

ASPIRANTE 4004 **FLÁVIO** EDUARDO DE **SOUZA** MOURA

**UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA E MECÂNICA DE  
COMBUSTÍVEL DOS MOTORES A DIESEL NOS NAVIOS DA MARINHA DO  
BRASIL**

ESCOLA NAVAL

RIO DE JANEIRO – 2023

ASPIRANTE 4004 **FLÁVIO** EDUARDO DE **SOUZA MOURA**

**UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA E MECÂNICA DE  
COMBUSTÍVEL DOS MOTORES A DIESEL NOS NAVIOS DA MARINHA DO  
BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
bacharel em Ciências Navais perante a Escola  
Naval.

Orientador: CMG (RM1) **DENÍLSON ROMÃO**

RIO DE JANEIRO

2023

**MOURA, FLÁVIO EDUARDO DE SOUZA**

Um estudo sobre sistemas de injeção eletrônica e mecânica de combustível dos motores a diesel nos navios da Marinha do Brasil/ Flávio Eduardo de Souza Moura. - RJ, 2023.

49 f

Orientador (a): CMG (RM1) DENÍLSON ROMÃO

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Navais) – Escola Naval, Rio de Janeiro - RJ, 2023.

**UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA E MECÂNICA DE  
COMBUSTÍVEL DOS MOTORES A DIESEL NOS NAVIOS DA MARINHA DO  
BRASIL**

ASPIRANTE 4004 **FLÁVIO** EDUARDO DE **SOUZA MOURA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
como requisito parcial para obtenção do grau de  
bacharel em Ciências Navais perante a Escola  
Naval.

Aprovado em: \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2023

---

**Docente Orientador**

CMG (RM1) **DENÍLSON ROMÃO**

---

**Docente Examinador**

CMG(RM1) **RICARDO DONDEO**

A todos os maquinistas por exercerem o sacerdócio de servirem nas praças de máquinas dos navios da Marinha do Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, que me acompanhou e fez com que meus objetivos fossem alcançados, ao longo dos sete anos de formação.

Aos meus pais, irmão e demais familiares, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência em cada dia longe de casa devido as particularidades da profissão.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pelo apoio demonstrado ao longo de todos os anos de formação.

Ao CMG (RM1) Romão por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com empenho, disponibilidade e camaradagem.

Aos professores, pelos ensinamentos que fizeram com que eu me tornasse um profissional cada vez mais capacitado e obtivesse um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho, em especial ao CMG (RM1) Di Palma, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

À Escola Naval e à Marinha do Brasil, essenciais no meu processo de formação profissional, pelos valores ensinados, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

*“First, you have to finish”*

Michael Schumacher

## **RESUMO**

### **UM ESTUDO SOBRE SISTEMAS DE INJEÇÃO ELETRÔNICA E MECÂNICA DE COMBUSTÍVEL DOS MOTORES A DIESEL NOS NAVIOS DA MARINHA DO BRASIL**

Um motor é uma máquina que transforma algum tipo de energia em trabalho; para isso, faz-se necessário existir um sistema de injeção para que o combustível vá do tanque até o cilindro. Os sistemas de injeção eletrônica e mecânica, em motores a diesel, possuem diferentes componentes, impactos no meio ambiente distintos, custos díspares, nível de mão de obra e de materiais sobressalentes desiguais. Devido a isso, este estudo foi realizado com o intuito de discorrer sobre estas características e averiguar qual dos sistemas possui melhor aplicação para os navios da Marinha do Brasil. Para isso, a pesquisa e o estudo foram pautados em manuais, artigos e entrevista para a coleta de informações pertinentes ao tema proposto. O resultado observado após o estudo demonstrou que para que seus navios tenham motores a diesel com sistemas de injeção eletrônica, a Marinha do Brasil precisa continuar investindo na qualificação do seu pessoal, manter atualizados os equipamentos, manuais e publicações para manutenção em organizações militares prestadoras de e firmar as parcerias com empresas e fabricantes do ramo de motores navais

Palavras-chave: Injeção mecânica, Injeção eletrônica, Injetor, Common Rail.



## **ABSTRACT**

### **AN STUDY OF ELECTRONIC AND MECHANICAL INJECTION FUEL SYSTEMS OF DIESEL ENGINES ON BRAZILIAN NAVY SHIPS**

An engine is a machine that transforms a type of energy in mechanical energy, for that, it's necessary to have a injection system for the fuel, that is in the tank, reach the cylinder. The mechanical and electronic injection systems, on diesel engines, are composed with different parts, have nonidentical impacts over the environment, have distinct costs, quality of workmanship and spare parts. For this reason, this study was developed to discuss those characteristics and investigate which one of the systems has the best use on Brazilian Navy ships. To be accomplished, the research was based on manuals, articles and a interview to collect relevant data to the theme. The result after this study found that the Brazilian Navy has to keep improving workmanship qualification, upgrade machinery on it's bases, manuals and publications referents to maintenance and establish partnerships with companies and manufactures of maritime engines.

Keywords: Mechanical injection, Electronic injection, Injector, Common Rail

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema teórico de funcionamento geral de um motor.....	11
Figura 2 - Bomba injetora.....	14
Figura 3 - Bico injetor mecânico.....	14
Figura 4 - Êmbolo da bomba injetora.....	15
Figura 5 - Esquema de sistema de alimentação a diesel.....	16
Figura 6 - Linha comum do sistema Common Rail.....	18
Figura 7 - Bico injetor.....	20
Figura 8 - Unidade de controle eletrônico.....	21
Figura 9 - Sistema Common Rail.....	22
Figura 10 - Comparação da emissão de NOx.....	25
Figura 11 - Comparação da emissão de NOx em diferentes pressões.....	25
Figura 12 - Comparação do consumo de combustível.....	27

## SUMÁRIO

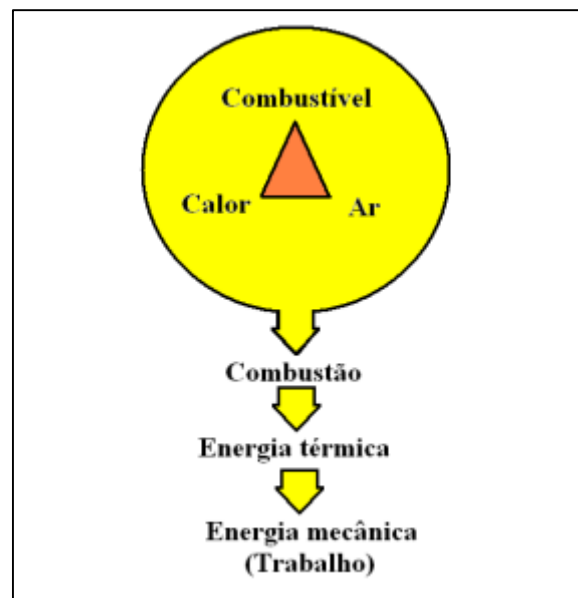
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
2.1 INJEÇÃO MECÂNICA .....	13
2.1.1 Principais componentes do sistema de injeção mecânica.....	13
2.1.2 Funcionamento de uma bomba.....	14
2.1.3 Funcionamento do sistema de injeção mecânica .....	15
2.1.4 Sistema de controle de Injeção mecânica.....	16
2.2 INJEÇÃO ELETRÔNICA.....	17
2.2.1 Sistema <i>Common Rail</i> .....	18
2.2.2 Principais componentes do sistema <i>Common Rail</i> .....	19
2.2.3 Funcionamento do sistema <i>Common Rail</i> .....	21
<b>3 COMPARAÇÃO ENTRE A INJEÇÃO MECÂNICA E ELETRÔNICA</b> .....	23
3.1 IMPACTO NO MEIO AMBIENTE E NOS SERES HUMANOS .....	23
3.1.1 Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	23
3.1.2 Monóxido de carbono (CO).....	23
3.1.3 Óxidos de enxofre (SO <sub>x</sub> ).....	24
3.1.4 Óxido de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	24
3.2 CUSTO.....	26
3.3 MÃO DE OBRA NECESSÁRIA.....	29
3.4 MATERIAIS SOBRESSALENTES.....	30
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33

## 1 INTRODUÇÃO

A Marinha do Brasil utiliza em seus navios diversos meios de propulsão, entre eles a propulsão com motor a diesel, que possuem sistemas de injeção com a finalidade principal, de dosar a quantidade de combustível para o funcionamento de um motor. De uma forma geral, um motor é uma máquina térmica capaz de transformar algum tipo de energia (elétrica, nuclear, térmica, química, entre outras) em energia mecânica, portanto, trabalho.

Os motores surgiram no século XVIII, ainda como equipamentos de combustão externa (geradores de vapor). Somente um século depois, vieram à tona os motores de combustão interna, que são aqueles em que o combustível é queimado no interior do motor. Dentre os motores de combustão interna, destacam-se dois tipos: os motores do ciclo Otto, que utilizam uma centelha para inflamar uma mistura de ar e gasolina para gerar trabalho e os motores do ciclo Diesel, que utilizam as altas temperaturas da compressão do ar para inflamar o combustível e também gerar trabalho (MOTORES,2013)

Figura 1 - Esquema teórico de funcionamento geral de um motor



Fonte: MOTORES (2013)

No presente trabalho, o enfoque principal se dá sobre os sistemas de injeção de combustível de motores diesel, para isso, faz-se necessário compreender um pouco sobre a história desses motores. Primeiramente, o motor diesel é um motor alternativo que gera trabalho através das altas temperaturas e pressões advindas da

compressão do ar, fazendo com que ocorra a inflamação do combustível. Foram criados por Rudolf Diesel em 1893, para substituir os motores a vapor, considerados pouco eficientes e muito pesados. Com o seu desenvolvimento, foram aplicados inicialmente em navios e veículos de transporte (PLANAS, 2017).

Para que o combustível possa chegar do tanque de armazenamento até os cilindros, onde será inflamado, é necessário um sistema de injeção. No caso dos motores a diesel, são utilizados dois sistemas: injeção mecânica e injeção eletrônica. Este trabalho tem por objetivo explicar o funcionamento desses sistemas e a sua aplicação nos navios da Marinha do Brasil, considerando aspectos como: influência no meio-ambiente, custos, mão de obra e materiais sobressalentes. Para isso foram utilizados manuais, artigos e uma entrevista para a coleta de informações pertinentes ao tema.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, é elucidado o arcabouço teórico necessário para o entendimento deste trabalho sobre sistemas de injeção.

De acordo com Júnior (2011), injeção é “um sistema de admissão de combustível em um motor de combustão interna”. Esse sistema se difundiu rapidamente após sua criação e veio para substituir seu antecessor, o carburador. Tal tecnologia incrementou a eficiência dos motores, devido à atomização do combustível injetado sob alta pressão por um bocal chamado de bico injetor.

Neste estudo são detalhados os métodos de injeção mecânica e eletrônica, este sob a ótica do sistema *Common Rail*, para os motores a diesel

### 2.1 INJEÇÃO MECÂNICA

Neste tópico foram abordados os principais componentes do sistema de injeção mecânica, seu funcionamento e seu sistema de controle.

#### 2.1.1 Principais componentes do sistema de injeção mecânica

Neste tópico trata-se dos principais componentes do sistema de injeção mecânica, responsáveis pela injeção de combustível nas câmaras de combustão, em acordo com Di Palma (2015).

