

**CENTRO DE INSTRUÇÃO  
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA  
APERFEIÇOAMENTO PARA PRIMEIRO OFICIAL DE  
MÁQUINAS- APMA**

**IMPACTOS ECONÔMICOS, AMBIENTAIS E OPERACIONAIS EM  
SISTEMAS SLOW STEAMING E MOTORES COM INJEÇÃO  
ELETRÔNICA.**

**Por: Karem Monique Rossi**

**Orientador**

**Professor: MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro**

**Rio de Janeiro**

**2015**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO**  
**ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**APERFEIÇOAMENTO PARA PRIMEIRO OFICIAL DE**  
**MÁQUINAS- APMA**

**IMPACTOS ECONÔMICOS, AMBIENTAIS E OPERACIONAIS EM**  
**SISTEMAS SLOW STEAMING E MOTORES COM INJEÇÃO**  
**ELETRÔNICA.**

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Primeiro Oficial de Máquinas da Marinha Mercante.

Por: Karem Monique Rossi

**Rio de Janeiro**

**2015**

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA PRIMEIRO OFICIAL DE MÁQUINAS-**  
**APMA**

**AVALIAÇÃO**

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): MSc. Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

DATA: \_\_\_\_\_

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

MSC. LUIZ OTAVIO RIBEIRO CARNEIRO

*“Desbravando novos mares em busca de renovação.”*

ROSSI, KAREM M. Impactos Econômicos, Ambientais e Operacionais em Sistemas Slow Steaming e Motores com Injeção Eletrônica. Rio de Janeiro (RJ), 2015. 48f. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante) – CIAGA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que me motivaram e me concederam à oportunidade de estar concluindo mais um passo na minha vida profissional, representantes e responsáveis pela empresa da qual tenho grande satisfação de poder estar contribuindo para a vitória nesse mercado de trabalho tão complexo.

Agradeço meu orientador pela paciência em me orientar e pelas valiosíssimas dicas de desenvolvimento de todos que se prepuseram a me ensinar.

Agradeço aos meus pais, por sempre me incentivarem a seguir com meus estudos e prosperar em tantas difíceis jornadas e ao meu noivo que durante minha caminhada me apoio para, conseqüentemente, conseguir melhores resultados na minha formação e na nossa união.

E finalmente agradeço aos meus companheiros de turma, que me passaram os seus conhecimentos e por poucos momentos juntos, aceitaram um pouco da pessoa que sou, pois Deus me permitiu conquistar mais uma luta dessa jornada que chamo de VIDA.

## DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia ao meu noivo José Ricardo Castro, meu pai Antonio Carlos Rossi, minha mãe, Aparecida de Lourdes Calchi Rossi, pelo carinho e amor e, sobretudo, pelo exemplo de vida e por demonstrarem que mesmo os momentos mais difíceis podem ser superados com serenidade e perseverança. Agradeço às amigas e companheiras que fizeram parte da minha formação, em especial Marília Carmo que esteve me aturando durante esse pequeno tempo- a eterna amizade- aos meus companheiros de turma que me deram total apoio em todos os momentos de dificuldades. E principalmente a Deus por me dar saúde, força e fé para superar a tudo que me foi imposto.

## RESUMO

Com as crises na área petrolífera e o grande aumento do preço do combustível marítimo ao longo dos últimos anos, grandes armadores optaram por buscar soluções que resultassem em viabilidade econômica do consumo de combustível, sem que houvesse prejuízos com manutenções e rendimentos dos motores, assim como, atendimento ao cliente com entrega de sua carga, dessa necessidade, passaram a operar seus navios com velocidade reduzida e conseqüente carga parcial do motor.

A fim de demonstrar a eficiência de motores com essa velocidade reduzida, deu-se o uso do sistema chamado *SLOW STEAMING*, verificando seus impactos econômicos e ambientais por embarcações que operam na área da cabotagem brasileira. Pode-se dizer que quanto mais combustível usado, mais CO<sub>2</sub> emitido.

Nota-se que dessa necessidade, os navios começaram a ser fabricados com motores e sistemas de propulsão de tamanhos reduzidos e já preparados para funcionar em velocidades mais lentas, permitindo ainda a redução do tamanho do navio e aumentando espaços de carga e economia de combustível, visando sempre à lucratividade.

Procurando aperfeiçoar o desempenho econômico de navios nesses tempos difíceis devido aos altos preços de *Bunker* (combustíveis) e baixas taxas de fretes, criar maior ênfase sobre considerações ambientais não afetando a operacionalidade de motores e suas manutenções, o *Sistema Slow Steaming* e *Motores Diesel com Injeção Eletrônica* estão cada vez mais presentes no meio marítimo.

**Palavras-chaves:** Slow Steaming; Motores Diesel com Injeção Eletrônica, Bunker, Consumo de Combustível, Impactos Ambientais.

## ABSTRACT

With the crisis in the oil sector and the large increase in the price of marine fuel over the last few years, major shipowners have chosen to seek solutions that resulted in economic feasibility of fuel consumption, with no losses with maintenance and income of engines, as well as, customer service with delivery of your cargo, this need, began operating their ships with reduced and consequent engine part-load speed.

