

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS – APMA.1/2019**

**GILVAN COSTA SANTIAGO**

**OS EFEITOS DO BAIXO NÍVEL DE ENXOFRE DOS COMBUSTÍVEIS NOS**  
**MOTORES, UMA VISÃO GERAL**

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**GILVAN COSTA SANTIAGO**

**OS EFEITOS DO BAIXO NIVEL DE ENXOFRE DOS COMBUSTIVEIS NOS  
MOTORES, UMA VISÃO GERAL**

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

Orientador: RAMESES CESAR DA SILVA RAMOS

**RIO DE JANEIRO**

**2019**

**GILVAN COSTA SANTIAGO**

**OS EFEITOS DO BAIXO NIVEL DE ENXOFRE DOS COMBUSTIVEIS NOS  
MOTORES, UMA VISÃO GERAL**

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

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

Orientador:

---

Assinatura do Orientador

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

---

Assinatura do Aluno

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada disso seria possível, em segundo lugar à minha família e amigos os quais me deram todo o apoio antes e durante esta jornada e a todos os profissionais do ramo naval que se ausentam de suas casas por longos períodos e sustentam este país de maneira formidável. Também aos mestres que tanto colaboram para a nossa formação.

## RESUMO

O presente trabalho disserta sobre as mudanças a serem tomadas a partir de 2020 no que diz respeito à quantidade de enxofre presente nos combustíveis fosseis usados como fonte de energia na maioria dos navios ao redor do mundo. Esse tema é de suma importância uma vez que o maquinário existente nas frotas atuais foi produzido em uma época anterior a adoção de tais mudanças e não está totalmente preparado para o uso de combustível com baixo teor de enxofre, frente a isso várias fornecedoras de motores, auxiliares e principais, têm se empenhado em achar alternativas ou tecnologias que não inutilizem seus maquinários mais antigos após a adoção dessa mudança. Será abordado também quais serão algumas dessas mudanças, alternativas para o óleo pesado e uma visão geral sobre o anexo VI da MARPOL 73/78, que é a regulamentação internacional que dita as regras relativas à poluição do meio ambiente focando no ar.

Palavras-chave: Teor de Enxofre, MARPOL VI, ECA, LSHFO, bunker, SECA, Lubrificação

## **ABSTRACT**

This work discusses about the upcoming changes in 2020 regarding the quantity of sulfur present on the marine fuel oil used as main power source on most of the vessels around the world. This theme is of great importance since most the machinery used nowadays on the worldwide shipping industry has been produced in a time before these changes and they are not fully prepared to the use of Low Sulfur Fuel Oil. Facing these changes most of the Engine suppliers are putting some work on finding alternatives and technologies so their machinery withstands the long-term use of Low Sulphur Fuel after the new rule applies. Throughout the essay we will talk about the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL focusing on its annex VI that is about the air pollution, we will talk about alternatives for the heavy fuel and some technologies and a general overview about the MARPOL ANNEX VI whose treats the air pollution.

Key words: Sulfur, MARPOL VI, ECA, LSHFO, bunker, SECA, Lubrication

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES E FIGURAS

Figura 1 – Acidente e conseqüente derramamento de óleo Amoco Cadiz.....	1
Figura 2 – Número de vazamentos de óleo por ano.....	12
Figura 3 – Redução do número de vazamentos por ano.....	14
Figura 4 – Gráfico da emissão permissível de SO <sub>x</sub> através dos anos.....	15
Figura 5 – Esquema simplificado do sistema de combustível.....	18
Figura 6 – Reação química do ácido sulfúrico.....	20
Figura 7 – Relação entre temperatura e viscosidade.....	23
Figura 8 – Instalação de <i>cooler</i> na linha de combustível.....	25
Figura 9 – Novos anéis de compressão da MAN B&W.....	27
Figura 10 – Exemplo instalação torre de lavagem <i>open-loop</i> .....	29

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**MARPOL** – Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios

**ECA** – Áreas de controle de Emissão

**SECA** – Área de controle de Emissão de Enxofre

**SO<sub>x</sub>** – Óxidos de Enxofre

**NO<sub>x</sub>** – Óxidos de Nitrogênio

**IMO** – Organização Marítima Internacional

**MDO** – Óleo diesel Marítimo

**MGO** – Óleo Diesel Marítimo (mais leve)

**HFO** – Óleo Pesado (bunker)

**LSFO** – combustível com baixo teor de enxofre

**ULSFO** – combustível com baixíssimo teor de enxofre

**MEPC** – Comitê da Proteção do meio Ambiente Marinho

**ONU** – Organização das Nações Unidas

**SOLAS** – Convenção Internacional Para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar

**cSt** – centistoke ( $1\text{cm}^2/\text{s}$ )

**DNV** – *Det Norske Veritas*

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** – Ácido sulfúrico



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>A MARPOL 73/78.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>O Anexo VI.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>O Brasil No Contexto Global.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>O COMBUSTÍVEL A BORDO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Serão Os Motores Afetados Por Esta Redução.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Que Medidas Estão Sendo Tomadas.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>ALTERNATIVAS PARA O CUMPRIMENTO DA LEI.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente como um todo sempre foi de importância ímpar em qualquer assunto tratado internacionalmente pois sabemos que todas as alterações causadas no mesmo afetarão não só aos animais selvagens, mas nós mesmos e mais severamente as gerações futuras que sofrerão as consequências das ações tomadas pela nossa geração. Pensando nisso, desde 1973 a IMO passou a regular a poluição proveniente do meio naval através da MARPOL 73/78 e um de seus anexos, o VI, é especificamente voltado à poluição do ar.

O principal ponto aqui é que as embarcações usam o combustível de menor custo e os componentes deste navio foram desenhados para queimar esse combustível mais barato e eventualmente operar com MDO, diesel marítimo, durante manobras, logo, na maior parte do tempo, o combustível queimado é o que libera mais oxido de enxofre e oxido de nitrogênio e , SOx e NOx respectivamente, para a atmosfera. Estas alterações, porém, apresentam desafios para o funcionamento uma vez que os componentes utilizados nos motores feitos antes dessa lei não estão prontos a operar no longo prazo afetando a lubrificação das camisas e demais componentes que fazem parte do motor.

De uma maneira geral o mundo está tentando reduzir as emissões de gases poluentes baseado em grande parte nas considerações ambientais e de saúde dos seres humanos. O enxofre (S) tem uma vida atmosférica muito curta, entre um e dois dias e meio para o SO<sub>2</sub> e de 4 a seis dias para o sulfato. Isso implica que as maiores concentrações deste componente se encontram perto de suas fontes emissoras, logo, concluímos que as áreas com maior concentração de rotas marítimas e perto da costa são as mais afetadas pela emissão de gases poluentes provenientes de embarcações.

De acordo com o Ministério do Ambiente, o dióxido de enxofre é:

Um gás tóxico e incolor, pode ser emitido por fontes naturais ou por fontes antropogênicas e pode reagir com outros compostos na atmosfera, formando material particulado de diâmetro reduzido.

Fontes - fontes naturais, como vulcões, contribuem para o aumento das concentrações de SO<sub>2</sub> no ambiente, porém na maior parte das áreas urbanas as atividades humanas são as principais fontes emissoras. A emissão antropogênica é causada pela queima de combustíveis fósseis que contenham enxofre em sua composição. As atividades de geração de energia, uso veicular e aquecimento doméstico são as que apresentam emissões mais significativas.

Efeitos - entre os efeitos a saúde, podem ser citados o agravamento dos

sintomas da asma e aumento de internações hospitalares, decorrentes de problemas respiratórios. São precursores da formação de material particulado secundário. No ambiente, podem reagir com a água na atmosfera formando chuva ácida. (MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE, 02/06/2019)

Dentre as várias opções em análise a que mais se adequa é a da redução destes componentes nocivos na fonte, ou seja, no combustível ao invés de alternativas internas para controlar a emissão como *Scrubber Towers*, ou torres de lavagem, na emissão dos gases, que permitiriam o uso de HFO com níveis mais altos de enxofre, porém seriam mais dispendiosas e deveriam ser inspecionadas rotineiramente para o cumprimento da regra, além de sensores de emissão, etc. instalados na embarcação.

O principal objetivo deste documento é, então, falar sobre as adequações que estão sendo feitas nas montadoras de motores navais para que seja possível a rodagem dos mesmos com um valor muito abaixo de enxofre do que tem sido utilizado até então, maneira esta que se mostra menos dispendiosa e mais eficiente pois permite que estas máquinas também utilizem outros tipos de combustíveis navais, como o MDO e o MGO por um período de tempo maior sem que danifique os materiais de construção do motor e diminua sua vida útil.

