

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE-EFOMM
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DE MÁQUINAS E NAÚTICA

LUCAS MAYWORM BRAGA ROCHA

GUSTAVO LIMA DOS SANTOS

A PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES

RIO DE JANEIRO

2018

.LUCAS MAYWORM BRAGA ROCHA

GUSTAVO LIMA DOS SANTOS

A PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas e Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.
Orientador: Professor Hermann Regazzi Gerk
Engenheiro Químico
Especialista em Mecânica dos Fluidos.

RIO DE JANEIRO

2018

LUCAS MAYWORM BRAGA ROCHA

GUSTAVO LIMA DOS SANTOS

A PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Professor Eng. Químico Hermann Regazzi Gerck

Assinatura do Orientador

Assinatura do Aluno

Assinatura do Aluno

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo Cesar e Shirley Braga, aos quais devo tudo em minha vida e que sempre me apoiaram em tudo.

Aos meus pais, Sandra Lima e Adilson dos Santos, e as minhas irmãs Deise Lima e Gabriela Flores por todo amor e por estarem sempre comigo mesmo de longe.

Ao nosso orientador professor Hermann Regazzi Gerk, por compartilhar do seu vasto conhecimento sobre o assunto e pelo seu suporte.

Obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os tipos de sistemas de propulsão elétrica usados atualmente, assim como novos sistemas que vem sendo aprimorados para o futuro. Será dado ênfase ao sistema de propulsão elétrica usado na Marinha Mercante, que vem crescendo em um bom ritmo nos últimos anos, pois apresenta uma série de vantagens ao sistema de propulsão mecânica, o qual ainda é o mais usado nos dias de hoje.

Palavras-chave: Propulsão elétrica. Propulsores. Azimutais.

ABSTRACT

This paper aims to present the types of electric propulsion systems currently used, as well as new systems that are being improved for the future. Emphasis will be given to the electric propulsion system used in the Merchant Navy, which has been growing at a good pace in recent years, as it presents a number of advantages to the mechanical propulsion system, which is still the most used today.

Key-words: Electric propulsion. Propellers. Emission of pollutants. Azimuth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Modelo de embarcação a remo do antigo Egito	13
Figura 2:	Embarcação mercante romana 395 A.C.	14
Figura 3:	Navio a vapor Charlotte Dundas	15
Figura 4:	Motor de combustão interna 2 tempos ciclo diesel	16
Figura 5:	Esquema de uma planta de propulsão elétrica	17
Figura 6:	Hélice de passo controlável	18
Figura 7:	Propulsor Voith Schneider	19
Figura 8:	Propulsor AZIPOD <i>AZIMUTAL</i>	20
Figura 9:	Bow Thruster localizado na proa no navio	20
Figura 10:	Arranjo do sistema de propulsão elétrica	21
Figura 11:	Gerador a diesel para navios	22
Figura 12:	Turbina a vapor	23
Figura 13:	Turbina a Gás GE 9E	24
Figura 14:	Quadro elétrico marítimo	25
Figura 15:	Transformadores sendo transportados	26
Figura 16:	Motor de indução trifásica	27
Figura 17:	Funcionamento do motor síncrono a imãs permanentes	28
Figura 18:	Conversor de frequência	29
Figura 19:	Sistema de propulsão AZIPOD®	30
Figura 20:	Acionamento Z Drive	31
Figura 21:	L Drive Thruster	32
Figura 22:	Propulsão POD	33
Figura 23:	Comparação de consumo de combustível	34
Figura 24:	Comparação da emissão de gases para atmosfera.	37
Figura 27:	Comparação do espaço dos porões de carga nos diversos sistemas de propulsão encontrados em navios atualmente.	39
Figura 28:	Redução da Praça de Máquinas	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	A PROPULSÃO NOS NAVIOS MERCANTES	11
2.1	Histórico da evolução da propulsão	11
2.2	Principais tipos de propulsão	13
2.2.1	propulsão a remo	13
2.2.2	propulsão a vela	14
2.2.3	propulsão a vapor	15
2.2.4	propulsão mecânica	16
2.2.5	propulsão elétrica	17
2.2.6	propulsão jato	17
3	PRINCIPAIS TIPOS DE PROPULSORES	18
3.1	Hélice de passo fixo	18
3.2	Hélice de passo controlável	18
3.3	Propulsor cicloidal	19
3.4	Propulsor Azimutal e AZIPOD®	19
3.5	Propulsor lateral(Thruster)	20
4	ARRANJO DO SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA	21
4.1	Geração de energia elétrica	21
4.1.1	gerador a diesel	22
4.1.2	turbina a vapor	23
4.1.3	turbina a gás	24
4.2	Quadros elétricos	25
4.3	Transformadores	26
4.4	Máquina propulsora	27
4.4.1	motor de indução	27
4.4.2	motor síncrono à imãs permanentes(msip)	28
4.5	Conversor de frequência	28
4.6	Tipos de transmissão	29
4.6.1	mecânica	30
4.6.1.1	convencional	30
4.6.1.2	z drive	31

4.6.1.3	I drive	32
4.6.2	AZIPOD®	33
5	VANTAGENS	34
5.1	Redução do consumo de combustível	34
5.2	Flexibilidade e redundância de sistemas	35
5.3	Redução dos ruídos	35
5.4	Redução dos custos com manutenção	36
5.5	Redução da emissão de poluentes	36
5.6	Manobrabilidade	38
5.7	Ganho de espaço a bordo	39
5.8	Redução da tripulação	40
5.9	Aumento da vida útil do navio	40
6	CONSIDERAÇÕES	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A propulsão naval pode ser compreendida como qualquer meio que produz energia mecânica e assim permita que a embarcação possa se deslocar.

A evolução dos sistemas de propulsão vem desde o antigo Egito, com o surgimento do remo base inicial da propulsão, passando pela vela, até o século XIX, quando surgiu o motor a vapor, e nos dias de hoje a propulsão nuclear . Estes sistemas compõem três categorias: A propulsão humana(remo), eólica(vela) e a propulsão mecânica.

Com o desenvolvimento da indústria automobilística e da aviação , a importância do transporte marítimo de fato diminuiu, porém ainda é um dos modais mais importantes para a indústria brasileira, movimentando mais de 350 milhões de toneladas ao ano, e por isso a importância de investir em meios de propulsão e tecnologias para essas embarcações.

O desenvolvimento do motor a diesel, veio para substituir o motor a vapor, pois motores de combustão interna possuem um maior rendimento

As embarcações que operam com propulsão diesel mecânica não trabalham sempre na melhor faixa de trabalho dos motores diesel e por isso o consumo é elevado. Além disso, este tipo de propulsão proporciona maior desgaste, poluição e também um mau aproveitamento de energia.

A propulsão híbrida diesel-elétrica é um tipo de propulsão de embarcações que vem ganhando mais importância pois reduzem a emissão e otimizam o consumo de combustível, sendo flexíveis e rentáveis. As embarcações híbridas em operação tem mostrado que o uso de soluções de energia multi-fontes para as embarcações podem reduzir de 20% a 30% o consumo de combustível, e para isso, é esperado que os motores futuramente operem em uma faixa de operação ideal, aumentando assim também , a capacidade da embarcação no que diz respeito a sua manobrabilidade.

2 PROPULSÃO NOS NAVIOS MERCANTES

Propulsão é o processo de propulsar. Este verbo refere-se ao impulso que é dado para o navio avançar ou se deslocar, seja em sentido físico ou simbólico. Logo, a propulsão é um deslocamento produzido pela ação de uma força. Desde o uso dos remos como primeiro meio de propulsão para tornar possível o comércio entre os povos, os armadores, visando sempre o máximo de lucro. Aproveitam dos avanços tecnológicos para cada vez mais diminuir o consumo de combustíveis e tempo de viagem, com sistemas de propulsão modernos, como a propulsão híbrida diesel-elétrica, e possivelmente em um futuro próximo, a propulsão a jato nos navios mercantes, que já vem sendo empregada em navios de guerra.

