

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA

VINICIUS COELHO DE FRIAS

**GERAÇÃO DE ENERGIAS LIMPAS E A VIABILIDADE DE SUAS
APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA MARÍTIMA**

RIO DE JANEIRO
2016

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA

VINICIUS COELHO DE FRIAS

**GERAÇÃO DE ENERGIAS LIMPAS E A VIABILIDADE DE SUAS
APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA MARÍTIMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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
2016

VINICIUS COELHO DE FRIAS

**GERAÇÃO DE ENERGIAS LIMPAS E A VIABILIDADE DE SUAS
APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA MARÍTIMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado 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: ____/____/____

Orientador: MSc Eng. Paulo Roberto Batista Pinto

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho a Deus, a minha esposa, a minha família, a meus amigos (em especial ao Adelson que me fez ver a importância de ter energia), ao mestre Paulo Pinto, e as demais pessoas que me fazem refletir todos os dias sobre a importância da vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pela minha vida, pela oportunidade de estar desenvolvendo minha carreira através do curso APMA, e por ter feito esse estudo onde minha visão sobre a energia e o mundo se tornou mais clara e importante. Também a minha esposa por fazer dos meus dias cada vez melhores. Ao meu querido mestre Paulo Pinto, que demonstrou ser, não somente um exímio orientador para meu estudo, mas também me guiado para tomar direções corretas na profissão e vida.

RESUMO

Os modelos de geração de energia apresentados nesse estudo nos mostram que existe viabilidade da utilização deles assim como grandes benefícios, podendo substituir ou complementar os combustíveis fósseis. Mas a sociedade deve manter em mente que não somente para o transporte marítimo, mas para outros setores, os combustíveis fósseis são limitados e um dia haverá escassez deles, projetando assim uma necessidade urgente de se utilizar outras fontes que irão se tornar mais caras devido à demanda. Comparando os 4 tipos de geração de energia apresentados neste trabalho, é possível destacar a energia nuclear sendo a mais eficiente e desenvolvida para a aplicação marítima, tendo uma reserva abundante de combustível no mundo todo que pode durar milênios, porém, ainda existe barreiras políticas em todo o mundo que devem ser revistas, pois cientistas e outros estudiosos enxergam a energia nuclear como o futuro da geração mundial de energia.

Palavras chave: Energias renováveis. Energia solar. Energia eólica. Biocombustível. Nuclear. Meio-ambiente. Custo.

ABSTRACT

The energy generation models exhibited in this study show us that there is feasibility of their use as well as great benefits, being able to replace or complement fossil fuels. Nevertheless the society must keep in mind that not only for shipping but for other sectors, fossil fuels are limited and one day there will be scarcity of them, thus forecasting an urgent need to use other sources that will become more expensive due to demand. Comparing the 4 types of energy generation exhibited in this essay is possible to highlight nuclear energy being the most efficient and developed for maritime application, having an abundant reserve of fuel in the whole world that can last millennia, however there are still policy barriers that must be reviewed as scientists and other scholars foresee nuclear energy as the future of global energy generation..

Keywords: Renewable energies. Energy solar. Energy Wind. Bio fuel. Nuclear. Environment. Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	História do desenvolvimento e utilização de turbinas eólicas	19
Figura 2:	Exemplos de projetos de navios com tecnologia Soft Sail propulsão	19
Figura 3:	Exemplos de projetos de navios com tecnologia Fixed Sails propulsão	21
Figura 4:	Projeto conceito do LadeAS	21
Figura 5:	Exemplos de navios que utilizam rotores Flettner	22
Figura 6:	Exemplo de navio utilizando sistema de propulsão auxiliar Kite Sail	23
Figura 7:	Ferry Hornblower Hybrid com duas turbinas do tipo Savonius	24
Figura 8:	Navios híbridos que utilizam Fixed Wing Sails com painéis solares	26
Figura 9:	Modelo padrão da utilização de células fotovoltaicas	28
Figura 10:	Trajетórias de produção de biocombustíveis convencionais avançados	30
Figura 11:	Reação de fissão nuclear de um átomo de urânio	36
Figura 12:	Fusão nuclear de dois átomos de hidrogênio formando hélio	37
Figura 13:	Layout de um reator PWR(pressurized-water reactor)	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Tabela do preço do óleo pesado IFO 380 no porto do Rio de Janeiro	11
Tabela 2:	Motivadores para solução em energias limpas no setor marítimo	13
Tabela 3:	Tabela resumo de aplicações e potenciais tecnológicos de energias renováveis para a indústria marítima	15
Tabela 4:	Viabilidade atual para os biocombustíveis para o setor marítimo	32
Tabela 5:	Exemplos de biocombustíveis para substituir combustíveis fósseis	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	PANORAMA DO TRANSPORTE MARÍTIMO	11
2.1	Onde se encontra o problema	12
2.2	Possíveis Soluções	13
3	FONTES DE ENERGIAS LIMPAS E RENOVÁVEIS	14
3.1	Panorama	14
3.2	Aplicações de energias renováveis em embarcações	14
4	ENERGIA EÓLICA	17
4.1	Soft Sails	19
4.2	Fixed Sails	20
4.3	Rotores	22
4.4	Kite Sails	23
4.5	Turbinas Eólicas	24
5	ENERGIA SOLAR	26
6	BIOENERGIA	29
6.1	Biocombustíveis Líquidos	30
6.2	Biogás	31
7	ENERGIA NUCLEAR	33
7.1	Energia Nuclear é renovável?	35
7.2	Energia nuclear como propulsão pra navios mercantes	37
7.3	Vantagens e desvantagens do uso de energia nuclear	39
7.4	Demanda mundial	39
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade até os dias atuais, o homem descobriu e desenvolveu inúmeras fontes de energia, as quais se tornaram a base para a sobrevivência. Desde a necessidade de aquecer o próprio corpo, cozinhar ou mesmo deslocar-se, a energia era necessária. Logo, civilizações costeiras vislumbraram um caminho, não somente para a atividade pesqueira, mas para colonizar outras que fossem belicamente inferiores e tecnologicamente menos evoluídas, e esse caminho era o mar, utilizando barcos e navios à vela.

Ainda utilizando-se do vento como energia, passados décadas e séculos, países foram sendo criados e desenvolvidos, porém, ainda existia diferença entre eles devido à diversidade geográfica e dos produtos gerados pelas suas respectivas agriculturas. Para os países permanecerem em paz e poderem complementar um a sociedade do outro, a atividade antes conhecida como escambo cresceu exponencialmente e virou o que hoje é conhecido como comércio marítimo globalizado.

No século XVIII, durante a Revolução Industrial na Europa, a máquina a vapor passa a ser altamente empregada nas indústrias, mas também passa a tomar lugar em projetos de embarcações a vapor que, após alguns anos, virou realidade e um marco para o setor marítimo.

A partir de 1800, o petróleo, que até então era base de produtos farmacêuticos e poluía poços de água potável - visto que não havia tecnologia para evitar tal contaminação - é descoberto como combustível para lanternas e, fazendo assim com que o comércio de óleo de baleias caísse drasticamente. No início do século posterior, o petróleo passa a ser utilizado como combustível de máquinas a combustão interna.


Atualmente, o Petróleo não somente é produto base para combustíveis utilizados nos diversos modais de transporte, como também para a indústria farmacêutica e na fabricação de produtos finais comercializados em todo o mundo, além de ter o preço de seu barril como um dos maiores indicadores econômicos do mundo. Hoje, dois derivados do petróleo são as fontes de energia mais utilizadas para a propulsão de navios, o HFO (Heavy Fuel Oil) e o MDO (Marine Diesel Oil).

2 PANORAMA DO TRANSPORTE MARÍTIMO

O comércio marítimo representa atualmente 90% da tonelagem bruta de todas as cargas comercializadas, como estimado pela Câmara Internacional de Transporte Marítimo. A continuidade e desenvolvimento deste modal são vitais para que os países continuem a se desenvolver e também a crescer economicamente. A configuração da produção global está em constante mudança, e a cadeia de suprimentos é cada vez mais importante para as várias economias que a acompanha.

De acordo com a Conferência das Nações Unidas em Comércio e Desenvolvimento (United Nations Conference on Trade and Development – UNCTAD), a tonelagem bruta global carregada anualmente aumentou de 2.6 bilhões para 9.5 bilhões de toneladas entre 1970 e 2013. É possível prever assim um crescimento da demanda de navios ao redor do mundo.

Tabela 1: Tabela do preço do óleo pesado IFO 380 no porto do Rio de Janeiro



Rio de Janeiro, Brazil 🇧🇷
Daily Port Prices

IFO 380				
Date	Price \$/MT	+/-	Low	High
2016-05-31	246.50	▶ 0.00	246.00	247.00
2016-05-30	246.50	↓ -4.00	246.00	247.00
2016-05-27	250.50	↑ +7.00	250.00	251.00
2016-05-26	243.50	▶ 0.00	243.00	244.00
2016-05-25	243.50	↑ +3.00	243.00	244.00
2016-05-24	240.50	↓ -3.00	240.00	241.00
2016-05-23	243.50	↑ +2.00	243.00	244.00
2016-05-20	241.50	↓ -4.00	241.00	242.00
2016-05-19	245.50	▶ 0.00	245.00	246.00
2016-05-18	245.50	▶ 0.00	245.00	246.00

Fonte: Index Bunker, 2016

O consumo acima contabiliza aproximadamente 2.8% a emissão de gases de efeito estufa. Em contra partida, a demanda em relação ao tempo faz com que as emissões aumentem, e existe a previsão de que essas podem triplicar até 2050 se não monitoradas.