## 2 A MARPOL 73/78

A IMO voltou suas atenções, na década de setenta para o controle das emissões de poluentes provenientes dos transportes e prospecção marítimos e a convenção MARPOL 73/78 – *International Convention for the Prevention of Pollution From Ships* – ou Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios foi o produto desse esforço. Ela é a principal convenção internacional focada na prevenção da poluição dos ambientes marinhos de causas tanto acidentais quanto operacionais. Ela foi adotada em novembro de 1973 na IMO, porém foi protocolada apenas em 1978 em resposta a uma quantidade vertiginosamente grande de poluição marítima culminando com o incidente do navio Amoco Cádiz em 1978 que despejou mais de um milhão e seiscentos mil barris de óleo no oceano, próximo à costa da França.

Se o mundo precisasse de um lembrete da necessidade de regulamentos mais estritos contra a poluição por óleo, ele teve um apenas um mês depois da conferência de 1978, quando o Amoco Cadiz “foi a pique” na Britânia, dando a França o pior vazamento de sua história. O navio tanque, carregando um total de 223 mil toneladas de óleo bruto, perdeu toda a sua carga, contaminando mais de 130 praias com óleo. Em algumas localidades a capa de óleo possuía mais de trinta centímetros de espessura. (IMO, 2019)

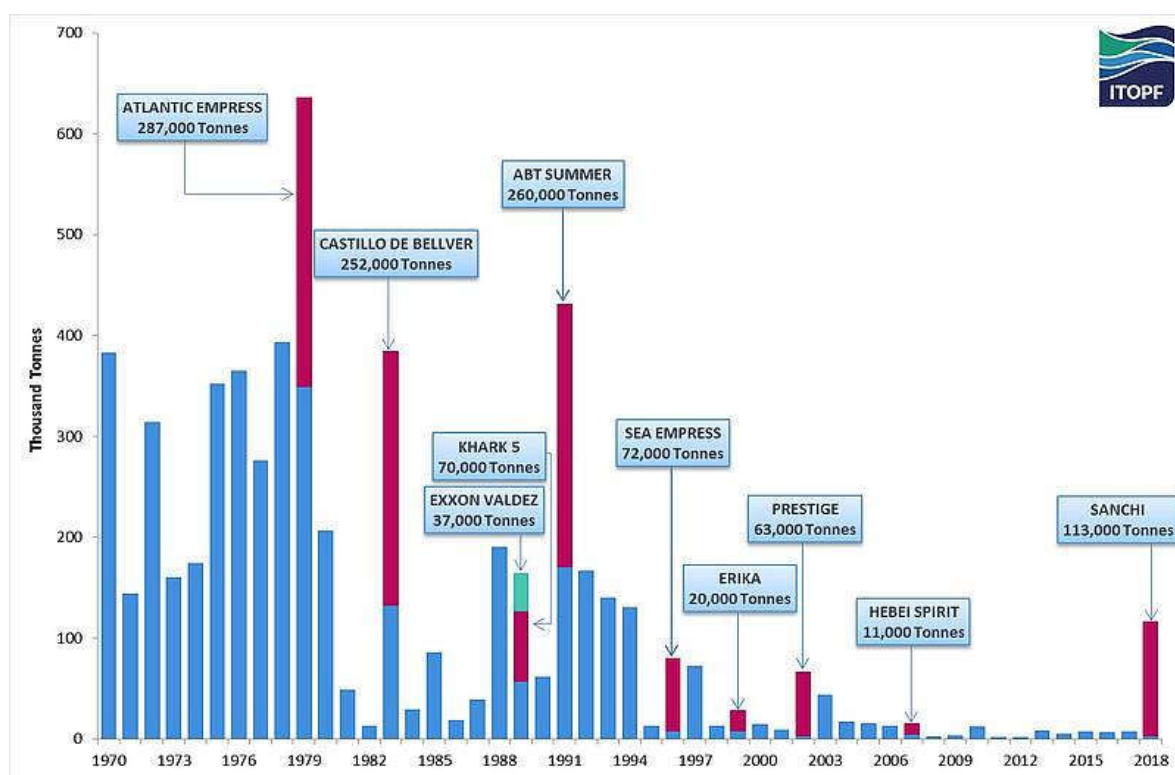
FIGURA 1: Acidente e conseqüente derramamento de óleo Amoco Cadiz



FONTE [https://www.itopf.org/fileadmin/\\_processed\\_/1/a/csm\\_amocco\\_1b6486fd81.jpg](https://www.itopf.org/fileadmin/_processed_/1/a/csm_amocco_1b6486fd81.jpg) acessado em 03/06

Diante das catástrofes ambientais, finalmente em 1978 o protocolo MARPOL 78 juntou-se à convenção de 1973 e o instrumento combinado entrou em força em 02 de outubro de 1983 nos moldes como à conhecemos hoje, logo, MARPOL 73/78. Inicialmente os anexos I entrou em vigor em 1983 e o II em 1987; em dezembro de 1988 o anexo V entrou em vigor, em 1992 o anexo III juntou-se aos demais e em 2003 o anexo IV. A última grande modificação feita na MARPOL 73/78 foi a adição do protocolo - anexo VI, em 1997, que trata da poluição do ar, e entrou em vigor em 2005 e será o ponto de partida do estudo de caso deste trabalho.

FIGURA 2: Quantidade de vazamento de óleo por ano



FONTE: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/> Acesso em 03/06/2019

Vale acrescentar que o comitê que modifica, adiciona ou altera os anexos é o MEPC – *Marine Environment Protection Committee* – Comitê de Proteção ao Ambiente Marinho que desde 1974 facilita a interpretação e a implantação de todos os pontos abordados na MARPOL eliminando ambiguidades e dificuldades de maneira uniforme. O MEPC também definiu na sua sessão de número cinquenta e seis que quando se refere à MARPOL e todos os seus seis anexos é preferível o termo “MARPOL” ao invés de “MARPOL 73/78” uma vez que varios anexos vieram após o projeto inicial e será dessa maneira que o termo será utilizado nesta monografia.

Os anexos são como se segue:

Anexo I – Regulação Para A Prevenção De Poluição Por Óleo Combustível.

Cobre a prevenção da poluição por óleo proveniente de descargas operacionais ou acidentais e em 1992 as emendas a este anexo tornaram obrigatório a existência de casco duplo nos navios novos e deu um prazo para a adequação dos demais aos mesmos termo.

Anexo II – Regulação Para Prevenção De Poluição Por Carga Líquida Nociva Transportada A Granel.

Detalha os critérios e medidas de descarga para o controle da poluição por cargas nocivas transportadas a granel, inicialmente uma lista de 250 substâncias foram avaliadas e incluídas na lista apêndice do anexo. De qualquer maneira não é permitida a descarga de nenhum resíduo contendo substâncias nocivas a menos de 12 milhas da costa mais próxima.

Anexo III - Regulação Para Prevenção De Poluição Por Substâncias Nocivas Carregadas Em Embalagens.

Contém os requerimentos gerais de como deve se guardar, identificar, documentar, as limitações e quantidades das substâncias. São consideradas nocivas as substâncias identificadas como poluentes marítimas no IMDG Code – *International Maritime Dangerous Goods Code* – ou que estão incluídas no apêndice deste anexo.

Anexo IV - Regulação Para Prevenção De Poluição Por Esgoto.

Contém os requerimentos para controlar a poluição do mar proveniente de sistema de dejetos humanos. A descarga de esgoto é proibida a menos que o navio possua uma planta operacional de tratamento aprovada ou sistema aprovado de que desinfete os dejetos a uma distância maior que três milhas náuticas. No caso da falta destes o esgoto pode ser descarregado apenas a uma distância maior que doze milhas náuticas da terra mais próxima.

Anexo V – Regulação Para Descarte De Lixo Dos Navios.

Foca nos diferentes tipos de lixo e especifica as distancias de terra e a maneira que estes rejeitos devem ser descartados. O ponto mais importante deste anexo é a total proibição da contaminação do mar por qualquer elemento plástico.

