

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS
DE MÁQUINAS - APMA**

LEONARDO TIAGO NORATO

PROPULSÃO ELÉTRICA

RIO DE JANEIRO

2013

LEONARDO TIAGO NORATO

PROPULSÃO ELÉTRICA

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas.

Orientador: Professor Mestrando Henrique Iglesias Paz

Rio de Janeiro

2013

LEONARDO TIAGO NORATO

PROPULSÃO ELÉTRICA

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas.

Data da Aprovação: ___/___/_____

Orientador: Professor Mestrando Henrique Iglesias Paz

Henrique Iglesias Paz

NOTA FINAL: _____

Dedico aos meus pais, namorada e professores que tanto contribuíram que esse trabalho pudesse ser realizado, pois sozinho não conseguiria realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar em minha trajetória, aos meus pais pelo apoio e por todo o suporte que precisei pra alcançar minha meta , por sempre acreditarem em meu trabalho durante a preparação para concursos. A minha namorada e grande amiga que a tempos me acompanha nesta profissão, por me apoiar e ajudar durante a realização do curso e deste trabalho. Ao professor e orientador Henrique Iglesias Paz, por se mostrar presente a fim de qualquer esclarecimento e pelo exemplo de profissional

"Fazendo a mesma coisa dia após dia, não há de se esperar resultados diferentes."
(Albert Einstein)

RESUMO

O presente estudo faz uma mostra dos sistemas de propulsão elétrica de embarcações, principalmente embarcações mercantes, mostrando as origens deste tipo de propulsão no final do século XIX, as grandes mudanças que essa tecnologia trouxe para a área naval, e sua evolução até o cenário atual caracterizado pelas modernas embarcações de apoio marítimo. Apresenta também, os seus arranjos básicos, as possibilidades e limitações de cada um, assim como razões para o desenvolvimento da propulsão elétrica. Os sistemas e seus respectivos componentes de uma instalação de propulsão elétrica mais comum nas embarcações de apoio marítimo também são demonstrados junto com suas vantagens e desvantagens.

Palavras-chave: Propulsão, Propulsão Elétrica, Embarcações Mercantes.

ABSTRACT

This study makes a show of electric propulsion systems for ships, mainly merchant vessels, showing the origins of this type of propulsion in the late nineteenth century, the great changes that technology has brought to the naval area, and its evolution to the current scenario characterized by modern offshore support vessels. It also presents its basic arrangements, the possibilities and limitations of each, as well as reasons for the development of electric propulsion. Systems and their respective components of an electric propulsion system more common in offshore support vessels are also shown along with their advantages and disadvantages.

Keywords: Propulsion, electric propulsion, merchant vessel.

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

%MCR - Maximum Continuous Rating

ANCOR HANDLIN - Manuseio de ancora

AT QUAY - Atracado

BALLAST PUMP - Bomba de lastro

BOW THRUSTER - Propulsor de proa

HFO - Heavy Fuel Oil

MARPOL - Convenção que trata da poluição no mar

MDO - Marine Diesel Oil

PIN - Potência entrando

PLOSSES - Potência perdida

POUT - Potência que saindo

TRANSIT - Trânsito

η - Rendimento

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	TÍTULO	PÁGINA
1	- Sistema de acionamento elétrico integrado.....	12
2	- Fluxo de energia de um sistema elétrico.....	19
3	- Diagrama de combustível por potencia em relação a carga de um motor diesel.....	20
4	- Exemplo de propulsor de passo controlável	22
5	- Vista da popa de uma embarcação de apoio com dois propulsores tipo <i>Azipods</i>	23
6	- Exemplo de <i>Twin Propeller</i>	24
7	- Exemplo de CRP Hélices Contra rotativas.....	25
8	-Exemplo de <i>Z-Drive</i>	26
9	-Azimutal dutado com <i>L-Drive</i>	26
10	-Diagrama de eficiência no consumo em relação a carga na propulsão.....	27
11	-Perfil do tempo de operações de Embarcações de apoio marítimo.....	28
12	-Consumo de Combustível.....	29
13	- Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas	30
14	- Disposição de distribuição em embarcações de propulsão elétrica e mecânica e embarcações de propulsão diesel elétrica tipo <i>POD</i>	31
15	-Arquitetura do sistema de controle com redundância.....	32
16	- Emissão de poluentes.....	34

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO _____	11
CAPÍTULO 1 - SURGIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PROPULSÃO ELÉTRICA _____	13
1.1 - Primeira aplicação mundial da propulsão elétrica _____	13
1.2 - Contribuição da guerra ao desenvolvimento da propulsão elétrica _____	14
1.3 - Pós-crise do petróleo _____	15
CAPÍTULO 2 - PROPULSÃO ELÉTRICA E MECÂNICA TRADICIONAL _____	18
CAPÍTULO 3 - PROPULSORES ESPECIAIS ELÉTRICOS _____	21
3.1 - Passo controlável _____	21
3.2 - Azimutais POD e AZIPOD _____	22
3.3 - Hélices duplas _____	23
3.3.1 - STP - Twin Propeller _____	23
3.3.2 - CRP Hélices Contra Rotativas _____	24
3.4 - Z-Drive _____	25
3.5 - L-Drive _____	26
CAPÍTULO 4 - PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA _____	27
4.1 - Redução do consumo de combustível _____	27
4.2 - Redução da tripulação _____	29
4.3 - Flexibilidade do projeto _____	29
4.4 - Favorecimento das redundâncias dos sistemas _____	31
4.5 - Aumento da vida útil das embarcações _____	32
4.6 - Redução dos custos de manutenção _____	33
4.7 - Redução da emissão de poluentes _____	34
4.8 - Redução da assinatura acústica _____	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	36

INTRODUÇÃO

O conceito de propulsão elétrica não é novo, a ideia originou-se a mais de 100 anos. no entanto, somente com o desenvolvimento da eletrônica de potência nas décadas de 80 e 90, possibilitou-se o melhor controle de motores elétricos com rotação variável em uma grande faixa de potência, além de ser um sistema compacto, confiável e viável economicamente.

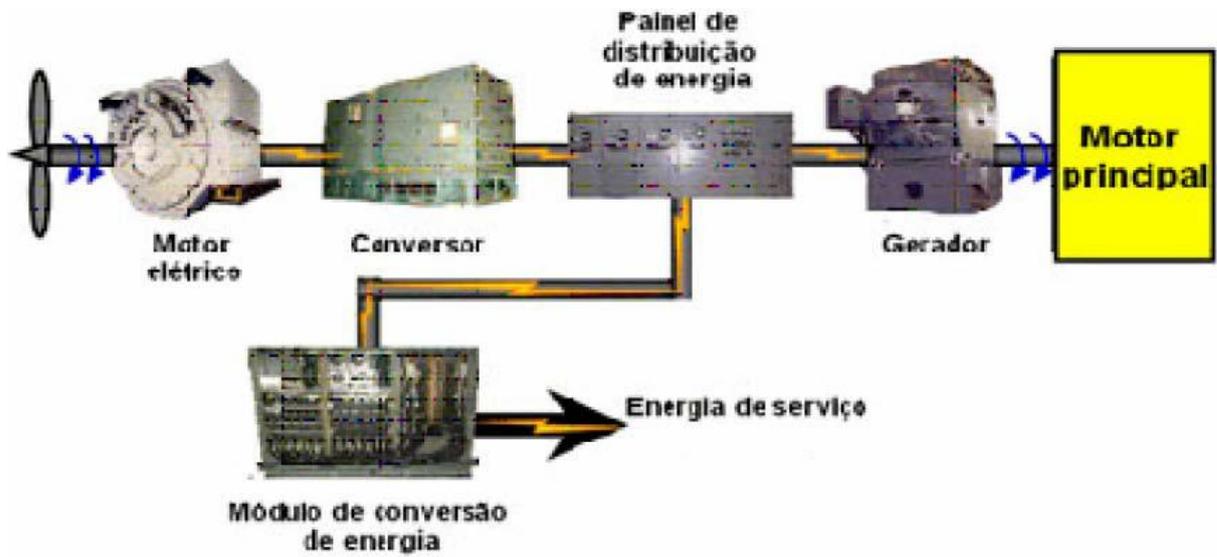
A constante busca por melhorias nos atuais sistemas de propulsão, no que se refere a custos, potência, eficiência, manobrabilidade, densidade de potência, controle da poluição entre outros, é o que provoca a inevitável evolução.

