

MARINHA DO BRASIL  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA  
CURSO APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DE MÁQUINAS

SUELLEN MAIA BARBOSA

CONTROLE DE EMISSÕES DE  
POLUENTES EM MOTORES A DIESEL

Rio de Janeiro

2015

SUELLEN MAIA BARBOSA

CONTROLE DE EMISSÕES DE POLUENTES EM MOTORES A DIESEL

monografia apresentada como exigência para conclusão do curso de aperfeiçoamento de oficiais de máquinas da Marinha Mercante.

Orientador: 1º OM Cláudio **Jesus**.

Rio de Janeiro

2015

SUELLEN MAIA BARBOSA

CONTROLE DE EMISSÕES DE POLUENTES EM MOTORES A DIESEL

monografia apresentada como exigência para conclusão do curso de aperfeiçoamento de oficiais de máquinas da Marinha Mercante.

Orientador: 1º OM Cláudio **Jesus**.

Data da aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: 1º OM Cláudio **Jesus**

---

Assinatura do orientador

Rio de Janeiro

2015

## AGRADECIMENTO

Inicialmente, agradeço a Deus, que me iluminou o caminho durante esta caminhada.

Ao meu marido Maycon de Moura, pelo incentivo proporcionado na parte acadêmica e pelo suporte, amor e carinho que me foram doados nas horas em que pensei que não iria conseguir.

Em especial ao meu pai, Ildenir Maia, que me ajudou imensamente nas pesquisas deste trabalho e nunca hesitou em me auxiliar.

A minha mãe Audrey de Oliveira pelas muitas vezes que me vendo acordada fazendo esta monografia, oferecia-me com muito carinho um café como forma de animar-me e não me deixar desistir.

Aos meus irmãos Ildenir Jr. E Sulleir Maia que me inspiram ser uma pessoa cada vez melhor.

Aos professores, em especial ao 1OM Claudio Jesus, que sempre estiveram prontos a ajudar-me e a classe dos maquinistas..

E a empresa Solstad Offshore que me proporcionou a oportunidade de fazer este curso que tanto acrescentou a minha carreira e a minha vida.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Ildenir e Audrey, ao meu marido Maycon e aos meus irmãos Sulleir e Ildenir Jr e ao meu sogro Manoel Pinheiro.

Rio de Janeiro

2015

## RESUMO

Apesar dos motores a diesel serem extremamente eficientes, os componentes da descarga emitidos por esses motores são prejudiciais à saúde, provocando danos à população.

Os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares formados durante a combustão incompleta de materiais contendo carbono, especialmente, carvão e derivados do petróleo afetam o equilíbrio atmosférico, podendo sofrer reações de nitratação, oxidação atmosférica que resultam em efeitos genotóxicos e fototoxinas geradoras de destruição de florestas e que os gases de exaustão liberados na queima do combustível diesel liberam monóxido de carbono, que ambiente confinado pode causar agudamente a morte e a longo prazo doenças respiratórias, e, outros compostos químicos como o óxido de enxofre e óxido de nitrogênio que podem causar câncer de pulmão. Por estes motivos e para controlar a poluição ambiental, o Protocolo de Kioto foi assinado por várias nações e a *International Maritime Organization (IMO)* - Organização Marítima Internacional, através da MARPOL (Marine Pollution - 7378), emitiu diretrizes para conter a poluição do meio ambiente pelas embarcações.

Ainda, conforme o artigo "A Poluição Gerada por Máquinas de Combustão Interna Movidas a Diesel" publicada por Quim. Nova, Vol. 27, nº 3, 472 - 482, 2003, dos autores supramencionados, o diesel é um derivado do petróleo, composto por hidrocarbonetos alifáticos possuindo de 9 a 28 átomos de carbono na cadeia e enxofre cuja concentração varia de 0,1% a 0,5 %, que quando queimados produzem monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxido de nitrogênio, óxido de enxofre e material particulado, que podem causar lesões nos seres humanos conforme visto acima, sendo por este motivo regulamentados por legislação específica. Existem, ainda, outros componentes da queima do diesel como os aldeídos, a amônia, o benzeno, os cianetos, os toluenos e os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares que, ainda, não são regulamentados.

De acordo com o Departamento Nacional de Combustível (DAC) no mercado nacional brasileiro é disponibilizado três tipos de óleo diesel a saber: a) o Tipo A é o diesel automotivo utilizado em motores diesel e instalações de aquecimento de

pequeno porte; b) o tipo B é o diesel metropolitano que é utilizado para aplicação automotiva, diferindo do tipo A por possuir no máximo 0,5% de enxofre e por serem comercializado nas regiões metropolitanas como Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Belo Horizonte, Salvador, Recife, Fortaleza e Aracaju.; c) o tipo D é o diesel marítimo. Este tipo de diesel é produzido especialmente para utilização em motores de embarcações marítimas. Difere do diesel A por ter especificado o seu ponto de fulgor em no mínimo 60°C.

O óleo diesel A e B, recebe nas refinarias aditivos que visa melhorar o desempenho deste combustível. Entre estes aditivos pode-se citar os desemulsificantes, os anti espumas, os dispersantes e os inibidores de corrosão.

A utilização destes aditivos tem o objetivo de evitar que o diesel forme emulsão com a água, dificultando sua separação do produto e impedindo a sua drenagem. Permite, também, o enchimento completo dos tanques dos veículos, que anteriormente aos aditivos era prejudicado pela geração de espuma. Além destes fatores, os aditivos servem para manter limpos o sistema de combustível e a câmara de combustão, aumentando a vida útil do motor, minimizando a emissão de poluente e otimizando o rendimento do combustível.

Há duas estratégias principais para controlar a poluição das emissões atmosféricas produzidas pela queima do diesel. A primeira é melhorar a qualidade do diesel produzido, isto é, com menor teor de poluentes e o segundo é reter, através de filtros, os poluentes, não permitindo que eles atinjam a atmosfera.

Além desta duas estratégias existem outras como as adotadas pelo Japão, a Suécia e o estado da Califórnia nos Estados Unidos da América do Norte que decidiram, para redução das emissões do diesel, tomar algumas medidas com: a) desligar os motores dos navios atracados no cais, abastecendo-os com energia a partir de terra; b) recomendar o tratamento dos gases de evacuação, tendo em vista a redução das emissões; c) reduzir a velocidade dos navios em porto; d) aplicar taxas reduzidas aos navios em porto que adotem as regulamentações destes países/estado e nestas condições, os navios que tem baixas emissões de óxido de nitrogênio tem taxas menores e vice-versa.

## ABSTRACT

Although diesel engines are extremely efficient, the components discharged by these engines are harmful to health, damaging the population health.

The aromatic hydrocarbons formed during the incomplete combustion of carbon-containing materials, especially coal and petroleum affect atmospheric equilibrium and may suffer nitration reactions and atmospheric oxidation, which result in generation of phototoxins and genotoxic which results forest destruction, and the gases released in the exhaust of diesel fuel combustion releases carbon monoxide, which sharply confined environment can cause death and long term respiratory diseases, and other chemicals such as sulfur oxide and nitrogen oxide that can cause lung cancer. For these reasons and to control environmental pollution, the Kyoto Protocol was signed by several nations. The International Maritime Organization (IMO), through MARPOL (Marine Pollution - 7378) issued guidelines to curb environmental pollution by vessels.

The article "Pollution Generated by Internal Combustion machines Moved Diesel" published by Quim. New, Vol 27, No. 3, 472 -. 482, 2003, diesel oil is a derivative, consisting of aliphatic hydrocarbons having 9-28 carbon atoms in the chain and sulfur in concentrations ranging from 0.1 % to about 0.5%, which when burned produces carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxide, sulfur oxide and particulate matter, which can cause injuries in humans as seen above, and for this reason it is regulated by specific legislation. There are also other components of burning diesel as aldehydes, ammonia, benzene, cyanide, the toluene and polynuclear aromatic hydrocarbons which also are not regulated.

According to the National Department of Fuel (DAC), in the Brazilian domestic market is available three types of diesel namely: a) the Type A is the automotive diesel used in diesel engines and small heating installations; b) type B is the metropolitan diesel which is used for automotive application, differing from the type A to possess no more than 0.5% sulfur and are sold in metropolitans areas like Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Belo Horizonte, Salvador, Recife, Fortaleza and Aracaju .; c) the D type is the marine diesel. This type of diesel is



produced specifically for use in marine vessels engines, the diesel has to have specified its flash point in at least 60° C.

Diesel fuel A and B, gets refinery additives designed to improve the performance of this fuel. Among these additives may be mentioned the de-emulsifiers, antifoams, dispersants and corrosion inhibitors.

The use of these additives is intended to prevent diesel emulsion form with water, thus hindering their separation from the product and preventing its drain. It also allows complete filling of the tanks of the vehicles, which was previously hampered by the additive foam generation. In addition to these factors, the additives serve to keep clean the fuel system and the combustion chamber, increasing the useful life of the engine, thus minimizing the emission of polluting and optimizing fuel efficiency.

There are two main strategies to control pollution of atmospheric from emissions produced by burning diesel. The first is to improve the quality of the produced diesel fuel, i.e., with lower pollutant content and the second is to hold, through filters, pollutants, preventing them from reaching the atmosphere.

