



Análise Comparativa entre Os Sistemas de Propulsão Diesel-Elétrico e o Sistema Diesel-Elétrico-Mecânico em Navios Tipo Platform Supply Vessel

Comparative Analysis Between Diesel-Electric Propulsion Systems And Diesel-Electric-Mechanical Systems In Ships Type Platform Supply Vessel.

Recebido em 03.07.2017. Aprovado em 01.12.2017



Gustavo Pereira Gomes de Souza *; José Claudino de Lira Júnior; Demétrius Perrelli Valença
Universidade Federal de Pernambuco | * gustavo_pereira1428@hotmail.com

Jacek Stanislaw Michelawicz
Instituto Federal de Pernambuco

92

RESUMO

Neste trabalho será realizada uma comparação entre os sistemas diesel-elétrico e diesel-elétrico-mecânico (híbrido), estabelecendo quais as principais características e deficiências desses sistemas. Posteriormente será calculada a demanda energética para um navio hipotético navio PSV, para em seguida determinar o consumo de combustível para cada sistema propulsivo. Este tema de pesquisa foi escolhido devido à crescente preocupação com as emissões de poluentes na atmosfera e busca por modelo propulsivo eficiente e que atenda todas as exigências da embarcação; juntamente com a alta competitividade do setor naval e o aumento da frota mundial de navios PSV. Como falado no primeiro parágrafo, neste trabalho foi feito um cálculo da demanda de energia a bordo, tanto o cálculo da demanda por energia para propulsão quanto da demanda de energia elétrica a bordo. Assim foram dimensionados todos os motores e geradores necessários para suprir essa demanda energética. Em seguida foi realizado o cálculo do custo de combustível para os dois sistemas propulsivos. Foi possível observar que a introdução de sistemas propulsivo híbrido pode trazer muitas vantagens econômicas e precisa ser levado em conta na hora de projetar uma embarcação tipo PSV.

PALAVRAS-CHAVE: PSV, Sistemas Auxiliares, Eficiência Energética,

ABSTRACT

In this work a comparison will be made between the diesel-electric and dieselelectric-mechanical (hybrid) systems, establishing the main characteristics and deficiencies of these systems. Subsequently, the energy demand for a hypothetical ship PSV will be calculated, and then determine the fuel consumption for each propulsive system. This research theme was chosen due to the growing concern with the emission of pollutants in the atmosphere and search for an efficient propulsive model that meets all the requirements of the vessel; Together with the high competitiveness of the naval sector and the increase of the world fleet of PSV ships. As discussed in the first paragraph, in this work the calculation was made of the energy demand on board, both the calculation of the demand of energy for propulsion and the demand for electric power on board. Thus, all the motors and generators needed to meet this energy demand were dimensioned. Then, the fuel cost calculation for both propulsion systems was calculated. It was observed that the introduction of the hybrid propulsive system can bring many economic advantages and needs to be considered when designing a PSV type ship.

KEY WORDS: PSV, Auxiliary Systems, Energy efficiency

INTRODUÇÃO

Devido à grande diversidade de tipos de embarcação, com cada uma dessas atuando em um ou mais tipos de operação, surge a necessidade de diferentes tipos de propulsão, para satisfazer as embarcações da forma mais adequada possível. E é dever do projetista escolher o tipo propulsivo que melhor lhe atenda, dentro de um determinado custo de implantação e manutenção.

Dependendo do tipo de embarcação, esta tarefa não é nem um pouco trivial. Por exemplo: em embarcações onde tem mais de um tipo de operação, um determinado sistema propulsivo pode não ser o mais eficiente para todos os tipos de operação. Como é o caso dos navios tipo *Platform Supply Vessel* – PSV, onde precisam operar por longos tempos tanto em posicionamento dinâmico, quanto em navegação em mar

aberto. Devido a própria natureza do sistema de posicionamento dinâmico é de praxe que o sistema propulsivo desses navios seja do tipo diesel-elétrico. Esse não é o melhor sistema para aplicação em navegação de mar aberto, devido a altas perdas energéticas no processo (Barcellos, 2012).

Devido a associação de alta competitividade no mercado e de uma procura por processos que queimem menos combustíveis fósseis e assim poluir menos a atmosfera. Tem-se mudado a visão de algumas embarcações tenham apenas um tipo de sistema propulsivo e passem a integrar mais de um sistema. Como é o caso do sistema diesel-elétrico-mecânico, que faz a integração entre o sistema diesel-elétrico e diesel-mecânico. Com esse sistema pode-se evitar perdas inerentes a algumas atividades como navegar em mar aberto com sistema diesel-elétrico e assim ganhar um aumento considerável na eficiência energética da embarcação.