De acordo com as informações de Whittam E.C. (2001, p.18), o conceito de propulsão elétrica Integrada, utilizando o acionamento elétrico, é a tecnologia mais promissora no desenvolvimento da engenharia naval atual, desde o advento dos reatores nucleares e das turbinas a gás. Entende-se por propulsão elétrica, um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico que aciona o hélice do navio. a principal característica deste sistema, é o controle da propulsão da embarcação

No sistema de propulsão elétrica, ao invés de dois sistemas de potência separados, sendo cada um com sua limitação de carga, passa-se a dispor de uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre os diversos sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda.

Portanto, o sistema de Propulsão Elétrica visa basicamente a integração entre o sistema de potência da propulsão com os sistemas auxiliares (Fig. 1). Com a eletrificação dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maiores possibilidades para expansões futuras de acordo com McCoy (2002, p67).

Fig. 1: Sistema de Acionamento Elétrico integrado.



Fonte: Internet

CAPÍTULO I

SURGIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

O sistema de propulsão elétrica de embarcações teve seu desenvolvimento iniciado no começo do século XX ,a partir da necessidade militar, através deste fato ocorreu então o nascimento do submarino.Esse sistema é utilizado até os dias de hoje em submarinos chamados convencionais, porém o desenvolvimento desta tecnologia ainda esbarra em um inconveniente característico da energia elétrica: a dificuldade de armazenamento de energia.

A bateria de acumuladores é o único meio de armazenagem de energia até a atualidade, uma tecnologia antiga, mas que vem melhorando a cada dia com melhores reações químicas e materiais modernos e resistentes.

1.1 PRIMEIRA APLICAÇÃO MUNDIAL DA PROPULSÃO ELÉTRICA

A primeira embarcação movida a propulsão elétrica foi o navio russo *Vandal*, *tanqueneiro* de 75m e 800 tdw, operado pela companhia de extração de petróleo Nobel *Petroleum Company*, baseada em São Petersburgo e com operações no rio Volga e no mar Cáspio. Sua viagem inicial foi dada na primavera de 1903, logo após o gelo do inverno ser quebrado.

O navio possuía três propulsores acionados por três unidades de propulsão elétrica montadas ameia-nau. Cada uma das unidades consistia de um motor diesel de três cilindros e um gerador de corrente contínua de 87 kW 500V. Esses geradores eram conectados eletricamente aos motores elétricos, cada um consumindo 75 kW para girar seus eixos propulsores. Cada unidade propulsora podia ser controlada separadamente a partir do passadiço, o que garantia ao navio mobilidade até então não observada. Os equipamentos elétricos e controle foram projetados e construídos pela empresa Suécia ASEA, adaptando os controles utilizados nos carros elétricos da época até onde se sabe.

Com exceção de algumas falhas que forçaram o adiamento da viagem inicial, o navio atendeu de forma excelente às expectativas. A manobra de reversão de *fullahead* para *full reverse* levava apenas de 8 a 10 segundos.

1.2-A CONTRIBUIÇÃO DA GUERRA AO DESENVOLVIMENTO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

Com a necessidade bélica do século XX se desenvolveram navios submersos ou submarinos, os sistemas tinham que consumir o mínimo possível de oxigênio. A solução novamente foram motores elétricos, neste caso alimentados por um grande grupo de baterias, às quais pela quantidade, dificulta a armazenagem.

Uma das evoluções atuais em alguns submarinos é a geração de energia em CA. Uma parte desta energia é retificada em CC para carregar as baterias dos acumuladores e acionar os motores elétricos de propulsão.

A propulsão elétrica, que hoje é utilizada na maioria dos os submarinos, apresenta algumas restrições como gases gerados durante a carga das baterias maior peso e volume das baterias dos acumuladores. A quantidade de baterias instaladas atualmente nos submarinos teve uma significativa redução, de 500 baterias para 440.

O que difere dos navios mercantes, que transportam em seu BOJO a carga, os submarinos transportam as baterias dos acumuladores. As grandes quantidades de baterias encontradas nos submarinos, não é encontrada nos navios mercantes. Nestas embarcações há poucas baterias instaladas em locais altos e ventilados para melhor administração dos gases explosivos gerados pelo processo de carga. A razão de não haver muitas baterias em embarcações mercantes é que estas perderiam muito espaço reservados para carga e em consequência do excesso de peso, haveria dificuldade para obter uma boa estabilidade. Determinadas atividades que ocorrem em submarinos não podem ocorrer em navios mercantes, um exemplo disto, são alguns processos de carga nas baterias quando é necessário remover toda tripulação de bordo para terra.

Porém quando trata-se de baterias a bordo de um navio mercante o assunto é melhor abrangido ao estudarmos as Regras do Capítulo II-1, parte D, do texto consolidado da Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1978, incorporando todas as emendas de 1997. A Convenção SOLAS apenas exige que os navios mercantes tenham uma fonte de energia alternativa para emergências e não obriga a instalação de um diesel – gerador de emergência (DGE). Porém os navios mercantes com madres do leme maiores que 230 mm, e outros menores, usam um DGE para fornecer a energia de emergência e acionar a máquina do leme e outros equipamentos essenciais, devido aos problemas que seriam causados por grandes grupos de baterias, como nos submarinos convencionais.

Por isso, o uso de baterias a bordo dos navios mercantes é limitado aos sistemas temporários destinados a manter operando a automação, alarmes, comunicações internas, o GMDSS (comunicações nos navios antigos) e a iluminação transitória (antiga emergência). Durante uma eventual falta de energia dos geradores de bordo, e até o acionamento do DGE, as baterias operam como um “no-break” para os sistemas de automação, dentre outros.

Após a segunda guerra mundial foram produzidos rebocadores com propulsão similar aos “DE” , navios escolta com propulsão elétrica produzidos nos EUA na década de 40, pois este tipo de propulsão apresentava vantagens fundamentais a este tipo de embarcação, como permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor.

Com o passar do tempo , foram sendo encontradas as desvantagens deste tipo de propulsão , tendo como um dos exemplos as reversões de marcha do MEP que produziam altíssimas correntes elétricas, que causavam avarias no circuito ou acionavam o sistema de proteção,o qual cortava a energia, causando o “apagão no navio”.Por causa dos infortúnios, a propulsão elétrica em navios ficou limitada até algumas décadas atrás

1.3-PÓS-CRISE DO PETRÓLEO

Na década de 70, após a crise do petróleo, foi desenvolvido em vários países uma atividade à qual hoje é uma das que mais crescem, a prospecção de petróleo no leito dos oceanos,ou seja, exploração de petróleo em alto mar. O que deu início à indústria *off-shore*, com enormes plataformas que precisavam de reboque, abastecimento e outras soluções.Então foram criadas embarcações específicas para esta função, são as chamadas embarcações de apoio marítimo (EAM). Elas fazem o abastecimento das plataformas de petróleo, manobram o seu fundeio, as rebocam e ainda operam em missões específicas, porém todas voltadas para apoio das plataformas de petróleo.

