

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA**

**RAFAEL ANGELO DE MAMAN**

**GÁS NATURAL LIQUEFEITO, ENERGIA EÓLICA E ENERGIA SOLAR**  
**APLICADAS NA MARINHA MERCANTE**

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**RAFAEL ANGELO DE MAMAN**

**GÁS NATURAL LIQUEFEITO, ENERGIA EÓLICA E ENERGIA SOLAR  
APLICADAS NA MARINHA MERCANTE**

Monografia apresentada ao Curso de aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: MSc Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

**RIO DE JANEIRO**

**2015**

**RAFAEL ANGELO DE MAMAN**

**GÁS NATURAL LIQUEFEITO, ENERGIA EÓLICA E ENERGIA SOLAR  
APLICADAS NA MARINHA MERCANTE**

Monografia apresentada ao Curso de aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

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

Orientadora: MSc Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

---

Assinatura do Orientador

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

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Tabela do preço do óleo pesado IFO 380 no porto do Rio de Janeiro .....	2
Figura 1.2 – Gases do efeito estufa a provocarem aquecimento global .....	3
Figura 2.1 – Tabela do preço de GNL no terminal de Louisiana .....	6
Figura 2.2 – Navio Stavagerfjord .....	8
Figura 2.3 – Esquema da praça de máquinas do navio Stavagerfjord .....	8
Figura 3.1 – Tipos de propulsão eólica .....	9
Figura 3.2 – Levantamento da torre da vela num mastro da proa .....	10
Figura 3.3 – Abertura da vela, tipo kite, ainda na altura do mastro .....	11
Figura 3.4 – Vela, tipo kite, já com o cabo solecado em modo normal de operação .....	11
Figura 3.5 – Vela, tipo kite, com o navio já navegando em velocidade de cruzeiro .....	12
Figura 3.6 – Navio E-Ship com suas quatro turbinas do tipo Flettner .....	13
Figura 3.7 – Ferry Hornblower Hybrid com duas turbinas do tipo Savonius .....	14
Figura 4.1 – Tabela da ascendência da produção de células fotovoltaicas, em GW, analisada anualmente .....	15
Figura 4.2 – Modelo padrão da utilização de células fotovoltaicas em embarcações .....	17
Figura 4.3 – Navio Auriga Leader .....	18
Figura 5.1 – Diagrama elétrico, da parte de força, da embarcação Hornblower Hybrid .....	20

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	i
SUMÁRIO .....	ii
JUSTIFICATIVA .....	1
1. INTRODUÇÃO .....	2
2. GÁS NATURAL LIQUEFEITO .....	4
3. ENERGIA EÓLICA .....	8
4. ENERGIA SOLAR .....	15
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21

## JUSTIFICATIVA

Nos últimos quinze anos houve um aumento nas preocupações ambientais visando reduzir o excesso de poluição que os combustíveis fósseis lançam diariamente na atmosfera. (LINDSTAD et al., 2011) Além do efeito estufa, que está contribuindo com o aquecimento global, há todos os fatores sanitários envolvidos, por exemplo, as doenças respiratórias que a emissão de gases provenientes da combustão de hidrocarbonetos podem causar nos seres humanos.

Embora não muito comentado pela mídia, navios contribuem significativamente com o lançamento de gases nocivos, principalmente pelo fato de que por muitas vezes os navios navegam/transitam próximos da costa, gerando dessa maneira muitas emissões de gases nas cidades litorâneas (MOLDANOVÁ et al., 2009; EYRING et al., 2010).

Devido tanto a retomada do aumento do preço do combustível nos últimos anos após uma brusca queda ([www.bunkerindex.com/prices/](http://www.bunkerindex.com/prices/)), causado pelo início da escassez do mesmo, quanto pela preocupação recorrente com as questões ambientais no mundo há uma necessidade de se começar a investir em outras tecnologias que possam suprir a necessidade da utilização de motores a combustão ou de pelo menos diminuir o seu consumo. Para isso há um aumento gradual na utilização de variadas fontes de energia renováveis em navios.

Serão apresentadas nesta monografia três fontes de energia alternativas a queima de óleo combustíveis utilizadas em navios, que são o gás natural liquefeito (GNL), a energia eólica e a energia solar. Ao longo da explanação de cada tecnologia, serão apresentados casos práticos de navios que trabalham com fontes alternativas de energia concomitantemente com a fonte habitual de energia (combustão de hidrocarbonetos), que são chamados de navios híbridos.

Esta pesquisa destina-se a apresentar como funcionam as embarcações híbridas atualmente na marinha mercante, bem como explicar como as qualidades de se utilizar GNL na propulsão de navios. Com isso, será possível identificar todas as melhorias que essas fontes de energia são capazes de fornecer tanto ao meio ambiente quanto para a saúde da população, através de menos emissões de gases para a atmosfera.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos dois fatores em especial têm feito os armadores procurarem reduzir o consumo de óleo combustível fóssil. Esses fatores são: custo e meio ambiente.

Navios de grande porte tem um consumo de combustível muito elevado podendo atingir cerca de 10 toneladas de óleo pesado por hora. De acordo com o Index Bunker (2015) o preço da tonelada de óleo pesado da qualidade IFO380 chegou a U\$235,00 por tonelada no Rio de Janeiro. Para um navio que consome 10 toneladas de óleo pesado por hora, chega-se ao valor de U\$56.400,00 por dia. Logo, objetiva-se a redução desse custo ao máximo.