Navios do tipo *Platform Supply Vessel* – PSV – são navios de pequeno porte que apresentam características marcantes e únicas, uma delas é a casaria posicionada avante. São navios que realizam apoio a plataformas de petróleo, como transporte de combustíveis, consumíveis, resíduos, água, óleo, lama, granéis sólidos e carga geral de convés. Esses navios são facilmente reconhecidos, pelo seu grande convés exposto e livre, que serve para fazer o transporte de equipamentos e cargas em geral. Também têm como missão dar suporte à construção, manutenção e trabalho submarino em alto mar, além de remover os resíduos gerados na atividade para a base de apoio (SOUZA, 2013).

Figura 1 Navio PSV



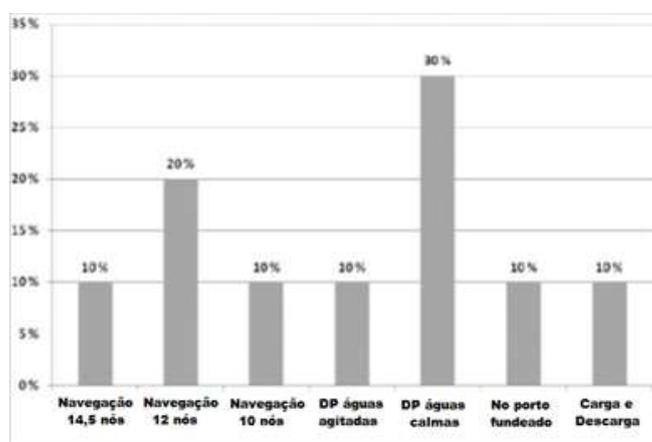
(Fonte: Corvus Energy).

Vários aspectos devem ser considerados na concepção da maquinaria, tais como a demanda de energia, segurança, e custos operacionais. Dado que a instalação de um sistema de máquinas é normalmente um acontecimento único, deve-se prever a demanda energética para propulsão e serviços durante toda a vida útil do navio, incluindo o aparelho de governo, as máquinas de convés, os equipamentos de navegação e comunicações, a carga hoteleira e os equipamentos de movimentação de carga (SOLEM et al., 2012). Outros fatores que devem ser levados em consideração ao selecionar os motores são o peso, o tamanho, velocidade de serviço, manobrabilidade e perda mínima de espaço de carga. A concepção de um sistema de maquinaria

é tipicamente feita considerando um conceito tradicional como base e por estudos cuidadosos do perfil operacional do navio e das opções de máquinas disponíveis.

A figura a seguir mostra um perfil operacional típico de um PSV operando no Mar do Norte, informando o percentual de tempo gasto nas operações. Dos quais, cerca de 40% do tempo é gasto em posicionamento dinâmico (DP), 40% em navegação, 10% em *standby* (que será assumido como operação de carga e descarga) e 10% em operações portuárias. Pode-se concluir que o sistema propulsor de um PSV precisa lidar com uma produção equilibrada de energia para atender os requisitos de velocidade e elétricos.

Figura 2. Perfil operacional de um PSV operando no Mar do Norte



(Fonte: Wartsila)

O principal consumidor de energia é geralmente o sistema propulsor, que pode ser de diferentes tipos. As hélices podem ter passo fixo ou variável. Tanto motores síncronos, como assíncronos são usados para propulsão, onde os motores síncronos são usados para as mais altas potências. Outros consumidores podem ser motores de bombas, compressores, etc., principalmente com motores assíncronos de velocidade fixa ou variável, e a rede de distribuição de baixa tensão para sistemas auxiliares e carga hoteleira. Contudo, a propulsão é normalmente o principal consumidor.

A principal desvantagem de um conjunto gerador baseado em motores de combustão é uma baixa taxa de eficiência devido às múltiplas conversões de energia. Uma maneira de aumentar a relação custo-benefício do sistema em geral é usando um motor de combustão de frequência de rotação variável (KHAVTOV e DAR'ENKOV, 2016). A principal vantagem da propulsão diesel-elétrica é o ajuste de velocidade da hélice independentemente da rotação do motor diesel. O ajuste da rotação do propulsor é determinado pela velocidade do motor elétrico. Assim, o motor principal trabalha em uma velocidade constante movimentando um gerador que fornece a energia ao motor elétrico. O controle de velocidade do motor elétrico pode ser realizado através do inversor de frequência aplicado ao motor.

Outra característica do sistema diesel-elétrico é o alto torque em baixas velocidades e sistemas de transmissão mais suave, bastante utilizados por navios quebra-gelo (PEREIRA, 2007). Em relação a manutenção, a propulsão elétrica apresenta menores custos se comparado com o sistema diesel-mecânico. Em relação ao aspecto técnico, a propulsão elétrica oferece vantagens em termos de manobrabilidade, controles automáticos, maior capacidade de reversão dos motores, dispensa caixa de engrenagens, pouco ruído e vibração no eixo do propulsor. Em estudos recentes com navios diesel-elétricos maiores, demonstraram uma redução de 30% a 50% na parada de colisão em relação à propulsão convencional. Em geral, um navio com esse tipo de sistema de propulsão tem um diâmetro táctico 40% menor do que um navio com propulsão convencional (PEREIRA, 2007).