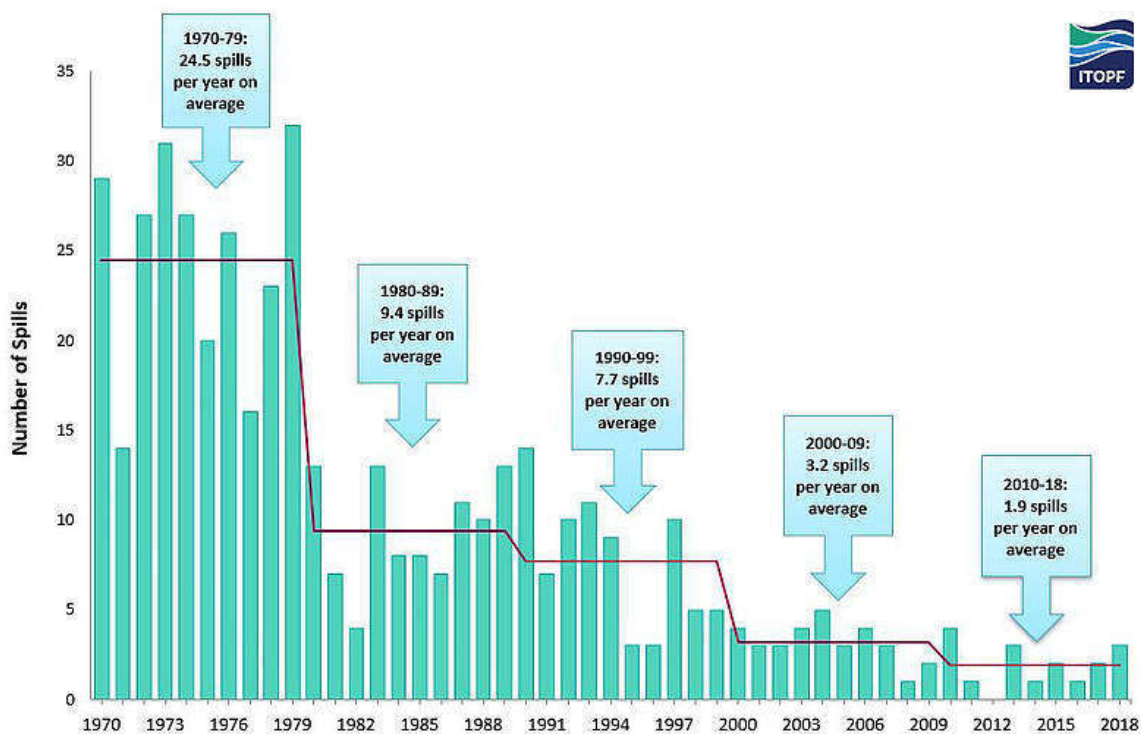
Anexo VI – Prevenção De Poluição Do Ar.

O anexo VI entrou em força em maio de 2005 e limita as emissões de óxidos de enxofre (SOx) e óxidos de nitrogênio (NOx) provenientes dos gases de exaustão dos navios e proíbe deliberadamente as emissões de substâncias que causem danos a camada de ozônio. Algumas áreas, conhecidas como ECAs, Áreas de Emissão Controlada, são mais restritas que a própria MARPOL com relação à concentração de poluentes a serem emitidos. Em 2011 foi adotado

mais um capítulo que cobre as operações técnicas e operacionais relativas a medidas de controle e redução dos gases causadores do efeito estufa.

O objetivo dessa convenção é, de maneira geral, regular e preservar o ambiente marinho tentando eliminar a poluição proveniente de vazamentos de óleo e qualquer outra substância nociva ao ambiente e minimizar os efeitos de qualquer vazamento acidental ou operacional, não se limitando apenas ao óleo mas qualquer substancia nociva aos fauna e a flora como um todo.

FIGURA 3: Redução do número de vazamentos por ano



FONTE: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/> Acesso 03/06/2019

## 2.1 O anexo VI

O anexo VI será o catalisador do nosso estudo e foi brevemente explicitado no capítulo anterior, porém será mais bem explicado nesse capítulo pois é de suma importância ao tema.

A poluição atmosférica, mesmo que não cause os mesmos efeitos diretos como de um vazamento de óleo por exemplo, causa efeitos cumulativos no meio ambiente que contribui para a qualidade do ar em todo o globo, culminando com as chuvas ácidas por exemplo que causam

efeitos nocivos ao meio ambiente e também atinge a estrutura de prédios e construções podendo compromete-las. Em vista dessa situação o ANEXO VI da MARPOL foi adotado inicialmente em 1997 e limita os principais poluentes provenientes dos gases de escape emitidos das embarcações, incluindo óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e óxidos de nitrito (NO<sub>x</sub>) e proíbe emissões deliberadas de substâncias nocivas à camada de ozônio. O anexo VI da MARPOL também regula a emissão de compostos orgânicos de embarcações e o processo de incineração de resíduos a bordo.

O anexo VI da MARPOL entrou em vigor em maio de 2005 e foi revisado em julho do mesmo ano pelo MEPC na sua quinquagésima terceira sessão com o objetivo de fortalecer a aplicação dos limites de emissão e guiar as melhorias tecnológicas para que esse processo seja possível.

O que ficou acordado na última revisão da MARPOL relativa ao sexto anexo foi que as reduções seriam progressivas tanto para NO<sub>x</sub> quanto para SO<sub>x</sub>, este partindo de um limite máximo de 3,5% m/m do dia primeiro de 2012 até um valor máximo de 0,5% após 1º de janeiro de 2020 como segue no gráfico abaixo.

FIGURA 4: Gráfico da emissão permissível de SO<sub>x</sub> através dos anos

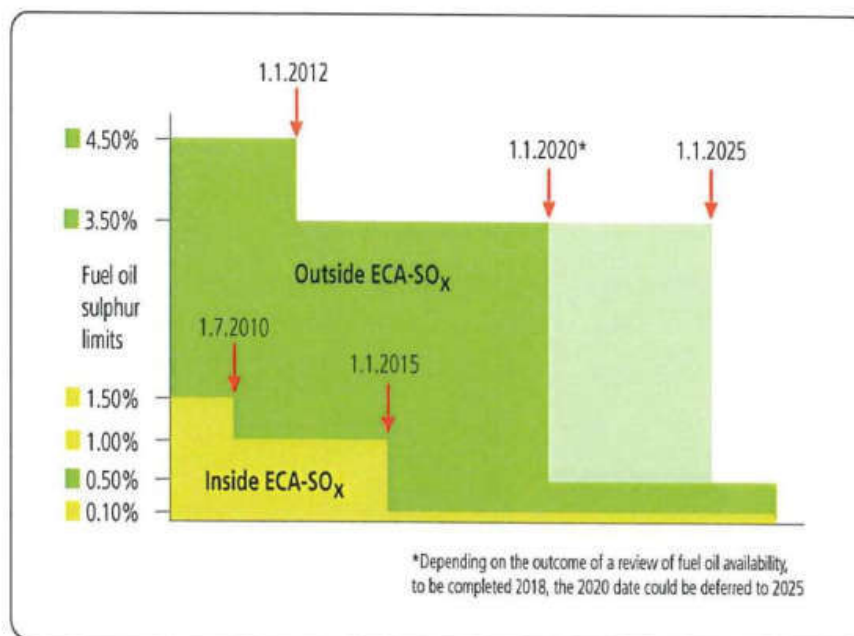


Figure 2: MARPOL Annex VI – Fuel sulphur requirements

Source: Lloyd's Register

FONTE: Lloyd's Register



Como demonstrado, a redução foi gradual e ainda mais estrita dentro das Áreas de emissões controladas, que são o mar do Báltico, o mar do Norte e a área controlada dos EUA, que compõe o litoral estadunidense e canadense juntamente com o litoral caribenho de posse americana mostrado na imagem abaixo

O limite dentro das Áreas de Emissão Controlada – ECA – será de 0,1% de enxofre a partir de 1º de janeiro de 2020. Todas estas datas foram revisadas e definidas pela MEPC 70 (outubro de 2006).

## **2.2 O Brasil No Contexto Global**

O Brasil, como um dos signatários da MARPOL, também deve seguir todas as imposições feitas por esta, isto está explicitado no decreto No 2.508, de 4 de março de 1998, assinado pelo então presidente da república Fernando Henrique Cardoso transcrito a seguir o artigo primeiro na sua íntegra:

Art. 1º A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios, concluída em Londres, em 2 de novembro de 1973, o seu Protocolo, concluído em Londres, em 17 de fevereiro de 1978, suas Emendas de 1984 e seus Anexos Opcionais III, IV e V serão executados e cumpridos tão inteiramente como neles se contém

DECRETO Nº 2.508, DE 4 DE MARÇO DE 1998.

Nota-se a falta do ANEXO VI da MARPOL, que havia sido adotado internacionalmente um ano antes, porém entrando em vigor apenas em 2005, momento no qual ele se inclui ao decretado no artigo primeiro da lei supracitada.