In order to demonstrate the efficiency of engines with this reduced speed, gave up using the system called *SLOW STEAMING*, checking their economic and environmental impacts by vessels operating in the area of the Brazilian cabotage. It can be said that the more fuel used, the more CO<sub>2</sub> emitted.

Note that if this need, vessels began to be manufactured with reduced sizes of engines and propulsion systems and already designed to operate at slower speeds, allowing further reduction in the size of the vessel and cargo spaces and increasing fuel economy, always aiming to profitability.

Seeking to improve the economic performance of ships in these difficult times due to high Bunker prices (fuel) and low freight rates, create greater emphasis on environmental considerations do not affect the operation of engines and their maintenance, *System Slow Steaming* and *Diesel Engines Eletronics Injeccion System* are increasingly present in the marine environment.

**Key- Words:** Slow Steaming, Diesel Engines Eletronics Injeccion System, Bunker, Fuel Consumption, Environmental Impact.



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
1.1	SISTEMA SLOW STEAMING .....	10
1.2	Entendendo o Sistema <i>SLOW STEAMING</i> .....	10
1.3	Para que Utilizar o Sistema <i>SLOW STEAMING</i> .....	12
1.4	Poluição e o Transporte Marítimo .....	13
1.5	Motores de injeção eletrônica .....	16
2	<i>SLOW STEAMING</i> E SUAS CONSEQÜÊNCIAS .....	20
2.1	Danos causados aos motores em regime <i>Slow Steaming</i> .....	20
2.2	Diferentes modos do slow steaming .....	20
2.3	Componentes sujeitos a falha no sistema <i>slow steaming</i> .....	23
2.4	Principais falhas decorrentes do <i>slow steaming</i> .....	28
3	IMPACTOS DOS SISTEMAS SLOW STEAMING .....	34
3.1	Vantagens e desvantagens do <i>slow steaming</i> .....	34
3.2	Vantagens do sistema de injeção eletrônica .....	34
4	POLUENTES DO MEIO MARÍTIMO .....	37
4.1	Caminho para qualidade ambiental .....	37
4.2	Gases emitidos e resultados positivos .....	38
4.3	Exemplo de slow steaming em embarcações .....	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	42
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Sistema Common Rail de Injeção.....	17
Figura 2.1- Ciclo de Funcionamento motor Diesel 2 tempos.....	22
Figura 2.2- Camisa do cilindro e sistema de resfriamento da camisa.....	23
Figura 2.3- Partes do Pistão.....	24
Figura 2.4- Pistão Motores Diesel.....	24
Figura 2.5- Turbocharger.....	25
Figura 2.6- Auxiliary Blower.....	26
Figura 2.7- Caldeira de Geração de Vapor de Processo Industrial.....	26
Figura 2.8- Acúmulo de óleo e incrustações formadas pelo excesso de óleo lubrificante.....	29
Figura 2.9- Desgaste da camisa.....	29
Figura 2.10- Incrustações e lavagem da turbina.....	30
Figura 2.11- Fuligem no interior da caldeira de recuperação.....	32
Figura 2.12- Casco do navio com incrustações.....	33

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1: Custos de Transporte Marítimo.....	11
--	----

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1- Evolução do <i>Bunker</i> 380 cST.....	13
Gráfico 1.2 - Emissão global de CO <sub>2</sub> por setor da sociedade.....	15
Gráfico 2.1- Diferentes modos de Slow Steaming.....	21
Gráfico 4.1- Adaptado de Notteboom, T. And P. Carriou (2009) “Fuel surcharge practices of container shipping lines.”.....	41

## **Lista de Abreviaturas**

**MCR-** Maximum Continuous Rating

**CO<sub>2</sub>**- Dióxido de Carbono

**NO<sub>x</sub>** - Óxidos de azoto

**SO<sub>x</sub>** - Óxidos de enxofre

**PM-** Particulate Matter (Material Particulado)

**IMO-** Organização Marítima Internacional

**MARPOL-** Convenção Internacional para Prevenção da Poluição no Mar por Navios

**SECAs-** Sulphur Emission Control Areas

**MCP-** Motor de Combustão Principal

**GHG-** Green House Gases

**CH<sub>4</sub>**- Metano

**N<sub>2</sub>O-** Óxido Nitroso

**UNFCCC-** United Nations Framework Conference on Climate Change (Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)

**HP-** Horse Power

**CO-** Monóxido de Carbono

**NMVOC-** Compostos orgânicos não voláteis

**MEPC-** Marine Environment Protection Committee (Comitê de Proteção do Meio Marinho)

**EEDI-** Energy Efficiency Design Index (Índice de Eficiência Energética de Projeto)

## 1 INTRODUÇÃO

Tudo que hoje fazemos, tem seus objetivos e grandes metas e para entendermos sobre o sistema que irá se enfatizar em todo contexto, devemos saber que grandes frotas, afim de diminuir o consumo de combustível e conjunto a isso os impactos econômicos e ambientais relacionados ao mesmo, passaram a utilizar o chamado sistema *Slow Steaming*.