Existem algumas linhas de pesquisas que estão tentando utilizar o ponto de operação ótimo do gerador e armazenar essa energia em um conjunto de baterias. Essa tecnologia que combina um motor primário e armazenamento de energia é usada com sucesso em veículos da indústria automotiva e tem demonstrado contribuir para a redução das emissões de CO₂ (DEDES et al., 2010). O conceito de energia armazenada a bordo de navios foi estabelecido desde a Segunda Guerra Mundial, onde os submarinos usavam energia elétrica para propulsão quando submersos, onde a operação de motores a diesel não era possível, que nada mais é do que um tipo de sistema híbrido (BARCELLOS, 2012). Tipicamente, a otimização de motores diesel navais tem como objetivo reduzir o consumo de combustível para um único ponto de operação.

O que define um sistema propulsor como híbrido é a possibilidade de se operar em modos de geração ou utilização de potência de forma distinta ou combinada, que podem ser utilizados normalmente; ou seja, sem que seja uma operação de emergência. O sistema híbrido atualmente possui um grande potencial de utilização especialmente devido à maior disseminação de sistemas de controle eletrônico embarcados. Por ser um sistema intermediário entre a propulsão diesel-mecânica e a propulsão diesel-elétrica, o sistema híbrido combina os benefícios de cada um dos dois tipos de forma a trabalhar sempre com a maior eficiência possível.

Os motores navais operam em condições de constante mudança devido às ondas e ao vento e também devido às alterações de velocidade durante uma determinada viagem. Assim, os motores de propulsão não funcionam no seu ponto ótimo e, como resultado, o consumo específico de combustível é aumentado (MAN Diesel, 2009). Com isso, o objetivo do sistema híbrido é tentar otimizar a eficiência tanto dos motores diesel, quanto dos geradores elétricos com os vários perfis operacionais da embarcação. Devido a maior complexidade do sistema de transmissão de torque ao propulsor, como múltiplas ramificações da caixa de engrenagens, este tipo de sistema propulsivo está suscetível a geração de ruídos e vibrações mais complexas do que um sistema diesel-mecânico puro. (XIAO et al., 2016). Junta-se a isto o fato de que a vibração dos eixos de propulsão do navio afeta diretamente o desempenho e a segurança do navio e da tripulação. Atualmente, a maioria dos PSVs utilizam este sistema, onde geradores elétricos alimentam os

propulsores azimutais de popa e proa, bem como os *Bow Thruster*, que são propulsores laterais localizados na vante da embarcação.

Apesar de não apresentar as vantagens de um sistema totalmente elétrico, o sistema híbrido é muito adaptável as circunstâncias, distinguindo bem as situações de alta necessidade de controle e segurança na operação e nas situações onde só é necessária propulsão “bruta”. Sem falar nas melhorias hidrodinâmicas com mudança no projeto do casco, que neste sistema passa a ter apenas um propulsor de diâmetro grande e central, permitindo que as linhas de popa sejam otimizadas para um melhor fluxo como observado na figura 3 (BARCELLOS, 2012, p. 4). E também, um único propulsor com maior diâmetro e menor velocidade é mais eficiente do que dois propulsores de menor diâmetro e que possuam uma maior velocidade de rotação (SCHNEEKLUTH e BERTRAM, 1998; CARLTON, 2007). Somando-se a isso, o casco passa a ter menos apêndices quando não apresenta os dois propulsores azimutais fixos presentes nos PSVs diesel-elétricos, e a redução dos apêndices é outra razão para melhor eficiência (SCHNEEKLUTH e BERTRAM, 1998).

Figura 3. Casco de PSV com sistema de propulsão híbrido.