2.1 A história da propulsão dos navios mercantes

As primeiras embarcações mercantes coincidem com o período de aventuras e explorações de povos antigos em busca de recursos em geral. As primeiras embarcações surgiram no antigo Egito, na Grécia e em Roma, e estes foram também pioneiros na tentativa de o ser humano se lançar ao mar e com o desejo de chegar cada vez mais longe da costa, novas técnicas de navegação foram criadas, como os navios movidos a vela e a remos, essa foi a primeira ideia de uma propulsão híbrida, as velas latinas, as triremes, dentre outros meios de propulsão. Esses povos buscavam aprimorar as técnicas de navegação diminuindo o tempo de viagem, com auxílio de instrumentos importantes, como o astrolábio e o sextante, assim poderiam buscar travessias maiores e descobrir novas terras.

Com a criação do motor a vapor houve uma grande mudança na propulsão dos navios, que passaram a ter uma propulsão híbrida, com o vapor e a vela. Essa evolução se deu graças a criação da máquina a vapor durante a revolução industrial. Isso aumenta consideravelmente a velocidade em relação a propulsão a vela, diminuindo assim o tempo de viagem. Todavia em contrapartida, este novo sistema necessitava de uma grande quantidade de carvão, que ocupava volume e diminuía o peso possível a ser embarcado. Na incansável busca de meios de propulsão mais eficientes, surgiram novos materiais para construção dos navios, os hélices, os motores mais eficientes e as turbinas a vapor.

Ao passar do tempo e com o advento das evoluções tecnológicas, o desenvolvimento do motor a diesel veio para substituir o motor a vapor, pois um motor de combustão interna possui um maior rendimento. Assim, necessita-se uma menor quantidade em peso e volume de diesel do que o carvão, utilizado no sistema de propulsão a vapor, aumentando assim a capacidade de carga do navio, interessando diretamente ao armador, que tendo mais espaço para embarcar mercadoria, tem a oportunidade de aumentar o seu lucro.

Porém a busca de novos meios de propulsão não parou na propulsão mecânica, visando sempre o maior rendimento. A propulsão elétrica entrou no cenário da construção naval, porém antes de chegar ao estágio que vemos hoje, teve seu início no século XIX com uma lancha para transporte de passageiros na Rússia e após no navio carvoeiro USS “Júpiter” que utilizava um turbo gerador em corrente alternada que estava ligado a dois motores de indução, este navio teve sucesso e permaneceu muitos anos com plena capacidade operativa. Este fator fez com que aumentasse os estudos e pesquisas que visavam tornar esse meio propulsivo competitivo no mercado.

Um sistema de propulsão que vem sendo desenvolvido e já está sendo aplicado em submarinos pode revolucionar a propulsão dos navios mercantes em um futuro próximo. Trata-se da propulsão a jato de água, já usada nos dias de hoje pela marinha dos EUA e da China em submarinos. O sistema conta com um motor elétrico, muito mais silencioso que o eixo de transmissão mecânico, além de reduzir consideravelmente a cavitação, que é um efeito hidrodinâmico que ocorre quando se criam cavidades de vapor dentro da água. Essa é uma evolução significativa na propulsão e que pode ser aplicada em navios mercantes, o que iria eliminar o uso de óleo diesel como combustível.

2.2 Principais tipos de propulsão

2.2.1 Propulsão a remo

Para os homens pré-históricos, os rios, lagos e mares representavam obstáculos extremamente difíceis de serem vencidos. Na história da civilização, frequentemente encontramos situações que documentam o papel do remo, seja como simples aplicação em canoagem, seja nas formas mais estruturadas de navegação e transporte, com preponderante importância no comércio e nas guerras. Por séculos foi o meio mais comum de transporte sobre as águas, até o advento da vela e, após, o motor a vapor. A história aponta que as primeiras embarcações movidas a remo surgiram na Grécia, com os fenícios e no antigo Egito. A evolução deste meio de transporte foi acelerada no momento em que o homem descobriu que o conjunto de dois ou mais troncos tem maior estabilidade na água. Na realidade, havia descoberto a balsa. No momento em que o homem conscientizou-se da grande utilidade dessas descobertas, que possibilitavam seguir extensos cursos d'água, deslocar-se no sentido das correntes dos rios até transportar a família e alimentos para outras regiões, estava também definido o início da história da navegação.

Figura 1: Modelo de embarcação a remo do antigo Egito.



Fonte: jornalgazetaonline.com.br

2.2.2 Propulsão a vela

Os barcos a vela são utilizados como meio de transporte desde a antiguidade. Ao longo da história , a vela tem sido um instrumento no desenvolvimento da civilização, proporcionando maior mobilidade do que as viagens por terra. A mais antiga representação de um navio a vela aparece em um disco pintado encontrado no Kuwait, datado do 5º milênio. Na propulsão a vela não são utilizadas máquinas para dar deslocamento a embarcação , apenas a força dos ventos é responsável por dar movimento . Por isso são importantes ao navegador ter noções sobre direcionamento do vento, maré, e condições meteorológicas

Figura 2: Embarcação Mercante Romana 395 A.C.



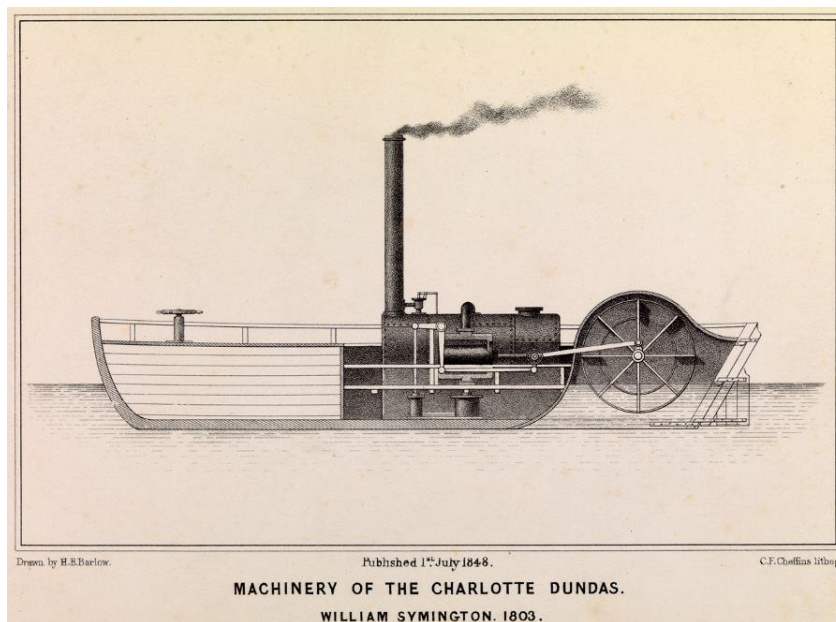
Fonte: artimanha.com.br

2.2.3 propulsão a vapor

Com a criação da máquina a vapor, durante a revolução industrial, surgiram também os navios propelidos a vapor por volta de XVIII que utilizavam carvão como combustível, que permaneceu forte até meados do século XX, quando esse sistema foi substituído.

Os navios a vapor dominaram o cenário da navegação a partir de 1.800 até o final da 2ª Grande Guerra(1945), eles estiveram presentes em grande quantidade nas marinhas mercantes e de guerra de praticamente todas as nações do mundo. A embarcação propelida a vapor utiliza roda de pás montadas a meia-nau, nas laterais e depois na popa. A sua principal e mais marcante característica é a presença de grandes chaminés, como no RMS Titanic, navio mercante mais famoso que sofreu o maior acidente da história da marinha mercante.

Figura 3: Navio a vapor Charlotte Dundas.



