

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE**

**WALLACE GOMES DE ARAGÃO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA EMBARCAÇÕES MERCANTES**

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**WALLACE GOMES DE ARAGÃO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA EMBARCAÇÕES MERCANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): Prof. Hermann Regazzi Gerck

**RIO DE JANEIRO**

**2014**

**WALLACE GOMES DE ARAGÃO**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA EMBARCAÇÕES MERCANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Prof. Hermann Regazzi Gerk

---

Assinatura do Orientador

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

Dedico esse trabalho aos meus amigos de dentro e fora da EFOMM, minha família e minha namorada, e especialmente aos meus pais, que foram meus principais motivadores.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida. Ao Mestre Hermann, meus sinceros agradecimentos por todo o ensinamento transmitido e pela paciência em me ajudar com este trabalho. Aos outros professores, pelo conhecimento passado dentro e fora de sala.

E aos meus familiares, pela fé e pelas palavras de incentivo e suporte dado durante toda a minha vida.

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,  
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram  
conquistadas do que parecia impossível”.*  
(Charles Chaplin)

## **RESUMO**

Este trabalho tem como finalidade mostrar a evolução dos propulsores de navios, desde a Antiguidade com o uso dos remos e das velas até os propulsores AZIPODS, que revolucionaram a indústria. O foco do trabalho além compará-lo com os sistemas tradicionais (motor a diesel), apresentará o conceito de eficiência energética que significa realizar o mesmo trabalho, utilizando uma quantidade menor de energia. E a partir desse conceito evoluir os meios de propulsão, que com menor queima de combustíveis, diminuindo os custos operacionais e redução da emissão de todos os gases de exaustão resultará o mesmo resultado, movimentar o navio. Mostrando vantagens e desvantagens do sistema AZIPOD.

Palavra-chave: Eficiência energética; prevenção da poluição; propulsão elétrica; Azipod.

## **ABSTRACT**

This work aims to show the evolution of the propellers of ships since antiquity with the use of oars and sails until Azipods thrusters, which revolutionized the industry. The focus of the work beyond compares it with traditional systems (diesel), will present the concept of energy efficiency which means the same work using a smaller amount of energy. And from that concept develop the means of propulsion, as it burns less fuel, reducing operating costs and reduce all exhaust gases will result the same result, move the ship. Showing the advantages and disadvantages of the Azipod system.

Keyword: Energy Efficiency; prevention of pollution; electric propulsion; Azipod.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Embarcação a vela.....	13
Figura 2 – Embarcação a vapor.....	14
Figura 3 – Motor de combustão interna de um navio.....	15
Figura 4 – Diagrama de eficiência no consumo em relação à carga na propulsão.....	16
Figura 5 – Sistema de controle do Azymuth thruster.....	21
Figura 6 – Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas.....	22
Figura 7 – Exemplo de propulsor azimutal.....	23
Figura 8 – Propulsor Azipod.....	26
Figura 9 – Pod do sistema AZIPOD, comparado ao tamanho de um homem.....	28
Figura 10 – Sistema AZIPOD.....	29
Figura 11 – Curva comparativa de manobrabilidade.....	34

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Emissão de gases poluentes.....	18
Tabela 2 – Consumo de Combustível.....	19
Tabela 3 – Comparação entre o Sistema AZIPOD e o Sistema Convencional.....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2</b>	<b>HISTÓRICO</b>	13
<b>3</b>	<b>NECESSIDADE DE BUSCAR NOVOS MEIOS DE PROPULSÃO</b>	16
3.1	Redução da poluição	17
3.2	Redução do consumo de combustível	19
3.3	Redução dos níveis de ruído e vibração	20
3.4	Redução da tripulação	22
3.5	Flexibilidade do projeto	22
3.6	Aumento da capacidade de sobrevivência do navio	23
3.7	Redução dos custos de manutenção	23
<b>4</b>	<b>EXPLICANDO OS PROPULSORES AZIMUTAIS</b>	24
<b>5</b>	<b>AZIPODS</b>	26
5.1	Sistema elétrico de um azipod	29
5.2	Entendendo o sistema azipod	30
5.2.1	Sistemas auxiliares	31
5.3	Economia de combustível	32
5.4	Vantagens e desvantagens	33
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	35
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	36

## 1 - INTRODUÇÃO

A necessidade do transporte marítimo para a economia mundial é incontestável, assim como a aplicação da tecnologia neste setor é imprescindível para que haja uma melhor utilização dos recursos econômicos disponíveis.

E hoje em dia a dependência que o transporte marítimo tem dos combustíveis fósseis evidencia questões relevantes: custo operacional, devido ao alto preço dos combustíveis e o impacto ambiental, tendo em vista que existe uma preocupação mundial com a poluição dos mares e com emissão de poluentes na atmosfera. Tudo isto exige que se realizem estudos com a finalidade de redução do emprego de combustíveis derivados de petróleo no transporte marítimo.

Com os crescentes investimentos na criação de sistemas de propulsão marítimos que tornassem essas operações cada vez mais viáveis e eficientes, tendo como foco o conceito de eficiência energética. O sistema de propulsão elétrica aparece como uma solução para uma melhor aplicação dos recursos naturais e econômicos, superando, na maior parte de suas aplicações no setor naval, a transmissão mecânica em todos os quesitos apresentados anteriormente. A seguir serão apresentados mais detalhes e explicações sobre as características dessa tecnologia tão rentável encontrada na área naval.

## 2 - HISTÓRICO

Desde o princípio da história da humanidade que o ser humano utilizou pequenas embarcações marítimas e fluviais para se deslocar de um lugar para o outro a procura de melhores condições de vida. Diante de sua inteligência, o homem procurou ampliar seus conhecimentos de navegação, construindo embarcações que permitissem chegar a lugares ainda mais distantes, evoluindo as técnicas e instrumentos de navegação e com o aprimoramento das próprias embarcações, os meios propulsores não podiam deixar também de evoluir, que será o foco desse trabalho, buscando-se sempre o melhor rendimento, tendo como principais elementos a velocidade da embarcação, o esforço, o custo e até a capacidade de transporte do combustível. Essa evolução das embarcações fez com que povos conquistassem terras e descobrissem novos continentes, demonstrado ao mundo a importância do transporte marítimo.

Os meios de propulsão do navio sofreram inúmeras modificações com o passar dos anos. Os primeiros propulsores de que se tem notícia foram os remos, utilizados durante a Antiguidade por grandes civilizações, como os Vikings, Egípcios, Gregos, Romanos, povos que habitavam as ilhas de Creta e Santorini e outros povos que habitavam em terras onde hoje é o Líbano, Israel e Palestina.

