

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE  
GRAÇA ARANHA – CIAGA  
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA  
MARINHA MERCANTE – EFOMM**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA**

Por: Pedro Henrique Sales **Barrense**

**Orientador**

**Prof. OSVALDO PINHEIRO DE SOUZA E SILVA**

**OSM – MSc COPPE/UFRJ**

**Rio de Janeiro-RJ**

**2013**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE  
GRAÇA ARANHA - CIAGA  
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA  
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO ELÉTRICA**

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas FOMQ da Marinha Mercante.

Por: Pedro Henrique Sales **Barrense**

**Rio de Janeiro-RJ**

**2013**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE  
GRAÇA ARANHA - CIAGA  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA  
MARINHA MERCANTE - EFOMM**

**AVALIAÇÃO**

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): \_\_\_\_\_

NOTA - \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

\_\_\_\_\_

Prof. (nome e titulação)

\_\_\_\_\_

Prof. (nome e titulação)

\_\_\_\_\_

Prof. (nome e titulação)

\_\_\_\_\_

NOTA: \_\_\_\_\_

DATA: \_\_\_\_\_

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família, pois sem ela eu não estaria em lugar nenhum, meus amigos que sempre estiveram comigo e todos os mestres que me proporcionaram conhecimento suficiente para a realização desta monografia.

## **EPIGRAFE**

O insucesso é apenas uma oportunidade para  
recomeçar de novo com mais inteligência

**Por: Henry Ford**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus grandes pais e meu irmão e a toda a minha família que sempre me apoiou, a todos os meus amigos e quaisquer outras pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo proporcionar ao leitor informações gerais sobre a propulsão elétrica aplicada em navios, e as principais vantagens que o avanço dela trouxe para a propulsão naval, principalmente nas últimas décadas. Nessa monografia o leitor poderá acompanhar como a utilização da propulsão elétrica quando utilizada em conjunto com o sistema de propulsão já existente, servirá como uma boa alternativa de propulsão, o chamado DEM (diesel-elétrico-mecânico), nas quais a utilização dos demais sistemas (diesel-mecânico, diesel-elétrico) não fosse viável ou causasse custo demasiado. Esta monografia foi feita para conscientizar o leitor dos bens que a propulsão elétrica, se bem empregado poderá causar para melhorar a eficiência dos sistemas de propulsão mais antigos, aumentando a sua eficiência e diminuindo o custo.

## **ABSTRACT**

This work aims to provide the reader with general information about the applied electric propulsion in ships, and the main advantages that it brought forward for naval propulsion, especially in recent decades. In this monograph the reader may follow the use of electric propulsion when used in conjunction with existing propulsion system, will serve as a good alternative propulsion, called DEM (diesel-electric-mechanic), in which the use of other systems (diesel-mechanical, diesel-electric) would not be feasible or cost caused .this monograph was made to educate the reader of the goods that electric propulsion, although employee may cause to improve the efficiency of the propulsion systems older, increasing its efficiency and reducing the cost

## SUMÁRIO

Introdução.....	19
<b>CAPÍTULO I- AZIPOD</b> .....	20
1. DEFINIÇÃO DE AZIPOD .....	20
1.2. SISTEMA DE PROPULSÃO AZIPOD.....	21
1.3. ENTENDENDO O SISTEMA AZIPOD .....	22
1.4. VANTAGENS DO SISTEMA AZIPOD .....	22
1.5. Desvantagens.....	26
<b>CAPÍTULO II- SISTEMAS HÍBRIDOS</b> .....	27
<b>2. RELATOS HISTÓRICOS</b> .....	27
2.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO RAZÕES PARA COGITAR SUA UTILIZAÇÃO .....	27
2.3. CUSTO DE MANUTENÇÃO .....	36
2.4. OUTRAS UTILIZAÇÕES .....	37
<b>CONCLUSÃO</b> .....	39
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	41

## Índice de Figura

Tabela 1-Proporção Azipod do Navio.....	20
Tabela 2 - Azipod .....	21
Tabela 3- Comparação de eficiência de curva em alta velocidade.....	23
Tabela 4- Azipod e periféricos .....	25
Tabela 5- Perfil operacional PSV.....	28
Tabela 6- Arquitetura Típica de um Sistema de propulsão DEM de um PSB .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 7-Uma representação do casco de um PSV DEM.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 8-Perfil Operacional Tipicode um AHTS operando no Mar do norte em uma Jornada de 6000 horas anuais.....	32
Tabela 9-Arquitetura de Sistema DEM para AHTS.....	34
Tabela 10- Modo 100% MCR.....	35
Tabela 11- Modo Diesel-elétrico.....	35
Tabela 12- Modo posicionamento Dinâmico em modo DP .....	36

## **Introdução**

Um dos aspectos mais significativos no projeto de um novo navio é o método de propulsão que será empregado. A propulsão convencional mecânica está perdendo mercado em virtude da história de sucessos, ao longo dos últimos 30 anos, da aplicação da Propulsão Elétrica.

A propulsão realizada pelo acionamento elétrico já é padrão para navios comerciais de cruzeiro e, nas Marinhas dos Estados Unidos e do Reino Unido, já há consenso que ela terá também papel decisivo para propiciar que os objetivos da futura Frota Naval Elétrica sejam alcançados.

O sucesso obtido recentemente nas tentativas de aumentar a densidade de potência e reduzir o volume e o peso dos motores elétricos permitirá, em curto prazo, que navios de pequeno porte, em especial navios militares, possam se beneficiar das vantagens associadas à Propulsão Elétrica. Os benefícios alcançados com esta forma de acionamento farão com que os mares sejam definitivamente conquistados pela energia elétrica.

Passada a fase de desenvolvimento e diluição de riscos, a Propulsão Elétrica estará pronta para embarcar nos navios militares do novo milênio. Sua utilização reduzirá ou eliminará completamente as engrenagens redutoras, permitirá grande flexibilidade na disposição dos equipamentos a bordo, fará com que o motor primário opere frequentemente na faixa de ótimo desempenho, reduzirá o consumo de combustível, a manutenção e a emissão de poluente. Outro fato que colabora para a intensiva necessidade da eletricidade disponível a bordo é a crescente demanda por energia elétrica, que nos dias atuais, dependendo da finalidade do meio naval, pode alcançar valores da ordem de 100 MW.