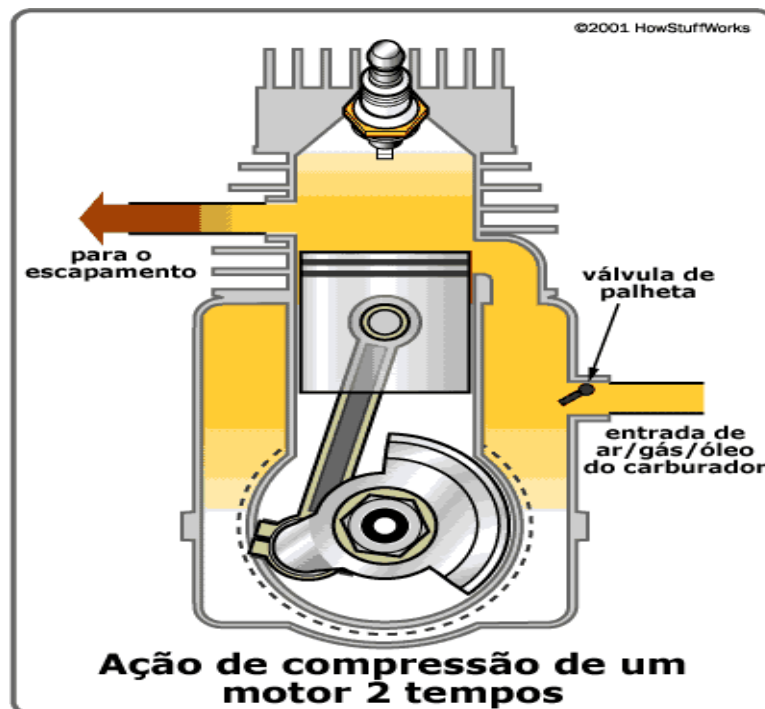
Fonte: <http://www.navioseportos.com.br/web/index.php/museu-virtual/333-motor-a-vapor-maritimo>

2.2.4 propulsão mecânica

A maioria dos navios, tanto de guerra quanto mercantes, atualmente utilizam o sistema de propulsão mecânica. Este sistema de propulsão consiste em um motor de combustão interna (MCI) o qual transforma a energia química em energia mecânica e transmite um movimento de rotação a uma linha de eixos, na extremidade da qual é fixada uma hélice. Uma das grandes vantagens é a possibilidade de poder ser empregado o bunker, um óleo pesado, o que torna a relação custo-benefício deste meio propulsivo muito boa. Este tipo de propulsão possui a vantagem da necessidade do navio ser construído a partir dele, pois não tem a flexibilidade de projeto, devido aos seus complexos sistemas.

Nos navios que operam com propulsão mecânica, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, o qual está associado às altas velocidades. Isso faz com que haja um gasto excedente de combustível além de gerar um desgaste mecânico.

Figura 4: Motor de Combustão interna de 2 Tempos ciclo diesel



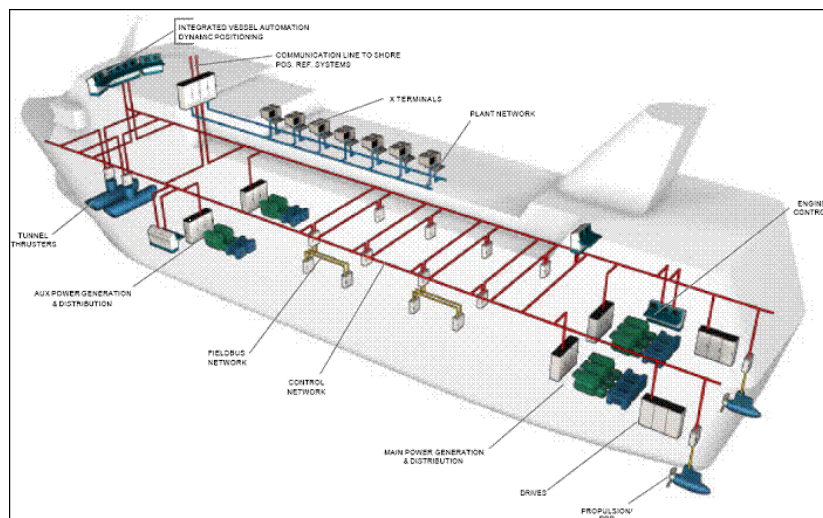
Fonte: <http://mecanicaesuatecnologias.blogspot.com>

2.2.5 propulsão elétrica

Embora muitos navios que trabalham na área OFFSHORE já estão utilizando a propulsão elétrica, este tipo de propulsão é considerada nova. A maioria dos navios ainda utiliza a propulsão mecânica. Esse sistema de propulsão apresenta vantagens interessantes, e em um futuro próximo deve estar presente nos navios como meio propulsivo. Dentre suas vantagens, pode-se citar a redução da emissão de poluentes, a flexibilidade de projeto e consumo de combustível reduzido.

Esta propulsão consiste em um motor elétrico, o qual é alimentado por geradores movidos a diesel e estes movimentam um ou mais hélices. Com propulsão elétrica, temos apenas uma capacidade de geração, a qual é distribuída com mais flexibilidade, diferentemente do sistema de propulsão mecânica, onde temos dois sistemas de potência separados. Logo, a propulsão elétrica busca integrar o sistema de propulsão do navio com os sistemas auxiliares.

Figura 5: Esquema de uma planta de propulsão elétrica



www.deno.oceanica.ufrj.com.br

2.2.6 propulsão a jato

Também pouco usado ainda nos dias de hoje, o chamado Jetboat é um sistema de propulsão que consiste em um jato de água ejetada na parte de trás da embarcação. O Jetboat chama água sob o navio em uma bomba de dentro do barco, depois expulsa através de um bico na popa. Estes navios tem grande capacidade no que diz respeito a sua manobrabilidade, e o sistema é mais utilizado em navios de grande velocidade.

3 PRINCIPAIS TIPOS DE PROPULSORES

Existem hoje vários tipos de propulsores que são empregados nas embarcações mercantes. Cada um deles pode ser mais eficiente se levando em conta a área de trabalho em que o navio trabalha.

3.1 Hélice de passo fixo

Neste tipo de propulsão as pás são, geralmente, inteiriças e com suas pás fixas em um cubo, formando uma unidade integral. O ângulo das pás não pode ser variado. As fixações das pás no cubo do hélice podem ser parte de um único bloco de fundição ou podem ser feitas separadamente na fundição. Existem dois tipos de passo fixo: o constante, onde as pás fixadas no eixo não apresentam curvatura; e o passo progressivo, no qual as pás apresentam uma curvatura progressiva, isto modifica as suas áreas de contato com a água com a rotação do propulsor.

3.2 Hélice de passo controlável

Uma hélice de passo controlável ou variável, possui pás que podem ser giradas em torno de seu próprio eixo para alterar o seu ângulo. Uma hélice de passo controlável pode servir para uma vasta gama de velocidades, uma vez que o passo será variado para absorver o máximo de potência que o motor é capaz de produzir. Se comparado ao hélice de passo fixo os valores do custo inicial e manutenção são superiores. Variando as pás da hélice para um passo ótimo, se obtém uma maior eficiência, economizando combustível. Um navio que possui hélices de passo controlável pode acelerar e desacelerar mais rapidamente, reforçando a segurança.