Com esse sistema adotado por grandes armadores, temos dito acima sobre a pratica de redução de velocidade e consequentemente a carga de operação do motor principal que auxilia na redução de gases poluentes e causadores do efeito estufa como o CO<sub>2</sub>, assim como economicamente podem reduzir custos desnecessários para seus utilitários, mas como toda operação, há um custo que poderá intervir nas condições operacionais do navio, pois os mesmos foram projetados para operarem em carga contínua entre 70 a 85% de seu *Maximum Continuous Rating (MCR)*, e ao se afastarem dessa faixa, os motores tendem a sofrer danos ao longo do prazo. Para adoção do sistema *Slow Steaming*, o MCR chega às vezes num valor de menos de 50% do MCR que, teoricamente e também na prática, prejudica algumas partes distintas dos motores Diesel dois ou quatro tempos.

Com o cenário da tecnologia, além do sistema *slow steaming*, algumas empresas resolveram investir em inovações, mesmo sabendo que os custos podem ser altos no inicio, porém com o tempo reduzindo, passando a adquirir motores com a capacidade de injeção exata na hora exata denominado *Common Rail* ou ainda *Sistema de Injeção Eletrônica*.

Apesar de alguns dos impactos sobre esses dois sistemas serem negativos no motor, os ganhos financeiros podem ser extremamente algo com o passar da aquisição de hábitos com o seu uso. Ao longo desse conteúdo, será demonstrados os impactos técnicos desse tipo de operação com sistemas *slow steaming* e injeção eletrônica analisado seus custos relacionados ao meio ambiente (emissão de menor quantidade de gases poluentes) e à economia das empresas em vigência.

## 1.1 SISTEMA SLOW STEAMING

### 1.2 Entendendo o Sistema *SLOW STEAMING*

O sistema *slow steaming*, vem sendo motivado, sobretudo, por fins econômicos (BRANDÃO, Fernanda Dias. 2013), entretanto, antes de relatar suas vantagens de utilização, definimos que esse sistema nada mais é do que a forma mais prática e aceitável para que os armadores conseguissem reduzir os custos com combustíveis e grandes considerações sobre diminuição de impactos ambientais com a emissão de gases provocado por navios.

Esse sistema permite navegar com os motores em baixa rotação, ou seja, velocidades abaixo da velocidade de projeto com intuito justamente de reduzir o consumo de combustível gerando assim menores resíduos poluentes no meio ambiente. A rotação abaixo da rotação de projeto faz com que o motor exija menor demanda de potência e, conseqüentemente, uma alteração de todos os parâmetros de máquinas envolvidos quando comparados às condições de projeto (MAN Diesel & Turbo, pp 8-9).

Apesar de não ser um conceito novo, o *slow steaming* tem sido objeto de estudo recente, uma vez que o aumento do tempo de viagem resulta em maiores custos de capital e operação por viagem, além de ter como consequência a redução da capacidade de transporte do navio em determinado período de tempo. PSARAFTIS, H. e KONTOVAS, C. [pp 331 e 351-2013], desenvolveram um estudo para otimizar os custos a partir da velocidade de navegação e emissão de gases no transporte marítimo em seguida, esse método foi demonstrado e assim, começou seu desenvolvimento.

























Grandes empresas detentora da maior frota de porta contêineres do mundo foram às pioneiras na adoção desse modo operacional com motores em baixa rotação – *slow steaming* – e atualmente, quase toda frota mercante estuda a possibilidade de operar com o mesmo, apesar de que algumas embarcações do tipo minério de ferro e óleo já navegam com velocidades mais baixas comparadas aos navios porta-contêineres.

Visando o menor consumo de combustível, ou seja, menor custo com o transporte, os armadores utilizam desse sistema em períodos de menor demanda de produtos no mercado e baixas taxas de frete. Citam alguns pesquisadores e afretadores que os custos com o transporte marítimo são classificados em alguns tópicos citados e demonstrados abaixo:

*Custos de Capital* onde englobam os investimentos feitos para a construção e compra de todos os equipamentos que formam o navio. É o somatório dos custos do pagamento da entrada, do principal do empréstimo e os respectivos juros. É um custo fixo que acompanha o navio por toda sua vida útil.

*Custos Operacionais* que são os custos para a manutenção da operação do navio, composto pelos gastos com o seguro do navio, salários e todos os benefícios sindicais da tripulação, os custos com reparos e manutenção, sobressalentes e estoques necessários a bordo, custos com óleo lubrificante e custos com equipe e infraestrutura necessária em terra para administrações das operações.

*Custos de viagem* que são os custos que dizem respeito aos custos com o combustível, as despesas portuárias e demais taxas necessárias para navegação em canais e demais locais que demandem custos adicionais. Destes, o custo de combustível é o de maior impacto, por isso a necessidade de sistema que auxilie economicamente para tal situação ser amenizada.

Custo	Principais Componentes	Tipo de Contrato		
		Casco Nu (Bareboat)	Time Charter	Voyage Charter
Capital	Entrada			
	Pagamento do principal Juros			
Operacional	Tripulação			
	Seguro			
	Reparos e Manutenção			
	Estoques, Suprimentos e Peças de Reposição			
	Administração e Gerenciamento			
Viagem	Combustível			
	Taxas Portuárias			
	Taxas de Navegação em Canais			

**Tabela 1.1:** Custos de Transporte Marítimo

**Fonte:** Drewry

A redução de velocidade implica em menor demanda de potência por parte do motor principal, e conseqüentemente uma alteração em todos os parâmetros de máquinas envolvidos no sistema de máquinas e propulsão quando comparados à condição de projeto, porém

determinantes econômicas e ambientais visam atingir o uso praticamente completo desse sistema.