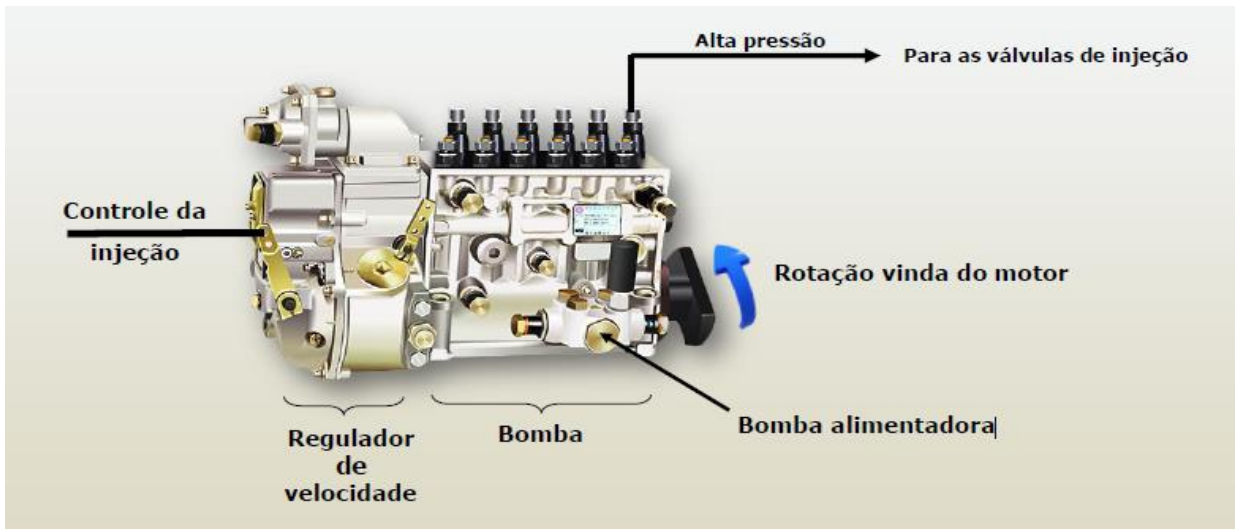
- Bomba alimentadora ou de transferência

É a bomba responsável por realizar a escova dos demais componentes quando existe ar no sistema. Além disso é ela que alimenta a bomba injetora durante o funcionamento do motor.

- Bomba injetora

Em consonância, Bormana e Vilanova (2015) afirmam que a bomba injetora é um dos componentes mais importantes do sistema de alimentação a diesel. Esta bomba serve para injetar o combustível na quantidade e no momento exato nas câmaras de combustão para promover a queima. A mesma é regulada pelo regulador de velocidade, o qual determina, de acordo com a carga, a quantidade de combustível necessária a ser injetada para o correto funcionamento do motor.

Figura 2 - Bomba injetora.

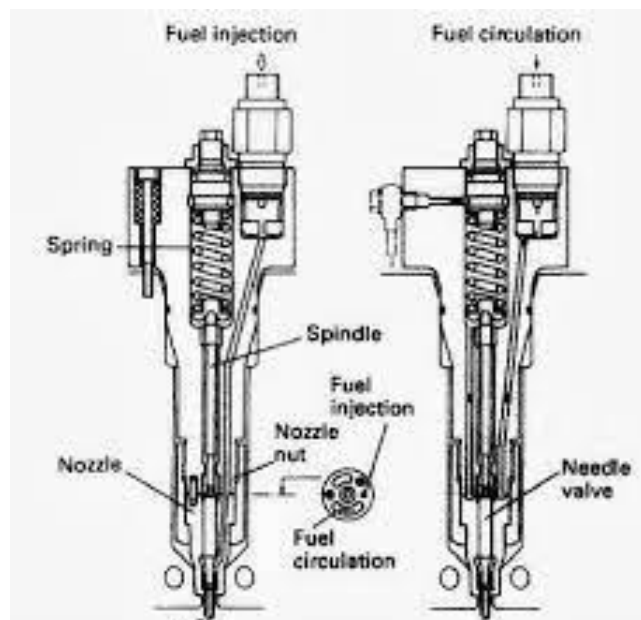


Fonte: DI PALMA (2015)

- Injetor

É a válvula pela qual o combustível passa ao ser injetado na câmara de combustão. Seu funcionamento se dá hidraulicamente, uma vez que a válvula se abre apenas quando a pressão adequada do combustível é atingida.

Figura 3 - Bico injetor mecânico.



Fonte: <http://blog.tuningparts.com.br/historia-da-injecao-de-combustivel/>

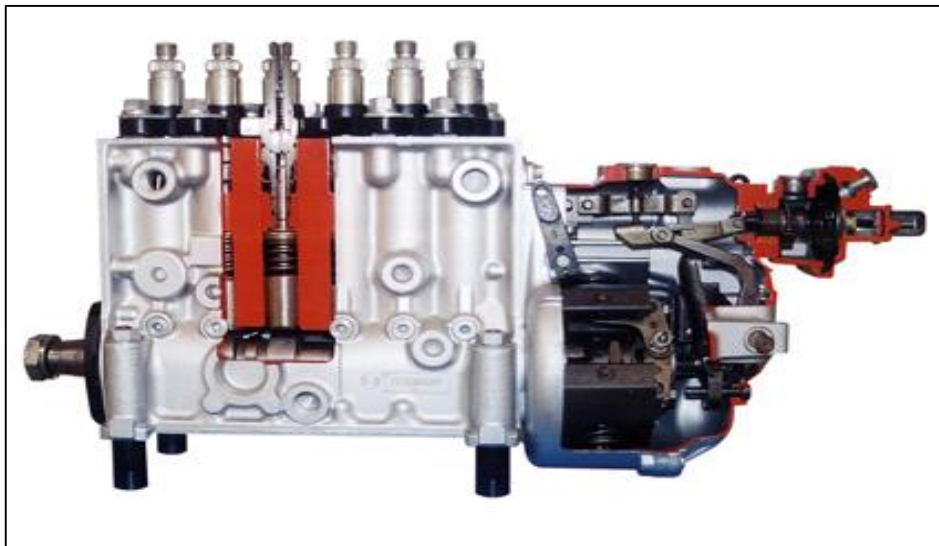
### 2.1.2 Funcionamento de uma bomba

Uma bomba é um dispositivo usado para impulsionar fluidos através de uma rede ou sistema. Uma bomba de deslocamento positivo, também chamada de

volumétrica, é um tipo de bomba que impulsiona fluídos em quantidades determinadas de volume. Este tipo de bomba tem como característica operar com altas pressões e baixas vazões, dessa forma é utilizada no bombeamento de fluidos mais viscosos (ELIFRAN). Esse fluido é movimentado no mesmo sentido dos impulsadores, sejam eles: parafusos, lóbulos, engrenagens, êmbolos, palhetas entre outros (BRASIL,2010)

A bomba injetora é uma bomba de deslocamento positivo, pois impulsiona o combustível através de seus êmbolos, enviando-o aos bicos injetores.

Figura 4 - Êmbolo da bomba injetora.



FONTE: VILANOVA (2015)

### 2.1.3 Funcionamento do sistema de injeção mecânica

Desenvolvidos juntamente com os motores de combustão interna a diesel, esses sistemas evoluem cada vez mais, todavia, não perdem suas características principais.

De acordo com a empresa Bormana, inicialmente o combustível é aspirado do tanque para a bomba injetora por ação de uma bomba de transferência. Antes de chegar na bomba injetora, o combustível passa por um filtro para a remoção de impurezas. Dessa forma, este combustível é entregue a bomba injetora em baixa pressão.

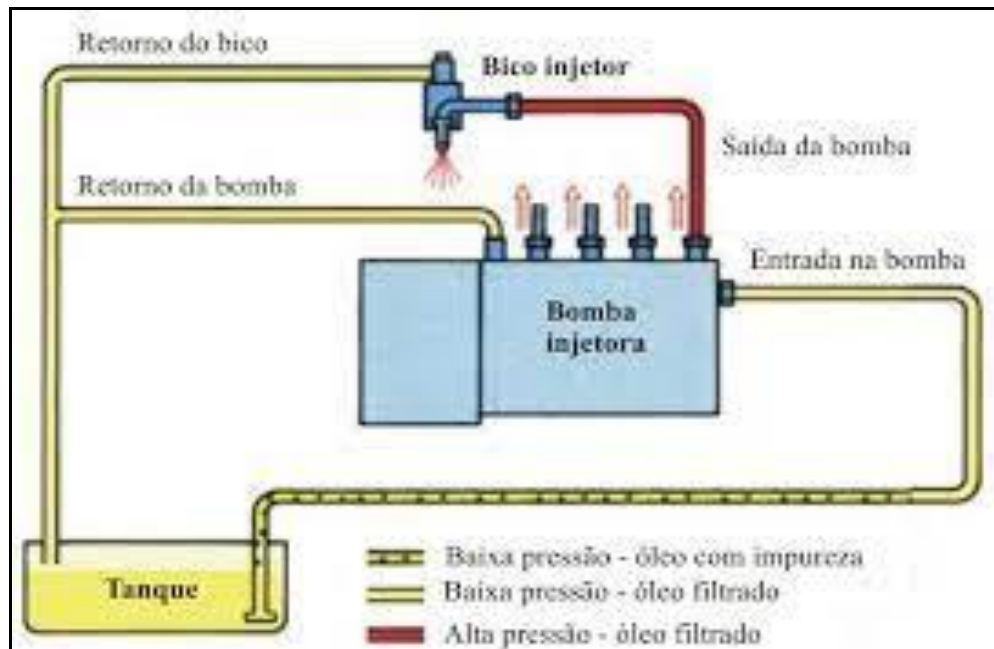
Por conseguinte, esta bomba comprime o diesel até os injetores, fazendo com que altas pressões sejam atingidas. Estas pressões mais elevadas são responsáveis



por fazer com que o diesel seja pulverizado dentro das câmaras de combustão e a queima seja mais eficiente. Para atingir estas altas pressões, ao entrar nos injetores, o combustível ativa a agulha que por sua vez veda os orifícios que ligam o injetor a câmara de combustão. Dessa forma as molas do injetor são comprimidas até uma pressão determinada. Quando esta pressão é vencida os orifícios se abrem e o combustível é injetado na câmara (VILANOVA, 2015).

Ocorre fuga de combustível ao redor da agulha, porém este é recolhido por um coletor e enviado ao tanque de retorno.

Figura 5 - Esquema de sistema de alimentação a diesel.



FONTE: GIMENEZ (2019)

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4637849/mod\\_resource/content/1/Motores\\_II\\_GIMENEZ\\_2019.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4637849/mod_resource/content/1/Motores_II_GIMENEZ_2019.pdf)

#### 2.1.4 Sistema de controle de Injeção mecânica

A metodologia utilizada para a explicação desse tópico foi uma entrevista realizada por meio de questionário enviado ao Contra-Almirante Marcio Ximenes Virginio da Silva, engenheiro naval, gerente do empreendimento modular de obtenção de submarinos da Coordenadoria-geral do Programa de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (COGESN).

A injeção mecânica de combustível com regulador de velocidade, é controlada através de componentes mecânicos da própria bomba injetora, os quais foram explicados, de maneira geral, a seguir:

- Regulador de velocidade mecânico

Componente principal da regulagem; por meio dele é controlada a quantidade de combustível a ser injetada nas câmaras dos cilindros, tendo como a base a velocidade do motor e a carga necessária.

- Mola de regulagem

O regulador de velocidade possui uma mola que exerce resistência contra um êmbolo interno da bomba injetora, de forma que a calibração da mola faça com que a pressão seja proporcional à demanda do motor.

- Êmbolo

É um pistão, da bomba injetora, que se move para cima ou para baixo conforme a pressão exercida pela mola de regulagem e pelo acionamento do regulador de velocidade.