Logo, o Brasil tem obrigação formal de cumprir com o disposto na regra 14 da MARPOL que trata das emissões de Enxofre (SOx) devendo também respeitar as datas definidas na convenção, então, o teor de enxofre dos óleos utilizados a bordo de navios não deve ultrapassar 0,50% m/m, valor muito abaixo dos 3,5% m/m utilizados até o presente momento. O Brasil, como uma das nações signatárias da MARPOL e de todas as publicações da IMO e como estado membro da ONU, deve adequar-se aos requerimentos internacionais que da mesma maneira estende-se a todos os estados membros/signatários.

### 3 O COMBUSTÍVEL A BORDO

A ISO 8217, Padrões do combustível marítimo é a normal internacional que delimita os requerimentos gerais para todos os tipos de combustíveis marítimos.

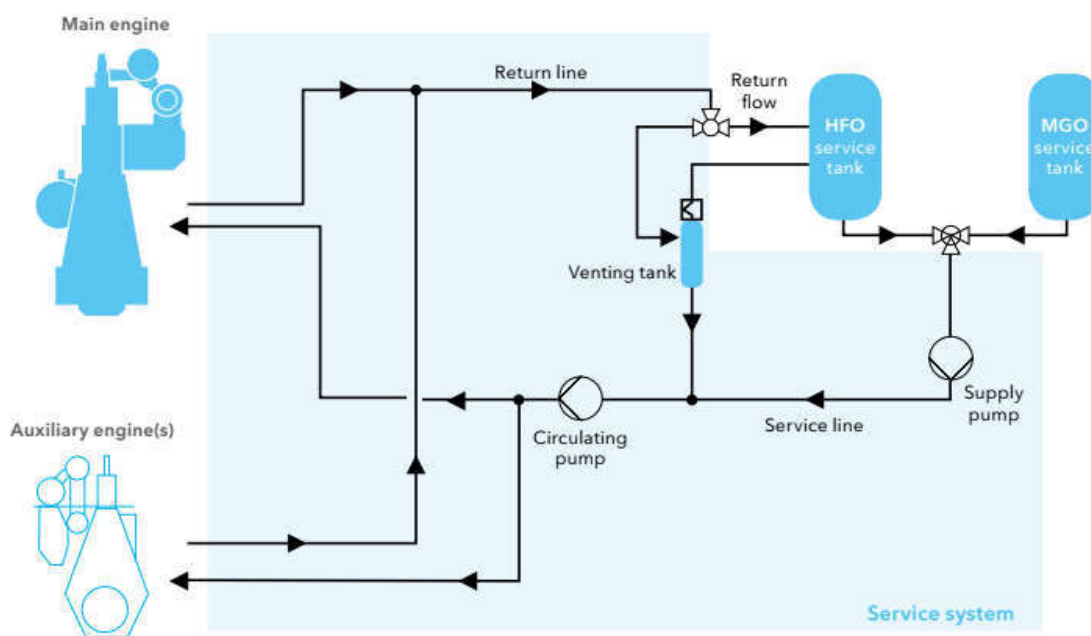
O sistema descrito abaixo é baseado nas embarcações que passei e de forma simplificada e generalista é a da mesma maneira que ocorre nas demais embarcações que utilizam o mesmo tipo de combustível, no caso, óleo pesado, que necessita de purificação e aquecimento para ser utilizado. O sistema descrito a seguir é o que utilizamos em um motor MAN B&W 6S50MC-C e de forma alguma representa estritamente o manual do fabricante e sim um procedimento genérico.

De uma maneira geral podemos considerar o sistema de combustível do navio como um sistema fechado dividido em duas partes, a parte de transferência e a parte de alimentação ou suprimento de combustível. A parte de transferência diz respeito apenas ao recebimento, armazenamento e purificação de combustível, basicamente é a transferência do combustível proveniente dos tanques de armazenamento para os tanques de sedimentação através das bombas de transferência e dos tanques de sedimentação é transferido para os tanques de serviço através dos purificadores que removem sedimentos e impurezas do combustível como água ou sais/ sedimentos presentes no mesmo. Este sistema não influencia diretamente no objeto do nosso estudo porém vale ressaltar que para cumprimento dos requerimentos da MARPOL, SOLAS E IMO os navios devem ser hábeis a armazenar diferentes tipos de combustíveis como o óleo pesado – *HFO* – o diesel marítimo – *MDO* - respeitando os limites de emissão para cada região em que o navio opera. Estes combustíveis devem ter redes totalmente separadas para que não haja contaminações dos outros tanques e, antes de entrar nas Áreas de Controle de Emissão, as embarcações devem estar queimando apenas o combustível permitido para tal área. Vale também citar que o óleo pesado deve ser aquecido a uma temperatura tal que possa ser bombeado de um tanque a outro, respeitando as limitações dos sistemas de transferências, diferentes tipos de bombas, etc. e neste ponto um combustível com menor teor de enxofre também sofre uma redução no seu ponto de fulgor, que não pode ser menor que 60° C de acordo com o SOLAS, então as fornecedoras devem colocar aditivos para que não haja uma redução muito grande no valor do ponto de fulgor.

A segunda parte é a que realmente diz respeito ao nosso estudo e resume-se na parte de alimentação de combustível para os motores e geradores do navio. Resume-se como um sistema onde o combustível já purificado sai dos tanques de serviço e vai para os consumidores. No

intermédio deste sistema o combustível sai do tanque de serviço para as bombas de alimentação que mandam combustível para as bombas de circulação, esta manda o combustível para os aquecedores para que este mantenha a temperatura deste em torno de 130 graus célsius, passa pelo viscosímetro e filtros antes de ser enviado diretamente para o motor. O viscosímetro mede o valor da viscosidade do combustível e dependendo do valor medido ele manda um sinal de controle para o sistema de aquecimento do combustível ordenando que a temperatura aumente em caso de baixa viscosidade ou diminua em caso de alta viscosidade. Do motor o restante de combustível não queimado retorna para os tanques de serviço onde o processo se repete.

FIGURA 5: Esquema simplificado do sistema de combustível



Fonte: DNV GL 2011

Além dessa parte macroscópica do sistema de suprimento de combustível, internamente ao motor é onde há a parte mais importante do processo, o óleo pesado chega às bombas de combustível de cada pistão, que pressuriza o óleo, aquecido a 130 graus em média, até os bicos injetores que podem ter inúmeras pressões de serviço dependendo do modelo e tipo de cada motor, como exemplo podemos citar em torno de 400 bar de pressão de abertura dos bicos injetores que pulverizam combustível dentro da camisa do motor no momento de compressão e este combustível pulverizado explode dando movimento ao pistão em questão e assim

sucessivamente nas demais unidades do motor dando, finalmente, força motriz ao navio, no caso supracitado, o ciclo diesel é o utilizado.

Podemos observar na breve explicação acima a importância na viscosidade do combustível isso apenas na fase de suprimento de combustível pois dentro das bombas de transferência há partes móveis que necessitam de alguma resistência para operarem em seu nível máximo, assim como após a queima dentro da camisa os resíduos da combustão interagem com o óleo lubrificante do motor criando uma capa protetora na mesma. Esses assuntos serão tratados nos capítulos e itens posteriores e serão o foco do estudo daqui em diante.

### **3.1 Serão os motores afetados por esta redução.**

Todos os componentes descritos acima serão afetados de maneira mais ou menos intensa com a redução do enxofre nos combustíveis em geral, entretanto os pontos a serem abordados neste trabalho serão aqueles mais ligados à lubrificação da camisa e o efeito da mudança de viscosidade tanto na própria lubrificação em si quanto nos componentes das bombas de transferência, recalque e bombas injetoras de cada cilindro.

- **Lubrificação:**

A lubrificação em sistemas que utilizam combustíveis destilados, como gasolina ou diesel contém menos enxofre que o HFO, óleo pesado marítimo, em sua composição. “O Enxofre é conhecido como um componente aditivo para aumentar a lubrificidade, A indústria automotiva tem reduzido a quantidade de enxofre a quase zero na última década. Essa experiência mostra que uma quantidade de enxofre menor que 50 ppm causará problemas de lubrificação” (DNV GL 2014).

Sob condições normais, quando operando com navio contendo alto teor de enxofre, o ácido sulfúrico formado durante o processo de combustão é condensado na superfície da camisa, o que levaria a um nível controlado de corrosão. Isto faz com que a camisa suporte um nível adequado de desgaste que se certifica que haja uma quantidade suficiente de lamelas de grafite na matriz do ferro fundido.

Quando operando com combustível com baixo teor de enxofre, o nível de corrosão é muito baixo e até negligenciável em muitos casos. Com o tempo, isso levaria ao polimento das superfícies em contato. Quando a face da camisa é esmerilhada, as aberturas das lamelas de grafite são fechadas dificultando a manutenção apropriada do filme de lubrificante. A utilização de combustível com baixo teor de enxofre, logo, aumenta o risco de polimento das superfícies de contato entre camisa e anéis de compressão.