Apart from this there are other two strategies such as those adopted by Japan, Sweden and the State of California in the United States of North America, they decided to reduce diesel emissions by taking the steps: a) shut down the engines for ships at pier, supplying them with energy from shore; b) recommend the treatment of exhaust gases in order to reduce emissions; c) reducing the speed of ships in port; d) apply reduced rates to ships in port to adopt the regulations of these countries / state, and in these conditions, vessels which have low emissions of nitrogen oxide have lower rates and vice versa

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
1.1	TEMA	11
1.2	PROBLEMA	11
1.3	OBJETIVOS	11
1.3.1	Objetivo Geral	11
1.3.2	Objetivos Intermediários	12
2	<b>JUSTIFICATIVA</b>	13
3	<b>HISTÓRICO</b>	14
4	<b>COMPONENTES DO MOTOR</b>	15
4.1	BLOCO DO MOTOR	16
4.2	CABEÇOTE	16
4.3	CÁRTER	16
4.4	PISTÃO	16
4.5	BIELA	17
4.6	VIRABREQUIM	17
4.7	EIXO DE COMANDO DAS VÁLVULAS	18
4.8	VÁLVULAS	18
4.9	CONJUNTO DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS	19
5	<b>PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR A DIESEL</b>	20
5.1	ESTÁGIOS DOS MOTORES QUATRO TEMPOS	20
5.2	ESTÁGIOS DOS MOTORES DOIS TEMPOS	21
6	<b>ÓLEO DIESEL</b>	22
6.1	A COMBUSTÃO DO ÓLEO DIESEL	23
6.2	POLUENTES DA COMBUSTÃO DO DIESEL	23
6.2.1	Particulados	23
6.2.2	Fração Orgânica	23
6.2.3	Monóxido de Carbono	24
6.2.4	Óxido de Nitrogênio	24
6.2.5	Hidrocarbonetos	25

## SUMÁRIO

6.2.6	Dióxido deEnxofre.....	26
7	<b>OS POLUENTES DO DIESEL E A SAÚDE DOS SERES HUMANOS.....</b>	<b>27</b>
8	<b>LEGISLAÇÕES.....</b>	<b>32</b>
9	<b>MÉTODO PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES.....</b>	<b>36</b>
9.1	MELHORIAS ANTES DA COMBUSTÃO .....	36
9.1.1	Sistema de injeção.....	36
9.1.2	Recirculação dos Gases.....	37
9.1.3	Emulsificação água-combustível.....	38
9.2	MELHORIAS DEPOIS DA COMBUSTÃO.....	40
9.2.1	Redução Catalitica Seletiva.....	40
9.2.2	Filtro de particulas Diesel.....	40
9.2.3	Decomposição Catalítica do Óxido de Nitrogênio.....	41
9.2.4	Catalisador de oxidação diesel.....	42
10	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

O controle de emissão de poluentes provenientes dos motores a diesel é um assunto de extrema importância, pois além de afetar a saúde humana e poluir o meio ambiente, a descarga exagerada de exaustão demonstra que o motor está queimando acima do desejado, ou seja, o motor não é econômico. Então este tema tem o objetivo de oferecer subsídios para tornar o motor mais ecológico e, conseqüentemente, mais viável financeiramente para as empresas.

## 1.2 PROBLEMA

Partindo dessa explanação, o trabalho procura responder a seguinte indagação: Como controlar a emissão de poluentes dos motores a diesel a bordo das embarcações mercantes?

## 1.3 OBJETIVOS

O trabalho visa analisar a importância de controlar a emissão de poluentes dos motores a diesel das embarcações mercantes, mostrando que com as novas tecnologias podemos ter motores mais sustentáveis e, conseqüentemente, motores que consomem menos combustíveis.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Disseminar as metodologias conhecidas de controles de combustão, bem como sua operação de forma a oferecer meios para melhorar a qualidade do ar .

### 1.3.2 Objetivos Intermediários

Tem como objetivos intermediários:

- a) detalhar os componentes do motor a diesel;
- b) explicar o funcionamento do motor a diesel;
- c) especificar o combustível do motor a diesel;
- d) descrever a poluição pela queima do óleo diesel;
- e) mostrar alguns danos desta poluição à saúde humana
- f) relatar as regras da MARPOL relacionadas com a poluição atmosférica causada por embarcações mercantes;
- g) expor as novas tecnologias para a diminuição da poluição e a sua aplicabilidade.

## 2 JUSTIFICATIVA

Para atingir os objetivos citados anteriormente, é importante ter conhecimento técnico sobre os motores a diesel em embarcações mercantes e as legislações relacionadas a poluição atmosférica regulamentada pela Organização Internacional Marítima (IMO). As grandes empresas de navegação já compreenderam a magnitude da diminuição da emissão de poluentes no meio ambiente e com isto vem incentivando a adoção de motores com nova tecnologia, de modo que a propulsão e a geração de energia para consumo interno da embarcação sejam menos maléficas à natureza e ao ser humano, em especial, aos tripulantes e passageiros dos navios.

Para alcançar os objetivos traçados, deve haver conscientização da gravidade da produção excessiva de contaminantes atmosféricos. Desta maneira a disseminação desta idéia fará com que mais navios operem com os motores mais sustentáveis e menos poluentes, trazendo benefícios a todos.

### 3 HISTÓRICO

A história do motor a diesel, que propulsiona muitos navios mercantes hoje em dia, começou no século XIX, depois da criação do motor de combustão a gasolina criado por Nikolaus August Otto, em 1876.

Em 1893, Rudolf Diesel, impulsionado pelas pesquisas sobre motores de combustão interna e a falta de eficiência dos motores criados por Otto escreveu o livro "Teoria e Construção de um Motor Térmico Racional". Sua idéia era comprimir rapidamente o ar no motor e injetar combustível de modo a provocar uma auto-ignição. Diesel buscou bases científicas para desenvolver o motor de combustão interna que tivesse um maior rendimento possível. Rudolf produziu seu motor em série, e com aperfeiçoamento contínuo, fazendo-os cada vez mais eficientes, conseguindo aproveitar um quarto da energia do combustível. Com o patrocínio de Maschinenfabrik Augsburg e das Krupp Diesel, em 1887, ele criou o motor de quatro tempos que desenvolveu 25 cavalos. Um grande feito aquela época.

O óleo utilizado por este motor a Diesel era um biocombustível, o óleo de amendoim, porém, como havia abundância e baixo custo dos derivados de petróleo e uma baixa produtividade agrícola, houve um desinteresse pelo uso do biocombustível. Assim, começou a ser usado um tipo de óleo oriundo do petróleo, que recebeu o nome de óleo diesel.

Porém, havia um grande inconveniente na invenção de Rudolf: o motor não atingia rotações elevadas.

Sua câmara de combustão exigia que o combustível fosse injetado na quantidade certa e no momento correto, através de ar comprimido.

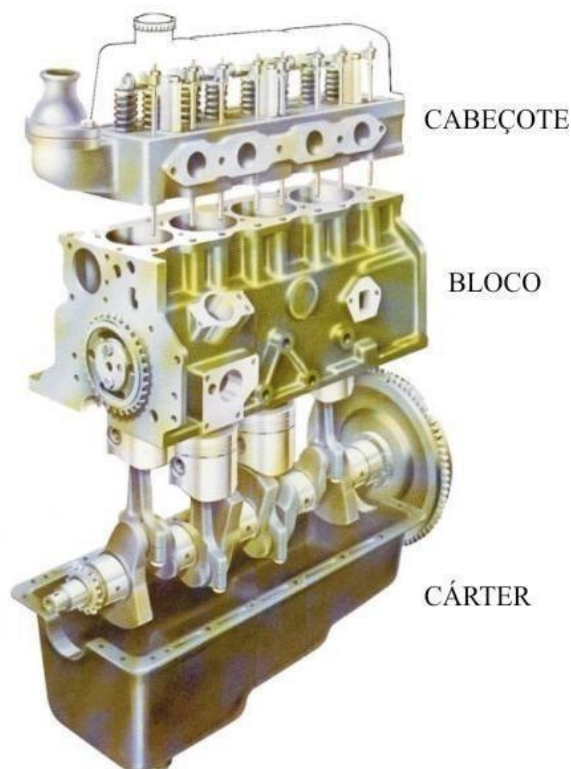
A partir da deficiência do motor de Diesel, Robert Bosch faz uma alteração no motor e cria a bomba rotativa em linha que vai mudar significativamente os motores de Diesel. Em 1923, Bosch cria o sistema de injeção pulverizado a pressão, que era mais compacto, mais leve e que poderia ter maior potência, Em 1927, Robert evoluiu o sistema e elaborou a bomba rotativa em linha que possibilitou que os motores alcançassem rotações maiores.

## 4 COMPONENTES DO MOTOR A DIESEL

Todos os motores de combustão interna, incluindo os motores a diesel, são compostos por partes fixas e partes móveis.

As partes fixas são formadas pelo bloco do motor, pelo cabeçote e pelo cárter.

Já as partes móveis são constituídas por: pistão (êmbolo), biela (conectora), árvore de manivela(virabrequim) e árvore do comando de válvulas (eixo de cames).