Em seguida surgiram as velas redondas, que propiciavam navegar somente na direção que o vento soprava e eram utilizadas juntamente com os remos, como aconteceu com os Egípcios, que para descerem o Rio Nilo usavam-se dos remos e para vencerem a correnteza durante a subida utilizavam-se das velas. Com a chegada das velas latinas, capacitando a navegação em sentido contrário ao vento, os remos foram totalmente substituídos pelas velas, que perduraram como principal meio de propulsão durante séculos, passando pelo período das Grandes Navegações e estendendo-se até a Idade Moderna.

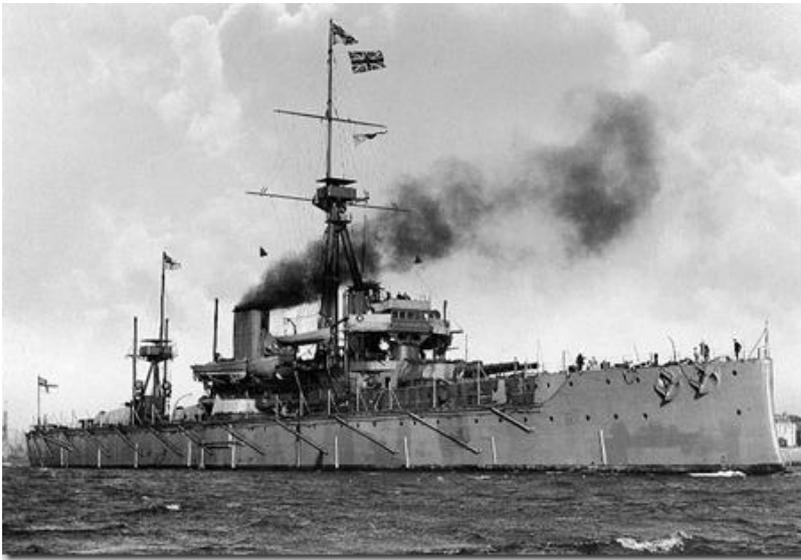
Figura 1 – Embarcação a vela



Interesses econômicos mostraram mudanças importantes e foi na revolução industrial do século XVIII, que revolucionou a navegação com a descoberta de máquinas alternativa a vapor, sendo utilizada conjuntamente com as velas e posteriormente substituindo-as totalmente. Ela fazia girar pás acopladas a uma roda, semelhante a um moinho d'água que geraram um grande aumento de velocidade das embarcações.

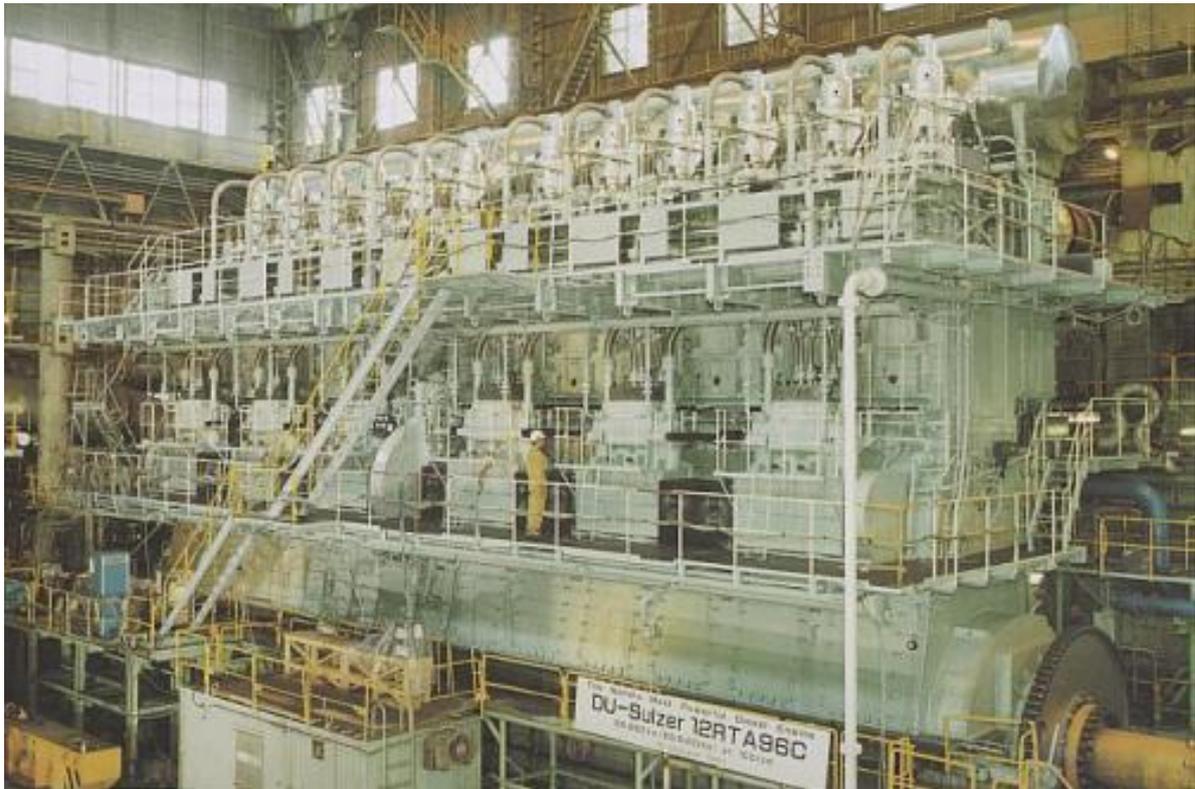
Já na década de 1880 a Máquina Alternativa a Vapor começou a ser substituída pela Turbina a Vapor, que também utilizava como fonte de energia o vapor d'água, porém na turbina este vapor faz girar palhetas que movimentavam um eixo longitudinal, acoplado a um hélice.

Figura 2 – Embarcação a vapor



Com o desenvolvimento do Motor de Combustão Interna, a Turbina a Vapor foi sendo substituída, uma vez que possuem menor rendimento e uma menor quantidade de diesel era necessária em peso e volume do que o carvão, aumentando a capacidade de carga das embarcações. Este modelo de propulsão é a “propulsão convencional” que tanto ouvimos falar hoje, e ainda é predominante nos navios mais robustos. Porém com os avanços das embarcações seus problemas, como resistências ao movimento, gasto de energia, vibrações e ruídos não aumentavam linearmente, mas sim exponencialmente que apesar de tudo eram aceitáveis na época. Contudo, a partir de 1970 com as ideias de eficiência energética diversas alternativas surgiram para complementar, otimizar o rendimento e amenizar esses problemas e até em alguns casos substituir a propulsão convencional por propulsão elétrica e até energia nuclear, nos casos dos navios militares, serão abordados nos próximos capítulos .