Juntamente com o aumento de demanda do transporte marítimo cresceu o consumo de combustível linearmente. A Organização Marítima Internacional (IMO) estima que entre 2007 e 2012, em média, a frota mundial de navios consumiu entre 250 e 325 milhões de toneladas de combustível anualmente. 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 (até 31 de Maio de 2016) o preço da tonelada de óleo pesado da qualidade IFO380 chegou a U\$250,50 por tonelada no Rio de Janeiro. Para um navio que consome 10 toneladas de óleo pesado por hora, chega-se ao valor de U\$60,120.00 por dia. Logo, objetiva-se a redução desse custo ao máximo.

2.1 Onde se encontra o problema

Verifica-se então 2 (dois) problemas relacionados com o panorama do transporte marítimo: o custo dos combustíveis e suas emissões de gases para o meio ambiente. Este paradigma aparece quando o armador procura não ter gastos exorbitantes com a compra de combustível e ao mesmo tempo se adequar com as legislações que regulam as emissões máximas de gases permitidas. Normalmente os combustíveis mais baratos são de qualidade inferior e emitem quantidades maiores de hidrocarbonetos nocivos ao meio ambiente e a saúde humana.

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).

As emissões do setor marítimo devem ser restringidas para reduzir a poluição do ar e impactos na mudança climática. A Convenção Internacional para Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) tem estipulado medidas técnicas e operacionais mandatórias, as quais requerem uso da energia marítima mais eficiente e, simultaneamente, menos emissões. Esses regulamentos vieram com força em 2013. A indústria por si tem definido metas para reduzir emissões de dióxido de carbono em 20% até 2020 e em 50% até 2050.

2.2 Possíveis soluções

Em consequência dos problemas apresentados, armadores juntamente com a sociedade marítima vêm buscando soluções energéticas mais eficientes e limpas, inclusive consideram as aplicações de energias renováveis visto que, o mercado de combustíveis derivados do petróleo tem caráter volátil e seu preço varia substancialmente a cada dia.

Outro fator que influencia a esta solução é a legislação. A Convenção MARPOL impõe que o EEDI sigla para “Energy Efficiency Design Index” seja mandatório para navios novos e que o SEEMP sigla para “Ship Energy Efficiency Management Plan”, para todos os navios. Essas restrições, econômicas e ambientais, constituem ainda mais o gatilho para a adoção do uso de energias proveniente de fontes renováveis. Abaixo Temos os principais motivadores para utilização de energias limpas e renováveis em navios, por assunto.

Tabela 2 – Motivadores para soluções em energias limpas no setor marítimo

Drivers for Clean Energy Solutions in the Shipping Sector			
Environmental <ul style="list-style-type: none"> ● Emissions reduction and pollution control ● Climate change ● Energy availability ● Sustainability ● Alternative fuels ● Life cycle impact ● Health and safety ● Societal pressure 	Technical <ul style="list-style-type: none"> ● Propulsion system ● Engine technology ● Fuel properties ● Material properties ● Information technologies ● Energy storage ● Hybrids and optimisation 	Economic/Financial <ul style="list-style-type: none"> ● Fossil fuel price ● Investment cost ● Operational costs ● Economic growth ● Global trade ● Economic integration ● Incentives and market-based mechanisms ● Financing mechanisms ● Pricing and returns ● Public/private partnerships 	Policy and Regulatory <ul style="list-style-type: none"> ● Governance ● Regulatory framework and enabling environment ● Energy security ● Investment in research and development

Fonte: Effship, 2013b e ICF international, 2008

3 FONTES DE ENERGIAS LIMPAS E RENOVÁVEIS

Energia renovável é toda energia gerada por fontes provenientes de recursos naturais que se renovam constantemente, de um modo sustentável, mesmo após sua utilização para gerar eletricidade, calor ou movimento.

Energia limpa é toda energia que não libera, durante seu processo de produção ou consumo, resíduos ou gases poluentes geradores do efeito estufa e do aquecimento global. Temos, como exemplos de fontes: energia eólica, energia solar, das marés e biocombustíveis.

3.1 Panorama

A mudança na produção de energia do planeta ainda tem um longo caminho a seguir, porém, segundo novo relatório apresentado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), em 2015 ocorreu significativo crescimento no investimento de energias renováveis entre países em desenvolvimento (aproximadamente 19%); países já desenvolvidos mostraram queda de aproximadamente 8% no investimento em energias renováveis. Isso mostra como, entre outros fatores, a crise econômica atingiu o investimento no setor de países desenvolvidos.

3.2 Aplicações de energias renováveis em embarcações

As energias renováveis já se apresentam dentro do setor marítimo, mas muito pouco visível e com sua predominância em embarcações pequenas. Existe a possibilidade de utiliza-las a bordo de navios de grande e médio porte também. As aplicações dessas energias podem acontecer em diversos ramos do setor marítimo, como: transporte de cargas internacionais e domésticas; transporte de pessoas; serviços; pesca; turismo e outras atividades. Essas aplicações podem tomar lugar como sistemas de propulsão primários, híbridos e ou auxiliares.

As fontes de energias renováveis em potencial para aplicar em navios incluem as fontes: eólica, solar, de biocombustíveis, nuclear e o uso de células combustíveis de hidrogênio. Existe a possibilidade de tais fontes serem integradas a navios com sistemas de geração já existente – processo conhecido como retrofitting – ou, a

novos projetos de embarcações.

Tabela 3: Tabela resumo de aplicações e potenciais tecnológicos de energias renováveis para a indústria marítima

Table 1: Summary of renewable energy technology applications and potentials for the shipping industry

Renewable energy type		Retrofit (RF)/ New Build (NB)	Vessel category, application and potential			
			< 400 tonnes e.g., recreation, artisanal/small fishery, tourism, passenger, break, landing craft, barges, research, coastal patrol and security	400 – <10 000 tonnes e.g., large landing craft, small-medium fishery, domestic Ro-Ro, break bulk, bulk, container, tanker, tramp	10 000 – <50 000 tonnes e.g., Ro-Ro, deep sea fishery, bulk, container, tanker, car carrier, cruise liner	>50 000 tonnes e.g., Very Large Crude Carrier (VLCC), Panamax, Aframax, large container ships
Wind	Soft sails	RF	●●●	●●●	●●●	●●
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	Fixed wings	RF	●●	●●	●●	●
		NB	●●	●●●	●●●	●●
	Rotors	RF	●●	●●	●●	●●
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	Kites	RF/NB	●●	●●	●●	●
Turbines	RF/NB	●	●	●	●	
Solar fotovoltaics	Main propulsion	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
		NB	●	N/A	N/A	N/A
	Auxiliary propulsion	RF	●●	N/A	●	N/A
		NB	●●	N/A	●	N/A
	Ancillary power	RF/NB	●●	N/A	●	N/A
Biofuels	1 st Generation	RF	●●	●●	●●	●
		NB	●●	●●	●●	●
	2 nd Generation	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
		NB	●●●	●●●	●●●	●●
	3 rd Generation	RF	N/A	N/A	N/A	N/A
NB		●●●	●●●	●●●	●●	
Wave	Main propulsion	NB	●	N/A	●	N/A
	Auxiliary propulsion	NB	●	N/A	●	N/A

Keys:

Current Application		Potential Application	
●●●	In commercial use	●●●	High potential (Scores well on all three metrics: economic, environmental and social)
●●●	Proven	●●	Medium potential (Scores on two of the three metrics)
●●●	Proof-of-concept	●	Limited (Scores on only one of the three metrics)
●●●	Design	N/A	Not available
●●●	Concept		
●●●	Uncertain		

Fonte: International Renewable Energy Agency.

Acima é possível analisar aplicações que se encontram desde o projeto

conceito até o uso comercial em navios de diversos tamanhos, incluindo sua aplicação como inclusão a um navio já existente ou a instalação em um navio novo, e seus potenciais de utilização.

4 ENERGIA EÓLICA

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Uma das energias mais antigas conhecidas pelo homem através da utilização dela nas navegações primitivas, considerada limpa – não emite gases poluentes e tóxicos - e sustentável. É considerada a energia mais rápida em crescimento no mundo. Os barcos à vela se tornaram obsoletos com o advento de outras fontes, porém, hoje está sendo considerada para continuar o desenvolvimento de energias renováveis tanto em terra quanto em embarcações. O maior problema de sua utilização em navios é a variação de sua força e direção durante a navegação. Sua aplicação pode ser como fonte primária de propulsão ou auxiliar. Atualmente, existem projetos idealizados, outros em execução de testes e alguns já operando. Entre as categorias possíveis temos: *soft sails*, *fixed sails*, *rotors*, *kite sails* e turbinas.

A utilização do vento como fonte de energia têm seu início a quase 3 mil anos antes de Cristo, quando os egípcios passaram a utilizar velas em seus barcos para auxiliar na propulsão principal, então realizada pelos escravos através de remos. Aproveitando o ensejo, as velas passavam a ajudar os animais na moagem de grãos e no bombeamento de água.