- Cames

O eixo de manivelas do motor está conectado com os cames da bomba injetora, os quais vão determinar a duração e o momento da injeção do combustível

Os injetores da bomba serão abertos através da pressão do combustível. Quando o êmbolo da bomba injetora é movido para cima, o combustível é pressurizado. Quando o êmbolo vai para baixo, os injetores se abrem e o combustível é injetado nas câmaras de combustão. Assim ocorre o controle do tempo da injeção e da quantidade de combustível injetado.

## 2.2 INJEÇÃO ELETRÔNICA

O sistema de injeção eletrônica aumentou a eficiência de motores de combustão interna através da precisão e controle do volume de combustível injetado na câmara de combustão do cilindro. Inicialmente, foi aplicado no setor automotivo na produção de carros de alto desempenho. Todavia não fez tanto sucesso inicialmente, pois os componentes eletrônicos não atendiam muito bem as necessidades demandadas. Após a fase inicial de desenvolvimento do sistema eletrônico de injeção, o sistema *Common Rail*<sup>1</sup> começou a ser desenvolvido e aprimorado, passando a ser

---

<sup>1</sup> Sistema de injeção eletrônica em que o combustível é pressurizado numa linha comum.

utilizado em veículos pesados como caminhões e mais tarde em navios (JÚNIOR, 2011). Ainda sob ótica do mesmo autor, os modernos sistemas *Common Rail* de hoje em dia ainda mantém os mesmos princípios de funcionamento, abrindo os bicos injetores eletronicamente, ao invés de mecanicamente.

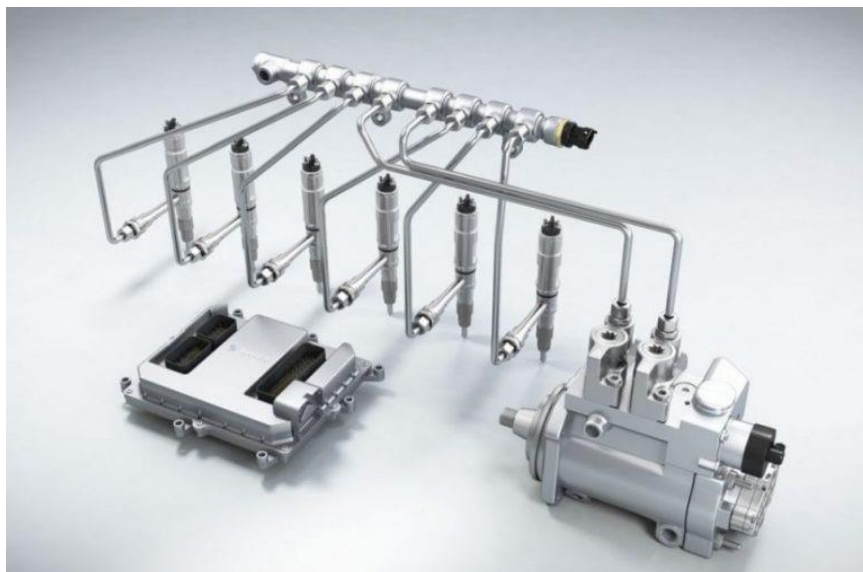
Além de aumentar a eficiência, o uso da injeção eletrônica faz com que os motores operem de maneira mais limpa (no tocante a descarga de gases) e menos ruidosa. Dessa forma, passam a atender as demandas ambientais impostas por regulamentos internacionais e aumentam a discricção dos navios para uso militar.

Existem diversos métodos de injeção eletrônica, todavia este trabalho está reservado ao sistema *Common Rail*, elucidando seu sistema, principais componentes e seu controle.

### 2.2.1 Sistema *Common Rail*

De acordo com Bohrer (2014), Salles (2014) e Júnior (2011), estes autores mostram que o diferencial desse sistema, quanto a injeção do combustível, se encontra no fato de o combustível ficar armazenado e pressurizado em uma linha comum aos injetores, por isso o nome *Common Rail*, sendo separado apenas no momento da injeção do combustível na câmara de combustão.

Figura 6 - Linha comum do sistema *Common Rail*.



Fonte: Alves (2021) <https://chiptronic.com.br/blog/entenda-como-funciona-o-sistema-de-injecao-common-rail>

### 2.2.2 Principais componentes do sistema *Common Rail*

Neste tópico são exemplificados alguns dos principais componentes do sistema para a compreensão do seu correto funcionamento.

- Sensor de pressão e temperatura do ar de admissão

Este sensor permite o cálculo da densidade do ar que é admitido através da variação de pressão na entrada do coletor. Eles podem ser capacitivos ou resistivos (quando combinado com um sensor de temperatura), ou seja, sua capacitância (SALLES, 2014 apud MILHOR, 2002, p.27) ou resistência (BOHRER,2014) varia conforme a variação de pressão do ar admitido.

- Sensor de temperatura

É usado para indicar a temperatura de diversos fluídos vitais para o funcionamento do motor e enviar a informação para a central eletrônica. São exemplos desses fluídos: o ar de admissão, o líquido de arrefecimento (SALLES,2014), o combustível, entre outros (BOHRER, 2014).

- Sensor de pressão no *Common Rail*

Sensor responsável por medir a pressão no *rail* de forma a mantê-la estabilizada. Os dados coletados pelo sensor são transmitidos à central eletrônica que por meio do acionamento de uma bomba de alta pressão regula a pressão o combustível no *rail* (BOHRER,2014).

- Sonda Lambda

Em consonância, Bohrer(2014) e Salles(2014) afirmam que a sonda lambda é um sensor localizado na exaustão dos equipamentos responsável por verificar a quantidade de oxigênio no escapamento. Quanto mais oxigênio, mais pobre é a mistura. Com o conhecimento do teor de oxigênio, a central eletrônica é capaz de regular a quantidade de combustível injetada de forma a fazer uma mistura ar-combustível mais eficiente e menos poluente.

- Sensor de posição do eixo de manivelas

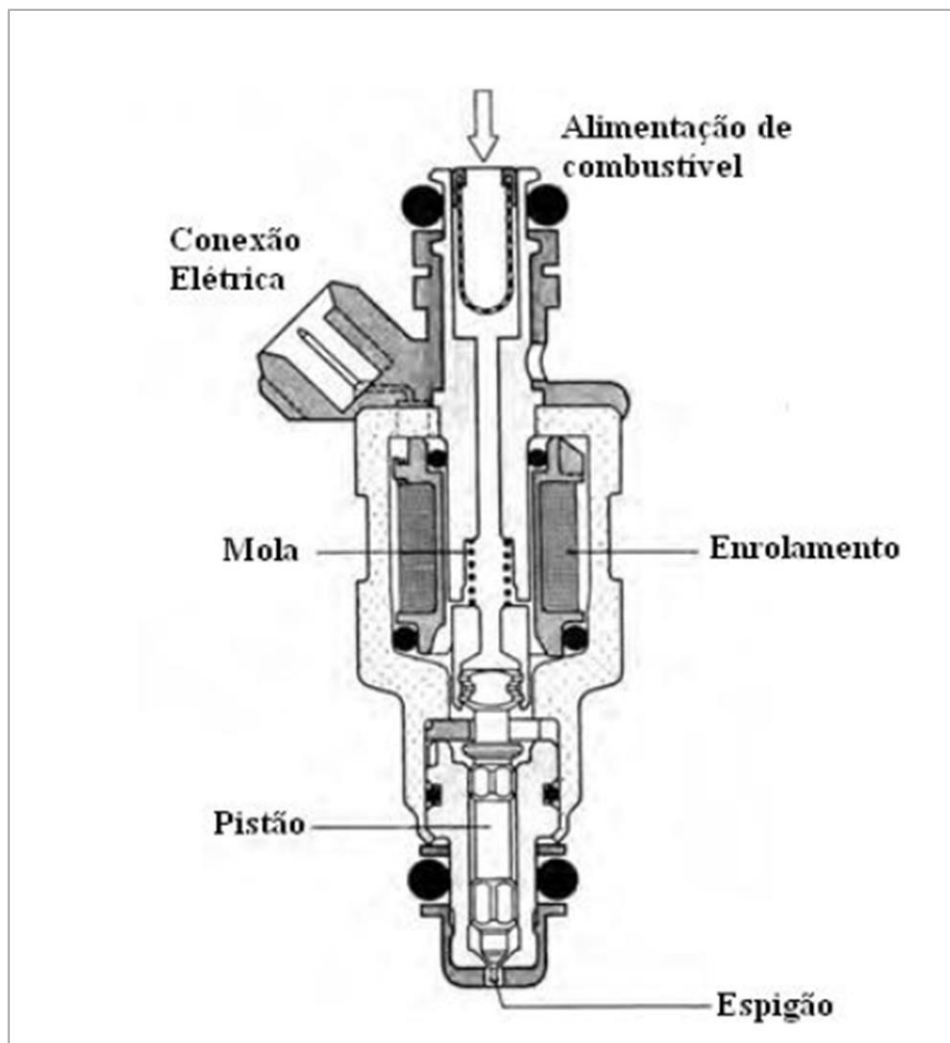
O eixo de manivelas é o componente do motor que transforma o movimento alternativo dos êmbolos em movimento rotativo. O sensor de posição do eixo de manivelas é formado por um ímã permanente. Este sensor mede a velocidade e a

posição do eixo por variação do fluxo magnético, que gera tensões altas para altas rotações e tensões baixas para baixas rotações (BOHRER,2014).

- Injetor

Componente que representa o principal atuador do sistema. É através dele que o combustível é injetado nas câmaras de combustão e permite que a central eletrônica controle e corrija as variações da quantidade de combustível injetado e da temperatura do ar de admissão. A passagem de combustível é liberada através da alimentação de uma válvula solenóide, que através de um campo magnético faz com que o pistão de ferro recue e o combustível possa ser injetado (SALLES, 2014)

Figura 7 - Bico injetor.

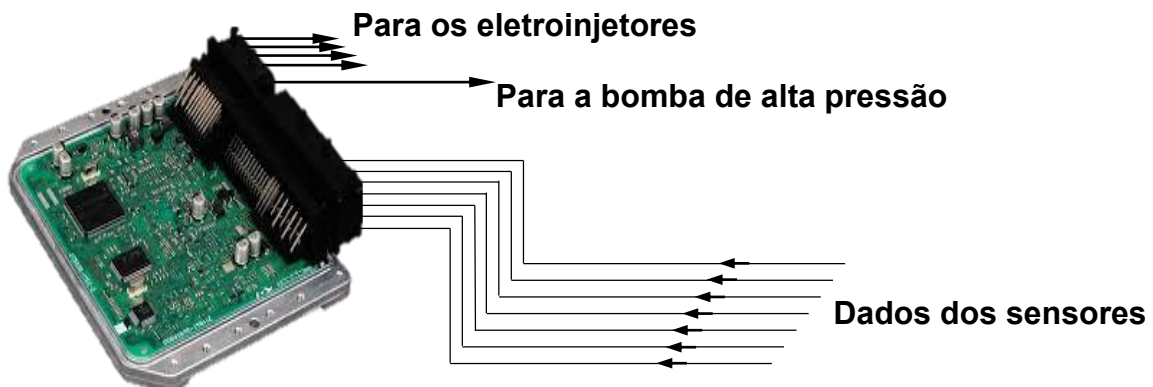


Fonte DENTON (2004)

- Unidade de controle eletrônico

É o componente responsável por compilar e analisar os dados dos sensores, de forma que se possa comandar a bomba de alta pressão e regular a quantidade e o tempo de injeção do combustível necessário para a maior eficiência do motor.