Figura 3 – Motor de combustão interna de um navio



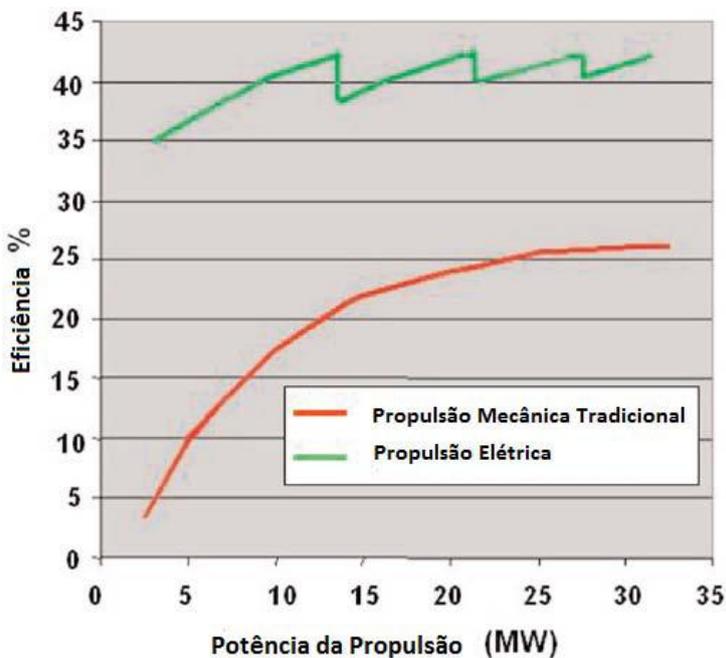
### 3 - NECESSIDADE DE BUSCAR NOVOS MEIOS DE PROPULSÃO

Os propulsores elétricos foram desenvolvidos como uma alternativa aos que utilizam combustíveis fósseis para gerar potência, para alcançar diferentes propósitos que serão listados a seguir. Diferentemente dos propulsores convencionais, os elétricos possuem diversas vantagens e desvantagens.

Após a segunda guerra mundial, rebocadores de alto mar foram produzidos com um arranjo de propulsão similar aos de propulsão elétrica atualmente. Possuem a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, característica muito importante em fainas de reboque e salvamento.

Em embarcações de apoio marítimo com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice; conseqüentemente, dependendo do perfil de operação da embarcação, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado às altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível e excessivo desgaste mecânico.

Figura 4 – Diagrama de eficiência no consumo em relação à carga na propulsão.



### 3.1 - REDUÇÃO DA POLUIÇÃO

Atualmente todas as Marinhas do mundo são pressionadas pela ONU que acompanhando a tendência global de preocupação com as mudanças climáticas, tem criado novas diretrizes para projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações. Assim, seguindo essas orientações, em 1997, a IMO incorporou à Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) um novo Anexo (VI), cujo propósito é prevenir a poluição do ar por meio da limitação das emissões de óxido de enxofre (SOx), de óxido de nitrogênio (NOx) e da proibição de emissões deliberadas de substâncias que reduzem a camada de ozônio, contribuindo para o aumento do efeito estufa. O Anexo VI entrou em vigor internacionalmente em maio de 2005, e o Brasil o ratificou em fevereiro de 2010.

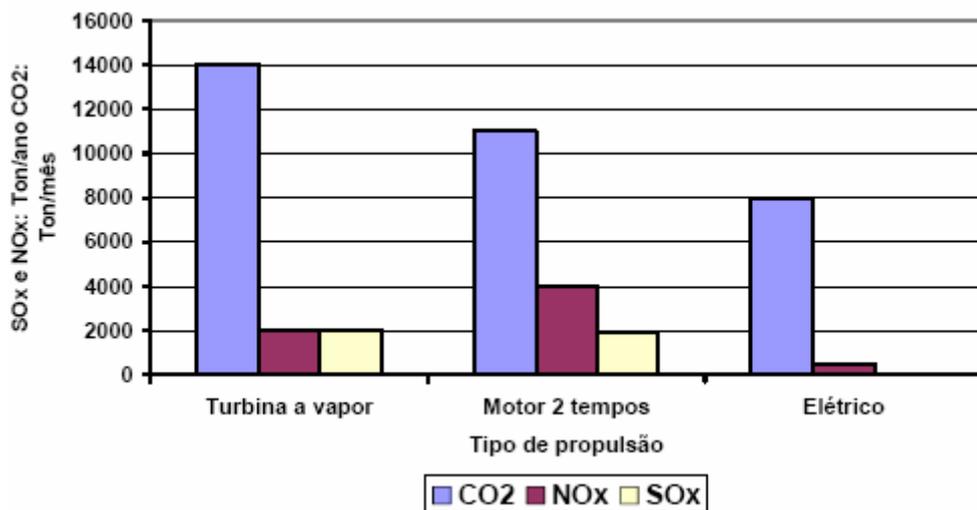
Em decorrência de outras pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa (GHG - gases com a capacidade de reter calor e que, por isso, alteram o equilíbrio térmico e climático da terra). Por isso ao mesmo tempo, a IMO, através do MEPC, iniciou estudos a respeito dos gases geradores de efeito estufa, verificando que é possível para o transporte marítimo reduzir o CO<sub>2</sub>, emitido por tonelada de carga transportada por quilômetro (ton/km), em algo próximo de 20% até 2020, por meio de uma combinação de desenvolvimentos técnicos e operacionais, além da introdução de novos e maiores navios. Para isso, é fundamental o desenvolvimento de melhores cascos, motores e hélices, bem como um melhor gerenciamento da velocidade do navio em seu percurso, iniciativas que levarão a uma redução do consumo de combustível e, conseqüentemente, da emissão de CO<sub>2</sub>.

Para atender a essa expectativa deverão ser priorizados melhoramentos na hidrodinâmica dos cascos, no desempenho dos motores e hélices, bem como a utilização de combustíveis menos poluentes e com um melhor rendimento. No setor operacional, estão sendo aperfeiçoados planos de gestão de eficiência energética, permitindo às companhias e aos navios acompanhar e melhorar o desempenho de vários fatores que podem contribuir para a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, tais como o planejamento da viagem, o gerenciamento da velocidade, a otimização da potência dos motores, a manutenção do casco e o uso de diferentes tipos de combustíveis. Além dessas medidas, outros instrumentos, baseados no mercado, estão sendo desenvolvidos para serem aplicados ao transporte marítimo global, de modo a encorajar a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, como, por exemplo, a criação de um Fundo de Compensação Internacional para financiar projetos ambientais em países em desenvolvimento, o qual será financiado por meio de uma taxa cobrada dos combustíveis marítimos.

Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto.

A Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas convencionais (que operam somente com turbinas a vapor ou motores diesel), pois o motor diesel opera constantemente no ponto ótimo de projeto, o que proporciona uma redução no consumo de combustível e conseqüentemente uma menor liberação de gases poluentes (ex: CO<sup>2</sup> - Dióxido Carbônico, NO<sub>x</sub> – Óxido de Nitrogênio e SO<sub>x</sub> – Óxido de Enxofre) durante as operações. É interessante destacar que o modelo utilizado na pesquisa considerou também a geração de gases durante a operação portuária e tempos com o navio parado durante as viagens.

Tabela 1



Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações estão sendo elaboradas com requisitos mais rigorosos e em um futuro próximo não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa do navio serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido à atitudes políticas de interesse mundial.

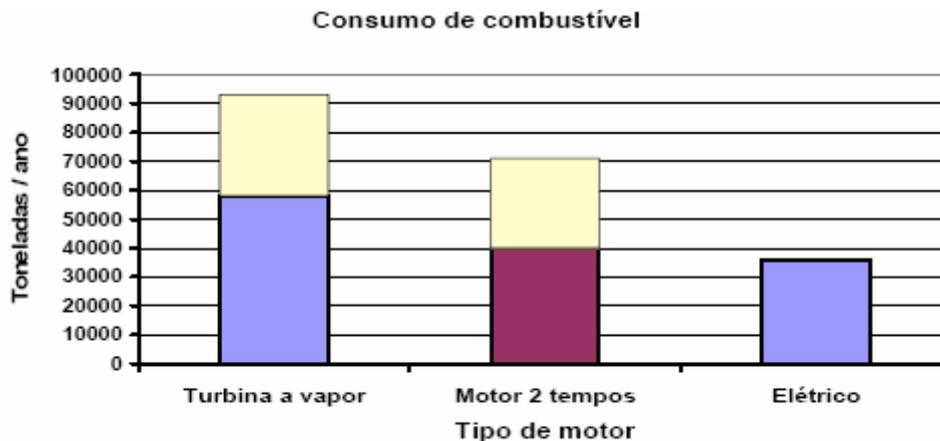
### 3.2 - REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O aumento da eficiência de um navio pode ser obtido pela melhoria do projeto do casco, por melhorias nos sistemas de propulsão e pela melhoria no processo de manutenção. Assim, a eficiência operacional será maximizada pela minimização dos custos diretos e indiretos, o que implica em reduzir o consumo de combustível, em diminuir a poluição ambiental, mas sempre mantendo a confiabilidade alta dos sistemas (custos reduzidos de manutenção). Portanto, devem ser sempre procurados os projetos mais adequados (otimizados) de cascos e de propulsores de embarcações.

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

Com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice.

Tabela 2



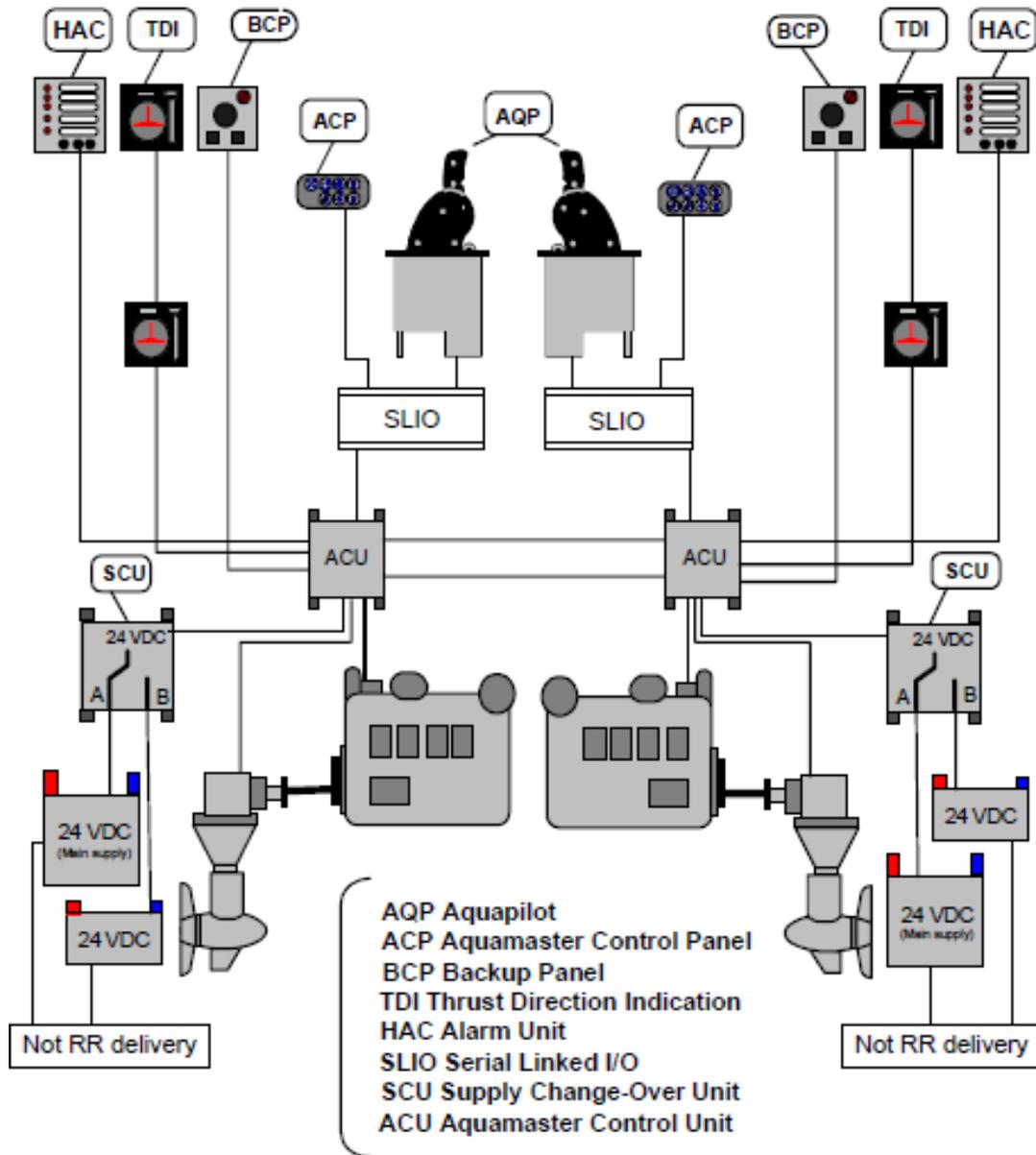
### **3.3 - REDUÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO E VIBRAÇÃO.**

Na Propulsão Elétrica não é necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo, tornando, portanto desnecessária a utilização de engrenagens redutoras. A eliminação desta engrenagem contribui significativamente para a redução nos níveis de ruído e vibração.