Após 2 mil anos, os Persas por sua vez estavam construindo moinhos de vento verticais elevados (conhecidos também como panemones) também para moer grãos. No Oriente Médio, os mulçumanos continuaram o que os persas haviam deixado e também construíram seus próprios moinhos. Após o retorno das Cruzadas, especulava-se que a tecnologia havia sido revelada aos europeus, mas provavelmente os holandeses que desenvolveram o moinho horizontal com hélices.

O vento então passou a tomar lugar como fonte de energia mecânica medieval inglesa, sendo utilizada também nas operações de serraria. Pelos anos de 1850, Daniel Halliday começou a desenvolver o que se tornou no famoso moinho de vento americano de fazenda. Usado principalmente para bombear água, esta máquina é o familiar moinho de vento multi-lâmina, ainda visto hoje em muitas áreas rurais (Gipe, 1998). Mesmo hoje, as fazendas de gado, não seriam possíveis em muitas partes da América, Europa e Austrália, sem este equipamento. A geração de eletricidade através dessa fonte apareceu no século XX

com os dinamarqueses, com a primeira turbina eólica ligada a rede elétrica.

Em 1930, algumas empresas americanas produziam tal equipamento e os vendiam para fazendeiros em sua maior parte. Essas máquinas podiam fornecer até 1000 W (1KW) de corrente contínua, quando o vento soprava. Duas décadas depois os franceses construíram modelos mais eficientes, onde se gerava 100 a 300 vezes mais que o modelo americano.

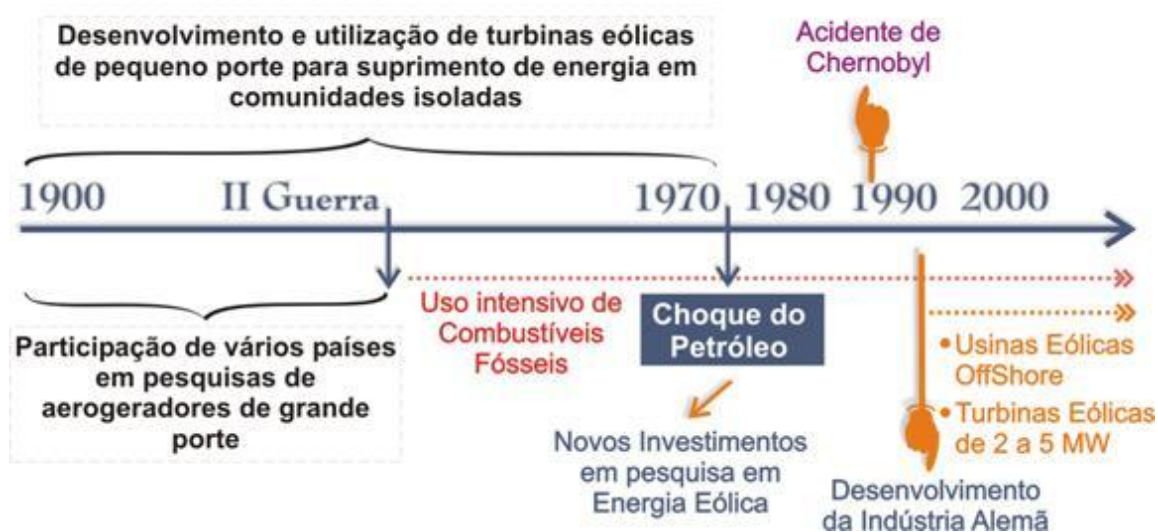
Os alemães tentaram incorporar essa geração de energia em suas linhas de utilidades, mas devido a forte competição das energias geradas por combustíveis fósseis, as máquinas foram descartadas. Mas foi por volta de 1980, em São Francisco, Califórnia; que a energia eólica tomou maiores proporções. Empresas pequenas e alguns empreendedores instalaram cerca de 15.000 turbinas de médio porte, fornecendo energia suficiente para todos os moradores.

A indústria decolou substancialmente quando além da alta do petróleo e derivados, uma moratória sobre energia nuclear e a preocupação com o meio ambiente ligaram-se a incentivos fiscais. Entretanto, por volta de 1985, sofreu uma pequena desaceleração por conta da baixa no preço do petróleo a qual cerca de 5 anos depois volta a melhorar graças as melhorias feitas na tecnologia resultando menores custos de produção.

Ainda em 1992, a Lei de Política Energética é lançada liberando crédito fiscal para a produção de eletricidade através de fontes eólicas e biomassa. Diante tanta mudança, os fornecedores de eletricidade acabaram tornando-se competidores ao invés de monopólios protegidos. Mas, em 1998 os incentivos fiscais voltam a aparecer e o mercado de energia eólica se ergue, e ainda mais em 2001 devido à alta do preço de combustíveis fósseis. Essas idas e vindas dos incentivos fiscais, conhecida também por *on-again* e *off-again*, fizeram com que o crescimento fosse substancial.

A Europa atualmente sofre um aporte de longo prazo para introdução e desenvolvimento de suas gerações de energias por fonte eólica, fazendo com que grande parte de sua grade elétrica seja atendida por ela, utilizando inclusive geradores em balsas ao longo da costa.

Figura 1: História do desenvolvimento e utilização de turbinas eólicas



4.1 Soft Sails

Velas convencionais ligadas a mastros oferecem comprovada tecnologia aperfeiçoada capaz de aproveitar diretamente a força propulsora do vento. Avanços tecnológicos da indústria de super yachts assim como os yachts de corrida podem agora ser incorporados em uso industrial. Velas podem ser implantadas tanto como propulsão primária quanto auxiliar e podem ser incorporadas a algumas embarcações em atividade ou em novas construções.

Figura 2: Exemplos de projetos de navios com tecnologia Soft Sail de propulsão



Fonte: International Renewable Energy Agency.

Alguns projetos e embarcações já construídas como prova da possibilidade dessa fonte energética para a propulsão são: o cargueiro Greenheart de 75 dwt, o graneleiro B9 Shipping de 3000 dwt e o Ecoliner de 7000 dwt da Dykstra/Fair

Transport. Os últimos dois mencionados têm versões do sistema Dyna-Rig (comprovado no super yacht Maltese Falcon) que são operados automaticamente do passadiço, possibilitando o vento de ser mais facilmente aproveitado, mantendo o tamanho da tripulação comparável com a de navios que tem propulsão por combustíveis fósseis, e permitindo fáceis acessos a escotilhas para carga e descarga.

O cargueiro Greenheart mencionado acima irá incorporar uma combinação de velas mais convencionais. Em contra partida, a companhia italiana, Seagate, patenteou velas no formato de asas que dobram para incorporar a navios que já existem, incluindo os tipos Ro-Ro, conteneiros e de transporte de veículos. Há também várias configurações de equipagem que podem ser usadas em cargueiros de pequeno porte e catamarans para uso local, especialmente em comunidades insulares ou como energia auxiliar para uma grande variedade de embarcações pequenas e convencionais.

Para demonstrar numericamente as vantagens econômicas do uso da energia eólica, foram feitas algumas previsões matemáticas pelos arquitetos e projetistas dos exemplos acima. O B9 e o Ecoliner preveem custos adicionais na construção e manutenção de algo em torno de 10 a 15% do custo total desses ativos e, em retorno tem projeção de 60% de economia em combustível, reduções significantes com desgastes do motor principal e propulsor e custos de conformidade com combustíveis mais limpos. A Seagate formulou economia de combustível de 9 a 19% com um retorno do investimento após 3 ou 4 anos para suas velas em formato de asas delta.

4.2 Fixed Sails

São essencialmente asas rígidas em uma mastro rotativo. Pospostas atuais incluem o uso em navios grandes (ex.: UT Wind Challenger e o projeto EffShip que incluem o uso de velas rígidas capazes de arriarem em um mastro telescópico durante mau tempo ou em porto). Varias formas de asas fixas tem sido propostas desde os experimentos japoneses nos anos 80. Isso inclui o Walker Wingsail, instalado no navio Ashington de 6500 dwt, em 1986. Experimentos então não demonstraram economias substanciais e algumas barreiras tecnológicas estão ainda

para ser superadas com essa aproximação do projeto. Uma companhia inglesa, Oceanfoil, estudou o "wingsail" e está oferecendo uma nova patente para um projeto revisado e melhorado que estará disponível para implantação a partir do início de 2015. Exemplos da aplicação dessa tecnologia são mostrados na figura a seguir.

Figura 3: Exemplos de projetos de navios com tecnologia Fixed Sails de propulsão



Fonte: International Renewable Energy Agency.

Prometendo projetos comerciais novos adaptados do setor de yachts de corrida estão sendo desenvolvidos pela Propelwind. A companhia australiana, OCIUS Technology Ltd, usa asas fixas combinada com painéis fotovoltaicos para energizar e propulsionar balsas portuárias. A OCIUS patenteou recentemente uma forma única de velas fixas capazes de dobrarem-se em diversos tamanhos para contemplar diferentes condições de vento. Prediz-se que a tecnologia será utilizável em todos os tamanhos de navios modernos. O projeto-conceito LadeAS da Vindskip é uma embarcação mercante híbrida composta por um motor a combustão de gás natural e de um casco aerodinâmico que funciona como uma vale gigante.

Figura 4: Projeto conceito do LadeAS



Fonte: <http://www.ladeas.no/>.

