



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



**IGOR SOARES DE CARVALHO**



# COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE PROPULSÃO AZIPOD E PROPULSÃO DIESEL EM NAVIOS MERCANTES

RIO DE JANEIRO

2013

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

**COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE  
PROPULSÃO  
AZIPOD E PROPULSÃO DIESEL EM NAVIOS  
MERCANTES**

**Por: IGOR SOARES de Carvalho**

**Orientador  
Prof. Nélio Fernandes Pereira  
Rio de Janeiro  
2013**

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

**COMPARAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENTRE**  
**PROPULSÃO**  
**AZIPOD E PROPULSÃO DIESEL EM NAVIOS**  
**MERCANTES**

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 Nautica (FONT) da Marinha Mercante.

Por: Igor Soares de Carvalho

**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 à minha mãe e irmão, pilares da minha vida e exemplos a serem seguidos, agradeço a Deus por me suster nos momentos difíceis, aos amigos de turma e camarote por me motivarem a cada dia, aos integrantes da SAMM cúmplices dos bons momentos e à todas as pessoas próximas que foram ao meu favor durante minha vida.

## RESUMO

Este trabalho visa comparar dois sistemas de propulsão utilizados hoje em dia, o tradicional motor a diesel e o sistema de propulsão AZIPOD<sup>®</sup> que são utilizados tanto na área de “offshore” quanto em grandes navios de longo curso. A comparação feita entre os dois será exibida nos próximos capítulos. Mostrando vantagens e desvantagens dos sistemas e características específicas de cada um.

No primeiro capítulo é introduzido o princípio de propulsão elétrica, histórico, características fundamentais de funcionamento, diferença entre corrente contínua e alternada no funcionamento do motor mostrando os pontos positivos e negativos. No capítulo seguinte é apresentado o sistema AZIPOD<sup>®</sup> com suas características de funcionamento, sistemas auxiliares e componentes, além de apresentar algumas vertentes desse sistema.

Em seguida é introduzido as características gerais do motor de combustão interna, histórico, classificação e tipos mais comuns de motores. No próximo capítulo o assunto abordado é a propulsão a Diesel em si, os tipos de propulsão e alguns modos de acoplamento, o conceito de propulsão a Diesel com turbina à gás e as vantagens e desvantagens do sistema.

## ABSTRACT

This study aims to compare two propulsion systems used today, the traditional diesel engine and propulsion system AZIPOD ® which are used both in the "offshore" as in large sea-going vessels. The comparison made between the two will appear in the following chapters. Showing the advantages and disadvantages of the systems and specific features of each.

The first chapter introduces the principle of electric propulsion, historical, fundamental characteristics of operation, the difference between DC and AC motor running showing the positives and negatives. The following chapter presents the AZIPOD ® system with its functional characteristics, auxiliary systems and components, as well as presenting some aspects of this system.

Then it introduced the general characteristics of the internal combustion engine, history, classification and most common types of engines. In the next chapter the subject is approached propulsion diesel itself, the types of propulsion and some modes of engagement, Diesel propulsion concept with gas turbine and the advantages and disadvantages of the system.

## SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	08
<b>Capítulo I – Propulsão Elétrica</b> .....	09
1.1 – Introdução.....	09
1.2 – Propulsão em CC (corrente contínua).....	10
1.3 – Propulsão em CA (corrente alternada).....	11
<b>Capítulo II – Sistema AZIPOD®</b> .....	13
2.1 – Introdução.....	13
2.2 – Composição do Sistema Azipod.....	14
2.3 – Sistemas e Funcionamento.....	15
2.3.1 – Sistemas Auxiliares.....	15
2.3.2 – Sistema AZIPOD® Compacto.....	16
2.3.3 – Sistema AZIPOD® CRP.....	16
2.4 – Vantagens e Desvantagens.....	17
<b>Capítulo III – Motor de Combustão Interna</b> .....	20
3.1 – Características gerais.....	20
3.1 – Introdução e Histórico.....	20
3.2 – Classificação e Sistemas.....	20
3.3 – Princípio de funcionamento.....	21
3.2 – Tipos mais comuns de motores.....	21
3.2.1 – Motor 2 tempos.....	21
3.2.2 – Motor 4 tempos.....	22
3.3 – Tipos de propulsão.....	23
<b>Capítulo IV – Propulsão a Diesel</b> .....	24
4.1 – Instalação propulsora.....	24
4.1.1 – Acoplamento direto.....	24
4.1.2 – Acoplamento Indireto.....	25
4.1.3 – Acoplamento direto com recuperação de energia.....	26
4.2 – Propulsão a Diesel com Turbina a gás.....	27
4.3 – Vantagens e Desvantagens.....	27
<b>Considerações Finais</b> .....	29
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	31



## INTRODUÇÃO

A navegação oceânica sempre representou um grande desafio e uma importante fonte econômica para homem, seja na pesca, no transporte, no comércio ou nos primórdios na exploração de novas terras. No início da conquista dos mares, os barcos eram movidos pela força humana por meio de remos, passaram então a se mover por velas esticadas em mastros e estas foram se aperfeiçoando variando o seu posicionamento em relação ao vento.

No início da navegação, uma solução híbrida foi adotada, a vela era utilizada durante o cruzeiro e o vapor, inserido no séc. XIX, para atingir velocidades maiores ou na falta do vento. Na utilização dos ventos como propulsão não era gasto combustível já os motores a vapor exigiam grandes quantidades de carvão para funcionarem, o que ainda diminuía a carga útil do navio. As primeiras máquinas a vapor acionavam uma grande roda na lateral do navio, esta roda atrapalhava o manuseio das velas e as fainas do navio. Este problema foi resolvido com a invenção do hélice. No início do século XX e então a máquina a vapor se firmou como principal meio de propulsão naval.