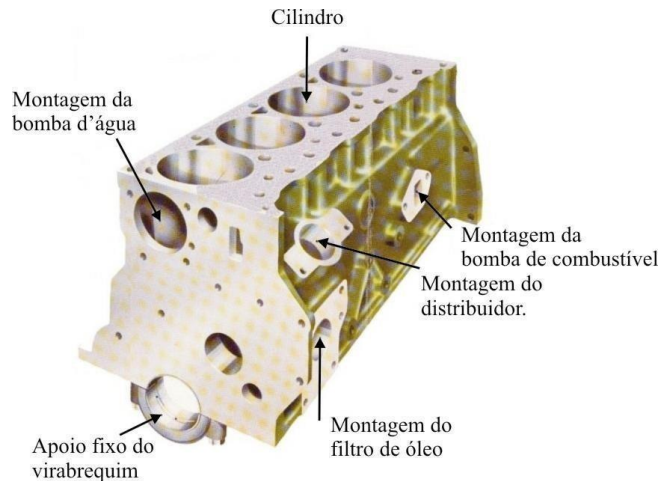


### 4.1 BLOCO DO MOTOR

Esta parte é a mais pesada e volumosa do motor, é o corpo do motor, nele ficam os orifícios denominados cilindros, dentre os quais trabalham os êmbolos. O bloco também possui espaços ocios em volta dos cilindros, denominadas jaquetas, que servem para passagem de água de arrefecimento do motor.

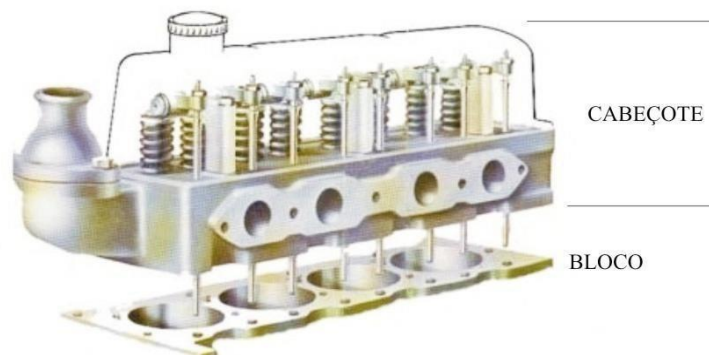
Na parte inferior estão alojados os mancais principais que apóiam o eixo de manivela.





## 4.2 CABEÇOTE

O cabeçote é a parte superior do motor onde ficam os balancins, as válvulas de admissão e descarga e o injetor de combustível. O cabeçote possui furos por onde água de arrefecimento circula.



## 4.3 CÁRTER

O cárter é uma espécie de bacia que serve de reservatório e coletor de óleo lubrificante do motor, é fixado na parte inferior do bloco.

## 4.4 PISTÃO

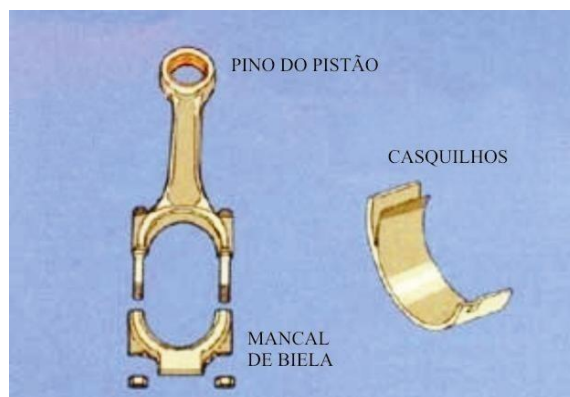
Pistão é a peça do motor que trabalha no interior do cilindro que recebe diretamente o impulso dos gases de combustão em seu movimento retilíneo

alternado, onde ocorre a transformação de energia térmica do combustível em mecânica, transmitida ao eixo de manivela.



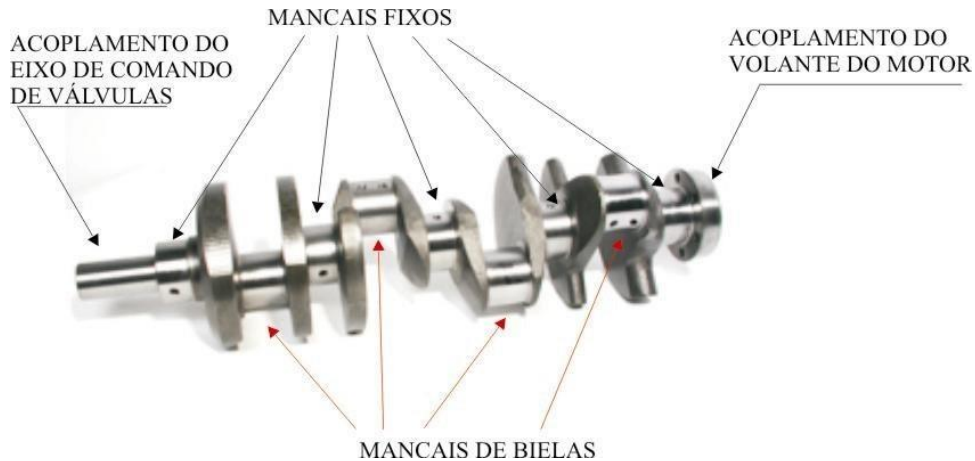
#### 4.5 BIELA

Biela é a peça de ligação entre o eixo e a manivela que serve para transmitir o movimento do pistão para manivela. A biela é fixada nos mancais móveis, não ficando em contato direto com o eixo. Entre a biela e o virabrequim são colocados os casquilhos para evitar o desgaste do virabrequim, o óleo lubrificante também circula entre as folgas das peças.



#### 4.6 VIRABREQUIM

Ele é responsável pela transmissão do movimento rotativo do motor ao eixo propulsor no caso dos navios..



#### 4.7 EIXO DE COMANDO DAS VÁLVULAS

Este eixo controla a abertura e o fechamento das válvulas de admissão e descarga. O eixo de cames recebe o movimento da árvore de manivela, através de engrenagens, correntes ou correias dentadas. Possui ressaltos ou cames para cada válvula e para alguns tipos de motores, possui sobressaltos para cada bomba injetora, que gira proporcionalmente com a velocidade do eixo de manivelas.



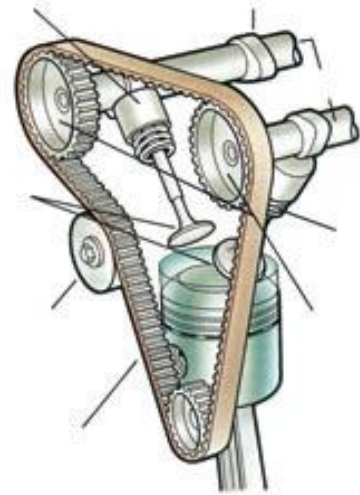
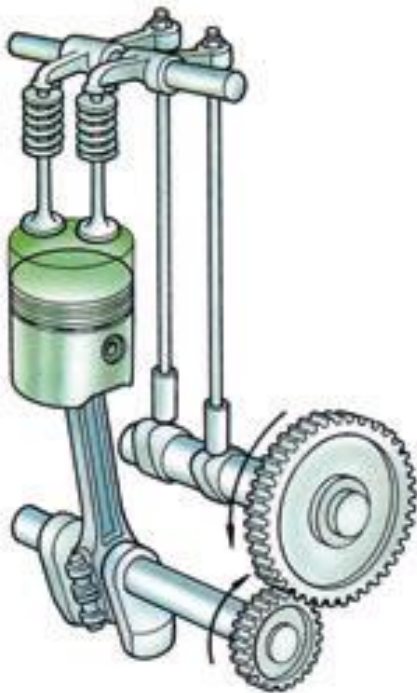
#### 4.8 Válvula

As válvulas controlam a entrada e saída dos gases no cilindro. O motor de quatro tempos convencional apresenta duas válvulas por cilindro: uma de admissão e outra de descarga



#### 4.9 CONJUNTO DE ACIONAMENTO DE VÁLVULAS

Compreende o tucho e uma haste, que o interliga ao balancim, sendo que este atua diretamente sobre a válvula. No momento em que o eixo de comando de válvulas gira, o ressalto deste aciona o tucho, que por sua vez move a haste, fazendo com que o balancim transmita o movimento à válvula abrindo-a. Há um conjunto de acionamento de válvulas para cada cames.



## 5 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MOTOR A DIESEL

Os motores a diesel podem ser de quatro ou dois tempos. Ambos os tipos de motores têm os mesmo princípio, ou seja: admissão, compressão, combustão e descarga, sendo que, no motor dois tempos, a admissão, a compressão, a combustão e a descarga proporciona uma volta completa do eixo de manivela e nos motores de quatro tempos, são realizados duas voltas completas no referido eixo.

### 5.1 ESTÁGIOS DOS MOTORES QUATRO TEMPOS:

O primeiro tempo é o da admissão, quando o pistão está no ponto morto inferior (posição extrema do pistão na parte inferior do cilindro), permitindo que o ar puro seja aspirado para o interior do cilindro. Neste momento, a válvula de admissão está aberta e a de exaustão está fechada.

O segundo tempo é o destinado a compressão, ou seja, o pistão sobe, deslocando-se para o ponto morto superior (posição extrema do pistão na parte superior do cilindro) e, com esta ação, comprime o ar dentro do cilindro. Neste momento, as válvulas de admissão e de descarga estão fechadas. Desta maneira, o ar que foi comprimido eleva a temperatura.