### **1.3 Para que Utilizar o Sistema *SLOW STEAMING***

A redução funcional na velocidade do navio a bordo dos navios reduz o consumo de combustível e, conjunto a isso, as emissões de gases de efeito estufa, portanto armadores se esforçam para combinar os dois módulos em um unico programa.

Devido aos altos custos dos combustíveis marítimos utilizado, conhecido como BUNKER, viabilidades econômicas e ambientais fizeram com que o sistema fosse adotado por várias empresas de grande porte na navegação brasileira. Quanto mais combustível consumido, mais CO<sub>2</sub> é emitido, por isso a velocidade tem o maior impacto sobre o consumo.

Dentre os principais motivos para se utilizar do sistema, como citados em todos outros tópicos têm o aumento significativo do preço do Bunker. Esse preço oscila constantemente devido às forças do mercado e do preço do petróleo cru, e podemos citar ainda que os preços podem variar de porto para porto o que torna crucial a decisão sobre qual porto deverá ser feito o abastecimento para que haja maior economia neste aspecto.

O valor do *Bunker* acompanha o preço do barril de petróleo. Durante os últimos anos, o preço do petróleo sofreu significativo aumento, principalmente devido aos choques enfrentados desde 2000, o combustível vem sofrendo aumentos significativos, chegando a custar mais de 700US\$/ton em 2012 (DA SILVA, YURI C.T.- Fevereiro 2014), uma variação percentual acima de 600% no mesmo período. E esse aumento se fez ainda mais significativo até os dias atuais. O Gráfico-1 abaixo mostra a evolução do preço do Bunker com dados obtidos da empresa de consultoria CLARKSON- 2015, que estima consideravelmente os custos de combustível para área naval até o ano de 2020.



**Gráfico 1.1-** Evolução do *Bunker 380 cST*  
**Fonte:** Empresa de Consultoria Clarkson- 2015

Mas como já citado anteriormente, a evolução do preço do *Bunker* pode não ter sido somente o agravante para o uso do sistema *slow steaming*, determina-se que quanto menor a velocidade, menor o consumo de combustível e conseqüentemente, menor a emissão de gases poluentes (CO<sub>2</sub>) na atmosfera.

#### 1.4 Poluição e o Transporte Marítimo

Conforme United Nations Review of Maritime Transport -2012, definimos que:

O transporte marítimo é a espinha dorsal do comércio internacional e um motor da globalização. Cerca de 80% do comércio mundial em volume e mais de 70% em termos de valor, é transportado por mar e distribuído pelos portos e economias de todo o mundo. Estas proporções assumem ainda maiores valores na maioria dos países em desenvolvimento.

A poluição atmosférica, que se refere às mudanças na atmosfera susceptíveis de causar impactos a nível ambiental ou na saúde humana, é provocada por maior porcentagem pelo transporte marítimo e manifesta-se, através da emissão pelos navios, de gases de efeito de estufa incluindo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e pela emissão de poluentes, incluindo os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) e material particulado (PM Particulate Matter).



A adição de contaminantes na atmosfera pode provocar sérios danos à saúde humana, como contaminação por gases, partículas sólidas, líquidos em suspensão e material biológico, ou ainda, no nosso ecossistema, como ações diretas no aquecimento global (degradação do ecossistema e potenciado de chuvas ácidas).

A navegação de cabotagem possui hoje uma extensa costa marítima com portos e terminais portuários em contínuo processo de modernização e ampliação da capacidade de movimentação de cargas, com isso o consumo de combustível se torna crescente para todas as frotas e determinadamente torna-se maior a poluição.

Em 2008, a Organização Marítima Internacional (IMO) reviu as normas sobre o teor de enxofre dos combustíveis marítimos (contido no Anexo VI da MARPOL Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios). Em Outubro de 2012, as normas foram transpostas oficialmente.

A partir de 2015, os navios que naveguem nas zonas de controle de emissões de SO<sub>x</sub> (SECAs Sulphur Emission Control Areas), não podem usar combustível com mais de 0,1% de enxofre. Globalmente, os navios terão que reduzir o teor de enxofre do seu combustível em um máximo de 3,5% (2012) para 0,5% até 2020 (Sardinha, Alvaro- 2013).

Reduzir a velocidade dos navios multiplica os efeitos positivos do índice de eficiência energética, sendo que, queimando menos combustível, emitirão menos gases de efeito estufa, CO<sub>2</sub> e outros contribuindo também para reduzir significativamente as emissões de poluentes atmosféricos como NO<sub>x</sub>.

