

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

PEDRO PAULO DUARTE LAVRADOR
GUILHERME SOARES DE OLIVEIRA

NAVIO: fontes móveis de poluição

RIO DE JANEIRO
2016

PEDRO PAULO DUARTE LAVRADOR
GUILHERME SOARES DE OLIVEIRA

NAVIO: fontes móveis de poluição

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

Orientadora: Prof^ª Laís Raysa Lopes Ferreira

RIO DE JANEIRO

2016

PEDRO PAULO DUARTE LAVRADOR
GUILHERME SOARES DE OLIVEIRA

NAVIO: fontes móveis de poluição

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

Orientadora: Prof^ª Laís Raysa Lopes Ferreira

Data da aprovação: ____ / ____ / ____

Orientadora: Prof^ª Laís Raysa Lopes Ferreira

Assinatura da orientadora

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTO

Dedicamos este trabalho de monografia ao Universo, nossos pais, mestres, colegas de curso, aos grandes amigos do camarote x-320/304 que tornaram mais fácil a vida no CIAGA e a todos que nos sempre incentivaram durante o período em que estivemos no Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante.

A todos Muito obrigado.

RESUMO

O transporte marítimo é muito utilizado e por isso é parte fundamental da economia global. Tendo em vista que o processo de globalização exige um aumento do transporte aquaviário, a frota mundial de navios cresce a cada ano. Com isto aumenta a demanda do combustível, o crescimento dos portos e a quantidade de poluentes gerados. O transporte marítimo depende essencialmente da energia dos derivados do petróleo e, em consequência, produz emissões de dióxido de carbono, enxofre, nitrogênio e material particulado entre outros. Se o crescimento da importância desse modal se mantiver nos próximos anos, como se tem previsto, a sua participação na emissão destes tipos de poluentes deve aumentar e, certamente, haverá pressões da sociedade para introdução de medidas que contenham esse aumento. Pode-se perceber, portanto, a importância de melhorias efetivas no que tange a eficiência e a redução de emissão de poluentes por embarcações marítimas.

Palavras-Chave: Poluição. Meio ambiente. Transporte marítimo. Ecologia.

ABSTRACT

Marine transport is one of the most used modal and for this reason it is a essential part of global economy. Nowadays the world growth claims a marine transport increase and the world ship fleet increase every year. This fact pushes the increase of fuel demand, ports growth and the quantity of pollutants generated. The marine transport depends essentially of energy from petroleum derivate and, the consequence, produces emissions of carbon dioxide, sulfur, nitrogen and particulate material. If the expansion of this transport modal be maintained along the next years, as expected, the emission participation of these pollutants types should grow and, certainly, society pressures will exist to introduce measures to contain this growth. Therefore we can notice the importhance of achieving effective improvements in efficiency and reductions in emissions for ships.

Keywords: Polution. Enviroment. Maritime Transport. Ecologic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FONTES MÓVEIS DE POLUIÇÃO	9
3 A ORGANIZAÇÃO MARÍTIMA INTERNACIONAL (IMO)	10
4 LEGISLAÇÃO	11
4.1 MARPOL em 1973	11
4.2 MARPOL em 1978	11
5 POLUIÇÃO DO AR	13
5.1 Os poluentes atmosféricos	14
5.1.1 monóxido de carbono	14
5.1.2 óxidos de enxofre	15
5.1.3 compostos orgânicos voláteis	15
5.1.4 material particulado	15
5.1.5 óxidos de nitrogênio	15
5.1.6 dióxido de Carbono	16
5.1.7 ozônio	16
6 COMBUSTÍVEIS NÃO RENOVÁVEIS	17
7 EFEITO ESTUFA E AQUECIMENTO GLOBAL	18
8 EMISSÕES DE GASES PRODUZIDAS PELO TRANSPORTE	
MARÍTIMO	20
9 MOTIVADORES DA MUDANÇA	22
9.1 Motores a hidrogênio	22
9.2 Biocombustíveis	22
9.3 Gás liquefeito de petróleo	22
9.4 Propulsão nuclear	23
10 MITIGAÇÃO DA PROBLEMÁTICA	24
11 BIODIESEL	26
12 NORMATIVIDADE VIGENTE	27
13 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E A SAÚDE HUMANA	28
14 NAVIO ECOLÓGICO	31
15 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

O tema foi escolhido com o objetivo de expor a possibilidade da utilização e a criação de novas tecnologias com o objetivo de diminuir as emissões de poluentes e melhorar a eficiência energética das embarcações, visando a preservação do meio ambiente, seguindo regulamentações e convenções. Atualmente a convenção que rege as normas para as emissões provenientes de motores a diesel marítimos e outros equipamentos é a MARPOL. Em Outubro 2009, 56 países já haviam adotado as regras do Anexo VI da Marpol, que visa a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios, totalizando 46% da tonelagem mundial. Este anexo é de extrema importância pois o transporte marítimo apresenta uma grande dependência essencialmente da energia dos derivados do petróleo, e se a expansão deste tipo de transporte se mantiver nos próximos anos, com o crescimento de movimentações de cargas, aumento da exploração de petróleo (Offshore), a sua participação na emissão destes tipos de poluentes deve aumentar.

A metodologia básica esta focalizada nas bibliografias e documentos. Teve início em agosto de 2014 quando foram iniciadas as pesquisas para a escolha do tema com cunho e orientação pedagógica e será concluído ao final da segunda fase do curso, que se iniciará em fevereiro de 2016 e conclusão com entrega da monografia.

2 FONTES MÓVEIS DE POLUIÇÃO

Define-se como transporte marítimo aquele que é realizado em mares abertos, como é a forma de transporte aquático mais utilizada, os termos transporte aquaviário e transporte marítimo podem ser utilizados como sinônimos.

Estima-se que a marinha mercante participe, na economia global, com cerca de US\$ 400 bilhões em frete, o que equivale a aproximadamente 5% de todo comércio mundial. As estimativas do comércio marítimo são calculadas em tonelada-milha, que é o produto da tonelagem transportada pela distância navegada. Para se ter uma idéia, em 2004, foram embarcadas cerca de 6.76 bilhões de toneladas numa distância de quase 4 milhões de milhas, o que resultou num total gigantesco de 27,635 bilhões de toneladas-milha.