Figura 6: Hélice de passo controlável

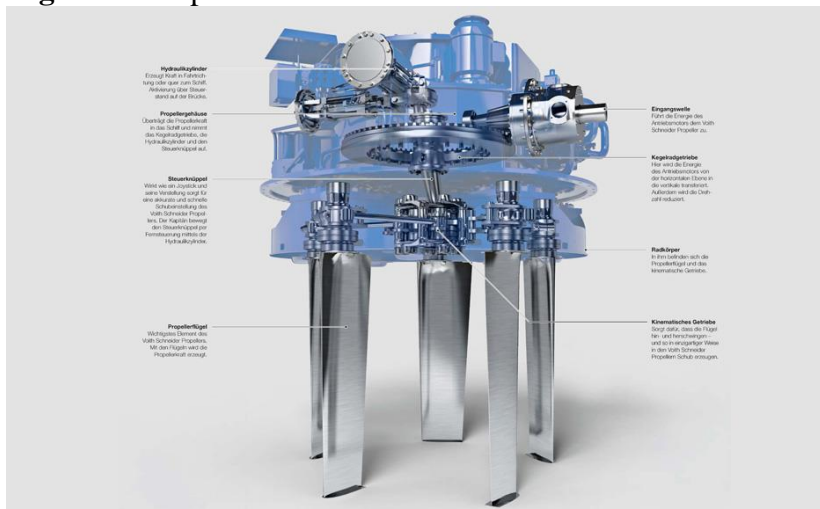


Fonte: <http://www.planobrazil.com/propulsao-naval-helices-de-passo-controlavel-hpc-video/>

3.3 Propulsor cicloidal

Este propulsor é também conhecido como Voith Schneider Propeller(VSP), é dotado de pás na posição vertical, e dispensa o uso de lemes. Uma desvantagem é a profundidade do local deverá ser maior do que a necessária para um rebocador normal. A principal vantagem desse sistema de propulsão, além da óbvia importância de poder atuar para todas as direções radiais com a mesma força de tração, é a velocidade com que as alterações do sentido da aplicação é da intensidade da força podem ser aplicadas, ou seja, alta manobrabilidade.

Figura 7: Propulsor Voith Schneider



Fonte: <http://www.voith.com/ca-en/products-services/power-transmission/voith-schneider-propeller-10002.html>

3.4 Propulsor azimutal e AZIPOD®

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.

Este tipo de propulsor não precisa de leme para governar, pois o propulsor, com sua atuação de 360 graus, já fazem esse papel, possui 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.

Figura 8: Propulsor AZIPOD AZIMUTAL



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/abb-marine/product-30709-461680.html>

3.5 Propulsor lateral(Thruster)

Este tipo de propulsor é amplamente utilizado em embarcações de apoio offshore, pois estas embarcações tem a necessidade de maior manobrabilidade, tem-se este propulsor aplicado tanto na proa quanto na popa. é formado por um hélice lateral embutido dentro de um pequeno túnel no casco da proa ou da popa localizado um pouco abaixo da linha d'água. Este propulsor é posicionado lateralmente nos navios, são conhecidos como Thruster , um exemplo é quando colocado na proa, chama-se Bow Thruster, e na popa, Stern Thruster,

Figura 9: Bow Thruster localizado na proa do navio

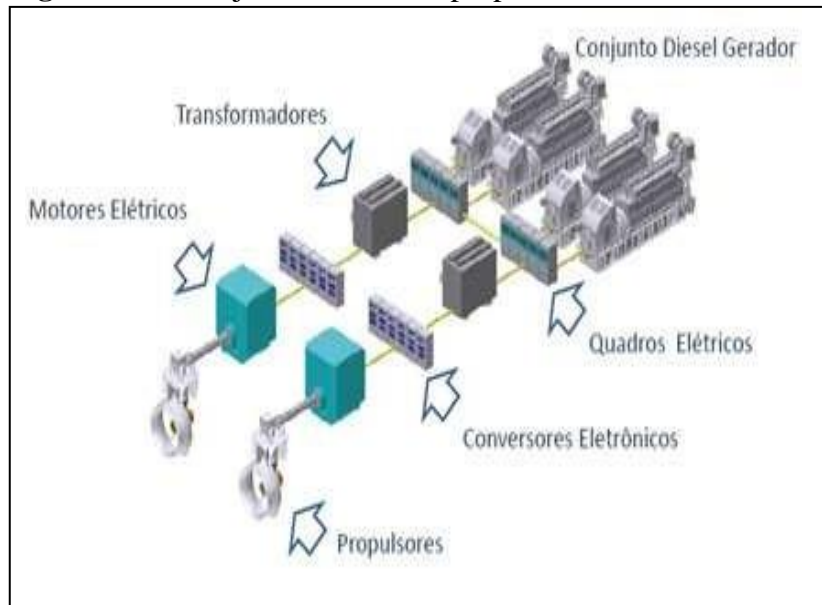


Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Manoeuvring_thruster

4 ARRANJO DO SISTEMA DE PROPULSÃO ELÉTRICA

O sistema de propulsão elétrica é uma opção muito boa e rentável para os navios mercantes pelo seu reduzido custo de operação se comparado aos outros sistemas de propulsão. Este sistema é formado por um grupo de geradores de energia, computadores, inversores de frequência, um drive constituído de sistemas de controle de velocidade e torque, propulsor e um sistema de transmissão. O sistema funciona com a transmissão de potência entre o dispositivo de acionamento principal e os propulsores do navio.

Figura 10: Arranjo do sistema de propulsão elétrica



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

4.1 Geração de energia elétrica

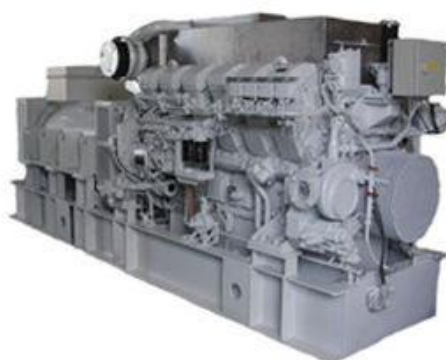
Em um sistema de propulsão elétrica a geração de energia a, tem de alimentar os motores de propulsão assim como os sistemas essenciais. Este fator torna o grupo gerador de energia a bordo um sistema muito importante neste tipo de embarcação que usa como fonte de energia para propulsionar o navio, a energia elétrica. O sistema possui uma capacidade de geração de energia única, que pode ser distribuída de forma flexível em diversas áreas e sistemas presentes a bordo.

Com o desenvolvimento de motores elétricos com maiores potência, os geradores de energia também devem ser potentes, pois conseguem produzir a tensão requisitada e potência. Com isso, surgiu o sistema de propulsão elétrica integrada, que consiste na geração de energia necessário por meio de transformadores abaixadores de tensão para os sistemas auxiliares e o sistema de propulsão. Com a utilização da corrente alternada, foi viabilizada a utilização de alta tensão, isto permitiu a utilização de condutores elétricos mais delgados, facilita a colocação, diminui o peso e os custos.

4.1.1 Gerador a diesel

Os geradores a diesel que são aplicados a bordo são muito diferentes dos aplicados na área industrial. Eles são produzidos sob a fiscalização de uma sociedade classificadora, entidade privada, sem fins lucrativos, responsável dentre outras coisas por fiscalizar a construção de um navio e de alguns de seus equipamentos. Os geradores encontrados a bordo diferem dos industriais no que diz respeito ao nível de ruído produzido, telemetria, controle remoto, tempo de partida, capacidade de partida e parada automática e um maior aproveitamento do óleo lubrificante.

Figura 11: Gerador a diesel para navios



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/pt/prod/midif-diesel/product-31866-276487.html>

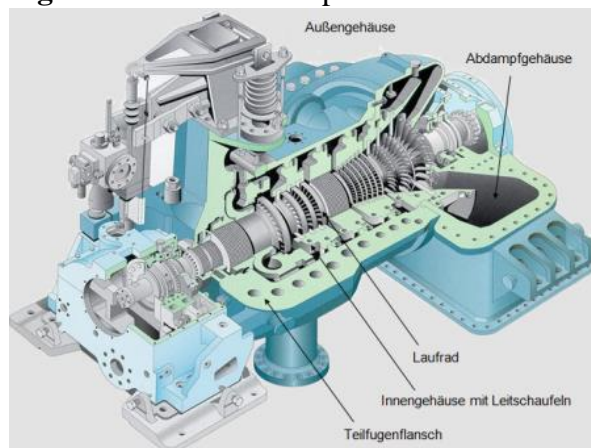
4.1.2 turbina a vapor

Desde sua intervenção na metade do século XIX, nada de significativo mudou no modo como as turbinas a vapor funcionam. Elas são máquinas térmicas nas quais o gradiente de entalpia do vapor em fluxo contínuo é convertido em trabalho mecânico em um ou mais estágios. Responsáveis por isso são as palhetas fixas no alojamento interno e as lâminas presas a circunferência do eixo da turbina. As palhetas guiam o vapor superaquecido. Devido a redução de pressão resultante, o vapor é acelerado. O aumento de energia cinética obtido é convertido nas lâminas em um movimento rotativo do rotor da turbina.