No futuro, graças aos avanços na área de Eletrônica de Potência, os sistemas elétricos dos navios serão totalmente diferentes daqueles existentes nos dias atuais. Pode-se concluir que, devido aos contínuos sucessos obtidos, os sistemas elétricos terão cada vez mais, um papel de destaque nos futuros sistemas navais dos novos meios de superfície que irão compor a Força Naval.

## CAPÍTULO I- AZIPOD

No início da década de 1990, surgiu o sistema de propulsão elétrica no qual o MEP ficava instalado dentro do POD e, portanto, dentro da água. Esse POD tem movimento azimutal. O sistema recebeu a denominação de Azipod. Um POD pré-fabricado inclui a estrutura e o motor que, no momento mais adequado da construção, é instalado e conectado ao sistema elétrico do navio e ao sistema de governo.

Nas páginas a seguir trataremos de um assunto de extrema relevância para o pessoal da área de Máquinas e claro também para Náutica, porém vamos ver a questão da tecnologia do equipamento e não da sua relevância à manobrabilidade do barco. Primeiramente vamos definir o que é AZIPOD e qual a diferença entre ele e o AZIMUTHAL.

### 1. DEFINIÇÃO DE AZIPOD

O nome AZIPOD provém do inglês e se traduzindo para o português, ficaria :

AZIPOD = Azimutal + pod (casulo )



Propulsão AZIPOD do navio Freedom of the Seas

figura 1

Tabela 1-Proporção Azipod do Navio

Essa unidade de propulsão marítima consiste de um propulsor eletricamente montado em um POD governável. O chamado azipod é um motor elétrico fixado fora do casco. O seu induzido é o eixo propulsor, que possui hélices de passo fixo, desta forma o sentido e a velocidade da hélice é controlado por um inversor de frequência. Pelo fato desse propulsor poder girar em torno do seu eixo, o pod pode aplicar sua força impulsão em muitas direções. Esta tecnologia é extremamente eficaz na manobrabilidade da embarcação e sua potência pode atender aos mais variados tipos de embarcações.

## 1.2. SISTEMA DE PROPULSÃO AZIPOD

Sistemas Azipod usados em navios é uma combinação dos sistemas de direção e propulsão. No sistema de propulsão convencional, um grande motor de dois tempos é conectado ao eixo, o qual atravessa um túnel via tubo telescópico e esta engrasado ao hélice pela parte externa do casco na popa do navio. O sistema de manobra (maquina do leme) de tal sistema é feito com o auxílio de um leme localizado atrás do hélice.

No sistema Azipod, os sistemas de propulsão e de manobra são combinados e fabricados em uma única peça. O sistema consiste de um hélice o qual é manobrado por um motor elétrico e o hélice é girado pelo leme que é conectado ao sistema. O sistema utiliza um motor de frequência variável o que permite que a velocidade rotacional possa ser controlada para mais ou para menos



FIGURA 2

Tabela 2 - Azipod

O conjunto completo do sistema azipod é localizado na parte externa do casco na popa do navio. O azipod pode girar em todas as direções com a ajuda de um leme, e assim

fornecer empuxo em qualquer direção o que não é possível no sistema convencional. O propulsor no sistema pod é direcionado pelo leme que é colocado no plano de direção.

### **1.3. ENTENDENDO O SISTEMA AZIPOD**

O sistema azipod é um tipo de sistema de propulsão elétrica que consiste de três componentes principais:

#### **1) Transformador de Suprimento**

A potência fornecida pelos geradores pode ser muito elevada podendo ser maiores que 6600 kV, por isso precisa ser reduzida por um transformador de suprimento para alimentar o motor disposto dentro do casulo .

#### **2) Motor de Propulsão**

O motor de propulsão é utilizado para produzir empuxo ou para dirigibilidade. O sistema precisa de algum método para girar o impelidor e isto é feito com auxílio de motor elétrico.

#### **3) Controlador/Conversor de Frequência**

É utilizado para mudar a frequência da potência suprida de maneira que a velocidade de rotação do motor possa ser controlada dependendo da necessidade.

### **1.4. VANTAGENS DO SISTEMA AZIPOD**

- Maior manobrabilidade já que o impelidor pode ser girado em todas as direções. Isto proporciona menos perdas durante as manobras do que aquela fornecida pelos os outros sistemas (mecânico, diesel).
- No caso de navios enormes, dois ou mais Azipod, os quais podem ser independentes entre si, podem ser utilizados. Isto proporciona manobras mais precisas.

- Economiza-se muito espaço na praça de máquinas já que não há motores , impelidores, eixos e outros arranjos. O espaço economizado pode ser utilizado para mais carga do navio.
- O sistema pode ser posicionado embaixo do navio promovendo desta forma mais eficiência do que o sistema convencional.
- O uso de impelidores lateral (bow thruster, side thruster) pode ser eliminado uma vez que os pods podem prover movimentos laterais .
- Baixo consumo de óleos combustíveis e lubrificantes.
- Menos nocivos com o meio ambiente já que as emissões são extremamente baixas.

Quando comparamos a propulsão diesel-elétrica com a propulsão mecânica convencional observamos uma redução significativa no consumo de combustível e emissão de gases poluentes é significativa para navios com perfil operacional diversificado, como é o caso dos PSVs. Reduções de 30 a 40% no consumo anual de combustível têm sido reportados por armadores, e com foco crescente em custos e impactos ambientais principalmente causados pela indústria petroquímica, a propulsão diesel-elétrica tem sido encontrada em um número crescente de PSVs, primeiramente no Mar do Norte.

