

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS – APMA.2

FILIPE NEVES MARCOS

PROPULSÃO ELÉTRICA EM EMBRCAÇÕES OFF-SHORE

RIO DE JANEIRO

2017

FILIPPE NEVES MARCOS

PROPULSÃO ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES OFF-SHORE

Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: MSc. Eng. Paulo Roberto Batista Pinto.

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Assinatura do Aluno

PROPULSÃO ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES OFF-SHORE

Filipe Neves Marcos*

RESUMO

Os sistemas propulsivos são fundamentais para qualquer embarcação, já que são responsáveis para o deslocamento da mesma. Portanto, com a retomada da economia mundial, observa-se que se faz necessário analisar a viabilidade de cada sistema propulsivo, com seu custo operacional e sua função, a fim de que se adeque para cada tipo específico de embarcação. As embarcações offshore necessitam de um sistema propulsivo que lhes forneça de modo contínuo a possibilidade de flexibilidade, confiabilidade e manobrabilidade, como também auxiliar no posicionamento dinâmico. De acordo com a literatura analisada, encontram-se três tipos de sistemas propulsivos diferentes nessas embarcações: Sistema Diesel Mecânico, Sistema Diesel Elétrico e Sistema Híbrido. A pesquisa, portanto, tem a finalidade de analisar, por meio da pesquisa exploratória, teórico-bibliográfica, o porquê de o sistema Diesel Elétrico dever ser inserido com maior incidência nesses tipos de embarcações. Desse modo, a pesquisa tem como objetivo central avaliar a viabilidade e eficiência dos sistemas de propulsão elétrica com intuito nas vantagens de sua implantação em embarcações de apoio offshore. Para tanto utiliza-se três especificidades de apoio: I). Descrever por meio da perspectiva histórica e tecnológica a evolução da propulsão elétrica; II). Retratar os tipos de sistemas de propulsão naval e offshore; III). Discutir sobre as vantagens da propulsão elétrica. Compreendeu-se que a redução de combustível e ruído, existente no sistema de propulsão Diesel Elétrico, promove uma busca contínua para que os custos operacionais sejam reduzidos, ou seja, a minimização dos custos é fundamental e primordial na adoção desse sistema para as embarcações PSV e AHTS.

Palavras-chave: Diesel Elétrico. Diesel Mecânico. Híbrido. Offshore. Sistemas de Propulsão.

* Segundo Oficial de Máquinas, formado pela Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante do Rio de Janeiro – CIAGA, 2010. Aluno do Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas, turma 02/2017.

INTRODUÇÃO

A globalização tem obtido êxito tanto a nível comercial e econômico, apresentando maior integração entre os Estados. Desse modo, evidencia-se continuamente a importância dos mares, seja para área de extração de petróleo, seja para o transporte de mercadorias. Não se importando o caso, considera-se o papel do navio como algo imprescindível (NEVES, 2008).

Ao analisar a extensão marítima do território brasileiro, compreende-se que o Brasil, destaca-se, sobretudo em relação aos Estados latino americanos, devido aos seus 9.198 quilômetros de extensão litorânea (REIS, 2016).

No entanto, embora o grande potencial existente no território marítimo brasileiro, encontra-se um questionamento relevante sobre o contínuo debate da utilização de recursos de origem fóssil. A continuidade do avanço tecnológico apresenta limitações, principalmente em relação aos recursos, seja de origem física, financeira ou técnica, o que promove atenuantes na área naval (COELHO, 2009).

De acordo com Coelho (2009), a Marinha do Brasil, apresenta grande dependência tecnológica internacional. Portanto, esses fatores geram um incômodo, provocado pelos custos elevados e pouca disponibilidade de embarcações nacionais. Nisto, compreende-se pela perspectiva do autor que, os prazos eram deveras altos, impossibilitando a demanda das necessidades de operação.

Desse modo, estabelece a relação entre a narrativa de Coelho (2009) e o posicionamento de Jesus (2013), ao exporem de modo consonante que a indústria naval brasileira, sofreu de três estágios de desenvolvimento desde sua criação no quinto decênio do século XX, até o último decênio deste mesmo século. Portanto, demonstra-se a instabilidade na indústria naval brasileira.

Com efeito, como observa-se em Silva (2012), o desenvolvimento tecnológico é fator essencial para a competitividade nessa indústria. Assim, a constante evolução das embarcações desde a utilização de remos, até o surgimento dos motores combustão interna, que, embora criados no século XIX, só passaram a ser usados em larga escala na marinha na segunda metade do século XX, apresenta a importância da indústria naval para o país. Importância esta, a nível tecnológico, comercial e estratégico (COELHO, 2009).

Exprime-se que o cenário externo e o reconhecimento do valor da indústria naval no âmbito mundial, proporcionaram um recebimento maior de atenção por parte dos investidores nesse transporte. Com isso, houve uma constante procura por melhorias nos sistemas de

propulsão, com a finalidade de que se atenuem os custos e acentue-se a manobrabilidade, potência, eficiência, controle de poluentes e densidade de potência (NORATO, 2013). Constatase, por essa perspectiva, uma constante evolução.

Para Silva (2012), os sistemas de transmissão mecânica atingiram seu limite de desenvolvimento tecnológico e potencial inovador. Dessa forma, a viabilidade econômica para patrocínio desses tipos de projetos não é mais tolerável, já que a relação custos e potência caminham de modo inverso. A obrigatoriedade de desenvolvimento tecnológico adentra-se na procura de melhorias, e, a tecnologia que apresenta uma relação considerável para atenuação dos custos, dentro da indústria naval é a propulsão elétrica.

A pesquisa tem a finalidade de responder dois questionamentos: é passível de observação vantagem real da utilização do sistema propulsivo Diesel-elétrico em comparação com o sistema Diesel-mecânico? Caso exista, argumenta-se a segunda indagação: Quais as vantagens trazidas pelo sistema propulsivo Diesel-elétrico?

Nesse contexto, encontra-se a justificativa para a realização dessa pesquisa, a qual parte da premissa de apresentar o propósito pelo qual a propulsão elétrica pode ser uma alternativa viável para embarcações offshore. O motivo para a realização da pesquisa baseia-se em demonstrar que os sistemas propulsivos Diesel-elétrico são confiáveis, atenuando não só os custos como também o tempo de manutenção. A atratividade tecnológica dos sistemas de propulsão de que enseja sujeitar a estudo, se dá pela probabilidade muito maior, caso compare-se com os sistemas atuais (Diesel-mecânica), de realizem um determinado serviço sem que ocorram falhas. Logo, como ressalta Sousa (2016), a confiabilidade se torna fundamental nessa tecnologia.

Observa-se ainda como justificativa, a expansão tecnológica dos sistemas propulsivos com instalações Diesel-elétrica, principalmente embarcações de apoio offshore. O avanço tecnológico desse tipo de sistema, pode vir a apresentar questões importantes, como a melhor utilização de uma geração renovável, integrando ao sistema células fotovoltaicas, fazendo com que se substitua progressivamente máquinas primárias, tais como: turbina a gás, turbina a vapor, e motor Diesel, por geradores elétricos.

Outro objetivo da pesquisa é avaliar a viabilidade e eficiência dos sistemas de propulsão elétrica com intuito nas vantagens de sua implantação em embarcações de apoio offshore. Para tanto, desenvolve-se especificidades, as quais estão relacionadas de modo intrínseco a temática abordada. Desse modo, propõe-se: I). Descrever por meio da perspectiva histórica e tecnológica a evolução da propulsão elétrica; II). Retratar os tipos de sistemas de propulsão naval e offshore; III). Discutir sobre as vantagens da propulsão elétrica.