Figura 1.1 – Tabela do preço do óleo pesado IFO 380 no porto do Rio de Janeiro



**Rio de Janeiro, Brazil** 🇧🇷  
Daily Port Prices

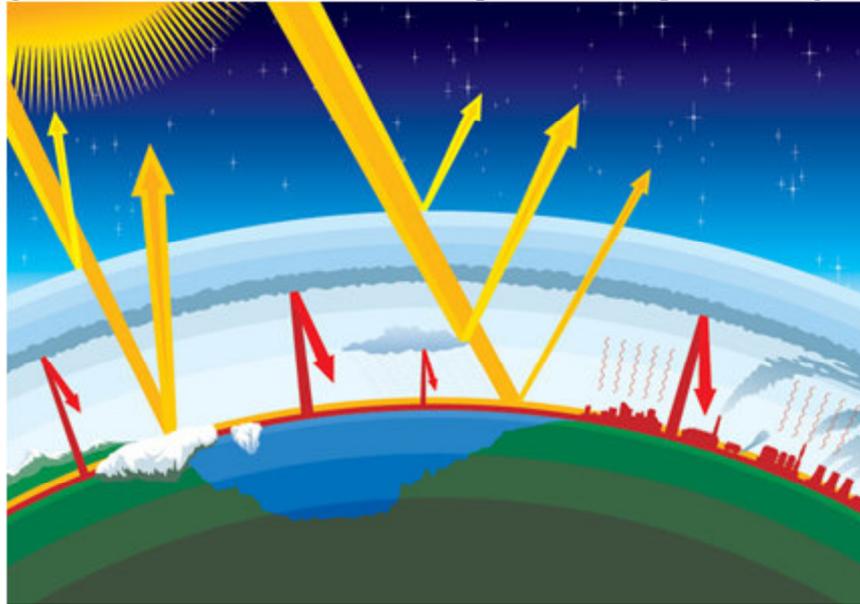
### IFO 380 - IFO 180 - MGO

<i>Date</i>	<i>Price \$/MT</i>	<i>+/-</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>Del.</i>
2015-08-21	235.00	↓ -8.00	235.00	236.00	D
2015-08-20	243.00	↓ -6.00	243.00	244.00	D
2015-08-19	249.00	▶ 0.00	249.00	250.00	D
2015-08-18	249.00	▶ 0.00	249.00	250.00	D
2015-08-17	249.00	↓ -8.00	249.00	250.00	D
2015-08-14	257.00	↓ -3.00	257.00	258.00	D
2015-08-13	260.00	↓ -6.00	260.00	261.00	D
2015-08-12	266.00	▶ 0.00	266.00	267.00	D
2015-08-11	266.00	↑ +3.00	266.00	267.00	D
2015-08-10	263.00	▶ 0.00	263.00	264.00	D

Fonte: Index Bunker, 2015

Já no quesito ambiental, a queima do óleo pesado libera para a atmosfera os mais diversos tipos de poluentes, tais como óxido nitroso, óxido sulfuroso e gás carbônico.

Figura 1.2 – Gases do efeito estufa ao provocarem aquecimento global



Fonte: Fogaça, 2012

Com base nos problemas ambientais, causados pela queima de combustíveis fósseis, a IMO (International Maritime Organization) criou uma norma, em 10 de outubro de 2008, objetivando a redução na emissão dos gases poluentes. Com essa norma a IMO impôs maiores restrições aos níveis máximos tolerados para emissão de óxido nitroso, óxido sulfuroso e de gases que podem afetar a camada de ozônio.

Para que os navios se adequem a norma IMO, há um aumento nos gastos com combustível, pois surge uma necessidade de se comprar óleo de melhor qualidade que tenha as propriedades necessárias que se encaixem nas condições impostas na norma. Tendo como base o caráter global que tem o modal aquaviário e a enorme frota de navios que existe ao redor do mundo, responsável por quase 90% do comércio global de mercadorias, têm-se uma noção da quantidade de poluentes enviados para a atmosfera terrestre diariamente pelos mesmos.

Com base tanto na redução da emissão de poluentes e, principalmente, na redução de custos há uma procura cada vez maior por novas tecnologias que aperfeiçoem o funcionamento dos motores a combustão, de melhoramento hidrodinâmico do casco e de outras fontes de energia que possam tanto auxiliar, quanto trabalhar em conjunto com os motores a combustão interna do navio ou até mesmo substituir os mesmos.

## 2. GÁS NATURAL LIQUEFEITO

O Gás Natural Liquefeito (GNL) é um gás natural que fica armazenado em seu estado líquido a  $-162^{\circ}\text{C}$  e tem predominância de Metano ( $\text{CH}_4$ ) em sua composição. Em virtude a baixa temperatura para manter o gás em estado líquido, é necessário armazená-lo em tanques criogênicos. Um contra para se utilizar o GNL é que sua temperatura de ignição é relativamente alta ( $540^{\circ}\text{C}$ ) gerando assim a necessidade de outra fonte de ignição para trabalhar em conjunto, não importando se é motor dois ou quatro tempos.

A utilização do GNL tem duas grandes vantagens quando em comparação com os combustíveis fósseis: uma significativa redução na emissão de poluentes e o preço da tonelada de GNL é mais baixo do que o dos combustíveis fósseis.

Na parte ambiental, podem ser ressaltados três fatores principais que explicam o porquê de ser um combustível menos poluente:

- Alto percentual de metano em sua molécula, que é um hidrocarboneto mais simples, com maior quantidade de hidrogênio em relação ao de carbono em sua constituição, do que os encontrados nos combustíveis fósseis;
- Se mistura na atmosfera com maior facilidade, criando assim uma mistura mais homogênea; e
- Não tem enxofre em sua composição, fazendo assim com que não sejam emitidos para o meio ambiente nenhum de seus óxidos ( $\text{SO}_2$  ou  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

Segue uma análise desses três fatores:

*Emissão de  $\text{CO}_2$ :* Quanto maior for o percentual da quantidade de carbono em relação ao de hidrogênio presente no hidrocarboneto do óleo combustível, maior será a quantidade de gás carbônico liberado na atmosfera.

Para fazer a conta, será admitido que a composição química do óleo diesel é  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$  enquanto que a composição do GNL é  $\text{CH}_4$ . Calcula-se a quantidade de carbono presente, dividindo o peso do carbono da molécula pelo peso total do hidrocarboneto (Hetland, Einar Brendeng and Jens, 2004). Desta forma chega-se ao seguinte resultado:

$$\text{Diesel} \rightarrow \frac{12 \times 12}{(12 \times 12) + (26 \times 1)} = 0,85$$

$$\text{LNG} \rightarrow \frac{1 \times 12}{(12 \times 1) + (4 \times 1)} = 0,75$$

Como resultado dessa conta percebe-se que a quantidade de carbono presente no hidrocarboneto do diesel equivale a 85% de seu total, enquanto no GNL a presença de carbono equivale a apenas 75%.