Com tamanha importância e volume de transporte podemos dimensionar facilmente a quantidade de gases poluentes emitidos pela frota internacional. No ano de 2000, apenas nos mares que circundam o continente europeu os navios mercantes somados emitiram 2,3 milhões de toneladas de dióxido de enxofre (SO₂), cerca de 3,3 milhões de toneladas de óxidos de azoto (NO_x) e 250 mil toneladas de material particulado. Num cenário normal, estas emissões podem crescer 40 a 50% até 2020(SARDINHA, 2013)

3 ORGANIZAÇÃO MARÍTIMA INTERNACIONAL (IMO)

A Organização Marítima Internacional (IMO) é uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), criada em 1948, que regulamenta o transporte e as atividades marítimas com relação à segurança, à preservação de meio ambiente e a outros aspectos legais. Uma das principais convenções da IMO é a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL), que tem como principais comitês o Comitê de Segurança Marítima (MSC) e o Comitê de Proteção ao Meio Ambiente Marinho (MEPC). Como já referido anteriormente, os propósitos da MARPOL estão fundamentados na prevenção da poluição do mar causada por embarcações.

4 LEGISLAÇÃO

4.1 MARPOL em 1973

A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios foi adotada em 1973 por uma conferência internacional. Esta conferência considerou que a poluição operacional ainda era uma ameaça maior. Como resultado, ela incorporou grande parte da OILPOL 1954 incluindo desta forma a poluição por óleo.

Porém, a Convenção também tinha a intenção de abranger outras formas de poluições produzidas por navios e por isso foram criados outros anexos cobriram produtos químicos transportados a granel, substâncias nocivas transportadas em embalagens, esgoto e lixo. A Convenção de 1973 também incluiu dois protocolos que tratam de relatórios sobre incidentes envolvendo substâncias nocivas e arbitragem.

A Convenção de 1973 exigia a ratificação de pelo menos 15 países, reunindo uma frota mercante não inferior a 50% da tonelagem bruta mundial, para que pudesse ser promulgada. Em 1976, havia apenas três signatários: Jordão, Quênia e Tunísia – representando menos que um por cento da frota mercante mundial. Isto ocorreu a despeito do fato que os Países poderiam participar da Convenção somente ratificando os Anexos I (que trata da poluição por óleo) e o Anexo II (produtos químicos), sendo os anexos III, IV e V, que tratam do transporte de substâncias nocivas embaladas, esgoto e lixo, opcionais. Isto fez parecer que a Convenção de 1973 talvez nunca fosse ser implementada independente da sua importância.

4.2 MARPOL em 1978

Em resposta ao número de acidentes no período de 1976 e 1977, em fevereiro de 1978 a IMO fez realizar uma Conferência sobre Segurança de Navios Tanque e Prevenção da Poluição. A Conferência adotou medidas ligadas ao projeto e à operação destas embarcações, que foram incorporadas tanto no Protocolo de 1978 relativos à Convenção Internacional para Salva-Guarda da Vida Humana no Mar de 1974 (Protocolo SOLAS 1978), quanto no Protocolo de 1978 relativo à Convenção Internacional para a Prevenção de Poluição por Navios de 1973 (Protocolo MARPOL 1978) – adotado em 17 de Fevereiro de 1978.

Como a Convenção de 1973 ainda não havia sido implementada, o Protocolo MARPOL absorveu a Convenção mãe. A combinação da Convenção Internacional para a

Prevenção da Poluição Marinha causada por Navios de 1973, assim conforme modificada pelo Protocolo de 1978 relating thereto (MARPOL 73/78), foi implementada em 02 de Outubro de 1983 (para os Anexos I e II). O Anexo V, que trata do lixo, obteve as ratificações suficientes para sua implementação em 31 de Dezembro de 1988, enquanto o anexo II, referente às 45 substâncias nocivas embaladas, teve sua implementação em 01 de Julho de 1992.

5 POLUIÇÃO DO AR

A definição de poluição é a emissão de resíduos líquidos, sólidos e gasosos em quantidade superior à capacidade de absorção do meio ambiente. Esse excesso interfere na vida dos animais e vegetais e nos mecanismos de proteção do planeta, como a camada de ozônio e aumento do efeito estufa.

A poluição do ar não é um problema recente, tanto que própria natureza tem fenômenos geológicos que são grandes fontes de poluentes. São exemplos, as erupções vulcânicas e os incêndios. A participação humana no processo de poluição do ar se iniciou quando o homem aprendeu a utilizar o fogo e, com a revolução industrial, tem crescido de maneira exponencial.

Antigamente, a poluição atmosférica era relacionada à fumaça vinda de pessoas queimando madeira ou carvão para se aquecerem. O uso do carvão como combustível cresceu desde a idade média até os séculos XV e XVI, na Inglaterra. Atingiu níveis alarmantes, até surgirem os primeiros sinais de baixa qualidade do ar londrina. O número de mortes era alto, crescente e atribuído ao famoso fog de poluição. Em 1952 morreram quatro mil pessoas. Foram necessárias medidas e leis drásticas para resolver o problema.