O terceiro tempo é o da combustão, que ocorre quando o combustível é injetado dentro do cilindro durante o percurso realizado pelo pistão desde o ponto morto superior até o ponto morto inferior. À medida que o combustível é injetado e se inflama, aumenta a temperatura dos gases que se dilatam, provocando o deslocamento do pistão no cilindro, ou seja, o pistão é acionado pela força da expansão dos gases. Assim, a energia térmica é transformada em energia mecânica. A força vinda da expansão dos gases é transmitida para a árvore de manivela, através da biela, promovendo o movimento de rotação do motor.

O quarto tempo é o da descarga, quando o pistão se desloca do ponto morto inferior para o ponto morto superior. Neste percurso, ocorre a exaustão dos resíduos da combustão. A válvula de admissão, neste momento está fechada e a de descarga está aberta. O movimento ascendente do pistão expulsa os resíduos da combustão de dentro do cilindro através da válvula de descarga.

## 5.2 ESTÁGIOS DOS MOTORES A DIESEL DOIS TEMPOS

Nos motores de dois tempos, o primeiro corresponde a admissão e a descarga. Neste caso, o percurso do pistão está indo do ponto morto superior para o ponto morto inferior. Neste momento, ocorre a abertura das janelas de admissão, dando passagem para o ar, que já está sendo empurrado por um soprador. O ar que entra expulsa os gases queimados, que sairão através da passagem aberta pelas válvulas de escape. O fluxo de ar em direção as válvulas de escape causa um efeito de limpeza, deixando o cilindro cheio de ar limpo, o que costumamos a chamar de “lavagem”.

Segundo tempo, nestes tipos de motores são a compressão e a exaustão, que ocorre quando o pistão está indo do ponto morto inferior para o ponto morto superior e, neste momento, as janelas de admissão e de descarga estão fechadas e o ar limpo admitido é submetido à compressão.

## 6 ÓLEO DIESEL

O óleo diesel é um combustível fóssil derivado do petróleo, sendo constituído, principalmente, por hidrocarbonetos - composto formado por átomos de carbono e hidrogênio - além de possuir pequena quantidade de enxofre, nitrogênio e oxigênio, apresentando-se em forma de líquido amarelo viscoso, límpido, pouco volátil, medianamente tóxico, com odor forte e característico.

Produzido a partir da refinação do petróleo, através do processo de destilação fracionada à temperatura entre 260°C e 340°C, o diesel é formado pelas frações como querosene, gasóleo e nafta, que combinadas em determinadas proporções irá gerar este tipo de óleo.

A principal diferença entre o óleo diesel automotivo comercial e o óleo diesel marítimo é o de ponto de fulgor, cujo valor mínimo situa-se em 60°C, dificultando, em consequência, o risco de incêndio. Além desta diferença, pode-se citar, também, a falta de adição de biodiesel no óleo diesel marítimo.

### 6.1 A COMBUSTÃO DO ÓLEO DIESEL

Os compostos de emissão dos motores a diesel podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos a saúde como oxigênio (O<sub>2</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O) e nitrogênio (N<sub>2</sub>) e os que apresentam perigos aos seres vivos, sendo este subdivididos em compostos que são regulamentados como monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e material particulado; e aqueles que ainda não estão sob regulamentação como os aldeídos, a amônia, o benzeno, os cianetos, os toluenos e os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares.

Em geral as partículas de diâmetros menores podem ser depositadas profundamente nos pulmões causando problemas respiratórios gerais e ou outros problemas de saúde.

## 6.2 POLUENTES DA COMBUSTÃO DO DIESEL

### 6.2.1 Particulados

Segundo a EPA (“Environmental Protection Agency”, EUA), material particulado, ou simplesmente particulado, é definido como qualquer massa que é coletada em um filtro de exaustão de veículo ou máquina específica, após um determinado ciclo de operação, colocado a uma temperatura de exaustão mantida constante a 52° C.

O particulado, que inclui a maioria dos poluentes primários da combustão do diesel, é uma mistura composta por agrupamento de partículas sólidas de hidrocarbonetos, medindo o diâmetro entre 10 a 80 nm, que corresponde a aproximadamente um milhão de átomos desta substância e aglomerados ácido sulfídrico e água adsorvida ou condensados sobre este núcleos carbônicos. Estes particulados do diesel são importante devido poderem causar danos a saúde dos seres vivos e, em especial, aos seres humanos como detalharemos abaixo. Estudos biológicos mostram que os particulados do diesel podem originar câncer ou provocar mutações celulares, além de doenças do sistema respiratório.

A descarga da combustão do óleo do diesel é uma mistura complexa de combinações orgânicas e inorgânicas composta de gases, materiais nas fases líquidas e sólidas. As emissões na fase líquida constituem-se, principalmente de hidrocarbonetos (HCs), óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ou gás carbônico (CO<sub>2</sub>), e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Particulados consistem no agrupamento de partículas sólidas de hidrocarbonetos. O tamanho individual das esferas de fuligem são, aproximadamente, 25nm e a faixa de tamanho dos particulados em geral é 100-200nm, constituindo-se no particulado fino. Particulados do diesel são de preocupação especial devido ao impacto que o material pode causar à saúde. Em geral, as partículas de diâmetros menores podem ser depositadas profundamente nos pulmões causando problemas respiratórios gerais e ou outros problemas de saúde que serão detalhados melhor abaixo.

### 6.2.2 Fração Orgânica Solúvel (SOF)



A fração orgânica solúvel é constituído de ponto alto-ferventes encontrados no combustível e óleos lubrificantes que condensam e adsorvem sobre a superfície das partículas de fuligem de carbono. A SOF é formada, principalmente, por hidrocarbonetos, SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> com algumas quantidades de sulfato, zinco, fósforo, cálcio, ferro, silício e cromo.

### 6.2.3 Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono é gerado pela combustão incompleta do combustível fóssil. Ele é um gás incolor, inodoro, porém extremamente tóxico.

Se o monóxido de carbono for inalado pode se ligar a hemoglobina e reduzir a capacidade do sangue em transportar oxigênio no corpo humano, causando enxaquecas, vertigens, doenças do coração, e causar óbito nos seres humanos, constituindo-se no maior componente da poluição urbana do ar, e cerca de 90 % do monóxido de carbono em centros urbanos resultam da operação dos motores de veículos.

### 6.2.4 Óxido de Nitrogênio

Embora se conheça este poluente a décadas, somente, atualmente, em virtude da preocupação com a poluição da atmosfera, o NO<sub>x</sub> vem sendo aprofundado os estudos sobre a sua formação. Atualmente, a principal causa de formação de NO<sub>x</sub> é a queima de combustíveis fosseis provenientes dos motores de ciclo Otto e de ciclo diesel o NO<sub>x</sub> na câmara de combustão.

Para efetuar-se a queima do diesel na câmara de combustão dos motores diesel marítimos, é necessário a presença do ar. Sendo a atmosfera terrestre é constituída aproximadamente de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% dos demais gases, a combustão só irá acontecer devido a presença do oxigênio no ar. Dentro dos cilindros do motor durante o processo de combustão pequena quantidade de nitrogênio (N<sub>2</sub>) é oxidado pelo oxigênio, transformando-se em óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), tais como (NO), (N<sub>2</sub>O) e dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>).

Sabe-se que a formação de NOx é função da compressão do motor e, principalmente, da temperatura de combustão na câmara. O período de tempo crítico é quando as temperaturas dos gases atingem um máximo, isto é, entre o começo de combustão e logo após a ocorrência de pressão de cume no cilindro. A mistura que queima cedo no processo de combustão é especialmente importante, haja vista, que é comprimido até atingir uma temperatura mais alta, ocorrendo aumento de pressão na câmara de combustão, que irá provocar a queima do combustível. Depois do tempo de pressão de cume, a temperatura dos gases queimados diminuem, bem como a expansão dos gases no cilindro, formando-se, então os óxidos de nitrogênio (NOx)

É importante lembrar que nos centros urbanos os motores dos veículos são responsáveis por cerca de 50-70% dos níveis de NOx.

A fumaça oriunda das emissões dos veículos vem trazendo alterações na camada de Ozônio que é formada na baixa atmosfera por uma complexa reação química, envolvendo reações de hidrocarbonetos compostos, óxido de nitrogênio, a energia da luz solar, sendo este problema do ozônio sentido em quase todas as principais cidades do mundo, tendo sido incitados padrões reguladores estritos para a qualidade do ar e dos níveis de o ozônio, assim como também limitar a emissão de hidrocarbonetos e NOx de motores móveis ou estacionários. Pesquisas recentes sobre o problema do ozônio mostrou que se obtém melhores resultados de controle da camada de Ozônio terrestre, controlando-se melhor a emissão de NOx, haja vista, que a emissão de HC tem efeito deletério menor que o NOx na referida camada.

Exemplificando melhor, os óxidos de nitrogênio são formados, principalmente, nas câmaras de combustão de motores, onde, além do combustível, contém ar, que possui quantidades de nitrogênio e oxigênio e a reação em altas temperatura de trabalho do motor formam os óxidos de nitrogênio, assim como os dióxido de nitrogênio e outros.

O dióxido de nitrogênio liberado na atmosfera reage por ação da luz, promovendo oxidações químicas e formando o ozônio.