Com a necessidade de permanecer próxima das plataformas por um longo período de tempo, tendo que vencer obstáculos da natureza, para se manter em uma posição precisa e próxima da plataforma, criaram diversas soluções para resolver os problemas enfrentados pelas “EAM”. Entre as soluções está o surgimento do Posicionamento Dinâmico (DP), o qual constitui-se de um processador digital que recebe informações de uma referência, como Sistema Global de Posicionamento (GPS) ou outra referência na plataforma e ainda, informações de agulha giroscópica e do anemômetro da embarcação de apoio marítimo. Logo, o posicionamento dinâmico aciona as máquinas do navio para manter a “EAM” em uma posição relativa à plataforma, com margem de erro de aproximadamente cinco metros,porém

hoje, os receptores com correção *Dynamic Geographic Positioning System* (DGPS) chegam a uma precisão de um ou dois metros em âmbito mundial.

Outro problema das embarcações de apoio marítimo antigas, com um ou dois hélices na popa, era a dificuldade de se deslocar lateralmente, porém hoje em dia é possível ser feita sem o auxílio de rebocadores, com a utilização de propulsores laterais, na proa e na popa, denominados respectivamente de *Bow Thruster* e *Stern Thruster*. Existem *thrusters* acionados por motores hidráulicos e por motores elétricos diretamente. A opção por *thrusters* elétricos é a melhor escolha, no que diz respeito a tempo de resposta e dimensões.

Embarcações como a do sistema acima citado combinam potentes motores de propulsão com o objetivo de um rápido deslocamento base - plataforma - base, e mais ainda geradores de grande potência para produzir energia suficiente durante a manobra junto à plataforma para suprir as necessidades dos “*thrusters*” laterais. Os piques de carga se alternam entre os MCP, durante seu deslocamento base-plataforma-base, e os MCA, durante a manobra. Além da carbonização dos motores operando em baixa carga, o espaço para carga fica reduzido pelo conjunto de dois grandes MCP para propulsão e três ou quatro MCA para a geração de energia elétrica, além dos eixos entre os MCP e hélices propulsores, bem como a máquina do leme.

Ficando evidente que um sistema integrando a propulsão e a geração de energia elétrica permitirá economia de espaço, de combustível e de manutenção, reduzindo os custos e aumentando os lucros, características perfeitas para a finalidade de qualquer atividade econômica.

Em caso da propulsão do navio não apresentar resposta rápida quando acionada pelo sistema de posicionamento dinâmico, não fará sentido instalar hélices laterais, DP, GPS. Diante disto, a propulsão normal na popa da embarcação começou a ser elétrica para se adaptar as necessidades da EAM.

Apesar dessa evolução, o problema nos antigos DE, alta corrente, continuou pior ainda durante a reversão da marcha no momento da manobra dos motores elétricos principais em CA com motor de indução. Para este problema foi descoberta uma solução que desta vez consistia em incorporar um hélice de passo variável acionado pelo MEP. Integrando agora ao sistema de posicionamento dinâmico a variação do passo do hélice além da rotação do MEP. Mas a partida de cada MEP obrigava o emprego de três dos seus quatro motores geradores nessa ocasião.

Uma desvantagem da corrente alternada é que ela se opõe às variações de corrente às quais propiciam a ocorrência de valores harmônicos de frequência que alteram a precisão nos controles automáticos destinados a manter em paralelo no barramento o grupo de quatro ou seis motor – geradores (MCP) das embarcações de apoio marítimo.

Para tornar mínimo este tipo de problema, uma das soluções seria a separação da planta elétrica, porém em situações de manobra ou qualquer situação extrema o paralelismo dos MCP no barramento pode ser “derrubado” pelas flutuações de carga e/ou harmônicos decorrentes.

Para solucionar este problema a empresa ABB lançou no início do século XXI o sistema *AZIPOD*® com energia gerada em circuito alternado distribuída para todo o navio, inclusive para todos os motores elétricos de propulsão. Antes de a corrente chegar ao MEP, ela é retificada para CC, em seguida invertida para CA com tensão e frequência controlada e adequada para a ocasião. Neste tipo de solução o motor elétrico fica mergulhado sob a popa da embarcação de apoio marítimo e o hélice está instalado no prolongamento do eixo do motor elétrico. Uma das vantagens do sistema é que ele é capaz de girar 360° em torno do seu suporte vertical, como os propulsores azimutais (ASD). Desta maneira a embarcação de apoio marítimo não necessita mais de um grande número de partes móveis para transmissão, máquina do leme e não necessita de “thrusters” laterais a ré.

Os navios de passageiros, assim como as EAM que fazem uso deste tipo de sistema, precisam de boa manobrabilidade em águas restritas que não proporcionam facilidades no apoio portuário. Outras vantagens do sistema *AZIPOD*® são: proporcionar a redução dos níveis de ruído e vibrações nas áreas destinadas aos passageiros e dispor de mais espaço que podem se tornar camarotes.

CAPÍTULO II

PROPULSÃO ELÉTRICA E MECÂNICA TRADICIONAL

Nas embarcações dotadas de Propulsão Mecânica tradicional, a rotação do motor diesel é quem define a rotação do hélice, portanto, o motor em algumas condições de operação não opera na faixa do rendimento ótimo, gerando desta forma, um inevitável desperdício de combustível.

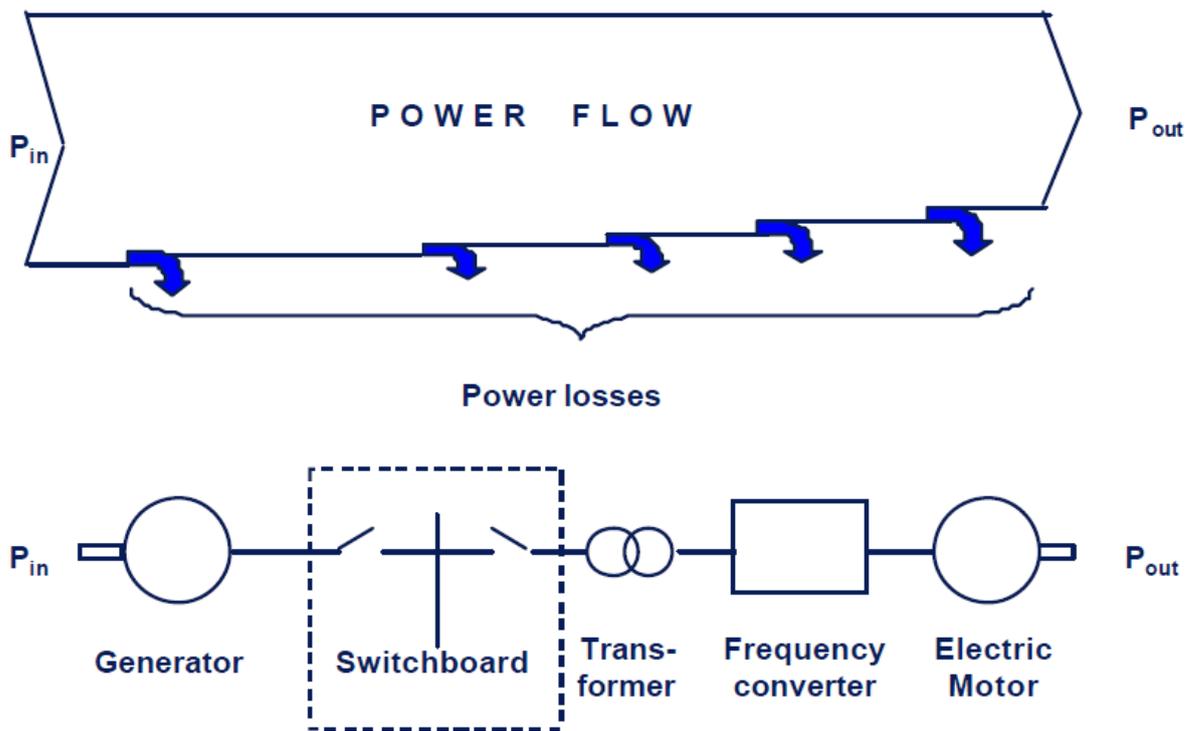
No sistema de propulsão mecânico convencional o dispositivo de acionamento principal a ser empregado, que pode ser um motor diesel, é acoplado diretamente ao eixo propulsor da embarcação de apoio através da engrenagem redutora. Neste tipo de configuração do sistema de propulsão é necessário um diesel gerador auxiliar, instalado em local separado do sistema de propulsão, que fornecerá a potência elétrica para o atendimento da carga para acomodações, dos sistemas operacionais e demais auxiliares de bordo para McCoy (2002, p.22-36).