4.3 Rotores

Rotores Flettner aproveitam o efeito Magnus criado quando o vento passa através de um cilindro giratório para propulsão. Foi primeiramente comprovado em 1920 em certo número de navios, incluindo o Barbara de 3000 dwt. A tecnologia foi esquecida até o início dos anos 80 quando o oceanógrafo, Capitão Jacques Cousteau, e sua equipe introduziram o TurboSail, um projeto motorizado não rotativo em suas pesquisa no navio Alcyone. Em 1985, a companhia norte americana, Windship Corporation, liberou achados de uma análise detalhada de 75 equipamentos eólicos apoiados por experimentos práticos extensivos, concluindo que o rotor tinha de longe o melhor potencial.

Em 2010, Enercon começou experimentos do navio E-Ship 1 de 12800 dwt com quatro(4) rotores Flettner movidos inicialmente por gases da exaustão de turbinas. Implementações desses rotores estão sendo considerados para navios graneleiros e petroleiros até classes VLCC apesar de o uso do espaço do convés para diferentes tipos de navios ser algo a se considerar. Existem agora projetos-conceito modernos adotando rotores Flettner. Figura abaixo mostra exemplos de navios utilizando a tecnologia para auxiliar a propulsão.

Figura 5: Exemplos de navios que utilizam rotores Flettner

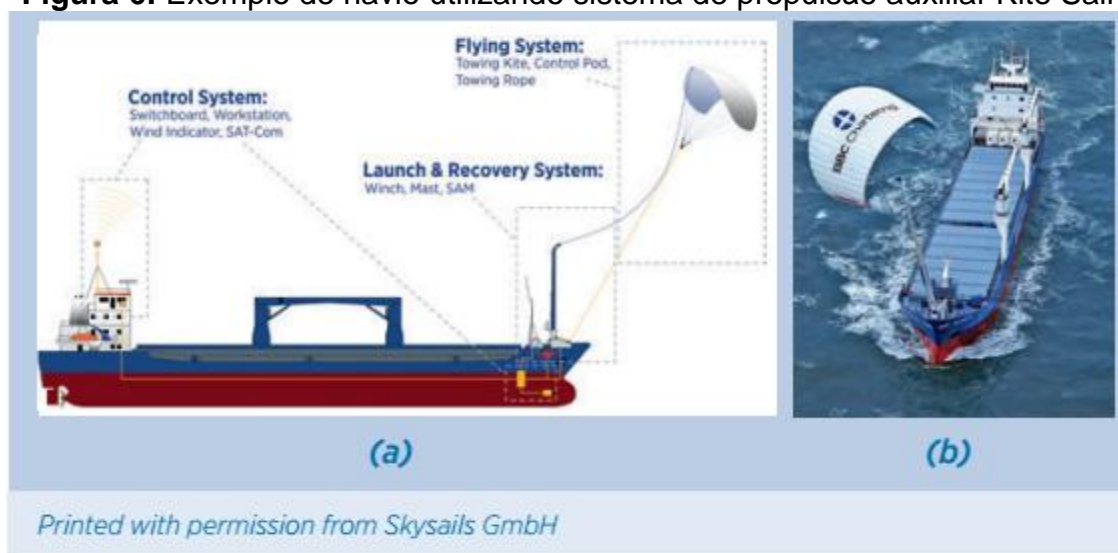


Fonte: International Renewable Energy Agency.

4.4 Kite Sails

Kite Sails é um tipo de propulsão auxiliar em que velas são anexadas à proa do navio e operam a grandes altitudes para maximizar a velocidade das embarcações usando a energia dos ventos, como mostrado na figura abaixo.

Figura 6: Exemplo de navio utilizando sistema de propulsão auxiliar Kite Sail



Fonte: International Renewable Energy Agency.

Somente um número pequeno de companhias vêm inovando e defendendo essa tecnologia por mais de uma década. Em 2008, o MS Beluga Skysails foi o primeiro navio comercial cargueiro de containers no mundo parcialmente movido pela vela tipo pipa de 160 metros quadrados. O ganho aproximado de velocidade com esse tipo de energia eólica em específico pode chegar a até 10%. O interessante dessa tecnologia é que devido ao fato de a vela ser posicionada na proa, o espaço do convés fica livre para carga e descarga.

O normal acionamento deste sistema é pelo passadiço, onde o mastro que hora se encontra recolhido passa a levantar-se mantendo a vela ainda dobrada. Após isso, a vela se abre ainda na altura do mastro para que seja feito o cálculo da velocidade e direção do vento, então o cabo da vela é liberado para que a vela atinja a altitude de trabalho desejada. A automação nesse sistema é tão eficiente que os cálculos contínuos do sistema reconhecem a direção em que o vento está tendo mais força e então o mastro redireciona a vela para melhor aproveitamento.

De acordo com o fabricante Skysails, se em boas condições de vento, esse sistema pode gerar até 2000 KW de potência para a propulsão. Em termos

financeiros, 1 KWh custa cerca de 6 centavos de dólar, que aproxima-se da metade do valor de um motor a combustão tradicional. De acordo com a IMO, seria possível eliminar 100 milhões de toneladas de emissões de gás carbônico no mundo se todos os navios instalassem esse sistema.

4.5 Turbinas eólicas

Turbinas eólicas têm sido discutidas por vários anos como propulsão de navios, entretanto, até hoje não existe protótipos de sucesso de suas aplicações. Isso reflete problemas sistemáticos com suas estabilidades e vibrações finais e com a inerente ineficiência em conversão energética relativa a outras tecnologias. A vantagem da turbina é que ela pode continuar a aproveitar potência mesmo quando navegando contra o vento. Ocasiona-se de fazer turbinas eólicas como produtoras de energia auxiliar para navios e como substituto para geração de energia em terra de fontes não renováveis, dados os enormes avanços feitos pela tecnologia de turbinas eólicas para geração de eletricidade.

Figura 7: Ferry Hornblower Hybrid com duas turbinas do tipo Savonius



Fonte: Hornblower Cruises and Events.

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 possuírem formato aerodinâmico, inclusive sendo chamado 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 balsas. 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.

5 ENERGIA SOLAR

Aplicações desse tipo usam eletricidade gerada por células fotovoltaicas. Todos os avanços dessa tecnologia de rápida evolução estão disponíveis para o uso em transporte marítimo. As limitações primárias são a falta de área suficiente de implantação para os painéis fotovoltaicos e o armazenamento de energia requerido. Recentes avanços em tecnologia de armazenagem de energia oferecem maior potencial e melhores perspectivas para sistemas de propulsão movidos por energia solar em navios em curto prazo, mas um navio completamente movido por energia solar requer mais desenvolvimento técnico e é provável de ser limitado a navios de pequeno porte (Royal Academy of Engineering, 2013).

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.

Figura 8: Navios híbridos que utilizam Fixed Wing Sails com painéis solares



Fonte: International Renewable Energy Agency.

Um projeto da Greenheart para um cargueiro de 220 toneladas propõe o uso de baterias chumbo-ácido carregadas por energia solar provendo propulsão auxiliar para seu sistema primário de velas. Baterias podem oferecer uma solução híbrida em potencial em conjunto com outros modos de propulsão para alguns navios de pequeno a médio porte, desde que sua recarga não aumente a produção de outras

emissões gasosas prejudiciais à saúde. O projeto da OCIUS Technology, o SolarSailor usa um sistema híbrido composto por velas fixas e arranjos de painéis solares montados tanto nas superfícies velicas quanto no convés, como na figura abaixo, gerando competitividade nas balsas portuárias na Austrália, Hong Kong e Shanghai e tem demonstrado que pode ser uma forte promessa para a implantação em navios grandes.

A empresa japonesa Eco Marine Power esta desenvolvendo o sistema híbrido de grande porte solar-velico, Aquarius MRE (Mrine Renewable Energy), para navios tanques e graneleiros. O projeto Auriga Leader das empresas NYK e Nippon Oil Corporation, em 2008/09 teve 328 painéis solares instalados em um transportador de veículos de 60 000 dwt suprindo 40 KW, cerca de 10% da potência do navio quando docado. Foi também o primeiro navio a direcionar a energia solar adquirida para o sistema elétrico principal. Os painéis solares foram 1,4 vezes mais energia no navio em navegação do que no porto em Tokyo mas as contribuições gerais para o sistema de propulsão foram mínimas.

Verifica-se que os sistemas de captação solar por painéis fotovoltaicos não tem grande utilidade se utilizados sozinhos na geração de energia para navios de médio a grande porte, porém, sua utilização em conjunto com outras fontes de energia de baixa emissão de carbono e outras tecnologias podem ter um papel significativo no futuro, por exemplo, painéis solares juntamente com turbinas eólicas e captação energética das ondas podem providenciar inicialmente energia para separação de hidrogênio da água do mar para tecnologia de células combustíveis de hidrogênio.