A potência de uma turbina a vapor é essencialmente definida pela diferença de entalpia, que se relaciona com o sistema global, e pode chegar a várias centenas de megawatts, dependendo dos parâmetros do vapor vivo e do número de estágios.

As turbinas a vapor são pouco utilizadas nas embarcações nos dias de hoje, mesmo com algumas vantagens em relação aos geradores a diesel, no que diz respeito a sua manutenção simples e econômica, não são uma opção competitiva no setor mercante.

Figura 12: Turbina a vapor



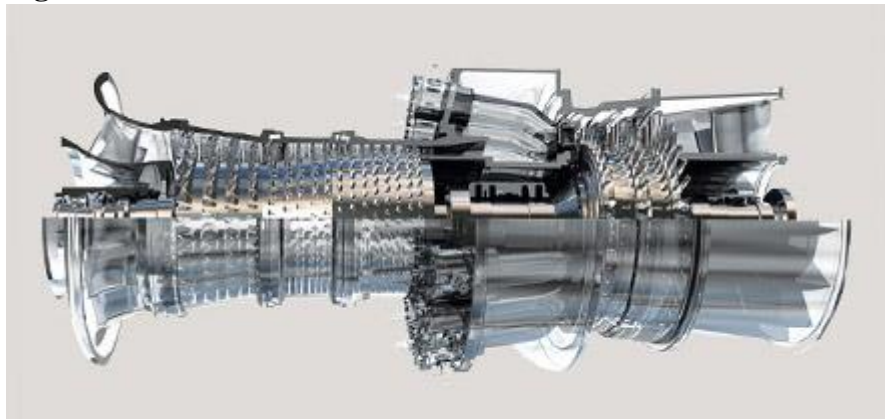
Fonte: <http://ft.carstenkloehn.de/Joomla/index.php/aktuelle-projekte/projekte-2008/diplomarbeiten-2008/rene-boehme.html>

4.1.3 turbina a gás

A turbina a gás começou a ser desenvolvida juntamente com o motor a vapor. Porém não foi esta que difundiu no mercado inicialmente, mas sim a turbina a vapor, devido a falta de conhecimento e tecnologia nos conhecimentos sobre aerodinâmica, necessários para projetar compressores eficientes.

A turbina a gás é composta por um compressor, uma câmara de combustão e uma turbina. A câmara de combustão recebe o ar atmosférico comprimido do compressor utilizando uma parte do trabalho mecânico desempenhado pela turbina. Por sua vez o combustível queimado na câmara de combustão aumenta a temperatura dos gases, os quais entram na turbina e se expandem, realizando trabalho mecânico. Por fim, os gases que saem da turbina são jogados novamente para a atmosfera e assim resfriados. Uma das poucas embarcações que utilizam turbinas a gás é navio de passageiros Queen Mary 2 que é impulsionado por quatro motores a diesel e duas turbinas a gás, que são usadas quando se necessita de potência extra. Essa configuração tem como propósito produzir energia para os seus quatro pods elétricos de propulsão, além de fornecer energia para os serviços de hotel do navio passageiro. Quando se tem um sistema motores a diesel e turbinas a gás, como no Queen Mary 2, os diesel geradores são responsáveis por gerar a maior parte da energia de bordo.

Figura 13: Turbina a Gás GE 9E



Fonte: <http://www.ge-spark.com/spark/wuhan/pt/ge-products/index.html>

4.2 Quadros elétricos

Todos os maquinários em navios que consomem energia elétrica devem ser conectados a um quadro elétrico principal, assim podemos designá-lo como o centro de todo o sistema de energia elétrica do navio. O sistema deve ser projetado de tal forma que, sob todas as condições normais de operação, a energia seja distribuída a partir deste quadro principal. As placas do interruptor principal estão localizadas no centro da distribuição ou na sala de controle do motor. Eles devem ser instalados em uma área que, em tempo de emergência, como incêndio ou alagamento, devam ser facilmente acessíveis. Assim, eles devem ser instalados em espaços afastados dos principais espaços de máquinas.

Algumas vantagens importantes dos quadros elétricos marítimos são um desempenho estável, monitoramento fácil e acessível, segurança elétrica aprimorada e redundância.

A bordo, temos o Quadro Elétrico de Emergência(QEE), que é o centro de distribuição de energia de emergência. Este quadro distribui energia para equipamentos auxiliares que são essenciais em condições adversas, assim como para dar partida ao navio

Figura 14: Quadro elétrico marítimo



Fonte: <https://www.marineinsight.com/marine-electrical/what-are-the-main-safety-devices-for-main-switch-board-on-ship/>

4.3 Transformadores

Um transformador é um dispositivo estático, que não realiza nenhum trabalho mecânico. Mas as funções primárias estão diminuindo e intensificando as classificações de tensão. Invariavelmente, enquanto aumenta / diminui a voltagem, também diminui a corrente inversamente, por isso são muito importantes para geração de energia a bordo.

Os transformadores monofásicos possuem um núcleo de ferro, dois enrolamentos, chamados de primário e secundário, além do isolamento entre núcleos. Eles trabalham com alimentação de corrente alternada e podem ser abaixador de tensão (onde se tem o aumento da corrente) ou elevadores de tensão (onde se tem a diminuição da corrente). O funcionamento se dá através de uma bobina primária alimentada de certa tensão, que produz um campo magnético e as linhas de forças são conduzidas através do núcleo, que submete o enrolamento secundário a ação deste campo, este campo magnético variável induz uma corrente elétrica na bobina secundária, que gera uma tensão proporcional ao número de espiras dela.

Figura 15: Transformadores sendo transportados



Fonte: <https://www.ajot.com/news/olicargo-m-star-with-transport-of-transformer>

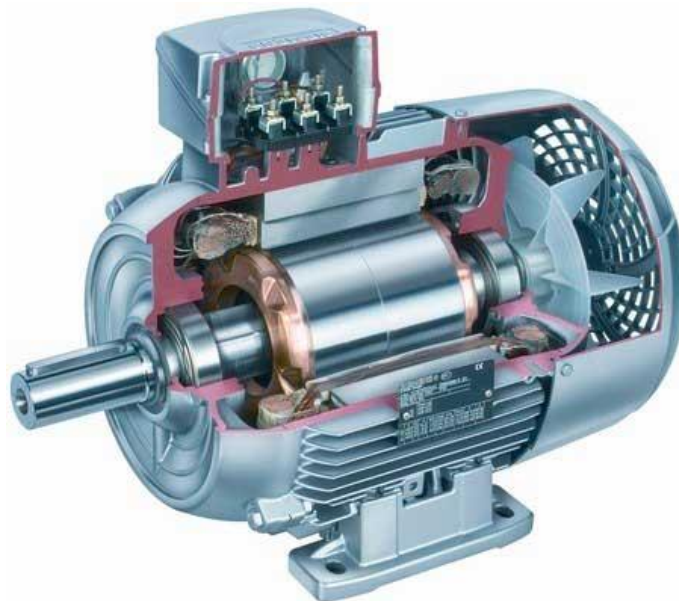
4.4 Máquinas propulsoras

4.4.1 motor de indução

O motor de indução é talvez o tipo mais comum de motor elétrico no mundo. Não possui um comutador ou escovas. Em geral, quanto menos peças móveis, mais simples melhor a longevidade. Este tipo de motor é poderoso e eficiente. É usado em novos trens a diesel, aplicações industriais, bombas, compressores, ventiladores, lava-louças e inúmeras outras coisas. O motor de indução tem dois conjuntos de enrolamentos (fio de cobre ou alumínio enrolado para formar eletroímãs). Quando os enrolamentos no estator são energizados, ele induz a corrente nos enrolamentos do rotor (essa força invisível é chamada de indução).