A Propulsão Elétrica pode ser descrita de forma mais precisa como a transmissão elétrica de potência entre o dispositivo de acionamento principal e a carga representada pelos propulsores do navio (Fig. 3). Este sistema de propulsão consiste essencialmente na transmissão elétrica para a mudança entre a relativamente alta velocidade e baixo torque do dispositivo de acionamento principal para a baixa velocidade e elevado torque requerido para girar os propulsores.

No sistema de Propulsão Elétrico a eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor, como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Portanto, nos períodos em que a embarcação opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica. E considerando que, as embarcações de apoio marítimo operam a maior parte do tempo em atividades com baixas velocidades, como em operações em posicionamento dinâmico (DP), em prontidão e atracado (Fig. 2) tem-se aí o grande diferencial positivo para justificar o emprego da Propulsão Elétrica.

Em qualquer sistema de alimentação isolado, a quantidade de energia gerada deve ser igual à energia consumida, incluindo as perdas. Para um sistema elétrico que consiste de uma planta de geração de energia elétrica, um sistema de distribuição, incluindo todas as perdas energéticas, o fluxo de potência pode ser ilustrado (fig. 2) abaixo:

Fig. 2: Fluxo de energia de um sistema elétrico.



Fonte internet

Os motores primários, neste exemplo, motores diesel, são uma fonte de alimentação para o eixo do gerador elétrico. O motor elétrico, que poderia ser o motor de propulsão, é energizado pelo barramento. A energia perdida nos componentes entre o eixo do motor diesel e do eixo do motor elétrico são térmicos e acústicos, causando aumento da temperatura em equipamentos e ambiente. A eficiência do sistema elétrico (Fig. 2) é:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{losses}}$$

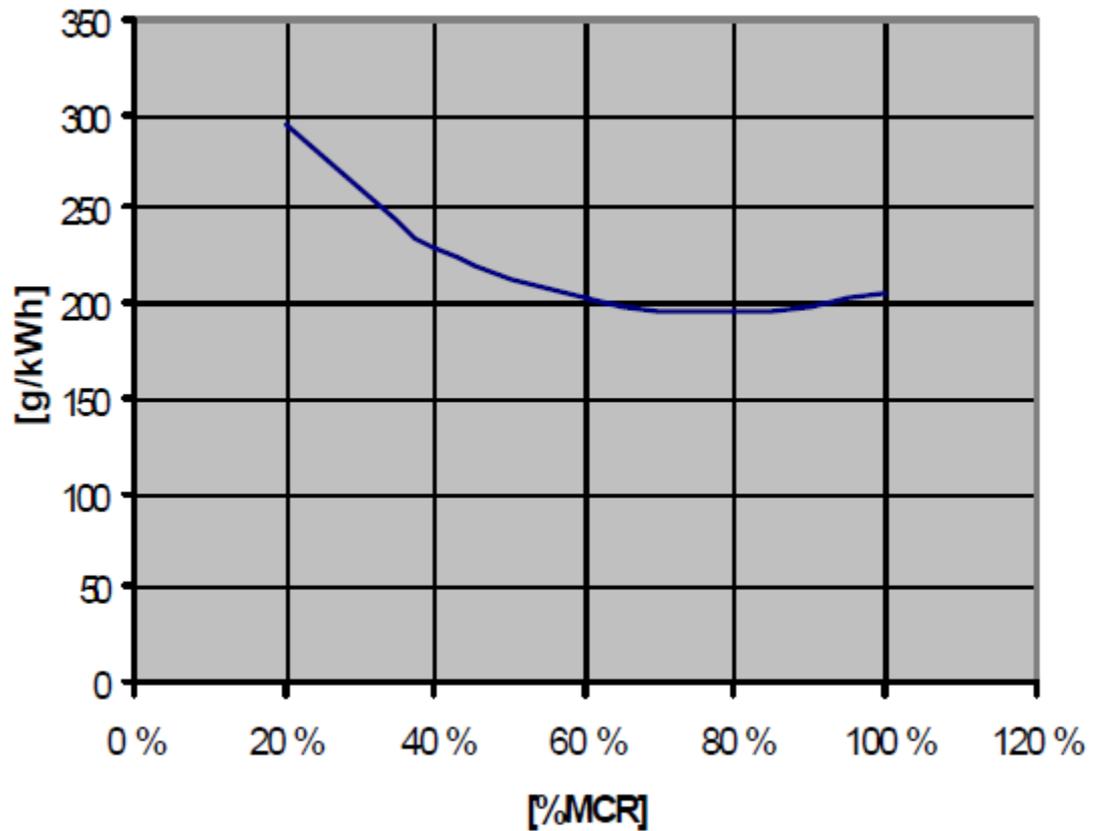
Para cada um dos componentes, a eficiência elétrica pode ser calculada, e os valores típicos de potência (nominal) completo são para: gerador: $\eta = 0,95$ a $0,97$, barramento principal: $\eta = 0,999$; transformador: $\eta = 0,99$ a $0,995$; conversor de frequência: $\eta = 0,98$ a $0,99$; e motor elétrico: $\eta = 0,95$ a $0,97$.

Assim, a eficiência de um sistema elétrico diesel, a partir do eixo do motor diesel, a elétrica do eixo do motor de propulsão, é normalmente entre $0,88$ e $0,92$ em plena carga. A eficiência depende da carga do sistema.

Portanto entre o eixo do motor diesel e o eixo do motor elétrica, de propulsão de um sistema de propulsão diesel elétrica, as perdas são fixas e por volta de 10% . O fator de

eficiência energética do sistema vai depender dinamicamente da variação da carga na propulsão.

Fig. 3: Diagrama de combustível por potencia em relação a carga de um motor diesel.



Fonte internet

No gráfico (Fig. 3) nota-se que a eficiência ótima de um motor diesel fica em torno de 80% de carga, com isto exposto, uma planta de propulsão em que mantenham os motores diesel constantemente nesta faixa ótima de trabalho, teria a eficiência aumentada.

CAPÍTULO III

PROPULSORES ESPECIAIS ELÉTRICOS

3.1 Passo controlável

Os hélices de passo controlável \pm HPC (*Controllable pitch propeller \pm CPP*) são aqueles que ao contrário dos de passo fixo (HPF), podem ter a angulação entre as pás variadas a partir de um acionamento hidráulico alterando o sentido do impulso. A criação desse sistema se deu a partir do acentuado uso de turbinas a vapor, as quais necessitam de um dispositivo para inverter o sentido da máquina. Para facilitar a manobra de inversão foi então desenvolvido o HPC para que fosse necessário apenas adaptar o passo do hélice conforme o desejado ao invés de inverter a rotação do eixo. Desta maneira, outros sistemas também foram beneficiados. Os motores a diesel, por exemplo, possuem um torque máximo dentro de uma faixa limitada, e com essa tecnologia, pode atuar sempre com máxima eficiência. As pás de um HPC giram em um único sentido descartando a necessidade de uma embreagem reversa, utilizada no sistema de passo fixo para produzir empuxo reverso, no caso de o navio precisar parar ou inverter o seguimento. Ao operar sempre com sentido e rotação constantes, o HPC permite uma redução no consumo de carga elétrica e conseqüentemente no consumo de óleo combustível.

Este sistema incorpora uma tecnologia de resposta rápida com nível de ruídos e vibrações perto do limite de zero. Pode ser utilizado em muitos tipos de embarcação. Tem ao seu favor o fato de serem extremamente robustos e preparados para operarem em condições adversas de mar com baixo custo de manutenção.