O método adotado para o fomento da pesquisa se dá em estabelecer por meio de critérios qualitativos, como elencado por Gil (2007), uma maior aproximação com a problemática retratada pela pesquisa, possibilitando maior compreensão sobre o tema e suas peculiaridades. No que tange os objetivos, aponta-se que a pesquisa se realiza por meio de pesquisa exploratória, aprofundando-se sobre o tema exposto, com finalidade de propiciar uma hipótese com devida acurácia. Quanto aos procedimentos, encontra-se o método da pesquisa bibliográfica, no qual Fonseca (2002) afirma que as bases das argumentações se dão pela visão de outros autores sobre a temática, proporcionando confiabilidade e validade das informações. Assim, estabelece-se as informações por meio de monografias, artigos acadêmicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado.

1 A PROPULSÃO ELÉTRICA (CRIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO)

Neste capítulo será traçada a história da propulsão elétrica, abrangendo desde sua criação até seu desenvolvimento tecnológico no período atual. Para tanto, analisa-se três dimensões, seu propósito de aplicação, no qual avalia-se o motivo pelo qual criou-se esse método propulsivo; a contribuição durante o período das Guerras Mundiais; e, o cenário atual da propulsão elétrica.

1.1 Surgimento e aplicação da propulsão elétrica

Ao tratar-se da questão da evolução da propulsão elétrica, encontra-se a necessidade intrínseca de discutir os submarinos. Isto porque, segundo Silva (2012), o propósito de criação de um sistema propulsivo elétrico, teve o intuito proporcionar uma revolução nos submarinos convencionais, no final do século XIX.

Portanto, como retrata Norato (2013), o conceito de propulsão elétrica, não é uma ideia nova, contudo, somente houveram grandes avanços no final do século XX. No entanto, Sousa (2016), discorda de Silva (2012), ao apontar que embora a criação do sistema propulsivo elétrico tenha se dado no século XIX, ele só iniciou em 1920, já que antes da referenciada data, sua aplicação se dava apenas como modelo experimental na Rússia e na Alemanha.

De acordo com Alves (2007), a propulsão elétrica foi utilizada pela primeira vez, ainda na época de testes em uma pequena lancha, movida as baterias, com intuito de transporte de cargas na Rússia.

Ao atentar-se, por sua vez, sobre o conceito de propulsão elétrica na Marinha Americana (USN), encontra-se que em 1913, fora implementado no navio carvoeiro USS “Jupiter”, uma instalação de propulsão elétrica experimental com 4.1 MW de potência por eixo (DOYLE; STEVENS; ROBEY, 1999).

Pela perspectiva de Sousa (2016), compreende-se que o motivo no qual a tecnologia da propulsão elétrica sofrera intensificações se dá por meio da concorrência aberta e continua entre países e organizações para que houvesse uma redução no tempo de travessia dos transatlânticos de passageiros.

Norato (2013), ao atentar ao surgimento da propulsão elétrica, relaciona-a com uma ligação intrínseca com o surgimento com submarino. Com efeito, Norato (2013) apresenta consonância direta com Silva (2012), uma vez que ao observar os submarinos não nucleares, isto é, convencionais, não diferindo a época de criação, utilizam essa tecnologia. Apoiar-se nesse modelo de desenvolvimento, devido que o submarino convencional não consegue acionar os grupos de geradores impulsionados por motores de combustão interna (MCI) quando estão submersos. Isto porque, não há quantidade de ar suficiente para realizar a combustão.

Desse modo, os MCI só conseguem ser acionados quando os submarinos estão na superfície, ou quando há uma distância relativamente próxima desta. Quando os MCI são acionados, observa-se que ele atua como forma de fornecimento de energia para recarga das baterias de acumuladores e para o motor elétrico de propulsão (MEP) (AZEVEDO, 2016).

Apoiando-se em Silva (2012) que afirma que a tecnologia nos submarinos convencionais continua a mesma desde a sua criação, já que com a necessidade de mergulho, não há possibilidade de inovações para essa contínua substituição de funcionamento entre MCI e MEP. Para o autor, a única inovação tecnológica que ocorreu nessas armas bélicas é a evolução dos acumuladores de energia.

Para Norato (2013), embora a bateria de acumuladores ainda continue sendo a única forma de armazenar energia até os tempos atuais houve grandes avanços nessa tecnologia, proporcionando a existência de materiais mais resistentes e melhores reações químicas, a fim de que se tire maior proveito tecnológico.

Baseando-se na narrativa histórica naval, apresenta-se que entre 1890 e 1920, antes de invenção do motor movido por combustão interna, os barcos elétricos exerceram grande

popularidade, sendo utilizado por grande parte das aplicações. Todavia, observa-se segundo Souza (2016), uma inversão de intensidade de aplicação a partir do quinto decênio do século XX.

O surgimento dos motores Diesel-mecânico de alta eficiência proporcionou maior viabilidade para essa tecnologia, fazendo com que houvesse uma consecutiva atenuação da utilização da tecnologia de turbinas a vapor e propulsão elétrica em projetos navais na marinha mercante. Ademais, também se observa que, após findada a Segunda Grande Guerra, houve uma intensificação da tecnologia de propulsão por acionamento mecânico, restringindo o uso da tecnologia de propulsão elétrica aos submarinos, nos quais essa tecnologia se estabeleceu como padrão (SOUSA, 2016).

Abaixo, com a finalidade de demonstrar as primeiras aplicações dos primeiros navios a Diesel, juntamente com seus sistemas de propulsão, apresenta-se o quadro 1.

Quadro 1: Primeiras embarcações a diesel e seus respectivos sistemas de propulsão

Tipo de embarcação	País de origem	Motor utilizado	País do fabricante	Tipo de propulsão	Ano
Vandal (navio tanque)	Rússia	3x120HP/ 255rpm	A.B. Diesel Motorer Suécia	Diesel-elétrica	1903
Ssarmat (navio tanque)	Rússia	2*180HP/ 240rpm	Ludwing Nobel Rússia	Nobel/ Del Proposto	1904
Aigrette (submarino)	França	~200HP	Sautter-Harlé França	Transmissão elétrica	1904
Venoge (cargueiro)	Reino Unido	40HP/260rpm	Gebr.Sulzer Suíça	Del Proposto	1905

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

Por meio do sucesso obtido pela propulsão elétrica, com a grande valoração de seus benefícios para embarcações, sobretudo na marinha estadunidense, houve um maior empenho de esforços para a construção de 50 embarcações focadas nesse tipo de modelo de propulsão no período entre Guerras Mundiais (1918-1938).

Dentre os navios construídos nesse período, têm-se o USS “New Mexico”, com potência instalada de 30 MW, e o segundo e o terceiro aeródromo da USN, USS “Lexington”

e USS “Saratoga”, respectivamente. O último tinha a potência instalada de 135 MW (ALVES, 2007).

Silva (2012) comenta que por meio da intensificação da demanda por armamento bélico durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), obrigou a Marinha dos Estados Unidos a construir mais de 160 navios tendo como base a propulsão elétrica, utilizando diesel ou turbo geradores, variando em uma faixa entre 4,5 a 9,0 MW.