Fazendo uma análise mais aprofundada, é possível comparar a eficiência de ambos os combustíveis e, com base nesse resultado, descobrir o quanto de CO<sub>2</sub> é liberado para o meio ambiente. A comparação é feita pelo poder calorífico de ambos e, assim, chega-se no seguinte:

$$\text{PCI do Diesel } 42,7 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg.}}$$

$$\text{PCI do LNG } 49,46 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg.}}$$

Logo, pode-se afirmar que 1kg de GNL tem a mesma energia de queima que 1,16kg de diesel, consequentemente podemos afirmar que a eficiência da queima do GNL é também maior.

Fazendo um simples cálculo, pode-se determinar a quantidade de CO<sub>2</sub> que cada combustível libera na atmosfera, como é mostrado abaixo:

$$\text{Óleo Diesel} \rightarrow 1,16 \times 0,85 \times \frac{44}{12} = 3,62$$

$$\text{LNG} \rightarrow 1 \times 0,75 \times \frac{44}{12} = 2,75$$

Com base nesses resultados, podemos afirmar que o GNL libera 24% a menos de CO<sub>2</sub> na atmosfera do que o óleo diesel, sendo então um combustível muito mais limpo do que o diesel, ressaltando que o diesel é um hidrocarboneto queimado em navios com nível muito mais baixo de CO<sub>2</sub> do que o bunker, por exemplo.

*Emissão dos NOx:* motores a GNL emitem muito menos óxidos de nitrogênio na atmosfera porque ele é lançado na câmara de combustão pré-misturado fazendo com que a queima seja muito mais rápida do que no caso do diesel. Com isso não há tempo para os óxidos de nitrogênio se formarem dentro do cilindro. Segundo a DNV (Det Norske Veritas) a diminuição na emissão dos óxidos de nitrogênio pode chegar na casa dos 90%.

*Óxidos de enxofre e material particulado:* tanto os óxidos de enxofre quanto a emissão de material particulado são muito ligados a característica do combustível. Como não há

presença de enxofre no GNL e suas impurezas são muito pequenas, a emissão destes é muito próxima do zero.

Sobre a parte financeira do GNL pode-se destacar seu baixo valor por tonelada quando comparado com o diesel ou com o bunker, segundo o site [www.imf.org](http://www.imf.org), o preço do GNL no mercado spot em Louisiana estava em U\$2,76 por MMBTU, ou cerca de U\$101,84 por tonelada.

Figura 2.1 – Tabela do preço de GNL no terminal de Louisiana

Data Type	USD
Commodity	PNGASUS
Commodity.Description	Natural Gas, Natural Gas spot price at the Henry Hub terminal in Louisiana, US\$ per Million Metric British Thermal Unit
Frequency	Monthly
2014M9	3,92
2014M10	3,77
2014M11	4,10
2014M12	3,43
2015M1	2,97
2015M2	2,85
2015M3	2,80
2015M4	2,58
2015M5	2,84
2015M6	2,77
2015M7	2,83
2015M8	2,76

Fonte: International Monetary Found

O uso do GNL tem dois grandes reverses. Um deles é o preço da construção do navio movido a essa fonte de energia, estudos indicam que a construção desse tipo de navio pode chegar a até 30% a mais do que os navios construídos com óleo pesado.

Outro fator complicador para a construção em larga escala desse tipo de navio é o fator logístico. Poucos portos no mundo são capazes de oferecer esse tipo de combustível com segurança. Normalmente são feitos apenas através de navios aliviadores atracados a contrabordo, mas não há uma logística em si para atracação nos principais portos do mundo que possam oferecer praticidade e segurança para os armadores. Tentar mudar esse modal é

muito dispendioso, principalmente se levar em consideração a reduzida frota de navios movidos a GNL existentes.

Uma possível solução para esse problema, do qual já existe viabilidade, seria a adoção de motores principais que consumissem tanto GNL, quanto diesel ou óleo pesado. Esse tipo de motor já existe no mercado como são os casos dos motores Wärtsilä classes 20, 34 e 50 ou dos motores MAN classes 34 e 51. São motores com controle de injeção completamente eletrônica e que conseguem trabalhar tanto com GNL quanto com óleos combustíveis independente da concentração de cada. Com isso o armador poderia escolher em cada porto com qual tipo de combustível que iria carregar e navegar. É uma solução viável e a utilização destes tipos de motores geraria um maior interesse em se criar modais logísticos para o fornecimento do GNL, que como ficou comprovado nesse estudo é mais limpo, barato e tem maior eficiência quando comparado com outros motores. Esse tipo de motor já está em uso, como pode ser exemplificado no navio Bit Viking, que é um navio de 24800 toneladas de porte bruto, com 177 metros de comprimento e velocidade máxima de 16 nós. Era um navio que assim que foi construído, em 2008, operava apenas com óleo pesado e óleo diesel e em 2011 decidiu-se fazer toda a modificação para instalar motores com capacidade de queimar GNL também.

A Noruega é um dos países mais desenvolvidos no mundo quando o assunto é logística, operação e construção de navios a base de GNL. Como exemplo temos o ferry “Stavagerfjord”, de 2013, podendo transportar até 1500 passageiros e 600 veículos. Tem quase 32 toneladas de porte bruto, 170 metros de comprimento e 23,7 metros de boca e dois MCP's que funcionam apenas com GNL produzindo juntos 22.400kW, fazendo a embarcação chegar a 21,5 nós. Foi o primeiro navio do tipo ferry do mundo a ter propulsão exclusiva de GNL.

