

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

**CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A BORDO  
E A RESERVA DE ENERGIA PREVISTA**

**Por: Gustavo Goulart Angelici dos Santos**

**Orientador  
Prof. Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva  
OSM – M.Sc. COPPE/UFRJ**

**Rio de Janeiro  
2011**

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

**CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A BORDO  
E A RESERVA DE ENERGIA PREVISTA**

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: Gustavo Goulart Angelici dos Santos

**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**

Ao meu orientador, Professor Souza e Silva, por indicar os pontos mais importantes do tema e pela liberdade que me deu pra procurá-lo quando houvesse qualquer dúvida.

Aos meus familiares pelo apoio e por sempre acreditarem na conclusão deste trabalho.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família e aos meus amigos, por me ajudarem nos momentos difíceis, colaborando assim para nesta realização.

## **LISTA DE FIGURAS**

Fig. 1 - Motor de propulsão

Fig. 2 - Eixo Propulsor

Fig. 3 - Circuitos de um grupo Diesel-Gerador

Fig. 4 - Sistema de Acionamento Elétrico Integrado

Fig. 5 - Configuração de um Sistema Elétrico

Fig. 6 - Gerador de Eixo

## RESUMO

A fim de discutir os tipos de acionamento dos geradores (vapor, diesel, eixo), será feita uma revisão sobre esse tema visando enfatizar as vantagens e desvantagens de cada um. Em se tratando de uma embarcação, esse estudo procura atender a segurança através da Convenção SOLAS, que tem por propósito a salvaguarda da vida humana no mar. Em outro momento, destaca que o sistema propulsivo de uma embarcação é formado pelos componentes diretamente relacionados à propulsão da embarcação, são eles: motor e propulsor. Também dá importância ao balanço elétrico: deve-se garantir que a demanda energética da embarcação seja suprida em todas as suas condições de operação.

**Palavras-chave:** geradores, energia, segurança.

## **ABSTRACT**

With the purpose of discuss the kinds of generators (steam, diesel, shaft), will be made a review of this theme in order to emphasize the advantages and disadvantages of each. In terms of a vessel, this study tries to understand the security through the International Convention For The Safety Of Life At Sea (SOLAS), which has the purpose the safety of human life at sea. At another point, emphasizes that the propulsive system of a vessel is formed by the components directly related to propulsion of the vessel, they are: motor and propellant. It also gives importance to the electrical balance: It should ensure that the energetic demand of the vessel be supplied in all conditions of operation of the vessel.

**Keywords:** generators, energy, security.



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>11</b>
<i>ENERGIA</i>	11
<i>TIPOS DE ENERGIA</i>	11
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>13</b>
<i>TIPOS DE GERADORES</i>	13
<i>SISTEMAS DE PROPULSÃO E GOVERNO</i>	13
<i>SISTEMA PROPULSOR A VAPOR ROTATIVO</i>	14
<i>GERADOR DE VAPOR (CALDEIRA)</i>	15
<i>SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</i>	16
<i>DIESEL GERADORES</i>	16
<i>SISTEMA PROPULSOR DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVO (MOTOR DIESEL)</i>	19
<i>INSTALAÇÃO DIESEL ELÉTRICA</i>	19
<i>PROPULSÃO ELÉTRICA</i>	20
<i>VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA</i>	24
<i>SISTEMA PROPULSOR DE COMBUSTÃO INTERNA ROTATIVO (TURBINA DE GÁS)</i>	26
<i>INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE SAFETY OF LIFE AT SEA (SOLAS)</i>	27
<i>SISTEMA DE POTÊNCIA ELÉTRICA (SPE)</i>	29
<i>DEMANDA ENERGÉTICA DA EMBARCAÇÃO</i>	31
<i>BALANÇO ELÉTRICO</i>	33
<i>GERADORES DE EIXO</i>	35
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>38</b>

## INTRODUÇÃO

Este trabalho aborda os tipos de geradores, baseados em seus acionadores, tais como: o turbo, o diesel e o gerador de eixo, considerando suas vantagens e desvantagens. A importância do bom funcionamento desses geradores é fundamental tanto para a operação do navio, quanto para a segurança da tripulação.

Quanto à segurança, a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (Convenção SOLAS, de 1974) estabelece os padrões mínimos para a construção de embarcações, para sua dotação de equipamentos de segurança e proteção, para os procedimentos de emergência e para as inspeções e emissão de certificados.

Destaca também os sistemas de propulsão, o sistema de produção e distribuição de energia elétrica, a demanda energética da embarcação e o balanço elétrico. A realização do balanço elétrico é necessária para que se garanta o suprimento de energia da embarcação, mesmo que esta se encontre em sua condição mais crítica. Os geradores são planejados para gerar um volume de carga necessária para colocar em funcionamento vários equipamentos. A operação de um grupo gerador tem riscos que devem ser acautelados, de modo a preservar a segurança dos equipamentos e instalações e das pessoas que operam com os mesmos. Colocar o gerador em uso periodicamente é uma forma correta de preservar o bom funcionamento de um gerador.

# **CAPÍTULO I**

## **ENERGIA**

Toda atividade humana precisa de Energia para que possa ser realizada. Qualquer movimento só é possível se existir energia, em todas as suas formas, disponível.

Desde meados do século XIX, a procura de fontes de energia baratas e o desenvolvimento de sistemas de transformação e de distribuição eficientes tornaram-se fatores decisivos para o progresso e o desenvolvimento econômico dos países industrializados.

Além dos aspectos econômicos, poupar energia é a forma mais rápida e eficaz de reduzir as emissões de gases, originários do efeito estufa, e de melhorar a qualidade do ar.