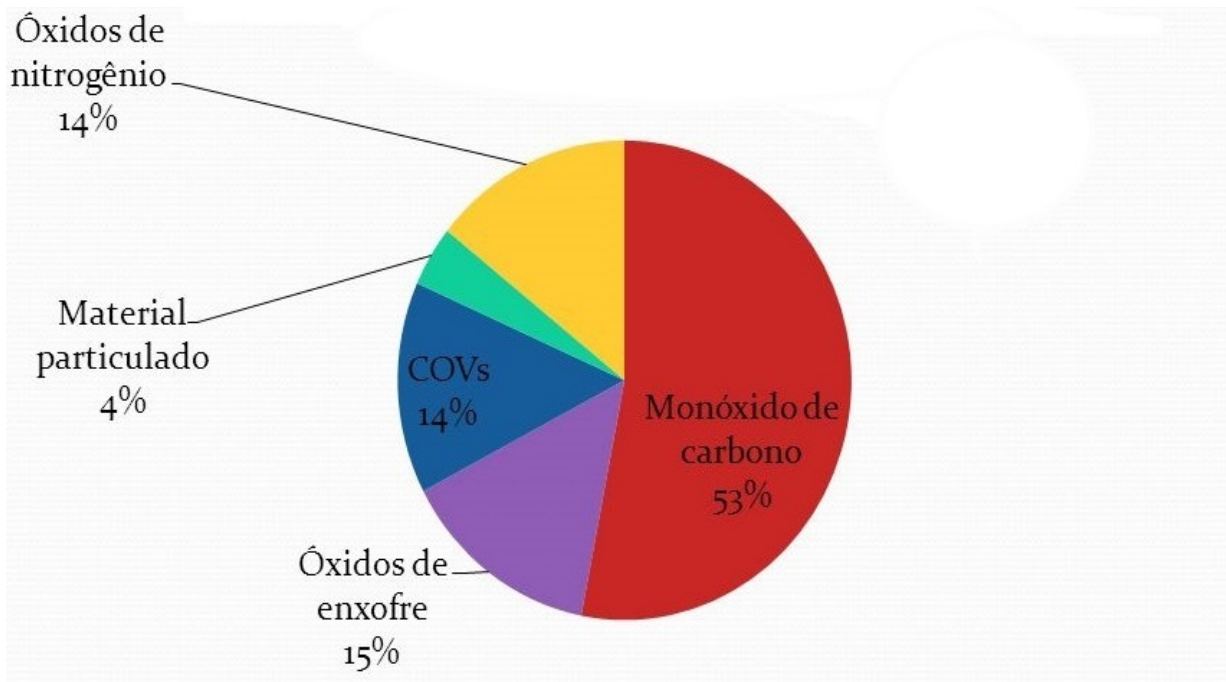
Aqui no Brasil, crianças nasciam com problemas na formação do cérebro, em Cubatão. A alocação de recursos e a mobilização da sociedade foram imprescindíveis para o controle das emissões. Instalação de filtros e outras medidas de controle de efluentes e emissões reduziram o impacto da poluição no município de Cubatão, SP (Dantas, 2003).

Poluentes atmosféricos são substâncias transportadas pelo ar (sólidos, líquidos ou gases) que ocorrem na atmosfera terrestre em concentrações altas o suficiente para comprometer a saúde de pessoas e animais, danificar plantas e estruturas e contaminar o ambiente.

As principais atividades humanas que produzem poluição do ar estão relacionadas às atividades industriais, à produção de energia, aos transportes, às cidades e residências e às atividades agropecuárias.

5.1 Os poluentes atmosféricos

OS CINCO POLUENTES QUE SOMAM 98% DA POLUIÇÃO



Fonte: Goodman e Gilman, 2004

5.1.1 monóxido de carbono

Um dos maiores poluentes do ar das cidades é um gás sem cor nem odor. Resultado da combustão incompleta do carbono constituinte dos combustíveis, o monóxido de carbono (CO) é emitido por motores a combustão. Os veículos automotivos são responsáveis por 50% das emissões desse poluente nas cidades. Por sua vez, cerca de 55% da causa do aumento do efeito estufa é causado por esse gás.

O monóxido de carbono é extremamente venenoso. Quando inalado, passa a ser transportado pelo sangue no lugar do O₂. Com a falta de oxigênio no cérebro, a pessoa sente dor de cabeça, fadiga, sonolência e, por fim, morre.

Entretanto, o CO é eficientemente removido da atmosfera e fixado no solo por microorganismos do solo.

5.1.2 óxidos de enxofre

O dióxido de enxofre é um gás incolor que aparece a partir da combustão de um combustível fóssil que contenha enxofre, como o carvão e o óleo combustível. O dióxido de enxofre é um forte poluente de odor desagradável e irritante. Quando inalado, causa problemas respiratórios como asma, bronquite e enfisema.

5.1.3 compostos orgânicos voláteis

São compostos formados por hidrogênio e carbono, chamados hidrocarbonetos. O mais abundante na natureza é o metano (CH₄); outros COVs são benzenos, formaldeídos e alguns clorofluorcarbonos. O benzeno e o benzopireno (produtos da queima do carvão, madeira e tabaco) são cancerígenos.

5.1.4 material Particulado

O material particulado é composto por um conjunto de partículas sólidas e líquidas; pequenas o suficiente para permanecerem suspensas no ar. Podem ser chamadas de aerossóis e não são necessariamente venenosos como a poeira, o pólen, a fuligem e a fumaça. Alguns são muito nocivos como o arsênio e as fibras de amianto. Partículas líquidas ou gotículas como o ácido sulfúrico, óleos e vários pesticidas também são aqui incluídos.

O material particulado apresenta a característica de reduzir eficientemente a visibilidade nas áreas urbanas. Assim, quando presente torna-se alarmante, uma vez que o efeito visual é o que primeiro impressiona as pessoas.

5.1.5 óxidos de nitrogênio

Genericamente conhecidos por NO_x, são o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). São gases que se formam quando o nitrogênio do ar reage com o oxigênio no processo de queima de combustível em altas temperaturas. Os óxidos de nitrogênio em altas concentrações são prejudiciais às pessoas, podendo causar problemas cardíacos e respiratórios. A longa exposição a esses gases também causa a perda de resistência a infecções, principalmente no aparelho respiratório.

5.1.6 dióxido de carbono

Ao contrário do monóxido de carbono, o gás dióxido de carbono não é venenoso, sendo necessário para vários processos fisiológicos nos seres vivos, como por exemplo, para manutenção de um pH ótimo no sangue e a fotossíntese. O grande problema no uso de combustível fóssil para quaisquer finalidades como a produção de energia em termoeletricas, a alimentação de motores de veículos, o aquecimento de ambientes e caldeiras, é que sempre resultará em produção de CO₂ e água.

5.1.7 ozônio

É uma variedade alotrópica do oxigênio que apresenta três átomos. É um oxidante fortíssimo. O ozônio possui odor desagradável que pode irritar as mucosas e agravar doenças crônicas como asma e bronquite. É importante ressaltar que o ozônio na troposfera é um poluente que apresenta uma série de características que o torna prejudicial às pessoas, plantas e animais. Na estratosfera, entretanto, o ozônio é um gás que participa de uma série de reações químicas onde ocorre absorção de radiação ultravioleta. Neste caso, a presença do ozônio, as reações químicas das quais ele participa e os efeitos produzidos são benéficos para a vida na superfície da terra.