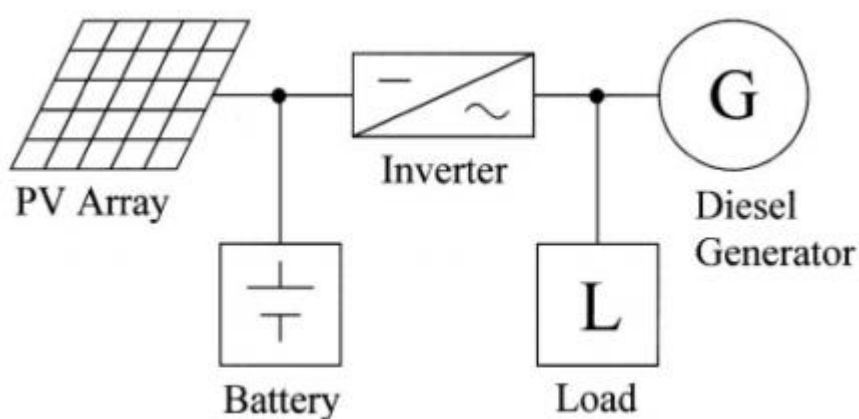
Esse baixo rendimento em geral aliado ao ainda alto custo de instalação dos painéis fotovoltaicos contribuem negativamente para a instalação em navios, embora existam estudos a respeito, pois é uma fonte de energia que depois do custo inicial de instalação o aproveitamento da mesma é de custo zero, podendo 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 inconstante, 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).

Existem também estudos que demonstram que o ângulo em que as placas são instaladas fazem diferença quanto a captação solar. Quando submetidas a 0° , as placas acumulavam muita sujeira, criando áreas de restrição. Foi constatado que o ângulo de 15° aproveita melhor a captação e evita-se a sujeira em demasia.

Abaixo temos um modelo unifilar de sistema elétrico normal para operação com células fotovoltaicas.

Figura 9: Modelo padrão da utilização de células fotovoltaicas



Fonte: Harrould – Kolieb, 2008.

A transformação ocorre quando o inversor faz com que 24Vdc, proveniente do banco de baterias e das placas fotovoltaicas virem 220Vac, e assim utiliza-se essa energia para iluminação, tomadas e demais cargas 220 Vac da embarcação. O inversor acima auto desliga-se por baixa tensão assim que o banco de baterias chega em um valor mínimo de projeto devido ao limite de operacionalidade.

6 BIOENERGIA

Atualmente, biocombustível é a alternativa de maior relevância para substituir ou combinar-se com combustíveis fósseis no setor naval. Ele tem sido muito utilizado em motores de terra, porém experiências com seu uso e o tamanho de sua aplicação no setor marítimo ainda é pequeno. Uma avaliação abrangente de combustíveis alternativos para aplicação marítima, incluindo biocombustíveis, é dada no relatório 41 anexado sobre Acordo de Implementação de Combustíveis Marinhos Avançados da Agência Internacional de Energia (IEA-AMF, 2013).

A definição convencional ou avançada de biocombustíveis depende da fonte de carbono utilizada. A Plataforma Tecnológica Europeia de Biocombustíveis dá uma boa descrição dessas definições:

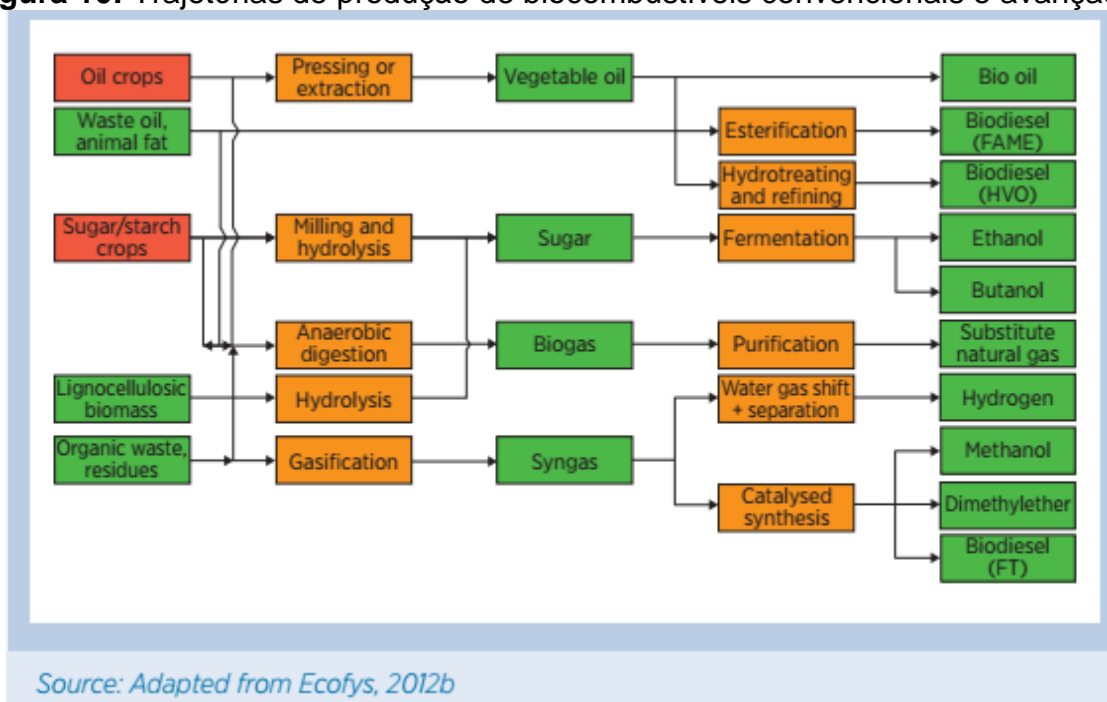
- a) 1ª Geração: A fonte de carbono para o biocombustível é o açúcar, lipídios ou amidos extraídos diretamente de uma planta. O cultivo é na verdade ou potencialmente considerada uma competidora para com o alimento;
- b) 2ª Geração: O carbono do biocombustível é derivado da celulose, hemicelulose, lignina ou pectina. Por exemplo, isso pode incluir agricultura, sobras florestais ou resíduos, ou matéria prima não comestível de crescimento proposital (ex. Short Rotation Coppice, Energy Grasses);
- c) 3ª Geração: O carbono do biocombustível é derivado de organismo aquático autotrófico (ex. algas). Luz, dióxido de carbono e nutrientes são usados para produzir matéria prima estendendo o recurso de carbono disponível para produção de biocombustível.

Biocombustíveis podem ser utilizados na forma de biodiesel, bioetanol, biometano, óleo vegetal, di-metil éter, óleo de pirólise, óleo vegetal hidrogenado e outras derivações. O caminho para produção desses combustíveis a partir da matéria prima a base de bio massa está resumida na figura abaixo.

Embora, a participação de biocombustíveis na matriz energética no setor de transporte marítimo seja pequena e provavelmente vá permanecer assim no curto e médio prazo, em longo prazo terá um papel substancial. Aprendizado tecnológico para a produção de avançados biocombustíveis – 2ª ou 3ª gerações – está aumentando, fazendo desses combustíveis a opção mais viável de energia renovável com a maior taxa de penetração no setor de transporte marítimo em longo

prazo. O potencial alto dependerá de vários fatores, como a disponibilidade de matéria prima sustentável para a produção, a viabilidade de um comércio mundial de biocombustíveis e como seus custos irão competir com outras opções de combustíveis de emissões baixas.

Figura 10: Trajetórias de produção de biocombustíveis convencionais e avançados



Fonte: International Renewable Energy Agency.

Qualquer que seja o biocombustível usado, a aplicação pode tomar o lugar do combustível antes utilizado no navio, como substituto direto e compatível com a infraestrutura e sistemas de motores, ou através de novas ou redesenhadas infraestruturas e sistemas. Problemas técnicos como instabilidade de combustível armazenado a bordo, corrosão e bioincrustações, decorrentes da utilização de certos biocombustíveis no transporte marítimo são facilmente superáveis. (Ecofys, 2012b).

6.1 Biocombustíveis Líquidos

Esses combustíveis requerem poucas mudanças nos motores. Em 2006, foi demonstrada viabilidade comercial e técnica do uso para aplicações marítimas.

Em 2006 para 2007, a empresa de cruzeiros Royal Caribbean Cruises testou o biodiesel em alguns navios, em especial o Jewel of the Seas, iniciando com mistura

de 5% de biodiesel, aumentando gradativamente esta porcentagem, até eventualmente utilizar 100% de biodiesel. Em outubro de 2006, o projeto da Canadian Bioship, cargueiro de 17850 dwt, Anna Desgagnes rodou com uma mistura de 20% de gordura animal e óleo de cozimento como biodiesel.

Os experimentos acima foram seguidos por testes da Maersk e Lloyd, na viabilidade do biodiesel em 2010 e 2011, usando misturas de lotes de biodiesel (FAME) no navio contêiner Maersk Kalmar de 88669 dwt. Os resultados foram promissores mas, inconclusivos visto que os testes só duraram 160 horas.

Em 2012, o navio multi-purpose Meri, de 105 metros e 4359 dwt, entregou a primeira carga do mundo navegando com 100% de biodiesel (bio óleo advindo de restos de polpa de madeira) na Finlândia; o navio era movido por 3 geradores Wartsila que podiam usar MDO como segurança.

Em fevereiro de 2013, Maersk assinou um acordo com a Progression Industry para desenvolver um combustível marítimo derivado de lignina, CyclOx, que é sustentável, com o custo competitivo e por qual a Maersk compraria 50.000 toneladas de combustível se esse cumprisse com as condições.