No final do século XX o alemão Rudolf Diesel patenteou o conceito do motor a diesel, este substituiu a máquina a vapor, pelo fato do motor a diesel possuir maior rendimento. Assim uma menor quantidade de diesel era necessária em peso e, principalmente, em volume do que o carvão, aumentando a capacidade de carga das embarcações. Assim a máquina a vapor tornou-se obsoleta

O motor a diesel ainda é muito utilizado atualmente, como principal meio de propulsão das embarcações, utilizando tanto o motor de combustão principal com o hélice de passo variável, como sistemas azimutais mais modernos. Porém, hoje em dia o motor diesel divide o mercado de propulsão de embarcações com motores elétricos, que cada vez mais tem se desenvolvido.

Os motores elétricos têm recebido especial atenção na escolha do sistema de propulsão que será utilizado na embarcação, pois são considerados meios mais “limpos” de propulsão, não produzem gases poluentes em quantidades excessivas. Logo, os sistemas de propulsão se dividem principalmente em duas vertentes: motores de combustão principal a diesel e motores elétricos principais.

# Capítulo I

## Propulsão Elétrica

### 1.1-Introdução

Ao término da segunda guerra mundial, sistemas que utilizavam motores elétricos como propulsão passaram a ser usados para rebocadores de alto mar, uma vez que esses motores permitiam pequenas variações na rotação, o que ajudava no salvamento e em operações de reboque e movimentação de grandes navios. Anos depois, com o crescimento das atividades petrolíferas, mais e mais embarcações de apoio marítimo dotadas de sistemas elétricos de propulsão foram construídas.

Outra aplicação destes motores elétricos se fez necessária devido à grande dificuldade que as grandes embarcações tinham de se movimentar lateralmente. A solução encontrada há muitos anos foi o uso de rebocadores, mas os navios mais modernos começaram a ser equipados com hélices laterais de túnel movidos por motores elétricos e hidráulicos, na proa “bow thruster” e na popa “Stern thruster”. Devido à fácil operação, maior rapidez de resposta e menores dimensões, os “thrusters” movidos por motores elétricos destacaram-se na marinha mercante mundial. Porém, o sistema de “thrusters” movidos a motores elétricos, embora muito eficiente, possui o problema da grande tensão empregada em alguns casos. Os motores de propulsão usados nesses sistemas, normalmente motores de indução de corrente alternada, possuem altas correntes de partida.

Outra tecnologia que surgiu e começou a ser usada nos navios mercantes são os controladores de frequência, ou inversores de frequência. Esses inversores são equipamentos eletrônicos que controlam a frequência (rotação) e o torque dos motores elétricos. Uma desvantagem desse sistema, é que para otimizar o torque, é necessária a aplicação de sensores de posição no rotor do motor elétrico, uma vez que o maior torque é atingido quando os campos do motor e a gaiola de indução estão perto de estarem com a mesma fase.

## 1.2-Propulsão em CC (corrente contínua)

Apesar de toda a evolução dos motores que utilizam a corrente alternada para a propulsão de navios, ainda existem embarcações que trabalham com sistemas de propulsão elétrica que utilizam corrente contínua devido à melhor capacidade de manobra por possibilitar suaves variações de velocidade, especialmente na partida. Para os rebocadores essa suavidade é crucial para manter a integridade de seu casco, e do casco da embarcação a ser empurrada.

Nos rebocadores com propulsão convencional, o motor de combustão principal é ligado diretamente ao eixo do hélice e possui um grande problema por não possibilitar baixas rotações, pois em baixas rotações o motor pode parar. Devido ao fato da partida desses motores ser feita pela pressão de ar liberada em um determinado pistão, esse número de partidas e paradas é limitado à energia acumulada nas ampolas de ar comprimido. Quando a pressão nas ampolas não é suficiente para que possa ser dada a partida no motor, a operação é paralisada para que se possa esperar o carregamento dessas ampolas.

Já os rebocadores com propulsão elétrica em corrente contínua possuem motores diesel que operam sem parar e sempre na mesma rotação, acionando o gerador elétrico principal, mesmo com o navio atracado ou fundeado. Essa energia gerada é usada para movimentar um motor elétrico que pode ser acelerado, partindo do zero, evitando assim choques contra os navios empurrados, ou o rompimento dos cabos de reboque.

Esse sistema fez-se muito eficiente durante muitos anos, mas a propulsão elétrica em corrente contínua possui uma grande desvantagem por possuir coletor (comutador) de teclas e escovas. Devido ao atrito dessas escovas contra o coletor, o uso contínuo e as grandes variações de corrente, o desgaste dessas escovas é muito rápido, fazendo-se necessária uma manutenção freqüente.

À medida que essas escovas se desgastam, o atrito e a alta corrente que passa pelas escovas começam a provocar pequenas centelhas e o aquecimento dessas escovas. Esse problema se agrava muito rápido, aumentando exponencialmente as centelhas e o calor nas escovas. Se a manutenção dessas escovas não for feita quando necessária, o

calor pode avariar o coletor do motor, e essas centelhas misturadas a um ambiente não controlado podem iniciar um incêndio a bordo. Com isso este sistema de propulsão foi caindo em desuso.

### **1.3-Propulsão em CA (corrente alternada)**

Os sistemas modernos de geração de energia dos navios mercantes empregam inúmeros equipamentos que controlam a frequência, tensão, corrente e fase da energia gerada. O fato desses controles serem muito sensíveis, resulta em um problema para os sistemas de propulsão baseados em corrente alternada. Quando a carga elétrica é variada, são gerados harmônicos de frequência e picos de corrente que podem provocar erros na leitura desses equipamentos, o que provoca a instabilidade dos geradores, podendo até ocorrer o desligamento desses sistemas.

A solução elaborada para evitar esse excesso de corrente é a instalação de motores elétricos com sistemas azimutais. Esse tipo de propulsão é usado, em sua maioria, em navios cuja operação é bastante irregular por um longo período, devido seu custo benefício ser inferior quando comparado ao motor diesel.