No entanto, na construção de pequeno porte, observa-se a construção por volta de 500 navios equipados com esse tipo de sistema em corrente contínua com faixa de potência instalada variando entre 255kW A 15 MW (DOYLE; STEVENS; ROBEY, 1999). Na visão de Doyle, Stevens e Robey (1999), o motivo pelo qual se intensificou a produção de navios movidos por meio de propulsão elétrica foi a falta de capacitação técnica, para o mantimento de uma contínua produção em nível de escala de engrenagens. Esse problema de produção só fora solucionado no início da década de 1940, quando houve um desenvolvimento tecnológico dos sistemas de engrenagens voltado ao setor naval, avanço este que consistia em sistemas de engrenagens de dupla redução. Porém, a justificativa para a adoção mais ampla dos sistemas Diesel-mecânico, em relação aos sistemas de propulsão elétrica, não se baseou apenas no preço, como destaca Sousa (2016).

Conforme explicita Norato (2013), a questão o setor naval, necessita de um contínuo e rápido desenvolvimento, portanto, os sistemas de propulsão devem fornecer redução dos custos de produção, e, simultaneamente oferecer eficiência, potência e manobrabilidade. Permeando-se por Alves (2007), verifica-se que a tecnologia existente de propulsão elétrica nessa época, tinha muito pouco a oferecer em termos de melhorias. Justifica-se essa afirmativa, ao notar que entre suas desvantagens, cita-se: maior volume, maior peso, menor eficiência energética e maior custo.

Norato (2013), explica que ao término da Segunda Guerra Mundial, foram produzidos rebocadores com modelo de propulsão similar ao Diesel-elétrico, pois este tipo de propulsão, semelhantes aos navios de escolta da década de 1940, no quais se utilizou tal tecnologia, apresentava grandes vantagens para o tipo específico de embarcação, já que dava possibilidade de se observar variações suaves, precisas e pequenas na rotação do eixo propulsor.

1.2 Crise do petróleo

Assim, encontra-se em Silva (2012) que, o preço em comparação em larga escala, proporcionou a restrição da produção e instalação em navios de grande porte, focando-se apenas na produção de submarinos convencionais. Esse quadro, só receberá uma mudança na década de 1980.

O motivo pelo qual, o intento na propulsão, surge durante a crise do petróleo, na década de 1970. Com isso, percebe-se que diversos países, tiveram a necessidade de explorar a busca por petróleo no leito dos oceanos, isto é, a exploração do petróleo em alto mar.

Nesse contexto, apresenta-se segundo Silva (2012) e Norato (2013), que se inicia por meio dessa necessidade de exploração a indústria offshore, isto é, a extração do petróleo fora da costa. Essa indústria apresentou diversos empecilhos em relação ao suprimento nas plataformas, funcionários que fossem capazes de operar veículos em alta profundidade, realização de controle de funcionários, para que não ficassem demasiadamente tempo fora da terra, ou seja, era necessário uma contínua rotatividade.

Para tanto, observa-se que houve a necessidade da criação de um tipo de embarcação específico para esses serviços. Norato (2013) denomina esse tipo de embarcação como embarcações de apoio marítimo (EAM). A figura 1 apresenta esse tipo de embarcação.

Figura 1: Embarcação de apoio marítimo (offshore)



Fonte: TNpetróleo (2014)

A finalidade do desenvolvimento da embarcação offshore advém da necessidade de abastecimento da plataforma petrolífera, manobra de fundeio, operações específicas e reboque. Dessa forma, compreende-se que todas suas funções tem o objetivo de estabelecer uma embarcação com fundamento de apoio as operações das plataformas petrolíferas.

Considera-se que, em concomitância com o surgimento dessas embarcações, têm-se o avanço considerável da eletrônica, possibilitando menor peso e maior confiabilidade nos equipamentos construídos a partir da década de 1970.

Retrata-se, na concepção de Silva (2012), que essas embarcações devem permanecer com uma proximidade considerável da plataforma, a fim de que consiga por um longo período vencer os obstáculos naturais do mar aberto. Dessa forma, observa-se em Norato (2013), que houve uma continua evolução tecnologia para resolver esse tipo de problema das embarcações de apoio marítimo.

Para Melo et al. (2016), com propósito de fornecer uma solução para as EAM, providenciou-se a abertura de pesquisas voltadas ao procedimento de posicionamento. Nisto, encontra-se, segundo os autores referidos, que o sistema de ancoragem não fornece nenhuma ou pouquíssima liberdade para a realização de movimentos angulares, o que dificulta a realização de manobras.

Silva (2012) aponta que a observação dessa necessidade fez com que surgisse o Sistema de Posicionamento Dinâmico (SPD). A definição desse sistema é encontrada em Maia (2007, p. 2), o qual afirma:

Tais sistemas operam exclusivamente com a utilização de propulsores para a manutenção de sua posição. Demandam uma série de equipamentos instalados, tais como geradores, propulsores, controladores etc. Estes equipamentos têm um custo elevado, contudo viabilizam-se em águas profundas em locais onde o tempo de permanência entre locações é mais curto, fato que inviabilizaria as manobras necessárias para um sistema de ancoragem convencional.

Norato (2013), explica que o SPD, é composto por um processador digital que utiliza como referência de posicionamento por meio de um sistema de geolocalização, tal como o Sistema Global de Posicionamento (GPS). No entanto, o autor, destaca que é possível que a plataforma utilize outro sistema de geolocalização como referência. Ademais, é possível notar a possibilidade de se utilizar informações do anemômetro da EAM ou informações de agulha giroscópica.

O funcionamento do posicionamento dinâmico pode ser compreendido como um grande avanço da indústria marítima, uma vez que ele consegue acionar as máquinas do navio para que tenha um deslocamento próximo entre a plataforma e a EAM, com proximidade de posicionamento quase exato, já que Norato (2013) informa que a margem de erro é por volta de cinco metros. Contudo, argumenta-se que com a tecnologia atual, implementando-se os receptores com correção, denominados de Dynamic Geographic Positioning System (DGPS), atenua-se a margem de erro para um ou dois metros.

Por sua vez, Silva (2012) discute que a evolução dos tipos de embarcação EAM, sofreram diversas melhorias, como a possibilidade de deslocamento lateral, sem a necessidade de rebocadores. Para tanto, complementa Norato (2013), que ao instalarem propulsores laterais, tanto na popa quanto na proa, acionados por motores elétricos ou hidráulicos. No entanto, por causa das dimensões, tempo de resposta e menor tolerância a falhas, os motores elétricos possuem maior vantagem para essa implantação.

Denota-se que a capacidade de melhoria operacional dessas embarcações offshore estabelece relação intrínseca com a evolução ocorrida na Eletrônica da Potência, entre as décadas de 1980 e 1990. Desse modo, apresenta-se que a transmissão elétrica voltou a ser competitiva se comparado a transmissão mecânica, seja por via tecnológica, no qual houve a diminuição do peso, volume, e melhoria considerável na potência, ou pela diminuição considerável dos custos de produção, aquisição e manutenção.

Empenha-se que o desenvolvimento tecnológico deve ter como objetivo central a integração entre os sistemas de propulsão e a geração elétrica, permitindo que obtenha uma maior economia de espaço, manutenção e combustível. Como resultado, isso trará para a indústria naval, a redução de custos e a acentuação dos lucros.

Verifica-se, pelas informações supracitadas que a principal dificuldade de consolidação tecnológica de uma EAM, se dá no tempo de resposta ao SPD. Portanto, a inclusão de hélices laterais, só obtém êxito, caso consiga integrar em tempo hábil, GPS, posicionamento dinâmico (PD) e as hélices. Com efeito, o intento de instalar a propulsão elétrica na popa das novas EAM, parte da premissa de uma resposta mais rápida, com menor espaço e maior potência.