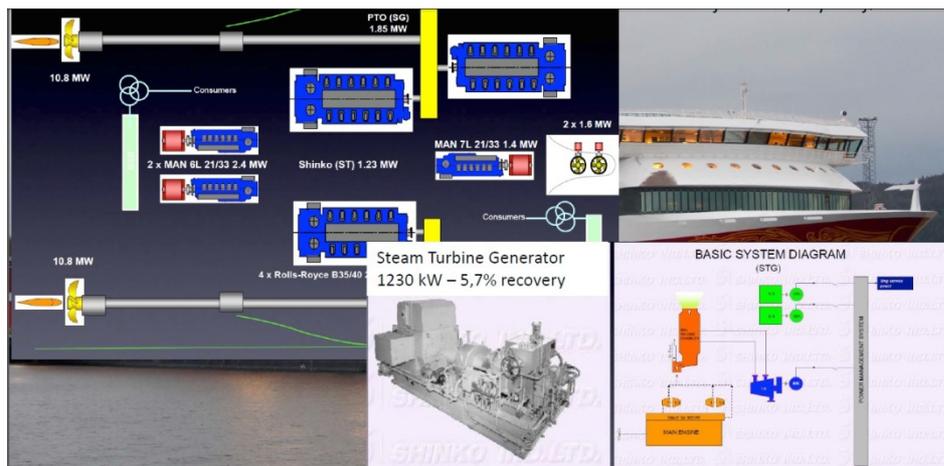
Seguem abaixo fotos do navio:

Figura 2.2 – Navio “Stavagerfjord”



Fonte: Marintek

Figura 2.3 – Esquema da praça de máquinas do navio “Stavagerfjord”



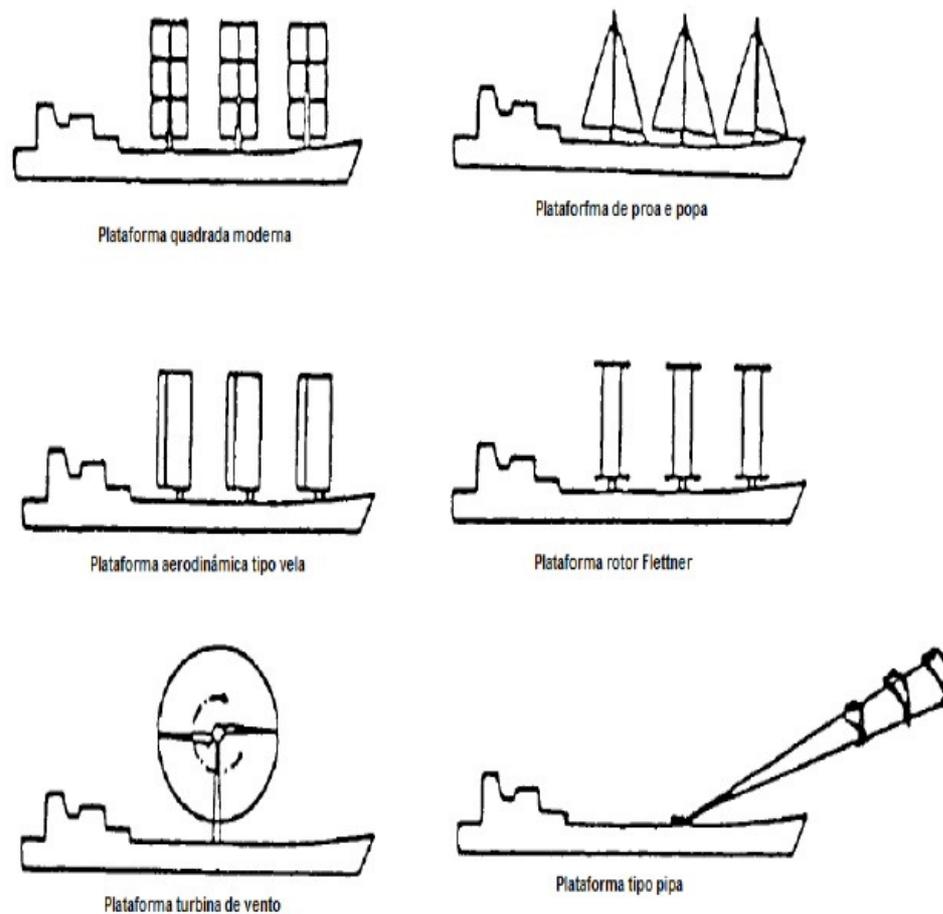
Fonte: Marintek

### 3. ENERGIA EÓLICA

A energia eólica foi utilizada por vários séculos como fonte principal de propulsão marítima, principalmente a partir da era das grandes navegações nos séculos XIV e XV até o surgimento dos navios a vapor, principalmente após o advento dos navios movidos a óleo combustível, no início do século XX.

Atualmente, visando a redução na emissão de poluentes alinhada com a otimização da navegação, a energia eólica tem voltado a ser utilizada nos navios. Diferentemente de séculos atrás, a energia eólica nos navios podem ser utilizadas não apenas pra propulsão como também para geração de energia elétrica. Nesta monografia serão estudadas essas duas formas de se utilizar a energia eólica. Segue abaixo uma figura mostrando os variados tipos de aproveitamento da energia eólica em navios.

Figura 3.1 – Tipos de propulsão eólica



Fonte: International Council on Clean Transportation

Para utilização em forma de propulsão, tem-se utilizado em maior escala a plataforma tipo pipa, onde é içada uma vela tipo pipa (kite), que fica acima da superestrutura do navio. Esse sistema de aproveitamento da energia eólica é a mais utilizada por poder ser instalada tanto em navios novos quanto nos que já estão construídos, por poder aproveitar a energia proveniente dos ventos independente da direção do vento, dar um ganho na velocidade nominal do navio em até 10% e também por não ocupar espaço no convés, sendo assim não há diminuição na capacidade de carregamento do navio permitindo um maior lucro para os armadores.

Esse tipo de vela, tem a SkySails como empresa desenvolvedora mais reconhecida e líder de mercado. O lançamento da vela é feito através de um painel de controle no passadiço, obedecendo três passos. No primeiro passo é levantada a torre da vela, que fica num mastro na proa, nesse momento a vela ainda está dobrada em seu estado de repouso. No segundo passo a vela se abre, ainda na altura do mastro, para que seja calculada a velocidade e direção do vento. No terceiro e último passo o cabo da vela é solecado para que a vela atinja a altitude de trabalho desejada já na posição correta. Seguem fotos de cada estágio. Tanto o processo de hastear quanto para trazer de volta a posição de origem demora cerca de quinze minutos.