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

Fig. 4: Exemplo de propulsor de passo controlável



Fonte: Internet

3.2 Azimutais POD e AZIPOD

Propulsor azimutal é um sistema de propulsão capaz de girar 360° dispensando o uso de leme e dando maior manobrabilidade a embarcação, dessa forma bastante indicado para embarcações de apoio marítimo. Além dessa principal vantagem, a propulsão azimutal também é mais eficiente que a convencional graças ao uso de motores elétricos, ela faz melhor uso das dimensões da embarcação conferindo mais espaço para outras instalações, os custos de manutenção também são menores. Os propulsores azimutais podem apresentar transmissão mecânica ou elétrica, sendo que na segunda o motor fica localizado fora do casco da embarcação eliminando a necessidade de caixa de transmissão, já nos modelos tradicionais de transmissão mecânica onde o motor fica localizado no interior da embarcação o torque chega até a embarcação graças ao sistema de transmissão que pode ser do tipo Z-drive ou L-drive.

De acordo com Harrington (1970) o conjunto gerador-motor elétrico pode ser tratado como um sistema de transmissão elétrico. O primeiro projeto de *Pod* propulsor foi concebido em 1955, quando Pleuger e Busmann projetaram o sistema e o patentaram nos Estados Unidos (PÊGO et al., 2005). Em 1990, a ABB lançou no mercado o mesmo conceito de propulsão aprimorado para aplicações comerciais denominado *Azipod*. Basicamente, o sistema consiste de um motor elétrico, alojado dentro de um *Pod* adequado para fornecer

melhor escoamento do fluido, conectado a um hélice. Este conjunto é instalado na parte externa do casco e possui capacidade de girar 360° em torno do seu próprio eixo.

Embora existam outras empresas que fabricam propulsores em *Pod*, durante a investigação notou-se que apenas os sistemas fabricados pela ABB seriam de interesse para embarcações dadas as suas configurações. Este sistema pode ser observado na figura abaixo:

Fig. 5: Vista da popa de uma embarcação de apoio com dois propulsores tipo Azipods.



Fonte: Internet

3.3 Hélices Duplas

Não é recente o uso de mais de um hélice na propulsão de embarcações, vários rebocadores fazem uso de par de propulsores azimutais e dessa forma dispensam o uso de leme, no entanto, nestes casos bem como em outros exemplos anteriores a este os hélices se encontram em eixos e estrutura mecânica diferentes. No entanto, este trabalho ao adotar o termo hélice dupla não se refere a esse tipo de tecnologia e sim algo muito mais recente na navegação que são os pares de hélice em mesmo eixo e mesma estrutura mecânica.

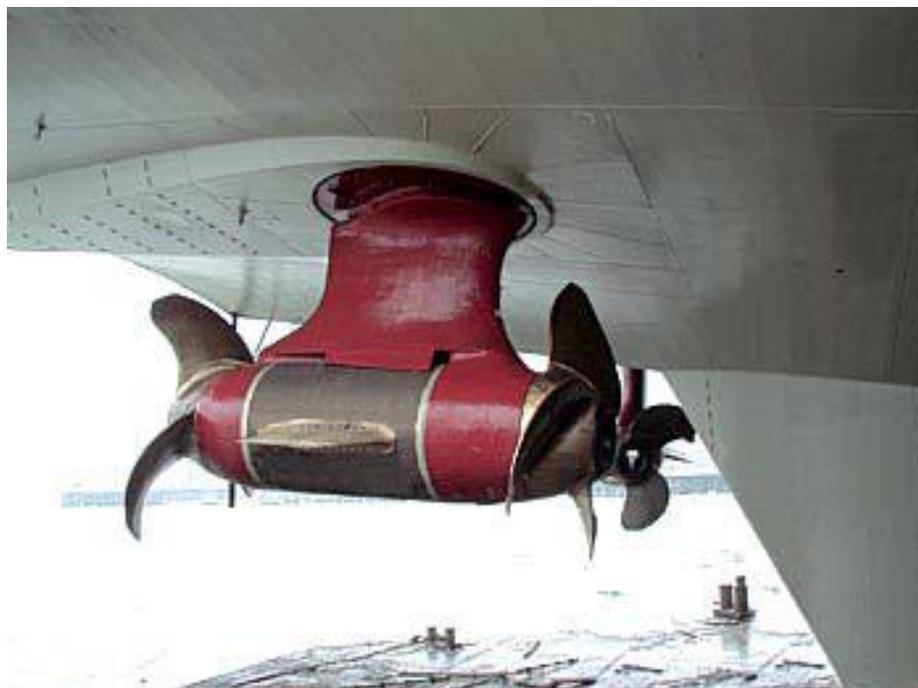
Os dois modelos estudados são o STP (*Twin Propellers*) e o CRP (Hélices contra rotativas) vistos a seguir.

3.3.1 STP *Twin Propeller*

Utiliza de dois hélices montados num mesmo eixo, girando na mesma direção e aletas direcionais integradas ao propulsor, obtêm-se, entre outras, as seguintes 18 vantagens: alta confiabilidade devido à construção simples e com poucas peças móveis, redução do diâmetro do hélice sem comprometimento da eficiência, baixo consumo de

combustível e baixo custo de manutenção. Esse propulsor tem 20% a mais de eficiência propulsora comparado a propulsores comuns.

Fig. 6: Exemplo de *Twin Propeller*.



Fonte: Internet

3.3.2 CRP Hélices Contra rotativas

O propulsor CRP consiste em dois hélices alinhados girando em sentidos opostos onde o hélice traseiro se aproveita da energia rotacional do turbilhão deixada pelo hélice dianteiro, e dessa forma o sistema como um todo apresenta substanciais ganhos de eficiência se comparados aos tradicionais modelos de propulsão visto que a exigência por potência se torna menor e dessa forma reduz-se a necessidade de espaço e consumo de combustível. A contra rotação é uma maneira de aumentar a potência sem aumentar o diâmetro da hélice e anular o efeito de torque nos motores de alta potência. O impulso é dividido entre os dois hélices, sendo assim, a carga em cada uma bem como seus diâmetros são reduzidos o que reduz significativamente os efeitos da cavitação. Outras vantagens são o reduzido nível de ruído e a melhor manobrabilidade em baixas velocidades, o que é muito importante especialmente em portos e canais.

A contra rotação das hélices, também conhecido como hélices coaxiais contra rotativas, aplicam a potência máxima do pistão geralmente a um único motor turbohélice ou a movimentação de duas hélices em rotação contrária.

Duas hélices são dispostas uma atrás da outra, e a energia é transferida do motor através de uma engrenagem circular ou estimula a transmissão de engrenagens. Quando a velocidade é baixa a massa de ar que passa através do disco da hélice (pressão) faz com que uma quantidade significativa de fluxo de ar tangencie as lâminas giratórias. A energia desse fluxo de ar tangencial é desperdiçada em um único projeto-hélice. Para usar este esforço desperdiçado a colocação de uma segunda hélice atrás do primeiro aproveita o fluxo de ar perturbado.

Fig. 7: Exemplo de CRP Hélices Contra rotativas.

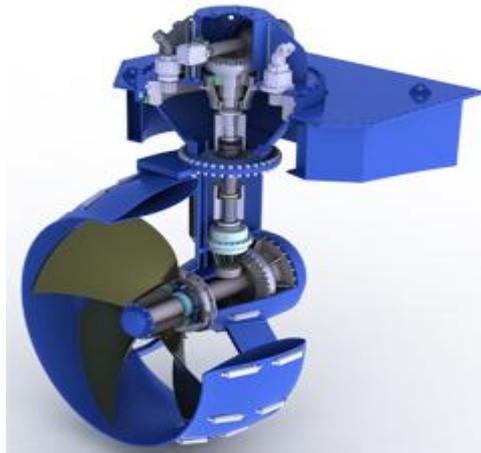


Fonte: Internet

3.4 Z-Drive

O *Z-drive* é um tipo de unidade de propulsão marítima. Especificamente, é um propulsor azimutal. O *pod* pode girar 360°, permitindo mudanças rápidas na direção de impulso e, assim, direção da embarcação. Isso elimina a necessidade de um leme convencional. Esta forma de transmissão de energia é chamado de *Z-drive*, porque o movimento de rotação tem que fazer duas voltas ângulo reto, assemelhando-se, assim, a letra "Z". Tem a desvantagem de possuir duas *gearbox*, causando perdas.