Figura 8 - Unidade de controle eletrônico.



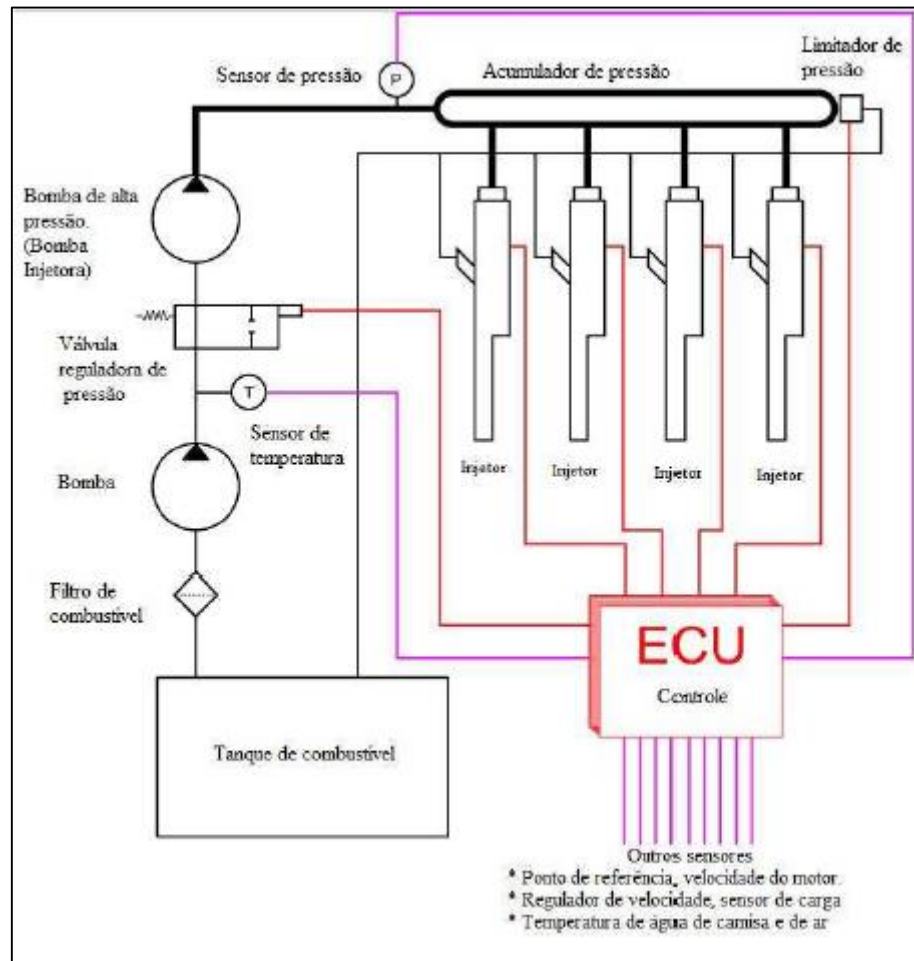
Fonte: DI PALMA (2015)

### 2.2.3 Funcionamento do sistema *Common Rail*

Neste sistema, a quantidade e o tempo do início da injeção do combustível são controlados eletronicamente através de uma válvula solenóide no bico injetor. A quantidade e o tempo de injeção do combustível são baseados em informações colhidas por sensores do sistema. Dessa forma, o controle eletrônico proporciona aumento da vida útil do motor e a redução das vibrações (BOHRER, 2014), redução da emissão de poluentes, ruídos e sua maior eficiência (SALLES, 2014).

Para ocorrer a injeção, uma bomba mantém a pressão estabilizada no acumulador (Rail), independente da velocidade de rotação do motor e da quantidade de combustível a ser injetada. Esta pressão é definida pela unidade de controle do motor. No momento da injeção, o combustível é conduzido aos injetores e é injetado na quantidade necessária nas câmaras de combustão do motor. Todo o processo é controlado por uma unidade de controle eletrônico, que colhe e analisa os dados dos sensores e regula tempo e quantidade de injeção (JUNIOR, 2011).

Figura 9 - Sistema Common Rail



Fonte: JUNIOR(2011)

Este sistema tem como vantagens a suavização do funcionamento do motor, a operação é mais limpa, eficiente, mais silenciosa e entrega maior potência. Além disso, o motor se torna mais confiável, aumentando sua vida útil e o intervalo entre manutenções (JUNIOR,2011). Todavia, de acordo com Salles (2014), uma desvantagem desse sistema está no fato de alguns componentes terem que suportar grandes pressões no *rail* (SALLES,2014).

### 3 COMPARAÇÃO ENTRE A INJEÇÃO MECÂNICA E ELETRÔNICA

De forma a deliberar qual possui aplicação para a Marinha do Brasil, atendendo a legislação vigente e a critérios de manutenção, neste capítulo é realizada uma comparação entre os sistemas de injeção mecânica e eletrônico sob a ótica militar do meio ambiente, do custo, mão de obra e materiais sobressalentes necessários para a manutenção e emprego destes sistemas.

#### 3.1 IMPACTO NO MEIO AMBIENTE E NOS SERES HUMANOS

Motores a diesel são fontes conhecidas de poluição, uma vez que o diesel é um combustível fóssil. A combustão nesses motores gera gases que são nocivos aos seres humanos e ao meio ambiente. Esses gases são causadores do efeito estufa, chuvas ácidas e nevoeiros devido a presença de enxofre na composição do diesel, e das reações que ocorrem dentro dos cilindros do nitrogênio e do oxigênio presentes na atmosfera, quando submetidos as altas temperaturas e pressões. Para regular as emissões de poluentes foi criada uma convenção que é citada a seguir.

O regulamento ambiental sobre o mar foi estabelecido por meio de uma convenção denominada MARPOL, a qual possui os seguintes objetivos de acordo com a CCA-IMO (Comissão Coordenadora dos Assuntos da Organização Marítima Internacional (CCA-IMO):

“A Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (MARPOL) tem por propósito o estabelecimento de regras para a completa eliminação da poluição intencional do meio ambiente por óleo e outras substâncias danosas oriundas de navios, bem como a minimização da descarga acidental daquelas substâncias no ar e no meio ambiente marinho.”

Esta convenção é dividida em seis anexos, para este trabalho foi utilizado o anexo IV que trata sobre as regras para a prevenção da poluição do ar por navios. Os principais poluentes do ar advindos da combustão serão explicados a seguir.

##### 3.1.1 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

É o produto da combustão completa do combustível (BOHRER,2014). Além disso, é um dos principais causadores do efeito estufa, pois é capaz de reter a energia advinda da radiação solar causando o aquecimento da Terra (SALLES, 2014).

##### 3.1.2 Monóxido de carbono (CO)

Em consonância, Salles (2014) e Bohrer (2014) afirmam que este composto é formado quando a queima do combustível ocorre de maneira incompleta, ou seja,



acontece de forma mais intensa em misturas ricas. Em seu trabalho, Bohrer mostra como a evolução dos sistema de injeção contribui para a redução deste composto na seguinte passagem:

“O sistema Common Rail reduziu significativamente estas emissões de poluentes. “Os modernos motores diesel nunca foram tão limpos e isso torna a tecnologia promissora para o futuro”, palavras do Dr. Ulrich Dohle, ex-presidente da divisão do Sistema Diesel Bosch.”

Há uma atenção especial com esse composto gasoso, pois ao ser inalado ele gera uma substância estável com as células do sangue, impedindo que o oxigênio possa ser absorvido, podendo levar o indivíduo a morte por asfixia.

### 3.1.3 Óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>)

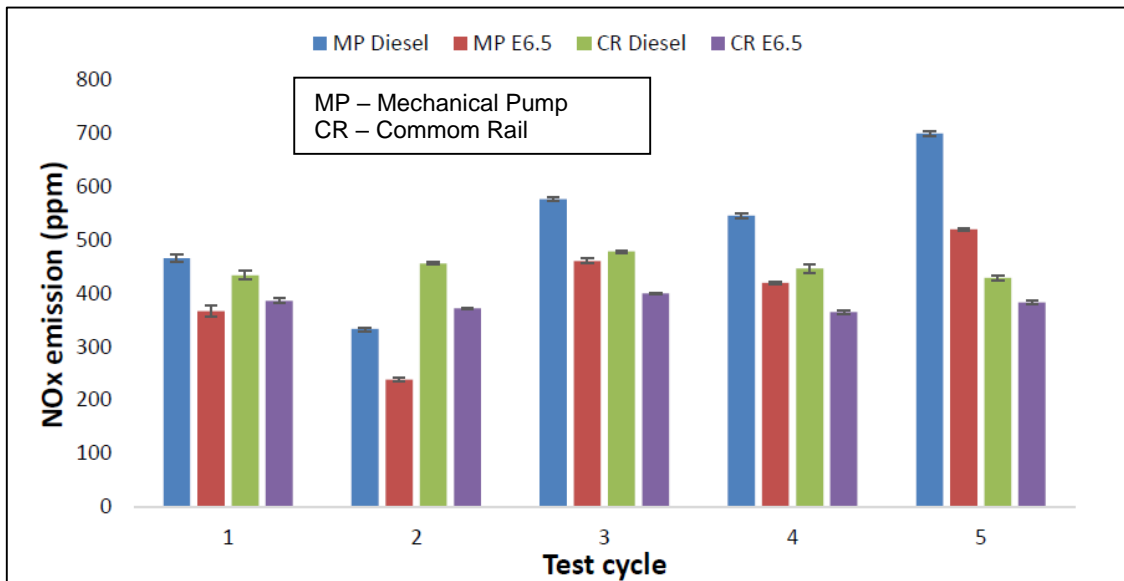
Compostos formados por moléculas de enxofre e oxigênio e consistem em gases como o monóxido de enxofre, dióxido de enxofre e o trióxido de enxofre. Sua origem se dá nas atividades humanas de queima de combustível fóssil (CROWCON,2022).

Seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana são tão relevantes a ponto da concentração de gases como o dióxido de enxofre terem sido incluídos aos parâmetros de qualidade do ar de um local. No meio ambiente, esses gases estão intimamente relacionados com o fenômeno da chuva ácida, sendo capazes de alterar inclusive o pH da água. Nos seres humanos causa irritação na garganta, olhos, tosse e náuseas, em casos mais graves pode gerar queimaduras, problemas cardíacos e dificuldades respiratórias (FERREIRA).

### 3.1.4 Óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

Em temperatura ambiente o nitrogênio é um gás inerte e compõe a maior parte dos gases da atmosfera. Todavia, ao ser submetido a altas temperaturas e pressões, como as que ele é submetido durante a queima do combustível, seu óxidos são originados (SALLES,2014). Os NO<sub>x</sub> são responsáveis por parte das chuvas ácidas que ocorrem. Além disso são nocivos ao ser humano e a exposição prolongada pode levar a morte. Vale ressaltar também que esse poluente também é responsável pelo efeito *smog*, uma espécie de fumaça com neblina, devido as reações com a luz (BOHRER,2014).