Figura 3.2 – Levantamento da torre da vela num mastro da proa



Fonte: SkySails

Figura 3.3 – Abertura da vela, tipo kite, ainda na altura do mastro



Fonte: SkySails

Figura 3.4 – Vela, tipo kite, já com o cabo solecado em modo normal de operação



Fonte: SkySails

Segundo o fabricante, uma grande vantagem desse tipo de sistema é que como a vela fica hasteada acima da superestrutura, há um aumento de até 25 vezes da capacidade de aproveitamento das forças do vento por metro quadrado em relação aos sistemas a vela tradicionais. Para melhorar o aproveitamento do vento, há sensores que percebem a direção do vento e deixam a vela na posição ótima de desempenho. Outro dado do fabricante é a

capacidade de em boas condições de vento, esse sistema gerar até 2000kW de potência para propulsão.

Colocando em termos financeiros, comprovado empiricamente, 1 kWh desse sistema custa cerca de 6 centavos de dólar, que é cerca de metade do valor de um motor a combustão tradicional. Com essa potência adicional através de uma fonte 100% limpa, há uma redução na emissão dos gases de descarga, conseqüentemente uma redução da poluição atmosférica. Segundo estimativas da International Maritime Organization (IMO), seria possível eliminar até 100 milhões de toneladas de emissões de gás carbônico ao redor do mundo se todos os navios instalassem esse sistema.

Figura 3.5 – Vela, tipo kite, com o navio já navegando em velocidade de cruzeiro



Fonte: SkySails

Em navios também são empregados para propulsão o eixo Flettner. Esse tipo de propulsão tem como princípio de funcionamento o efeito Magnus, que é o fenômeno pelo qual a rotação de um objeto altera a sua trajetória em um fluido, isso ocorre porque em diferentes pontos de uma corrente uniforme, se o fluido se movimenta com velocidades diferentes, nos pontos de maior velocidade observa-se menor pressão e nos pontos de menor velocidade têm-se uma maior pressão. (Einstein, A. *Como vejo o mundo*, 1981).

As turbinas do tipo Flettner, necessitam de uma fonte externa que as façam girar, normalmente essa fonte são motores elétricos acoplados aos seus eixos fazendo com que girem numa velocidade constante e através desse giro criar as áreas de maior e de menor pressão em volta da turbina conseguindo assim propulsionar o navio.

O navio mais renomado que se utiliza dessa forma de propulsão é o E-Ship 1, que foi fabricado, e entregue para operação em 2010, para transportar principalmente peças de geradores eólicos. É um navio Roll-on/Roll-off de 130 metros e 10500 toneladas pertencente a empresa Enercon GmbH, que é a terceira maior fabricante de turbinas eólicas do mundo. Os seus rotores de Flettner são movidos através de uma turbina que gira de acordo com os gases de exaustão das caldeiras do navio, possuem 27 metros de altura e 4 metros de diâmetro. Conta também com dois motores diesel para propulsão e chega numa velocidade máxima de 17,5 nós.

Figura 3.6 – Navio “E-Ship” com suas quatro turbinas Flettner



Fonte: Enercon GmbH

Outra forma de se utilizar a energia eólica é para geração de energia elétrica para bordo, que pode servir para aumento da propulsão se instalada em embarcações com propulsão diesel-elétrica. Nesse caso, o sistema que mais se tem utilizado nos navios é o de turbinas eólicas de eixo vertical. A principal característica delas é que possuem o eixo de rotação perpendicular ao solo. Esse tipo de turbina funciona melhor em ventos com

características turbulentas em relação aos de eixo de rotação horizontal (que são os mais utilizados para geração de energia elétrica em terra), que é o tipo de vento que mais se encontra em navios, pois as embarcações estão em constante balanço e movimento, alterando assim, o padrão e direção de recebimento de ventos constantemente.

Existem dois tipos principais de turbinas eólicas de eixo vertical, o de Darrieus e o de Savonius, e também é possível utilizar os dois em conjunto.

As turbinas do tipo Darrieus têm como característica construtiva o modelo das pás possuem formato aerodinâmico, inclusive sendo chamadas de aerofólios, o que faz com que ela gire de acordo diferenças de pressão em volta de seus aerofólios. Para o funcionamento desse tipo de turbina, não há a necessidade de faceá-la com o vento, sendo dessa maneira uma turbina bem apropriada para se usar em navios.

As turbinas do tipo Savonius funcionam utilizando-se da força de arrasto do vento, elas são construídas de tal maneira que independentemente da direção do vento irão girar, sendo também muito apropriadas para utilização em navios.

Ambas as turbinas tem como principal defeito a baixa eficiência, fazendo com que sejam mais utilizados em embarcações de pequeno porte como lanchas ou ferries. Sem contar que por questões construtivas elas não conseguem ter uma grande altura, logo a geração não é alta o suficiente pra justificar a instalação em navios de grande tonelagem.