### **TIPOS DE ENERGIA**

A energia elétrica possui como característica de maior importância a versatilidade de poder ser convertida para corrente contínua (CC) ou alternada (CA), inclusive com diferentes níveis de tensão e de frequência. Esta capacidade de conversão é fundamental para o crescimento das já numerosas aplicações da eletricidade em sistemas e equipamentos a bordo de navios.

Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor

elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico.

Conforme o tipo de energia que é transformada, as máquinas se denominam máquinas térmicas, elétricas etc. A função primária de qualquer instalação de máquinas marítimas é converter a energia, elétrica de um gerador ou químico-térmica de um combustível, em trabalho mecânico passível de ser utilizado na propulsão do navio. Outras funções incluem a produção de energia elétrica visando o governo do navio, a ventilação, refrigeração etc.

## CAPÍTULO II

### TIPOS DE GERADORES

Sob o ponto de vista termodinâmico as máquinas térmicas classificam-se em:

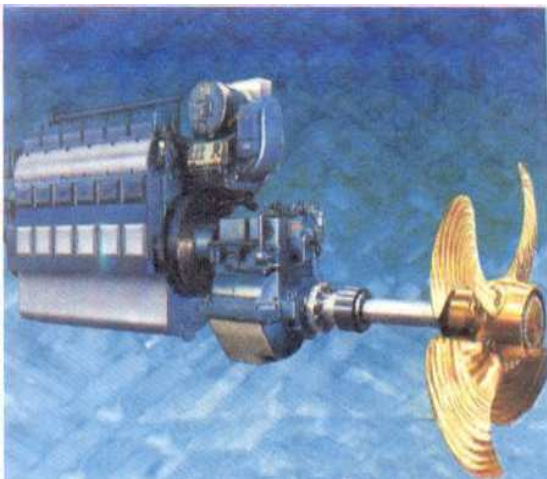
#### *MÁQUINAS DE COMBUSTÃO EXTERNA*

- ALTERNATIVAS (máquina a vapor alternativa)
- ROTATIVAS (turbina a vapor)

#### *MAQUINAS DE COMBUSTÃO INTERNA*

- ALTERNATIVAS (motores Diesel e explosão)
- ROTATIVAS (turbina a gás e motor de explosão rotativo)

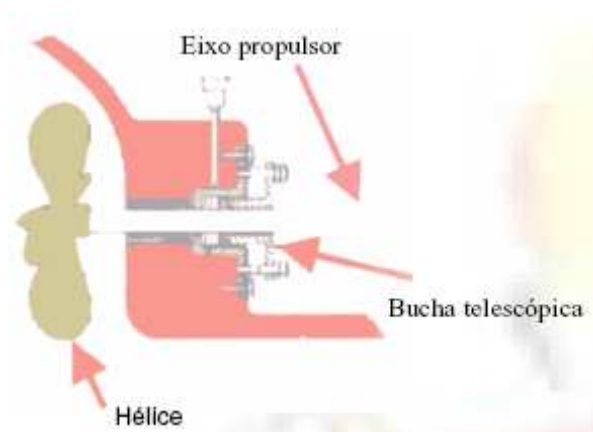
### SISTEMAS DE PROPULSÃO E GOVERNO



*Fig. 1 - Motor de propulsão*

Motor de propulsão - são as máquinas que fornecem energia mecânica à propulsão. As pequenas embarcações em geral são movidas por motores diesel, que transmitem um movimento de rotação a um eixo, que possui um hélice em sua extremidade.

Fig. 2 – Eixo Propulsor



Eixo propulsor – são peças metálicas cilíndricas que servem para transmitir o movimento rotativo do motor ao hélice da embarcação. O eixo é apoiado em mancais que suportam seu peso e o mantém alinhado.

Um mancal muito importante é o da bucha telescópica do eixo que se localiza na abertura do casco por onde o eixo passa para fora da embarcação.

## SISTEMA PROPULSOR A VAPOR ROTATIVO

Este sistema ainda é utilizado em alguns navios de grande porte tais como petroleiros, competindo com os motores Diesel e com as turbinas de gás.

A propulsão a vapor, não conseguiu acompanhar o desenvolvimento do motor Diesel, sobretudo no que se refere à diminuição do consumo específico de combustível, razão pela qual tem sido preterida em favor da solução Diesel, tendo, portanto, diminuído bastante a sua utilização. Contudo, esta forma de propulsão possui algumas vantagens assinaláveis comparativamente com a propulsão a motor Diesel. Uma das vantagens reside no fato do gerador de vapor (caldeiras) poder com facilidade ser adaptado à queima de combustíveis residuais e de muito baixa qualidade, inclusive combustíveis sólidos (por exemplo: carvão pulverizado). Outra vantagem, que também é comum à propulsão por turbinas de gás, é o baixo nível de vibrações e ruído que, no caso dos navios de passageiros assume uma importância particular.

## **GERADOR DE VAPOR (CALDEIRA)**

Do tipo aquatubular (a água circula dentro dos tubos) é constituída por ebulidores inferiores e superiores comunicados através de diversas fileiras de tubos. A circulação da água entre os ebulidores inferiores e superiores pode ser efetuada por circulação forçada – através de bombas -. O vapor saturado produzido no ebulidor superior percorre posteriormente um conjunto de feixes tubulares, denominados por sobreaquecedores, cuja finalidade é transformar o vapor saturado em vapor sobreaquecido – totalmente isento de umidade. É este vapor que será utilizado para o acionamento das turbinas.