6.2 Biogás

Derivado da digestão anaeróbica de materiais orgânicos, o biogás pode ser limpo pela remoção das impurezas como umidade, sulfureto de hidrogênio e dióxido de carbono para formar biometano o qual tem a mesma qualidade que o gás natural ou pode ser liquefeito para formar biometano líquido (LBM). O cenário de adoção do biogás liquefeito para o setor marítimo, como combustível renovável de escolha é forte: combinando o LBM com outras soluções em energia renovável comprovada, como a eólica, tal qual proposto pela B9 Shipping, permite que 100% de energia renovável para navios se torne operacional em pouco tempo.

Abaixo podemos observar um resumo de viabilidade dos biocombustíveis no setor marítimo em termos dos tipos de sistemas de combustão, assim como seus potenciais de substituição. Ainda mais, temos aplicações dos biocombustíveis e problemas relacionados a propulsão em termos de custo em potencial com respeito aos sistemas de motores geradores e combustíveis, suprimento de combustíveis, abatimento nas emissões, segurança e custos indiretos.

Tabela 4: Viabilidade atual para os biocombustíveis para o setor marítimo

	Engine Applications	
	Drop-in fuel	Comment
Diesel cycle	Biodiesel (FAME)	<ul style="list-style-type: none"> ● High availability and variety of feedstock ● Land use and food nexus issues for conventional biodiesel production ● Standard well-understood specifications ● Bio-fouling potential ● Requires anti-corrosion seals and components in engine ● Suitable for low to medium speed propulsion (e.g. small carriers and cargo ships)
	Straight vegetable oil (SVO)	<ul style="list-style-type: none"> ● Up to 100% replacement possible ● Cheap and readily available ● High viscosity requires pre-heating ● Can be used in dual engines ● Suitable for low-speed propulsion of all vessel sizes
	Hydro-treated vegetable oil (HVO)	<ul style="list-style-type: none"> ● Very high quality for shipping ● High energy content ● Land use and food nexus issues depending on feedstock used ● Suitable for medium-speed propulsion of all vessel sizes
	Dimethyl ether (DME)	<ul style="list-style-type: none"> ● High potential ● Challenges with stability and storage ● Limited availability, but can be produced from ethanol using on-board alcohol to ether (OBATE) technology ● Requires fuelling infrastructure and anti-corrosion seals and components in engine ● Takes up cargo space ● Suitable for low-speed propulsion of all types of vessels
	Biomass-based Fischer-Tropsch diesel	<ul style="list-style-type: none"> ● Can use residues for feedstock ● Limited availability, depends largely on gasification ● Not yet commercially viable ● Can be used for medium-speed propulsion of all vessel sizes
	Pyrolysis oil	<ul style="list-style-type: none"> ● Low cost and high availability potential ● Corrosive ● Low heating value and high viscosity ● Difficult to store ● Suitable for low-speed propulsion of all types of vessels
Dual fuel Otto cycle	Liquefied biomethane (LBM)	<ul style="list-style-type: none"> ● Limited by availability of biomethane ● Infrastructure and storage issues
	Biomethanol	<ul style="list-style-type: none"> ● Multiple pathways for production ● Holds very high potential but is presently limited by technologies for syngas production ● Suitable for high-speed auxiliary engines
	Bioethanol	<ul style="list-style-type: none"> ● Mainly for blending ● Land use and food nexus issues for conventional bioethanol production ● Potential with second generation bioethanol ● Standard specifications and well understood ● Suitable for high-speed main or auxiliary engines

Fonte: International Renewable Energy Agency.

Tabela 5: Exemplos biocombustíveis para substituir combustíveis fósseis

Fuel Replacement	
Marine diesel oil (MDO) / Marine gas oil (MGO)	<ul style="list-style-type: none"> ● Conventional and advanced biodiesel (best option as blended fuel at up to 20% biodiesel - B20) ● Dimethyl ether (DME) ● Biomethanol ● Pyrolysis oil
Heavy fuel oil (HFO)/ Intermediate fuel oil (IFO)	<ul style="list-style-type: none"> ● Straight vegetable oil (SVO), up to 100% ● Hydro-treated vegetable oil (HVO)
Liquefied natural gas (LNG)	<ul style="list-style-type: none"> ● Liquefied biomethane (LBM)/ Biomethanol ● Dimethyl ether (DME)
Electricity	Bio-hydrogen fuel cell

Fonte: European Biofuels Technology Platform. Argonne National Laboratory, 2013.

7 ENERGIA NUCLEAR

A definição do átomo foi originalmente explicada pelo filósofo Demócrito de Abdera no Século V, e está era: átomo é a menor parte constituinte da matéria. Em grego, átomo tinha o significado de indivisível, apesar de mais tarde a cisão atômica ser descoberta.

Séculos depois, em 1803, o químico John Dalton disse em um de seus livros que todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos e também relatou alguns elementos e quais tipos de átomos os formavam, fazendo os cientistas se movimentarem para identificar todos os elementos e criarem uma forma de classifica-los. O primeiro a propor um arranjo foi o químico inglês Newlands. No ano de 1869, o químico russo Dmitri Mendeleev apresentou uma classificação periódica dos elementos na qual os átomos eram distribuídos em função dos seus pesos atômicos.

Em 1896, a radioatividade é descoberta pelo físico francês Henri Becquerel, que identificou o Urânio. Algum tempo mais tarde os elementos, também radioativos polônio e rádio foram descobertos pelo casal Marie e Pierre Curie.

Em 1897, surge a descoberta do elétron por parte de JJ Thompson. Ele também deduziu uma relação entre a carga de uma partícula e a massa. Ele verificou que os elétrons eram como células que rodeavam um núcleo, ou como os planetas que giravam ao redor do Sol, com cargas negativas.

Em 1911, a Teoria da Estrutura Atômica surge com os estudos do físico Ernest Rutherford, que pode evidenciar a dificuldade de interação entre núcleos, devido à força de repulsão elétrica. Entretanto, 8 anos depois, o próprio Rutherford, utilizando emissão de partículas Alfa de alta energia, realizou uma experiência desintegração, e proveniente desta conseguiu obter a reação da fissão nuclear.

Nas reações similares as de Rutherford foi observada a existência de outra partícula, que só veio a ser descoberta por J.Chadwick em 1932, o nêutron. Com a descoberta do nêutron, o modelo básico da estrutura atômica estava completo. Após sua descoberta os nêutrons foram muito estudados, e pode-se observar que o nêutron tem grande facilidade de penetrar nos núcleos e desestabilizá-los. Porém, os nêutrons rápidos não tinham a mesma eficiência, o que levou o físico italiano,

Enrico Fermi, a desenvolver em 1934 um método eficaz de frear os nêutrons rápidos, fazendo-os atravessar uma substância que continha elementos leves, como a água e a parafina.

Nos 6 anos posteriores, vários estudos e experimentos foram realizados entre eles o dos pesquisadores alemães Otto Hahn e Fritz Strassman, que conseguiram calcular a energia despreendida na reação de fissão. O pesquisador Niels Bohr, no ano seguinte, foi informado por outros 2 pesquisadores, também de origem alemã, que a fissão nuclear, era uma fonte de energia altamente concentrada. Durante um encontro de Bohr com Fermi, este sugeriu a Bohr que os nêutrons deveriam ser liberados, e se isto acontecesse e outros nêutrons fossem liberados, novas reações seriam provocadas e gerariam uma reação em cadeia.

Os primeiros resultados da divisão do átomo pesados, como o urânio e o plutônio, foram obtidos em 1938. A princípio, a energia liberada pela fissão nuclear foi utilizada para objetivos militares; posteriormente, as pesquisas avançaram e foram desenvolvidas com o intuito de produzir energia elétrica. No entanto, armas nucleares continuam sendo produzidas através do enriquecimento de urânio.

Em 1942, um marco da história surge, a Era Nuclear. A equipe de Fermi juntamente com o físico conseguiu liberar e controlar simultaneamente a energia de um núcleo atômico, obtendo uma reação autossustentável. Apesar de o experimento ter sido batizado como “Pilha de Fermi”, na verdade o CP-1 foi o primeiro reator nuclear a fissão da história, com a liberação de 0,5 W de energia.

Infelizmente a energia nuclear foi utilizada para fins militares na construção de bombas de alto poder destrutivo no ano de 1945, durante a Segunda Guerra Mundial. O desenvolvimento da bomba atômica foi realizado em Los Alamos, nos Estados Unidos, sob a direção do pesquisador Robert Oppenheimer, responsável pelo projeto Manhattan.

Atualmente os Estados Unidos lideram a produção de energia nuclear, porém os países mais dependentes da energia nuclear são França, Suécia, Finlândia e Bélgica. Na França, cerca de 80% de sua eletricidade é oriunda de centrais atômicas.

No fim da década de 1960, o governo brasileiro começou a desenvolver o Programa Nuclear Brasileiro, destinado a implantar no país a produção de energia atômica. O país possui a central nuclear Almirante Álvaro Alberto, constituída por

três unidades (Angra 1, Angra 2, e Angra 3(em construção)), está instalada no município de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro. Atualmente, apenas Angra 2 está em funcionamento.