Suas vantagens são operar em alta velocidade sem que as escovas se gastem, além de serem muito eficientes. Sua desvantagem é que eles só funcionam bem a uma determinada velocidade e torque.

Figura 16: Motor de indução trifásica



Fonte: <http://www.paranaequip.com.br/motor-inducao-trifasico-weg>

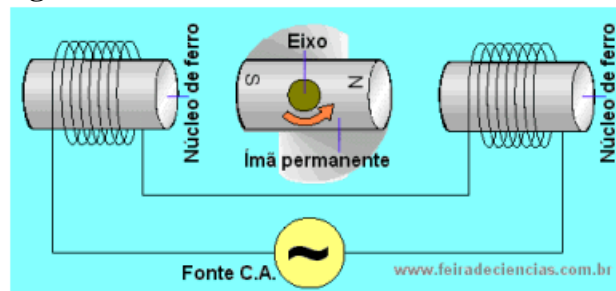
4.4.2 motor síncrono a imãs permanentes (msip)

Um motor elétrico síncrono é um motor no qual, em regime permanente, a rotação do eixo é sincronizada com a frequência da corrente de alimentação; o período de rotação é exatamente igual a um número inteiro de ciclos. Eles são muito interessantes para um sistema de propulsão elétrica, pois aumentam o seu rendimento.

Os motores síncronos são usados principalmente para conduzir equipamentos de operação contínua e velocidade constante, como bombas centrífugas, ventiladores, sopradores, compressores de ar e amônia, conjuntos de motores-motores, etc.

O motor síncrono é muito utilizado na Marinha dos EUA, e nas últimas décadas nas embarcações mercantes com propulsão elétrica, dentre as suas vantagens, podemos citar o baixo nível de ruído e peso, baixo nível de vibração, e um alto rendimento, o que aumenta a eficiência do sistema de propulsão.

Figura 17: Funcionamento do motor síncrono a imãs permanentes



Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala22/motor_teorial.asp

4.5 Conversor de frequência

Um conversor de frequência é um dispositivo elétrico que converte uma corrente com uma frequência para uma corrente com outra frequência. A tensão é normalmente a mesma antes e depois da conversão de frequência. Os conversores de frequência são normalmente usados para a regulação de velocidade de motores usados para acionar bombas e ventiladores.

Eles possuem dois estágios: uma retificação e uma inversão. No primeiro, temos um capacitor e um retificador, o qual transforma a tensão alternada da entrada em contínua pulsada, e o capacitor transforma a corrente contínua pulsada em contínua pura. Na seção inversora a tensão é transformada em alternada por meio de transistores, os quais geram um trem de pulsos com largura variável senoidal.

Tradicionalmente, esses dispositivos eram máquinas eletromecânicas chamadas de grupos motor-geradores. Também dispositivos com retificadores de arco de mercúrio ou tubos a vácuo estavam em uso. Com o advento da eletrônica de estado sólido, tornou-se possível construir trocadores de frequência totalmente eletrônicos

Essas melhorias fizeram com que o motor elétrico fosse mais aplicado à bordo. Este aparelho transforma a frequência constante da rede elétrica de em uma frequência demandada pelo motor elétrico para controlar a velocidade dele. Este dispositivo tem ainda uma função muito importante em navios de propulsão não azimutal, pois proporciona à programação da manobra de máquinas a ré com uma inversão de fases.

Fórmula utilizada pelo conversor de frequência: $RPM = (120 \times F)/P$, onde “F” é a frequência e “P” o número de Pólos.

Figura 18: Conversor de frequência

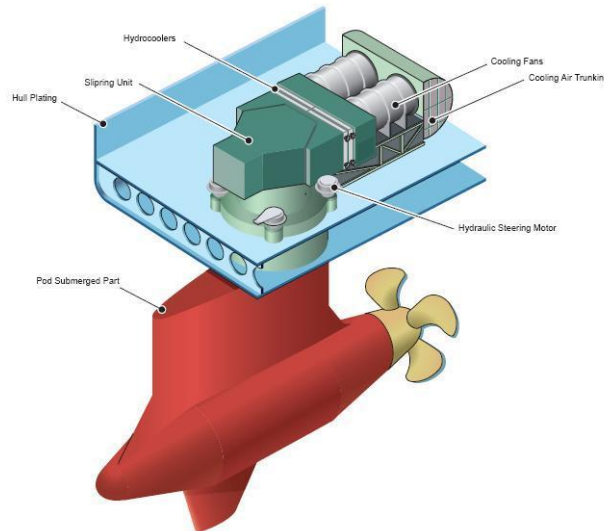


Fonte: images.google.com

4.6 Tipos de transmissão

O sistema de transmissão é outro sistema que sempre ocorre à busca de uma otimização do processo para diminuir cada vez mais as perdas. Podemos dividir em transmissão mecânica e transmissão POD, com esta última bem recente, desenvolvida na Finlândia pelas empresas de construção naval Masa-Yards e ABB, *Azipod*® é a marca patentada, consiste em uma hélice de passo fixo montado em uma gôndola ("pod"), que também contém o motor elétrico de condução do hélice, ou seja, o motor fica “na água”. Esta novidade proporcionou a diminuição das perdas por atrito e ruído, porém ainda sofre pelas perdas por efeito joule.

Figura 19: Sistema de propulsão AZIPOD



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

4.6.1 mecânica

Nos sistemas de transmissão mecânica o motor fica dentro do navio numa praça de máquinas, o que ocorre a necessidade de transmissão por eixos e engrenagens reductoras.

Esse sistema divide-se em convencional (com linha de eixo), L Drive e Z Drive, elas se diferenciam pela configuração e arranjo entre o tipo de motor, a transmissão mecânica e o propulsor, propriamente dito.

4.6.1.1 convencional

A transmissão convencional é a mais antiga e ela consiste em um motor elétrico ligado por uma linha de eixo com mancais, buchas e outros equipamentos necessários para o sistema, ao hélice que fica fora do navio. O eixo de transmissão está sujeito a desbalanceamento, desalinhamento, folgas e outros desajustes.

Esta é sua maior desvantagem, pois tem muitas perdas em suas partes mecânicas com atrito, ruído e calor, além da necessidade do leme para sistema de governo do navio.

4.6.1.2 z drive

O Z Drive é um tipo de unidade de propulsão marítima, especificamente um propulsor de azimute. A cápsula pode girar em até 360 graus, permitindo mudanças rápidas na direção e pressão, retirando a necessidade de leme na embarcação. O acionamento Z é assim chamado devido à aparência (em seção transversal) da configuração mecânica do eixo de acionamento ou transmissão usada para conectar a energia de acionamento fornecida mecanicamente ao dispositivo propulsor azimutal Z-Drive.

Essa forma de transmissão de energia é chamada de Z-drive porque o movimento rotativo precisa fazer duas voltas de ângulo reto, assemelhando-se assim à letra "Z". Esse nome é usado para diferenciar o arranjo do drive e o do L-drive. Não se refere a um motor elétrico em um pod rotativo.

O dispositivo é diferente do sistema de propulsão marítima da Voith-Schneider (também ligado mecanicamente), que também pode mudar rapidamente a direção do empuxo, já que o acionamento Z usa um parafuso convencional que gira ou gira a hélice, ao contrário da geometria variável. lâminas da Voith-Schneider.

Figura 20: Acionamento Z drive



Fonte: <https://www.thrustmaster.net/azimuth-thrusters/z-drives-for-the-inland-waterways/>

4.6.1.3 L drive

Um L-drive é um tipo de propulsor azimutal em que o motor elétrico é montado verticalmente, removendo a segunda engrenagem cônica do trem de força. As cápsulas de propulsão de azimute podem ser giradas em 360 graus, permitindo mudanças rápidas na direção de empuxo e eliminando a necessidade de um leme convencional.