O gerador de vapor superaquecido surge como uma unidade separada sendo que, na realidade, este gerador faz, normalmente, parte integrante da caldeira de chama, funcionando como um ebulidor secundário colocado sobre o ebulidor primário (caldeira de dupla pressão). O vapor do sistema primário da caldeira de chama é condensado no gerador de vapor, passando por gravidade, na forma de água para o ebulidor primário. A água do gerador de vapor é aspirada para a secção de vaporização da caldeira recuperativa e uma mistura de água e vapor retorna ao ebulidor secundário.

O ebulidor secundário da caldeira de chama, situado, na maioria dos casos, dentro da própria caldeira, opera como gerador de vapor. Ele recebe o calor da caldeira recuperativa na forma de água preaquecida proveniente do economizador e na forma de vapor produzido na secção de vaporização, e ainda na forma de vapor gerado no ebulidor da caldeira de chama, que se vai condensar num permutador submerso, situado no interior do gerador de vapor.

## **SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Os sistemas de produção e distribuição de energia elétrica a bordo destinam-se a garantir a energia elétrica necessária ao funcionamento de todas as máquinas elétricas existentes a bordo, bem como para fornecer energia para aquecimento, iluminação etc.

Os equipamentos de produção são constituídos por duas partes básicas: Mecânica (máquina motriz) e Elétrica (gerador). Independentemente de outras opções que possam existir, em regra, a energia elétrica a bordo pode ser produzida a partir de Diesel geradores, turbo geradores e/ou geradores acoplados ao motor principal.

A parte elétrica (gerador), tanto pode ser constituída por um dínamo como por um alternador, consoante para a produção de corrente contínua ou corrente alternada.

Geralmente, salvo casos específicos, a produção de energia elétrica é produzida por alternadores. Desta forma, quando nos referimos a grupos geradores estamos pensando em tensão alternada trifásica.

### **DIESEL GERADORES**

Os Diesel geradores são geralmente motores de média rotação acoplados a geradores de energia. Estes são responsáveis pela geração de energia para suprir principalmente a demanda dos motores elétricos dos azimutais e dos propulsores de proa (*bowthruster* ou



*transverse thrusters*), além de atender a demanda dos equipamentos a bordo e das necessidades da superestrutura.

A figura abaixo representa os diversos sistemas associados a um grupo Diesel-gerador, podendo-se verificar a existência dos seguintes circuitos:

- Alimentação de combustível
- Ar de sobrealimentação
- Água doce de circulação
- Água do mar de refrigeração
- Óleo de lubrificação
- Ar de arranque

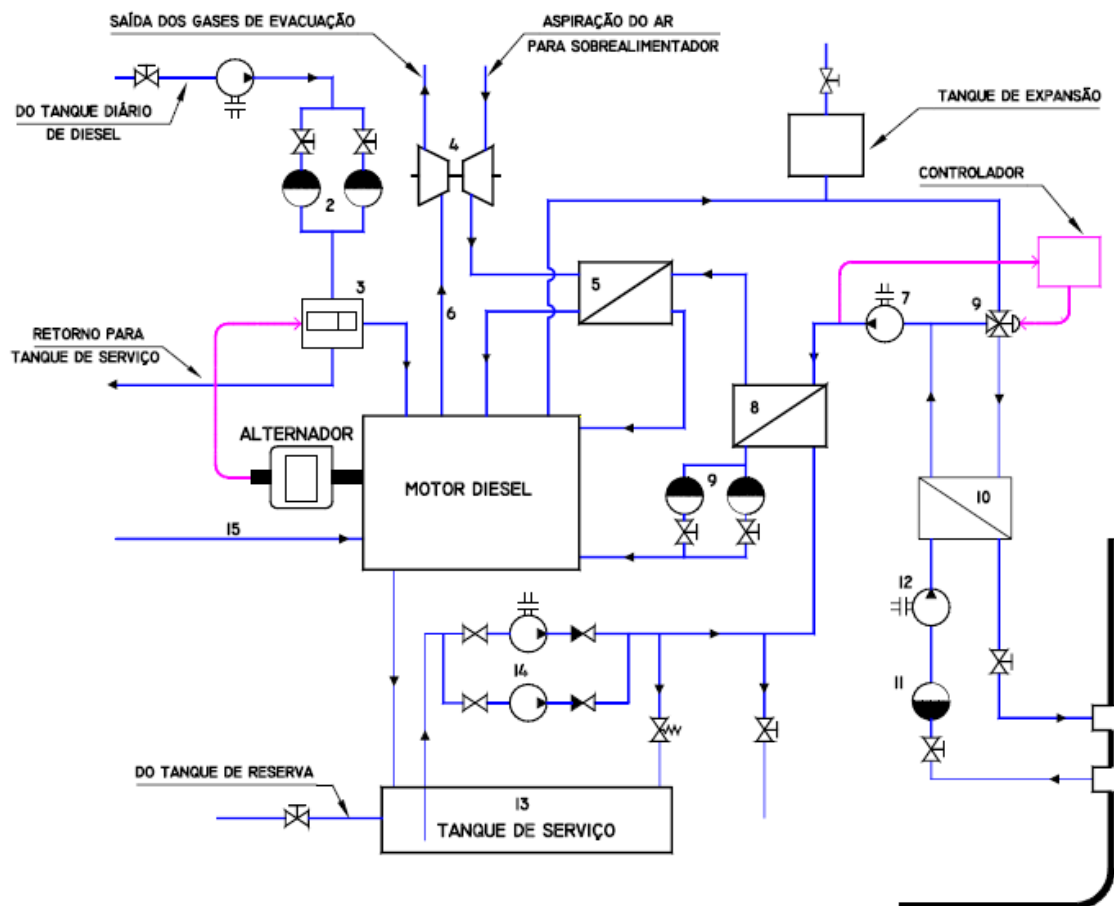


Fig. 3 - Circuitos de um grupo Diesel-Gerador

O motor Diesel é alimentado com Diesel Oil (Marine Diesel). O combustível é aspirado dos tanques de serviço (tanques diários de D.O.), por uma bomba acoplada ao motor (1), sendo depois filtrado (2) e enviado para o coletor que alimenta as bombas de injeção. O controle destas bombas é efetuado por um regulador de velocidade (3) para manter constante o número de rotações do motor, e em consequência a frequência da corrente elétrica produzida, independentemente das flutuações de carga (potência elétrica consumida pelos diversos equipamentos do navio). O combustível em excesso retorna ao tanque de serviço de D.O.