Atualmente, a carga elétrica necessária para operação de um navio, que usa sistemas elétricos como propulsão, é maior do que a capacidade de apenas um gerador. Sendo assim, são utilizados vários geradores comutados em paralelo, distribuindo entre eles a carga total. Os distribuidores de carga, sendo normalmente enquadrados como controladores lógicos programáveis (CLP), visam manter a carga elétrica do navio dividida equilibradamente entre os geradores conectados em paralelo no quadro elétrico principal (QEP). No caso de geradores com capacidades diferentes, a carga é distribuída proporcionalmente às suas capacidades.

Uma vez que essa divisão torna-se crucial para a diminuição de problemas, o distribuidor de carga se evidencia como um elemento essencial aos sistemas elétricos de propulsão em corrente alternada. Para que não haja a produção de harmônicos de frequência, a energia disponível no barramento do navio destinada à propulsão é retificada e depois encaminhada para um inversor que entrega a energia elétrica aos

motores elétricos em 440 volts CA, 60 Hz. Tudo isso num sistema trifásico com ligação em delta “ $\Delta$ ”.

O emprego de inversores de frequência nesses sistemas corrige também um grande problema do motor gaiola de esquilo que é o baixo torque inicial. O navio com esse sistema além de ganhar flexibilidade no gerenciamento da energia, aumenta o aproveitamento da energia gerada, fazendo o motor funcionar sempre na sua faixa de maior aproveitamento.

## Capítulo II

### Propulsão AZIPOD®

#### 2.1- Introdução

A propulsão AZIPOD® (*Azimuthing Podded Drive*) foi criada em 1990 e, nesta década, teve destaque em embarcações turísticas, que foram os primeiros navios construídos com esta tecnologia. O sistema emprega uma unidade azimutal com capacidade de rotação de até 360° e pode atingir uma potência de até 30 MW (mega watts).

O hélice propulsor é acionado diretamente por um motor elétrico instalado no próprio azimutal, ou seja, dentro da água. Esse modelo pode ser considerado revolucionário, se comparado aos sistemas de propulsão convencionais.

Este tipo de propulsão é modular e simples, trazendo benefícios durante a construção da embarcação e também em sua manutenção durante sua operação. Este sistema é constituído de dois módulos principais: o módulo de condução e o módulo de propulsão. Esta construção modular reduz os custos e é uma opção de propulsão para uma ampla faixa de embarcações mercantes e de “offshore”.

Os tipos de embarcações que se adéquam a este tipo de propulsão são as que necessitam de uma excelente capacidade de manobra, um ótimo torque para diversas direções e de um sistema que permita uma imediata mudança na direção do empuxo do hélice propulsor.

Atualmente, o sistema AZIPOD® é empregado em várias espécies de embarcações em arranjos simples, duplos e triplos. Estes arranjos são compostos de um, dois ou três propulsores, fazendo uma combinação de forma a melhorar a manobrabilidade e a potência da embarcação, dependendo do tipo e da necessidade desta.

## 2.2-Composição do Sistema AZIPOD®

O Sistema padrão AZIPOD® consta dos seguintes componentes: No mínimo um gerador elétrico movido por motores a diesel ou turbina; transformadores de corrente elétrica; conversores de frequência e controle de propulsão.

O conversor de frequência é uma peça importante no sistema, pois converte a frequência contínua da rede de transmissão alimentada pelos geradores. A frequência de saída, alterada pelo conversor, irá controlar as velocidades dos motores elétricos.

Este tipo de controle de frequência fornece uma medida exata e precisa da velocidade dos hélices do AZIPOD® sendo bastante eficiente em manobras que requeiram alto controle da embarcação sem a utilização de rebouques.

O controle preciso e suave da velocidade do motor é uma grande vantagem desse sistema pois gera um funcionamento suave do motor elétrico cortando gastos de manutenção.

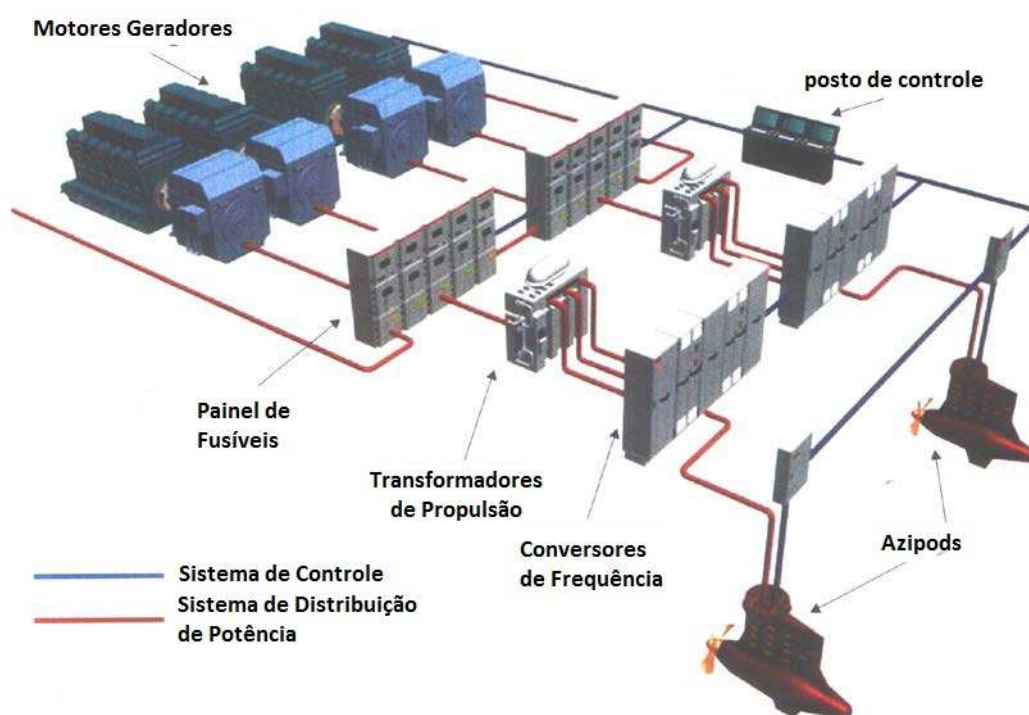


Figura 1- Linhas de Transmissão e Elementos do Sistema

## 2.3-Sistemas e Funcionamento

Seu princípio de funcionamento é a substituição do hélice com eixo fixo por um propulsor que pode mudar sua direção de atuação, dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação, tornando desnecessária a utilização de leme para governar.