Algumas vantagens associadas à adoção do acionamento elétrico são listadas a seguir:

- Excelente controle de velocidade e torque em toda faixa de velocidade;
- Facilidade para adoção de controles automáticos e remotos;
- Maior capacidade de reversão rápida de velocidade, propiciando a redução de tempo e distância de parada brusca (30 a 50% de redução na distância de parada, em caso de emergência);
- Não é necessário usar hélice de passo controlável, haja vista que, o custo deste hélice representa cerca de 33% do valor da máquina principal, enquanto que, o hélice de passo fixo representa apenas 8% ;
- Redução do ruído do motor e da vibração transmitida do eixo ao hélice;
- Flexibilidade no gerenciamento da distribuição da potência em operações
- Normal e rápida recuperação após a detecção de defeitos.

Figura 5 – Sistema de controle do Azimuth thruster



### 3.4 - REDUÇÃO DA TRIPULAÇÃO

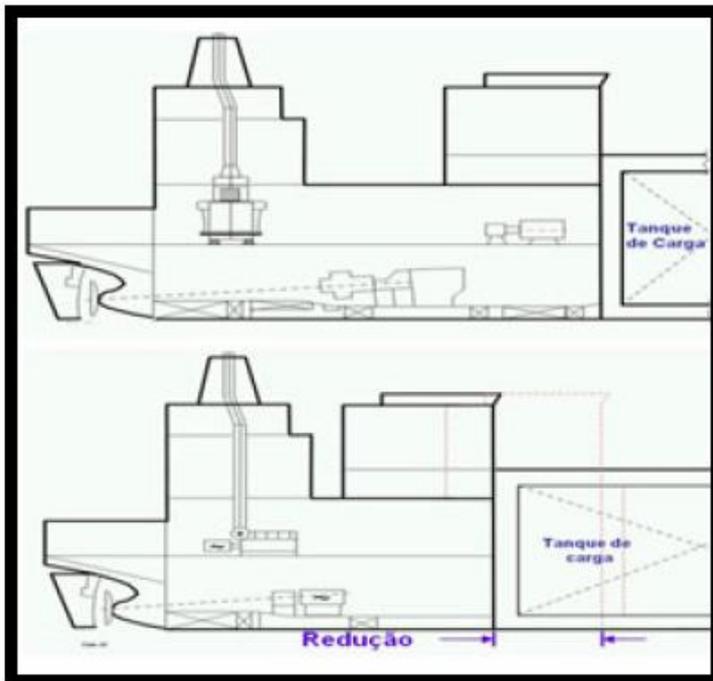
A tendência para os futuros navios elétricos é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares e acessórios alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles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

### 3.5 - FLEXIBILIDADE DO PROJETO

Além da produção dos equipamentos de forma modular, a eliminação do longo eixo que liga o motor de propulsão ao hélice permite a distribuição dos componentes de forma a facilitar a manutenção, possibilitar a otimização do design da embarcação, a descentralização da aparelhagem e melhor uso do espaço disponível. Dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor.

Um dos melhores exemplos que ilustram as propriedades acima é o sistema Azipod®, que altera a estrutura do casco e, em razão de o motor elétrico encontrar-se fora de bordo, altera a disposição dos equipamentos e amplia a capacidade de carregamento.

Figura 6 – Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas



Observa-se na Fig.6 um ganho no espaço destinado ao transporte de cargas reposicionando a máquina diesel no convés superior, e desta forma, reduz-se o volume ocupado pelos dutos de admissão e exaustão dos motores. Como resultado desta flexibilização, torna-se desnecessário concentrar equipamentos em praças de máquinas principais; sendo possível espalhar os compartimentos de máquinas pelo navio, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

No navio com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

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

### **3.6 - AUMENTO DA CAPACIDADE DE SOBREVIVÊNCIA DO NAVIO**

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de propulsão redundantes, distribuídos e reconfiguráveis. Consequentemente os danos em um compartimento de máquinas, sejam provocados por incêndio, alagamento ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados, mantendo-se o funcionamento do sistema inalterado.

A facilidade para o redirecionamento da energia elétrica a bordo, possibilita uma elevada gama de possibilidades de ações para minimizar os efeitos decorrentes de múltiplas falhas simultâneas.

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

Com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração em excesso, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas.

### **3.7 - REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO**

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

## 4 - EXPLICANDO OS PROPULSORES AZIMUTAIS

Vários fabricantes de propulsores, na década de 1950, começaram a investir pesadamente para conseguir um tipo de propulsor que tivesse maior manobrabilidade. Apesar de o conceito de Azimutal surgir apenas em 1955 com FW Busmann Pleuger e Friedrich, nos Estados Unidos, foi o alemão Joseph Becker Schottel, fundador da empresa SCHOTTEL, que em 1950 inventava o primeiro propulsor azimutal, utilizando uma transmissão Z-drive.

Capazes de fornecer o “Thrust” em qualquer direção, os propulsores azimutais são integrantes de um sistema combinado de propulsão e comando que converte a potência do motor em impulso otimizado, além de possibilitar sua utilização nas manobras e no posicionamento dinâmico do navio, com uma enorme eficiência, uma vez que seus componentes submersos garantem uma maior “liberdade” em relação ao eixo propulsor e, consequentemente, conseguem ser direcionados ao longo de 360°.

Figura 7 – Exemplo de propulsor azimutal.