Fonte: Wartsila

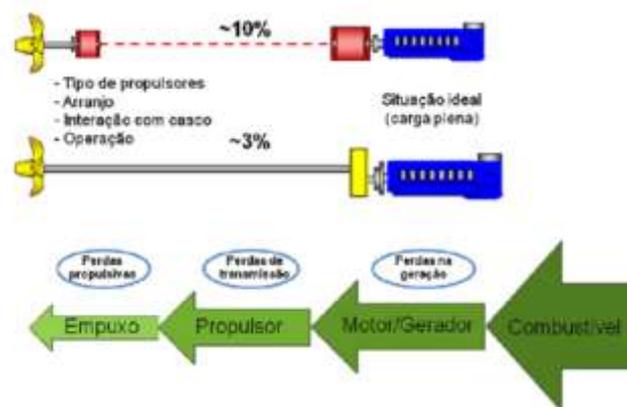
Quando se fala da eficiência do sistema envolvida na transmissão da energia nos sistemas elétricos e mecânicos, pode-se encontrar grandes variações. Por exemplo, as perdas de transmissão por parte do sistema elétrico podem chegar a 10%, já na transmissão por linha de eixo as perdas giram em torno de 3%, como é possível observar na figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.**4. Apesar de grande parte da frota de PSVs empregar um sistema que não é o mais adequado para navegação em mar aberto, é uma situação que deve ser aceita devido à maior redundância oferecida pela propulsão elétrica. Mas esse quadro pode ser melhorado caso seja adotado um sistema de propulsão híbrido, nas situações de navegação livre um sistema de propulsão por linhas de eixo entraria em atividade reduzindo consideravelmente as perdas durante grande parte do tempo do perfil operacional.

2. CÁLCULO DA POTÊNCIA DO SISTEMA ELÉTRICO

Primeiramente é preciso definir as condições de operação do PSV em estudo. O PSV irá operar na Bacia de Campos e terá um perfil operacional como o mostrado na figura 4, Definido o tempo que o navio

passará em cada uma das operações é necessário definir as dimensões e características principais da embarcação. As dimensões escolhidas foram com base no PSV: VS 485 MK III L da WÄRTSILÄ. Que é um dos projetos típicos da empresa com aproximadamente 90m de comprimento, 20 m de boca (largura) e 5700 toneladas de peso morto.

Figura 3: Casco de PSV com sistema de propulsão híbrido.



(Fonte: Wartsila).

A Resistência ao Avanço da embarcação, será calculada através do método proposto por HOLTROP, 1984. Que consiste na predição de potência no qual é baseado em uma análise de regressão de testes aleatórios de modelos reduzidos e de escala real. É um método restrito para velocidades com o número de Froud abaixo de 0.5. Este método fornece resultados bem satisfatórios para o nosso propósito, que é determinar a resistência total do navio e seus fatores de esteira e de perda de empuxo. Para dimensionar os hélices serão utilizadas as *Wageningen B-Series Propellers* (BERNITSAS et al., 1981).

O processo para escolha do propulsor é um processo iterativo, que consome bastante tempo. Onde é necessário analisar várias famílias de propulsores (razão de área expandida) e várias razões de passo-diâmetro. Assim foi elaborado uma planilha de Excel que faz uma análise dos propulsores possíveis para determinada razão de área expandida e escolhe o propulsor mais eficiente para determinada razão passo-diâmetro. Para o sistema elétrico serão utilizados dois propulsores com 2,8 metros de diâmetro, com 4 pás, que é um arranjo bastante comum entre os PSVs elétricos. Após várias análises de razão de área expandida a planilha retornou que o valor de $A_E/A_O = 0,6$ que é o mais eficiente.

Seguidamente foi analisando o propulsor quanto a cavitação, quando um líquido é vaporizado devido à redução da pressão durante seu movimento ocorre a cavitação. Essa redução de pressão ocorre quando o fluido é acelerado e para manter sua energia ocorre uma perda de pressão, como pode ser observado na equação de Bernoulli para fluidos incompressíveis e campo gravitacional uniforme

$$P + \frac{v^2 * \rho}{2} + \rho * g * h = Constante \quad (1)$$

Dossiê I JIPEEIS - Primeira Jornada Internacional de Pesquisa, Ensino, Extensão, Inovação e Sustentabilidade

Análise Comparativa entre Os Sistemas de Propulsão Diesel-Elétrico e o Sistema Diesel-Elétrico-Mecânico em Navios Tipo Platform Supply Vessel

Onde: P – Pressão do fluido; v – Velocidade do fluido; ρ – Densidade do fluido; g – Gravidade; h - Altura em relação a um referencial;

O posicionamento dinâmico pode ser utilizado para manter o navio parado em um ponto fixo sobre o fundo do mar ou em relação a um objeto movendo-se, como outro navio ou um veículo subaquático. Também seria possível o posicionamento da embarcação com um ângulo favorável no sentido do vento, ondas e corrente, que é o efeito de *weathervaning*.

Para dimensionar a demanda de energia elétrica a bordo será feito um balanço elétrico da embarcação para uma fase inicial de projeto, o fato de ser apenas uma estimativa da demanda de eletricidade não irá comprometer o estudo em questão. Pois, a diferença entre os balanços elétricos dos dois sistemas propulsivos será a presença dos *thrusters* azimutais de popa na embarcação com sistema elétrico e a presença dos *thrusters* retráteis de popa na embarcação com sistema diesel-elétrico. Ou seja, todos os outros consumidores, como bombas, lâmpadas, sistema de ar-condicionado, sistema de aquecimento, etc., estarão presentes em ambas as embarcações, não comprometendo uma análise comparativa de consumo de combustível.