Como dito anteriormente, o sistema AZIPOD<sup>®</sup> consiste em: unidades de propulsão dos “ACS Series Marine Drive”, transformadores, sistema de controle, a planta de geração de energia e quadros elétricos. Sendo assim, pode-se fazer necessário o emprego de vários grupos geradores para alimentar os motores elétricos. Na figura 1 podemos observar a disposição do sistema.

Os geradores de energia, na maioria dos casos, são acionados por motores a diesel. Sendo necessários vários grupos de geradores para que haja redundância no sistema, ou seja, para que dessa forma seja possível parar um gerador em viagem para realizar serviços de manutenção e mesmo assim manter a embarcação em operação.

O motor elétrico, instalado no azimutal, aciona diretamente um hélice propulsor de passo fixo, sendo capaz de proporcionar o torque total em todas as direções, em baixas rotações e em maiores que o máximo projetado, como no exemplo dos navios quebra gelo.

### 2.3.1- 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 hidráulicamente para evitar movimentos durante trabalhos de manutenção, ou quando o eixo precise ser mantido travado por qualquer motivo.

### 2.3.2-Sistema AZIPOD® Compacto

A propulsão compacta, figura 2, é indicada para uma grande variedade de embarcações com potências que variem entre 0,5 e 4 MW, como iates e pequenos cargueiros. O sistema é modular e simples, o que traz benefícios durante a construção, manutenção e operação da embarcação.

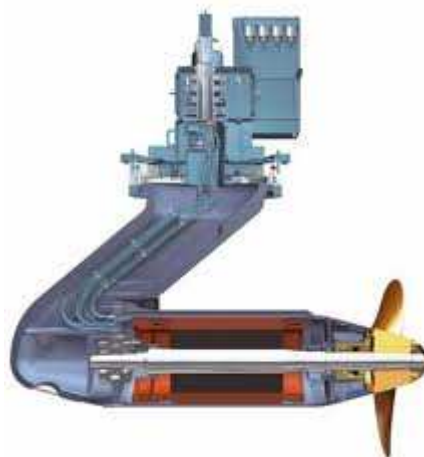


Figura 1 – AZIPOD® Compacto

### 2.2.3-Sistema AZIPOD® CRP

A propulsão CRP (*Contra Rotating Propellers*), figura 3, é um novo conceito onde as linhas de eixo rígido são substituídas por uma linha especial, que permite que dois propulsores, sob um mesmo eixo, girem em sentidos contrários. A “contra-rotação” garante maior capacidade de manobra e redundância, além de possuir uma eficiência hidrodinâmica muito maior quando comparado a um navio com linha de eixo convencional.



Figura 2 – AZIPOD<sup>®</sup> CRP

### 2.3-Vantagens e Desvantagens

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

- Baixa vibração e emissão de ruídos;
- Elimina necessidade de leme, longas linhas de eixo, hélices de passo variável e engrenagens reductoras;
- Melhor aproveitamento dos espaços de máquinas e carga;
- Boa capacidade de resposta em variados torques e direcionamento do empuxo em qualquer direção;
- Custo de manutenção inferior;
- Redução na emissão de gases poluentes;
- Alta manobrabilidade.

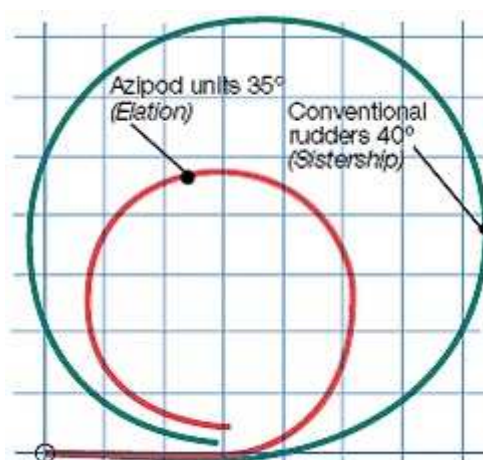


Figura 4 – Curva comparativa de manobrabilidade

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 acima. São elas as seguintes:

- Requer um custo inicial elevado;
- Um grande número de motores diesel são necessários para a produção de energia necessária;
- Há uma limitação da potência produzida pelo motor. Atualmente as potências mais elevadas disponíveis estão na faixa dos 25 MW;
- Não pode ser instalado em grandes navios com grandes capacidades de carga os quais precisão de muita potência e grandes motores.

## **Capítulo III**

### **Motor de Combustão Interna**

#### **3.1 – Histórico e Introdução**

O Diesel é um derivado da destilação do petróleo bruto usado como combustível nos motores Diesel, constituído basicamente por hidrocarbonetos. Trata-se de um produto pouco inflamável, medianamente tóxico, pouco volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. Recebeu este nome em homenagem ao engenheiro alemão Rudolf Christian Karl Diesel (Munique, Alemanha) que, no final do século XIX, inventou um meio mecânico para explorar a reação química originada da mistura de óleo e do oxigênio presente no ar. Depois de desenvolver vários projetos, Rudolf conseguiu patentear sua idéia em 22 de fevereiro de 1893 e, após correções e ajustes, o motor foi oficialmente apresentado ao mercado em 1898 com 10 cv de potência, com uma eficiência de 26,2% em comparação ao seu consumo específico, contra 16,6% alcançado na primeira versão.

##### **3.1.1 – Classificação e Sistemas**

Os motores Diesel podem ser classificados pelo tipo de sistema de arrefecimento que utilizam (geralmente com água ou ar) e pelo número de disposição dos cilindros, que normalmente são dispostos em linha, quando os cilindros se encontram em linha reta, ou em V, quando os cilindros são dispostos em fileiras oblíquas.