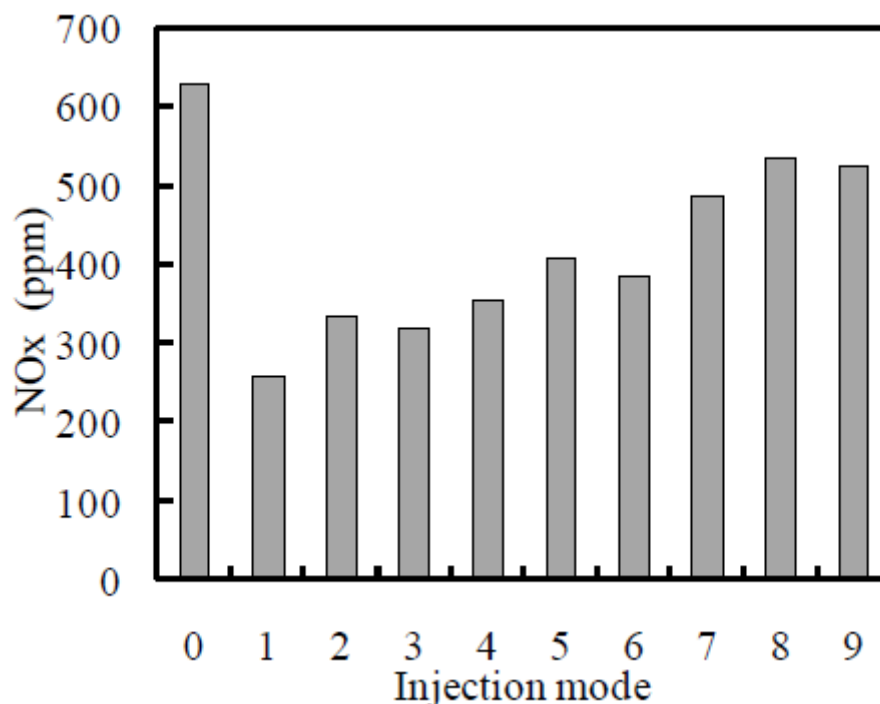
Figura 10 - Comparação da emissão de NOx.



Fonte: RAHMAN (2022)

Conforme o gráfico, foram utilizados no motor dois tipos de diesel diferentes (comum e E6.5) em níveis distintos de aceleração (1 a 5) empregando o sistema de injeção mecânica e o *Common Rail*. Para este trabalho pode-se observar que para diferentes intensidades de aceleração, os motores que utilizam o sistema *Common Rail*, no geral apresentaram menores índices de emissão de NOx.

Figura 11 - Comparação da emissão de NOx em diferentes pressões.



Fonte: SITTICHOMPOO (2013)

É possível perceber pelo gráfico que o motor que utiliza injeção mecânica (*Injection mode 0*), emite uma quantidade maior de NOx quando comparado à sua utilização com sistemas de injeção eletrônica em diferentes pressões (*Injection mode 1 a 9*).

Do exposto neste subcapítulo, é possível analisar o dano causado ao meio ambiente e aos seres humanos pelas emissões de motores a diesel. Uma forma de mitigar essas emissões é através da injeção eletrônica, devido a sua capacidade de regular com precisão a quantidade de combustível a ser injetado e queimado. Além disso, devido aos sensores existentes no sistema, ocorre uma medição constante de parâmetros para otimizar cada vez mais a queima.

Por outro lado, existem exceções no regulamento da MARPOL 73/78 para a instalação de motores a diesel em embarcações, como a citada a seguir:

Um motor diesel marítimo instalado num navio empregado somente em viagens em águas sujeitas à soberania ou jurisdição do Estado da bandeira que o navio está autorizado a arvorar, desde que aquele motor seja submetido a um controle alternativo de medição de NOx estabelecido pela Administração.

Com esta exceção, em território nacional ou em tempos de guerra, navios militares não necessitariam de seguir o regulamento à risca. Todavia, para executar outras vertentes da atividade militar como operações de paz, operações conjuntas ou missões internacionais, por via de regra, os navios de guerra devem obedecer os limites de emissão para cada poluente preconizado na MARPOL 73/78.

### 3.2 CUSTO

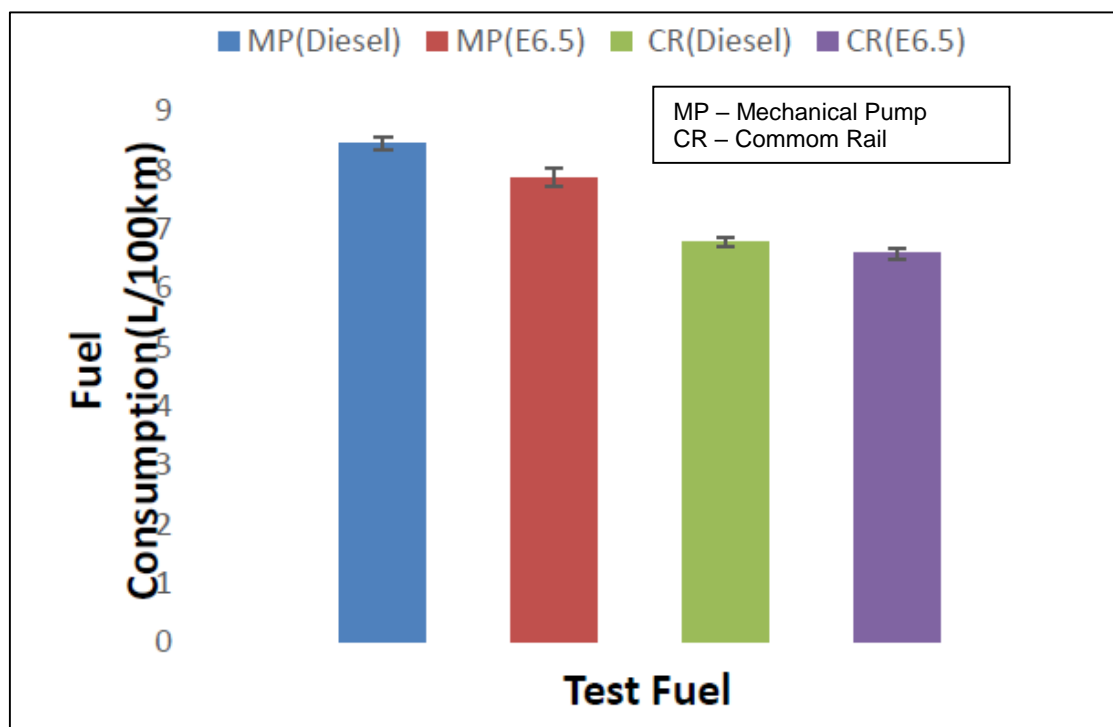
Neste aspecto podem ser abordados os custos referentes ao gasto de combustível, custo dos motores de acordo com o sistema de injeção e custo de manutenção, de acordo com a entrevista realizada com o Contra-Almirante Marcio Ximenes Virginio da Silva.

De acordo com o entrevistado, uma das vantagens da injeção eletrônica se encontra em sua maior economia de combustível frente à injeção mecânica. Isto ocorre pois, o sistema de injeção eletrônica é composto de diversos sensores e uma central eletrônica, a qual é capaz de reunir as informações captadas pelos sensores e ajustar a quantidade de combustível injetado em cada cilindro de maneira mais precisa que os sistemas de injeção mecânica. Com as medições realizada pelos

sensores é possível obter-se uma mistura ar/combustível mais precisa, assim aumentando a eficiência da queima reduzindo o desperdício e gerando menos poluição.

Além disso, como o monitoramento dos sistemas de injeção eletrônica de combustível ocorre em tempo real, esses sistemas são capazes de regular o momento da ignição do combustível em cada um dos cilindros do motor, dessa forma garantem uma maior eficiência na queima do combustível injetado. Com uma queima mais eficiente, economiza-se combustível. Neste aspecto, a injeção eletrônica se sobressai perante a injeção mecânica. Todavia, vale ressaltar que essa maior eficiência também depende de outros aspectos como: condições de mar, projeto do motor e o ajuste correto do sistema de injeção eletrônica.

Figura 12 - Comparação do consumo de combustível.



FONTE: RAHMAN (2022)

Como pode-se observar, de acordo com o gráfico, o consumo de combustível dos motores que utilizam o *Common Rail* (CR) apresentam valores inferiores quando comparados aos motores que utilizam injeção mecânica (MP).

Conforme elucidado na entrevista, motores com sistemas de injeção eletrônica, em geral, possuem custos de aquisição mais altos devido a presença de componentes de tecnologia avançada em sua composição. Como exemplo temos os componentes

eletrônicos e seus sensores, responsáveis por controlar o sistema de injeção otimizando a queima do combustível. Além disso, para que esses sistemas se tornem cada vez melhores, se faz necessário o investimento na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologia custo que será repassado aos motores com injeção eletrônica, fazendo com que o preço final aumente.

Como citado anteriormente, existem normas ambientais que regem os parâmetros dos motores marítimos para minimizar a poluição. Dessa forma, os motores com injeção eletrônica são projetados de forma que atendam a essas especificações. De acordo com o entrevistado, para que os motores atendam esses requisitos, podem ser necessários componentes para a redução de emissões, como catalisadores e sistemas de recirculação de gases de escape, tais componentes contribuem para aumentar o preço do produto final.

Outro aspecto abordado na entrevista diz respeito ao custo de manutenção entre os motores com sistema de injeção mecânica frente aos motores com injeção eletrônica de combustível. Nesse ponto os motores com injeção eletrônica mostraram ter um custo de manutenção mais elevado devido a razões como: os componentes eletrônicos, especialização técnica, equipamentos para diagnóstico, atualizações e softwares. Os componentes eletrônicos destes sistemas podem ter que serem trocados no caso de defeito, e o valor deles em geral é maior do que o valor das peças mecânicas. Para realizar a manutenção desses sistemas de injeção eletrônica são necessárias técnicas e habilidades específicas, o grau de especialização dos técnicos eleva o custo da manutenção dos motores. Para averiguar os problemas de sistemas eletrônicos são necessários equipamentos de diagnósticos específicos, os quais são custosos e necessitam de treinamento para uso correto, o que contribui também para elevar o custo da manutenção. Para garantir o funcionamento correto dos sistemas eletrônicos, devem ser realizadas periodicamente atualizações dos softwares dos sistemas, assim o custo se eleva devido a necessidade de aquisição e instalação desses softwares. Dessa forma, o sistema eletrônico se mostra mais complexo em relação ao sistema mecânico, conforme o entrevistado: “Os sistemas eletrônicos podem ter mais pontos de falha potenciais e exigir uma abordagem mais minuciosa para identificar e corrigir problemas.”

É válido salientar que os motores com injeção eletrônica tem maiores custos de aquisição e de manutenção, todavia eles também oferecem contrapartidas

vantajosas no que tange a eficiência, desempenho, confiabilidade e controle. A longo prazo essas vantagens podem fazer valer o alto investimento inicial.

### 3.3 MÃO DE OBRA NECESSÁRIA

Devido ao avanço tecnológico dos sistemas de injeção de combustível, são necessários conhecimentos mais técnicos e mais especializados para realizar manutenções. De acordo com o entrevistado, em geral, o pessoal de bordo dos navios da MB não possui a capacidade para realizar manutenções além do primeiro escalão nos sistemas de injeção eletrônica, demandando então de serviços externos ao navio.