Em virtude disto, uma estimativa da potência das principais bombas foi realizada. Iniciou-se pela definição da capacidade dos tanques, que foram baseados no navio da WARTSILA, VS 485 PSV MK III L, bem como as disposições dos tanques para, em seguida, estimar o comprimento das tubulações. Essas informações foram utilizadas para calcular a potência estimada na instalação. Conforme apresentado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 Potência estimada na Instalação

Tanques de Carga		
	Qnt. Bombas	Potência por bomba (Kw)
Tanques de Óleo Combustível	3	1,89
Tanques de Óleo Diesel	3	0,72
Tanques Lama Líquida	3	0,81

Tanques de Lastro		
	Qnt. Bombas	Potência por bomba (Kw)
Todos os Tqs	3	1,30

Consumíveis		
	Qnt. Bombas	Potência por bomba (Kw)
Tanques de Água Doce	2	21,04
Tanques de Óleo Combustível	2	3,72
Tanques de Óleo Diesel	2	0,90
Tanques de Óleo Lubrificante	2	6,64

Tanque de Esgoto		
	Qnt. Bombas	Potência por bomba (Kw)
Todos os Tqs	2	0,30

Além das margens utilizadas para compensar perdas da capacidade propulsiva da embarcação, foi considerada outra perda, que está intrinsicamente ligada ao sistema propulsivo, essa perda está relacionada ao tipo de transmissão. Ou seja, na transmissão do sistema elétrico 10% da energia que é transferida para a propulsão é perdida.

Considerando o levantamento dos principais consumidores de carga, pode-se apresentar o resumo do balanço elétrico do navio. O balanço elétrico do navio trata-se de uma estimativa de todos os consumidores

elétricos a bordo e sua demanda para que os geradores possam ser dimensionados. As condições de operação são descritas a seguir:

- No Mar (essencial) – consumidores necessários para navegação e segurança, condição de emergência.
- No Mar (Normal) – todos os consumidores na condição essencial e mais os necessários para preservação da carga, conforto e comodidade.
- Posicionamento dinâmico – todos os consumidores na condição no mar (Normal) e mais os necessários para manobra de posicionamento dinâmico do navio.
- Operando no porto – consumidores necessários para segurança, iluminação, guinchos, bombas e etc.

Além da divisão em relação as condições de operações mencionadas acima, o balanço elétrico foi dividido em 12 grupos de consumidores de acordo com os setores da embarcação. E cada grupo é composto pelos respectivos consumidores e quantidade dos mesmos. O resumo do balanço elétrico para o PSV elétrico é mostrado na tabela 2:

Tabela 2. Balanço elétrico do PSV elétrico

NAVIO PSV - ELÉTRICO		NO MAR		POSICIONAMENTO DINÂMICO	CARGA E DESCARGA	NO PORTO FUNDEADO
		ESSENCIAL	NORMAL			
Grupo	Classificação	Potência absorvida (kW)				
1	Praça de Máquinas (serviço contínuo)	265,45	457,18	454,38	166,67	218,10
2	Praça de Máquinas (serviço intermitente)	72,82	188,48	185,26	153,98	138,05
3	Praça de Máquinas (diversos)	0,96	81,55	81,55	23,69	12,36
4	Ar condicionado / Ventilação / Aquicimento	0,00	94,33	86,27	86,27	86,27
5	Frigorífica de Provisões (equipamentos)	32,30	5,15	32,30	32,30	32,30
6	Thrusters - Posicionamento Dinâmico	2174,00	2174,00	7234,00	0,00	0,00
7	Máquinas de Convés	0,00	0,00	54,00	108,00	0,00
8	Cozinha / Copa	0,00	14,72	14,72	14,72	14,72
9	Lavanderia	0,00	5,80	5,80	5,80	5,80
10	Oficina	0,00	15,84	7,84	15,84	13,32
11	Iluminação	35,42	47,32	46,90	46,90	46,90
12	Equipamentos Náuticos e de Auxílio à Navegação	8,56	11,44	10,48	7,12	6,72
Potência Total Necessária		2589,51	3095,80	8213,50	661,29	574,54

Com exceção das potências consumidas calculadas anteriormente, os demais consumidores são estimativas que poderiam aplicar-se com uma aproximação elevada a um navio PSV e como é levida em consideração em ambos os casos (tanto elétrico quanto híbrido) não afetará a confiabilidade do estudo.