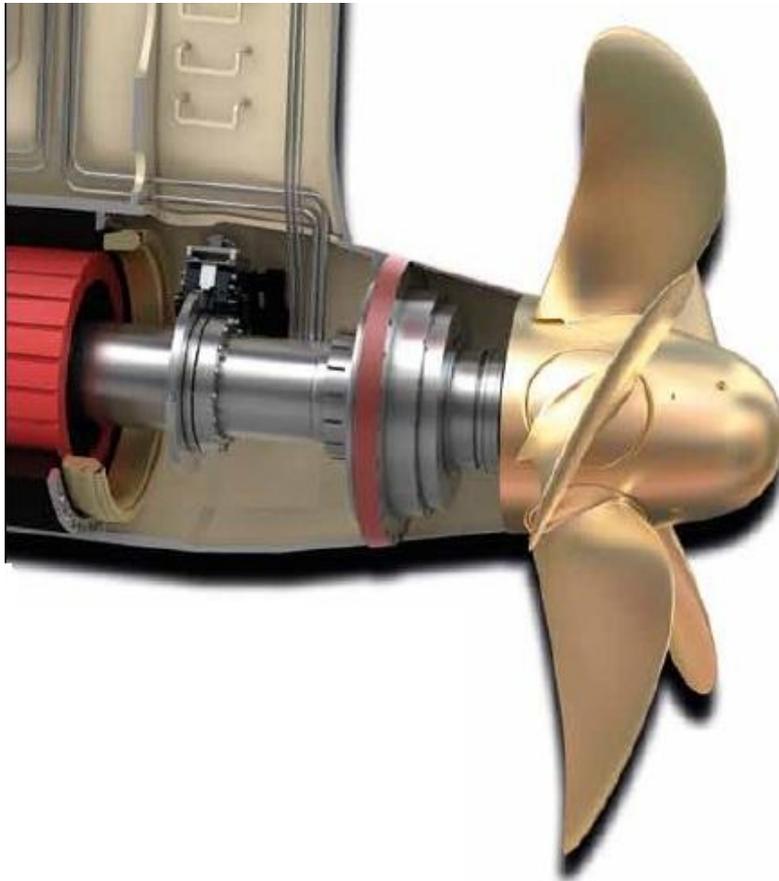
Em relação à transmissão dessa potência e à localização do motor, dividem-se em dois tipos:

- Transmissão mecânica: o hélice é conectado a um motor diesel ou a um elétrico, que fica no interior da embarcação através de eixos e caixas de engrenagem. O L drive é um tipo de propulsor azimutal em que o movimento de rotação tem que fazer um ângulo reto, parecendo, assim, um pouco com a letra "L". É mais vantajoso do que a do tipo Z Drive por possuir apenas uma "gearbox", diminuindo as perdas. O Z drive, o movimento de rotação tem que fazer duas voltas em ângulo reto, assemelhando-se, assim, a letra "Z". Tem a desvantagem de possuir duas "gearbox", causando perdas, porém o motor encontra-se na horizontal (mais fácil de manipular e fazer manutenção).
- Transmissão elétrica: o hélice é conectado diretamente a um motor elétrico, sem a necessidade de engrenagens. O motor fica localizado em um "casulo" junto ao hélice fora do casco da embarcação. A energia elétrica é gerada a bordo por um grupo de geradores diesel ou uma turbina a gás. A empresa precursora desta tecnologia foi a ABB, que patenteou o seu produto com o nome de Azipod, que será tratado a seguir.

## 5 - AZIPODS

O Podded Propeller é um motor elétrico fixado fora do casco, sendo o seu induzido o eixo propulsor, que possui hélices de passo fixo, desta forma o sentido e a velocidade do hélice é controlado por um inversor de frequência. Esta tecnologia é extremamente eficaz na manobrabilidade da embarcação e sua potência pode atender aos mais variados tipos de embarcações. O mais famoso deles é o Azipod, o termo significa "pod" + Azimuth, pod devido ao formato do thruster e AZI de azimuth por conta da capacidade de giro de 360°, marca registrada da empresa ABB.

Figura 8 – Propulsor Azipod



Quanto à potência, 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.

O sistema com PODs, ou Rabetas, tem acabado com a hegemonia do Sistema IFEP (Integrated Full Electric Propulsion), em que os motores elétricos não estão ligados diretamente aos hélices. Já no sistema com PODs, cada POD é independente o que resulta em uma considerável economia de combustível, pois seu motor de condução do hélice fica submerso fora do casco do navio, e pode ser girado em torno de seu eixo vertical para dar o impulso de propulsão livremente para qualquer direção. Assim, o navio não necessita de lemes, propulsores de popa transversal dentro do casco do navio.

Esse sistema de propulsão foi introduzido há 20 anos e representam uma enorme economia de espaço, já que o motor encontra-se fora do casco. Possui sistema de arrefecimento e de selagem, este último essencial para o bom funcionamento do motor, já que qualquer entrada de água salgada impossibilitaria o seu funcionamento. Todas as vedações contra a água do mar são do tipo “amigo do ambiente”, ou seja, no caso de falha de vedação qualquer vazamento de óleo em água será impedido. As lâminas podem ser fixadas em bloco ou parafusadas separadamente, com a vantagem de serem modificadas individualmente em caso de danos. Além disso, são projetadas para baixo ruído e baixa vibração. É muito utilizado em “ice breakers”, pois aumenta a performance em operações no gelo, e também para navios de grande luxo e de cruzeiro, por causa da grande manobrabilidade e da economia do espaço no interior do casco que proporciona uma maior liberdade para o projeto do navio. No entanto, o benefício mais importante do sistema é a redução do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>, que está totalmente de acordo com os ideais de uma eficiência energética.

Sistemas Azipod 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 se conecta ao hélice pela parte externa do casco na popa do navio. O sistema de manobra (máquina do leme) desse sistema é feito com o auxílio de um leme localizado atrás do hélice.

No arranjo 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 girado pelo leme que é conectado ao sistema.

O motor é localizado dentro do casulo selado. O sistema de selagem deve ser perfeito caso contrário pode danificar o motor integralmente. O motor utilizado para este sistema é um motor elétrico de frequência variável e usando esta frequência, a velocidade rotacional pode ser controlada, ou seja, a velocidade pode ser aumentada ou diminuída.

O termo POD vem de Propulsion with Outboard Electric motor (Propulsão com motor elétrico externo). 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, e assim fornecer empuxo em qualquer direção o que não é possível no sistema convencional.

Figura 9 – Pod do sistema AZIPOD®, comparado ao tamanho de um homem.