Segundo Norato (2013), a eficácia do sistema Diesel-elétrico, decorre-se pelo lançamento do sistema AZIPOD®, lançado pela organização ABB, no início do século XXI. Esse sistema promove um suporte energético gerado por meio de um circuito alternado distribuído pela embarcação, abarcando os MEP. Assim, antes que se alcancem os MEP, ela é

retificada para corrente contínua (CC), e depois, convertida para corrente alternada (CA), tendo a frequência a tensão controladas.

A principal vantagem desse sistema, segundo a ABB (2012), o sistema de propulsão AZIPOD®, traz uma diminuição entre 5 a 15% do consumo de energia do navio, possibilitando o aumento de potência dos turbo compressores do motor a diesel, quadruplicando a potência de saída.

Voltando-se a perspectiva de Norato (2013), denota-se que o sistema supracitado tem a capacidade de realizar um giro de 360° em torno de seu suporte vertical, tal como é realizado pelos propulsores azimutais (ASD). Com efeito, retrata-se que esse avanço é intrinsecamente importante para as EAM, fazendo com que se diminua a necessidade de partes moveis para transmissão, máquina do leme de thrusters laterais à ré.

No entanto, essas vantagens não abarcam apenas as embarcações de apoio marítimo. Segundo Sousa (2016) e Coelho de Souza (2013), os navios de passageiros também tem utilizado de maneira ostensiva essa tecnologia. Isto porque, conforme explicam os autores, essas embarcações necessitam de ter uma boa manobrabilidade em pequenos espaços.

Silva (2012) ao comentar sobre esse sistema retrata que ele fornece uma atenuação considerável aos níveis de ruídos e vibrações, podendo aumentar, no caso dos navios de passageiros, maior espaço para acomodação de passageiros, o que, promove maiores lucros para as companhias.

2 TIPOS DE SISTEMAS DE PROPULSÃO NAVAL E OFFSHORE

Neste capítulo, será observado os tipos de sistemas de propulsão tanto naval quanto offshore, a fim de que se proporcione uma discussão sobre a diferença entre os tipos de sistemas de propulsão. Para tanto, analisar-se-á, o Sistema Diesel-Mecânico, Sistema Diesel Elétrico e o Sistema Híbrido (Diesel Mecânico + Diesel Elétrico).

Para Hall e Dennis (1999), qualquer embarcação, não diferindo seu tipo, possui ao menos uma máquina primária térmica, a qual tem a função de transmitir energia até o hélice. Desse modo, observa-se que as máquinas navais podem ser movidas de dois modos, por combustão externa – reator nuclear ou turbina a vapor –, ou por interna – motor Diesel ou óleo pesado e turbina a gás.

Ademais, retrata-se que os geradores elétricos podem ser acionados de duas formas, pelos motores supracitados, ou por motores exclusivos para tal função. Ao tratar-se sobre as instalações elétricas no âmbito naval e offshore, compreende-se que as tensões acima de 1 kV

devem ser atribuídas como de alta tensão (HV – high voltage) e as demais, de baixa tensão (LV – Low voltage).

2.1 Propulsão Mecânica (Sistema Diesel-Mecânico)

No que tange o Sistema de propulsão Diesel-Mecânico, amplamente utilizado pelas embarcações navais, as quais necessitam de um alto nível de esforço, caracterizado pela literatura como embarcações de “força bruta”, já que dependem de uma demasiada potência propulsiva (COELHO DE SOUZA, 2013).

Nas embarcações que tem por base a propulsão Diesel-Mecânica observa-se que o nível de rotação de seu motor promoverá a força de rotação do hélice. Desse modo, argumenta-se que quando exposto a determinadas condições de resistência, o motor pode vir a apresentar uma faixa de rendimento não aceitável, ou seja, não apresenta um rendimento ótimo, fazendo com que se desperdice combustível em sua operação (NORATO, 2013).

Voltando-se a análise de Coelho de Souza (2013), observa-se que as embarcações como, reboque flutuantes, por exemplo, necessitam desse tipo de sistema propulsivo, devido a necessidade de potência, exigida por tal atividade. Com efeito, retrata-se que a grande potência produzida pelo sistema Diesel-Mecânico, faz com que seja gerada uma tração estática, Bollard Pull.

Como destacado por Norato (2013), percebe-se que há um desenvolvimento muito alto das rotações advindas do eixo principal, o qual, segundo Sousa (2016), é transmitido para caixa de engrenagens (gearbox), na qual há uma redução desse nível de rotação, a fim de que seja adequado para o número de rotações do hélice do navio.

A exclusividade desse motor para a movimentação do hélice faz com que não seja possível encontrar nesse tipo de sistema a potência para o fornecimento elétrico. Para tanto, se faz necessário a geração de energia por meio de gerados exclusivos. De acordo com Norato (2013), o diesel gerador auxiliar, necessita ser acoplado em um outro local do sistema de propulsão. A figura 2, apresenta a visão esquemática do Sistema Propulsivo Diesel-Mecânico.

Figura 2: Visão esquemática de um Sistema de Propulsão Diesel-Mecânico



Fonte: Coelho de Souza (2013)

Aponta-se que o sistema de propulsivo tem em sua configuração duas linhas de eixo, com caixas redutoras de dupla entrada e única saída e também dois motores a Diesel por linha de eixo. Esse esquema por sua vez, é denominado por father-and-son, fazendo com que os motores trabalhem com potências distintas.

Ao observar o funcionamento da caixa redutora, encontra-se que há uma grande força exercida no gerador de eixo. Para tanto, a linha de eixo poderá ser servida por cada motor, podendo ser utilizado de maneira simultânea ou individualmente.

2.2 Propulsão Elétrica (Sistema Diesel-Elétrico)

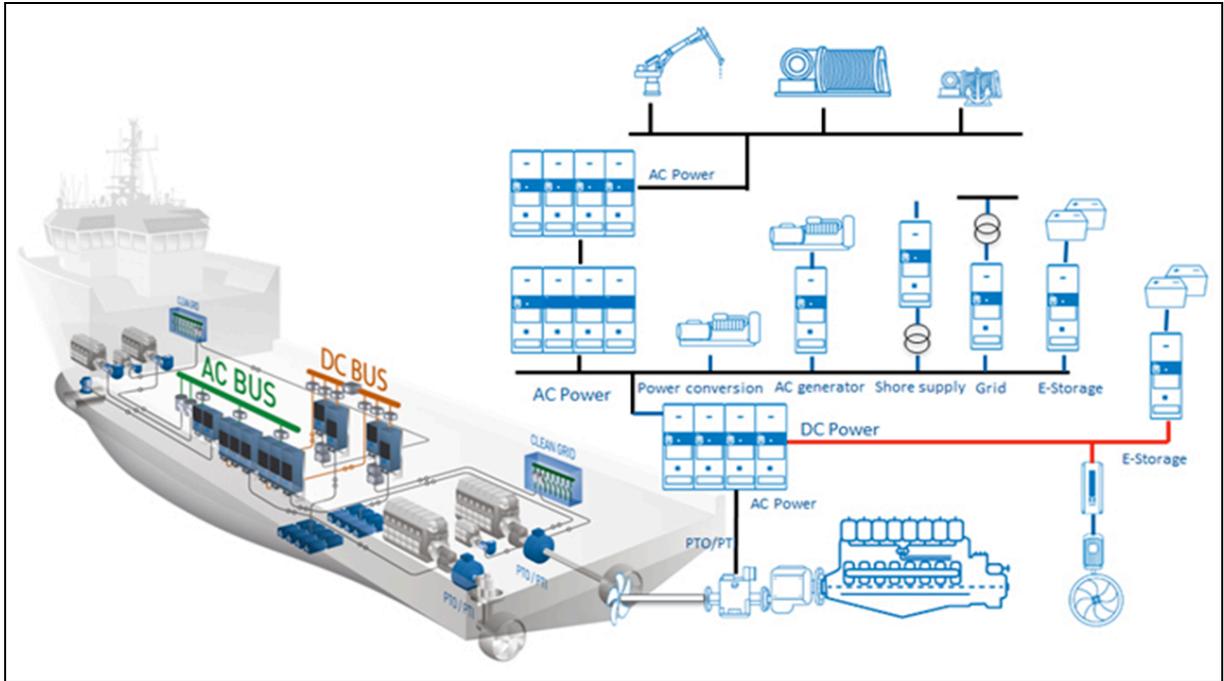
No Sistema de Propulsão Diesel-Elétrico, observa-se a inexistência de uma caixa de engrenagens (gearbox) para que se faça a redução, para ajuste de rotação do hélice. Compreende-se, por intermédio de Norato (2013), que a alta rotação da máquina primária, incita de modo direto o gerador elétrico, com tensão trifásica. Por esse motivo, que não há necessidade de se haver uma caixa de engrenagens nesse tipo de sistema.