6 COMBUSTÍVEIS NÃO RENOVÁVEIS

Na década de 1970, com a crise do petróleo, a comunidade internacional começou a se conscientizar dos danos causados pela poluição gerada pela queima combustíveis fósseis e intensificou os estudos com o objetivo de tornar viável o uso combustíveis alternativos aos derivados de petróleo. Por isso enquanto as fontes do petróleo do mundo estão se tornando escassas, a atenção foi dirigida a encontrar fontes alternativas dos combustíveis para os motores. A natureza não renovável e limitados de combustíveis do petróleo se transformaram em um assunto de grande interesse para o mundo. O reservatório atual dos combustíveis usados nos motores internos da combustão, incluindo o diesel, esgotará dentro de quarenta anos se consumido em uma taxa crescente e, que foi estimada em 3% por ano. Todos estes aspectos atraíram a atenção para conservar e prorrogar o esgotamento das reservas do óleo.

7 EFEITO ESTUFA E AQUECIMENTO GLOBAL

O efeito estufa é um fenômeno natural da atmosfera terrestre pelo qual o calor das irradiações solares é parcialmente retido. Não fosse assim, o calor do sol se dissiparia para o espaço e a Terra se tornaria inabitável para a maioria das espécies. Entretanto, nos últimos anos observou-se uma grande intensificação desse fenômeno, devido ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera causada pelas atividades humanas. Estudos mostram que a temperatura média global aumentou entre 0,3°C e 0,6°C desde o final do século XIX e de 0,2°C a 0,3°C na última metade do século XX. Projeções estimam uma variação de cerca de 2°C até 2100, que poderá alterar o equilíbrio do clima da terra e trazer sérias consequências para a biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas do planeta.

Segundo IPCC (2001), as concentrações de gases atmosféricos do efeito estufa aumentaram no século XX em consequência das atividades humanas, segundo estudos recentes do painel climático da ONU, Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC).

Quase todos os gases do efeito estufa alcançaram seus níveis gravados mais elevados nos anos 1990 e continuam a aumentar. O dióxido de carbono atmosférico e o metano variaram substancialmente durante ciclos glacial-interglacial nos 420.000 anos passados, mas mesmo o maior destes valores primitivos é muito menor do que suas concentrações atmosféricas atuais.

O CO₂ e CH₄ são os primeiro e segundo mais importantes, respectivamente, causados pela atividade humana. Desde o século XVIII, a concentração destes gases aumentaram, de maneira assustadora. Estas taxas de aumento são imprecedentes. A queima do combustível fóssil liberou-se na média 5,4 Gt C/ano (gigatoneladas de carbono) durante os anos 1980, aumentando a 6,3 Gt C/ano na década subsequente.

-Aproximadamente setenta e cinco por cento do aumento no CO₂ atmosférico durante os anos 1990 foram causados pela queima de combustíveis fósseis. Com a mudança do uso da terra, o desmatamento é responsável pelo resto.

Assim, no último século, as atividades humanas tiveram um papel cada vez mais importante na mudança ambiental global. Os impactos humanos no ambiente aumentaram muito enquanto a população mundial cresceu e a escala de atividades humanas tais como a agricultura, a indústria e a extração de recursos naturais aumentaram. As emissões industriais na atmosfera podem influenciar o clima. As mudanças no uso de terra, como derrubar

florestas para a produção agrícola, podem quebrar ecossistemas naturais e afetar a química da atmosfera. As atividades humanas afetam o ambiente e a vida e a sociedade humana é afetada em muitas maneiras importantes por mudanças no sistema ambiental global. Secas causam falhas nas colheitas, faltas do alimento, má nutrição e inanição. A seca persistente pode tornar a terra agrícola fértil em deserto.

Os deslocamentos na circulação e na temperatura do oceano afetam a produtividade da pesca. O derretimento do gelo polar pode levantar níveis do oceano bastante para ameaçar cidades litorais. A variação do clima pode trazer tempestades mais severas e aumento em perda de vidas, bens materiais a algumas regiões e um tempo mais benigno a outras. A mudança ambiental global é um dos desafios maiores na face da humanidade de hoje. Aqueles que fazem política e decisões para nossa sociedade necessitam ferramentas melhores para ajudar-lhes a enfrentar este desafio.

O Brasil vive a situação ambígua de ser o país das hidrelétricas e do etanol, mas também de ser visto como vilão do desmatamento na Amazônia. Para estabilizar os níveis de CO₂ na atmosfera a níveis seguros amanhã, o trabalho precisa começar hoje. Cada vez mais, consumidores, políticos e investidores acreditam que essa é uma tarefa que também cabe às empresas.

8 EMISSÕES DE GASES PRODUZIDAS PELO TRANSPORTE MARÍTIMO

As emissões atmosféricas de um navio são geradas principalmente em função do sistema de combustão, representado pelos motores marítimos que utilizam um combustível derivado do petróleo para liberar energia. Isso envolve oxidação dos hidrocarbonetos, gerando emissões de gases. Os principais componentes são o dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NOX), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado. Eles se misturam com a atmosfera de maneira que podem mudar a sua composição química, prejudicando de maneira significativa da qualidade do ar, repercutindo na saúde pública e o clima.

As emissões dos motores têm diversas consequências negativas para a saúde humana, entre os problemas mais comuns estão as dificuldades respiratórias, irritação pulmonar, bronquite crônica, edema pulmonar, dor da cabeça, alteração da percepção e pensamento, tontura, asma, ataque cardíaco, câncer pulmonar [WHO;2006], podendo produzir até a morte.

Cerca de 70% a 80% destas emissões se produzem dentro de uma distância de 400 km do litoral, ocasionando a morte de mais de 60.000 pessoas ao ano [IMO 2000; Corbett et al., 2007]. Isso ocorre porque a maioria dos navios faz rotas de cabotagem próximas ao litoral. Segundo este estudo, a cifra pode-se elevar em 40% para 2012 chegando assim a 84000 mortes prematuras ao ano.