O ar de sobrealimentação do motor é aspirado da casa da máquina pelos sobrealimentadores (4) e enviado para o coletor de ar de lavagem depois de arrefecido nos respectivos arrefecedores (5). Os sobrealimentadores são constituídos por um compressor de ar acoplado a uma turbina montada no mesmo veio e acionada pelos gases de evacuação do motor (6).

No sistema representado a água doce de circulação (circuito fechado) descreve o seguinte percurso: É aspirada pela bomba acoplada (7), passa pelo arrefecedor de óleo de lubrificação (8), atravessa o arrefecedor de ar de lavagem (5) e entra no motor. A água que sai do motor vai passar na válvula termostática (9) que, em função da temperatura medida na descarga da bomba de circulação, controla a sua passagem pelo arrefecedor (10). Quando a temperatura da água na descarga da bomba tem tendência a aumentar, a válvula termostática de 3 vias faz com que o caudal de água que passa pelo arrefecedor aumente de forma a manter constante as temperaturas de funcionamento do motor, do óleo de lubrificação e do ar de sobrealimentação.

O circuito de água do mar é, como se pode ver, bastante reduzido. A água é aspirada do mar através de filtros (11) pela bomba acoplada (12) e enviada para a borda depois de passar pelo arrefecedor de água de circulação (10).

Em funcionamento normal o óleo de lubrificação é aspirado do cárter ou do tanque de serviço (13) pela bomba acoplada (14). A válvula de alívio (15) permite regular a pressão do óleo de lubrificação no circuito. O óleo passa pelo arrefecedor (8) e depois de filtrado (9) entra no motor, lubrificando os diferentes componentes.

## **SISTEMA PROPULSOR DE COMBUSTÃO INTERNA, ALTERNATIVO (MOTOR DIESEL)**

O sistema propulsor de combustão interna (Motor Diesel) é constituído por:

- Utilizador (motor Diesel)
- Transmissor (engrenagens e/ou linha de veios)
- Propulsor (hélice)

## **INSTALAÇÃO DIESEL ELÉTRICA**

Entende-se por propulsão Diesel elétrica (DE) um sistema constituído por um gerador elétrico acionado por um motor Diesel, que fornece energia para um motor elétrico, o qual aciona o hélice.

A principal característica do sistema Diesel elétrico é o controle da velocidade da embarcação pelo controle da rotação dos motores elétricos. Basicamente, uma instalação propulsora Diesel elétrica é composta pelo conjunto Diesel gerador, conversores de frequência, motores elétricos, engrenagem redutora, quando necessário, eixos e propulsores.

Em relação às vantagens apresentadas à propulsão Diesel elétrica, LAUKIA (1995) aponta:

- Redução do espaço de maquinaria;
- O sistema pode ser empregado em diversos tipos de embarcações;
- Excelente condição de manobrabilidade, inclusive em baixas velocidades, pois os propulsores podem ser dirigidos para todas as direções;
- Redução no consumo de combustível;
- Sistema com alto nível de confiabilidade; pode ser instalado no último estágio da construção, algumas semanas antes do lançamento.

## **PROPULSÃO ELÉTRICA**

Entende-se por Propulsão Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um motor elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico.

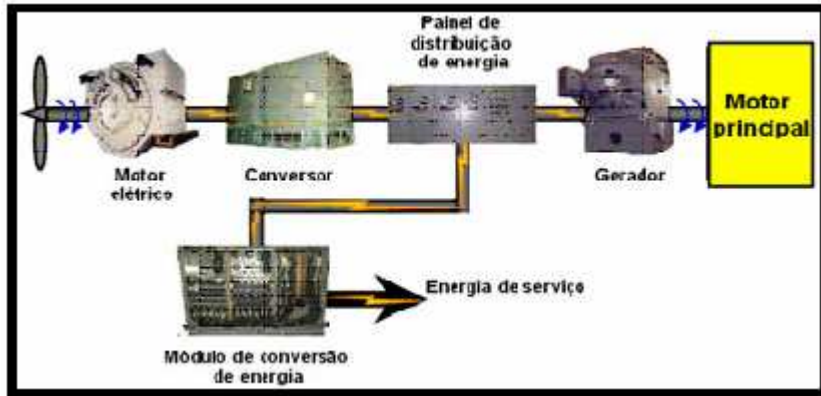
No Sistema de Propulsão Elétrica, ao invés de dois sistemas de potência separados, cada um com sua limitação de carga específica, passa-se a dispor de uma capacidade de

geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda.

Os motores elétricos normalmente possuem um grande número de pólos e podem ser conectados diretamente, ou por meio de uma engrenagem redutora, ao hélice. Estes motores podem ser de corrente contínua ou de corrente alternada, do tipo síncrono ou de indução. A capacidade e as características dos equipamentos são aquelas definidas pelos projetistas, e a modularidade do sistema permite que, em altas velocidades, sejam utilizados todos os motores e nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários (FONSECA, 2002).