De acordo com Sousa (2016), verifica-se que esse tipo de sistema propulsivo está baseado em uma transmissão elétrica, com alta velocidade de rotação e baixo torque, o que, por sua vez gera nos propulsores um alto torque e uma baixa velocidade.

Com efeito, retrata-se que a aplicação do referido sistema se dá em embarcações que necessitam manter um elevado grau de manobrabilidade, as quais também têm a necessidade de Posicionamento Dinâmico. Portanto, nessas ocasiões, o sistema Diesel-Mecânico não fornece uma resposta adequada, fazendo com que seja necessário a instalação do sistema Diesel-Elétrico.

A figura 3, apresenta a constituição esquemático de um Sistema Propulsivo Diesel-Elétrico.

Figura 3: Visão esquemática de um sistema de propulsão Diesel-Elétrico



Fonte: Danfoss (s.d.)

Por causa da flexibilidade proporcionada, pelo tipo de transmissão de cabeamento elétrico, os MEP não têm a exigência de ficarem alinhados aos eixos da máquina primária e do gerador. Em determinados casos, encontram-se em decks distintos.

Nesse sentido, atenta-se que os alternadores ou os geradores, produzem tensões típicas variando entre 6,6 kV A 11 kV, para o barramento de alta, os quais podem fornecer alimentação para os barramentos de baixa, tendo tensão típica de 440 V, fazendo-se por meio de transformadores.

Todavia, encontra-se que há uma problemática no Sistema por Propulsão Elétrico. Isto porque esse tipo de sistema apresenta uma falha de eficiência quando analisado sua transmissão. Desse modo, verifica-se que ela não é tão sensível quanto a Diesel-Mecânica, uma vez que a sensibilidade de variação de velocidades do eixo propulsor é muito fraca.

Com isso, entende-se que o Sistema Diesel-Elétrico, demonstra maior eficiência em transmissão quando opera em baixa velocidade, algo que não ocorre com no Sistema Diesel-Mecânico. Portanto, a adoção para desse tipo de sistema para embarcações EAM, é a melhor opção, já que elas não operam, em grande parte do tempo, em alta velocidade.

Atrelando-se o Sistema Diesel-Elétrico, denota-se que sua capacidade e eficiência é melhor adaptável para operações de posicionamento dinâmico, atracado e prontidão. Dessa forma, há uma economia de combustível para a implantação desse tipo de Sistema em embarcações offshore.

De acordo com Coelho de Souza (2013), o Sistema Diesel-Elétrico apresenta algumas vantagens, tais como:

- Não necessidade de se ter linhas de eixo;
- Atenuação do consumo de combustível;
- Maior confiabilidade;
- Maior disponibilidade;
- Maior tolerância a falhas, ou seja, menor número de manutenção.
- Baixa vibração e ruído;
- Atenuação de emissão de CO₂, NO_x.

2.3 Propulsão Híbrida (Sistema Diesel-Elétrico + Diesel-Mecânico)

Em embarcações de suporte a plataforma, encontra-se que a capacidade do motor necessita ser dimensionada para que se alcance a velocidade de serviço da embarcação, como também a capacidade de se posicionar dinamicamente, considerando as piores condições meteorológicas. Grande parte dessas embarcações, por exigirem tanto uma alta velocidade como uma necessidade de se ter o posicionamento dinâmico, apoia-se em um Sistema de Propulsão Híbrido, no qual se mistura o Sistema de Propulsão Diesel-Mecânico e o Sistema de Propulsão Diesel-Elétrico.

Esse tipo de sistema é utilizado com a finalidade de proporcionar uma solução para os navios tipo Anchor Handling Tug Supply (AHTS), uma vez que grande parte desses navios exige de uma “força bruta”, atrelado à capacidade de se manter em constante atenção, ou realizar manobras consideradas complexas e que exigem um gasto excessivo de combustível. Acrescenta-se que somente o Sistema fundamentado em Diesel-Mecânico, não poderia suprir as necessidades de promover uma alta eficiência e um menor gasto de combustível, o que promovia um constante desperdício.

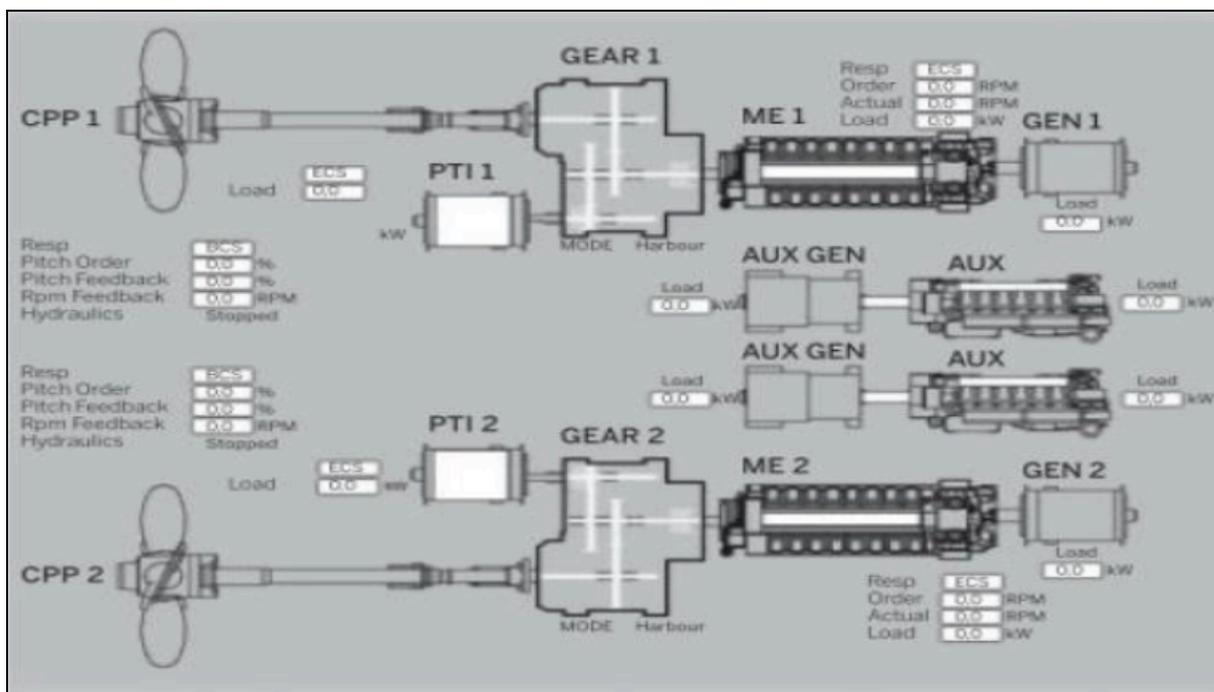
Por meio do Sistema de Propulsão Híbrida encontra-se a mescla dos sistemas propulsivos. Desse modo, orienta-se que os projetistas tiveram o intuito de colocar as melhores atribuições do Sistema Diesel-Mecânico, com as melhores capacitações do Sistema

Diesel-Elétrico. Com efeito, considera-se que se evita um consumo excessivo de combustível dessas embarcações, podendo tirar melhor proveito dos sistemas em perfis operacionais diversos, os quais exigem diferentes níveis de energia.

