vibration* - Part 3: Evaluation of exposure to whole-body z-axis vertical vibration in the frequency range 0,1 to 0,63 Hz.
- ISO 5349-1; Mechanical vibration – *Measurement and evaluation of human exposure to handtransmitted vibration* - Part 1: General requirements.
- ISO 5349-2; Mechanical vibration – *Measurement and evaluation of human exposure to handtransmitted vibration* - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.
- NAVIOS cargueiros atormentam vida. Disponível em: <<http://anaturezagrita.blogspot.com.br/2010/04/navios-cargueiros-atormentam-vida.html>>. Acesso em: 22 jun. 2014.
- PROPULSORS. Disponível em: < <http://www.rolls-royce.com/marine/products/propulsors/> >. Acesso em: 19 jun. 2014.
- PROPULSORES com geometria variável para reduzir ruídos. Disponível em: <<http://www.aviacao.org/news/propulsores-com-geometria-variavel-para-reduzir-ruídos/>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- QUE problemas pode o ruído causar. Disponível em: <https://osha.europa.eu/pt/topics/noise/problems_noise_cause_html>. Acesso em: 23 jun. 2014.
- RUÍDO do tráfego marítimo causa “stress crônico” nas baleias. Disponível em: <<http://atividadesonline.blogspot.com.br/2012/02/ruído-do-trafego-maritimo-causa-stress.html>>. Acesso em: 20 jun. 2014.
- SALIBA, T. M. – *Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração*. São Paulo: LTR, 2009.
- SOEIRO, N. S. – *Curso de Fundamentos de Vibração e Balanceamento de Rotores*. Belém: UFPA-ELETRONORTE, 2008.
- SOEIRO, N. S. – *Curso de Análise de Ruído e Vibrações*. Belém: Curso de Especialização em

Engenharia e Segurança do Trabalho - UFPA, 2009.

TUNNEL thrusters. Disponível em: <http://www.rolls-royce.com/marine/products/stabilisation_manoeuvring/tunnel_thrusters/>. Acesso em 19 jun. 2014.

TUNNEL Thrusters. Disponível em: <<http://www.thrustmaster.net/tunnel-thrusters/>>. Acesso em: 23 jun. 2014.