O entrevistado expõe que existem disciplinas que podem contribuir para a especialização nos sistemas de injeção eletrônica e aumentar a capacidade técnica do pessoal de bordo, disciplinas estas que serão exemplificadas a seguir. Primeiramente, Eletrônica para Motores, abordando os princípios básicos do funcionamento de motores, incluindo os componentes eletrônicos do sistema de injeção. A seguir, Sistemas de Controle de Motores, contribuindo para o conhecimento sobre os princípios de funcionamento e controle dos motores, além de abordar os diferentes sistemas de injeção eletrônica, componentes e funcionamento. Outra disciplina que poderia ser inserida na grade curricular dos cursos seria Diagnóstico de Falhas em Sistemas Eletrônicos, tratando da detecção, diagnóstico e soluções de problemas em sistemas eletrônicos. Por conseguinte, outra opção de disciplina é Reparo e Manutenção de Sistemas Eletrônicos, abrangendo técnicas de reparo e de manutenção dos sistemas eletrônicos, abordando também substituição de componentes, ajuste e calibração dos sistemas. Por fim, podem ser realizados também treinamentos práticos em bancada de teste ou oficina, de forma a permitir que o pessoal de bordo adquira as habilidades práticas necessárias a manutenção dos sistemas, incluindo o diagnóstico, reparo e ajuste dos sistemas de injeção eletrônica.

Vale ressaltar que para ter pessoal qualificado para realizar manutenções vai além da grade curricular, são necessários programas de treinamento cada vez mais atualizados para que o pessoal de bordo seja capaz de realizar as manutenções necessárias nos sistemas de injeção eletrônica.

Como abordado na entrevista, quando o nível técnico da manutenção excede a capacidade do pessoal de bordo, passam a ser requisitados os serviços das OMPS

(Organizações Militares Prestadoras de Serviços). São instalações da MB que realizam diversos tipos de serviço aos navios como: pintura, manutenção de equipamentos e até mesmo as manutenções gerais dos navios, um exemplo de OMPS é o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Todavia, mesmo possuindo capacidade técnica maior que os tripulantes dos navios, as OMPS ainda ficam limitadas pelos recursos e os seus equipamentos, realizando manutenções básicas nos motores, inclusive os que possuem sistemas de injeção eletrônica. Dessa forma, a depender do nível de manutenção, faz-se necessário o contato com oficinas autorizadas pelo fabricante do equipamento a ser reparado. Essas autorizadas possuem acesso a ferramentas, equipamentos e documentos técnicos mais atualizados, tais aspectos contribuem para realizar a manutenção dos equipamentos. Por outro lado, para problemas de nível técnico mais alto e complexo, pode ser necessário entrar em contato diretamente com o fabricante, este terá mais facilidade nas técnicas de manutenção e na reposição de peças originais.

Em conformidade com o entrevistado, na MB, a decisão sobre como irá ser concebida a manutenção de um equipamento segue uma série de regulamentos, levando em consideração o problema, conhecimento e recursos que os navios ou as OMPS possuem para a realização de um determinado reparo nos motores.

Dessa forma é possível notar que o uso de sistemas de injeção eletrônica é desafiador quando se trata do quesito manutenção, uma vez que é necessário conhecimento e equipamentos especializados para que se possa realizar reparos de maneira correta. Assim, para implementar este sistema nos navios da MB, faz-se necessário que exista investimento em cursos profissionalizantes no que tange sistemas de injeção eletrônica, de forma a diminuir a dependência externa e ter mais autonomia e controle de seus próprios sistemas.

### 3.4 MATERIAIS SOBRESSALENTES

Para manter a operação de qualquer equipamento são necessárias peças de reposição para as manutenções serem realizadas em caso de mal funcionamento. De acordo com o entrevistado, o avanço da tecnologia fez com que os sistemas de injeção eletrônica fossem implementados cada vez mais. Tal fato fez com que a disponibilidade de componentes para sistemas mecânicos fosse afetada, uma vez que a demanda por esses componentes diminuiu. Por outro lado, mesma com a redução

da disponibilidade de peças para sistemas mecânicos, fato que tende a se intensificar com o passar do tempo, motores com injeção mecânica ainda são empregados em diversos setores como: navios, máquinas agrícolas e industriais.

Além disso, ainda em conformidade com o entrevistado, a disponibilidade de peças mecânicas varia de acordo com a região e fabricantes. Dessa forma, faz-se necessária a busca por fornecedores especializados, ou a busca por peças recondiçionadas. Isso mostra que para manter um sistema de injeção mecânica é necessário um planejamento adequado para que o funcionamento não seja prejudicado por falta de peças ou desgaste excessivo.



#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Inicialmente foi tratado do conceito de motor para que se fosse possível entender qual o seu propósito. Dessa forma, estabeleceu-se a conexão necessária entre a finalidade do motor e a presença dos sistemas de injeção que levam o combustível do tanque até o cilindro para a combustão. Os objetivos de explicar o funcionamento destes sistemas de injeção e suas aplicações nos navios da Marinha do Brasil, sob a ótica do meio ambiente, custos, mão de obra e materiais sobressalentes, foram alcançados no decorrer desta redação.

Do exposto, verifica-se que o sistema de injeção eletrônica se sobressai e leva vantagem frente ao sistema mecânico, uma vez que é menos poluente, mais tecnológico, mais econômico e tende a futuramente fazer com que peças do sistema mecânico sejam cada vez mais difíceis de serem encontradas. Todavia há de se considerar que para ser aplicado, a MB deveria qualificar seu pessoal, aprimorar a aparelhagem de suas organizações militares prestadoras de serviço, manuais e publicações quanto a manutenção e as parcerias com empresas e fabricantes do ramo de motores náuticos.

Para aprofundamento neste tema, torna-se interessante um estudo mais detalhado acerca dos custos de manutenção de sistemas de injeção eletrônica e de quanto tempo e investimento seria necessário para capacitar o pessoal de bordo a operar e manter sistemas mais complexos que os instalados atualmente nos navios

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Ana Julia. Entenda como funciona o sistema de injeção Common Rail. 2021. Disponível em: < <https://chiptronic.com.br/blog/entenda-como-funciona-o-sistema-de-injecao-common-rail>>
- BOHRER, Rodrigo Xavier. Automação em motores diesel: estudo sobre a tecnologia common rail. Rio de Janeiro, 2014.
- BORMANA. **Site da Bormana**. Sistemas de injeção diesel mecânica Disponível em: <https://www.bormana.com.br/sistemas-de-injecao-diesel-mecanico/>. Acesso em 21 mar 2023.
- BRASIL. Alex N. BOMBAS - CLASSIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO. Máquinas Termohidráulicas de Fluxo, 2010. Disponível em: [https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3\\_bombasclassificacaoedescricao.pdf](https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817712/LOQ4015/capitulo3_bombasclassificacaoedescricao.pdf). Acesso em 01 mai 2023
- CCA-IMO. Disponível em: <https://www.ccaimo.mar.mil.br/ccaimo/marpo/> Acesso em: 15 mai. 2023
- CROWCON. Site da Crowcon. Compreender os Poluentes do Ar: Um guia de óxidos de enxofre (SOx). Disponível em: <<https://www.crowcon.com/pt/blog/understanding-air-pollutants-a-guide-to-sulphur-oxides-sox/>> Acesso em: 15 mai. 2023
- DENTON, Tom. Automobile Electrical and Electronic Systems. 3. ed. London: Elsevier, 2004.
- DI PALMA, Mauro Silva. Sistema de Injeção Diesel. Apresentação do Power Point. 2015
- ELIFRAN. **Site da Elifran**. Bomba de engrenagem de deslocamento positivo. Disponível em: <https://www.elifranbombas.com.br/bomba-engrenagem-deslocamento-positivo>. Acesso em 01 mai 2023
- EURODIESEL. **Site da Eurodiesel**. Bomba Injetora. Disponível em: [http://www.eurodiesel.com.br/temp/bombas\\_injetoras/index.htm](http://www.eurodiesel.com.br/temp/bombas_injetoras/index.htm). Acesso em 21 mar 2023
- FERREIRA, Victor. Dióxido de enxofre. Disponível em: <BRASIL ES <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/dioxido-enxofre.htm#:~:text=A%20emiss%C3%A3o%20de%20di%C3%B3xido%20de,corroer%20materiais%2C%20afetando%20monumentos%20e>> Acesso em: 15 mai. 2023
- GIMENEZ, Leandro M. Motores de combustão interna III sistemas complementares. 2019 Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4637849/mod\\_resource/content/1/Motores\\_III\\_GIMENEZ\\_2019.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4637849/mod_resource/content/1/Motores_III_GIMENEZ_2019.pdf)> acesso em 21 mar 2023
- JÚNIOR, Maurício Moraes da Silva. Máquinas modernas na marinha mercante. Rio de Janeiro, 2011.
- 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: 15 mai. 2023
- MOTORES, C. I. C. Apostila de motores a combustão interna. **Universidade Federal de Pelotas: Pelotas, Brasil**, 2013. <https://wp.ufpel.edu.br/mlaura/files/2013/01/Apostila-de-Motores-a-Combust%C3%A3o-Interna.pdf>
- PLANAS, Oriol. **História do motor diesel, primeiros motores e invenção**. [S. l.], 21 nov. 2017. Disponível em: [https://pt.demotor.net/motores-termicos/motor-a-diesel/historia#google\\_vignette](https://pt.demotor.net/motores-termicos/motor-a-diesel/historia#google_vignette). Acesso em: 29 ago. 2023.
- RAHMAN, Md Mujibur et al. Comparison of Diesel Engine Performance between a Mechanical Pump and a Common Rail Fuel Injection System Equipped with Real-Time Non-Surfactant Emulsion Fuel Supply System. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, v. 91, n. 2, p. 41-50, 2022.

SALLES. Afonso Pompeu Soroldoni. Controle eletrônico da injeção de motores. Rio de janeiro, 2014.

SILVA. Marcio Ximenes Virgilio. Uso de injeção eletrônica a bordo dos navios da Marinha. [Entrevista concedida a] Flávio Eduardo de Souza Moura. 2023

SITTICHOMPOO, S.; THEINNOI, Kampanart; SAWATMONGKHON, B. Design and Development of Electronic Fuel Injection Control System Program for Single Cylinder Diesel Engine. **Applied Science and Engineering Progress**, v. 6, n. 1, p. 11-17, 2013.

VILANOVA. Carolina. **Revista O Mecânico**, 2015. Bomba injetora: todo cuidado é pouco. Disponível em: <https://omecanico.com.br/bomba-injetora-todo-cuidado-e-pouco/#:~:text=A%20bomba%20injetora%20%C3%A9%20um,para%20que%20ocorra%20a%20combust%C3%A3o>. Acesso em 21 mar 2023

## APÊNDICE A - USO DE INJEÇÃO ELETRÔNICA A BORDO DOS NAVIOS DA MARINHA

Questionário enviado ao Contra-Almirante Marcio Ximenes Virginio da Silva, engenheiro naval, gerente do empreendimento modular de obtenção de submarinos da Coordenadoria-geral do Programa de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (COGESN).

1) De que forma o regulador de velocidade da bomba injetora mecânica controla a quantidade de combustível injetada nas câmaras?

R. No sistema de injeção mecânica com regulador de velocidade, a quantidade de combustível injetada nas câmaras de combustão é controlada por meio de um conjunto de componentes mecânicos na bomba injetora. Segue abaixo uma descrição resumida do funcionamento desse sistema.

### 1. Regulador de Velocidade Mecânico:

- O regulador de velocidade mecânico é um componente central na bomba injetora mecânica;
- Ele controla a quantidade de combustível injetada nos cilindros do motor com base na velocidade do motor e na carga demandada; e
- Ele é acionado pelo movimento rotativo do eixo de manivelas do motor.

### 2. Mola de Regulagem:

- O regulador de velocidade possui uma mola que é responsável por exercer uma força de resistência contra um êmbolo interno; e
- Essa mola é calibrada para exercer uma determinada pressão proporcional à carga do motor.

### 3. Êmbolo:

- O êmbolo é um pistão interno na bomba injetora que é acionado pelo regulador de velocidade; e
- Ele move-se para cima e para baixo em resposta à pressão da mola e ao movimento rotativo do eixo de manivelas.