Esta forma de transmissão de energia é chamada de L-drive porque o movimento rotativo tem que fazer um ângulo reto, assim parecendo um pouco com a letra "L". Esse nome é usado para deixar claro que a disposição da unidade é diferente da unidade Z. Para se ter um propulsor do tipo L Drive em um navio, não é tao simples, pois demanda significativo espaço na popa, o que faz com que ele não possa ser empregado em qualquer navio.

Figura 21: L Drive Thruster



Fonte: <http://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/l-drive-thruster-26059.html>

4.6.2 AZIPOD ®

Azipod® é o propulsor acionado eletricamente com um motor de corrente alternada incorporado em uma unidade de vagem de azimute de forma direta que aciona diretamente uma hélice de passo fixo. O motor é controlado por um conversor de frequência, que produz um nominal completo em qualquer direção ao longo de toda a faixa de velocidade, incluindo a parada.

Nele o motor fica dentro do POD, que é uma estrutura selada dentro d'água, o termo POD vem de Propulsion with Outboard Electric motor (Propulsão com motor elétrico externo). O sistema *AZIPOD* ® é constituído de três componentes principais: transformador de suprimento, conversor de frequência e motor de propulsão.

A hélice da cápsula geralmente está voltada para a frente porque, nessa configuração de tração (ou trator), a hélice é mais eficiente devido à operação em fluxo não perturbado. Como ele pode girar em torno do seu eixo de montagem, o pod pode aplicar seu empuxo em qualquer direção. Os propulsores de azimute permitem que os navios sejam mais manobráveis e permitem que eles viajem para trás com a mesma eficiência com que podem avançar.

Figura 22: Propulsão POD



Fonte:images.google.com

5 VANTAGENS

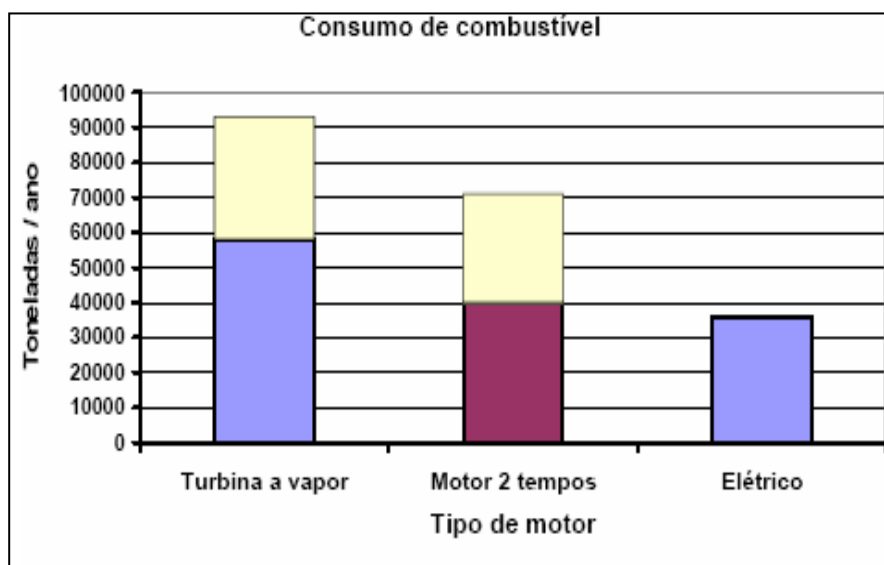
5.1 Redução do consumo de combustível

Em navios com propulsão mecânica, a velocidade do motor é quem define a rotação do hélice; conseqüentemente, de acordo com o perfil de operacional do navio, o motor poderá não operar na faixa de rendimento ótimo, que está associado às altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível e excessivo desgaste mecânico.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada na qual se comparou três tipos de instalações propulsoras diferentes, para um mesmo navio, durante um ano de operação, a Propulsão Elétrica foi a que apresentou os melhores resultados e as maiores vantagens em relação ao consumo de combustível.

Em um navio com sistema de propulsão elétrica, este problema é eliminado, pois o motor pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice. Segundo a marinha dos EUA, estima-se que a eficiência energética é 17% maior em relação a propulsão mecânica tradicional.

Figura 23: Comparação de consumo de combustível



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

5.2 Flexibilidade e redundância de sistemas

Os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros (podem inclusive ser instalados em compartimentos diferentes). Dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor. Pode-se até criar sistemas redundantes que, quando avariados, podem ser substituídos.

Além da liberação de espaços a bordo, a modularidade de sistemas permite que se escolham quais equipamentos devem ser utilizados ou desligados nas diversas condições do navio.

5.3 Redução dos ruídos

Em um sistema de propulsão elétrica não se tem a necessidade de haver um alinhamento entre as máquinas acionadoras com a linha de eixo, o que elimina o uso de engrenagens redutoras. Isto contribui de forma significativa para a redução do nível de ruído.

A eliminação desta engrenagem contribui significativamente para a redução nos níveis de ruído e vibração, garantindo desta forma uma significativa diminuição da assinatura acústica do meio, reduzindo conseqüentemente a possibilidade do navio ser detectado

Além disto, os motores elétricos apresentam menor nível de ruído irradiado, devido às suas características construtivas e, portanto, não produzem tanta vibração e ruído quanto os equipamentos mecânicos. E ainda, à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, conseqüentemente ocorrerá à diminuição da assinatura acústica total emitida.

5.4 Redução dos custos com manutenção

Com a adoção da Propulsão Elétrica nos navios mercantes, não são necessários motores auxiliares, e esta redução na quantidade de equipamentos instalados a bordo diminui consideravelmente os custos com manutenção. Associado a este fato, sabe-se que os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores de manutenção e devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção

5.5 Redução da emissão de poluentes

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

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

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

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

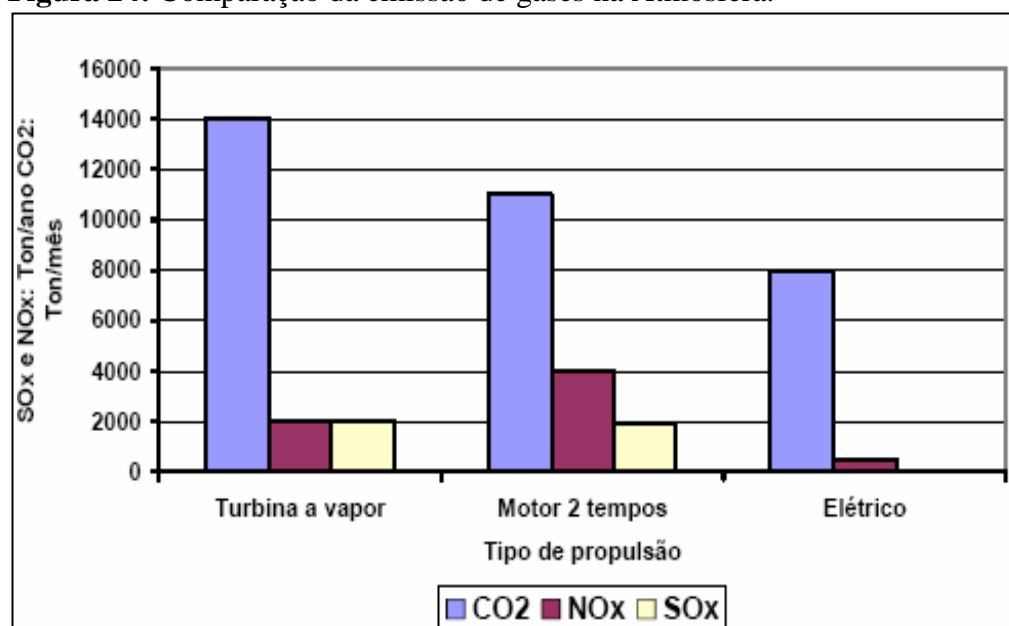
No Brasil, as datas exigidas são: a assinatura do contrato a partir de 1º de janeiro de 2017; a quilha batida a partir de 1º de julho de 2017; ou forem entregues a partir de 1º de julho de 2019. O valor do EEDI atingido deverá ser igual ou menor que o valor do EEDI exigido.