As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo as mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes.

Os sistemas que constituem os motores Diesel são: Sistema de admissão de ar, sistema de combustível, incluindo-se os componentes de injeção de óleo diesel, sistema de lubrificação, sistema de arrefecimento; sistema de exaustão ou escapamento dos gases e Sistema de Partida.

O motor, propriamente dito, é composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos acionados, como, por exemplo, um gerador de corrente alternada, que denominamos alternador.

### **3.1.3 – Princípio de funcionamento**

O princípio de funcionamento do motor a diesel consiste, basicamente, em: aspiração do ar que, após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por auto-ignição, quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível, que é injetado no final da compressão do ar, na maioria dos motores do ciclo Diesel, é o óleo Diesel comercial; porém, outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo Diesel não se limita apenas a combustíveis líquidos. Nos motores, segundo o processo Diesel, podem ser utilizado também carvão em pó e produtos vegetais. Também é possível a utilização de gás como combustível no processo Diesel, nos motores conhecidos como de *combustível misto* ou conversível, que já são produzidos em escala considerável e vistos como os motores do futuro.

O motor diesel pode ser de quatro tempos ou de dois tempos. O de quatro tempos para os motores de pequeno a médio porte e o de dois tempos para motores de pequeno ou grande porte.

## **3.2 – Tipos mais comuns de motores**

### **3.2.1 – Motor 2 tempos**

Este motor pode possuir apenas uma válvula no cabeçote, a de descarga, ou nenhuma válvula. Vejamos como funciona um motor a dois tempos sem válvula:

Na camisa, tem-se na parte inferior, a janela de admissão e um pouco acima, mas separado das de admissão, a janela de descarga. Quando o êmbolo dirige-se ao PMS,

primeiro ele fecha a janela de admissão e à medida que vai subindo, fecha a janela de descarga. Quando o êmbolo estiver no PMI, o combustível será injetado, começando então o momento da expansão. Na descida, o êmbolo abre as janelas de descarga e depois as janelas de admissão, ocorrendo à lavagem do cilindro pelo ar

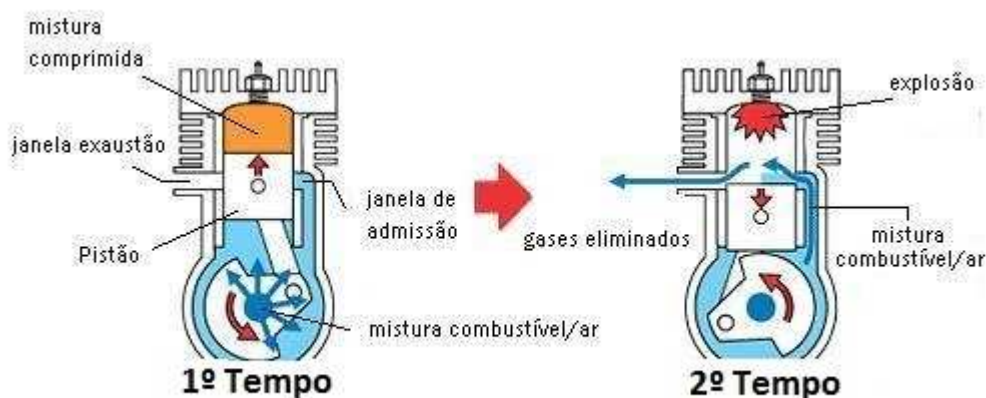


Figura 5 – Esquema de funcionamento Motor 2 tempos

### 3.2.2 – Motor 4 tempos

Um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

No *primeiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, dá-se a ADMISSÃO, que se verifica, na maioria dos casos, por aspiração automática da mistura ar-combustível (nos motores Otto), ou apenas ar (motor Diesel). Na maioria dos motores Diesel moderno, uma ventoinha empurra a carga para o cilindro (turbo compressão).

No *segundo tempo*, ocorre a COMPRESSÃO, com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes do pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado (no motor Otto), ou a auto-ignição (no motor Diesel).

No *Terceiro tempo*, com o pistão em movimento descendente, temos a EXPANSÃO dos gases atuando na porta superior do êmbolo e a transferência de energia ao pistão (tempo motor).

No *quarto tempo*, o pistão em movimento ascendente, empurra os gases de ESCAPE para a atmosfera.

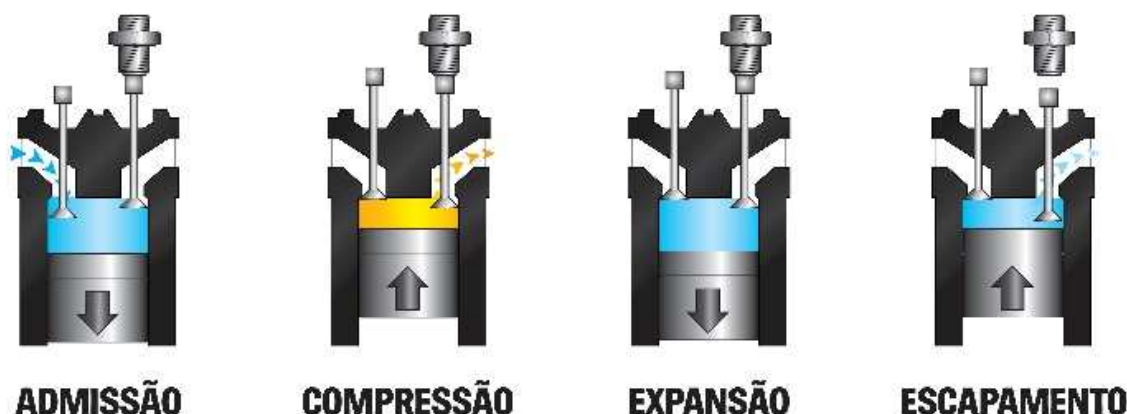


Figura 5 – Esquema de funcionamento Motor 4 Tempos

Durante os quatro tempos – ou duas rotações – transmitiu-se trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escapamento funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de comando de válvulas (ou eixo de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.