As emissões dos navios também têm consequências negativas sobre o clima da terra já que contribuem de alguma maneira, ao aquecimento global; este tema é um dos principais desafios que enfrenta a humanidade neste momento. O principal gás que contribui para o aquecimento global é o CO₂.

Para controlar os gases de efeito estufa foi firmado, em 1997, o Protocolo de Kyoto, que é o mais importante acordo ambiental para combater o aquecimento global. Ele compreende seis Gases de Efeito Estufa (GEE): dióxido de carbono (CO₂), hidrofluorcarbonatos (HFC), perfluorcarbonatos (PFC), hexafluoreto de enxofre (SF₆), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Basicamente o Protocolo é um acordo internacional cujo objetivo é reduzir as emissões dos seis gases entre os anos 2008 e 2012 em mais de 5% a nível mundial e em comparação ao ano 1990.

Dentre esses gases o CO₂ é o componente que é gerado em maior quantidade [IPCC; 2007]. O CO₂ passou de 280 ppm para 379 ppm em 2005 [UNCTAD;2008]. Os navios são uma fonte importante de geração de dióxido de carbono (CO₂), em 2007 só o transporte marítimo produziu 1,12 milhões de toneladas métricas de CO₂ [IMO; 2008]. Há uma série de

estudos que contabilizam a quantidade de emissão de CO₂ gerada pelo transporte marítimo. Os dados de alguns destes estudos estão apresentados na Tabela 2 e há uma diferença marcante entre estes resultados, oscilando para os diferentes anos entre 419,3 e 1120 milhões de toneladas de CO₂; estima-se que representem de 1,6 a 4,1% das emissões mundiais de CO₂ resultante da queima de combustível (UNCTAD 2008).

ESTIMATIVAS DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÕES DE CO₂ PARA O TRANSPORTE MARÍTIMO

	Ano Base de Dados	CO₂ Milhões de Ton.	Combustível Milhões de Ton.	Prcentagens de Queima Combustível Mundial
Estudo de GEE da OMI (2000)	1996	419,3	138	1,6
Corbett et al., 2003	2001	912	289	3,1
Endressen et al.,2007	2002	634	200	2,3
Eide et al.,2007	2004	704	220	2,6
AIE (2005)	2005	543	214	2
Eide et al.,2007	2006	800	350	2,9
Grupo de expertos da OMI (2007)	2007	1120	369	4,1
Estudo Atualizado da OMI (2008)	2007	843	277	3,1

Fonte: Glauber,UFJF, 2001

As emissões vêm ligadas à qualidade do combustível, no transporte marítimo os dois principais combustíveis são os destilados e os residuais, sendo os destilados divididos em dois tipos: Marine Gas Oil (MGO) e Marine Diesel Oil (MDO), segundo a IMO no ano 2007 o consumo de combustíveis marinhos foi de 369 milhões de toneladas e poderia aumentar a 486 milhões de toneladas.

9 MOTIVADORES PARA A MUDANÇA

Diversos fatores nos direcionam a importância de se criar mudanças no que diz respeito a eficiência dos navios mercantes dentre eles os acordos internacionais voltados para a necessidade de combater as mudanças climáticas, o aumento do preço dos combustíveis marítimos, o aumento geral no preço de construção de um navio e outros diversos fatores nos levam a seguinte questão: Os atuais métodos de propulsão marítima são sustentáveis?

Para conseguir melhorias efetivas na eficiência e na redução da emissão de poluentes por navios, é preciso de uma evolução integrada de todos os sistemas de engenharia que constituem uma embarcação. Isso deve levar em conta todos os elementos de arquitetura naval, o meio de propulsão principal e possivelmente uma mudança geral na matriz energética das embarcações.

Visto isso, é provável a implantação de modelos como:

9.1 Motores a hidrogênio;

Motor que usa o hidrogênio como fonte de energia. O processo pode acontecer de duas formas combustão ou conversão da célula de combustível. Na combustão, o hidrogênio se queima como no esquema de um motor de combustão interna, da mesma forma que a gasolina, ou outro combustível. O grande problema é a dificuldade de se obter quantidade suficiente para suprir a crescente demanda energética global.

"Seriam necessários 25 bilhões de metros cúbicos de hidrogênio só para fornecer a energia equivalente ao consumo de gás natural nos Estados Unidos, na década passada — enquanto toda a produção mundial de hidrogênio se limita a 2 bilhões de metros cúbicos anuais. Como se vê, há muito chão pela frente até o hidrogênio tornar-se um combustível competitivo. Mas não há remédio tão eficaz para salvar o mundo de uma crise de energia — ou da poluição." (Revista Superinteressante, Número 6, Ano 7)

9.2 Biocombustíveis;

É todo combustível derivado de fonte orgânica e não fóssil, como por exemplo, o álcool etanol, a biomassa ou o biodiesel. Sua aplicação é bastante antiga e extensa, ao contrário do que possa parecer devido à supervalorização do biodiesel atualmente.

9.3 Gás liquefeito de petróleo;

Consiste numa mistura gasosa de hidrocarboneto obtido do gás natural das reservas do subsolo, ou do processo de refino do petróleo cru nas refinarias.

9.4 Propulsão nuclear

Designa uma grande variedade de métodos de propulsão, os quais usam alguma forma de reação nuclear como fonte primária de potência. Muitos submarinos militares e um número crescente de grandes navios – quebra-gelos e porta-aviões usam reatores nucleares como fonte de potência.

No capítulo 16 vamos abordar a questão do Navio Ecológico sugerindo soluções relacionadas as emissões atmosféricas e a eficiência de embarcações.

10 MITIGAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Na indústria do transporte marítimo existem duas opções claras para a redução das emissões, as melhoras tecnológicas e as medidas operacionais.

No marco das medidas tecnológicas podemos apreciar que existem três linhas de investigação bem distintas dentro do escopo de redução de impactos ambientais produzidos pela atividade de transporte aquaviário.

Uma primeira linha consiste em otimizar as formas dos navios de modo a reduzir a resistência à propulsão e, em consequência, a potência de máquina requerida e o consumo de combustível. Segundo a IMO, pode se esperar uma redução das emissões, mediante a otimização do projeto hidrodinâmico de casco e hélice, gerando entre os dois uma redução de CO₂ do 5 ao 30%.