Atualmente todas as empresas do mundo são pressionadas pelos órgãos ambientais para que as mesmas em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão cada vez mais monitorados e as legislações estão mais elaboradas com requisitos mais rigorosos.

Em decorrência das pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de carvão e derivados de petróleo são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica é fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto, no qual o Brasil é signatário.

Durante a operação com navios civis e militares, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão mecânica, tais como: redução das emissões de gases poluentes oriundos da queima do óleo diesel; menor utilização de insumos que podem gerar resíduos poluidores; e menor emissão de ruídos e vibrações durante as viagens.

Figura 24: Comparação da emissão de gases na Atmosfera.



Fonte: GERK, Hermann Regazzi. Slide Propulsão e Propulsores especiais

5.6 Manobrabilidade

A utilização de pods e azimutais nas embarcações com propulsão elétrica permite a geração de empuxo em qualquer direção, uma vez que o propulsor pode ser colocado em qualquer posição ao girar 360°. Para fins de manobrabilidade, isso representa uma enorme vantagem sobre as embarcações com propulsão mecânica convencional. Tanto nas manobras de atração/desatração quanto nas de aproximação, os operadores podem direcionar o empuxo para onde for mais conveniente.

Como exemplo das vantagens de se ter um elevado grau de manobrabilidade pode-se citar a eliminação do uso de rebocadores portuários para atracar/desatracar ou a facilidade de se anular as forças externas quando operar em Posicionamento Dinâmico.

Figura 26: Propulsão AZIPOD no navio Freedom of the seas



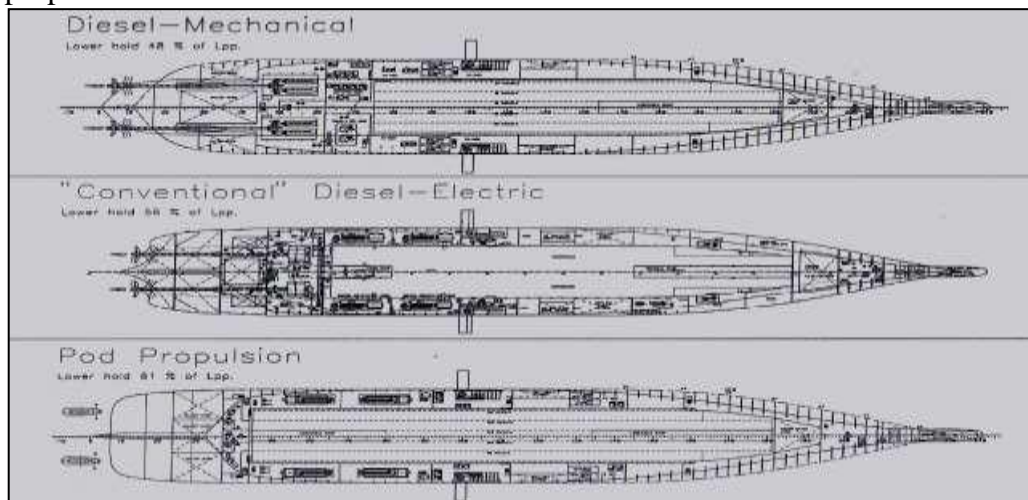
Fonte: <http://tecnologiamaritima.blogspot.com/2012/07/posicionamento-dinamico-parte-4.html>

5.7 Ganho de espaço a bordo

A supressão do MCP junto com todos os sistemas necessários ao seu funcionamento e do sistema de governo por leme nos sistemas azimutais de propulsão elétrica proporciona um enorme ganho de espaço.

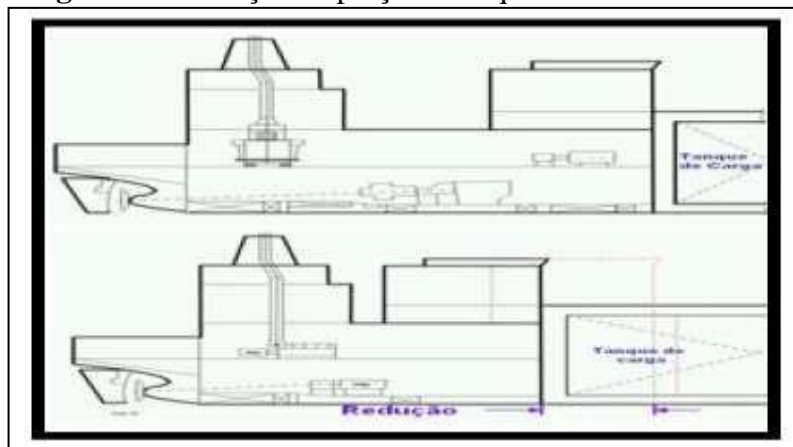
Enormes motores com cerca de oito metros de altura por cinco de largura com a enorme linha de eixo dão espaço aos de motores elétrico que ocupam muito menos espaços e se utilizados os sistemas Podded economiza ainda mais espaços. Montado em módulos, o sistema de propulsão elétrica pode ser alocado de forma a otimizar o espaço do compartimento de máquinas.

Figura 27: Comparação do espaço dos porões de carga nos diversos sistemas de propulsão encontrados em navios atualmente.



Fonte: www.deno.oceanica.ufrj.br

Figura 28: Redução da praça de máquinas.



Fonte: www.deno.oceanica.ufrj.br

5.8 Redução da tripulação

A tendência para os futuros navios é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares e acessórios alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o incremento de automação com conseqüente redução de tripulação, o que proporciona adicional benefício através da redução de custo operacional, além do corte de gastos com a equipagem do navio.

5.9 Aumento da vida útil do navio

Os navios militares modernos incorporam cada vez mais sensores e armas de alta complexidade tecnológica, que os tornam muito mais potentes do que os navios de gerações anteriores.

Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão, as auxiliares e os sistemas de armas, através de um sistema de distribuição redundante e reconfigurável. Os motores são dimensionados para atender ao navio em velocidade máxima, com todos os sistemas vitais em operação.

Com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração em excesso, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas. Os navios projetados com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

6 CONSIDERAÇÕES

Podemos concluir como visto neste trabalho, que o avanço tecnológico tem trazido diversas vantagens e facilidades para o Ser Humano em diversas áreas, o meio naval não ficou de fora, com sistemas automatizados, melhoria dos sistemas já usados, novos sistemas, melhoria na hidrodinâmica dos navios, entre diversos outros fatores que podem ser citados, a propulsão elétrica foi o tema abordado nesse trabalho.

Nos dias atuais, ela se tornou significativa e de grande importância quando falamos de avanço tecnológico, pois tem superado a propulsão mecânica em diversos aspectos e tem sido utilizada em larga escala na construção de novos navios.

Entre as muitas vantagens que o sistema de propulsão elétrica tem sobre o sistema de propulsão mecânica, podemos citar a redução no uso de combustível, redução de ruídos, melhora na manobrabilidade da embarcação e aumento no espaço disponível a bordo como as principais.

Essas vantagens também sinalizam para um futuro com o sistema de propulsão elétrica cada vez mais presentes nos navios em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão elétrica de navios**. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Engenharia do Rio de Janeiro; 2007.

ADNANES, Alf Kåre. **Maritime Electrical Installations and Diesel Electric Propulsion**.

REGAZZI, Hermann. **Hidrodinâmica para navegantes**, 2016.

COSTA, Fernanda. **Introdução a Marinha Mercante**, 2015.

CARLTON, J. S. **Marine Propellers and Propulsion**. 2. ed. Oxford: Butterworth Heineman, 2007.

BARCELLOS, Renato. **O sistema híbrido de propulsão como uma alternativa viável aos sistemas diesel-elétrico e diesel-mecânico**. [S.l.]: 24º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, 2012.

CARLTON, J. S. **Marine Propellers and Propulsion**. 2. ed. Oxford: Butterworth Heineman, 2007.

MARTINS, Igor Estevão Lotti. **Modernos sistemas de propulsão em navios Mercantes**. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha; 2008.