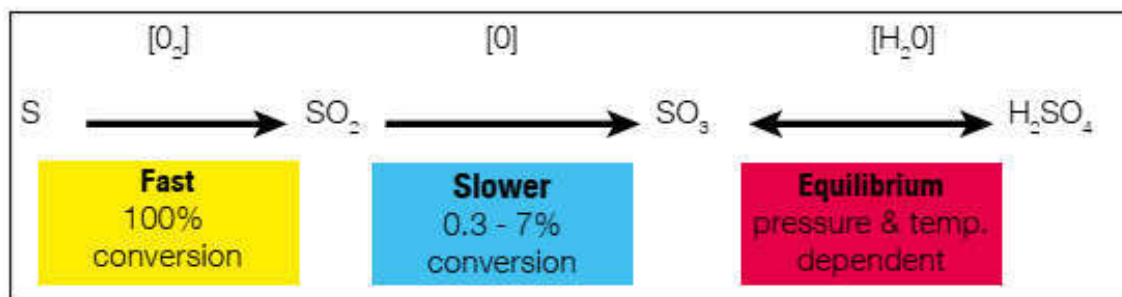
Quando o filme de lubrificante é comprometido, os anéis de vedação de ferro fundido, que estão em contato com o ferro fundido da camisa, podem gerar uma grande fricção devido ao contato metálico direto e, eventualmente levar

ao polimento da camisa. Durante o lixamento/polimento, a superfície da camisa é endurecida e necessitará passar por um tratamento antes que novos anéis de compressão sejam instalados.” (MAN, 2018)

A MAN B&W® emitiu uma publicação intitulada “*Operation on low-sulphur Fuels MAN B&W Two-Stroke Engines*” na qual a produtora testa os possíveis efeitos da redução de enxofre em seus motores criando a linha de pensamento e manutenção que deve ser usada quando da redução deste componente no combustível, no mesmo documento é frisado que a vida útil do maquinário não será reduzida contanto que as corretas precauções sejam tomadas.

Ainda de acordo com a publicação supracitada, começaremos abordando a correlação entre o nível de enxofre no combustível e o número de base, BN, presente no lubrificante. Durante a queima no motor um dos produtos formados pela reação de combustão adicionada ao calor e umidade presentes é o ácido sulfúrico, dentre outros, como representado na figura a seguir e este acaba por afetar a condição da camisa; para que este ácido seja neutralizado o lubrificante da camisa contém compostos alcalinos – normalmente sais de cálcio. Normalmente esse número de base, BN, é a medida de quão eficiente o lubrificante é de neutralizar os ácidos no sistema. Quanto maior for o BN mais ácido pode ser neutralizado.

FIGURA 6: Reação química do ácido sulfúrico



FONTE: MAN B7W 2014

Logo, o número de base é um parâmetro importante de controle da corrosão da superfície da camisa. Vale frisar que o controle, e não a eliminação da corrosão, é importante para certificar-se da tribologia necessária para criar um filme de óleo lubrificante na camisa durante o movimento do pistão dentro desta. Se a neutralização do ácido é muito eficiente há o risco de a superfície ficar muito polida deixando a lubrificação ineficiente e permitindo o contato direto de partes metálicas. Em outras palavras, operar a máquina com o tipo incorreto de BN no lubrificante pode polir a superfície ou causar corrosão caso seja um BN muito baixo para o combustível em uso. (MAN B&W, 2014)

Observando o disposto acima vemos que a utilização de combustível com baixo teor de enxofre é considerada muito mais complexa que a utilizada até então devido a relação entre a corrosão da camisa, o excesso ou falta de elementos lubrificantes no próprio combustível, a interação entre o número de base do lubrificante e o quão detergente este é ao sistema e a possibilidade de excesso de elementos alcalinos no mesmo, ou seja, o valor de alcalinidade do lubrificante deve ser correlacionado à quantidade de ácido presente no combustível. Cada fabricante tem valores pré-estabelecidos em laboratório e não serão abordados neste estudo, no entanto, como uma abordagem prática será dada como estabelecido a seguir:

Óleos com baixo valor de basicidade (BN) devem ser escolhidos para combustíveis com baixo teor de enxofre, óleos com alto número base devem ser escolhidos para combustíveis com alto teor de enxofre.

BN	Enxofre
40 – 50	<3,5%
60-70	>2,5%

(MAN B&W, 2014)

Consoante com o disposto acima, a Sociedade Classificadora Estadunidense, ABS, afirma também que:

Caso haja a necessidade de se utilizar um combustível com uma diferença muito grande na concentração de enxofre, um valor não utilizado habitualmente pelo navio, recomenda-se que o óleo lubrificante do cilindro seja trocado de maneira a acomodar-se a quantidade de enxofre do combustível.

Óleos lubrificantes com grande quantidade de alcalinos aditivos é recomendada pelos fabricantes para uso em combustível com alto teor de enxofre, logo, um óleo lubrificante com baixo BN, número de base, deve ser selecionado se o combustível apresenta baixo teor de enxofre e vai ser utilizado por um período permanente ou prolongado. (ABS, 2018)

Como podemos observar, é de suma importância a escolha do lubrificante correto ao tipo de combustível utilizado uma vez que o mesmo age de maneira a neutralizar qualquer ácido sulfúrico corrosivo proveniente do combustível. De qualquer maneira quando a quantidade de enxofre é reduzida no combustível ele resulta em menos ácido sulfúrico da queima e uma quantidade excessiva de alcalinidade no lubrificante leva ao polimento da camisa agravando-se em contato direto de partes metálicas, sobre aquecimento e quebra do equipamento e, no caso de falta de alcalinidade suficiente, resulta-se em corrosão dos componentes pelo ácido sulfúrico proveniente da queima; logo, a alcalinidade do lubrificante deve ser ajustada ao combustível sendo utilizado ou a velocidade com que este lubrificante é utilizada deve ser reduzida ou aumentada dependendo de cada situação. Este ponto não chega a ser crítico, porém é de suma importância quando se opera com destilados ou LSFO por um período prolongado.

- Viscosidade:

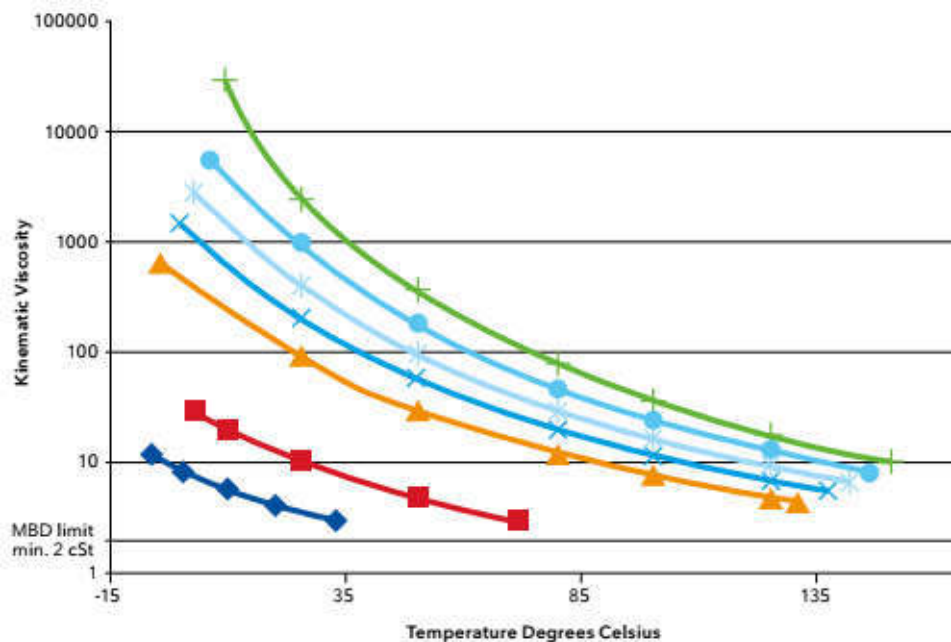
A quantidade enxofre no combustível provém, inicialmente “da origem do combustível e do processo destilatório ao que o mesmo é submetido”. Porém em um sistema marítimo, devido a quantidade de combustível consumido diariamente, onde por exemplo, um navio tanque de pequeno porte pode chegar a consumir 30 toneladas-métricas de combustível (CHEVRON 2012) a maneira mais fácil, em um primeiro momento, de controlar estas emissões de SO<sub>x</sub> seria a mistura de Óleo pesado e destilados com baixíssimo teor de enxofre como diesel marítimo. Esta seria uma solução inicial até que a oferta de LSHFO E ULSHFO seja suficiente para suprir os respectivos mercados.