A segunda linha está relacionada ao aperfeiçoamento das atuais configurações de instalação propulsora, envolvendo: aumento do rendimento de hélices e da eficiência térmica de motores; adequação do processo de combustão nos motores, com efeitos diretos sobre o consumo de combustível bem como da emissão de poluentes, além de redução das emissões disponíveis no mercado como:

- HAM ou motor de ar úmido; consiste na injeção de ar com 100% de umidade reduzindo a concentração de oxigênio no cilindro, realizando a combustão sem variações significativa de temperatura; esta técnica é capaz de reduzir de 70 ao 80% de NO_x, [EEB, T&E, SAR, 2004].
- A emulsificação da água é um mecanismo de redução de NO_x como consequência da introdução de água à combustão, reduzindo a temperatura no processo. Segundo as pesquisas realizadas pela MAN (Exhaust Gas Emission Control Today and Tomorrow Application on MAN B&W Two-stroke Marine Diesel Engines) obteve-se uma redução de 10% para cada 10% de água pulverizada acrescentada.
- A Redução Catalítica Seletiva (SCR) é uma tecnologia usada há muitos anos [Eyring et al. 2005b]; consiste em um sistema para o tratamento posterior dos gases de escape, reduzindo as emissões de NO_x em 90%, [EEB, T&E, SAR, 2004], além de reduzir as emissões de HC (hidrocarbonetos) e CO (monóxido de carbono) em 80 a 90% [Eyring et al. 2005b]; normalmente exige o uso de um combustível de baixo conteúdo de enxofre.

- A recuperação de calor residual se mostra como uma das formas mais eficientes já que logra reduzir os gases de escape como o CO₂ e NO_X, contribuindo com o meio ambiente. Conseguem-se, assim, uma redução do consumo de combustível do navio, o que proporciona uma maior competitividade no mercado; esta tecnologia está instalada nos motores Wärtsilä, WASTE HEAT RECOVERY (WHR) e da MAN B&W, THERMO EFFICIENCY SYSTEMS (TES), permitindo aumentar em 12% a energia que poderia ser utilizada em serviços a bordo.

A terceira linha implica em uma mudança mais radical: substituição das fontes convencionais de energia para a propulsão por fontes não poluentes, exigindo o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como de alterações significativas nas formas dos navios. Entre elas já está disponível no mercado a energia eólica que poderia trazer uma diminuição do consumo de combustível; a companhia SkySails conseguiu combinar a tecnologia com um parapente, criando um sistema de propulsão aerodinâmico, que é fixo a uma estrutura sólida e pode ser facilmente recuperado. As vantagens mais importantes são a redução dos gastos de combustíveis até em 50% e o aumento da velocidade em 10%.

A conexão de eletricidade ao porto, enquanto o navio está atracado no terminal, reduziria em quase 100% as emissões, beneficiando a qualidade do ar na região.

As medidas operacionais estão relacionadas com a eficiência do navio e, como as emissões de gases estão ligadas à quantidade de combustível consumida. Por isso fica evidente como é importante a adoção de medidas para economizá-lo.

11 BIODIESEL

Biodiesel, um combustível diesel alternativo, é feito das fontes biológicas renováveis tais como os óleos vegetais e as gorduras animais. É biodegradável e não tóxico, tem perfis baixos da emissão e, assim, é ambientalmente benéfico (Ma & Hanna, 1999).

O biodiesel é um combustível constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação química de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleos vegetais, óleos/gorduras animais, reaproveitamento de óleos usados em frituras e de rejeitos da extração e purificação de diversos óleos) com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol.

Para solucionar os inconvenientes do uso direto de óleos vegetais nos motores diesel, estudos iniciados na Bélgica em 1940 visaram a transesterificação. Foi feita produção em escala semi-industrial da mistura de ésteres etílicos com o óleo de dendê, para utilização direta em motores diesel. O processo industrial não apresentou dificuldades técnicas, sendo muito baixo o consumo energético para sua obtenção (Martins, 1981). De diversos métodos disponíveis para produzir o biodiesel, a transesterificação de óleos naturais e as gorduras é atualmente o método escolhido. A finalidade do processo é abaixar a viscosidade do óleo ou da gordura (Ma & Hanna, 1999).

Em muitas investigações, as reduções em monóxido de carbono, hidrocarbonetos (HC) e emissões de fumaça e material particulado, junto com um NOx mais elevado, nas exaustões foram determinadas. Testes conduzidos em motor diesel operado com mistura de 20% biodiesel de soja com combustível diesel provou que o índice de fumaça, os CO e os HC estiveram diminuídos de 8% a 63%, 2% a 29% e 3% a 60%, respectivamente, enquanto que as emissões de NOx aumentaram de 0.5% a 18% (Labeckas & Slavinskas, 2006).

Carraretto et al. (2004) observaram que a média de redução em CO e HC, com uso de biodiesel a 30% em mistura, foi de 13,5% e 3% respectivamente. Grande contribuição foi o teor de oxigênio presente no biodiesel. Os valores de NOx, ao contrário, tiveram um aumento de 9%, sendo de acordo com os muitos resultados na literatura.

12 NORMATIVIDADE VIGENTE

Na atualidade as emissões dos motores principais e auxiliares estão reguladas pelo Anexo VI da MARPOL 73/78 “Regras para a Prevenção da Poluição do Ar Causada por Navios”, as quais entraram em vigência em 19 de maio de 2005, mas foram concebidas em 1997.

Entre as principais regras estão a inclusão de um valor máximo de 4,5% no conteúdo de enxofre nos combustíveis marítimos Além disso, em áreas especiais considera-se que o conteúdo de enxofre não deva exceder 1,5%; entre as áreas especiais estão o Mar Báltico, Mar do Norte etc.

Mas, com o tempo, as porcentagens vão diminuir, passando a 3,5% (1 janeiro 2012) e, finalmente, a 0,5% (1 de janeiro 2020); no caso das áreas especiais as reduções serão mais drásticas com 1% (1 julho 2010) e 0,1% (1 julho 2015).