### 3.3 – Tipos de propulsão

De um modo geral, temos 4 tipos básicos de propulsão a diesel, que são eles: Estacionários, Industriais, Veiculares e Marítimos, que é, no caso, um dos enfoques principais do trabalho.

Os Estacionários são utilizados no acionamento de máquinas estacionárias, isto é, Geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante.

Já os Industriais são utilizados no acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador.

Os Veiculares são utilizados no acionamento de veículos de transporte de um modo geral. São eles caminhões e ônibus.

O enfoque do trabalho está voltado para a propulsão marítima que são destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval já que a frota mercante mundial conta com aproximadamente mais de 95% de utilização do motor a Diesel como meio de propulsão.



# Propulsão à Diesel

## Capítulo IV

### 4.1 - Instalação Propulsora

A fim de manter uma instalação propulsora de um navio, adota-se quatro métodos diferentes para conectar o motor ao hélice, que são: Acoplamento direto, motor diesel com engrenagem redutora reversa, diesel elétrico e motor diesel inversível com engrenagem redutora convencional e hélice de passo controlável.

Maior eficiência já alcançada, em motor diesel marítimo de 90.000 HP, é de 52%. Vê-se, portanto, que existe ainda considerável margem para o desenvolvimento do motor, insuficiente para compensar a queda da extração do petróleo mas ainda significativa em termos de economia de combustível e de redução da emissão de CO<sub>2</sub> e de poluentes atmosféricos.

É provável que o desenvolvimento do motor de combustão interna seja orientado por análise mais refinada dos respectivos ciclos termodinâmicos.

Entre as causas de perda de disponibilidade da energia do combustível, apontam-se a transferência de calor sob diferença de temperatura finita e o escoamento turbulento nas seções estranguladas ( válvula de controle da vazão de ar, ou borboleta, válvulas de admissão e de descarga ). A introdução de água no motor e sua vaporização no coletor de admissão, onde a pressão é menor do que a atmosférica, resfria a mistura permitindo diminuir-se a retirada de calor e, portanto, a irreversibilidade associada à refrigeração externa.

#### 4.1.1 – Acoplamento Direto

O motor a Diesel aciona diretamente o hélice operando com um bom rendimento e a mesma velocidade de rotação. A conexão direta é feita através de eixo. Esse sistema de acoplamento sofre bastante avarias pois o hélice não possui nenhuma defesa contra as variações de rotação do motor além de ser a mais relevante para o cálculo de porte operacional do navio já que de todas as opções o acoplamento direto carregam os

componentes mais pesados. Os hélices utilizados nesse tipo de acoplamento são de passo fixo e variável.

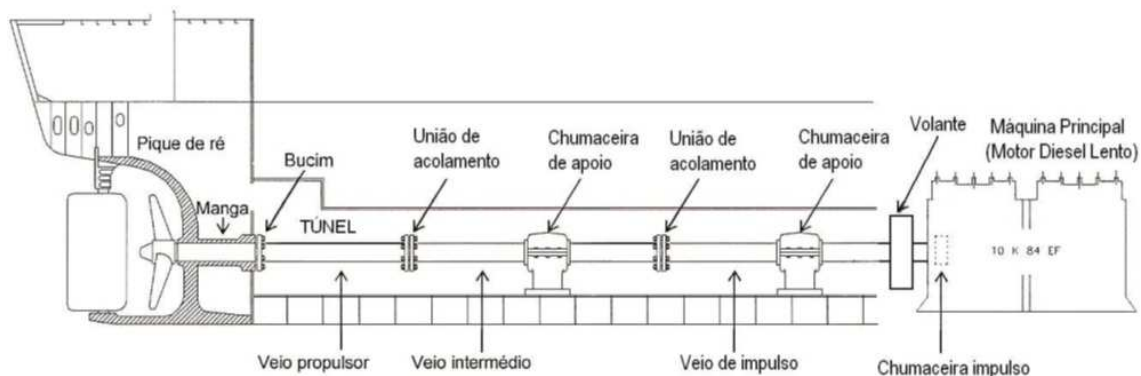


Figura 6 – Esquema de acoplamento direto

#### 4.1.2 – Acoplamento Indireto

O motor opera com um bom rendimento mas com uma velocidade de rotação superior a do hélice que é acionado por ela. A conexão é feita por eixos e por caixas redutoras. A vantagem é que neste tipo de acoplamento podem ser usados também turbinas a gás, que por si só reduz o espaço físico ocupado pelo motor, cedendo espaço para carga e tanques no navio, e a vapor no lugar dos motores a Diesel, contam, normalmente, com hélices de passo variável o que aumenta a vida útil dos eixos e do motor pois reduz os “trancos” no motor e também podem ser acoplados com geradores elétricos utilizando a própria rotação do eixo do motor para gerar energia elétrica para o navio.

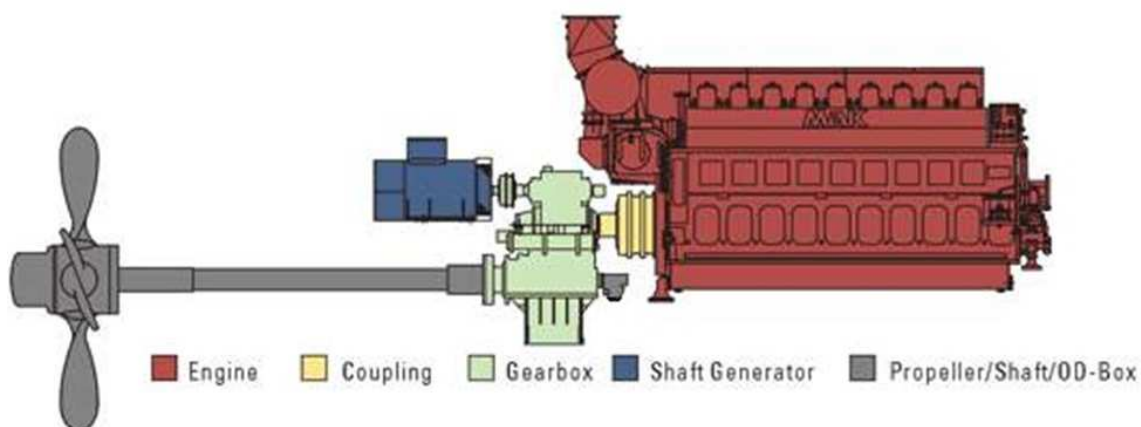


Figura 7 – Esquema de acoplamento indireto

### 4.1.3 – Acoplamento direto com recuperação de energia

Em motores de elevada potência, parte dos gases da exaustão passam por uma turbina de potência então a energia é gerada. Os gases passam também por uma caldeira recuperadora para produzir vapor para uma turbo-geradora.