A questão aqui, porém, não é a capacidade de oferta e procura, mas a alteração de uma característica intrínseca ao óleo pesado que é sua viscosidade. Combustíveis destilados, devido aos processos a que são submetidos, são menos densos e menos viscosos e como já vimos brevemente anteriormente a viscosidade também é impactante na lubrificação e funcionamento correto das bombas e componentes do sistema de combustível mas diferentemente do teor de enxofre a viscosidade pode ser alterada a bel prazer apenas mudando a temperatura do combustível respeitando as limitações de bombas e pressões requeridas no processo.

Normalmente o óleo pesado necessita de um aquecimento médio de até 130 graus célsius na entrada do motor para que tenha a atomização e a fluidez/viscosidade correta e para que isto ocorra são instalado aquecedores nas linhas das bombas de circulação e alimentação bem como nos purificadores e até nos tanques de armazenamento, sedimentação e serviço porém quando há a mistura de um ou mais combustíveis devemos atentar à temperatura correta e nova viscosidade resultantes da mistura.

“O menor valor para a viscosidade do óleo pesado aconselhado pelos fabricantes é de 2 cSt à 40° C, essa seria a menor viscosidade requerida para certificar-se de um filme uniforme de lubrificação entre as partes moveis e fixas do sistema de injeção.” (DNV GL, 2014)

FIGURA 7: Relação entre temperatura e viscosidade



FONTE MAN B&W 2014

Ou seja, para que os sistemas de injeção, incluindo bicos injetores, bombas injetoras dentre outros, funcione corretamente, o combustível deve apresentar uma viscosidade mínima de 2 cSt quando tem 40° C, no entanto para ajudar na atomização do combustível quando este chega os bicos injetores, bem como não sobrecarregar as bombas de alimentação e aumentar a fluidez do sistema usualmente os fabricantes indicam um aquecimento de até 135° C na entrada do motor. Alguns fabricantes vão além e “algumas bombas necessita de 5cSt” (MAN B&W, 2014). Se a viscosidade apresentada pelo combustível é muito baixa o filme lubrificante das bombas de combustível será ineficiente podendo causar de falhas prematuras até quebra das bombas, além disso, uma baixa viscosidade do óleo pesado irá causar vazamentos no sistema, tanto nas bombas injetoras quanto nas bombas de suprimento e circulação.

“ Com a introdução de combustíveis marítimos com baixo teor de enxofre, como o Diesel Marítimo (MGO) no sistema de combustível, as bombas de serviço podem perder sucção devido a reduzida lubrificidade e viscosidade do combustível, devido à baixa lubrificação, aquecimento excessivo das bombas existentes de óleo pesado (caso não sejam designadas para manusear destilados) pode ocorrer. Logo, pode haver a necessidade de se instalar novam bombas que possam utilizar combustíveis com baixa viscosidade[...].

Um gasto excessivo das bombas injetoras também pode ocorrer como resultado das baixas propriedades lubrificantes dos combustíveis de 10% de enxofre. Pode haver a necessidade de substituição das bombas injetoras com novos modelos. As bombas injetoras dos motores podem ter que ser



substituídas por bombas especiais (por exemplo, bombas injetoras com componentes protegidos por carbetos de tungstênio).” (MAN B&W, 2018)

Quando é considerado este caso de redução na viscosidade e os prováveis danos nas bombas injetoras aumentam-se as chances de falhas na partida dos motores o que passa a ser uma questão de segurança como numa área de manobra restrita, próximo a plataformas ou em fundeadouros muito movimentados. Uma das maneiras de verificar a condição das bombas injetoras, se estão ineficientes ou gastas, é comparar os valores atuais das cremalheiras quando em funcionamento com os valores especificados de fábrica, falhas nas partidas também pode ser uma indicação prematura de que as bombas estão gastas e merecem ser trocadas ou apenas acompanhadas para o momento mais oportuno da manutenção programada.

Para resolver estes problemas a instalação de **coolers** pode ser considerada, ponto que abordaremos posteriormente, mas podemos citar que:

“Devido aos riscos de explosão relacionado à utilização de combustíveis muito voláteis a bordo de navio, a IMO banuiu o uso de combustíveis com ponto de fulgor menor do que 60° C. Alguns estudos existem indicando que geralmente os combustíveis com valor baixíssimo de enxofre quase sempre apresentam ponto de fulgor inferior à 60° C. Estes combustíveis não devem ser utilizados a bordo e devem ser manuseados de acordo com as instruções da sociedade classificadora e da bandeira do navio. Deve atentar-se que o ponto de fulgor vem explicitado no Comprovante de Fornecimento a Navio e deve ser sempre checado quando se está abastecendo a embarcação.” (DNV GL 2014)

Especialmente em uma praça de máquinas onde as temperaturas podem chegar naturalmente próximo aos 40° C ou 50° C dependendo da localização devemos realmente ficar atentos às especificações dos combustíveis para nossa segurança e segurança operacional da embarcação/porto.

### **3.2 Que Medidas Estão Sendo Tomadas**

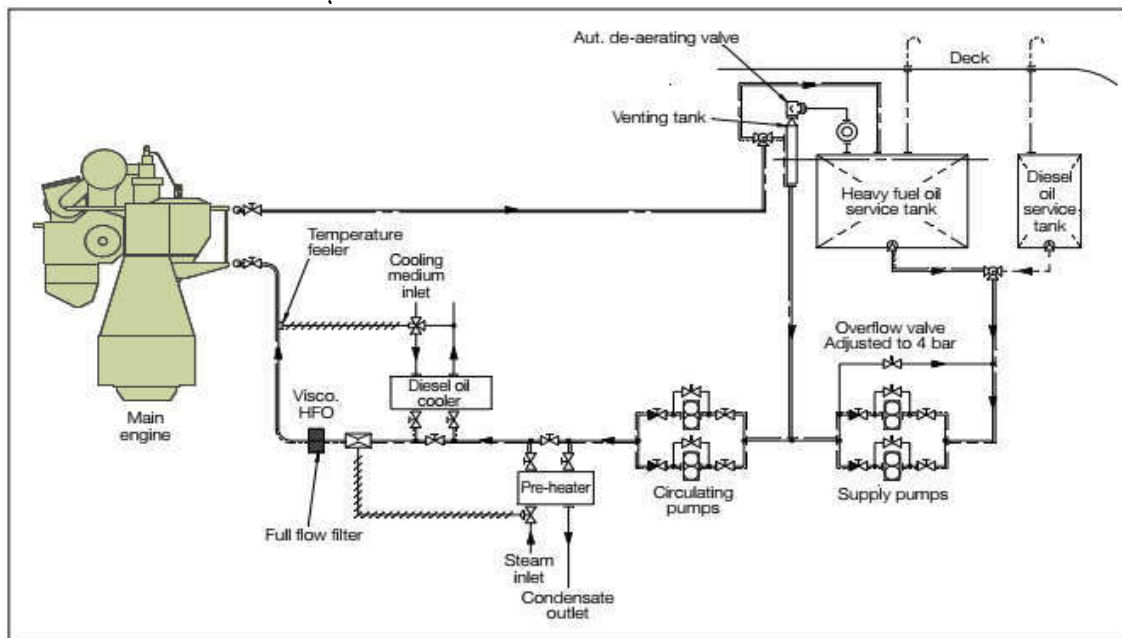
Como observamos anteriormente a mera alteração no teor de enxofre no combustível marítimo será suficiente para impactar desde o processo de produção, que não é o objeto do nosso estudo, até na parte onde seremos diretamente afetados que é na constituição dos motores atuais, troca de componentes por outros com maior resistência à abrasão, ou apenas o aumento das manutenções preditivas para que seja evitada a perda do equipamento e isto é de interesse altíssimo para as empresas que produzem motores e outros componentes para a indústria naval.

Algumas dessas alterações por parte das empresas de construção naval serão apresentadas a seguir.

- Ainda com relação à viscosidade, uma das alterações feitas na estrutura da embarcação pode ser a instalação de trocadores de calor com o objetivo de reduzir a temperatura do combustível no caso de mistura de destilados ou destilados estejam sendo utilizados. Isto acontece geralmente nas zonas de controle de emissão, ECAs, onde o limite de enxofre é de no máximo 0,10% onde os combustíveis são misturados com destilados para chegar ao limite permitido reduzindo-se assim a viscosidade dele.