Para navios construídos a partir de 1 de janeiro 2011 (TIER II), as emissões de NOX não deverão exceder 14,4 g/kW h, para motores com rotação inferior a 130 RPM, $44,0 \times n^{-0,2}$ g/kW, quando n estiver de 130 a 2000 RPM e 7,7 g/kW h, quando n estiver acima de 2000 RPM. Para navios construídos a partir de 1 de janeiro 2016 (TIER III) as regulamentações serão mais drásticas com um limite de 3,4 g/kW h, para motores com rotação inferior a 130 RPM, $9,0 \times n^{-0,2}$ g/kW, para motores de 130 a 2000 RPM e 2,0 g/kW h, para n acima de 2000 RPM.

13 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS E A SAÚDE HUMANA

Como mostrado acima e segundo o estudo efetuado em 1988 intitulado "Carcinogenic Effects of Exposure to Diesel Exhaust" (Efeitos carcinogênicos da exposição a exaustão de diesel) do "National Institute for Occupational Safety and Health" (NIOSH), as emissões de motores a diesel são compostas por gases, vapores e material particulado.

PRINCIPAIS POLUENTES, FONTES, PROCESSOS E EFEITOS

Poluentes	Fontes	Processos	Efeitos
Óxidos de enxofre (SOx)	Antropogênicas	Combustão (refinarias, centrais térmicas, veículos, processos industriais).	Afeta o sistema respiratório, chuva ácida, danos em materiais.
	Naturais	Vulcanismo, processos biológicos.	
Óxidos de nitrogênio (NOx)	Antropogênicas	Combustão (veículos e indústrias).	Afeta o sistema respiratório e chuva ácida.
	Naturais	Emissões da vegetação.	
Compostos orgânicos voláteis	Antropogênicas	Refinarias, petroquímicas, veículos, evaporação de combustíveis e solventes.	Poluição fotoquímica; inclui compostos tóxicos e carcinogênicos.
Monóxido de carbono (CO)	Antropogênicas	Combustão (veículos).	Reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue.
	Naturais	Emissões da vegetação.	
Dióxido de carbono (CO ₂)	Antropogênicas	Combustão.	Efeito estufa
	Naturais	Fogos florestais.	
Chumbo (Pb)	Antropogênicas	Gasolina com chumbo, incineração de resíduos	Tóxico acumulativo. Anemia e destruição de tecido cerebral.
Partículas	Antropogênicas	Combustão, processos industriais, condensação de outros poluentes, extração de minerais.	Alergias respiratórias. Vetor de outros poluentes (metais pesados, compostos orgânicos carcinogênicos-).
	Naturais	Erosão eólica, vulcanismo.	
CFC	Antropogênicas	Aerossóis, sistemas de refrigeração, espumas, sistemas de combate a incêndios.	Destruição da camada de ozônio. Contribuição para o efeito estufa.

Fonte: Radicchi, UFMG, 2004

Os gases e vapores são constituídos do Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Óxidos Nítricos, Óxidos Sulforosos, Dióxido de Nitrogênio e diversos hidrocarbonetos como o etileno, o formaldeído, metano, benzeno, fenol, 1,3-butadieno, acroleína e hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HAP's).

O Dióxido de Carbono, conhecido também como Gás Carbônico (CO₂), em concentrações elevadas, principalmente, em ambiente confinados, cefaléia (dor de cabeça e dificuldade em respirar, podendo causar em doses elevadas inconsciência. É importante lembrar que o Dióxido de Carbono é mais pesado que o ar e, portanto, fica em maior concentração nas partes mais baixas da atmosfera. O tratamento é a oxigenioterapia

O Monóxido de Carbono pode provocar cefaléia, tonteira, sono, redução dos reflexos, desorientação temporal e espacial, dispnéia, taquipnéia, labilidade emocional, náuseas, vômitos, pele e mucosas com cor de framboesa, e em situações extremas insuficiência respiratória e morte, haja vista, que o monóxido de carbono é 210 vezes mais ávido pela hemoglobina que o oxigênio, provocando, em consequência, redução da oxigenação celular.

Para fins de resgate e de sobrevivência, em ambiente rico em Monóxido de Carbono, é interessante lembrar que o Monóxido de Carbono é mais leve que o ar e, portanto, permanece nas camadas mais altas da atmosfera em ambientes confinados.

O Óxido de Nitrogênio causa irritação e broncoespasmo (espasmo da musculatura brônquica), além de diminuir a resistência orgânica às infecções, participando, também, na gênese da doença obstrutiva crônica (enfisema pulmonar).

Os hidrocarbonetos destilados do petróleo deprimem o sistema nervoso central (SNC), sendo substâncias rapidamente absorvidas pela ingestão ou aspiração, produzindo em baixas concentrações excitação do SNC e, em doses altas, sua depressão, podendo levar a coma, convulsões, psicoses, atrofia cerebral, encefalopatia e neuropatia, além de náuseas, vômitos, dor abdominal, hepatite, insuficiência renal ou até morte súbita pela instabilidade do miocárdio e fibrilação ventricular

Além dos sinais e sintomas acima mencionados, os hidrocarbonetos produzem irritação da conjuntiva ocular, do nariz, da pele e das vias aéreas do sistema respiratório.

A pirólise do diesel na câmara de combustão provoca a exaustão de fuligem que apresenta composto de carbono adsorvidos a sua superfície, gerando o material particulado.

Este material com tamanho de 10 micrômetros ou mais, habitualmente, ficam retidos nas células ciliares, no muco e nas células de defesa da árvore brônquica, mas, em virtude de conterem inúmeros hidrocarbonetos adsorvidos a sua superfície, provocam reações inflamatórias, gerando bronquite crônica e doença pulmonar obstrutiva crônica (enfisema pulmonar). É importante frisar que somente 5% das emissões da combustão do diesel gera partículas com tamanho de 10 micrômetros ou mais, haja vista, que 95% destas emissões gera partículas com tamanho inferior a 10 micras. Dados do "U. S. Department of Health and Human Services" mostram que 92% do material particulado é menor que 1 micra e trabalhos como o de Azevedo e Chasin, de 2003, que partículas de 1 a 3 micras podem atingir a corrente sanguínea e linfática. Estas partículas são conhecidas como material particulado fino e podem atingir os alvéolos do sistema respiratório, os vasos capilares e vasos linfáticos dos pulmões, podendo a partir deste locais atingirem todos os sistemas do corpo humano.