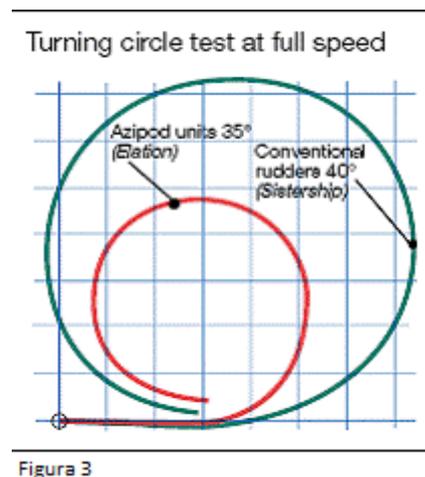


Tabela 3- Comparação de eficiência de curva em alta velocidade

Azipods têm a flexibilidade de produzir o empuxo requerido na direção preferencial e com alta eficiência e precisão como mostra a figura. Estas vantagens têm sido utilizadas na maioria dos projetos atuais para DP ou com *thrusters*. Azipods têm se mostrado confiáveis,

eficientes e economizadores de espaço em *tankers*, navios de cruzeiro, embarcações quebra-gelo e embarcações de serviço (PSV, AHTS, OSV, ROV).

A unidade azipod é de livre rotação, isto é, pode girar 360° e pode produzir empuxo em qualquer direção. A principal diferença é a integração de um motor elétrico diretamente conectado ao propulsor, dentro de uma unidade pod fechada que se encontra submersa embaixo do casco do navio. Sabendo a diferença entre estes propulsores que chegaram pra acabar com nossos problemas em relação alinhamento de eixo (AZIPOD) desde os anos 90, podemos agora entrar em detalhes.

Você já contabilizou quantos equipamentos este tipo de tecnologia tira das nossas embarcações? Vamos lá então:

- 1- Adeus Mancais de sustentação e escora;
- 2- Adeus Caixas Redutoras;
- 3- Adeus Eixos Propulsores;
- 4- Adeus MCP!
- 5- Adeus Máquina do leme!
- 6- Diminuição severa na quantidade de trocadores de calor.

Bem, estas são as vantagens mais notórias; **alem destas** ainda temos a redução de vibração, redução da manutenção e seus gastos associados, redução da emissão de NOX, pois devidos a modificações nas plantas de geração de energia o sistema atende facilmente a IMO (International Maritime Organization) Tier I e Tier II que passou a ser cobrada a partir de Janeiro de 2011. Claro que com a saída do MCP (Motor de Combustão Principal) os MCA (Motor de Combustão Auxiliar) passaram a proporcionar energia necessária para o alimentar o motor do sistema, com a modernização dos MCA **principalmente com** o desenvolvimento da injeção **eletrônica** que proporciona uma redução de até 25% na emissão de gases deu-se um salto gigantesco e ficou muito mais fácil se ter um controle na emissão de gases poluentes.

Alguns vão dizer que esta tecnologia causa outros tipos de problemas, principalmente problemas eletrônicos, o que não deixa de ser verdade, mas temos que admitir que as vantagens são maiores que as desvantagens. Este progresso não vai parar por conta dos nossos medos ou **despreparos; essa inovação trará mais segurança e** rapidez, os

principais propulsores desta tecnologia. Devemos acompanhar este segmento e incluir um forte estudo sobre isto nas escolas.

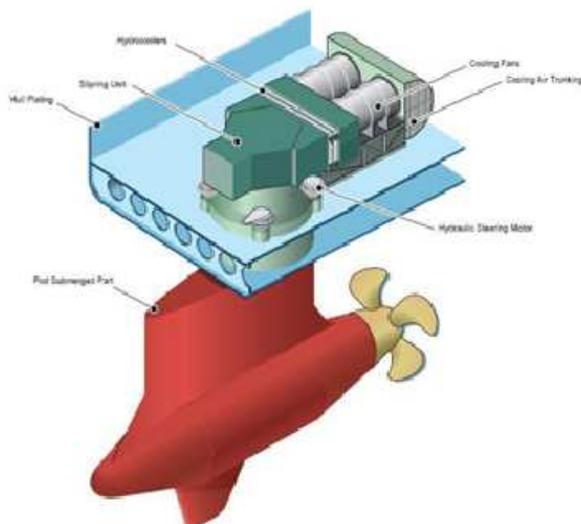


figura 4

#### Tabela 4- Azipod e periféricos

Nesta figura temos uma ideia da interação do Azipod e seus periféricos, como barramento, máquina do leme, sistema de arrefecimento, sistema de selagem, este último por sinal é de vital importância para a funcionalidade do equipamento. Imagine se houver contaminação por água salgada dentro do motor do AZIPOD? Seria o fim do equipamento. Um detalhe muito conveniente é que aquele procedimento de "preparar a máquina" fica extinto, pois usando este sistema de propulsão nossa função é manter os geradores em Stand-By Full Time, pois quando a embarcação precisar de propulsão basta que o passageiro dê Start nos Thrusters.

Mas, e com relação à potência desses propulsores?

Estes propulsores podem chegar até 18000 kW com rotação fixa de 170 rpm, ou seja, dois propulsores nos darão uma potência disponível de 36000 kW ou aproximadamente 48200 BHP. Alguns navios da DOF já utilizam este sistema aqui no Brasil. Exemplos são os Skandis Vitória, Niterói e Santos que possuem esta tecnologia em funcionamento aliada aos Azimutais e aos Túneis, proporcionando à embarcação um posicionamento mais preciso, rápido e eficiente. Estas embarcações realizam serviços onde o posicionamento estável é de fundamental importância.

As manutenções destes equipamentos seguem padrões mais razoáveis e com maior relação entre tempo e utilização. Inspeções podem ser realizadas internamente a estes tipos de propulsores, facilitando assim um diagnóstico mais elaborado de problemas. Nos períodos de docagem, o fato de não precisar fazer "puxada de linha de eixo" encurta o período de docagem, deixando tempo para outras manutenções.