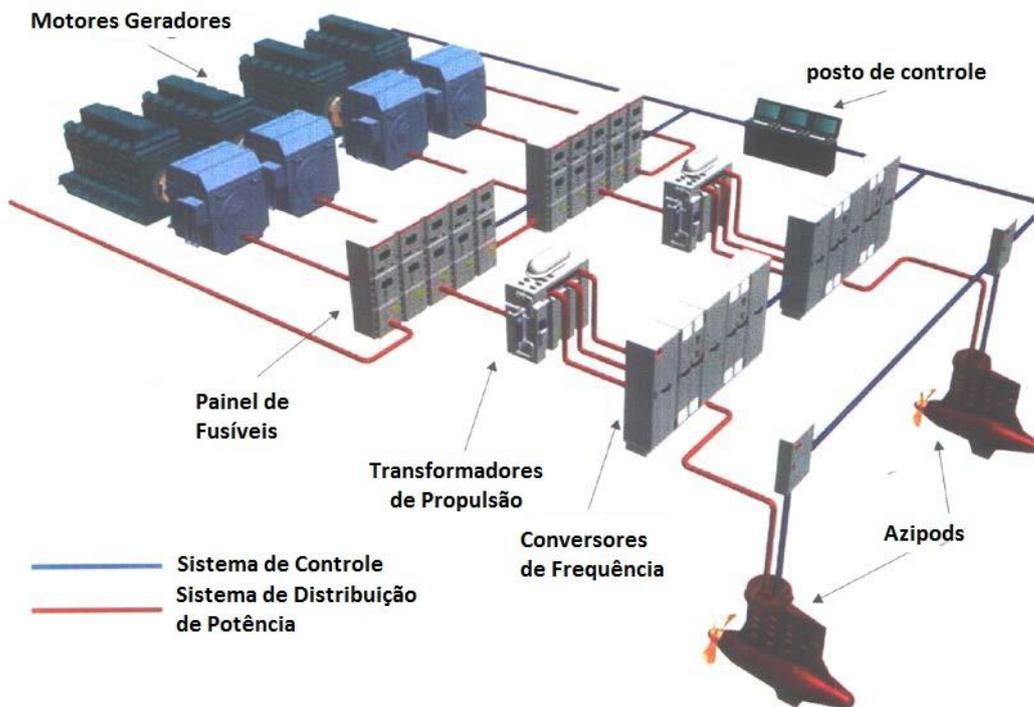
## 5.1 – SISTEMA ELÉTRICO DE UM AZIPOD

No sistema de propulsão AZIPOD® de uma embarcação são empregados normalmente quatro grupos geradores acoplados ao quadro elétrico principal, que distribui a energia aos transformadores, a outros utilizadores e ao sistema de propulsão.

A propulsão AZIPOD® é um sistema de alta potência, podendo atingir cerca de 30 megawatts, o que proporciona uma excelente capacidade de manobra e com um ótimo torque, em qualquer direção, permitindo giros em torno de seu eixo e uma rápida mudança na direção do empuxo do hélice.

Outra vantagem desse tipo de propulsão reside no fato de que manobras de manutenção podem ser planejadas, com a possibilidade de se parar um gerador durante a execução desses serviços, sem a necessidade de interromper a operação da embarcação.

Figura 10 – Sistema AZIPOD



Os motores da propulsão AZIPOD®, que podem ser síncronos ou assíncronos, são instalados no POD e acionam diretamente um hélice propulsor de passo fixo no prolongamento do eixo. Os hélices são montados com passo fixo, pois o controle do torque e da rotação é feito através do inversor de frequência PWM. A instalação mais comum do sistema AZIPOD® compreende hélices com pás monobloco, para puxar com mais eficiência. Esses hélices são forjados em bronze para embarcações comuns e em aço inox para embarcações quebra-gelo.

Os hélices são projetados especificamente para cada embarcação para que se tenha maior eficiência durante as operações de cada embarcação, o que é feito pela ABB em conjunto com os projetistas dos estaleiros construtores. Desta mesma forma são efetuados os cálculos referentes aos esforços resultantes das forças desenvolvidas pelo hélice.

## 5.2 – ENTENDENDO O SISTEMA AZIPOD

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

- **Transformador de Suprimento**

A potência fornecida pelos geradores pode ser tão elevada quanto 6600 KV, a qual é reduzida para a tensão necessária pelo transformador de suprimento e deste é fornecido ao motor disposto no interior do casulo (pod).

- **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 do motor elétrico.

- **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.

### 5.2.1 – SISTEMAS AUXILIARES

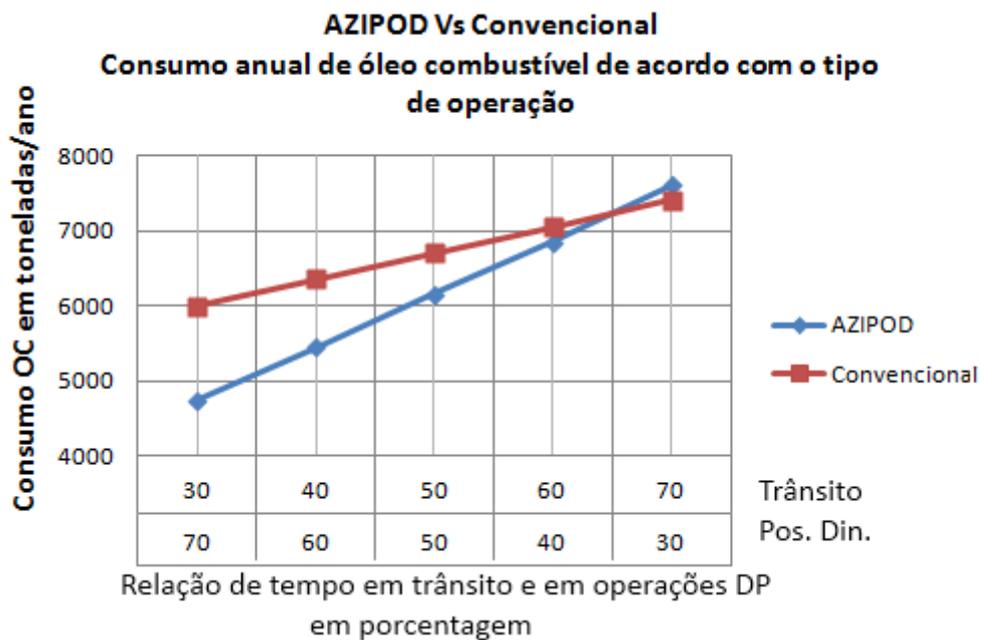
Dentre os principais sistemas auxiliares que compõem o AZIPOD<sup>®</sup>, podemos destacar brevemente os seguintes:

- **Selagem** – realizada por meio de selos em anel no eixo de giro em azimute e no eixo propulsor, onde são usados para selar os alojamentos dos mancais de escora e do mancal do propulsor;
- **Lubrificação** – permite operação sem desgaste, falhas ou avarias, tanto dos mancais do eixo azimutal quanto do propulsor (sustentação e escora);
- **Drenagem** – sistema utilizado para drenar eventuais vazamentos de óleo ou água para dentro do POD, operando automaticamente e acionando diversos alarmes;
- **Freios e travas** – são opcionais, tanto para a rotação do eixo propulsor quanto para a rotação azimutal e pode atuar hidraulicamente para evitar movimentos durante trabalhos de manutenção, ou quando o eixo precise ser mantido travado por qualquer motivo.