Figura 3.7 – Ferry Hornblower Hybrid com duas turbinas do tipo Savonius



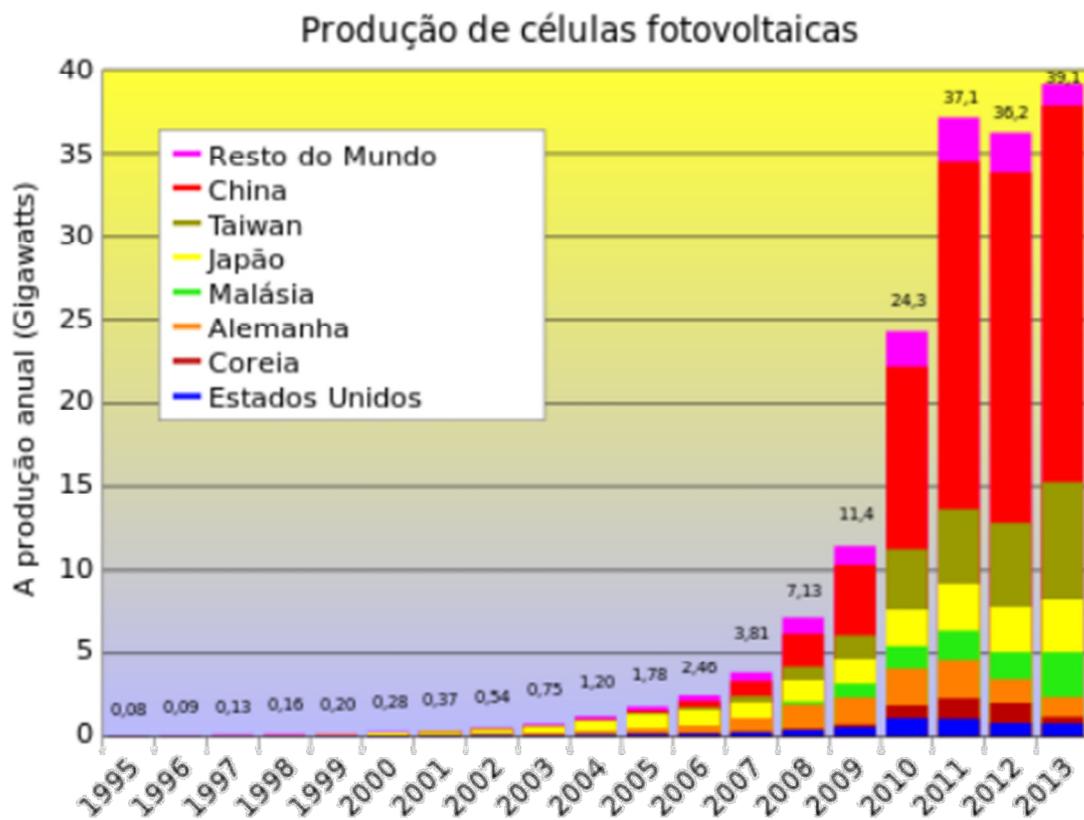
Fonte: Hornblower Cruises & Events

#### 4. ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia proveniente do Sol em outros tipos de energia, principalmente a elétrica, sempre foi de grande interesse do ser humano, principalmente por ser uma fonte de energia quase infinita. A indústria sempre esbarrou no problema de como conseguir aproveitar essa energia

Nos últimos 20 anos houve um aumento maciço na produção de placas fotovoltaicas no mundo, esse aumento se deve a dois principais fatores: o ganho de rendimento devido se utilizar materiais mais nobres aliados a melhores processos de fabricação e a conscientização mundial da necessidade de utilizar ao máximo fontes de energia limpas, isso é, com baixo ou nenhum grau de poluição enquanto estão gerando. Os valores desse aumento na produção são demonstrados na tabela abaixo.

Figura 4.1 – Tabela da ascensão da produção de células fotovoltaicas, em GW, analisada anualmente



Fonte: International Agency Energy (2014)

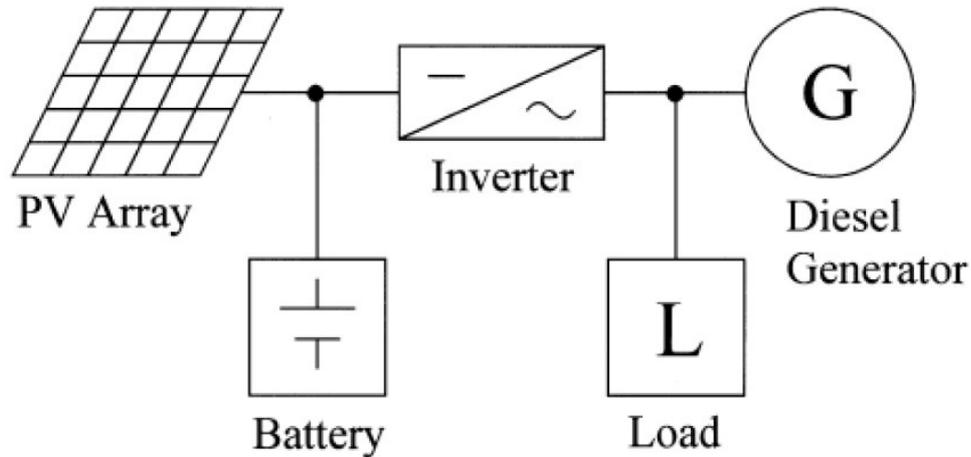
Graças a esse aumento de rendimento das placas solares passou-se a se considerar com mais atenção o uso desse tipo de energia tanto para fins industriais quanto para aplicação nos navios. As células fotovoltaicas fabricadas com silício cristalino (c-Si) são as mais recorrentes no mercado atual, sendo responsáveis por cerca de 95% da produção mundial, essas células possuem um rendimento entre 15-21%. O mais alto percentual de rendimento pode ser encontrado nas placas fabricadas com arsenieto de gálio (GaAs), mas o custo extremamente elevado desse tipo de placa faz com que ela só tenha utilidade para fins muito específicos como é o caso para satélites artificiais.

Esse baixo rendimento em geral aliado ao ainda alto custo de instalação dos painéis fotovoltaicos contribuem negativamente para a instalação em navios, embora existam estudos a respeito, pois é uma fonte de energia que depois do custo inicial de instalação o aproveitamento da mesma é de custo zero, podendo ser utilizada sempre que houver sol. Segundo estudos realizados por investigadores de Osaka, no Japão, em um navio híbrido (utilizando diesel e energia solar) de pequeno porte a utilização de grandes placas fotovoltaicas junto com baterias com pequena capacidade de armazenamento não formaram uma boa combinação, pois como a energia solar é muito instável, dependendo das condições climáticas e do horário, acabava-se criando alta instabilidade no sistema elétrico, fazendo os geradores atuarem de maneira não uniforme e com isso vir até a causar uma poluição atmosférica maior do que sem as placas solares (Park et al., 2001).