“Para que seja possível manter a viscosidade requerida na entrada do motor pode haver a necessidade de instalação de resfriadores no sistema, a figura a seguir mostra as localizações recomendadas para a instalação de resfriadores, porém podem também serem instalados em outros locais” (DNV GL 2014)

FIGURA 8: Instalação de *cooler* na linha de combustível



FONTE – MAN B&W 2014

Esta solução do cooler serve para manter o combustível com uma viscosidade relativamente boa para os componentes das bombas e para evitar que, com a redução do ponto de fulgor do processo destilatório, a operação se mantenha dentro de um limite de segurança. Vários sistemas podem ser instalados para este fim como o Chiller, que não será abordado, porém tem a mesma finalidade básica do sistema demonstrado acima.

- Com relação aos componentes dos motores que podem ser impactados por esta alteração dos combustíveis as fabricantes já começaram a se adequar e trocar partes que seriam afetados pela redução de enxofre ou que evitaria maiores danos aos outros componentes do motor, uma delas eu presenciei e a “Service Letter”, ou carta de serviço emitida pela empresa será descrita a seguir:

“Senhores

A utilização de combustíveis com baixa (VLSFO) ou baixíssima (ULSFO) concentração de enxofre está ficando mais frequente.

Desde 2015, operações nas áreas de controle de emissão de enxofre (SECAs) tem restringido a utilização de combustíveis com mais de 0,1% de enxofre. O número de motores que podem utilizar dois tipos de combustíveis com misturas ULSFO, a partir de 2020, que cumpram o requisito de 0,5% irá aumentar.

Os proprietários de motores que operam com combustível de baixo (VLSFO) e baixíssimo (ULSFO) teor de enxofre irão enfrentar certas dificuldades com a falta de lubrificação e contato abrasivo das superfícies metálicas entre a camisa do motor e os anéis de compressão. Operação com gás ou outros combustíveis com baixo ponto de fulgor, que não contém enxofre, trazem desafios similares àqueles encontrados quando utilizando *ULSFO* nas *SECAS* ou 0,5% de enxofre no combustível. A operação prolongada com esses combustíveis pode levar ao polimento das superfícies da camisa com o subsequente risco de abrasão da camisa como consequência.

Para prevenir-se contra os danos às camisas do motor e aos anéis de compressão, o que levará a manutenções inesperadas, corretivas, nos introduzimos uma configuração de anel de compressão que incorpora um revestimento de cerâmica no lado de raspagem de todos os anéis de compressão. O revestimento de cerâmica no anel de compressão aumenta a confiabilidade do motor principal. Em muitos casos o anel com revestimento cerâmico continua a atuar normalmente mesmo após perder momentaneamente o filme de óleo lubrificante, contanto que este volte a se formar após este episódio. Isto faz com que o motor possa continuar em operação normal até que a próxima manutenção/inspeção programada seja executada. Como 2020 se aproxima, nós recomendamos a introdução desta nova configuração de anel de vedação seja feita na próxima manutenção.”  
(MAN Diesel & Turbo Service Letter SL2018-659/JAP)

FIGURA 9: Novos anéis de compressão da MAN B&amp;W

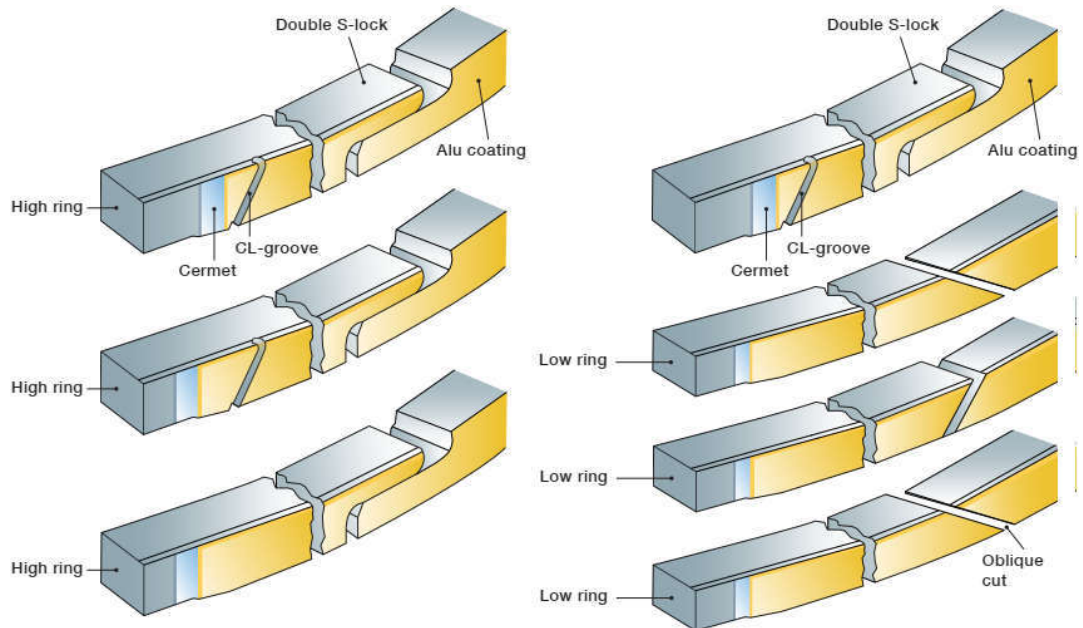


Fig. 1: The CPR ring pack containing three high rings with cermet-coating on all rings for pistons with three grooves. This ring pack is also available in a configuration with one high and two low rings.

Fig. 2: The 2020 CPR ring pack containing one high ring and three low rings with cermet-coating on all rings.

Fonte: MAN Diesel & Turbo Service Letter SL2018-659/JAP)

Estas mudanças apresentadas acima são parte de um esforço das montadoras para manterem a sua reputação e conservarem o tempo de vida de seus equipamentos respeitando as leis internacionais no tocante a poluição do ar, inúmeras outras pequenas alterações estão sendo feitas nos motores/bombas, pelas empresas, de maneira que a parte operacional de bordo não seja prejudicada, O apresentado acima serve para demonstrar parte destas alterações e deixa em aberto para estudos posteriores uma visão mais aprofundada do assunto.

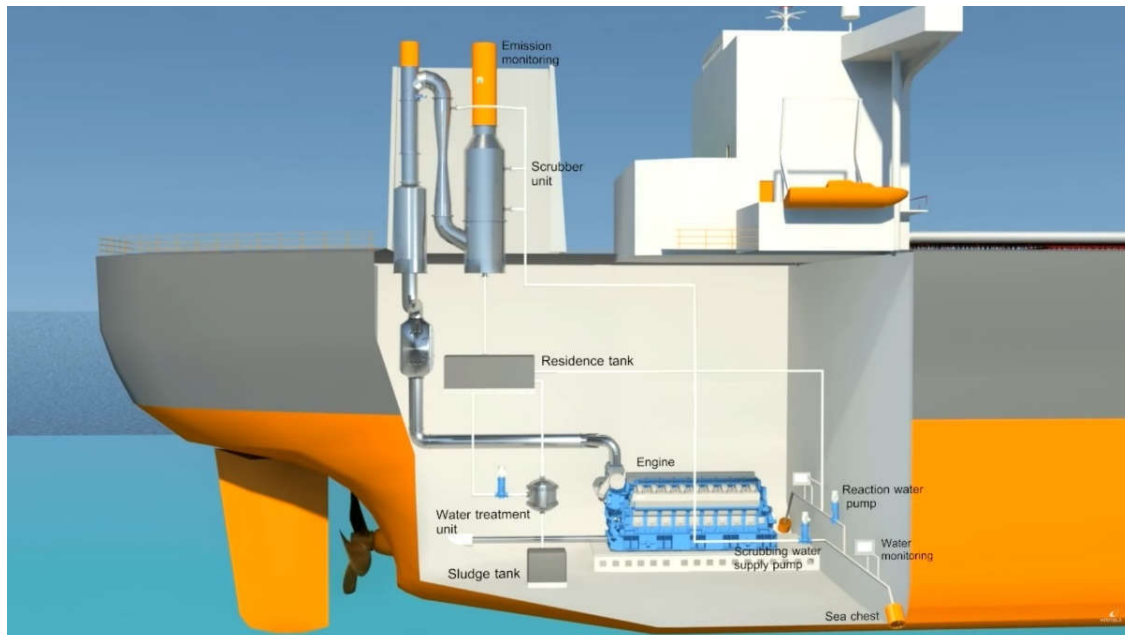
#### 4 ALTERNATIVAS PARA O CUMPRIMENTO DA LEI

Além das mudanças nos componentes dos motores há algumas outras maneiras de continuar utilizando o combustível com alto teor de enxofre, ou trocar completamente o tipo de combustível contudo sempre respeitando as Anexos da MARPOL e das leis internacionais. De qualquer maneira o tempo de implementação é curto e estas opções precisam estar em funcionamento já em 2020.