#### 4. Cames:

- O eixo de manivelas do motor está conectado a uma série de cames na bomba injetora; e
- Esses cames controlam o movimento do êmbolo, determinando o tempo e a duração da injeção de combustível.

#### 5. Abertura e Fechamento dos Injetores:

- Quando o êmbolo é movido para cima pela rotação do eixo de manivelas, ele pressuriza o combustível no cilindro da bomba injetora; e
- Quando a pressão do combustível atinge um ponto crítico, o êmbolo é forçado para baixo, abrindo o injetor e permitindo que o combustível seja injetado nas câmaras de combustão dos cilindros do motor.

#### 6. Controle de Quantidade de Combustível:

- A quantidade de combustível injetada é controlada pela combinação de fatores, incluindo a pressão exercida pela mola, o tempo e a duração do movimento do êmbolo e a abertura do injetor.

Esse é um esquema básico de como o regulador de velocidade da bomba injetora mecânica controla a quantidade de combustível injetada nas câmaras de combustão. É importante destacar que os sistemas de injeção mecânica podem variar em design e detalhes de funcionamento, mas o princípio geral de controle da quantidade de combustível é semelhante.

- 1) Comparando o sistema de injeção mecânica e o sistema de injeção eletrônica, quão significativa é a economia de combustível na injeção eletrônica?

R. A injeção eletrônica é geralmente mais eficiente em termos de economia de combustível do que a injeção mecânica. Isso ocorre porque a injeção eletrônica utiliza sensores e um sistema de controle eletrônico para determinar a quantidade exata de combustível a ser injetada nos cilindros, levando em consideração diversos fatores, como a velocidade do motor, a carga demandada e as condições de navegação.

A injeção eletrônica é capaz de ajustar a quantidade de combustível injetada de forma mais precisa e rápida em comparação com a injeção mecânica, o que resulta

em uma melhor eficiência na pulverização combustível. Além disso, a injeção eletrônica também pode otimizar o momento da ignição, contribuindo para uma queima mais eficiente do combustível.

No entanto, é importante observar que a economia de combustível proporcionada pela injeção eletrônica pode variar dependendo de diversos fatores, como o projeto e a eficiência do motor, o tipo de navegação, as condições do mar e o ajuste adequado do sistema de injeção eletrônica. Portanto, embora a injeção eletrônica seja geralmente mais eficiente, a magnitude exata da economia de combustível pode de navio para navio.

2) Comparando o sistema de injeção mecânica e o sistema de injeção eletrônica, quão mais eficiente é a queima na injeção eletrônica?

R. A queima de combustível na injeção eletrônica geralmente é mais eficiente em comparação com a injeção mecânica. Isso ocorre devido a várias razões relacionadas ao controle mais preciso da injeção de combustível e do processo de ignição na injeção eletrônica. Seguem abaixo alguns fatores que contribuem para a maior eficiência da queima na injeção eletrônica:

#### 1. Controle de Injeção Preciso:

- A injeção eletrônica utiliza sensores que monitoram o fluxo de ar, a temperatura do ar, a pressão do coletor de admissão, a rotação do motor, a quantidade de oxigênio presente nos gases de combustão e outros parâmetros relevantes;
- Com base nessas informações, o sistema eletrônico de controle de injeção pode calcular e ajustar com precisão a quantidade de combustível injetada em cada cilindro; e
- Isso permite uma mistura ar/combustível mais precisa e controlada, aproximando-se da condição estequiométrica ideal, otimizando a queima, reduzindo o desperdício de combustível e a quantidade de emissões poluentes.

#### 2. Melhor Pulverização do Combustível:

- A injeção eletrônica é capaz de pulverizar o combustível em partículas menores, proporcionando uma melhor mistura com o ar dentro do cilindro; e

- Uma melhor atomização do combustível aumenta a superfície de contato entre o combustível e o oxigênio, resultando em uma queima mais completa (estequiométrica) e eficiente.

### 3. Estratégias de Ignição Avançadas:

- A injeção eletrônica permite o controle preciso do momento de ignição em cada cilindro; e
- Isso significa que a ignição pode ser ajustada de forma otimizada para diferentes condições de operação, como carga do motor, rotação e temperatura.

### 4. Monitoramento e Ajuste em Tempo Real:

- A injeção eletrônica monitora continuamente os diversos parâmetros do motor por meio de sensores e pode fazer ajustes em tempo real para otimizar a queima de combustível; e
- Isso permite uma resposta mais rápida a mudanças nas condições de operação do motor, garantindo um desempenho e uma eficiência consistentes.

Embora a injeção eletrônica ofereça vantagens significativas em termos de eficiência de queima, é importante notar que a eficiência real pode variar dependendo de outros fatores, como o projeto do motor, o sistema de descarga de gases, a manutenção adequada e o modo de operação. No entanto, em geral, a injeção eletrônica oferece maior controle e precisão, resultando em uma queima mais eficiente (mais próxima da estequiométrica) em comparação com a injeção mecânica.

- 3) Em relação ao custo de aquisição de motores para os navios da MB, os que possuem injeção eletrônica são significativamente mais custosos?

R. Em geral, motores com sistemas de injeção eletrônica geralmente possuem um custo de aquisição mais elevado em comparação aos motores com sistema de injeção mecânica. Isso se deve a vários fatores relacionados à tecnologia mais avançada e aos componentes adicionais necessários nos motores com injeção eletrônica. Algumas das razões para o maior custo de aquisição são:

### 1. Componentes Eletrônicos e Sensores:

- Os motores com injeção eletrônica exigem componentes eletrônicos, como unidades de controle eletrônico (ECUs), sensores e atuadores. Esses componentes adicionais são responsáveis por monitorar e controlar o sistema de injeção, bem como fornecer informações para otimização do desempenho e eficiência do motor. Esses componentes eletrônicos são mais complexos e requerem tecnologia avançada, o que contribui para o aumento do custo.

### 2. Desenvolvimento e Pesquisa:

- A tecnologia de injeção eletrônica é mais avançada e requer pesquisa e desenvolvimento contínuos para aprimorar o desempenho, a eficiência e a confiabilidade do sistema. Os custos de pesquisa e desenvolvimento são repassados aos motores equipados com injeção eletrônica, o que pode aumentar seu preço de aquisição.

### 3. Controle e Precisão:

- Os sistemas de injeção eletrônica oferecem maior controle e precisão na injeção de combustível e gerenciamento do motor. Esse controle aprimorado exige uma engenharia mais complexa e custos adicionais para garantir a confiabilidade e a eficiência do sistema.

### 4. Normas Ambientais:

- Motores com injeção eletrônica geralmente são projetados para atender a regulamentações e normas ambientais mais rigorosas (MARPOL), o que pode exigir a incorporação de tecnologias de redução de emissões, como catalisadores e sistemas de recirculação de gases de escape. Esses componentes adicionais também contribuem para o aumento do custo do motor.

É importante ressaltar que, embora os motores com injeção eletrônica tenham um custo de aquisição mais alto, eles podem oferecer benefícios em termos de eficiência, desempenho, confiabilidade e controle operacional. Esses benefícios a longo prazo podem compensar o investimento inicial mais elevado. Além disso, a seleção do sistema de injeção depende dos requisitos e das necessidades específicas da MB, considerando fatores como eficiência, confiabilidade, manutenção e capacidades operacionais.



- 4) Em relação ao custo de manutenção de motores para os navios da MB, os que possuem injeção eletrônica possuem custo de manutenção mais expressivo (preço dos componentes do sistema)?

R. Em geral, os motores com sistemas de injeção eletrônica podem ter custos de manutenção mais expressivos em comparação com os motores com injeção mecânica. Isso ocorre devido a vários fatores relacionados à complexidade dos componentes eletrônicos, à necessidade de especialização técnica e aos custos dos componentes envolvidos. Algumas das razões para os custos de manutenção potencialmente mais elevados nos motores com injeção eletrônica são:

1. Componentes Eletrônicos:

- Os motores com injeção eletrônica possuem uma série de componentes eletrônicos, como unidades de controle eletrônico (ECUs), sensores e atuadores. Esses componentes podem exigir reparos ou substituições em caso de falhas. Os custos desses componentes eletrônicos podem ser mais elevados do que as peças mecânicas tradicionais usadas em motores com injeção mecânica.

2. Especialização Técnica:

- A manutenção de motores com injeção eletrônica pode requerer habilidades técnicas mais especializadas, pois o diagnóstico e reparo de sistemas eletrônicos exigem conhecimentos específicos. Isso pode resultar em custos mais altos de mão de obra ou na necessidade de técnicos especializados no sistema de injeção eletrônica.

3. Equipamentos de Diagnóstico:

- Os motores com injeção eletrônica geralmente requerem equipamentos de diagnóstico específicos para identificar problemas e realizar ajustes adequados no sistema. Esses equipamentos podem ter um custo inicial mais elevado e exigir treinamento adicional para utilizá-los corretamente.

4. Atualizações e Softwares:

- Os motores com injeção eletrônica podem requerer atualizações regulares de software para garantir o desempenho adequado e a conformidade com as regulamentações. Essas atualizações podem envolver custos adicionais para adquirir as versões mais recentes do software e implementá-las nos motores.

5. Complexidade do Sistema:

- A injeção eletrônica é um sistema mais complexo do que a injeção mecânica, o que pode exigir um maior esforço de manutenção. Os sistemas eletrônicos podem ter mais pontos de falha potenciais e exigir uma abordagem mais minuciosa para identificar e corrigir problemas.

É importante ressaltar que os custos de manutenção podem variar dependendo de vários fatores, como o tipo e a marca do motor, a qualidade da manutenção realizada, o ambiente operacional e a disponibilidade de peças de reposição. Além disso, os motores com injeção eletrônica podem oferecer benefícios em termos de desempenho, eficiência e controle operacional, que podem compensar os custos de manutenção mais elevados. A seleção do sistema de injeção e a avaliação dos custos de manutenção devem levar em consideração as necessidades e os requisitos específicos da MB, bem como o suporte disponível para a manutenção dos seus motores.

- 5) Ainda sobre a manutenção, com o avanço da tecnologia, existe dificuldade para se encontrar componentes do sistema de injeção mecânica?

R. Com o avanço da tecnologia e a adoção cada vez mais ampla da injeção eletrônica nos motores modernos, é possível que a disponibilidade de componentes específicos para sistemas de injeção mecânica possa ser afetada. A demanda por componentes de injeção mecânica diminuiu à medida que os motores mais recentes passaram a utilizar sistemas de injeção eletrônica.

No entanto, é importante considerar que existem muitos motores e equipamentos mais antigos ainda em operação que utilizam sistemas de injeção mecânica. Esses motores podem ser encontrados em diversos setores, como em navios, veículos comerciais, máquinas agrícolas e industriais. Portanto, é provável que ainda exista um mercado para peças de reposição e componentes relacionados à injeção mecânica, embora possa haver uma redução gradual na disponibilidade ao longo do tempo.

A disponibilidade de componentes de injeção mecânica também pode variar dependendo da região, dos fabricantes de motores e dos fornecedores de peças. Em alguns casos, pode ser necessário buscar fornecedores especializados ou recorrer a peças de reposição recondiçionadas ou refabricadas.

É importante que as operações que dependem de sistemas de injeção mecânica considerem a necessidade de um bom planejamento de manutenção preventiva e a aquisição antecipada de peças de reposição para garantir a disponibilidade dos componentes necessários no caso de falhas ou desgaste.