3. Cálculo de potência do sistema híbrido

Apesar de contar com uma gama maior de equipamentos, o PSV híbrido apresenta basicamente dois motores diesel acoplados a mesma linha de eixo que transmite sua força a um único hélice de passo controlável e grande diâmetro, para propulsão em mar aberto. Ao mesmo tempo os motores diesel principais alimentam geradores de eixo que combinados com os geradores auxiliares suprem a demanda elétrica a bordo.

Quando em condição de posicionamento dinâmico esses motores passam a alimentar geradores de eixo, que juntamente com os geradores auxiliares dão conta tanto do consumo de potência dos serviços de

Dossiê I JIPEEIS - Primeira Jornada Internacional de Pesquisa, Ensino, Extensão, Inovação e Sustentabilidade

Análise Comparativa entre Os Sistemas de Propulsão Diesel-Elétrico e o Sistema Diesel-Elétrico-Mecânico em Navios Tipo Platform Supply Vessel

hotelaria, quanto dos propulsores elétricos. A propulsão para navegação em mar aberto sistema híbrido é alimentada por dois motores diesel que estão acoplados a uma caixa de engrenagens, que transmite a energia mecânica a apenas um eixo propulsor.

Devido ao fato das duas embarcações possuírem os mesmos tanques de carga com as mesmas capacidades, as bombas devem ter as mesmas potências e quantidades em cada embarcação,. Haverá apenas uma pequena diferença em relação aos tanques de consumíveis, mas que não são relevantes em um quadro geral. Por questões práticas serão consideradas as mesmas potências das bombas do navio com sistema elétrico. As potências requeridas pelos propulsores na operação de posicionamento dinâmico também foram calculadas e são mostradas no resumo do balanço elétrico para o PSV híbrido (tabela 3):

100

Tabela 3. Balanço elétrico do Balanço elétrico do PSV híbrido

Grupo	Classificação	NO MAR		POSICIONAMENTO DINÂMICO	CARGA E DESCARGA	NO PORTO FUNDEADO
		ESSENCIAL	NORMAL			
		Potência absorvida (kW)				
1	Praça de Máquinas (serviço contínuo)	265,27	456,81	454,01	166,60	218,03
2	Praça de Máquinas (serviço intermitente)	72,82	188,48	185,26	153,98	138,05
3	Praça de Máquinas (diversos)	0,96	81,55	81,55	23,56	12,36
4	Ar condicionado / Ventilação / Aquecimento	0,00	94,33	86,27	86,27	86,27
5	Frigorífica de Provisões (equipamentos)	32,30	5,15	32,30	32,30	32,30
6	Propulsão / Posicionamento Dinâmico	0,00	0,00	7234,00	0,00	0,00
7	Máquinas de Convés	0,00	0,00	54,00	108,00	0,00
8	Cozinha / Copa	0,00	14,72	14,72	14,72	14,72
9	Lavanderia	0,00	5,80	5,80	5,80	5,80
10	Oficina	0,00	15,84	7,84	15,84	13,32
11	Iluminação	35,42	47,32	46,90	46,90	46,90
12	Equipamentos Náuticos e de Auxílio à Navegação	8,56	11,44	10,48	7,12	6,72
Potência Total Necessária		415,33	921,43	8213,13	661,08	574,46

A única alteração em relação ao sistema elétrico está no grupo 6 (Propulsão / Posicionamento Dinâmico), especificamente na operação “NO MAR”, isso já é esperado devido a própria natureza do sistema propulsivo híbrido.

4. Custo anual do consumo de combustível

Após definidos todos os motores a bordo, pode-se estimar o consumo anual de combustível que abastecerá a embarcação e em seguida determinar o custo desse combustível. Deve-se preocupar apenas com as principais condições operacionais, que são: *No mar – normal*, *Posicionamento dinâmico*, *Carga e descarga* e *No porto*. Não será calculado a operação: *No mar – emergência*, por se tratar de uma operação sem qualquer previsibilidade de quando irá ocorrer, nem tão pouco pode-se determinar sua duração.

Segundo informações fornecidas pelo fabricante dos motores, eles foram projetados para operar com HFO (*Heavy Fuel Oil*) e com informações obtidas no site do francês, *National Institute of Statistics and Economic Studies*, o preço médio do HFO no mês de setembro de 2016 é de 276,5 dólares por tonelada. Logo, esse será o valor utilizado para calcular o custo anual de combustível, embora haja uma variação diariamente neste preço.

Dossiê I JIPEEIS - Primeira Jornada Internacional de Pesquisa, Ensino, Extensão, Inovação e Sustentabilidade

Análise Comparativa entre Os Sistemas de Propulsão Diesel-Elétrico e o Sistema Diesel-Elétrico-Mecânico em Navios Tipo Platform Supply Vessel

Assumiu-se que o navio esteja em operação durante todas as horas do ano, que o ano tem exatos 365 dias e que ele não pare em nenhum momento para docagem, reparo ou alguma atividade semelhante. Com base no perfil operacional do PSV em estudo das 8760 horas disponíveis em um ano, em média, 3504 são destinadas a navegação, 3504 são destinadas a manobras de posicionamento dinâmico, 876 são destinadas a manobras de carga e descarga e 876 destinadas a operações portuárias.