Na mesma pesquisa, foi constatado que a instalação das placas solares num ângulo de  $0^\circ$ , diminuía consideravelmente a captação do sol, isso porque acumulava muita sujeira na placa que criava várias áreas de restrição para a devida captação dos raios solares. Foi constatado que o melhor a ser feito, é instalando as placas solares num ângulo de  $15^\circ$ , com isso há um ótimo aproveitamento dos raios solares ao mesmo tempo em que se evita o acúmulo de sujeira na parte superior das placas. Logo o mais correto é se utilizar de sistemas que possam garantir a boa estabilidade elétrica dos navios ao mesmo, não só com grandes áreas de placas elétricas, visando a maior geração de energia possível, como também com uma quantidade de baterias necessárias para se evitar que os geradores diesel flutuem ou que se crie uma instabilidade crítica no sistema elétrico da embarcação.

Segue na figura abaixo um modelo unifilar de um sistema elétrico normal para operação com células fotovoltaicas.

Figura 4.2 – Modelo padrão da utilização de células fotovoltaicas em embarcações



Fonte: Harrould-Kolieb, 2008

O convencional é o inversor transformar 24Vdc, proveniente ou do banco de baterias ou das placas fotovoltaicas em 220Vac e essa energia ser utilizada para iluminação, tomadas e demais cargas 220Vac da embarcação. Importante ressaltar que esse inversor deverá ter um limite de operacionalidade, auto desligando por baixa tensão assim que o banco de baterias chegar em um valor mínimo de projeto.

É possível utilizar desse tipo de fonte de energia em navios mercantes, desde que tenham um grande espaço de convés como é o caso dos navios graneleiros de granel sólido e dos navios Roll-on/Roll-off. Nessa última classe de navios, inclusive já há navio pronto, de um grande armador japonês, com esse tipo de tecnologia em seu convés principal que é o Auriga Leader, um navio Roll-on/Roll-off do armador japonês NYK. Esse navio, que tem como objetivo principal transportar carros para a Toyota, foi entregue em 2008 para começar a operar tem 200 metros de comprimento, boca de 32 metros, 60.000 toneladas de porte bruto, ultrapassa os 20 nós de velocidade e pode receber até 5.222 carros. Foi o primeiro navio de grande porte no mundo a ter energia proveniente de células fotovoltaicas conectadas diretamente no barramento 440Vac do navio. Como é um navio com propulsão diesel-elétrica, as células fotovoltaicas são capazes não só de auxiliar na geração de energia de consumo normal do navio como também auxiliam na propulsão. São ao todo 328 placas solares instaladas no convés principal. Esse é um projeto piloto com o objetivo principal de fazer testes do custo/benefício da instalação desse tipo de equipamento e do quanto a geração de energia fotovoltaica pode ser benéfica para o meio ambiente quando instalada em navios.

Quando atracado as células solares são capazes de produzir até 10% da energia elétrica necessária para o navio, já quando em navegação a energia elétrica produzida pelas células solares representam 1% do consumido pelo navio e ajudam em apenas 0,05% na propulsão. Embora pareçam números muito pequenos, a estimativa é de que por ano isso represente uma economia de 13 toneladas de combustível e uma redução nas emissões de CO<sub>2</sub> de até 40 toneladas (site: NYK).

Segundo medições, as placas solares no navio apresentaram um rendimento 40% superior quando comparadas com as instaladas em Tóquio, mas a NYK informou necessitar de melhores estudos do motivo para tal significativa melhora no rendimento, acreditando que possam ser por dois fatores: no mar o aproveitamento do sol é total, conseguindo receber os raios solares desde o nascer do sol até o por do sol e outra possibilidade seria de que como navios recebem ventos constantemente durante a navegação, esses ventos poderiam estar auxiliando na refrigeração das placas, fazendo com que as mesmas possam ter um rendimento ainda maior.

Em função desse pioneirismo em conjunto com um inovador, para a época, sistema de tratamento da água de lastro, o navio Auriga Leader ganhou, em 2009, o prêmio de “Navio do Ano” na renomada premiação global da Lloyd’s List. Seguem fotos do Auriga Leader:

Figura 4.3 – Navio Auriga Leader



Fonte: NYK Group

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo desse estudo pôde-se constatar que fontes de energia diferentes das usuais em navios, que são o bunker marítimo e o óleo diesel marítimo, são não só uma possibilidade como também uma realidade. As três fontes de energia dessa monografia, GNL, eólica e solar, são muito mais benéficas ao meio ambiente quando comparadas com os combustíveis fósseis.

Para uma maior utilização do GNL em navios é necessária uma ampliação em sua logística em terra, pois ainda é muito difícil de encontrar portos que ofereçam esse tipo de combustível ou que tenham planos de segura e de contenção para os casos de fornecimento desse tipo de combustível. Assim, os armadores simplesmente ficam engessados nas ofertas tradicionais de combustíveis fósseis.

Em se tratando das energias 100% limpas, eólica e solar, ainda há grandes dificuldades em se ter um uso mais abrangente das mesmas a bordo. Embora tenham suas qualidades, o fator preço aliado ao baixo rendimento ainda é um entrave muito grande para suas utilizações em larga escala.

A energia eólica traz uma contribuição significativa na propulsão do navio, tanto quando se utiliza do tipo Flettner quanto do tipo Kite. A utilização do tipo Flettner só não é mais abrangente em virtude do espaço que ocupa no convés, sendo restrita a alguns tipos de navios. Enquanto a do tipo Kite não tem a potência necessária para propulsionar o navio por conta própria, algo que acarreta em maior cautela por parte dos armadores. Já a utilização das turbinas Savonius e Darrieus, em virtude de seus baixos rendimentos e limitações estruturais são mais indicados para embarcações de pequeno porte como lanchas, iates ou balsas desde que façam percursos curtos, utilizando estes tipos de turbinas sempre para geração de energia elétrica, não sendo indicadas para navios mercantes.