Em resumo, embora a disponibilidade de componentes para sistemas de injeção mecânica possa ser afetada com o avanço da tecnologia, ainda é possível encontrar esses componentes no mercado. A realização de uma pesquisa adequada, o contato com fornecedores especializados e o planejamento de manutenção são medidas importantes para garantir a disponibilidade de peças necessárias.

6) O pessoal de bordo dos navios (oficiais e praças) possui a qualificação necessária para realizar manutenções do sistema de injeção eletrônica além do primeiro escalão? Se sim, quais disciplinas do currículo contribuem para isso? Se não, quais disciplinas deveriam estar presentes na grade curricular para tornar isso possível?

R. Em geral, o pessoal de bordo não é treinado especificamente para realizar manutenção em sistemas de injeção eletrônica além do primeiro escalão. A manutenção de sistemas de injeção eletrônica geralmente requer conhecimentos técnicos especializados e treinamento específico.

A qualificação necessária para realizar manutenções mais complexas em sistemas de injeção eletrônica normalmente requer formação técnica avançada ou até mesmo especialização em engenharia mecânica. Disciplinas relacionadas a eletrônica, sistemas de controle, diagnóstico e reparo de motores são relevantes para adquirir as habilidades necessárias para trabalhar com sistemas de injeção eletrônica.

Para tornar possível que o pessoal de bordo esteja mais preparado para lidar com a manutenção de sistemas de injeção eletrônica, algumas disciplinas poderiam ser incluídas na grade curricular, como por exemplo:

1. Eletrônica para Motores:

- Essa disciplina abordaria os princípios básicos da eletrônica aplicada a motores, tanto automotivos quanto marítimos, incluindo os componentes eletrônicos encontrados em sistemas de injeção eletrônica.

## 2. Sistemas de Controle de Motores:

- Essa disciplina abrangeria os princípios de funcionamento e controle de motores, com ênfase nos sistemas de injeção eletrônica. O pessoal de bordo aprenderia sobre os diferentes tipos de sistemas de injeção eletrônica, seus componentes e seu funcionamento.

## 3. Diagnóstico de Falhas em Sistemas Eletrônicos:

- Essa disciplina focaria no diagnóstico e solução de problemas em sistemas eletrônicos, incluindo a detecção e resolução de falhas em sistemas de injeção eletrônica.

## 4. Reparo e Manutenção de Sistemas Eletrônicos:

- Essa disciplina abordaria técnicas de reparo e manutenção de sistemas eletrônicos, incluindo a substituição de componentes e o ajuste e calibração de sistemas de injeção eletrônica.

## 5. Treinamento Prático em Bancada de Teste ou Oficina:

- Além das disciplinas teóricas, um treinamento prático seria essencial para o pessoal de bordo adquirir habilidades práticas na manutenção de sistemas de injeção eletrônica. Isso envolveria a realização de atividades práticas de diagnóstico, reparo e ajuste de sistemas eletrônicos em motores simulados.

É importante ressaltar que a formação e qualificação para realizar manutenção em sistemas de injeção eletrônica vão além do currículo básico de treinamento de oficiais e praças. Seria necessário um programa de treinamento adicional e mais especializado para fornecer o conhecimento e as habilidades necessárias para lidar com esses sistemas de forma eficaz.

Em suma, embora o pessoal de bordo possa estar familiarizado com a manutenção básica e operação dos motores, a manutenção de sistemas de injeção eletrônica geralmente requer conhecimentos técnicos mais especializados, adquiridos por meio de formação avançada ou treinamento especializado.

7) As OMPS tem a qualificação necessária para realizar a manutenção de motores com sistema de injeção eletrônica ou seria necessário contatar as autorizadas do fabricante?

R. As oficinas de manutenção de 1º escalão da MB podem ter a qualificação necessária para realizar a manutenção de motores com sistema de injeção eletrônica, desde que tenham recebido treinamento especializado e possuam os recursos e equipamentos adequados. Essas oficinas geralmente são responsáveis pela manutenção básica e pelo reparo inicial dos motores, incluindo sistemas de injeção eletrônica.

No entanto, é importante considerar que a manutenção de sistemas de injeção eletrônica pode ser complexa e exigir conhecimentos técnicos específicos. Dependendo da natureza do problema ou da extensão da manutenção necessária, pode ser necessário recorrer a serviços nas instalações do próprio fabricante do motor ou nas oficinas de empresas autorizadas e especializadas em sistemas de injeção eletrônica.

As oficinas autorizadas pelo fabricante têm treinamento específico fornecido pelo próprio fabricante e estão familiarizadas com as especificações e os requisitos técnicos do motor em questão. Elas têm acesso a ferramentas, equipamentos e documentação técnica atualizada, o que pode facilitar a manutenção mais complexa do sistema de injeção eletrônica.

Portanto, em casos de problemas ou manutenções mais complexas em sistemas de injeção eletrônica, pode ser recomendável contatar o próprio fabricante ou as oficinas autorizadas para garantir a execução correta dos procedimentos e a obtenção de peças de reposição originais, se necessário.

A decisão de realizar a manutenção em uma oficina de 1º escalão ou buscar os serviços com o fabricante ou nas oficinas autorizadas depende da natureza do problema, do conhecimento e dos recursos disponíveis nas oficinas das OMPS, além das políticas e regulamentos específicos da MB em relação à manutenção de seus motores.

8) No projeto de propulsão CODAD das Fragatas classe Tamandaré a Marinha investiu em qual tipo de sistema de injeção para os motores?

R. Injeção de combustível

As Fragatas Classe “Tamandaré” serão dotadas com 04 (quatro) MCP do fabricante MAN, modelo 12V 28/33D STC (STC - turbocarregador sequencial), de 5.460 kW a 1032 RPM. Um avançado sistema de injeção de combustível controlado por válvula solenóide e gerenciado por microprocessador garante um controle flexível e preciso da quantidade, taxa e tempo de injeção independente da rotação do motor.

Em combinação com a tecnologia avançada da câmara de combustão, o consumo específico de combustível é reduzido a um nível muito competitivo. O grande envelope de torque dos motores STC reduz o consumo de combustível otimizando a eficiência dos hélices.

A tecnologia de injeção eletrônica de combustível (EFI) com autoridade total permite que o desempenho do motor seja otimizado para a aplicação específica, alcançando valores otimizados para consumo de combustível e emissões de escapamento em toda a demanda operacional. O controle eletrônico facilita ainda mais a integração conveniente com os sistemas gerais de gerenciamento e automação da embarcação. No caso de uma instalação baseada em dois motores acionando duas hélices, reduções no consumo de combustível de até 9% podem ser alcançadas apenas com o sistema STC com a planta operando em passo constante na curva da hélice.

9) Quais os problemas mais comuns relatados pelos navios da MB que possuem sistema de injeção eletrônica em seus motores?

R. Não há um banco de dados na MB que possa ser consultado, ou mesmo servir de repositório para que pudesse servir numa metodologia de manutenção preditiva. Contudo, apresenta-se a seguir possíveis problemas que podem ocorrer em sistemas de injeção eletrônica em motores marítimos:

1. Falhas nos sensores:

- Os sensores de temperatura, pressão, posição do acelerador, entre outros, desempenham um papel crucial no funcionamento adequado do sistema de injeção eletrônica. Problemas com sensores defeituosos ou com fiação elétrica podem resultar em leituras incorretas ou falhas no sistema.

2. Problemas com a unidade de controle eletrônico (ECU):

- A ECU é responsável por controlar e coordenar as funções do sistema de injeção eletrônica. Falhas na ECU podem levar a mau funcionamento do sistema, perda de potência do motor ou incapacidade de iniciar o motor.

### 3. Problemas com os injetores de combustível:

- Injetores de combustível sujos ou com mau funcionamento podem causar problemas de combustão, desempenho reduzido do motor, consumo excessivo de combustível ou emissões aumentadas.

### 4. Problemas com a pressão do combustível:

- Variações inadequadas na pressão do combustível podem afetar a quantidade e a pulverização do combustível injetado, resultando em problemas de desempenho do motor, dificuldades na partida e consumo excessivo de combustível.

### 5. Falhas na bomba de combustível:

- Problemas com a bomba de combustível, como vazamentos ou mau funcionamento, podem levar a problemas de pressurização inadequada do sistema e impactar a eficiência do sistema de injeção eletrônica.

### 6. Problemas elétricos:

- Falhas elétricas, como curtos-circuitos, falhas de conexão ou problemas no sistema de energia, podem causar interrupções no funcionamento do sistema de injeção eletrônica.

É importante ressaltar que a ocorrência e a gravidade dos problemas podem variar dependendo do tipo de motor, fabricante e configuração específica do sistema de injeção eletrônica. A manutenção regular, incluindo inspeção, limpeza e ajuste adequado dos componentes do sistema de injeção eletrônica, é fundamental para prevenir e solucionar problemas potenciais. As equipes de manutenção da MB geralmente possuem procedimentos e protocolos específicos para lidar com problemas e falhas nos sistemas de injeção eletrônica de seus navios.

10) Existe alguma peculiaridade do sistema de injeção eletrônica que o torna menos vantajoso para o uso a bordo?

R. O sistema de injeção eletrônica oferece várias vantagens em termos de controle preciso da injeção de combustível, eficiência de combustível e redução de emissões em comparação com os sistemas de injeção mecânica. No entanto, é importante considerar que o uso de sistemas de injeção eletrônica em navios da MB

pode apresentar algumas peculiaridades e desafios específicos, dependendo das necessidades operacionais e das condições de operação em ambientes marítimos. Algumas dessas peculiaridades incluem:

1. Condições ambientais adversas:

- Os navios da MB operam em ambientes marítimos desafiadores, incluindo altas temperaturas, umidade, salinidade e vibrações intensas. Essas condições podem afetar os componentes eletrônicos do sistema de injeção eletrônica, exigindo maior proteção e isolamento para garantir sua operação confiável.

2. Manutenção e reparo:

- Em ambientes marítimos, a manutenção e o reparo dos sistemas de injeção eletrônica podem ser mais complexos e exigir recursos especializados. A disponibilidade de técnicos treinados e especializados em sistemas de injeção eletrônica pode ser um desafio, especialmente em áreas remotas ou durante manutenções em alto-mar.

3. Disponibilidade de peças de reposição:

- A disponibilidade de peças de reposição específicas para sistemas de injeção eletrônica em navios da MB pode ser uma consideração importante. Certificar-se de que há um estoque adequado de peças de reposição e estabelecer um sistema eficiente de logística de suprimentos pode ser fundamental para minimizar o tempo de inatividade do sistema em caso de falhas ou reparos necessários.

4. Redundância e confiabilidade:

- Em navios de guerra, especialmente, é crucial garantir a confiabilidade e a redundância dos sistemas críticos, incluindo os sistemas de injeção de combustível. Os sistemas de injeção eletrônica devem ser projetados levando em conta a resiliência e a redundância, para garantir a disponibilidade contínua do motor em situações de falhas ou danos.

5. Capacitação e treinamento:

- A operação e manutenção adequadas dos sistemas de injeção eletrônica exigem pessoal qualificado e treinado. A MB deve investir em treinamento contínuo para seus membros a fim de garantir a operação eficiente e correta dos sistemas de injeção eletrônica.

Embora existam desafios específicos, é importante ressaltar que o uso de sistemas de injeção eletrônica em navios da MB pode oferecer benefícios



significativos em termos de eficiência de combustível, desempenho do motor e redução de emissões. A implementação adequada de projetos, manutenção regular e treinamento adequado podem ajudar a superar as peculiaridades e aproveitar ao máximo os sistemas de injeção eletrônica em ambientes marítimos.