7.1 Energia nuclear é renovável?

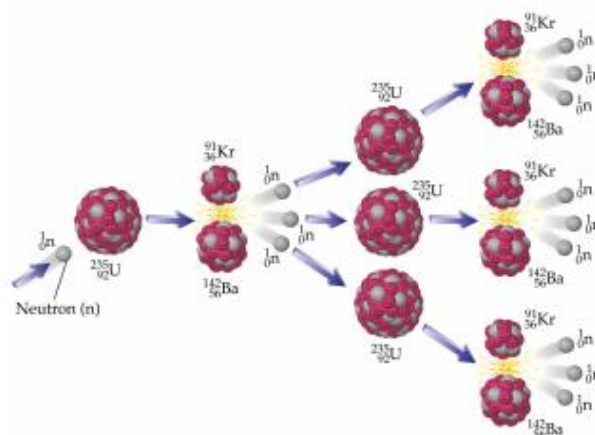
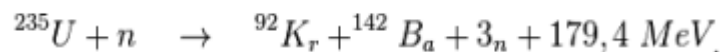
Nos últimos anos, vem sendo discutido se a energia nuclear pode ser categorizada como renovável ou não. No contexto de desenvolvimento sustentável, a energia nuclear partilha de vários benefícios de algumas fontes de energia renovável. É uma fonte de baixo carbono, tem um impacto ambiental pequeno (na usina, sua obtenção é mais controversa do ponto de vista ambiental), similaridades que estão em contrastes acirrados a combustíveis fósseis, mas energia nuclear é categorizada separadamente dos renováveis.

No futuro, energia nuclear irá fazer uso de reatores de neutros rápidos. Da mesma maneira que utiliza 60 vezes a quantidade de energia do urânio, eles irão destravar a utilização em potencial ainda mais abundante, tório como combustível. Ainda, cerca de 1.5 milhões de toneladas de urânio empobrecido vistos atualmente por algumas pessoas como lixo, se tornam recurso combustível. Em outras palavras, eles irão renovar seus próprios recursos combustíveis durante a operação. A consequência disso é que o recurso de combustível disponível para reatores de nêutrons rápidos é tão abundante que sob nenhuma prática seria a fonte de combustível insignificante. Energias renováveis, tal como definidas, ofereceriam nenhuma vantagem significativa sobre o reator de neutrons rápidos em termos de disponibilidade de fornecimento de combustível . A maioria das energias renováveis tenderá a demandar mais para construção de plantas de geração de suas respectivas energias, que por quilowatt-hora, seriam mais caras que a energia nuclear.

A energia nuclear é obtida através da fissão ou fusão nuclear. A fissão nuclear é a quebra de um núcleo atômico através do bombardeamento de nêutrons, gerando dois ou mais núcleos atômicos de outros elementos químicos, assim como novas partículas de nêutrons que se chocam novamente com outros núcleos que voltam a se dividir, ocorrendo uma reação em cadeia, liberando uma grande

quantidade de energia. A do Urânio por exemplo, gera energia 25 milhões de vezes maior do que a reação de combustão do metano.

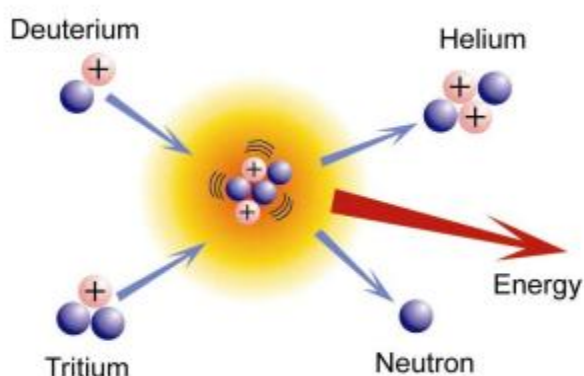
Figura 11: Reação de fissão nuclear de um átomo de urânio



Fonte: www.parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/09/fissao-ou-fusao-nuclear-qual-diferenca.html.

Por outro lado, a fusão nuclear é quando dois átomos se chocam formando outro elemento e liberando um nêutron e energia. Mas para que haja o choque é necessária grande quantidade de energia para fazer com que os núcleos com carga positiva se aproximem vencendo a repulsão que é proporcional ao número de prótons presentes nos núcleos. Por isso, o hidrogênio é mais utilizado por possuir poucos prótons. Mesmo uma estrela como o Sol consegue produzir átomos até o ferro, sendo os maiores produzidos em estrelas de maior magnitude ou em supernovas.

Figura 12: Fusão nuclear de dois átomos de hidrogênio formando hélio



Fonte: bradleystockwell.com.

A energia nuclear desprendida para geração elétrica é obtida através da fissão nuclear, pois a fusão se encontra em fase experimental, não sendo empregado atualmente (a não ser como arma), apesar desse processo requerer certa quantidade de energia para iniciar ela se auto sustenta, pois sua produção de energia é maior do que a energia consumida.

Para ocorrer a fissão, um combustível radioativo é usado, geralmente urânio ou plutônio, disponibilizados em barras. Esse processo deve ser uma reação em cadeia controlada, e para haver tal controle é necessária a presença de barras de controle feitas de um material que diminui a velocidade ou absorve os nêutrons liberados no processo, assim evita-se que o sistema chegue a níveis perigosos onde a energia liberada pode crescer exponencialmente.

7.2 Energia nuclear como propulsão para navios mercantes

O quebra-gelo Lenin foi a primeira embarcação de superfície movida a propulsão nuclear, construído em 1959. A embarcação ficou em serviço por 30 anos e agora é um museu. Após este, uma série de embarcações quebra-gelo foram e estão sendo lançadas até hoje. Infelizmente, quando se trata de navios mercantes, a propulsão nuclear não foi tão bem sucedida. O exemplo disso, o NS Savannah, lançado em 1962 e mandado para o corte em 1970, possuía um reator enriquecido a urânio e foi tecnicamente um sucesso, mas economicamente inviável. Outro

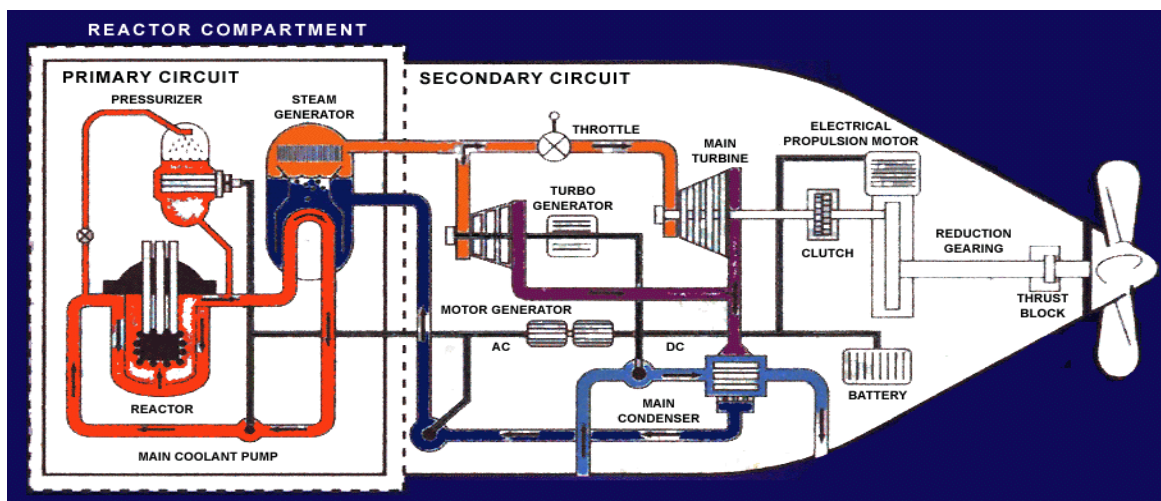
exemplo que vale ser citado é o navio cargueiro alemão Otto Hahn que completou 650mil milhas náuticas navegadas em 10 anos sem problemas técnicos, mas em 1982 foi convertido para diesel pelo fato de sua operação nuclear ser muita cara. No Brasil, a primeira embarcação nuclear (um submarino) ainda está sendo construída e deverá ser entregue em 2025.

Uma embarcação a propulsão nuclear é construída com uma planta composta por um reator encapsulado com aço de alta dureza, trocador de calor, válvulas e redes. Cada planta de reator contém mais de 100 toneladas de proteção de chumbo. Esta planta nuclear usa o reator para gerar calor vindo da fissão do combustível nuclear e, já que a fissão também produz radiação, escudos são colocados dentro do reator para manter a tripulação protegida dentro da embarcação.

Os reatores nucleares a bordo de navios não estão imunes aos perigos do mar. Apesar do navio poder se movimentar com graus de liberdade que reatores de terra não conseguiriam aguentar, espaço e peso a bordo são limitados, e o navio é isolado no mar. O reator deve ser capaz de suportar condições precárias de mar, assim com os movimentos de balanço e arfagem do navio. Deve ser capaz também de gerar energia suficiente por unidade de espaço, e preencher os requisitos de estabilidade. Enquanto reatores de terra produzem milhares de megawatts de potência, um reator marítimo somente produz centenas de megawatts. Não importa o quão capacitado seja a tripulação para fazer manutenções na planta nuclear, realiza-las longe de portos é difícil, e um problema de quebra ou falha pode levar o navio a ficar a deriva ou até mesmo encalhar, e conseqüentemente liberando contaminantes nas águas.

A planta de propulsão nuclear utiliza um sistema de água pressurizada no reator, um sistema primário e outro secundário. O primário possui uma bomba que pressuriza a água que troca calor com a energia liberada pela reação nuclear dentro do reator. Essa água entra em um vaso de pressão chamado de gerador de vapor, que troca calor com outra água, dessa vez no sistema secundário. Esta por sua vez torna-se em parte vapor que em seguida vai para a turbina e então gera movimento para o eixo propulsor que está acoplado nela. Na saída da turbina, essa água entra no condensador, trocando calor com um fluido arrefecedor, então volta ao estado líquido e é bombeado novamente para o gerador de vapor fechando o ciclo do sistema secundário.