## **1.5. Desvantagens**

- 1) Sistema azipod requer um custo inicial elevado.
- 2) Um grande número de motores diesel são necessários para a produção necessária de energia
- 3) Há uma limitação da potência produzida pelo motor. Atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 21 MW.
- 4) Não pode ser instalado em grandes navio com grandes capacidades de carga os quais **necessitam** de grandes potência

## **CAPÍTULO II- SISTEMAS HÍBRIDOS**

### **2. RELATOS HISTÓRICOS**

O uso de um sistema híbrido no sentido de múltiplas fontes de potência não é novidade para embarcações militares, pois vários tipos de navios combatentes de superfície possuem sistemas combinados de propulsão (diesel-mecânico, turbinas a gás e diesel, etc). No entanto, é nos submarinos do tipo diesel-elétrico que se visualiza o uso de um sistema híbrido elétrico-mecânico, com o uso de motores diesel para a propulsão de superfície e para a recarga de baterias que por sua vez alimentam motores elétricos, que impulsionam a embarcação quando esta se encontra submersa.

Na navegação comercial um tipo de sistema híbrido já vem sendo utilizado ultimamente em algumas embarcações especiais como navios que necessitam notação de classe de Propulsão Redundante , como forma de dispositivo emergencial de propulsão e governo (o chamado *take-me-home*), onde os grupos geradores de bordo podem alimentar a propulsão principal através da inversão do gerador de eixo, que passa a atuar como motor elétrico. Portanto, não se trata de um novo sistema ou de uma inovação tecnológica revolucionária, mas de um sistema que já existe. Trata-se apenas de avaliar outras possibilidades de utilização, possibilidades estas que passaremos a tratar a seguir.

#### **2.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA HÍBRIDO RAZÕES PARA COGITAR SUA UTILIZAÇÃO.**

Para fins de delimitação de escopo, nesse trabalho o uso da expressão “Sistema Híbrido” faz referência somente ao sistema conhecido como DEM, sigla para Diesel-Elétrico-Mecânico. Da mesma forma, define-se sistema diesel mecânico como aquele no qual os propulsores são acionados diretamente por uma transmissão mecânica acoplada a um (ou mais ) motor diesel , e sistema diesel-elétrico como aquele no qual os propulsores são acionados por motores elétricos alimentados por grupos-geradores diesel. Conforme Woud Stapersma (2002), 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. Como mencionado, quando temos uma embarcação que possui uma operação com dois perfis muito

diferentes, é um grande exercício se determinar qual é o sistema propulsor mais adequado.

O sistema DEM é uma possibilidade de se combinar o melhor de dois sistemas distintos, o diesel-mecânico, e o diesel-elétrico, possibilitando à embarcação melhor eficiência operacional em um cenário relativamente complexo. A teoria é interessante, mas é necessário recorrermos a exemplos práticos para podermos visualizar a questão apresentada.

### 1ª Caso: Navio de apoio marítimo do tipo PSV ( Platform Supply Vessel )

Tomemos o caso de um navio de **apoio** marítimo do tipo PSV.

O PSV é um navio supridor, ou seja, de reabastecimento de unidades *offshore*, operando no transporte dos consumíveis necessários à operação de sondas de perfuração, plataformas de produção de petróleo e gás, etc. O PSV deve fazer o transporte de forma segura entre seu porto de abastecimento (*ashore base*) e os campos petrolíferos, sendo capaz de permanecer em posicionamento dinâmico em alto mar, mantendo uma distância segura (e bastante reduzida) das unidades as quais ele deve abastecer. Com foco apenas no sistema propulsor, os requisitos operacionais de um PSV típico são: alta velocidade para reduzir ao máximo o tempo gasto navegando entre sua base e as unidades de perfuração e produção, e grande capacidade de geração elétrica, para que os dispositivos de posicionamento dinâmico e as bombas de carga possam operar. Um perfil operacional típico pode ver visualizado na Figura 5

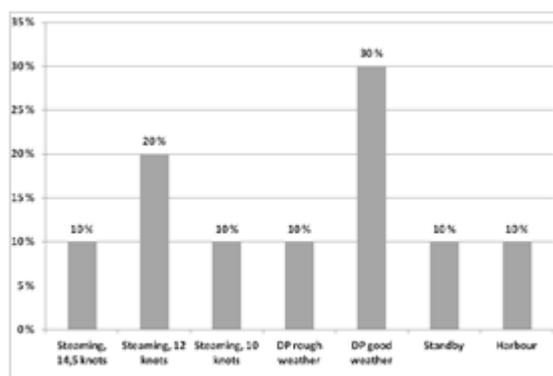
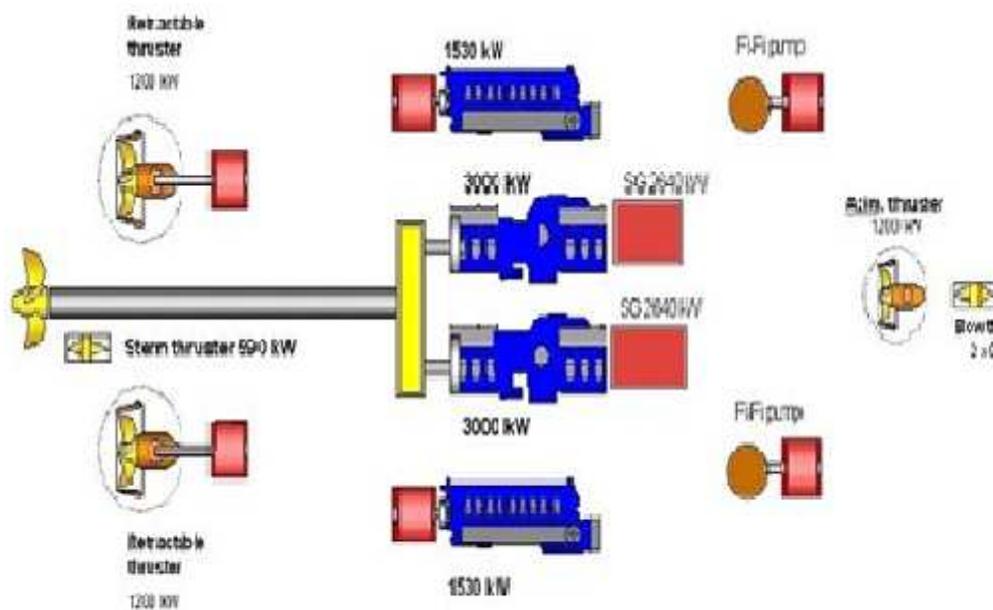