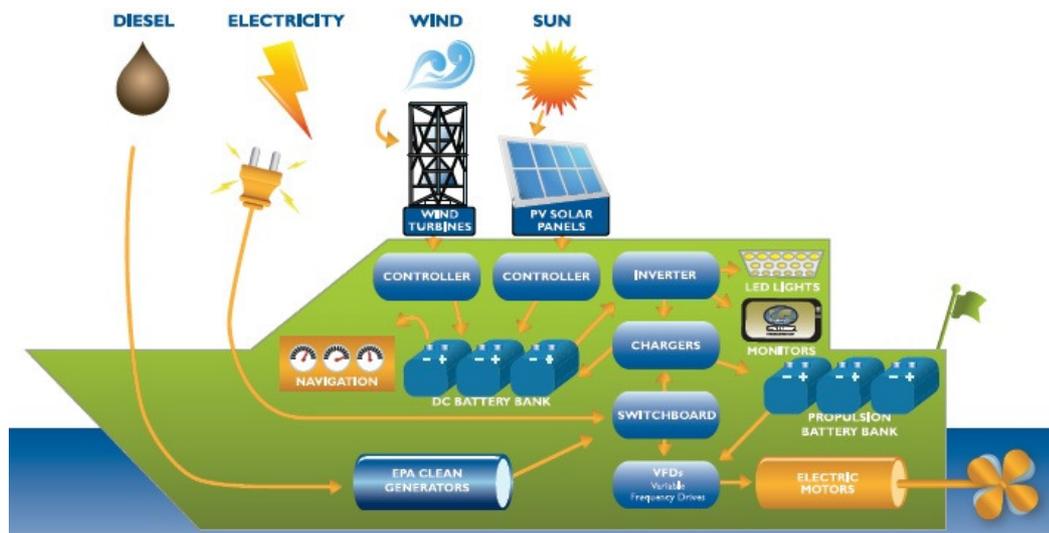
O aproveitamento da energia solar ainda está em seu começo, as células solares não tem o rendimento necessário e o espaço muito grande faz com que ainda não sejam adequadas para o consumo em navios. Como se pôde observar no caso do navio da NYK, a economia de combustível é muito pequena e até que se consiga construir placas solares com melhor capacidade de absorção e transformação dessa energia, ela muito provavelmente ficará apenas para pequenas embarcações auxiliando na energia elétrica.

Como tanto a energia eólica quanto a energia solar são energias que podem ser aproveitadas a custo zero e a longo prazo, o armador sempre pode considerar a instalação

desses tipos de sistemas. Toda e qualquer decisão de se utilizar de artificiais para evitar mais danos ao meio ambiente é bem vinda.

Segue um modelo que está em prática do ferry Hornblower Hybrid, com propulsão elétrica, movido a diesel com ajuda de placas solares e turbinas eólicas, como um ótimo exemplo de embarcação amiga do meio ambiente.

Figura 5.1 – Diagrama elétrico, da parte de força, da embarcação Hornblower Hybrid



Fonte: Hornblower Cruises & Events

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUNKER INDEX. **Daily port prices – Rio de Janeiro/Brazil**. 2015. Disponível em: [http://www.bunkerindex.com/prices/portfreels\\_xmdo.php?port\\_id=629](http://www.bunkerindex.com/prices/portfreels_xmdo.php?port_id=629) . Acesso em 23/08/2015.

ENERCOM GMBH. 2013. **Enercon E-Ship 1, A Wind-Hybrid Commercial Cargo Shipping**.

EYRING, V., ISAKSEN, I., BERNTSEN, T., COLLINS, W., CORBETT, J., ENDRESEN, O., GRAINGER, R., MOLDANOVA, J., SCHLAGER, H. & STEVENSON, D. 2010. **Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping**. Atmospheric Environment.

FOGAÇA, J. **Conferência Rio+20 e a Emissão de Gases-estufa**. Brasil Escola. 2012. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/quimica/conferencia-rio20-emissao-gases-estufa.htm>. Acessado em 02/08/2015.

HETLAND, EINAR BRENFENG AND JENS. 2004. **On the relevance of integrating lng with the energy supply systems of transit countries, lng chains and storage facilities**.

HORNBLOWER CRUISES & EVENTS. 2008. **Charter Information, How It Works**. Disponível em: [http://www.alcatrazcruises.com/website/hybrid.aspx#charter\\_info](http://www.alcatrazcruises.com/website/hybrid.aspx#charter_info). Acessado em: 13/09/2015.

ICCT, THE INTERNATIONAL CONCIL ON CLEAN TRANSPORTATION. 2007. **Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-going Ships: Impacts, Mitigation Options and Opportunities for Managing Growth**.

IMF, INTERNATIONAL MONETARY FOUND. 2015. **IMF Primary Commodity Prices**. 2015. Disponível em: [http://www.imf.org/external/np/res/commod/External\\_Data.xls](http://www.imf.org/external/np/res/commod/External_Data.xls). Acessado em 20/09/2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2014. **Report IEA-PVPS T1-25:2014, Trends 2014 in photovoltaic applications, survey of selected IEA countries between 1992 and 2013**

LINDSTAD, H., ASBJØRNSLETT, B. & STRØMMAN, A. 2011. **Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds**. Energy Policy.

MARINTEK. 2013. **Gas Fuelled Ships, Norwegian Experience**.

MOLDANOVÁ, J., FRIDELL, E., POPOVICHEVA, O., DEMIRDJIAN, B., TISHKOVA, V., FACCINETTO, A. & FOCSA, C. 2009. **Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine**. Atmospheric Environment.

NYK GROUP. 2009. **NYK and Nippon Oil Corporation Joint Project Auriga Leader Completes Seven Months of Voyages Using Solar Power**. Disponível em: [www.nyk.com/english/release/31/NE\\_090908.html](http://www.nyk.com/english/release/31/NE_090908.html). Acessado em 27/09/2015.

HARROULD-KOLIEB, E. 2008. **Shipping Impacts on Climate: A Source With Solutions.**

SKYSAILS GMBH. 2015. **Skysails Propulsion for Cargo Ships.** Disponível em: <http://www.skysails.info/english/skysails-marine/skysails-propulsion-for-cargo-ships/>. Acessado em 15/09/2015.

SWISSINFO. 2012. **Suíça é discreto gigante da marinha mercante.** Disponível em: [http://www.swissinfo.ch/por/transporte-mar%C3%ADtimo\\_su%C3%AD%C3%A7a-%C3%A9-discreto-gigante-da-marinha-mercante/33238584](http://www.swissinfo.ch/por/transporte-mar%C3%ADtimo_su%C3%AD%C3%A7a-%C3%A9-discreto-gigante-da-marinha-mercante/33238584). Acessado em 09/10/2015.