ARPIAINEN *et al.* (1993) apresenta os benefícios do emprego deste sistema em navios quebra-gelos. As principais vantagens deste sistema são: maior torque em baixas rotações e sistemas de transmissão mais suave. SOLER & MIRANDA (1997) apresenta como vantagem relacionada com a propulsão elétrica à minimização dos custos de manutenção, operação e combustível. Na questão da manobrabilidade, HANSEN & LYESBO (2004) explica que a propulsão DE proporciona vantagens para o navio, principalmente nas manobras de parada brusca. Isto ocorre pelo fato do motor elétrico proporcionar um melhor controle da rotação do hélice e mudar rapidamente o sentido da rotação, o que reduz o tempo e a distância de parada. Estudos realizados com navios de grande porte, que utilizam propulsão elétrica, demonstraram uma redução de 30% a 50% na distância de parada em caso de emergência em relação à propulsão convencional (ABB, 2002).

Portanto, o conceito de Propulsão Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares (Figura abaixo).



*Fig. 4 - Sistema de Acionamento Elétrico Integrado*

Um Sistema de Propulsão Elétrica Integrada (IFEP) é composto de duas turbinas a gás que trabalham como dispositivos de acionamento principal de dois geradores elétricos, que fornecem a energia elétrica para dois equipamentos conversores fazerem o acionamento elétrico de dois Motores de Indução Avançado (AIM), que por sua vez, acionarão os hélices que movimentam o navio. A duplicidade de equipamentos é uma característica extremamente desejável em plantas de navios militares, pois a elevada confiabilidade é requisito imprescindível nos meios navais.

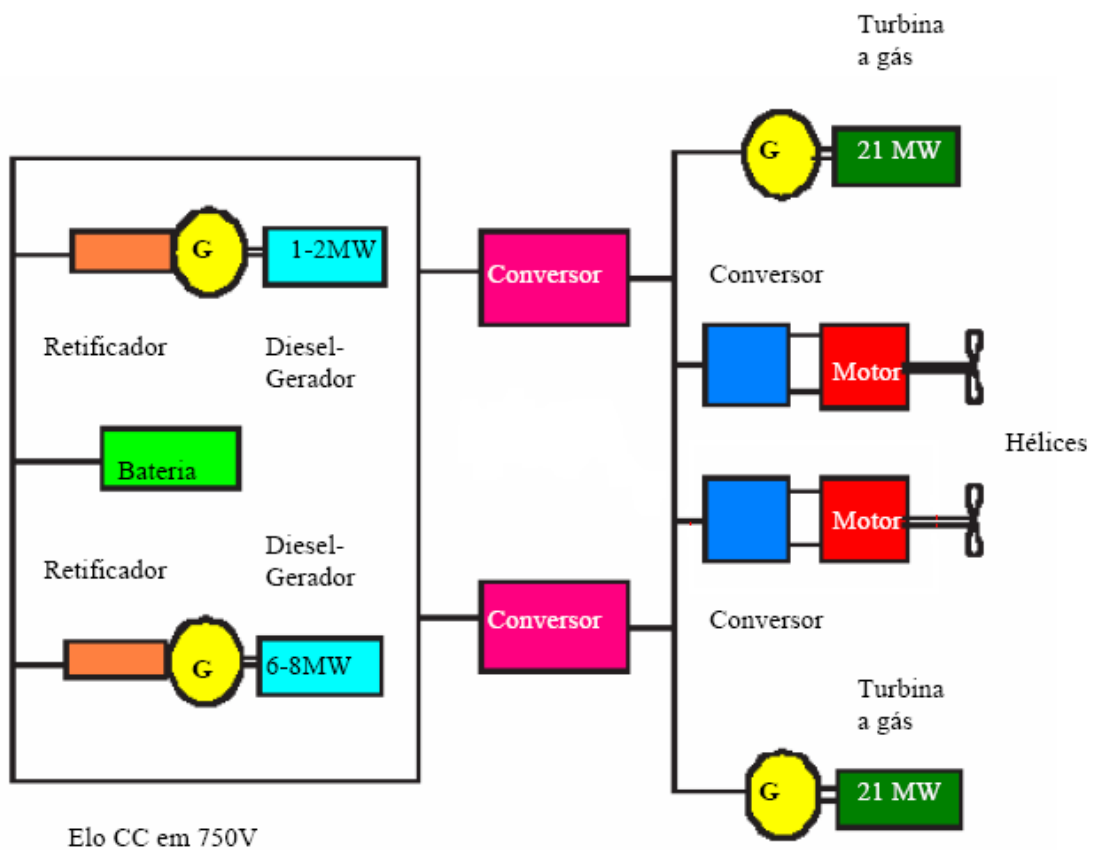


Fig. 5 - Configuração de um Sistema Elétrico

A integração deste barramento com o elo em corrente contínua (CC) em 750 V, ocorre por intermédio de dois retificadores/conversores de energia. O elo em corrente contínua possui dois motores diesel geradores de potências nominais mais baixas (1-8MW), que acionam os geradores para produzir energia elétrica para o consumo nos sistemas de bordo. Quando atracado no porto estes diesel geradores atendem plenamente as demandas reduzidas de bordo.

As baterias são projetadas para atender as cargas vitais de bordo, nos períodos em que o sistema de alimentação principal do navio está avariado.

## VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

- **Redução do Consumo de Combustível** - 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.
- **Redução da Tripulação** - A tendência para os futuros de propulsão elétrica navios 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.
- **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. Conseqüentemente os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado 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.



- Aumento da Vida Útil do Navio - 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. Os navios projetados com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.
  
- Redução dos Custos de Manutenção – Os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores de manutenção, e, devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditivas e preventivas são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.
  
- Redução da Emissão de Poluentes - Atualmente todas as Marinhas do mundo são pressionadas pelos órgãos ambientais para que, em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das suas operações. 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. 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

consequentemente 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.