figura 5

Tabela 5- Perfil operacional PSV

Logo, temos a seguinte situação: a operação típica de um PSV no Mar do Norte acaba por dividir o tempo passado nas condições “DP” e “Navegando” em partes iguais (40% para cada). Devido principalmente à necessidade de se garantir a segurança e a redundância da operação de transbordo de carga, e com o avanço na tecnologia de controle eletrônico de

sistemas, o sistema de propulsão padrão para PSVs foi gradualmente migrando de uma solução diesel-mecânica para a propulsão diesel-elétrica, que é naturalmente redundante, e equipa a vasta maioria dos PSVs modernos. A menor eficiência global na condição de navegação frente à propulsão mecânica sempre foi vista como um “preço a se pagar” . No entanto, com o aumento dos custos operacionais , começou a se exigir que fossem buscadas formas mais eficientes para o atendimento de todas as necessidades. No caso do PSV, não seria possível se abrir mão da confiabilidade e da redundância da propulsão diesel elétrica, mas o perfil de utilização mostrava que o tempo passado navegando não poderia ser desprezado, já que era, grosso modo, igual ao tempo passado em DP. Ainda há outra questão. Os propulsores utilizados em PSVs diesel-elétrico são, geralmente, propulsores azimutais (ou *thrusters* azimutais). Estes propulsores apresentam um maior custo de aquisição e de manutenção. A solução encontrada para unir o melhor dos sistemas foi a criação do sistema diesel-elétrico- mecânico, ou DEM. Trata-se de um sistema que, quando em trânsito, opera uma propulsão mecânica acionada através de uma única linha de eixo e caixa redutora; no entanto, quando em posicionamento dinâmico, a caixa redutora é desacoplada e os motores diesel passam a acionar geradores de eixo, com o navio mantendo posição através de impelidores laterais (*thrusters*) retráteis e de túnel acionados por motores elétricos. Uma arquitetura típica de um sistema DEM para PSV pode ser vista na Figura 6



- Arquitetura típica de um sistema de propulsão DEM de um PSV

figura 6

Apesar de parecer mais complexo, e de efetivamente possuir mais elementos que um sistema diesel-elétrico padrão, o sistema DEM (diesel-elétrico-mecânico) é composto de elementos mais simples, de menor potência e de menor custo de aquisição que o conjunto de um sistema diesel-elétrico . O sistema então funciona da seguinte forma: quando em navegação, os dois motores diesel acoplados à linha de eixo acionam a mesma, que transmite sua força a um único hélice de passo controlável e grande diâmetro. Tal e qual um sistema diesel-mecânico. Neste momento, a potência elétrica necessária para a carga de hotelaria e sistemas do navio , pode vir tanto dos grupos-geradores auxiliares, como dos geradores de eixo.

No entanto, quando a unidade que irá ser abastecida chega, os dois motores da linha de eixo central são desconectados da mesma e passam a acionar somente os geradores de eixo, e a trabalharem paralelo com geradores auxiliares, formando um sistema diesel-elétrico com quatro grupos geradores. Os propulsores azimutais retráteis são abaixados e postos em funcionamento, sendo alimentado pela planta de geração até a operação terminar. Neste momento, os propulsores retráteis são suspensos para dentro do casco novamente, e os motores centrais são acoplados à linha de eixo, quando a embarcação então parte para seu próximo destino com a propulsão diesel-mecânica em funcionamento. Antes de falarmos em consumo, devemos abordar as modificações necessárias à forma da embarcação.

O PSV DEM é visualmente bastante diferente dos demais notadamente devido ao seu grande propulsor central. Conforme pode ser demonstrado, 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]). Além disso, 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]). Finalmente, um único propulsor permite que as linhas de popa sejam otimizadas para um melhor fluxo.



Uma representação do casco de um PSV DEM pode ser vista nas figura 7

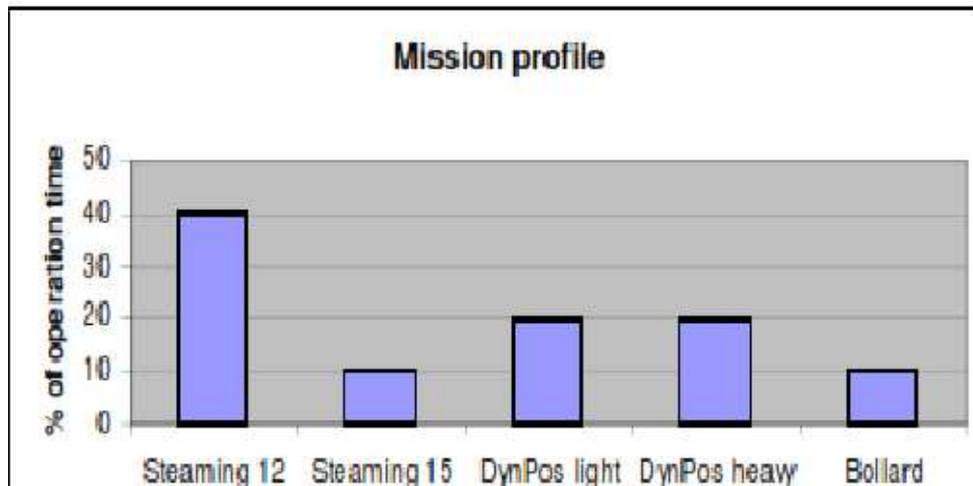
Dados operacionais obtidos junto à Wärtsilä demonstram que o consumo de combustível quando em navegação chega a ser 25% menor do que um PSV Diesel-Elétrico comum, enquanto que o consumo em DP é equivalente. No entanto, o ganho de 25% deve ser tomado como resultado de todas as modificações descritas, e não apenas do sistema em si. O que é fato é que a adoção do sistema DEM permite que o projetista trabalhe o PSV de forma inédita.