#### 6.2.5 Hidrocarbonetos (HC)

Hidrocarbonetos resultantes da queima incompleta do óleo diesel na câmara de combustão dos motores diesel são substâncias composta de hidrogênio e 9 a 28 átomos de carbono. Como há um grande número de combinações se agrupando em categorias e para simplificar a caracterização destes contaminantes, estas substâncias são agrupadas em combinações orgânicas voláteis (VOC) e combinações de aldeídos. Embora o VOC tenham papel importante na formação do ozônio, atualmente, acredita-se que a melhor forma de se limitar a formação do ozônio, é controlar a emissão de NOx. A emissão gasosa de HC resultante da exaustão do diesel é relativamente baixa se comparada com a emissão da exaustão de motores que utilizam gasolina. Os componentes da fase líquida da exaustão do diesel que condensam sobre partículas estão sendo uma das maiores preocupações desde que se descobriu em testes biológicos que estas combinações contem propriedades cancerígenas.

Exemplificando melhor, os óxidos de nitrogênio são formados, principalmente, nas câmaras de combustão de motores, onde, além do combustível, contém ar, que possui quantidades de nitrogênio e oxigênio e a reação em altas temperatura de trabalho do motor formam os óxidos de nitrogênio, assim como os dióxido de nitrogênio e outros.

O dióxido de nitrogênio liberado na atmosfera reage por ação da luz, promovendo oxidações químicas e formando o ozônio.

#### 6.2.6 Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre oriundo da descarga dos gases no momento em que entra em contato com umidade, reage, resultando em ácido sulfúrico, que é muito corrosivo as partes internas do motor e nos seres humanos, pode causar infecções respiratórias, devido as lesão que as células de defesa das vias respiratórias podem sofrer.

## 7 OS POLUENTES DO DIESEL E A SAÚDE DOS SERES HUMANOS

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.

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 (CO<sub>2</sub>), 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. Na intoxicação aguda pelo Monóxido de Carbono, o tratamento, em ambiente pré-hospitalar, ou seja, a bordo, deve contemplar o ABCD da vida, removendo-se a vítima da área contaminada pelo CO, dando-se especial atenção à respiração, administrando-se oxigênio em alto fluxo, através de máscara ou bolsa máscara, através do equipamento conhecido como ambur. No ambiente hospitalar, deverá ser dosado a carboxihemoglobina e caso esteja, abaixo de 10%, a vítima deverá continuar a ser tratada com máscara de oxigênio até que estejam sem sintomas. Caso a dosagem de carboxihemoglobina

esteja acima de 10%, a vítima deverá ser submetida a intubação orotraqueal e colocada no ventilador (respirador artificial) com oxigênio a 100% ou pode-se lançar mão da câmara hiperbárica para realizar a oxigenioterapia hiperbárica.

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 destes 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.

Além destas substância, a "Environment Protection Agency" (Agência de Proteção Ambiental Americana) publicou na década de 90 uma tabela com mais de 40 produtos químicos que estão presentes nas emissões do diesel, cuja tabela abaixo mostra os de maior importância toxicológica.

Acetaldeído	Acroleína	Anilina
Arsênico	Benzeno	Bifenilas
1,3 butadieno	Cádmio	Cianetos
Chumbo inorgânico	Clorobenzeno	Compostos de Antimônio
Compostos de Berílio	Compostos de Cobalto	Compostos de Cromo
Compostos de Manganês	Compostos de Mercúrio	Cresol
Dioxinas e Furanos	Estireno	Etilbenzeno
Fenol	Formaldeído	Fósforo
Metanol	Metil Etil Cetona (MEC)	Naftaleno
Níquel	4-nitrodifenila	HAP's diverso
Propionaldeído	Toluenos	Xilenos

O Benzopireno, um dos HAP's, pode provocar câncer de pele e danos ao sistema reprodutor feminino, segundo trabalhos de Patnaik, de 2002, da "International Agency for Research on Câncer" (Agência Internacional para Pesquisa do Câncerf" (IARC).

Outras substâncias cancerígenas, existente na exaustão da combustão do diesel são: o nitropireno, o dinitropireno, as dioxinas e os furanos. Segundo Oehme et al, em trabalho de 1991, na Noruega, as emissões das dioxinas e furanos pela combustão do diesel é vinte vezes maior que pela queima da gasolina.

Holgate e al, em 2002, assim como Gomes, mostraram que o material particulado fino está associado a maior morbidade e mortalidade cardiovascular e

Fischlowitz-Roberts explicou que este fato se deve a vaso constrição das artérias e vasos capilares reduzindo o fluxo sanguíneo e a oxigenação do coração.

O Critério de Saúde Ambiental nº 171 - "Diesel Fuel and Exhaust Emissions", da Organização Mundial de Saúde (OMS), publicado em 1996, em sua Tabela 25 confirma o perigo à saúde humana destas substância. Estes dados podem ser acessados pela internet através do endereço eletrônico: [www.inchem.org](http://www.inchem.org).

Considerando que as substâncias poluentes da queima do diesel, também, podem ser absorvidas pela via dérmica, existe, igualmente, riscos a saúde humana se os tripulantes das embarcações não usarem os equipamentos de proteção individual (EPI), como por exemplo macacão que recobre a maior parte do corpo. Embora a via dérmica seja passível de causar toxicidade aos seres humanos, a principal é a inalação das emissões dos poluentes emitidos pela combustão deste produto, que podem afetar a saúde dos trabalhadores das embarcações, principalmente, os que trabalham nas Praça de Máquinas, embora, todos possam ser atingidos.

Entre as medidas para reduzir a poluição provocada pela combustão do diesel pode-se citar a utilização de biodiesel, também chamado de diesel verde (green diesel), haja vista, que este combustível emite um número bem menor de particulados na atmosfera em comparação ao diesel A, B ou D. O biodiesel poderá ser utilizado como aditivo do diesel, sem grandes adaptações nos motores existentes e com a vantagem de diminuir as emissões de particulados.

Vários países europeus, como a Alemanha, a França e a Itália vem utilizando o diesel B5, ou seja Blend 5, em que o noventa e cinco por cento do diesel tradicional é misturado a cinco por cento do biodiesel. E tem-se como objetivo o diesel B20, quando esta proporção seria de vinte por cento de biodiesel e oitenta por cento de diesel.

Embora, o biodiesel seja menos poluente, existe, também, um nível considerável de toxicidade nas emissões da combustão deste combustível, conforme relato da "Natural Resources Defense Council" dos Estados Unidos da América do Norte.

Fazendo intervenções nos motores como aumento da relação de compressão, atraso no início da injeção de combustível e aumento da taxa de injeção, pode-se reduzir a emissão de Óxido de Nitrogênio, que são poluentes nocivos a saúde humana e corrosivo dos componentes internos do motor.

Outra estratégia para a redução da emissão de Óxido de Nitrogênio é a adição de água na combustão do diesel, seja através de emulsão, injeção direta de água ou umidificação.

Outra medida para reduzir os poluentes atmosféricos pela emissão de gases pela combustão do diesel é a utilização e aprimoramento dos filtros e catalisadores de escapamentos dos motores, através da "Selective Catalytic Redution" (SCR) (Redução Catalítica Seletiva), que transforma por meio catalítico o óxido de nitrogênio em nitrogênio, gás existente em grandes proporções na atmosfera terrestre, e água., reduzindo drasticamente os níveis de óxido de nitrogênio. A recirculação .de gases provenientes da exaustão dos poluentes nos moldes que a indústria automobilística utiliza atualmente é outra estratégia que pode ser utilizada, haja vista, que a indústria naval, ainda, não usa este método, embora existam projetos para tal na MAN-B&W e Wartsila-Sulzer. E no futuro a uso de motores que utilizem gás natural, hidrogênio ou outra fonte de energia menos poluentes, assim como, promover a regulação dos motores diesel marítimo.

O exame médico periódico, também, é de importância vital no controle das doenças que possam ser causadas pelos poluentes de emissões pela combustão de diesel. Entre os exames complementares ao exame médico pode-se citar a dosagem de carboxihemoglobina para avaliar-se os níveis de carbono sanguíneo, assim como a dosagem urinária de 1-hidroxipireno, que já foi adotado na Itália, mas, ainda não no Brasil, haja vista que o benzopireno é uma substância cancerígena.



## 8 LEGISLAÇÕES

As legislações ambientais contra a emissão de poluentes no meio marinho são extremamente rígidas, porém ainda falta fiscalização para fazer valer as leis. Mesmo assim, hoje em dias, já está ocorrendo mudanças na forma de descartá-las para evitar multas e outros tipos de penalidades.

Podemos comprovar essa rigidez através das legislações ambientais e normas como a ISSO 9000 e a ISSO 14001 e a MARPOL- Convenção Internacional para Prevenção da Poluição Causada por Navios.

Em 1978, em resposta a vários acidentes de petroleiro em 1976-1977, a Organização Marítima Internacional realizou uma conferência sobre segurança e prevenção da poluição Tanker em fevereiro de 1978. A conferência adotou medidas que afetam o petroleiro na concepção e funcionamento, que foram incorporados em ambos os protocolos de 1978 a convenção de 1974, sobre a segurança da vida humana no mar (1978 Protocolo Solas) e do protocolo de 1978 a 1973 a Convenção Internacional para a poluição por Navios( MARPOL), aprovada em 17 de fevereiro de 1978 e por várias emendas a partir de 1984, visando introduzir regras específicas para estender à prevenção da poluição no mar, as cargas perigosas ou equivalentes as hidrocarbonetos.