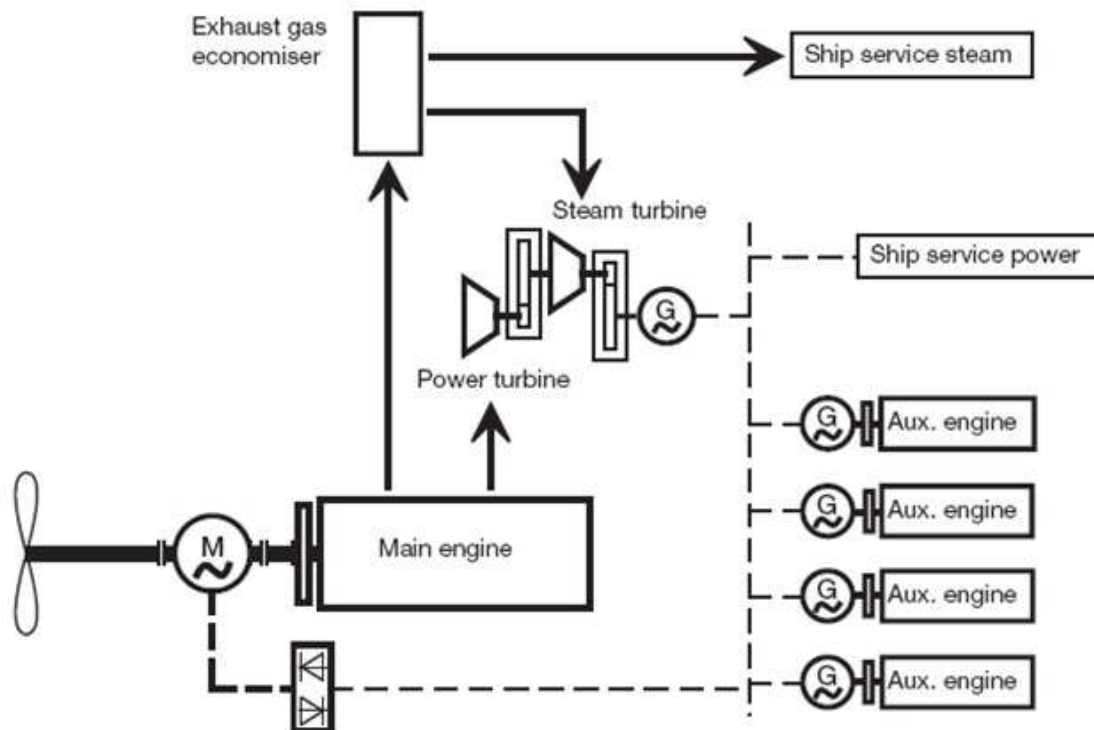


Figura 9 – Esquema com turbina recuperadora de energia

### 4.1.4 – Propulsão a Diesel com Turbina a Gás

Esse sistema de propulsão utiliza o motor a Diesel para velocidades de cruzeiro quando o navio precisa de velocidades mais elevadas, durante períodos não muito prolongados, utiliza-se uma turbina a gás de elevada potência. Esse sistema é geralmente utilizado em navios de guerra.

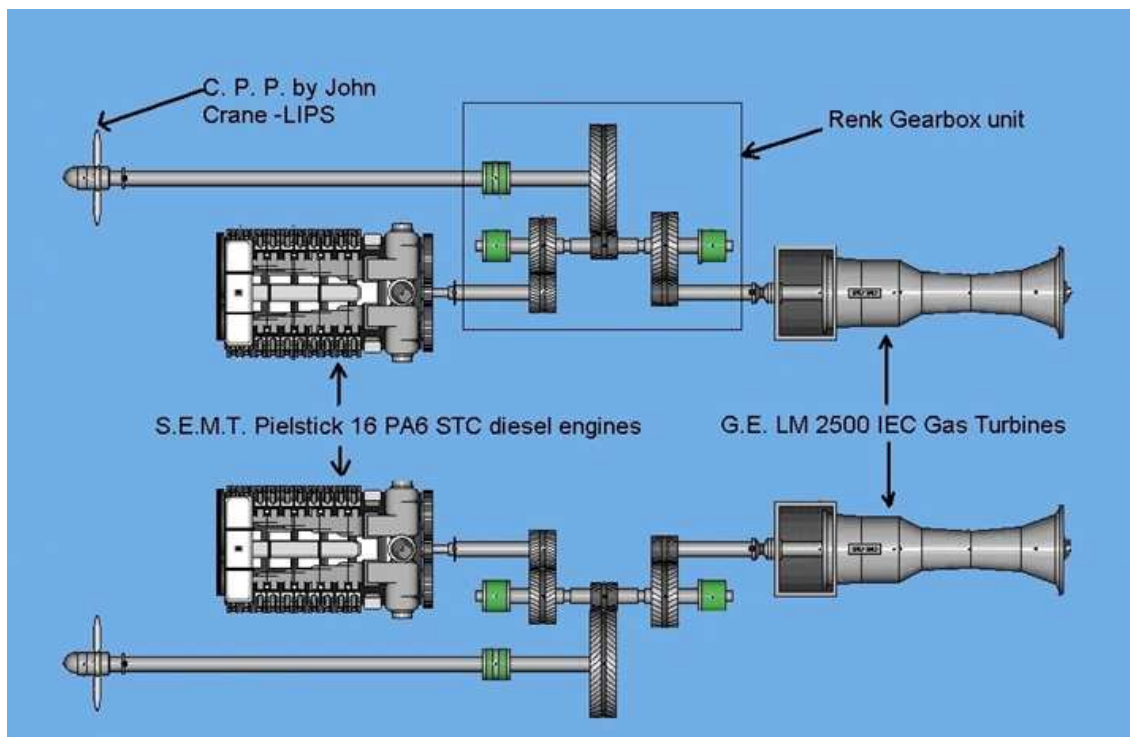


Figura 8 – Esquema de propulsão mista Diesel e turbina à gás.