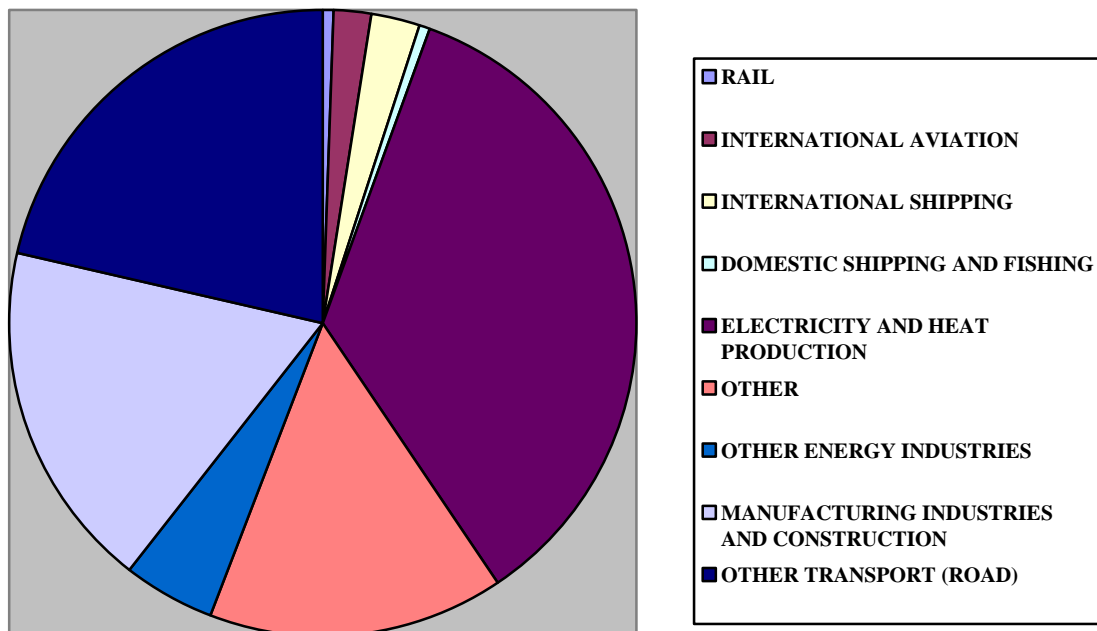
A utilização do sistema *slow steaming*, muitas vezes, é considerado como a forma com melhor relação requisitada por armadores: custo- benefício para redução de emissões de CO<sub>2</sub>, podendo ser feito sem quase custo nenhum. Além de auxiliar na redução de emissão de poluentes, se tem ainda economia de combustível, redução de custos de manutenção e problemas operacionais.

Segundo Woodward (*Marine Diesel Engines and Gas- 2004.884p*), o dióxido de carbono é um gás inevitável no processo de combustão, a sua produção é diretamente proporcional ao consumo de combustível, portanto com uma melhor eficiência no uso de combustível terá menores emissões de CO<sub>2</sub>. Com cálculos efetivos, diz que aproximadamente o consumo de uma

tonelada de combustível produz cerca de três toneladas de CO<sub>2</sub>. Para este estudo, será considerado que do total de gases emitidos no processo de combustão, 5,6% corresponde ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

A figura abaixo, pode demonstrar explicitamente, a distribuição da emissão global de CO<sub>2</sub> de acordo com estudos da *IMO* (Organização Marítima Internacional) em 2009, logicamente, esses valores valem como referências que tendem a se tornar crescentes com o passar, até dias atuais (2015), porém a busca por redução dessa emissão pode-se tornar contrária a isso.

### GLOBAL CO<sub>2</sub> EMISSIONS



**Gráfico 1.2** - Emissão global de CO<sub>2</sub> por setor da sociedade

**Fonte:** Adaptado de IMO

Trata-se então, convencionar que a redução de combustível que proporcionalmente reduzirá a emissão de gases poluentes, é hoje, com o sistema *slow steaming*, um dos maiores auxílios para a relação transporte marítimo e meio ambiente desejada por todos os armadores e clientes.

## 1.5 Motores de injeção eletrônica

Para completar estudos primordiais da redução de emissões de gases poluentes na atmosfera, além de criar-se e tornar-se de grande importância o sistema *slow steaming*, desenvolveu-se o método que impõe maior potência com menos ruídos, um controle que permite também a economia de combustível juntamente como já citado, menor emissão de poluentes, sem contar o fácil acesso para manutenção devido estruturas moduladas e montagens de bomba fora do cabeçote, um método que permite um gerenciamento eletrônico que aumenta a segurança e durabilidade do motor que hoje, denomina-se *Injeção Eletrônica* para motores Diesel.

Os motores Diesel sempre estiveram presente na área marítima para, principalmente, geração de energia devido sua potência e economia, com isso buscou-se desenvolvimentos inovadores de tecnologias como, alta pressão de injeção que visam além da redução de consumo a redução das emissões de poluentes.