Essa convenção bastante extensa cria uma série de mecanismos de prevenção e controle da poluição, instituindo relatórios, vistorias e certificados de inspeção dos navios que operam no ambiente. Pode se considerar, atualmente, que a MARPOL 73/78 é a norma de maior importância na prevenção da poluição marinha.

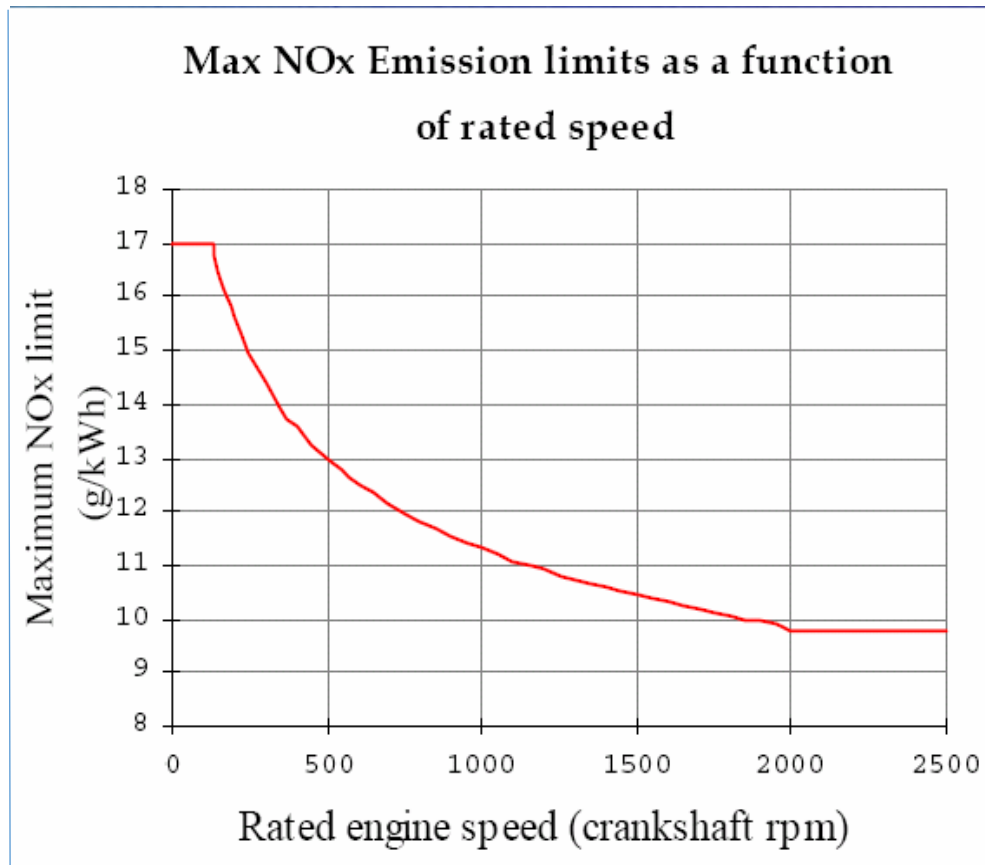
A MARPOL 73/78 contempla atualmente seis anexos.

Para este estudo nos atentaremos no Anexo VI- Regras para Prevenção da Poluição por Emissões Gasosas Provenientes dos Navios.

Este anexo limita a quantidade de Oxido de Nitrogênio emitida pelos navios.

Esta regulamentação aplica-se a partir de 19 de maio de 2005, data em que entrou em vigor, para todos os navios com motores de potencia igual ou superior a 130 kW construídos a partir de 1 de janeiro de 2000.

Abaixo temos uma gráfico para demonstrar o máximo de emissão de oxido de nitrogênio em função da velocidade nominal.



Os teores de enxofre nos combustíveis de marinha (HFO) estão limitados pela convenção a 4,5% como limite Maximo.

Em áreas especiais (SECA), este teor esta limitado a 1,5% de enxofre. Utilizando dispositivos especiais é possível libertar emissões ate 6g/kWh

Em 1982, a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar foi muito importante para o Direito Internacional. Instrumento bem compartimentado de muitos artigos e de caráter inegavelmente universal, esta Convenção consolidou muitas regras do direito do mar e marítimo, bem como, estabeleceram regras de direito internacional para definir juridicamente todos os elementos físicos que compõe o mar, sem descuidar regras de preservação do meio ambiente marinho, objeto deste estudo. Vamos destacar alguns dos pontos da proteção e preservação do meio ambiente marítimo, tema para o qual o legislador reservou a Parte XII, subdividida

em outras 11 seções, assim dispostas: 1. Provisões gerais (art 192/196); 2. Cooperação global e regional (art 197/201); 3. Assistência técnica (art 202/203); 4. Monitoramento e avaliação ambiental (art 204/206); 5. Regra internacionais e legislação nacional para prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio ambiente marinho (art 207/212) ; 6. Execução (art 213/222); 7. Garantias (art 223/233); 8. Áreas cobertas de gelo (art 234); 9 Responsabilidade (art 235); 10. Imunidade soberana (art 236) ; 11. Obrigações contraídas em virtude de outras convenções sobre proteção e preservação do meio ambiente marinho (art 237).

Neste sentido, reafirmaram-se a obrigação de todos os Estados, inclusive os Estados não costeiros em proteger o meio ambiente marinho. Também, garante aos Estados a exploração de seus recursos de acordo com sua política interna em matéria de meio ambiente, regulamentando as regras do direito internacional no tocante a sua exploração. A Convenção estabelece as obrigações de todos os Estados para prevenir, reduzir e controlar a poluição do meio ambiente marinho, independente da sua fonte.

No tocante a emissões de óxido de nitrogênio por motores diesel marítimo, a legislação prevista pela MARPOL em seu anexo VI em sua Regra 13 item 7.4 diz textualmente: "Sujeito ao disposto na Regra 3 deste Anexo, é proibido o funcionamento de um motor marítimo a que se refere o subparágrafo 7.1, exceto quando a emissão de óxidos de nitrogênio (calculada sob a forma da massa total das emissões de NO<sub>2</sub>) do motor estiver dentro dos seguintes limites, onde n = velocidade nominal do motor (rotações do eixo de manivelas por minuto):

- 1 17,0 g/kWh, quando n for menos de 130 rpm;
- 2  $45 \cdot n^{-0,2}$  g/kWh, quando n for 130 ou mais, mas menos de 2.000 rpm; e
- 3 9,8 g/kWh, quando n for 2.000 rpm ou mais."

Ainda, referente a emissões de óxido de nitrogênio, a regra 13 no item 8 do anexo VI da MARPOL determina que: "na certificação, nos testes e nos procedimentos de medição para cumprimento as normas apresentadas nesta regra deverá ser aplicado o Código Técnico de NO<sub>x</sub> de 2008 revisado."

Com referência a emissão de óxido de enxofre e matéria sob a forma de particulados, a regra 14 da MARPOL estabelece que o teor de enxofre de qualquer óleo combustível utilizado a bordo de navios não deverá ultrapassar os seguintes limites: a) 4,50% m/m antes de 1° de Janeiro de 2012; b) 3,50% m/m em 1° de Janeiro de 2012 ou depois; e c) 0,50% m/m em 1° de Janeiro de 2020 ou depois.

As regras referentes aos compostos orgânicos voláteis (regra 15), incineração a bordo (regra 16) e instalações de recebimento (regra 17) contidas no anexo VI da MARPOL, apesar de abordarem poluição da atmosfera provocada por navios, os poluentes não são oriundos da combustão dos motores diesel marítimo e, em consequência, encontra-se fora do escopo do presente trabalho.

Ainda, segundo a MARPOL, em sua regra 18, o óleo combustível para fins de combustão, entregue e utilizado a bordo de navios deverá atender as seguintes exigências: a) deverá ser uma mistura de hidrocarbonetos derivados do refino do petróleo, podendo receber o acréscimo de pequenas quantidades de aditivos destinados a melhorar alguns aspectos do seu desempenho; b) o óleo combustível deverá estar livre de ácidos inorgânicos; c) o óleo combustível não deverá conter qualquer substância adicionada ou qualquer resíduo de produto químico que ponha em risco a segurança dos navios, afete de maneira adversa o desempenho das máquinas, seja nocivo ao pessoal, ou contribua de maneira concreta para uma poluição adicional do ar. Além destas exigências, o óleo combustível para fins de combustão, obtido por outros métodos que não o refino do petróleo, não deverá: a) ter um teor de enxofre superior ao teor aplicável, estabelecido na Regra 14 do anexo VI da MARPOL; b) fazer com que um motor ultrapasse o limite de emissão de NOx aplicável, estabelecido nos parágrafos 3, 4, 5.1.1 e 7.4 da Regra 13; c) conter ácidos inorgânicos; d) colocar em risco a segurança do navio ou afetar de maneira adversa o desempenho das máquinas; e) ser nocivo ao pessoal; f) contribuir de maneira concreta para uma poluição adicional do ar.