A versatilidade desse sistema promove uma boa qualidade das faixas de consumo, nas faixas de operação dos Geradores e Motores do Sistema. Argumenta-se, segundo Sousa (2016) que, ao se trabalhar dentro desse sistema, em uma contínua faixa de operação tanto dos Motores quanto dos Geradores, o projeto final faz com que se tenha um melhor proveito da energia e uma atenuação considerável do gasto com combustível.

Observa-se que a composição desse sistema, se dá na parte mecânica, por motores à diesel, geradores de eixo e caixas redutoras. Por sua vez, a parte elétrica é compreendida por motores elétricos, geradores de eixo e geradores auxiliares, os quais têm como função prover a para embarcação a demanda elétrica necessária. A figura 4 apresenta a visão esquemática de um Sistema de Propulsão Híbrida.

Figura 4: Componentes de um Sistema de Propulsão Híbrida

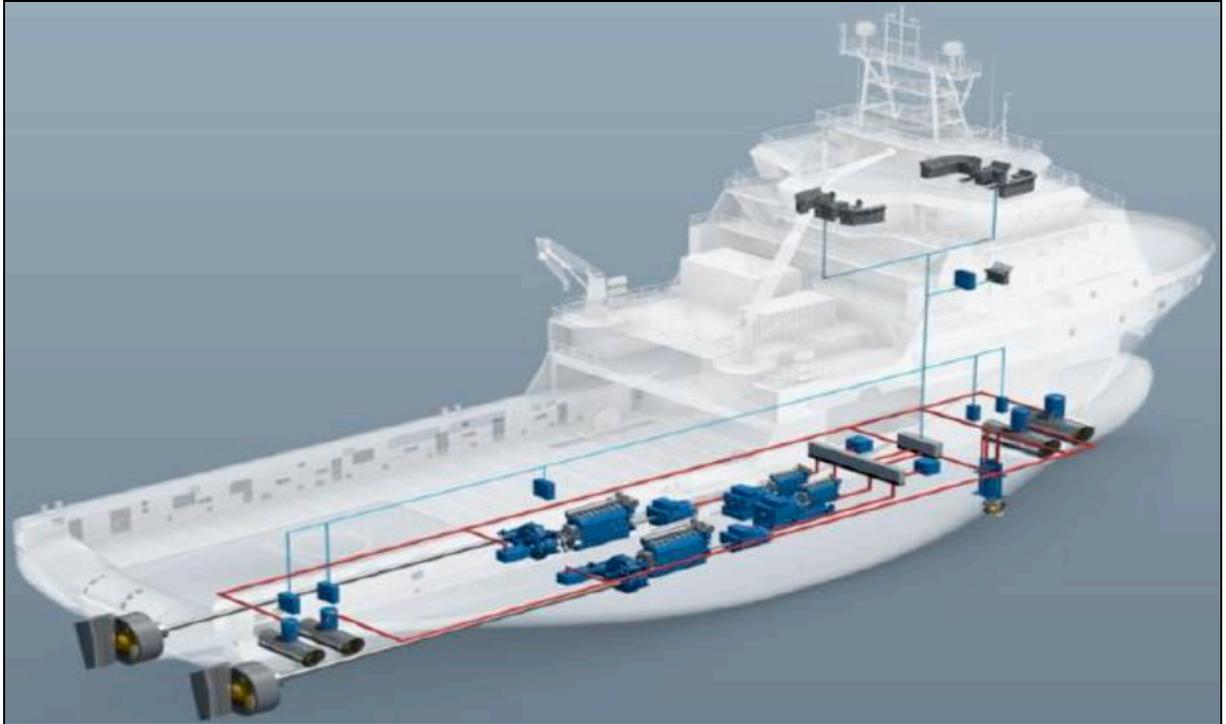


Fonte: Coelho Souza (2013)

Outra vantagem do sistema Híbrido é que, como no Sistema de Propulsão Diesel-Elétrico, não é necessário seu alinhamento com o maquinário primário, podendo ser em decks distintos.

A figura 5 tem como função apresentar a visão do Sistema Propulsivo Híbrido no navio.

Figura 5: Sistema Propulsivo Híbrido



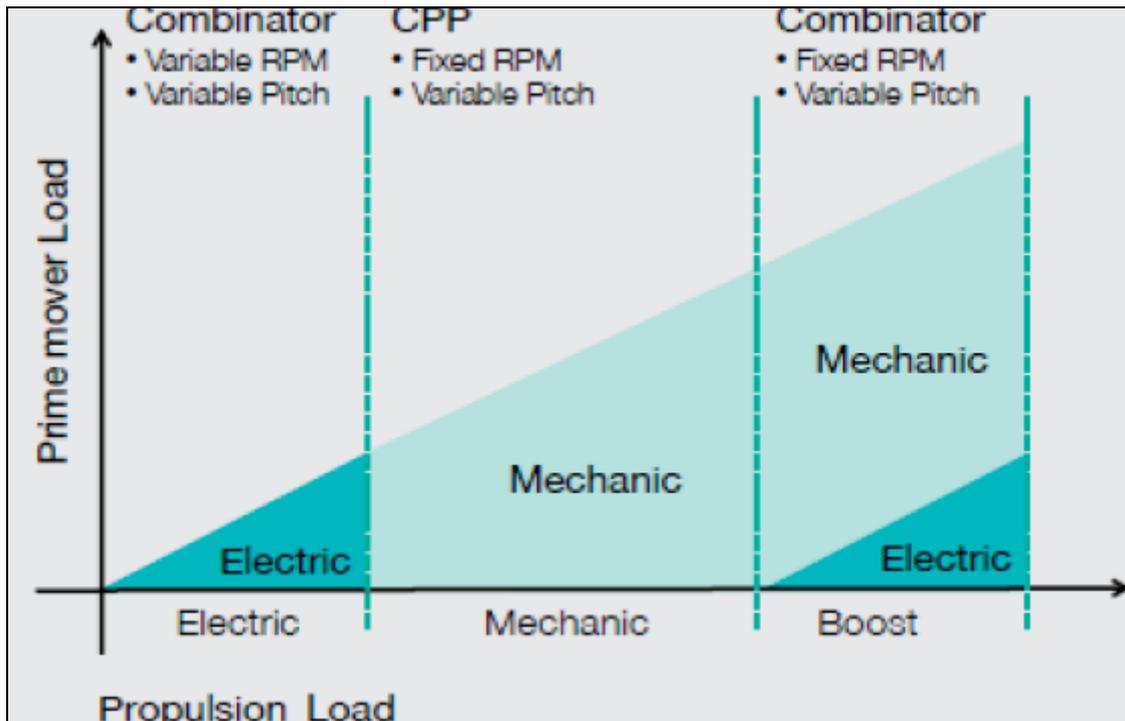
Fonte: Coelho Souza (2013)

Para que o Sistema Propulsivo Híbrido, consiga lograr êxito e promover a otimização energética e a atenuação do gasto de combustível, sugere-se três modos de operação, dentre elas, atenta-se:

- Propulsão elétrica pura para operações de posicionamento dinâmico, trânsito e manobras de baixa velocidade;
- Propulsão mecânica pura para operações de trânsito que exige alta velocidade e operações de reboque, por demandar operação de “força bruta”;
- Propulsão mecânica e elétrica híbrida, com a finalidade de utilizar o sistema elétrico como um método auxiliar do sistema de propulsão mecânica. Dessa forma, conseguir-se-á chegar aos níveis necessários de tração estática.