#### 4.2 - Vantagens e Desvantagens

É comprovado que o desempenho dos motores Diesel é afetado pelas condições ambientais de temperatura, pressão e umidade. Se o motor estiver trabalhando em local de baixa pressão barométrica, menor será a potência observada, porque piora o enchimento dos cilindros. Da mesma forma, temperaturas elevadas fazem com que menos massa de ar no mesmo volume seja admitida. Porém, é desejável certo aquecimento para proporcionar a vaporização do combustível. Em consequência, a fim de permitir uma base comum de comparação dos resultados, deve ser aplicado um fator de redução para transformar os valores correspondentes às condições da atmosfera padrão.

Alguns motores Diesel, especialmente os aplicados em grupos diesel-geradores, são dotados de um dispositivo de parada elétrico, em geral, uma solenóide, que dependendo do fabricante e tipo do motor, trabalha com alimentação constante ou, em alguns casos, são alimentadas somente no momento de parar o motor diesel. Este dispositivo, na maioria dos grupos geradores, está interligado a outros componentes de proteção. Há também motores equipados com ventilador acionado por embreagem

eletromagnética, que, controlada por um termostato, ligam quando a temperatura da água aumenta.

Como exemplo, podemos citar a comparação, com vantagens e desvantagens, dos motores diesel de dois e quatro tempos. Tomemos então, como exemplo, a comparação de dois motores de características iguais, sendo um de dois tempos e outro de quatro tempos. Podemos dizer que o motor de dois tempos é que tem o torque mais uniforme e, conseqüentemente, maior potência. As desvantagens encontram-se no maior consumo de combustível e a carga calorífica que é consideravelmente mais elevada que num motor de quatro tempos além de ocupar um grande espaço na praça de máquinas se comparado com o motor elétrico e turbina à gás.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O enfoque do trabalho é a comparação entre eficiência dos tipos de propulsão apresentados. Nas presentes condições da indústria naval, faz-se necessário a opção de propulsão visando não somente a eficiência do propulsor mas também em perspectivas ambientais além do consumo de combustível e porte líquido do navio, já que os propulsores AZIPOD<sup>®</sup> economizam um grande espaço na praça de máquinas além de ter uma resposta mais rápida na manobra do navio e ganhar em dinamismo e economia de combustível pois não necessita de máquina do leme aumentando o rendimento em níveis de propulsão. Este leva ligeira vantagem diante dos requisitos cobrados atualmente.

O motor a Diesel, propulsão totalmente tradicional e presente em quase toda frota mercante mundial, possui ótimas características funcionais e apresenta manutenção e custo inicial de instalação baixo se comparado com o sistema AZIPOD<sup>®</sup>, além de oferecer uma ótima relação custo x benefício é também dotada de ótima potência e rendimento adequado para as necessidades operacionais de cada navio.

Um dos problemas do motor a diesel reside na operação a baixas potências. Pois uma máquina não deve operar durante certo intervalo de tempo a uma pressão efetiva média menor que 30% da pressão nominal. A combustão nessas baixas potências é incompleta e o óleo combustível parcialmente queimado pode causar grandes depósitos de carvão que prende as válvulas e os anéis do pistão, como também entope os condutores de descarga.

Enquanto a propulsão a Diesel leva vantagem com relação ao custo de manutenção e reparos, a propulsão AZIPOD<sup>®</sup> é mais eficiente quanto à economia de combustível, quanto à eficiência na manobrabilidade e, ainda por dispensar o uso do leme. Portanto, conclui-se que a comparação de eficiência entre a Propulsão a Diesel e a Propulsão AZIPOD<sup>®</sup> depende de muitos fatores. Visto que, como foram citados ao longo deste trabalho, esses dois tipos de propulsão possuem vantagens e desvantagens que os destacam.

A escolha da propulsão a ser instalada depende de vários fatores, o principal deles é para que fim a embarcação será destinada. Levando em consideração tais pontos como: questão ambiental, consumo de combustível, gastos com instalação e manutenção, manobrabilidade do navio entre outros é sugestivo que não existe o melhor propulsor se comparados isoladamente mais sim o mais apropriado para a embarcação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DPC, Diretoria de Portos e Costas, Rebocadores Portuários.
2. Neves, João Correia; Revista Ingenieria Naval, São Paulo, v.36, n 9, ago./out. 2001.
3. Comissão de Marinha Mercante: 1º Simpósio sobre Sistemas de Propulsão de Navios. Rio de Janeiro/RJ, Vol. I.
4. Revista Seaways, September 2005.
5. Maritime Finland. Disponível em: [www.seacompanion.com](http://www.seacompanion.com). Acesso em 20 jun. 2013.
6. Ship technology. Disponível em: [www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com). Acesso em 25 jun.2013.
7. ABB Company. Disponível em: <http://www.abb.com/marine>. Acesso em 04 jul 2013.
8. ABREU, Raphael Lorenzeto. **Motores de Propulsão Elétrica**. 2009. Monografia (Curso de Formação de Oficiais de Máquinas) – CIAGA, Rio de Janeiro
9. Batista, Luis Filipe. Sistemas de propulsão e governo. 2012. Escola Superior de Náutica Infante Dom Henrique.