Para obter o custo do combustível é necessário conhecer a taxa de consumo de combustível para cada motor. Essa taxa, que é dada em g/kWh (grama por quilowatt-hora), apresentada no guia de projetos dos motores. Finalmente, o custo de combustível anual para cada operação será dado pela eq. 2:

$$Custo = \frac{Pot * \Delta T * Tax * Preço}{10^6} \quad (2)$$

Onde: **Pot**: Potência gerada pelo motor/gerador; **ΔT** : Horas destinadas àquela atividade; **Tax**: Taxa de consumo de combustível do motor, dada em g/kWh; **Preço**: Preço em dólares de uma tonelada de *Marine Diesel Oil*. O resumo dos custos e quantidade de combustível, calculados para as diversas operações estão apresentados na tabela 4

Tabela 4. Balanço anual de combustível por operação.

Balanço Anual de Combustível						
Tipo de sistema propulsivo		No mar - normal	Posicionamento dinâmico	Carga e descarga	No porto	Total
PSV elétrico	Quantidade (Toneladas)	1974	5238	105	92	7409
	Custo	\$ 545.888,37	\$ 1.448.300,61	\$ 29.151,65	\$ 25.327,46	\$ 2.048.668,09
PSV híbrido	Quantidade (Toneladas)	1773	5238	105	92	7208
	Custo	\$ 490.101,87	\$ 1.448.300,61	\$ 29.151,65	\$ 25.327,46	\$ 1.992.881,59

Como é possível observar na tabela 4, a diferença no custo do combustível entre os dois sistemas no período de um ano é de \$ 55.786,50. Esse valor representa 2,8% do custo anual com o combustível no sistema híbrido. Já em termos mássicos, a diferença é de 201 toneladas de HFO, que deixariam de ser queimadas.

5. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que o sistema híbrido no PSV apresenta um rendimento considerável. Essa melhora na eficiência energética, deve-se basicamente a alguns fatores. O primeiro, é a vantagem na utilização do sistema mecânico para a navegação em mar aberto, ou seja, quando se tem um motor diesel gerando potência mecânica, próximo de seu ponto ótimo de operação, para alimentar

um propulsor. Nessa configuração, tem-se uma menor dissipação de energia oriunda do combustível, devido ao fato desse sistema apresentar menos transformações energéticas em relação ao sistema elétrico puro. No sistema mecânico a transformação a energia do combustível se transforma em energia mecânica, que é transmitida ao propulsor. Enquanto que no sistema elétrico, essa mesma energia do combustível é transformada em energia mecânica e depois em energia elétrica, no gerador, e é transmitida por meio de cabos ao motor elétrico acoplado ao propulsor e aí transformada novamente em energia mecânica para finalmente ser transmitida ao propulsor.

Essas várias transformações energéticas associadas ao sistema elétrico é que fazem com que suas perdas energéticas sejam mais elevadas, é o preço a se pagar por uma energia mais “controlável”. É um tipo de energia que dá uma liberdade e um controle imensos sobre o propulsor, podendo alterar rapidamente a rotação do mesmo, com bastante precisão e confiabilidade na operação. O segundo fator que contribuiu com a melhora de desempenho do sistema híbrido foi a liberdade de escolha de um propulsor com maiores dimensões, a potência entregue ao propulsor do sistema híbrido é menor do que a potência entregue aos propulsores do sistema elétrico. É explicado pelo fato de que um propulsor maior e com menor rotação é mais eficiente do que dois propulsores menores e com maiores rotações. Não pode-se deixar de mencionar a economia na manutenção de equipamentos tão caros como os propulsores azimutais de ré, uma vez que sua utilização cairia pela metade em comparação com o sistema elétrico.

Outra grande contribuição desse tipo de propulsão é no quesito hidrodinâmica, com a adoção de apenas um propulsor na linha de centro da embarcação o projeto do casco poderia ser mudado para otimizar as linhas de popa e facilitar o escoamento no casco. Não só isso, mas também reduzindo o arrasto causado pelos propulsores azimutais de popa, que ficariam recolhidos dentro do casco na navegação em mar aberto. Essa melhoria no desempenho poderia ser quantificada em estudos futuros com modelos computacionais ou até mesmo modelos em escala.

Com a grande preocupação mundial acerca das emissões de gases da combustão de combustíveis fósseis na atmosfera. Cada vez mais é necessário buscar soluções para diminuir emissões, não só pela redução de custos atrelada a essa ação, mas sim com a ideia de poluir cada vez menos. Pois com o sistema híbrido cerca de 200 toneladas de combustível marítimo deixariam de ser queimadas anualmente por todos os PSV.