Fig. 8: Exemplo de *Z-Drive*.



Fonte: Internet

3.5 *L-Drive*

O *L-drive* é um tipo de propulsor azimutal em que o *pod* é movido mecanicamente ao invés de eletricamente. O *pod* pode ser girado através de uma faixa de 360° , permitindo mudanças rápidas na direção da propulsão e eliminando a necessidade de um leme convencional. Esta forma de transmissão de energia é chamada uma *L-drive*, porque o movimento de rotação tem que fazer um girar ângulo reto, parecendo, assim, um pouco com a letra "L". É mais vantajoso do que a *Z-Drive* por possuir apenas uma *gearbox*, diminuindo as perdas.

Fig. 9: Azimutal dutado com *L-Drive*



Fonte: Internet

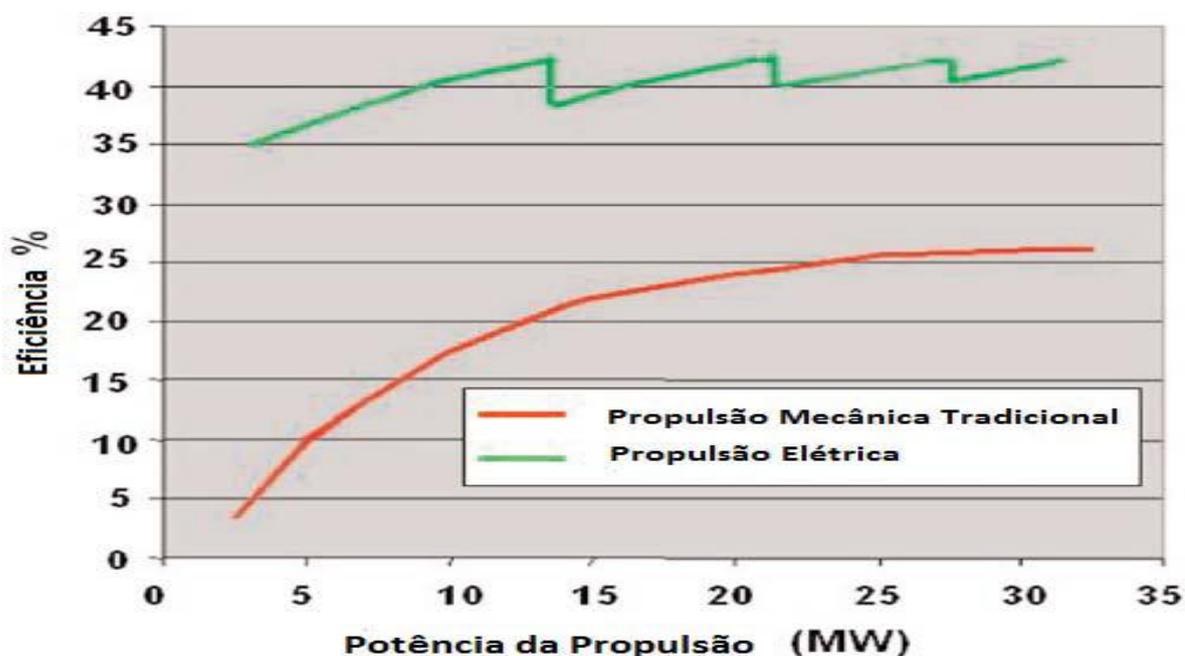
CAPÍTULO IV

PRINCIPAIS VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA.

4.1 - Redução do Consumo de Combustível

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 de acordo com Freire (2004).

Fig. 10: Diagrama de eficiência no consumo em relação a carga na propulsão

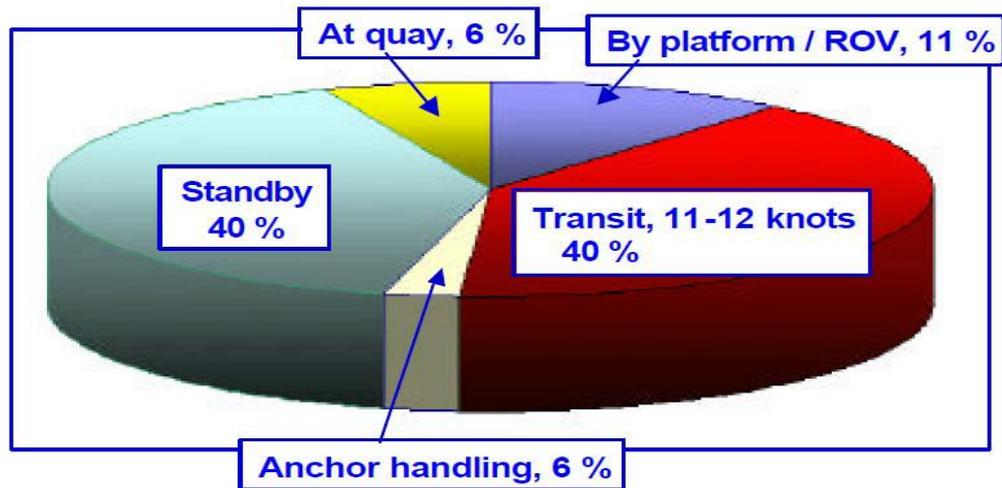


Fonte: Internet

Com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário 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 Whitman (2001), estimou-se a

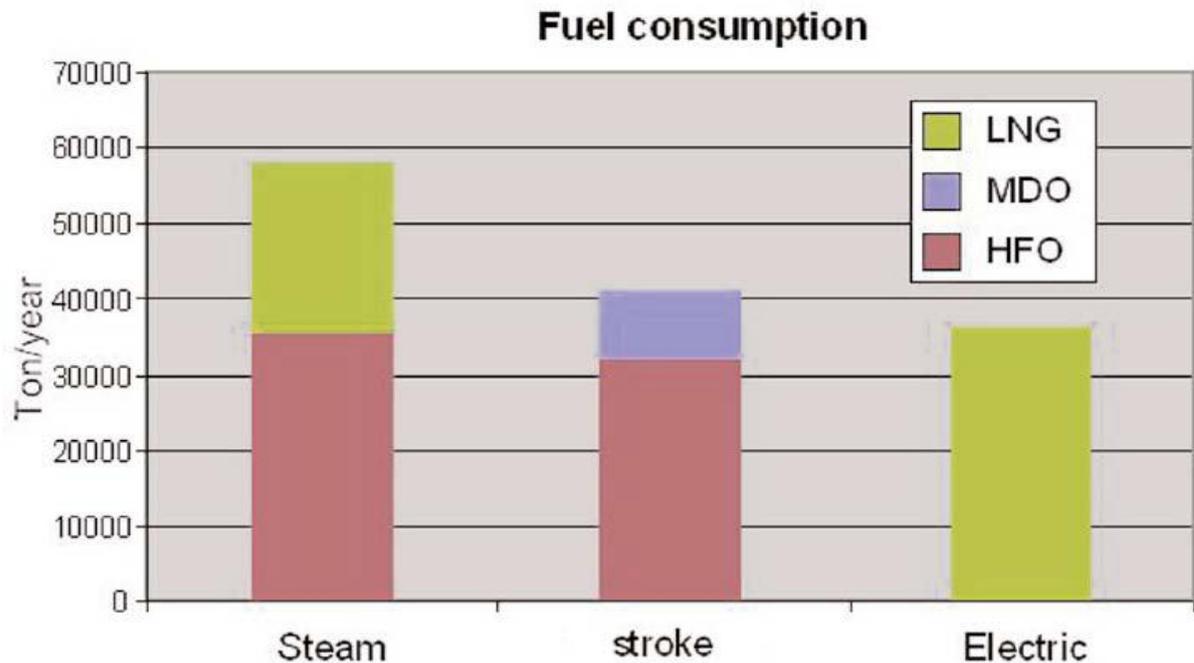
eficiência energética em aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica de acordo com Newell (2000, p.67-85). Nota-se (Fig. 11) que essa diferença de eficiência é maior em baixas e media cargas, situação propicia para as embarcações de apoio marítimo já que é o caso em que fica a maior parte do tempo, como veremos Fig. 11 abaixo:

Fig. 11: Perfil do tempo de operações de Embarcações de apoio marítimo.