- Utilização de óleo pesado com torre de lavagem:

Esta é a opção que pode levar o maior questionamento de todos uma vez que é um processo conhecido no meio marítimo por muito tempo e permite que continue a se utilizar combustíveis com alto teor de enxofre. A lavagem assemelha-se em base àquela que ocorre nos sistemas de lavagem dos geradores de gás inerte ou em algumas caldeiras, para respeitar os valores de emissões de gases permitidas.

Neste tipo de lavagem, de maneira geral, os gases provenientes da descarga do motor são levados até uma unidade de lavagem instalada antes da exaustão final, uma bomba de água salgada, esta que é alcalina por natureza, é responsável por alimentar os estágios de lavagem, que podem variar de 2 ou mais de fabricante para fabricante, num primeiro estágio os gases de exaustão são lavados com água salgada baixando a temperatura, parte dos SO<sub>x</sub> e matéria particulada, após este estágio vai para mais uma lavagem com água pulverizada para remover o restante dos resíduos onde, o gás remanescente é monitorado para saber se realmente contém o máximo permitido de SO<sub>x</sub> e então vai para a atmosfera. Os resíduos removidos são armazenados para que sejam descarregados no porto em uma unidade de recebimento caso não sejam lançados ao mar respeitando os limites internacionais de descarga de resíduos. Vários sistemas existem sendo os mais conhecidos o aberto, “*open-loop*”, fechado “*close-loop*”.

FIGURA 10: Exemplo instalação de torre de lavagem *open-loop*

FONTE: Wärtsilä, 2013

“O grande ponto desta opção é que o óleo pesado com alto teor de enxofre, HSFO, ainda será uma opção em 2020 e pode ser uma alternativa para os armadores que estão se preocupando com o aumento de preço e disponibilidade de combustíveis que acordem com os requerimentos do anexo VI da MARPOL” (DNV GL 2016). De qualquer maneira a torre deste sistema é específica para remoção de SO<sub>x</sub> dos gases de escape e a vantagem é a manutenção dos combustíveis já vem em uso há anos sem a necessidade de alteração de nenhum componente dos motores, bombas e sistemas já conhecidos. O maior ponto negativo seria o custo de implantação deste sistema que, além de ser outro consumidor de energia a bordo, necessitaria de mais químicos e o gerenciamento dos rejeitos após a lavagem. Muitas empresas já descartaram esta alternativa pois já que o mundo caminha para uma redução gradual do teor de enxofre no combustível, no futuro estas estruturas de lavagem ficariam obsoletas, aumentando ainda mais a justificativa quanto à implantação desta tecnologia que requer monitoração constante da exaustão e adiciona mais componentes em um universo já bastante diversificado.

- Utilização de destilados

“A utilização de destilados irá significar um aumento substancial no custo do combustível para os armadores além de requerer toda a modificação na planta de tratamento de combustível do navio devido à baixa viscosidade de combustíveis destilados.” (DNV GL 2016)

Esta alternativa é utilizada comumente em embarcações de apoio ou portuárias devido à complexidade do sistema de óleo pesado, que necessita de aquecimento constante, porém para o uso em grandes embarcações com viagens longas, o óleo pesado é mais vantajoso por sua eficiência térmica, porém com a correta instalação de trocadores de calor o combustível pode ser utilizado normalmente.

- Gás Natural

Esta alternativa é bem válida para os navios novos, que estão em fase de projeto ou saindo dos estaleiros com esta tecnologia implantada ou em projetos de conversão, de acordo com o DNV, o gás natural pode reduzir as emissões não apenas de CO<sub>2</sub>, mas também de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, como segue:

“Apesar dos aspectos comerciais, o principal argumentos em se escolher GLN, gás líquido natural, como o combustível que irá substituir os óleos convencionais é a significativa redução na poluição do ar – desde as emissões de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e matéria particulada. A completa redução de SO<sub>x</sub> e matéria particulada e a redução de NO<sub>x</sub> em até 85% ao se utilizar GLN é um argumento muito forte em favor deste especialmente nas ECAs, Áreas de Emissão Controlada. Além disso, GLN também reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em até 25%. Como uma opção de combustível o GLN oferece múltiplas vantagens à saúde humana e ao meio ambiente[...].” (DNV GL 2016)

Nenhuma destas alternativas é final uma vez que dependem do tipo de embarcação, do tamanho do navio e padrões operacionais que disponibilizem o combustível correto no tempo necessário. E há no mercado inúmeras alternativas como a utilização direta do ULSFO, a mistura de combustíveis com destilados, que pode ter problemas de incompatibilidade, ou de biocombustíveis e a crescente onda de energias renováveis que avançam em todas as áreas, porém este não é o arcabouço deste estudo e estas opções serão apenas aqui citadas.

Além destes pontos, o mais importante é o fator financeiro conforme estudo feito pela DNV “para as opções que requerem uma modernização, também é importante considerar a complexidade da instalação, o possível tempo que a embarcação ficará sem contrato e a vida útil restante da embarcação”(DNV GL2016), ou seja, uma embarcação como um navio tanque, que tem vida útil média de vinte anos, e já está a quinze em operação talvez seja mais interessante utilizar-se um combustível diferente e lidar com as manutenções que aparecem nos seus últimos suspiros do que instalar uma torre de lavagem que deixará o navio fora de operação e pode envolver até a quebra de contrato do mesmo.

## 5 CONCLUSÃO

Mesmo com os desafios que temos pela frente, como o provável aumento do custo de combustível vemos que aos poucos as soluções são implantadas, e vários problemas que podem ocorrer com a redução de enxofre no combustível estão sendo antecipados nos laboratórios de teste das grandes fornecedoras de equipamentos navais e nenhum grande problema foi encontrado contanto que as orientações do fornecedor sejam respeitadas.

Pudemos observar, neste trabalho, que há o interesse das empresas em se adequarem à novas legislações desenvolvendo equipamentos e meios para que continuem em funcionamento após a redução de enxofre no combustível, porém o aspecto mais importante é que mesmo em um mundo de lobismo, como o que vivemos, a preservação do meio ambiente continua em pauta e os passos para que o anexo VI entre em vigor efetivamente já foram dados não apenas nas Áreas de Controle de Emissão mas também no Brasil, que estando inserido no mundo globalizado e uma das potencias econômicas e produtora de petróleo, também está consoante com as nova regulamentações.

Concluimos então com o que foi exposto no trabalho que os componentes dos motores a combustão serão afetados com a alteração nos índices de enxofre porém novas tecnologias estão sendo desenvolvidas gradativamente para que a vida útil dos equipamentos seja mantida mesmo que isso implique um intervalo menor entre uma inspeção e outra ou requeira mais mão de obra, porém esse é o preço pequeno que podemos pagar agora para a preservação do nosso planeta, no longo prazo.



## REFERENCIASMO

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **A qualidade do ar, poluentes**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos.html> Acesso em 02/06/2019

**Contexto MARPOL** Acesso disponível em: <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/PollutionPrevention/OilPollution/Pages/Background.aspx> Acessado em 03/06/2019

**OIL TANKER SPILL STATISTICS 2018** Acesso disponível em <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/> Acessado em 03/06/2019

IMO, **MARPOL CONSOLIDATED EDITION**, London 2011

LEGISLAÇÃO FEDERAL, **DECRETO Nº 2.508, DE 4 DE MARÇO DE 1998**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d2508.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2508.htm). Acessado em 03/06/2019

**GLOBAL SULPHUR CAP 2020**, DNV GL MARITIME 10/2016

**PREPARING FOR LOW SULPHUR OPERATION**, DNV GL MARITIME 11/2014

**MAN DIESEL & TURBO SERVICE LETTER SL2018-659/JAP**

**Operation on Low Sulphur Fuels**, MAN B&W two-stroke engines, Denmark, September 2014

**MARINE FUEL ADVISORY 2018**, ABS – American Bureau of Shipping, Houston 2018

**EVERYTHING YOU NEED TO KNOW ABOUT MARINE FUELS** Publicado por Chevron Global Marine Products. Junho 2012

TAYLOR, D A, **Introduction to Marine Engineering**, Revised Second Edition 2005

CIMAQ, **GUIDELINES FOR THE OPERATION OF MARINE ENGINES ON LOW SULPHUR DIESEL**, Conseil International des Machines a Combustion, França, 2013

**Wärtsilä, 2013** disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=drn1vl38ggo>