A figura 6 demonstra a importância da utilização do Sistema Propulsivo Híbrido, quando operado das formas supracitadas.

Figura 6: Sistema de Propulsão Híbrido: Tipos de operação



Fonte: ABB (2017)

Retrata-se por meio da figura 6 que, o Sistema Híbrido demonstra para determinados tipos de embarcação, as quais possuem uma grande exigência para a realização de manobras, em espaços curtos, uma vantagem se comparado aos sistemas supracitados.

3 COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS PROPULSIVOS

Neste capítulo, serão discutidos de modo comparativo os Sistemas Propulsivos apresentados no capítulo 2, com a finalidade de destacar qual tipo de sistema é mais adequado para uma embarcação offshore.

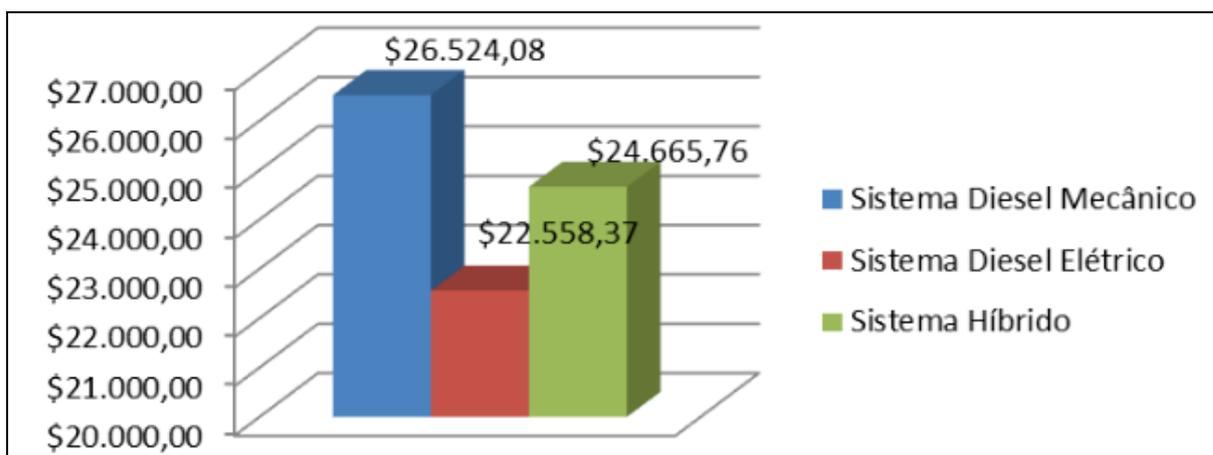
3.1 Análise comparativa entre os Sistemas Propulsivos

Analisa-se que o Sistema de Propulsão Diesel-Elétrico logrou grandes avanços, apontando cada vez mais uma redução do consumo de combustível, quando posto ao lado, em aspecto comparativo com o Sistema de Propulsão Diesel-Mecânico. Portanto, sua utilização em embarcações EAM, pode ser considerada como essencial.

Como as embarcações de apoio necessitam de uma constante operação a baixa velocidade, e para realizar o posicionamento dinâmico, observa-se que a utilização desse tipo de Sistema Propulsivo, pode gerar uma economia de 15 a 25% em perfis de condição de operação normal, e de 40 a 50% quando a necessidade de se realizar operações com posicionamento dinâmico.

Para que se demonstre a diminuição dos custos com combustíveis, compara-se na figura 7, em milhares de dólares, o custo entre o Sistema Diesel Mecânico, Diesel Elétrico e Híbrido.

Figura 7: Comparação em custo médio entre os Sistemas Propulsivos (em milhares de US\$)



Fonte: Coelho de Souza (2013).

O motivo pelo qual se observa na figura 7, a qual retrata um menor gasto com o Sistema Diesel-Elétrico, fundamenta-se em dois elementos principais. O primeiro seria a possibilidade de variar a velocidade de rotação dos propulsores, fazendo com que se atenuem as perdas nos hélices, o que gera, por sua vez, um nível mínimo, quando observado as velocidades fixas e passo controlável.

O segundo baseia-se na parada e partida automática dos motores, promovendo uma segurança da carga do motor, para que se mantenha há um nível contínuo, próximo ao ponto ótimo.

Porém, retrata-se em Sousa (2016), que para que a eficiência dos motores seja atingida, não se pode notar apenas a questão relacionada ao tipo de acionamento. Nesse caso é necessário que seja considerado ao projeto de propulsão naval e offshore, qual o tipo de hélice ou o propulsor que será escolhido.

Com isso, pode-se compreender que para se definir qual o tipo de propulsão indicada para uma determinada embarcação é necessário atentar em questões como hidrodinâmica, manobrabilidade e flexibilidade. Desse modo, esses aspectos poderão definir se há viabilidade ou não de implantação.

Apoia-se nessa perspectiva de Sousa (2016), uma vez que uma embarcação, na qual deve ser exigida alta velocidade, não é indicado utilizar um Sistema de Propulsão Diesel Elétrico. Isto porque, como retratado por Coelho Souza (2013), esse sistema não responde com boa eficiência e consumo nesses casos.

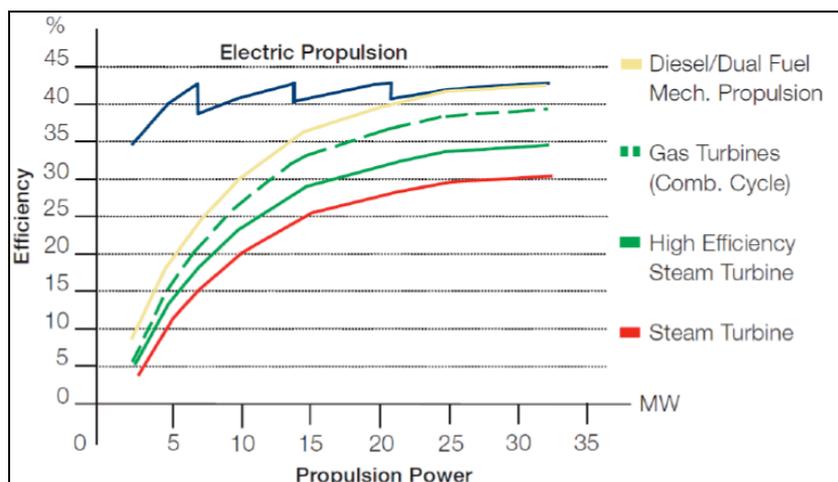
Todavia, os propulsores analisados têm como grande empecilho para seu contínuo funcionamento, o fenômeno denominado de cavitação, no qual ocorrem quedas repentinas de pressão, fazendo com que se observe uma danificação da estrutura das pás.