## **2º Navio do tipo AHTS (Anchor Handling Tug And Supply)**

No caso de um AHTS, a situação se inverte quanto à utilização de propulsão diesel-elétrico. O AHTS é uma embarcação de “força bruta”, necessitando de grande potência propulsiva para gerar a tração estática (ou *Bollard Pull*) necessária ao reboque de estruturas e de outras embarcações, e para o cravamento de âncoras no solo marinho. Portanto, o uso de propulsão totalmente diesel-elétrica acarretaria na necessidade de se instalar potência dez por cento maior que o efetivamente consumido pelos propulsores na condição de potência máxima.

Como AHTSs modernos geralmente possuem em torno de 14 a 20 MW de potência instalada, o uso deste tipo de propulsão ainda que mais confiável e mais indicada para demandas variáveis não é comum. A propulsão para AHTS mais comum é a Diesel-Mecânica, com duas linhas de eixo, uma caixa redutora de dupla entrada e saída única e dois motores diesel por linha de eixo, em um arranjo chamado de *father-and-son*, no qual os motores possuem potências diferentes. Em cada caixa redutora há geralmente uma tomada de força com um gerador de eixo. Cada linha de eixo pode então ser servida por cada um dos motores, individual ou simultaneamente.

A embarcação possui então uma capacidade limitada de variar a potência propulsiva através da utilização do motor que mais se aproxime da demanda do momento. Devido à grande variação de carregamento e demanda propulsiva, a totalidade dos AHTS modernos possui propulsores principais dotados de passo controlável.



Na Figura está o perfil operacional típico de um AHTS operando no Mar do Norte em uma jornada de 6000 horas anuais

figura 8

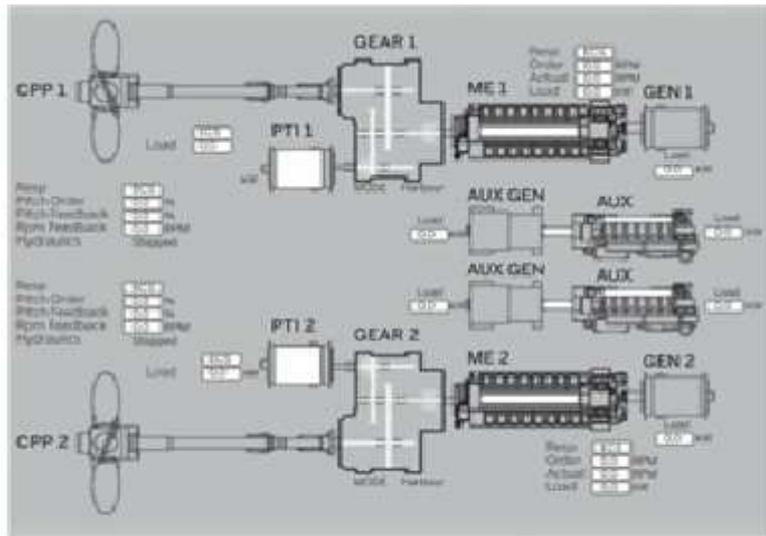
**Tabela 6-Perfil Operacional Típico de um AHTS operando no Mar do norte em uma Jornada de 6000 horas anuais**

Em uma primeira análise, a utilização de propulsão mecânica se mostra a mais adequada, já que a embarcação passa aproximadamente 60% do tempo em condição de navegação e tração estática (“Steaming” e Bollard”). No entanto, uma segunda análise se mostra necessária, já que devemos levar em conta a demanda energética total, e aí temos as seguintes situações: Para um AHTS moderno, a velocidade de 12 nós e a condição de “posicionamento dinâmico leve” são condições de baixa demanda.

Os dados de desempenho geralmente são sigilosos, mas, se um AHTS certificado para 270 toneladas-força de tração estática precisa de um sistema propulsor que desenvolva 19 MW (Potência Máxima Contínua, ou MCR) para atingir tal marca, esta mesma embarcação atingirá a velocidade de 13 nós com aproximadamente 4 MW, o que é bem próximo da demanda de potência para posicionamento dinâmico leve. Ou seja, durante 60% do tempo de sua operação, um AHTS opera tranquilamente com algo em torno de 21% da potência instalada. Para um motor a diesel, poucas coisas impactam tanto na performance (e no custo

de manutenção) quanto o funcionamento em baixa carga. Há também um ponto que costuma passar despercebido, mas que já vem sendo objeto de estudo por alguns anos: as perdas energéticas quando os propulsores estão trabalhando com passo zero, ou seja, sem produzir empuxo. O propulsor de passo controlável geralmente possui velocidade constante, se valendo de um sistema hidráulico para variar o ângulo de ataque das pás, aumentando e diminuindo o passo do hélice, e assim controlar o empuxo. De forma análoga, a reversão do sentido do empuxo é feita sem variar a velocidade, bastando variar o passo negativamente. Ocorre que não se pode desprezar a absorção de potência pelo propulsor quando este se encontra na condição de “passo zero”. Apesar de não estar gerando empuxo, o propulsor está absorvendo em torno de 15 a 20% da potência máxima contínua do equipamento.

Por este motivo entre outros a maioria dos impelidores laterais atuais utilizados em operação de posicionamento dinâmico possui passo fixo e velocidade variável, geralmente através de um variador de frequência elétrica. Pois bem. O problema é que a propulsão principal do AHTS de propulsão mecânica possui motores diesel de média rotação, que por sua vez possuiriam teoricamente uma capacidade limitada de variação de velocidade. Teoricamente porque, como há um gerador de eixo acoplado ao sistema, este necessita funcionar em rotação constante para que a frequência elétrica seja mantida sob controle (geralmente 60 Hz, ou menos comum 50 Hz), o que obriga os motores diesel acoplados à caixa reductora a funcionarem sempre na sua velocidade máxima (equivalente a 100% da potência máxima contínua). Retornando ao AHTS do exemplo, os 19 MW de potência MCR acarretam uma perda mensurável em torno de 2,8 a 3,8 MW, que nada mais é do que potência dissipada. O uso do sistema DEM permite uma abordagem interessante tanto à questão da operação em baixa potência, quanto ao problema da dissipação de potência na operação com passo zero. A arquitetura de um sistema DEM para AHTS pode ser vista na figura a seguir.