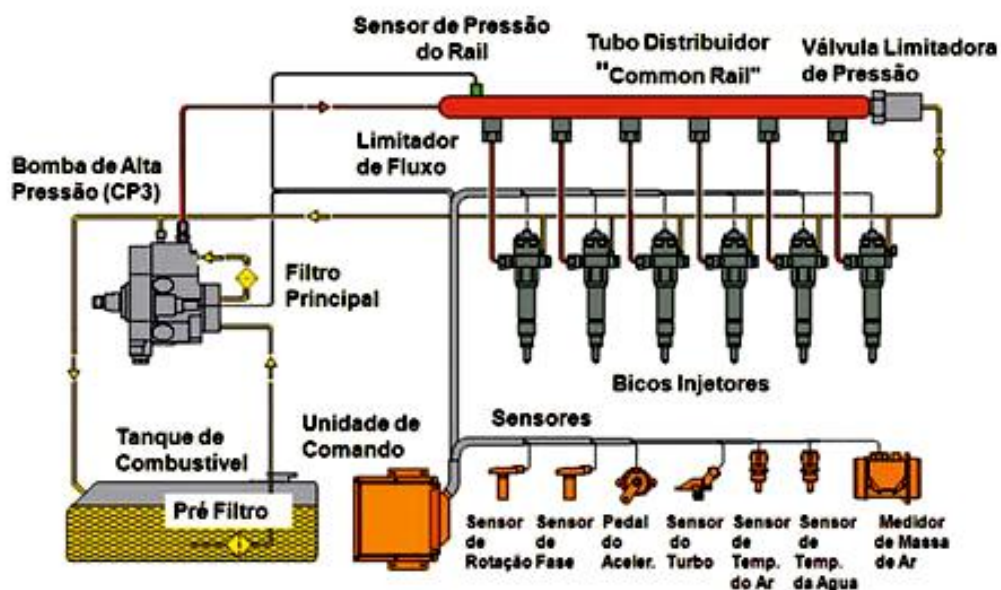
Motores modernos, equipados com sistema de injeção eletrônica de combustível apresentam características de melhoras da injeção resultando em menores depósitos de fuligem e menores chances de incrustações nos *turbocharges* e demais sistemas de exaustão. Seu principal objetivo é melhorar o rendimento do motor com mais economia, e para que isso seja possível, precisa ser injetada uma combinação de ar e combustível perfeita, em todas as faixas de rotação. Além disso, tem por função controlar a marcha lenta, o tempo de ignição e, em alguns casos, o comando das válvulas, conhecido como sistema *common rail*.

No sistema *common rail*, a injeção de combustível e a geração de pressão são separadas, significando que a bomba gera alta pressão disponível para todos os injetores através de um tubo distribuidor comum. Essa pode ser controlada independente da rotação do motor, o que é uma grande vantagem em operação de *slow steaming*. A pressão do combustível, do início ao fim da injeção é calculada pela unidade de comando com as informações obtidas de diversos sensores instalados no motor, realizando assim um melhor desempenho do motor.

Exemplificando, podemos dizer que partindo do sistema de alimentação de combustível pela bomba injetora, observamos que esta desempenha praticamente todas as funções que determinam a pressão necessária e a quantidade ideal para a combustão (na

maioria das vezes funcionamento totalmente mecânico), fornecendo combustível ao motor através dos bicos injetores sobre ação da pressão, que abre a passagem de uma determinada quantidade de combustível no momento em que o cilindro necessitar de “alimentação”.

Podemos entender melhor o funcionamento do sistema *common rail* através da imagem referente abaixo:



**Figura 1.1** – Sistema Common Rail de Injeção

**Fonte:** Visão Geral do Sistema Common Rail- Eduardo Calvacanti-17/03/2013

Passando a descrever o funcionamento, podemos dizer que os bicos injetores não estão ligados a uma bomba injetora através de um tubo para cada cilindro como descrito no sistema mecânico acima, estes estão acoplados a um único tubo ou galeria de combustível, semelhante aos sistemas de injeção multiponto para ciclo Otto.

Na imagem podemos perceber que a alta pressão é gerada por uma bomba (CP1 ou CP3, dependendo da aplicação) acoplada ao motor que fornece o combustível com a pressão necessária para o tubo e o injetor, apesar de abrir passagem ao combustível por pressão, isto só ocorre quando a unidade de comando determinar através de sinal elétrico.

A pressão de injeção do combustível pode variar independente da rotação do motor e da própria quantidade de combustível a ser fornecida para o motor nos seus diversos regimes de trabalho, podendo dizer que tanto a pressão como a quantidade de combustível são determinadas de forma independente pela unidade de comando onde esta recebe informações de diversos sensores, cada um com sua função específica.

Daí, o motor trabalha com consumo reduzido e otimizado e com seu melhor desempenho, resultando a baixas emissões de poluentes e baixo nível de ruído.

Sabendo que a eletrônica possibilita uma enorme gama de funções que podem proteger o motor no caso de pane durante a operação, ou falha no próprio sistema de injeção, onde será demonstrado em alertas no painel de instrumentos (indicação visual através de lâmpadas).

Sua unidade de comando recebe todas as informações através dos sensores que, dependendo da função e necessidade, aciona os atuadores (regulador de pressão de combustível e injetor) atendendo as exigências de motores Diesel.

Para esse novo sistema, a unidade necessita de informações bem específicas como rotação do motor (sensor de rotação), da massa de ar (medidor de massa de ar) no qual o motor está funcionando no momento, e o momento do ponto morto superior do cilindro #1 (um), para acionar os bicos injetores de forma correta (sensor de fase).

Para os mais diversos regimes de trabalho do motor, necessita-se um sensor de pressão para o controle de pressão de combustível no que origina o nome do sistema, o tubo distribuidor denominado *rail*, além de contar com outros variados sensores que trazem condições momentâneas para que haja melhor adequação na forma de trabalho dos atuadores.

Esse sistema vem sem apresentando sempre ao lado do sistema *slow steaming* por se adequar facilmente com menores resíduos poluentes ao meio ambiente, assim como o desempenho do motor ligado ao processo de manutenção, que também se torna reduzido. Em contextos posterior se mostrará algumas vantagens do sistema de injeção eletrônica e do sistema *slow steaming* e informa-se-há da relação conjunta e seus benefícios.