Fonte: Internet

De acordo com a linha de pesquisa apresentada por Pereira (2006, p.12-27), que comparou três tipos de instalações propulsoras diferentes, para um mesmo navio gaseiro, 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 Fig. 12.

Fig. 12: Consumo de Combustível

Fonte: Internet

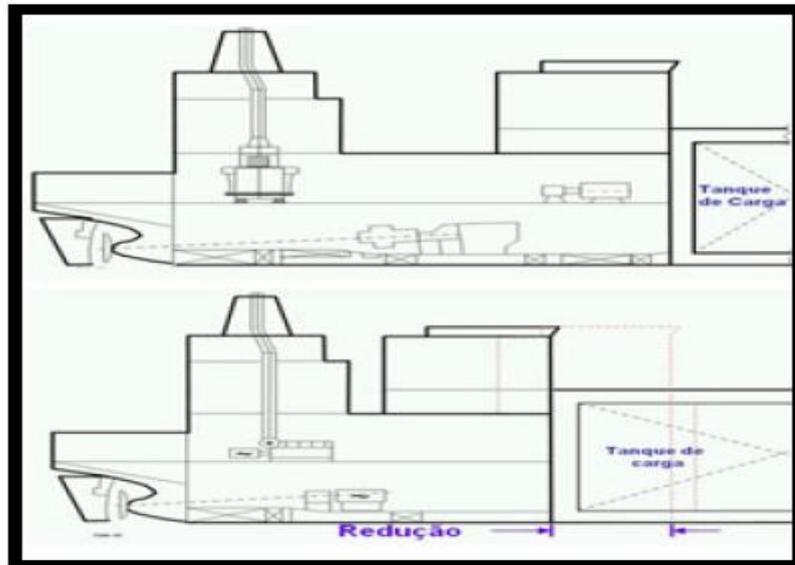
4.2 - Redução da Tripulação

A tendência para das futuras embarcações de Propulsão Elétrica 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, fator este considerado na elaboração do cartão de tripulação de segurança, como consequente deste temos a redução de tripulação, proporcionando adicional benefício através da redução de custo operacional

4.3 - Flexibilidade do Projeto

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.

Fig. 13: Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas

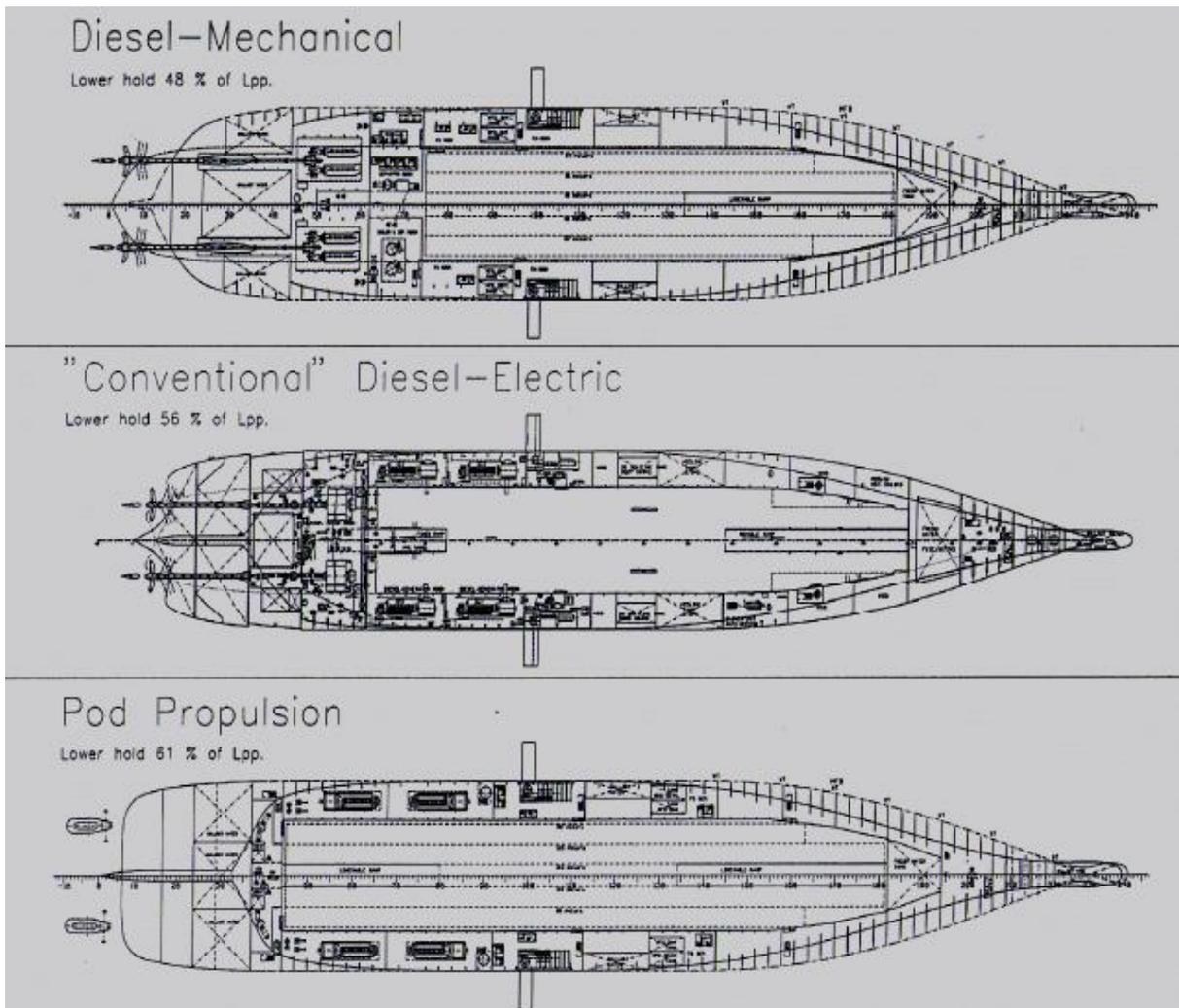


Fonte: Internet

Observa-se na Fig. 13 e Fig. 14 um ganho no espaço destinado ao transporte de cargas reposicionando a máquina diesel no convés superior, e desta forma, reduz-se o volume ocupado pelos dutos de admissão e exaustão dos motores. Como resultado desta flexibilização, torna-se desnecessário concentrar equipamentos em praças de máquinas principais; sendo possível espalhar os compartimentos de máquinas pela embarcação de apoio marítimo, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

Nas embarcações com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pela embarcação será gerada pelos motores diesel. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

Fig. 14 – Disposição de distribuição em embarcações de propulsão elétrica e mecânica e embarcações de propulsão diesel elétrica tipo *POD*.



Fonte: Internet

A modularidade do sistema permite também que em altas velocidades sejam utilizados todos os dispositivos de acionamento principal e, nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários.