Figura 13: Layout de um reator PWR (pressurized-water reactor)



Fonte: www.world-nuclear.org.

7.3 Vantagens e desvantagens do uso de energia nuclear

As principais vantagens são: não contribui para o efeito estufa, não polui o ar com gases provenientes do enxofre e nitrogênio, não depende da sazonalidade climática, grande disponibilidade de combustível, é a fonte mais concentrada de combustível e de geração de energia.

As principais desvantagens são: necessita o armazenamento do resíduo nuclear em locais isolados e protegidos, necessita isolar o equipamento após sua desativação, o custo inicial de implantação é mais caro que outras fontes de energia, alguns portos tem obstruções legais a atracação de navios nucleares (como em Niterói), sua obtenção vem de um processo de mineração agressivo com grandes resíduos e em caso de acidentes a liberação de resíduos podem causar muitos danos ao meio ambiente e também as pessoas.

7.4 Demanda mundial

O último relatório da IEA (International Energy Agency) acerca das perspectivas de tecnologias em energia, de 2016, diz que as melhorias quanto ao tempo de construções no setor nuclear estão fazendo com que as metas climáticas sejam atingidas mais rapidamente e também de forma mais viável. Políticas de suporte são necessárias para encorajar as operações em longo prazo das frotas e indústrias já existentes e também de novas construções, dado a contribuição vital

para a redução de emissões de gases prejudiciais ao efeito estufa, assim como contribuições para a segurança energética. As plantas de energia nuclear dobraram em 2015. Entretanto, várias questões políticas tem o potencial de impedir o desenvolvimento de novas plantas. Em particular, é necessário mais suporte para as já existentes para evitar o encerramento prematuro delas.

Ainda, a IEA declarou: "Descarbonizar a geração de eletricidade é um imperativo para cumprir as metas do 2DS (Cenário de 2 graus, estabelece uma via de implantação do sistema de energia e suas trajetórias de emissões consistentes com, pelo menos, 50% de chance de limitar o aumento de temperatura média global a 2°C). Os preços finais da eletricidade precisam refletir os custos ambientais e outros custos de geração baseada em combustíveis fósseis. É preciso dar reconhecimento a redução na emissão de gases poluentes que a geração de energia limpa possibilita e a segurança energética e flexibilidade possibilitadas por esses recursos, se renováveis distribuídos e variáveis ou grandes soluções energéticas limpas centralizadas como a nuclear e, captura e armazenamento de carbono.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o panorama energético atual na indústria do transporte marítimo, abordando sua história, os problemas que a circundam e ainda, aplicações, projeções e estudos experimentais que visam algumas soluções para o futuro. Este estudo mostra que o desenvolvimento tecnológico de energias renováveis vem sendo dificultado pelo excesso de oferta de embarcações movidas a combustíveis fósseis.

Sabe-se que a indústria do petróleo é uma das maiores indústrias do mundo e por tanto representa um domínio quase que monopólico a nível mundial em questões energéticas, assim antes de colocar as energias renováveis como uma “indústria” é preciso ter em conta o poder que representa a indústria petrolífera no mundo. (*MINADEO, Roberto*).

Entretanto, a sociedade como um todo verifica a necessidade de mudanças nas gerações de energia tanto em terra quanto no setor marítimo, para que haja a diminuição de gases poluentes que causam doenças nos seres humanos e degradação ambiental, e contribuem para o efeito estufa. Vimos que as imposições para essas mudanças acontecerem são feitas pela IMO através da Convenção MARPOL e pelos próprios armadores visto que o maior gasto são os combustíveis fósseis.

As soluções energéticas apresentadas são a utilização das fontes: eólica, solar, biocombustíveis e nuclear. Verificou-se que existem diferenças em desempenho e custos para cada tipo de aplicação assim como as influencias que cada uma tem na área de carga das embarcações. Ainda, vimos que elas podem ser introduzidas como fontes primárias e auxiliares, e que a maioria pode ser tanto incorporada aos sistemas geradores já existentes quanto em novos projetos e construções.

A energia eólica já se encontra sendo praticada em navios e com a existência de vários projetos visando o desenvolvimento da mesma, mostrando que a energia eólica pode trazer economias consideráveis na produção energética comparando-a a utilização de combustíveis fósseis e minimizar os desgastes mecânicos, dependendo do tipo de aplicação e do tamanho da embarcação. Com relação ao uso de biocombustíveis, apesar de ser uma energia considerável, ainda há

limitações associadas com os altos custos de produção em grande escala dos mesmos.

As células fotovoltaicas não se mostraram tão eficientes para navios de médio e grande porte, mantendo-se uma incógnita, pois o custo de instalação é elevado, apesar de ainda ser uma tecnologia nova e que precisa ser desenvolvida para ser viável para a maioria do setor marítimo. Entretanto, nada impede que elas sejam utilizadas como fontes auxiliares ou de emergência para as embarcações de todos os portes.

Em relação a energia nuclear e sua aplicação a bordo, podemos ver que ela carrega um potencial energético acima de todas as outras, além de ser considerada limpa. A substituição plena dos combustíveis fósseis por uma planta de geração elétrica nuclear por um lado será bom por extinguir vários equipamentos e espaços desnecessários, entretanto, traz desvantagens que podem impactar o objetivo principal que é o comércio, além de não existir ainda uma infraestrutura global para essa indústria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argonne National Laboratory. (2013) *Life Cycle Analysis of Conventional and and Alternative Marine Fuels in GREET* [Online]. Disponível em: <<https://greet.es.anl.gov/files/marine-fuels-13>>. Acesso em: mai. 2016.

BUNKER INDEX. Daily port prices – Rio de Janeiro/Brazil. 2015. Disponível em: <http://www.bunkerindex.com/prices/portfreels_xmdo.php?port_id=629>. Acesso em: mai. 2016.

DARTMOUTH UNDERGRADUATE JOURNAL OF SCIENCE, 2013. Nuclear Marine Propulsion: The history of nuclear technology. Disponível em: <<http://dujs.dartmouth.edu/2013/03/nuclear-marine-propulsion-the-history-of-nuclear-technology/#.V1X0EvkrLIW>>. Acesso em: mai. 2016.

Danish Ship Finance. (2014) *Shipping Market Review, May 2014*.

DNV. (2014) *Alternative Fuels for Shipping. DNV Position Paper, 1-2014*.

ELETROBRÁS, ELETRONUCLEAR. Energia Nuclear. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/Saibamais/Espa%C3%A7oConhecimento/Pesquisascolar/EnergiaNuclear.aspx>>. Acesso em: mai. 2016.

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

FOGAÇA, J. Conferência Rio+20 e a Emissão de Gases-estufa. Brasil Escola. 2012. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/conferencia-rio20-emissao-gasesestufa.htm>>. Acesso em: mai. 2016.

HORNBLOWER CRUISES & EVENTS. 2008. Charter Information, How It Works. Disponível em: <http://www.alcatrazcruises.com/website/hybrid.aspx#charter_info>. Acesso em: mai. 2016.

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.

IEA-AMF. (2013) *Annex 41 Report: Alternative Fuels for Marine Applications* [Online]. Disponível em: <http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_41.pdf>. Acesso em: mai. 2016.

IMO. (2012) *International Shipping Facts and Figures – Information Resources on Trade, Safety, Security, Environment* [Online]. Disponível em: <<http://www.imo.org/KnowledgeCentre/ShipsAndShippingFactsAndFigures/TheRoleandImportanceofInternationalShipping/Documents/International%20Shipping%20-%20Facts%20and%20Figures.pdf>>. Acesso em: mai. 2016.

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

IRENA(International Renewable Energy Agency), 2015. Renewable Energy Options for Shipping. Technology Brief.

MOLDANOVÁ, J. et al. Characterisation of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine: atmospheric environment. 2009.

NEW nuclear grid connections double now policy. Disponível em: <<http://world-nuclear.org/press/press-statements/new-nuclear-grid-connections-double-now-policy-sup.aspx>>. Acesso em: mai. 2016.

NUCLEAR power in the world. Disponível em: <<http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>>. Acesso em: mai. 2016.

NUCLEAR powered ships. Disponível em: <<http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx>>. Acesso em: mai. 2016.

Royal Academy of Engineering. (2013) *Future Ship Powering Options: Exploring Alternative Methods of Ship Propulsion*. London: Royal Academy of Engineering.

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

SUSTAINABLE energy. Disponível em: <<http://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/sustainable-energy.aspx>>. Acesso em: mai. 2016.

THE FUTURE OF SOLAR AND WIND POWERED SHIPPING, MIT TECHNOLOGY REVIEW, 2013. Por Kevin Bullies. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/s/516661/the-future-of-solar-and-wind-powered-shipping/>

WORD NUCLEAR ASSOCIATION, 2016. Renewable Energy and Electricity, Nuclear power in the world today, New nuclear grid connections double – now policy support is needed to deliver more, Nuclear-Powered Ships. Disponível em: <<http://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/renewable-energy-and-electricity.aspx>>. Acesso em: mai. 2016.