## **SISTEMA PROPULSOR DE COMBUSTÃO INTERNA, ROTATIVO (TURBINA DE GÁS)**

A turbina a gás desempenha hoje um papel extremamente importante como equipamento acessório da propulsão Diesel. Em contraste com os sistemas de propulsão a vapor de elevado peso, ocupando grande espaço e exigindo um grande número de equipamentos auxiliares, a turbina de gás é uma unidade menor, leve e de grande simplicidade. É nestas características que residem as principais vantagens das instalações a turbinas a gás.

A evolução da tecnologia proporcionou maior contribuição da eficiência das turbinas a gás, como também a disponibilidade crescente de gás natural, com preços mais acessíveis, tem favorecido muito a implantação de sistemas de geração a partir de turbinas a gás (BARROS, 1998).

O sistema propulsor de combustão interna rotativo (turbina de gás) é constituído essencialmente por:

- GERADOR - É o órgão que tem por função gerar o gás que alimenta a turbina, sendo constituído pelo Compressor de Ar e pela Câmara de Combustão.

- UTILIZADOR (turbina a gás) - É constituído pela turbina de gás, a qual tem por funções impulsionar o compressor de ar, normalmente montado no mesmo veio desta e o propulsor ou hélice.

- TRANSMISSOR (engrenagens e linha de veios) - É idêntico ao utilizado pelo sistema propulsor a vapor.

- PROPULSOR (hélice) - Possuem a vantagem, quando de passo variável, de permitir mudanças de velocidade e sentido de marcha sem variação do número de rotações ou sentido de rotação do veio motor, sendo inclusive possível, quando as pás se encontram na posição neutra, manter o veio rodando sem imprimir qualquer deslocamento ao navio.

## **INTERNATIONAL CONVENTION FOR THE SAFETY OF LIFE AT SEA (SOLAS)**

Assinada em 30 de Janeiro de 1914 por vários representantes de nações marítimas, a conferência definiu os requisitos mínimos para embarcações de passageiros relativamente a equipamento de salvamento a bordo e de transmissões. Uma segunda conferência teve lugar em Londres, a 16 de Abril de 1929, na qual participaram representantes de 18 nações. Nesta, alargaram-se as medidas de segurança aos navios de carga e acrescentou-se a proteção contra incêndios nos navios. Em 1933 a convenção foi ratificada e o SOLAS entrou em vigor pela primeira vez.

Incêndios e outros acidentes ocorridos em alguns navios de passageiros provaram que as medidas em vigor eram insuficientes. Na terceira convenção do SOLAS, em 1948, foram adaptadas três resoluções, propostas das medidas que a Inglaterra, os Estados Unidos e a França tinham então, acrescidas de outros pormenores. Esta revisão, conhecida por SOLAS 48, entrou em vigor a 19 de Novembro de 1952.

Em 1960, numa nova conferência, o SOLAS 48 foi revisto e algumas alterações efetuadas, no que resultou o SOLAS 60, que entrou em vigor em 26 de Maio de 1965. Em Novembro de 1966, especialistas de 46 países propuseram alterações e algumas emendas nas normas existentes, nomeadamente na proteção aos incêndios a bordo. Em navios construídos sob as normas de 48, envolveu por vezes alterações nas estruturas.

O SOLAS 74 entrou em vigor em 25 de Maio de 1980 e foi incorporando várias alterações sobre segurança. A todos quatro anos o sistema é alterado e revisto, tendo em conta a evolução nesta área de segurança no mar.

As especificações do SOLAS resultam de um extenso documento com especificações em matéria na área de segurança marítima:

- Estruturas, estabilidade, motores, instalações elétricas;
- Proteção contra incêndios, meios de detecção e extinção;
- Salvamento (treinos, procedimentos, equipamento, etc.);
- Comunicações rádio (instalações, equipamento, energia, operadores, etc.);
- Segurança da navegação, carga, transporte de carga perigosa;
- Navios nucleares, navios de alta velocidade;
- Medidas especiais para melhorar a segurança marítima.

Esta convenção estabelece requisitos para projeto, construção e manutenção durante a fase de operação das embarcações, abrangendo as disciplinas de materiais para a construção estrutural, compartimentação e estabilidade, propulsão e equipamentos vitais, instalações

elétricas, salvamento, proteção contra incêndio, comunicações, sistemas de governo, navegabilidade etc.

Trata-se do conjunto de requisitos mais abrangente até hoje elaborado, e determina padrões mínimos de segurança operacional. O propósito do SOLAS é a salvaguarda da vida humana no mar, para isto ele é abrangente em todos os requisitos que tem consequência direta nesta manutenção.

A idéia do SOLAS é salvar vidas, mas para isto é consenso que o modo mais seguro para atingir este objetivo é evitar que a embarcação afunde, ou seja, a idéia é que a própria embarcação é o local mais seguro para as pessoas e, conseqüentemente, sendo possível, salvando a embarcação, as pessoas estariam protegidas da melhor forma possível.

As Plataformas não autopropulsionadas não possuem certificado SOLAS, mas nem por isto seus requisitos não são aplicáveis, pois, em substituição ao SOLAS, as plataformas possuem o MODU-CODE, que faz referência, e torna obrigatório, ao cumprimento de muitos itens da convenção SOLAS.

## **SISTEMA DE POTÊNCIA ELÉTRICA (SPE)**

O sistema de potência elétrica inclui a geração principal e a de emergência, os sistemas de distribuição em corrente contínua e corrente alternada e a fonte transitória de energia elétrica, composta por baterias de acumuladores e equipamentos de UPS.