Os estudos do NIOSH mostraram que os Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (HAP's), principalmente, o 3,4 benzopireno, o 1,2 benzopireno e os benzofluorantenos são comprovadamente cancerígenos, podendo desencadear, principalmente, câncer de pulmão e câncer de cérebro, em virtude de provocarem mutações no ácido desoxirribonucléico (DNA) das células dos seres humanos.

14 NAVIO ECOLÓGICO

O “Navio Ecológico” denota que o navio deve operar com tecnologias limpas e além disso ter estratégias de reciclagem, assim como prevenção de resíduos. Esta concepção deve ser seguida durante toda a vida da embarcação, pois começa no projeto do navio, segue pela construção do navio continua com a operação e finaliza com a deposição. A figura abaixo apresenta um exemplo fictício de um navio ecologicamente correto.

NAVIO ECOLINER FAIR WINDS



Fonte: Dykstra, 2012

Na fase de projeto é muito importante que se adote o que há de mais recente em termos de emissões e aproveitamento. Como exemplo podemos ver o motor movido a gás natural liquefeito (GNL), criado pela Rolls-Royce, emite 17% menos gás carbônico em relação aos motores que utilizam diesel. Além disso, o navio pode ter uma proa do tipo "perfurador de ondas", um eixo gerador híbrido que aumenta o rendimento no uso de energia e um sistema de propulsão que combina hélice e leme.

Na parte operacional pode-se incluir também a instrução da tripulação, já que dela depende o correto funcionamento do navio e deve-se ter os cuidados com a boa manipulação da carga, um correto plano de gestão de resíduos líquidos, sólidos ou emissões.. Ter o conceito claro das conseqüências geradas pelo navio ajudará a conseguir chegar à meta de um transporte sustentável.

15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo o transporte aquaviário o meio mais importante de locomoção de cargas ele gera portanto uma grande quantidade de poluentes em suas operações, seja pela falta de um projeto consistente, tecnologias adequadas, gestão ineficiente das operações ou pela falta de uma regulamentação apropriada e também por educação e investimento na propagação de informações para a tripulação. Ainda está longe o conceito de “Navio Ecológico”, mas é possível melhorar a situação atual.

A poluição gerada pela frota marítima pode ser reduzida se forem adotadas melhores praticas de gestão de resíduos. O conceito de reuso e reciclagem está em auge na atualidade; estes conceitos devem ser tomados com mais seriedade nos navios, o reuso da água cinza ou águas oleosas geraria um ramo econômico importante.

A poluição do ar tem causado sérios problemas ambientais, conforme estudado largamente pelo IPCC, e divulgado amplamente pela mídia internacional. E o principal agente em todo esse processo é a atividade humana.

Biodiesel parece ser uma solução promissora para os motores diesel, desde que pequenos ajustes sejam feitos; a performance pode ser comparável com a operação com óleo diesel convencional. Pesquisas mostram que o funcionamento de motores usando biodiesel puro e em mistura com óleo diesel apresentou pequena redução na performance no consumo. Com essa adaptação as emissões de monóxido de carbono foram reduzidas, mas as dos óxidos de nitrogênio tiveram aumento. Entretanto, testes preliminares com ângulo de injeção podem melhorar tanto o consumo quanto as emissões.

Programas como a redução das velocidades, criação de rotas mais inteligentes com o objetivo de economizar combustível, uso de combustíveis alternativos, emprego de energia eólica, conexão de eletricidade à terra, recuperação de calor residual vão contribuir para a redução das emissões.

Assim utilizando todos os recursos expostos nesse trabalho, sejam ele operacionais, tecnológicos ou educacionais, torna-se evidente que é possível modificar a matriz energética da frota mercante melhorando assim as taxas de emissões de poluentes e reduzindo o impacto ambiental causado pelo transporte marítimo.

REFERÊNCIAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.

Biocombustíveis. Biodiesel. Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel.asp>>. Acesso em: 04 de abril de 2016

DANTAS. **Poluição do ar.** Apostila do Curso de Pós-Graduação Lato Sensu a Distância: Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 24 p. (Textos acadêmicos).

ESTADÃO. **Navio ecológico reduz em 40% a emissão de gás carbônico.** Disponível em:

<<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,navio-ecologico-reduz-em-40-a-emissao-de-gas-carbonico,155645e>>. Acesso em: 23 jul. 2016

GOVERNO FEDERAL (Brasil). **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB).** Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 17 mai. 2016

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC**, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. Working groups I, II, and III contribution to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 2001. Disponível em:

<http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4>. Acesso em: 12 mai. 2016

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC**, 2007: Climate change 2007: Mitigation of climate change. Working group III contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Bangkok, Thailand, 4 may. 2007.

Disponível em:

<<http://www.ipcc.ch/SPM040507.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2016

LOUREIRO, Ricardo Tadeu Menezes. **A poluição provocada por Motores Marítimos.** 2008. 40p. (mestrado) – APMA, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2008.

MARPOL. **Convenção Internacional para Prevenção da Poluição do Mar Causada por Navio, 1973/1978**. Londres: Edição Consolidada. Publicado pela IMO, 2002

MARTINS, Alcídinei Aparecido. **Poluições Causadas por Navios**. 2006. 96p. (Graduação) - Instituto de Estudos Tecnológicos, Universidade Presidente Antônio Carlos, Juíz de Fora, 2006.

PEREIRA, Daniel Pena. **Pontecial de Redução da Poluição do Ar Causadas pelas Emissões de Motores Diesel, com a Implementação do Biodiesel**. 2007. 60p. (Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais) - Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PROTOCOLO de Montreal. **Substâncias que empobrecem a camada de ozônio**. Montreal, 16 de setembro de 1987.

RADICCHI, Antônio Leite Alves. **A poluição na bacia aérea da região metropolitana de Belo Horizonte e sua repercussão na saúde da população**. 2004. 29p. Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

ROCHA, Fernanda Eloah da Silva. **Biodiesel**. 2009. 77p. (mestrado) – APMA, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2008.

SOLAS. **Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar**. Londres. Editado pela Organização Marítima Internacional, 2004

Super interessante. **Revista Super Interessante**. Número 6, Ano 7.