Algumas das grandes empresas da cabotagem, buscaram para sua frota implementar o sistema *slow steaming*, mas não deixaram de inovar e utilizam hoje, em conjunto com tal sistema, o sistema *common rail* (injeção eletrônica) de modo a desafiar a crise econômica mundial em relação aos altos custos de combustível, que neste caso se torna menor o consumo, assim como o desafio a proteção ao meio ambiente (menores emissões de CO<sub>2</sub>-gases poluentes).

## 2 *SLOW STEAMING* E SUAS CONSEQUÊNCIAS

### 2.1 Danos causados aos motores em regime *Slow Steaming*

Aos profissionais da área da marítima, assim como muitos conhecedores de manutenção de motores, sabe-se que qualquer embarcação projetada para um fim específico tem o intuito de executar uma tarefa em uma rota ou região conhecida com a maior eficiência possível, por isso os navios são projetados para seus armadores com intervalos de carga de máquina e velocidade desejadas, buscando disso a otimização da condição de projeto.

O sistema propulsivo de um navio mercante é formado basicamente por um propulsor, um motor de baixa rotação dois tempos (Motor de Combustão Principal- MCP), e o eixo propulsivo que faz a ligação motor-hélice.

Nos conhecidos MCP's, a faixa de operação é dividida em faixa de rotação crítica e faixa de rotação ótima. A faixa de rotação ótima é correspondente entre o intervalo de 70% à 80% da carga máxima disponível pelo motor conhecida no inglês como *Maximum Continuous Rating (MCR)*. Essa faixa ótima, como já dita, busca a eficiência do consumo de combustível, as especificações dos turbocarregadores, resfriadores, caldeira de recuperação, gases de exaustão, sistemas auxiliares e demais sistemas e equipamentos, todos escolhidos e otimizados para operarem dentro dessa faixa de carga, portanto, fazendo com que o motor trabalhe abaixo dessa carga, ou seja, de acordo com o sistema *slow steaming* o MCR diminui para menos de 60% de sua carga de projeto, e este juntamente todos os outros sistemas e equipamentos se tornaram equipamentos com rendimentos e otimização abaixo do que se é requerido ou projetado.

Serão demonstradas algumas falhas observadas nos motores com sistema *slow steaming* (motores Diesel dois tempos em baixa rotação) e seus componentes e equipamentos que são afetados nesse modo de operação, mas ante a isso, veremos quais os diferentes modos do sistema *slow steaming*.

### 2.2 Diferentes modos do *slow steaming*

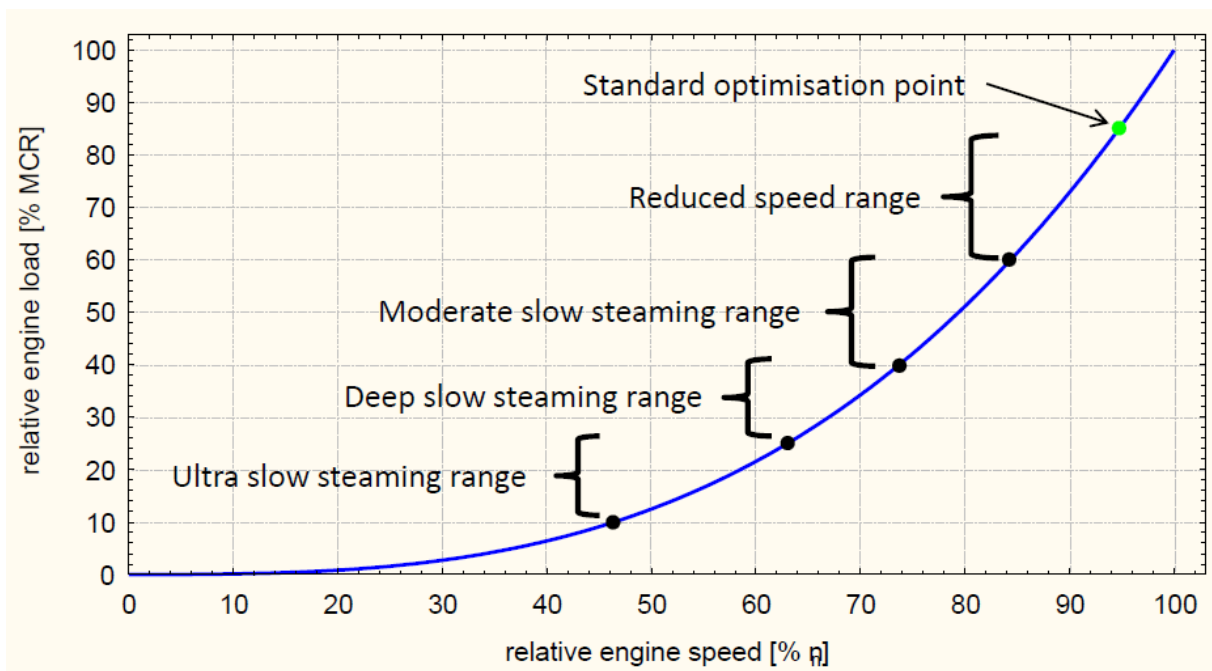
Como citado, o sistema interfere diretamente à carga do motor a qual esta interligada ao chamado MCR, portanto, nota-se que *slow steaming* possui variadas faixas que podem

interferir à manutenção e operação de motores na área naval, ou seja, ele possui diferentes modos que serão apresentados como:

**Baixo *slow steaming*:** Faixa de carga do motor principal abaixo do ponto de otimização de até aproximadamente 60 % de seu MCR. Este valor costuma-se considerar como o limite mínimo de operação de carga baixa contínua para não haver prejuízos maiores à eficiência de motores de grande porte.