O sistema de propulsão híbrido pode ser expandido para outras embarcações que apresentem grande variações no seu perfil operacional, como por exemplo as embarcações de cabotagem, que hora estão operando no mar e hora estão operando em rios. Pode ser aplicado também na propulsão de navios aliviadores (*shuttle tankers*), pois os navios desse tipo que já possuem posicionamento dinâmico operam com uma espécie de sistema diesel elétrico, onde possuem um motor de dois tempos para propulsão e geradores auxiliares para alimentação do sistema de DP. O sistema híbrido poderia ser implementado como uma forma

de diminuir a potência instalada a bordo, uma vez que a energia necessária para alimentação do sistema DP viria do motor principal e não de geradores auxiliares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB . (s.d.). Marine Academy course description. **H882 – Azipod® XO technical training**.

ALVES, R. N. (Outubro de 2007). **Propulsão elétrica de navios**. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

BARCELLOS, R. (Outubro de 2012). **O sistema híbrido de propulsão como uma alternativa viável aos sistemas diesel-elétrico e diesel-mecânico**.

BERNITSAS, M. M., Ray, D., & Kinley, P. (Maio de 1981). **Kt, Kq and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers**. Michigan, Estados Unidos.

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

CORVUS ENERGY. (02 de julho de 2016). Fonte: <http://corvusenergy.com/marine-project/edda-ferd-platform-supply-vessel-psv/>

DP MARINE. (03 de 08 de 2016). Fonte: <http://dpmarine.dk/dynamic-positioning/>

FRANCE PÊCHE. (10 de 01 de 2017). Fonte: <http://www.francepechedurable.eu/en/innovative-ships/>

HANSEN, J. F. (2000). **Modelling and Control of Marine Power Systems**. Trondheim, Noruega.

HOLTROP, J. (1984). **A Statistical Re-analysis of Resistance and Propulsion Data**.

http://www1.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academico/relatorios/atuais/RodrigoD_JPaulo/relat1/7%20Sistema%20propulsivo.htm. (21 de 08 de 2016). Fonte: Oceânica UFRJ.

IMO. (s.d.). REGRAS PARA A PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR POR - MARPOL 73/78 – ANEXO VI.

KHVATOV, O. S., & Dar'enkov, A. B. (2016). **A Uniform Power Station of a Transport Unit with Electric Propulsion Based on a Diesel Generator of Varying Rotation Frequency**. RUSSIAN ELECTRICAL ENGINEERING , 150-155.

MACINTYRE, A. J. (1997). **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro: LTC.

MAN Diesel. (2009). **Emission Control MAN B&W Two-stroke Diesel Engines**.

_____. (s.d.). Hybrid Propulsion - Flexibility and maximum efficiency optimally combined.

MYKLEBUST, T. A., & ÅDNANES, A. K. (s.d.). **Parallel hybrid propulsion for AHTS**.

NATIONAL INSTITUTE OF STATISTICS AND ECONOMIC STUDIES. (25 de Outubro de 16). Fonte: <http://www.insee.fr/en/bases-de-donnees/bsweb/serie.asp?idbank=001642883>

PEREIRA, N. N. (2007). **A Diagnostic of Diesel-Electric Propulsion for Ships**. Ciencia & Tecnología de Buques, 12.

PINCIPLES OF NAVAL ARCHITECTURE Vol. III. (1989). Jersey City.

POWER MASTER. (12 de 12 de 2016). Fonte: http://www.powermastermarine.com/Image/flash_electrical.jpg

ROLLS ROYCE. (s.d.). **Marine Products and Systems.**

ROLLS-ROYCE. (s.d.). **Hybrid shaft generator propulsion system upgrade.**

SCHNEEKLUTH, H., & BERTRAM, V. (1998). **Ship Design for Efficiency and Economy** 2ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.

SOLEM, S., FAGERHOLT, K., & Erikstad, S. O. (Outubro de 2012). **Optimization of diesel electric machinery system configuration in conceptual ship design.**

SOUZA, F. A. (Setembro de 2013). **Avaliação de Sistemas Diesel Elétrico, Mecânico e Híbrido para embarcações de Apoio a Plataformas.** Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

TURNOCK, S. R., DEDES, E. K., & Hudson, D. A. (2011). **Assessing the Potencial of Hybrid Energy Technology to Reduce Exhaust Emissions from Global Shipping.** ELSEVIER, 204-218.

WÄRTSILÄ. (s.d.). **Shaft Generetor Systems.**

XIAO, N., ZHOU, R., XU, X., & LIN, X. (2016). **Study on Vibration of Marine Diesel-Electric Hybrid Propulsion System.** p. 9.