Os navios de apoio offshore como embarcações Platform Supply Vessels (PSV), os quais fazem uso de uma velocidade fixa de hélice de passo controlável. Porém, argumenta-se, na visão de Coelho Souza (2013) que, quando é utilizados hélices de passo variável, há uma perda considerável de eficiência, quando exposto a condições sem carga (idle run).

Ademais, verifica-se também que a economia existente no Sistema de Propulsão Diesel Elétrico, aplicado a embarcações offshore. Nesse contexto, afirma-se que quando tais embarcações estão em posicionamento dinâmico, o navio opera na maior parte do tempo em condições que a capacidade do propulsor é deveras reduzida, o que gera em caso de opção de um sistema propulsivo tal como Diesel Mecânico puro, um desperdício de combustível.

A figura 8 tem como finalidade apresentar a eficiência propulsiva de uma carga de função no hélice.

Figura 8: Eficiência propulsiva com uma função de carga no hélice



Fonte: Sousa (2016)

Atenta-se que os principais aspectos que devem ser observados em um sistema propulsivo para a escolha do tipo de acionamento principal, necessitam ser pautados nos seguintes aspectos: tamanho, o peso incluso os calços, a economia alcançada de combustível e os custos de operação, tais como: manutenção, treinamento de pessoal, estoque de peças, como também o custo de indisponibilidade durante o reparo.

Retrata-se que a análise comparativa entre o sistema Diesel Mecânico e Híbrido, quando analisado aspectos em embarcações offshore, com o Diesel Elétrico, apresenta que a redução de combustível pode ser uma das principais escolhas.

No entanto, as embarcações do tipo AHTS ainda são majoritariamente Diesel Mecânica. Porém, observa-se que tais embarcações estão iniciando a adoção híbrida, já que elas podem trazer logro considerável se comparado aos Sistemas puros.

Porém, Coelho Souza (2013) apresenta como observação que o Sistema Híbrido embora tenha suas vantagens plausíveis, necessita de ter uma tripulação com maior nível de atividade, já que a complexidade mecânica, nesses sistemas aumentou de modo considerável. Para tanto, o funcionamento ideal do Sistema Híbrido, aponta-se que se faz necessário a tripulação saber qual o momento propício para acionar os diferentes tipos de operação de trabalho, verificando qual deve prevalecer em face do outro.

CONCLUSÃO

A pesquisa consegue êxito ao demonstrar que embora os diversos tipos de sistemas propulsivos, as EAM, devem utilizar o Sistema Híbrido. Retrata-se que a inserção e evolução do sistema Diesel Elétrico, faz com que consiga se reduzir a perda de eficiência, existente no sistema Diesel Mecânico.

Ademais, compreende-se que a redução de combustível e ruído, existente no sistema de propulsão Diesel Elétrico, promove uma busca continua para que os custos operacionais sejam reduzidos, ou seja, a minimização dos custos é fundamental e primordial na adoção desse sistema para as embarcações PSV e AHTS.

Por fim, observa-se que tanto as embarcações PSV como AHTS estão investindo em seus projetos, a inserção do Sistema Diesel Elétrico devido ele oferecer uma melhor condição em determinadas operações exigidas para esses tipos de embarcação. Porém, ainda há poucos estudos envolvendo a utilização desses tipos de Sistemas, fazendo com que seja necessário uma continua dedicação sobre a temática.

ELECTRIC PROPULSION IN OFF-SHORE VESSELS

ABSTRACT

Propulsive systems are fundamental for any vessel, since they are responsible for the displacement of the vessel. Therefore, with the resumption of the world economy, it is necessary to analyze the feasibility of each propulsive system, such as its operational cost and its function, so that it is suitable for each specific type of vessel. Offshore vessels require a propulsive system that provides them with the possibility of flexibility and maneuverability, as well as assisting in dynamic positioning. According to the literature analyzed, there are three different types of propulsive systems in these vessels: Mechanical Diesel System, Electric Diesel System and Hybrid System. The research, therefore, has the purpose of analyzing, through the exploratory, theoretical-bibliographic research, the reason why the Electric Diesel system should be inserted with greater incision in these types of vessels. Thus, the research has the main objective to evaluate the feasibility and efficiency of the electric propulsion systems with the purpose of the advantages of its implantation in offshore support vessels. For this purpose three support specificities are used: I). Describe, through historical and technological perspective, the evolution of electric propulsion; II). Picture the types of naval and offshore propulsion systems; III). Discuss the advantages of electric propulsion. It was understood that the reduction of fuel and noise, existing in the electric diesel propulsion system, promotes a continuous search so that the operational costs are reduced, that is, the minimization of the costs is fundamental and primordial in the adoption of this system for the boats PSV and AHTS.

Keywords: Electric Diesel. Mechanical Diesel. Hybrid. Offshore. Propulsion systems.

REFERÊNCIAS

ABB. **Os benefícios da eficiência energética:** fazendo mais diminuindo os custos e as emissões. 2012.

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão elétrica de navios.** 2007. 201f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2007.

AZEVEDO, Alan Guimarães. **Submarino nuclear nacional: defesa oculta e desenvolvimento para o Brasil**. 2016. 49f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharel em Altos estudos de política e estratégia), Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro. 2016.

COELHO, Hélio Guilherme José. **O desenvolvimento tecnológico da indústria naval de defesa: uma questão estratégica**. 2009. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciência Política), Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2009.

COELHO DE SOUZA, Felipe Arcoverde. **Avaliação de Sistemas Diesel Elétrico, Mecânico e Híbrido para embarcações de apoio a plataformas**. 2013. 87f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Naval e Oceânica), Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

DOYLE, T. J.; STEVENS, H. O.; ROBEY, H. **An Historical Overview of navy electric drive**, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment. 1999.

FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia de pesquisa científica**. Fortaleza: UFCE, 2002. Apostila.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2007

HALL, B. A.; DENNIS, T. **Practical marine electrical knowledge**. Honsl. G. Eng. M. E. E. M.1. Mar. E. 2.ed. 1999.

JESUS, Claudiana Guedes. **Retomada da indústria de construção naval brasileira: reestruturação e trabalho**. 2013. 195f. Tese. (Doutorado em Política Científica e Tecnológica), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2013.

MAIA JÚNIOR, M. D. **Modelo de controlador lqg/ltr com filtro de Kalman com dinâmica aumentada aplicado a sistemas de posicionamento dinâmico de estruturas oceânicas**. 2007. 123f. Dissertação. (Mestrado em Ciências), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2007.

MELO, Gabriel Felipe Brito et al. Posicionamento dinâmico no escoamento de petróleo. **Cadernos de Graduação**, v.3, n.2, p. 81-90, 2016.

NEVES, Fernanda Bonato. **A importância do transporte multimodal no Comércio Exterior**. 2008. 58f. Monografia (Bacharelado em Comércio Exterior), Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 2008.

NORATO, Leonardo Tiago. **Propulsão elétrica**. 2013. 41f. Monografia (Curso de aperfeiçoamento para oficiais de máquinas), Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.

REIS, Marcelo César. **Projeto conceitual de uma embarcação solar para o transporte público de passageiros**. 2016. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharel em Engenharia Naval), Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville. 2016.

SILVA, Adonis Batista. **Sistemas de propulsão elétrica para navios mercantes**. 2012. 33f. Monografia (Bacharel em Ciências Náuticas), Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro.

SOUSA, Sthenio Guida Perdigão Pereira. **Análise do comportamento de motor síncrono pentafásico permanentes tolerante a falta de fase pelo método dos elementos finitos**. 2016. 119f. Projeto de Graduação. (Bacharelado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2016.