### 5.3 - ECONOMIA DE COMBUSTÍVEL

O gráfico a seguir relaciona o consumo de óleo combustível (OC) de uma embarcação dotada de um sistema AZIPOD® com o consumo de outra que utiliza um sistema convencional de propulsão com eixo acoplado ao MCP. O gráfico ainda se baseia no tempo de uso de tais sistemas durante operações de trânsito ou de posicionamento dinâmico (DP).

Tabela 3



Percebe-se facilmente que quando uma embarcação que possui sistema AZIPOD® passa mais de 70% do tempo em trânsito e menos de 30% em operações DP, ela deixa de apresentar vantagens em relação ao sistema convencional, pois consome mais combustível. O ideal então é utilizar o sistema AZIPOD® em embarcações que requeiram grande capacidade de manobra e que façam uso do posicionamento dinâmico por longos períodos.

Outro fator que também influencia na opção pelo sistema de propulsão AZIPOD® é a pouca necessidade de manutenção e baixos custos da mesma em relação ao sistema de propulsão convencional, pelo fato de o sistema AZIPOD® apresentar um número menor de equipamentos mecânicos que podem apresentar alguma espécie de problema.

O fato de o motor permanecer mergulhado na água proporciona mais espaço livre dentro do navio, que pode ser aproveitado para outros fins. A baixa emissão de poluentes, devido à rotação constante do MEP, tem sido bastante relevante mediante as exigências do setor marítimo atual.

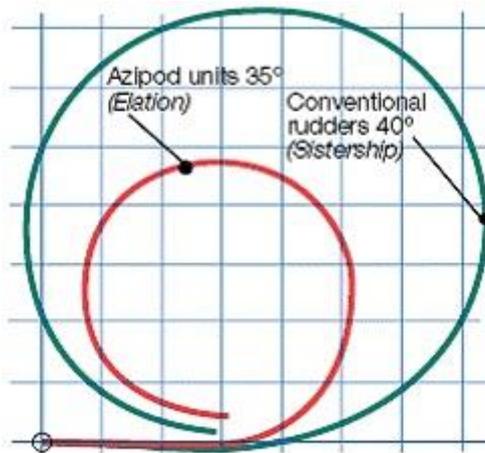
A unidade AZIPOD® é um projeto versátil. Ela pode ser montada para puxar ou para empurrar, em águas livres ou em águas com gelo, pois a unidade pode ser montada com hélices fora do centro, possibilitando assim projetos de cascos mais simples e com excelente desempenho de campo de esteira.

#### **5.4- Vantagens e desvantagens**

O sistema de propulsão AZIPOD®, desenvolvido a cerca de duas décadas, combinou o melhor de todos os sistemas de propulsão existentes. Vejamos algumas vantagens:

- Vibrações e barulho menores do que no sistema convencional;
- Elimina necessidade de leme, longas linhas de eixo, hélices de passo variável e engrenagens redutoras;
- Economiza-se muito espaço na praça de máquinas já que não existem motores, impelidores, eixos e outros arranjos. O espaço economizado pode ser utilizado para mais carga no navio;
- Boa capacidade de resposta em variados torques e direcionamento do empuxo em qualquer direção;
- Custo de manutenção inferior;
- Amigável com o meio ambiente já que as emissões são extremamente baixas.
- Baixo consumo de combustível e lubrificante;
- Alta manobrabilidade.

Figura 11 – Curva comparativa de manobrabilidade



O aspecto ambiental, nesse sistema, é um ponto diferenciado devido à baixa emissão de gases. Estudos sobre máquinas de combustão interna comprovam que, operando em rotações constantes, emitem menos gases tóxicos que os motores operando em velocidades variáveis, além do consumo de combustível ser mais eficiente.

Também pelo fato de utilizar energia elétrica, faz-se possível a aplicação de diferentes métodos de geração de energia, desde turbinas a vapor, até as modernas células de energia “power cells” de hidrogênio.

O sistema apresenta também algumas desvantagens, mas que podem ser relevantes se comparado com a grande quantidade de vantagens já citadas a cima. São elas as seguintes:

- Sistema azipod requer um custo inicial elevado;
- Há uma limitação da potência produzida pelo motor: atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 21 MW;
- Não pode ser instalado em grandes navios com grandes capacidades de carga os quais necessitam de muita potência e grandes motores.

## **6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Como foi visto neste trabalho, a tendência das coisas é a evolução, e não poderia ser diferente com os meios de propulsão dos navios, começando com a propulsão a remo até os modernos navios com propulsão elétrica.

Seu sucesso deve-se a suas vantagens, como a 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.

Comparando com a propulsão mecânica a propulsão elétrica elimina problemas de alinhamento de eixo e as constantes manutenções e permite que um maior espaço da embarcação possa ser utilizado para transportar cargas. Também se mostra indispensável no posicionamento dinâmico e na navegação em rotas como do Mar do Norte, facilitando a navegação em áreas com finas camadas de gelo.

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 e indo de acordo com os ideais de eficiência energética.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZIPOD® - Disponível em <[www.abb.com.br](http://www.abb.com.br)> Acessado em: 12 jul 2014

IBRAHIM, Eden Gonzalez. **Propulsão elétrica de embarcações**. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.

ABREU, Raphael Lorenzeto. **Motores de Propulsão Elétrica**. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2009.

Carvalho, Igor Soares. **Comparação de eficiência entre propulsão Azipod e propulsão diesel em navios mercantes**. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2013

Eficiência energética para navios – Disponível em <[http://www.syndarma.org.br/upload/Efici\\_ncia%20Energ\\_tica%20para%20Navios\\_original%20.pdf](http://www.syndarma.org.br/upload/Efici_ncia%20Energ_tica%20para%20Navios_original%20.pdf)> Acessado em: 11 jul 2014.

**Convenção Internacional para a prevenção da poluição por navios (MARPOL 73/74):** Regras para a prevenção da poluição do ar por navios – Disponível em <<http://www.dpc.mar.mil.br>> Acessado em: 13 jul. 2014

**RESOLUÇÃO MEPC.203(62)**, Adotada em 15 de julho de 2011 – Disponível em <<http://www.syndarma.org.br>>