Arquitetura de sistema DEM para AHTS

figura 9

Tabela 7-Arquitetura de Sistema DEM para AHTS

O sistema é composto por duas linhas de eixo, sendo que cada uma delas possui um propulsor de passo controlável e uma caixa redutora. Há duas entradas para esta caixa redutora, uma com um motor diesel, e outra com um motor elétrico. Há ainda um gerador de eixo ligado diretamente ao motor principal. Há toda uma gama de modos operacionais, mas basicamente pode ser afirmado que o sistema DEM permite que a utilização dos motores seja escalonada de forma a impedir o funcionamento em baixa carga. Da mesma forma, o problema da dissipação de potência quando em passo zero pode ser eliminado pelo acionamento dos motores elétricos através de um variador de frequência. As Figuras 10, 11 e 12 trazem três modos possíveis de **operação**.

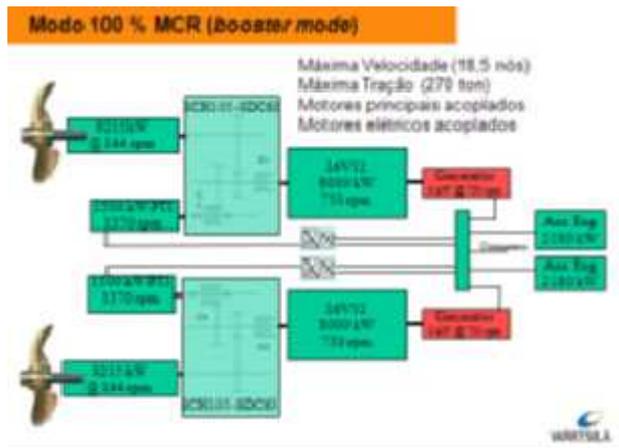


figura 10

Tabela 8- Modo 100% MCR

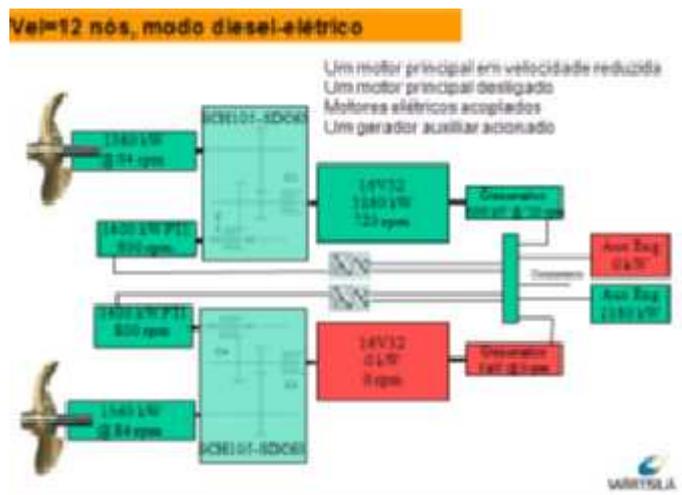


figura 11

Tabela 9- Modo Diesel-elétrico

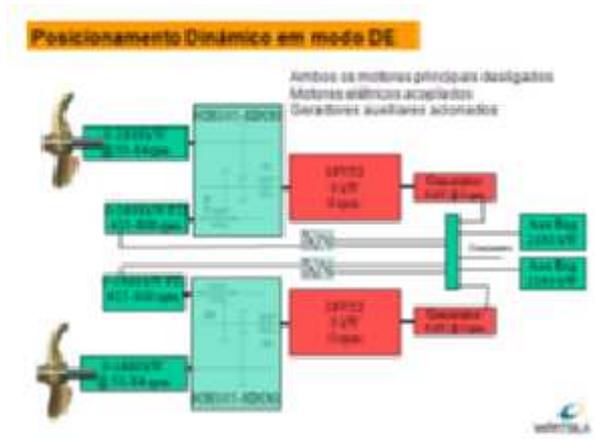


figura 12

Tabela 10- Modo posicionamento Dinâmico em modo DP

### 2.3. CUSTO DE MANUTENÇÃO

Quanto ao custo de manutenção de PSVs, o maior custo relativo sempre recai nos propulsores azimutais, ou seja, nos propulsores principais, responsáveis pela propulsão principal e componente fundamental do sistema de posicionamento dinâmico. O custo é maior por se tratar de equipamento que possui diversos selos, rolamentos, e eixos que operam basicamente em um PSV equipado com um sistema Diesel-Elétrico, os propulsores estão operando em todos os momentos de funcionamento da embarcação, com exceção do momento de estada em porto. Recordando, podemos aduzir que os propulsores azimutais, os responsáveis pelo maior custo relativo de manutenção de um PSV, estão em funcionamento durante aproximadamente 90% do tempo de funcionamento da embarcação. No sistema DEM, o PSV possui uma linha de eixo central para uso em navegação, e propulsores azimutais retráteis para utilização em DP e Standby.

O perfil de utilização dos azimutais ficaria sendo de 50% do tempo de operação, o que é uma redução significativa do tempo de uso do equipamento mais caro a bordo. Para o AHTS, o impacto no custo operacional acaba sendo relativo à possibilidade de se desligar os motores principais quando estes estiverem operando com baixa carga muito baixa, o que é prejudicial para carbonização. É possível balancear o uso dos motores de forma que o número global de horas de funcionamento seja reduzido.

## 2.4. OUTRAS UTILIZAÇÕES

Apesar de este trabalho ter se centrado em utilizações para embarcações de apoio marítimo, nada impede que se avalie a aplicação de propulsão DEM em outros tipos de embarcações, operando em outras condições. É possível pensar em uma propulsão DEM para navios mercantes que operem em áreas muito diversas, como, por exemplo, embarcações que operem no transporte oceânico ou de cabotagem e necessitem navegar em rios ou lagoas.