O SPE é composto de três fontes de energia elétrica:

1. Geração principal;
2. Geração de emergência;
3. Sistema UPS – *Uninterruptible Power Supply*.

Cabe salientar que a alimentação de cargas não emergenciais através da geração de emergência é permitida apenas em caráter excepcional e por curtos períodos, conforme SOLAS (2002). As cargas de emergência energizadas mesmo no caso de falha do sistema de geração de emergência são supridas pelo sistema UPS, fonte transitória de energia elétrica (baterias).

O sistema de potência elétrica tem como objetivo alimentar eletricamente as cargas da unidade segundo as seguintes definições:

a) Cargas essenciais – São as cargas definidas como “serviços essenciais para segurança” na *I-ET-Maritime production installation safety philosophy* (2006), e definidas como cargas de emergência pelo IMO MODU CODE (2001) e pelas regras das Sociedades Classificadoras.

b) Cargas de emergência – São as cargas definidas como “serviços de emergência” na *I-ET-Maritime Production Installation Safety Philosophy* (2006) devem permanecer energizadas pela fonte transitória de energia elétrica (baterias), após falha do sistema de geração de emergência.

c) Cargas normais – São as alimentadas somente a partir do sistema de geração principal, não sendo classificadas como cargas essenciais ou de emergência.

## **DEMANDA ENERGÉTICA DA EMBARCAÇÃO**

Deve fornecer a potência necessária para que todos os sistemas operem de forma plena, garantindo suas funcionalidades.

Uma verificação da demanda energética da embarcação é feita em duas etapas: inicialmente calcula-se a demanda de sistemas como: ventilação, praça de máquinas, oficinas, sistemas de auxílio à navegação, etc.

Após isso se acrescenta a demanda energética dos equipamentos do sistema de manutenção de carga. A soma dessas duas contribuições representa a demanda energética total da embarcação.

Os geradores de energia devem fornecer potência para os elementos consumidores de energia para o objeto de projeto. Dentro destes elementos, os principais que devem ser considerados são citados abaixo:

- Sistema propulsivo (propulsores azimutais);
- Sistema de posicionamento dinâmico;

Embora a definição da forma contribua para o desempenho hidrodinâmico, o sistema propulsivo e o sistema de posicionamento dinâmico são os reais elementos funcionais responsáveis pelo deslocamento e manobrabilidade da embarcação respectivamente. A definição destes dois sistemas, na verdade torna-se apenas um, pois dentre os elementos responsáveis pelo deslocamento do navio, os propulsores azimutais também fazem parte.

Logo, o dimensionamento deste sistema deve satisfazer dois requisitos básicos, sendo: garantir a velocidade de serviço desejada e atender ao nível de manobrabilidade exigido.

As possibilidades de produção de energia são as mais diversas possíveis, dentre elas, as principais consideradas para uma embarcação são: motor diesel elétrico e turbo geradores, a partir dos gases de descarga do motor.

A tabela abaixo mostra os resultados obtidos para cada condição e a respectiva demanda energética.

GRUPO	CLASSIFICAÇÃO	N O M A R		EM MANOBRA	CARGA E DESCARGA	NO PORTO FUNDEADO
		ESSENCIAL	NORMAL			
1	Praça de Máquinas (serviço contínuo)	316,4	467,0	452,7	335,8	335,2
2	Praça de Máquinas (serviço intermitente)	23,0	82,1	86,6	64,7	31,0
3	Praça de Máquinas (diversos)	13,0	22,9	499,9	499,9	0,9
4	Ar condicionado / Ventilação / Aquecimento	0,0	125,3	124,3	123,3	123,3
5	Frigoríficas de Provisões (equipamentos)	12,6	15,3	15,3	15,3	15,3
6	Frigoríficas de Carga (equipamentos)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Máquinas de Convés	5,6	5,6	33,8	3,5	0,0
8	Cozinha / Copa	0,0	37,8	37,8	37,8	37,8
9	Lavanderia	0,0	19,2	0,0	19,2	19,2
10	Oficinas	0,0	7,8	0,0	9,5	9,5
11	Iluminação	73,5	73,5	98,0	98,0	98,0
12	Equipamentos Náuticos e de Auxílio à Navegação	6,6	8,1	8,4	5,7	5,4
<b>TOTAL DOS GRUPOS</b>		<b>450,6</b>	<b>864,5</b>	<b>1356,7</b>	<b>1212,6</b>	<b>675,6</b>

Geradores Disponíveis	Model OB750D-DW63		800	x	x	x	x	x
	Model OB750D-DW63		800		x	x	x	
	5L16/24 G. Emerg. - Cap. (kw):		500					
<b>CAPACIDADE TOTAL DOS GERADORES</b>				<b>800,0</b>	<b>1600,0</b>	<b>1600,0</b>	<b>1600,0</b>	<b>800,0</b>
<b>PERCENTUAL DA CARGA DISPONÍVEL</b>				<b>43,7</b>	<b>46,0</b>	<b>15,2</b>	<b>24,2</b>	<b>15,5</b>

Deve-se garantir que a demanda de energia elétrica da embarcação seja suprida em todas as condições de operação da embarcação.

A demanda energética deve ser suprida analisando a capacidade de produção de potência a partir dos elementos geradores de energia. É recomendado deixar uma margem de segurança, garantindo a redundância nos equipamentos de geração de energia.

Elementos de síntese que sustentabilizam a análise do Suprimento Energético:

- Praça de máquinas;
- Sistema propulsivo e posicionamento dinâmico (Demanda Energética);



- Arranjo Geral e
- Superestrutura (Demanda energética).

## **BALANÇO ELÉTRICO**

A realização do balanço elétrico é de extrema importância para que se garanta o suprimento de energia da embarcação, mesmo que esta se encontre em sua condição mais crítica. Através deste procedimento, será verificado se os *MCAs* - *motor de combustão auxiliar* (gerador) - estimados através de embarcações semelhantes irão permanecer, ou se o sistema de geração de energia deverá ser selecionado novamente.