Segundo, ainda, a legislação supramencionada estas regras não se aplicam ao carvão em sua forma sólida nem a combustíveis nucleares, assim como não se aplicam aos combustíveis gasosos, como o Gás Natural Liquefeito, o Gás Natural Comprimido ou o Gás Liquefeito de Petróleo e determina que o teor de enxofre dos combustíveis gasosos entregues a um navio especificamente para fins de combustão a bordo daquele navio deverá estar documentado pelo fornecedor e que os detalhes referentes ao óleo combustível para fins de combustão que for entregue e utilizado a bordo deverão ser registrados por meio de uma nota de entrega do combustível para consumo do navio, que deverá conter pelo menos as informações especificadas no apêndice V deste Anexo VI.

## **9 MÉTODOS PARA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES**

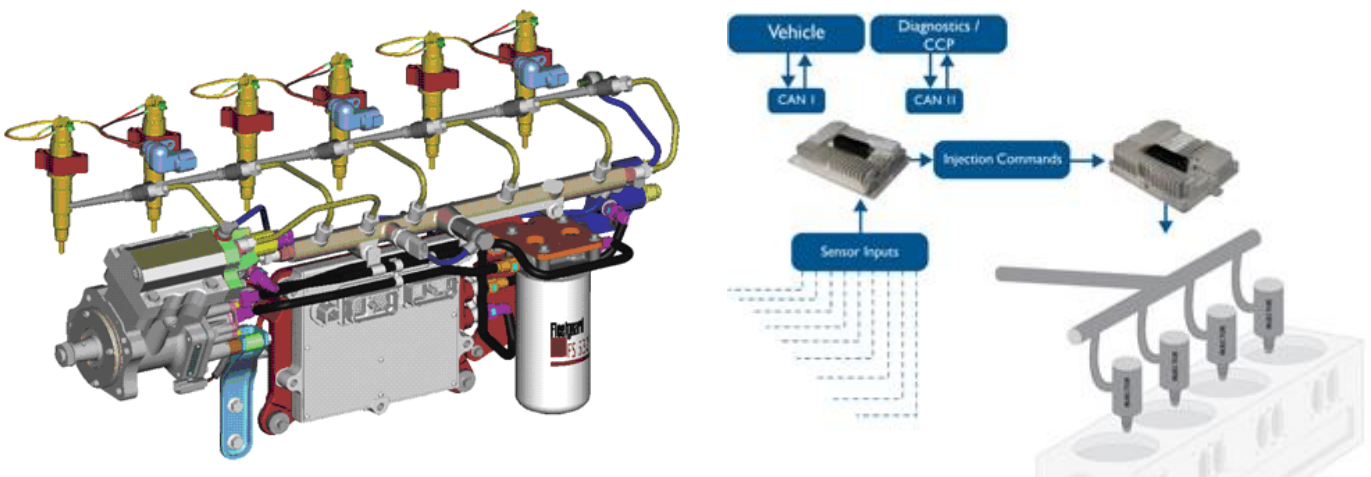
Pensando em uma solução para a crescente restrição dos níveis de emissão de poluentes dos motores a diesel, os fabricantes de motores estão continuamente buscando métodos para diminuir a emissão de poluentes, os quais podem ser divididos em dois tipos: a) Redução do material poluente, melhorando o processo que ocorre na máquina de combustão, e b) retirada dos poluentes compostos na exaustão depois de formados e antes de serem liberados para a atmosfera. No primeiro, estão incluídos os aprimoramentos efetuados nos óleos diesel e lubrificante, a utilização de aditivos ou de combustíveis mistos, e ainda, o avanço tecnológico dos motores, dentre os quais, podem ser citados o uso da injeção eletrônica, o controle de tempo que combustível fica na câmara de combustão, a recirculação dos gases de exaustão e, ainda, as melhorias de como o combustível é introduzido na câmara de combustão, como por exemplo a injeção do combustível em altas pressões. Já no segundo método, estão inclusos filtros para particulados, a utilização conjunta desses filtros com aditivos do diesel, os catalisadores de oxidação, e o conversor catalítico para particulados.

### **9.1 MELHORIAS ANTES DA COMBUSTÃO**

#### **9.1.1 Sistema de injeção**

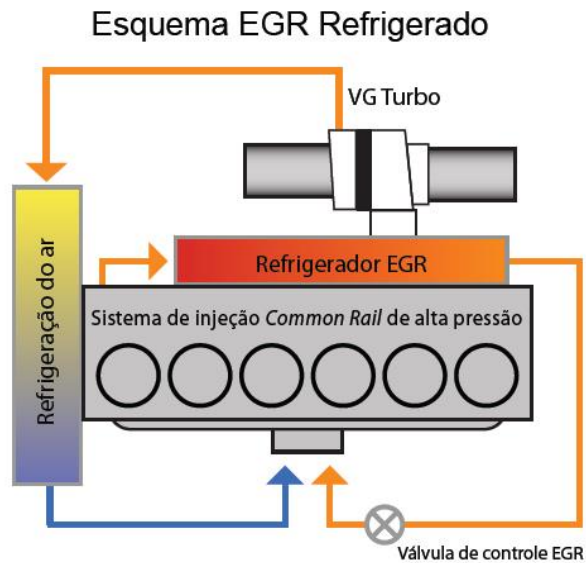
Pensando no aprimoramento das emissões de poluentes dos motores a diesel, nos últimos anos, empresas vêm investindo em novas tecnologias de injeção de combustível. Um desses sistemas é o common-rail, cujo princípio está baseado no uso de acumulador de alta pressão, o “common-rail”, que será conduzido por uma bomba de alta pressão. Este sistema direciona o combustível para os injetores com controle eletrônico no decorrer da injeção, de acordo com a velocidade do motor.

Outro componente para a redução das emissões é a unidade de controle do motor (ECU- Eletronic Control Unit). Atraves de softwares e sensores, esta unidade controla a quantidade ideal de diesel e o tempo de injeção, a proporção mistura ar-combustível, injeções múltiplas e a capacidade de ar para o *Recirculation Gas Escape* (EGR) - Circulação de Gases de Escape - e uma serie de outros equipamentos para melhorar o funcionamento do motor, trazendo uma maior economia de combustível. Este comando eletrônico auxilia na redução de óxido de nitrogênio e material particulado



### 9.1.2 Recirculação dos gases de escape (EGR)

Outra tecnologia, que permite redução da poluição atmosférica por motores diesel, é o sistema de recirculação dos gases de escape, cujo objetivo é a redução das emissões de óxidos de nitrogênio, que vem das altas temperaturas da câmara de combustão ligada à presença de oxigênio, consiste no direcionamento de uma parte dos gases de escape à mistura admitida nos cilindros, com isso, diminui a pressão media efetiva, diminuindo assim a temperatura máxima da câmara de combustão, conseqüentemente, reduzindo a formação de óxidos de nitrogênio.



### 9.1.3 Emulsificação água-combustível

A redução da emissão de óxido de nitrogênio, também, pode ser obtida através da mistura água/combustível, onde a água participa do processo de combustão através da quebra da sua molécula e queima do hidrogênio. Neste caso, o diesel da emulsão da água/óleo fornece energia para a quebra da molécula da água.

Há uma polêmica no que se diz a respeito ao fato de se adicionar água, já que as gotículas da água que atinge as paredes do cilindro podem destruir o filme de óleo lubrificante. Apesar disso ser verdade, a injeção de água é feita em forma de vapor e não de líquido, e segundo Holtbercker (1998), a injeção de água em forma de vapor não afeta o filme de óleo lubrificante.

As emissões de óxidos de nitrogênio têm a formação em duas fontes: o nitrogênio que está contido no diesel e no nitrogênio que integra o ar que irá queimar o diesel, sendo chamados de emissões térmicas. Desta maneira, quanto maior a temperatura da combustão, maior será as emissões térmicas de óxido de nitrogênio.

Em virtude da existência de até 30% de milímetros de água, a emulsão diesel-água tende a queimar em temperaturas mais baixas, ou seja, a combustão ocorre em ambientes mais frios. Desta maneira, a emissão térmica de NOx é menor do que a combustão do diesel não-emulsionado.

A diminuição da emissão de partículas atribui-se às partículas de carbono. O diesel emulsionado queima de forma que não haja cinza, ou seja, há uma eliminação completa dos resíduos de carbono.

A empresa Cynergi Group, lançou um equipamento de emulsificação, o Cyntech tm nano- Emulsion.

Este equipamento utiliza um misturador especial com um rotor de alta velocidade, de corte ultra-fino e com cavitação hidrodinâmica. O resultado é uma mistura de combustível (óleo pesado, diesel, querosene, etc) com água combinado com agentes emulsionantes e aditivos estabilizantes, utilizando nanotecnologia.

Esta tecnologia cria partícula de água homogeneamente dispersas de tamanho nano encapsuladas dentro de uma gota de óleo. Quando a nano emulsão de combustível é pulverizada para dentro de um tanque de combustão com temperatura elevada, a água do combustível se expande em uma micro explosão, ocorrendo, repentinamente, aumento da temperatura, criando, então, a separação do óleo em tronco da água que cai em diminutas partículas e se espalha.

Como resultado, a superfície de ar combustível aumenta consideravelmente, o que leva a uma combustão de combustível mais eficiente.

As partículas oxidadas são muito pequenas e a medida que o vapor as superaquece, a reação ocorre instantaneamente e sem problemas. Como resultado, a combustão é mais eficiente se comparado com os sistemas que é liberado no tamanho convencional das micro partículas de água.