A diversidade presente no perfil operacional de tais embarcações leva a crer que a propulsão DEM seja uma opção que valha a pena estudar a fundo. Outra utilização seria a propulsão de navios aliviadores, os chamados *shuttle tankers*. Os aliviadores que possuem posicionamento dinâmico já possuem uma espécie de sistema híbrido, já que possuem um motor de dois tempos para a propulsão, e geradores extras com a função específica de fornecer energia para os *thrusters* utilizados na operação DP. No entanto, o sistema DEM pode ser avaliado como uma forma de se reduzir a potência total instalada a bordo, pois a potência para os *thrusters* seria fornecida pela propulsão principal, sem a necessidade de um sistema auxiliar.

O mercado brasileiro possui características ímpares, de forma que seria um erro acreditar que qualquer solução encontrada em outro cenário de operações possa ser “transplantada” sem o devido grau de adaptação. Especialmente no apoio marítimo, a operação é bastante diferente do que se encontra em outros lugares. No entanto, no que tange os discutido neste trabalho, a adaptação que deve ser feita é a adequação dos perfis operacionais aqui descritos retirados de dados concretos obtidos da operação no Mar do Norte para perfis que possam refletir com exatidão a operação na Plataforma Continental Brasileira. Especialmente quando se leva em consideração que a exploração de petróleo está se movendo para lugares mais distantes da costa, é uma conclusão imediata a de que as embarcações que atendem estes campos necessariamente passarão mais tempo navegando. Este seria um dos principais argumentos para o estudo de um PSV do tipo DEM para operação no apoio marítimo brasileiro.

Ainda se levando em conta a necessidade premente de se ter confiabilidade operacional ainda mais quando as distâncias entre a área de operação e os estaleiros de reparo se tornam maiores, a adoção de sistemas DEM por embarcações AHTS dota estes navios de uma confiabilidade semelhante à de um sistema diesel-elétrico sem a conseqüente perda de eficiência na propulsão. Desta forma, tanto pela economia de combustível, quanto pela maior

confiabilidade operacional e conseqüentemente redução de paradas para manutenção corretiva, a avaliação de um sistema DEM para equipar PSVs e AHTSs seria algo proveitoso.

## CONCLUSÃO

O sistema Diesel-Elétrico-Mecânico não é um sistema de propulsão que veio para substituir todos os outros. Não se trata de uma panaceia, capaz de resolver todos os problemas de eficiência ou economia de combustível. Como toda opção que precisa ser feita, a escolha de um sistema DEM acarretará benefícios que devem ser sopesados frente a uma maior complexidade de instalação, cabendo, como sempre, ao projetista da embarcação a avaliação do que seria melhor para o caso concreto, ouvidos o armador e o estaleiro, no entanto, em tempos de alto custo de combustível e de aumento de custos operacionais diretos, a possibilidade de economia e melhor adequação operacional que o conceito de sistema Diesel-Elétrico- Mecânico apresenta, indica que há um cenário favorável ao estudo de mais aplicações deste tipo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esta monografia podemos acompanhar o desenvolvimento da propulsão elétrica desde o seu surgimento até os dias atuais. Então podemos perceber uma tendência mundial voltada para aplicação deste sistema. Com o passar do tempo muitos problemas foram sanados de forma satisfatória: os melhores de cada sistema foram misturados para melhorar a eficiência, aumentando a capacidade de manobra e principalmente reduzindo custos, que quase sempre é a intenção do armador.

Vimos que existem ainda hoje inconvenientes na propulsão elétrica, mas nada comparado aos problemas enfrentados no surgimento deste sistema. Atualmente esse sistema é aplicado a uma ampla área de atividades marítimas, onde podem garantir uma melhor operação do que os sistemas convencionais.

A propulsão elétrica começa a receber uma maior atenção em virtude da baixa emissão de poluentes, visto que hoje em dia a principal preocupação tem sido com o meio ambiente, de forma a preservar melhor o nosso planeta e também o consumo dos bens não renováveis.

As tendências são claras. O número de embarcações fazendo o uso da propulsão elétrica vem aumentando nas últimas décadas, e com o desenvolvimento da tecnologia, maior variedade de atividades marítimas, com embarcações que utilizem desse sistema apresentando um melhor desempenho no aspecto geral.

Diante dos fatos apresentados, pode-se concluir que os sistemas marítimos de propulsão elétrica estarão cada vez mais no foco das empresas de navegação, tanto no cenário nacional como no internacional, ganhando cada vez mais espaço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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.
- [2] WOOD, H. K.; STAPERSMA, D. **Design of Propulsion and Electric Power Generation Systems.** London IMarEST, 2002
- [3] CARLTON, J. S. **Marine Propellers and Propulsion.** 2. ed. Oxford: ButterworthHeineman, 2007
- [4] .ARRINGTON, J., W., **The analysis of components, designs, and operation for electric propulsion and integrated electrical system.**Monterey, California: Master of Science in Electrical Engineering, Naval Postgraduate School (NPS), 1998.
- [5] IBRAHIM, Eden Gonzalez. **Propulsão elétrica de embarcações.** Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.
- [6] OEHLERS, Werner. **95 years of diesel-electric propulsion form a makeshift solution do a modern propulsion system.** 2. Ed. Helsinki, Finlândia: Norwegian Society of Chartered Engineers, 1998
- [7] ABB Azipod Efficiency Improved Again.  
**<http://www.marinelink.com/news/efficiency-improved341498.aspx>** Acesso em: 15 de junho de 2012.
- [8] What is Azipod®?  
**<http://www.abb.com/cawp/db0003db002698/b4c6f2757969bba6c12571f100410217.aspx>** Acesso em: 17 de junho de 2012.
- [9] ABB, Samsung develop new propulsion concept.  
**<http://www.marinelink.com/news/article/abb-samsung-develop-new-propulsion-concept/303953.aspx>** Acesso em: 17 de junho de 2012.
- [10] The CRP Azipod Propulsion Concept, **The most economic way from crane to crane.** ABB Group.  
**<http://imistorage.blob.core.windows.net/imidocs/90580p007%20crp%20azipod.pdf>**  
Acesso em: 23 de julho de 2012.