Sabe-se de antemão que o sistema de posicionamento dinâmico será responsável por um acréscimo na demanda de energia que representa um valor muito acima do necessário ao funcionamento normal da embarcação.

O sistema de geração de energia do posicionamento dinâmico será tratado como um sistema independente do sistema de geração de energia dos demais consumidores do navio. No entanto, isso não exclui o fato de que um sistema possa estar conectado ao outro no caso de uma eventualidade.

O procedimento para se calcular a potência requerida por uma embarcação, e conseqüentemente selecionar os geradores, consiste em se realizar a soma de todos os consumidores elétricos a bordo, levando em consideração a simultaneidade de funcionamento dos mesmos.

Esse fator de simultaneidade é analisado de acordo com a condição de operação do navio como: em navegação, em manobra, durante a carga e descarga, nas operações junto ao porto e durante a limpeza de tanques.

Para a realização do balanço elétrico, utilizou-se uma planilha (Versão Eletrônica - Balanço Elétrico – Lorex III. xls) onde cada equipamento consumidor de energia elétrica foi separado em grupos de acordo com a sua localização.

Esses grupos são: a praça de máquinas (serviço intermitente), praça de máquinas (serviço contínuo), praça de máquinas (diversos), ar condicionado/ventilação/aquecimento, frigoríficas de provisões, máquinas de convés, cozinha/copa, lavanderia, oficina, iluminação e outros equipamentos.

## GERADORES DE EIXO



*Fig. 6 – Gerador de Eixo*

Durante a década de 1980 o uso de geradores de eixo em conjunto com motores diesel de dois tempos, rapidamente se tornou um popular método de produção de energia elétrica para os diversos consumidores de eletricidade a bordo de navios.

Referências mostram que um número de armadores ainda considera que um gerador de eixo pode ser um investimento atrativo, por exemplo, em navios de contentores, navios de produtos, e navios aliviadores.

O eixo do gerador é conectado ao motor principal por um acoplamento flexível para poder suportar as vibrações do motor.

### *VANTAGENS*

- Espaço: Ocupa um menor espaço, pois é instalado próximo ao motor e, normalmente, esse lugar já foi reservado para o próprio motor;
- Como são acionados pelo motor principal são confiáveis;

- Manutenção: Durante os primeiros anos de operação, só deve observar se o funcionamento está correto e a troca do óleo lubrificante. Além disso, existe o baixo custo com as peças de reposição;
- Durabilidade; Baixo nível de ruído; Significativa redução de custos de combustível.

#### *DESVANTAGENS*

- Sem a produção de energia no porto: o consumo de energia elétrica em geral tem que ser suprido por outro tipo de gerador;
- A carga no motor principal, o consumo de óleo combustível específico e o consumo de óleo do cilindro aumentam quando o gerador de eixo está operando;
- A instalação de um gerador de eixo ao MCP, devido ao fato de necessitar da instalação de engrenagens e acoplamentos flexíveis no motor diesel de dois tempos.

## CONCLUSÃO

A finalidade do trabalho foi mostrar as diversas maneiras de geração de energia elétrica a bordo. Existem vários tipos de geradores, cada um com sua vantagem e desvantagem em relação ao outro. A escolha do tipo de gerador vai depender do tipo de embarcação, do tamanho da mesma e do armador.

A demanda energética deve ser suprida analisando a capacidade de produção de potência a partir dos elementos geradores de energia.

As especificações do SOLAS resultam de um extenso documento com especificações diversa na área de segurança marítima: Estruturas, estabilidade, motores, instalações elétricas; Proteção contra incêndios, meios de detecção e extinção; Salvamento (treinos, procedimentos, equipamento, etc.); Comunicações rádio (instalações, equipamento, energia, operadores, etc.); Segurança da navegação, carga, transporte de carga perigosa; Navios nucleares, navios de alta velocidade; medidas especiais para melhorar a segurança marítima.

A indústria naval mundial tem incentivado o desenvolvimento de novos materiais para atender aos seus requisitos de produtividade e qualidade, os quais se mostram cada vez mais exigentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASEA BROWN BOVERI – ABB, **Reliable marine propulsion**. 3BFV000245R01 REV E © ABB Oy, Marine and Turbocharging, ADAMS OY/F.G. Lönnberg. 2002. Disponível em: <[www.abb.com/marine](http://www.abb.com/marine)>

ARPIAINEN, M.; JUURMAA, K.; LAUKIA, K.; NIINI, M.; JARVINEN, K., NOBLE, P., **Naval Architecture of Electric Ships – Past, Present and Future**, SNAME Transactions, Vol. 101, pp. 583-607, 1993.

BARROS, F. S. **Análise das condições de operação de turbinas a gás industriais utilizando biomassa gaseificada**, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, EFEI, Agosto, 1998.

FONSECA, M. M. **Arte Naval**. Rio de Janeiro. 6ª ed, 23 – 24. 2002.

HANSEN, J.F.; LYSEBO, R., **Electric Propulsion for LNG Carriers**. LNG Journal, pp. 12, Setembro, 2004.

LAUKIA, K., The Azipod System – Operational Experience and Designs for the Future. The Institute of Marine Engineers, Paper 5, **Electric Propulsion The Effective Solution?**, October, 1995.

SOLAS (2002): **International Convention for the Safety of Life at Sea**, International Maritime Organization, London.

SOLER, A.L.R.; MIRANDA, S. L. C., **Sistema Elétrico de Propulsão Naval**. Relatório Final, EPUSP, 1997.