4.4- Favorecimento das redundâncias dos sistemas

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de sistemas redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Consequentemente os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado por incêndio, alagamento, colisão ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados e *by-passados*, mantendo-se o funcionamento do sistema para o afastamento de uma unidade, por exemplo. A facilidade para

versáteis do que as embarcações de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para a aquisição destes meios têm crescido numa progressão ainda maior, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil das embarcações tradicionais para Arrington (1998, p.23-28).

Com o evento do incremento da automação dos sistemas, nas décadas de 80 e 90, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados nas embarcações, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevada, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro, como por exemplo o ROV.

Com a propulsão elétrica, o cenário muda radicalmente. Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão e os sistemas auxiliares, através de um sistema de distribuição redundante e reconfigurável. Os motores são dimensionados para atender a embarcação em carga máxima, com todos os sistemas vitais em operação. Com isto, em velocidade normal, a embarcação 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.

As embarcações de apoio marítimo projetadas com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

4.6 - Redução dos Custos de Manutenção

A viabilidade da existência de uma tecnologia comum dentre as diversas plataformas navais, com a adoção da Propulsão Elétrica, possibilitará a coordenação do desenvolvimento e aplicação de modelos comuns, ferramentas de projetos, métodos de fabricação, novos materiais, componentes, sistemas, contribuindo para significativas reduções no risco do projeto e maximizando os custos e a logística. Uma vez que com a adoção da Propulsão Elétrica não são necessários motores auxiliares, esta redução na quantidade de equipamentos instalados resulta numa diminuição dos custos de 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.

4.7 - Redução da Emissão de Poluentes

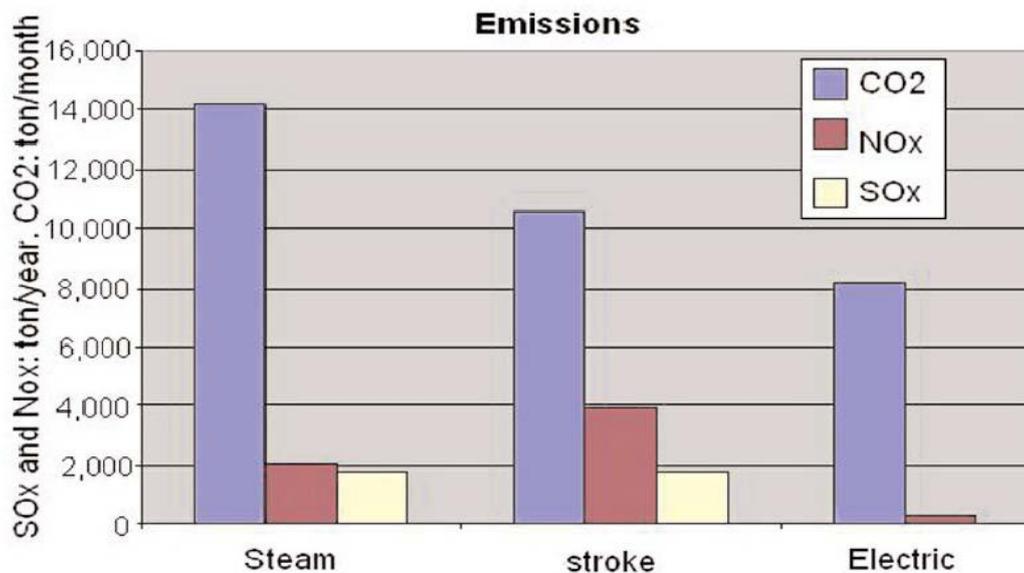
Atualmente existe no mundo uma pressão, pelos órgãos ambientais, para que as mesmas em seus projetos de futuras embarcações, e também em relação aquelas já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (ex: MARPOL) estão sendo 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 óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada para embarcações de apoio marítimo.

Durante a operação com embarcações de apoio marítimo, 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 durante as viagens.

Fig. 16- Emissão de poluentes.



Fonte: Internet

De acordo com a linha de pesquisa apresentada em Pereira (2006) a Fig.17, apresenta claramente que a Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas convencionais (que operam somente com turbinas a vapor ou motores diesel), pois o motor diesel opera constantemente no ponto ótimo de projeto, o que proporciona uma redução no consumo de combustível e conseqüentemente uma menor liberação de gases poluentes (ex: CO₂ - Dióxido Carbônico, NO_x – Óxido de Nitrogênio e SO_x – Óxido de Enxofre) durante as operações. É interessante destacar que o modelo utilizado na pesquisa considerou também a geração de gases durante a operação portuária e tempos com a embarcação parada e durante as viagens.

No futuro a tendência seria, não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa da embarcação serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido à atitudes políticas de interesse mundial .

4.8 - Redução da Assinatura Acústica

Na Propulsão Elétrica não é necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo, tornando, portanto desnecessária a utilização de engrenagens reductoras. 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 também o custo de construção com a eliminação das linhas de eixo e redutora.

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 à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica emitida, podendo aumentar assim, o conforto acústico da tripulação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto neste trabalho, a aplicação da propulsão elétrica é uma boa alternativa em relação a propulsão mecânica tradicional em embarcações de apoio marítimo.

O sucesso nas tentativas recentes de aumentar a densidade de potência dos motores elétricos empregados neste tipo de propulsão permite que embarcações de apoio marítimo possam se beneficiar das vantagens inerentes ao uso da propulsão elétrica tais como, o excelente controle de velocidade e torque em toda faixa de velocidade, a facilidade para adoção de controles automáticos e remotos, a flexibilidade do projeto, e a redução dos custos de manutenção dentre outras citadas anteriormente.

Portanto, a aplicação da propulsão elétrica torna-se demasiadamente vantajosa diante da propulsão mecânica tradicional devido aos seus avanços tecnológicos aliados com a maior confiabilidade nos equipamentos e redução dos índices de poluição.

REFERÊNCIAS

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

Disponível em:

<[http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c348ae87dd99ce5cc12574e30023fede/\\$file/maritime%20el%20installations%20and%20de%20propulsion.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/c348ae87dd99ce5cc12574e30023fede/$file/maritime%20el%20installations%20and%20de%20propulsion.pdf)> Acesso em 20 de Novembro de 2013.

Passo controlável. disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/61312589/Sistema-de-passo-controlavel-meu>> Acesso em 20 de Novembro de 2013

ARRINGTON, J., W. **The Analysis of Components, Designs, and Operation for Electric Propulsion and Integrated Electrical System, Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate Sch.ool (NPS).** Monterey. Califórnia, USA, 1998.

FREIRE, P., R., M., FERREIRA, C., L.. **Propulsão Elétrica – Histórico e Perspectivas Futuras.** 20º Congresso Nacional de Transporte Marítimos. Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2004, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA.

HARRINGTON, R.L., **Reliability and maintainability analyses of shipboard systems.** In: Marine Technology. Society of Naval Architects an Marine Engineers SNAME. New York, EUA. 1970.

PÊGO, J., LIENHART, H., DURST, F. BRADRAN, O., **Construction of a test facility forthe research of ship propulsion systems.** Emirates Journal for Engineering Research, 10 (2), 1-8. 2005.

PEREIRA, N., N., BRINATI, H., L. **Estudo do Impacto da Propulsão Diesel-Elétrica Na Emissão de Gases Poluentes.** 22º Congresso Nacional de Transporte Marítimos, Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2006, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA.

MCCOY, T., J. **Trends in Ship Electric Propulsion Power Engineering Society Summer Meeting.** Vol. 1, pp. 343-346, IEEE, 2002.

NEWELL, J., M., YOUNG, S., S. **Beyond Electric Ship.** Transactions IMarE, Vol. 112, 2000.

SMITH, S., WILLIAMSON, S., HODGE, C. **Direct Drive Marine Propulsion Motors.** ICEM Conference, Brugge. 2002

WHITMAN, E., C. **The IPS Advantage. Electric Drive: A Propulsion**