Isto reduz o consumo de combustível, bem como a quantidade de dióxido de nitrogênio/ azoto, dióxido de enxofre e dióxido de carbono produzido para atmosfera, sem comprometer a saída existente no motor, gerador, caldeiras, fornos, etc.

Esta máquina promete reduzir em ate 28% de NOx, 60% de material particulado,80% do fumo e ate 15% de consumo.





## 9.2 MELHORIAS DEPOIS DA COMBUSTÃO

### 9.2.1 Redução Catalítica Seletiva (SCR)

O SCR é uma alternativa de pós-tratamento, precisa de um aditivo composto de uréia para diminuir as descargas de óxido de nitrogênio. No momento em que a uréia entra contato com os gases da descarga do motor no interior do catalisador, acontece a reação química e o óxido de nitrogênio contido nos gases de escape é transformado em oxigênio, nitrogênio e água. Apesar de ser um método oneroso, devido ao tanque adicional que deverá ter, bomba e elementos agregados e o próprio aditivo do redutor catalítico seletivo e controle logístico, o método oferece um melhor rendimento do que se diz respeito na redução de NOx quando comparado com outro método.

### 9.2.2 Filtro de partículas diesel (DPF)

A tecnologia DPF (Diesel Particulate Filter) possivelmente será uma das alternativas mais empregadas para realizar a redução de partículas em Tier4/ Classe III B Interino e Tier 4/ Classe IV final. As indagações que os fabricantes de equipamentos fazem são: Quanto irá custar? Qual o tamanho? Qual o período para a manutenção? Os fabricantes estão trabalhando insistentemente para reduzir os custos e aprimorar esse dispositivo.

Os sistemas de filtro de partícula diesel são encarregados da eliminação do material particulado provenientes dos gases de descarga.

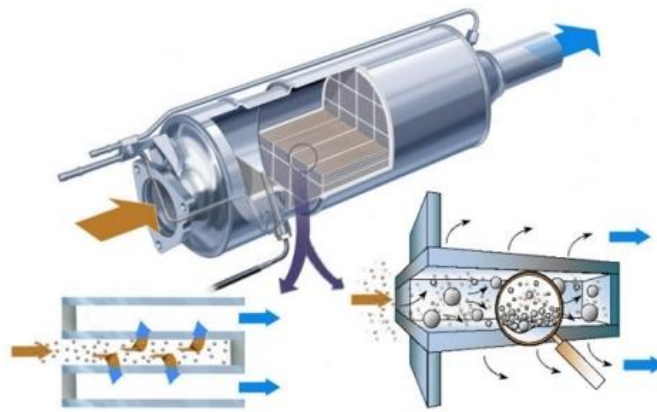
O gás desloca-se através dos poros que existe nas paredes do dispositivo e com o auxílio de um catalisador o material particulado oriundo da queima é eliminado.

Devido as altas temperaturas dos gases de descarga requerida para que esta regeneração ocorra, o estímulo para criar o sistemas de DPFs proporciona renovação consistente em todos os níveis de performance do motor.

Os filtros de partícula diesel com atuação ativa solucionam este inconveniente, utilizando o acréscimo da temperatura dos gases de exaustão e a pressão oposta criada pelo calor. Daí surgiu o sistema de DPF ativo que vão se

comportar como se estivesse em condições normais de operação. Os metais e resíduos ou cinzas presentes no óleo lubrificante podem ficar aprisionados nos filtros de partícula diesel. Assim, visto que as cinzas e metais não podem ser queimados durante a regeneração da fuligem, desta maneira, elas são depositadas no filtro.

O acúmulo destes resíduos pode ocasionalmente entupir o filtro, que necessitará de uma manutenção e limpeza. A utilização de óleo lubrificante de baixo teor de cinzas pode amenizar este problema.



### 9.2.3 Decomposição Catalítica do Óxido de Nitrogênio

Esta decomposição fundamenta-se na utilização de um catalisador para retirar o óxido de nitrogênio. Há dois tipos de decomposição catalítica de óxido de nitrogênio com diversas maneiras de regeneração. O primeiro é o catalisador de NOx, que tem pouca eficiência. Esta técnica se baseia num sistema a base de metais preciosos que minimiza os hidrocarbonetos em um fluxo de descarga abundante em oxigênio. Com este método sem a utilização de controles eletrônicos, o rendimento do catalisador para é limitado a menos de 10 % de NOx. Já quando os controles eletrônicos são usados, a eficiência aumenta, contudo não excede a 30%, como uma enorme desvantagem na economia de combustível. O catalisador mais eficiente é o adsorvente de NOx (NAC), comumente chamado de LNT (Lean-NOx Trap). Neste sistema, deve ser regenerado em uma atmosfera com insuficiência de oxigênio, obrigando ter um complexo sistema de controle.

Quando o elemento está limpo, ele pode diminuir o óxido de nitrogênio em até 90%. Contudo, o equipamento é muito sensível aos níveis de enxofre contidos nos combustíveis e pode perder drasticamente a eficácia, quando submetido a altos teores de enxofre.

No momento que isto ocorre, o enxofre tem que ser removido através do catalisador. Além de controles complexos, neste método há uma exigência térmica do motor. Com o uso de controles eletrônicos, este tipo de catalisador é apto para manter a eficiência do motor maior que 60% durante sua vida útil.

#### 9.2.4 Catalisador de oxidação diesel (DOC)

O catalisador de oxidação diesel (DOC) não reduz o óxido de nitrogênio, mas é muito eficiente na diminuição de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e algumas partículas finas do material particulado. O fluxo através deste catalisador oxida tanto os gases voláteis e os semi-voláteis de material particulado, conhecido como fração volátil orgânica (VOF).

Em temperaturas mais altas, estes catalisadores também são capazes de oxidar o enxofre e os gases de exaustão para formar sulfato MP

Os catalisadores de oxidação diesel trabalham com o total rendimento quando as concentrações de enxofre no diesel estão inferior ou igual a 0,05%. A redução nas emissões de partículas está em 20% aproximadamente. Para as emissões de hidrocarbonetos, a redução pode chegar a 50% e o monóxido de carbono 40%.

## 10 METODOLOGIA

A pesquisa pode ser classificada, tomando-se como base o critério de classificação de pesquisa proposto por Vergara (1998), quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, a pesquisa é essencialmente descritiva, porque visa descrever as partes do motor, mas, também, explicativa, uma vez que explica o funcionamento deste, a relação com o combustível consumido e a poluição produzida, assim como a influência da tecnologia dentro da indústria marítima e a dependência que esta tem por aquela.

Quanto aos meios, a pesquisa será bibliográfica, pois se fundamentará a partir de material acessível ao público para consultas, como sites, artigos, livros, revistas já publicados, convenções e códigos da *International Maritime Organization (IMO)* - Organização Marítima Internacional.

### 10.1 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para revisão da literatura, visando aprofundar o conhecimento sobre este assunto, foram coletados dados do período de 2003 a 2013. A pesquisa tem por base uma abordagem qualitativa, pois trata de assuntos referentes aos tipos de tecnologia encontrados nos navios atuais.

Esta pesquisa limita-se a abordar motores empregados em embarcações norueguesas que operem no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, Jean Lacerda. Melhorando a Combustão em Motor Diesel, Visando o Controle de Emissões de Poluentes. Monografia do Curso de Formação de Oficiais da Marinha Mercante do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2006.

Braun, Silvana. Appel; Lucia Gorenstin; Schmal, Martin - Poluição Gerada por Máquina de Combustão Interna Movida a Diesel - A questão dos particulados. Estratégias Atuais para Redução e Controle da Emissões e Tendência Futuras - Quim. Nova, Vol. 27, nº 3, 472-482, 2003

Fonseca, Leonardo Raybolt. Redução de Gases do Motores Marítimo, Monografia do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquina do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2014

Guimarães, João Roberto Penna de Freitas. Toxicologia das emissões veiculares de diesel: um problema de saúde ocupacional e pública. Disponível em: Scielo - Scientific Eletronic Library Online: [www. scielo.br](http://www.scielo.br)

Harrison. Medicina Interna - décima quinta edição. Editores: McGraw Hill Interamericana do Brasil Ltda, Rio de Janeiro, 2002

IMO. **Convenção SOLAS** – Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar. Londres, 1974/1988. Emendada em jul. 2014. Tradução de CCA-IMO. Disponível em:

<[https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/SOLAS\\_indice-2014\\_2.pdf](https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/SOLAS_indice-2014_2.pdf)>.

Acesso em: 01 de maio de 2015.

International Medical Guide for Ships. World Health Organization: second edition. Geneve, 1988.

International Medical Guide for Ships. World Health Organization: third edition. Geneva , Switzerland, 2007

Lima, Rogério da Silva. Monografia do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquina do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2014

MARPOL, anexo VI. Disponível em:

[https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/marpol\\_anexo6-12fev.pdf](https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/marpol_anexo6-12fev.pdf). Acesso em 01 de maio de 2015.

Motores Diesel, Vol. I. São Paulo: Hemos, 1978

Pronto-Socorro: Conduas do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo/editores Herlon Saraiva Martins, Maria Cecilia de Toledo Damasceno, Soraia Barakar Awada. - Barueri, SP: Manole, 2007

Taylor, Charles S. Análise dos motores de combustão interna. Vol II.

VERGARA, S. C. Projetos e relatórios de pesquisa em Administração. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1998.