**Moderado *slow steaming*:** onde os sopradores auxiliares (equipamento utilizado quando do motor não tem pressão de ar de lavagem suficiente criado por si e necessita além das turbinas, dos mesmos) ficam atuando por um limite de tempo, assim como a caldeira auxiliar pelo fato do motor operar a uma faixa de 60 à 40% de seu MCR.

#### DIFERENTES MODOS DE SLOW STEAMING



**Gráfico 2.1-** Diferentes modos de Slow Steaming

**Fonte:** Maritime University of Szczecin- Poland

Acima podemos demonstrar graficamente os diversos modos de *slow steaming*, deste a faixa de operação ótima de motores dos navios, ou seja, desde a faixa de rotação de projeto determinada e exigida pelos armadores, assim como as demais faixas de operação que classificam os modos do sistema implantado para a redução de combustível e baixa emissão

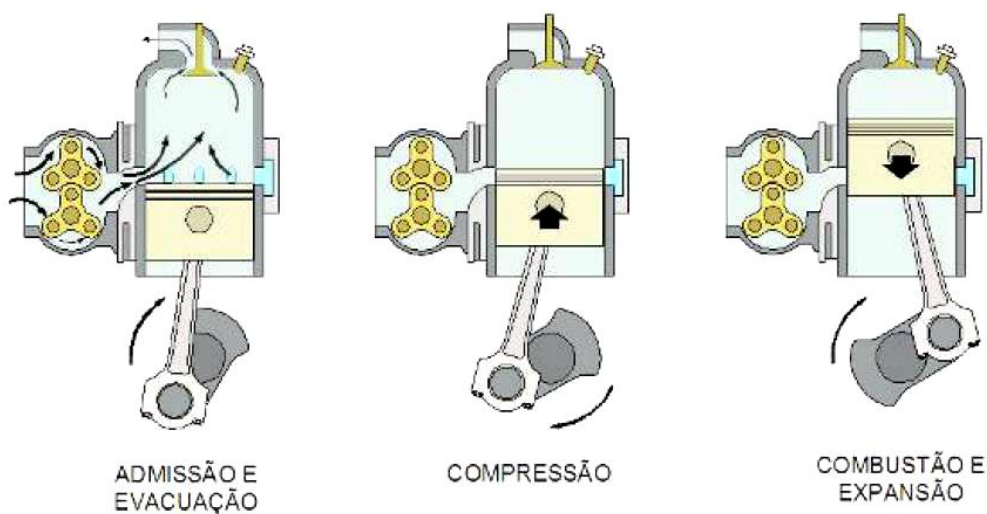


de CO<sub>2</sub> prejudicial ao meio ambiente que podem interferir em manutenções e eficiência do motor e demais equipamentos. Ainda podemos explicar:

**Médio *slow steaming*:** os sopradores e caldeira auxiliar estão em serviço frequentemente para impulsionar o baixo desempenho do economizador e variados equipamento relacionados à eficiência da navegação. Isso acontece pela carga alcançar valores de 40 à 20% do MCR.

**Ultra *slow steaming*:** esse determina faixas de carga inferiores a 20-25% do MCR podendo chegar até 10% do mesmo, causando assim, variadas falhas ou mesmo determinando diferentes manutenções intermediárias, das quais não são previstas pelos fabricantes.

O uso de baixas rotações permite a utilização de combustíveis pesado (*BUNKER*) e consequente redução de custos já que o mesmo é mais barato, porém como sabemos, trata-se de um motor com ciclo dois tempos, ou seja, um ciclo completa-se em apenas uma volta completa do eixo de manivelas- em dois cursos do pistão (em 180°, a admissão e compressão e em 180o a expansão e descarga). Temos ainda o ar de lavagem (ar utilizado para limpeza dos gases dentro do cilindro), ou seja, ar geralmente fornecido pelo turbo-compressor (turbinas) que penetra no cilindro através de janelas ou válvulas abertas e fechadas pelo próprio embolo durante seu movimento e os gases de exaustão, que são eliminados dos cilindros através de outras janelas ou válvulas. Sistema demonstrado abaixo:



**Figura 2.1-** Ciclo de Funcionamento motor Diesel 2 tempos

Fonte: Escola Nautica Infante Dom Henrique

### 2.3 Componentes sujeitos a falha no sistema *slow steaming*

Como a redução de carga do motor altera o regime de operação de todos os equipamentos e componentes do mesmo e seus sistemas auxiliares, observa-se que alguns desses componentes destacam-se para tal situação. Descreveremos então alguns deles.

**Camisa:** destinam-se a guiar os pistões do motor, são independentes do bloco do motor nesses casos de motores (maiores dimensões), o que permite sua substituição quando atinge valor máximo admissível do seu desgaste. No espaço entre a face exterior da camisa e o interior do bloco, há a circulação de fluidos de resfriamento.

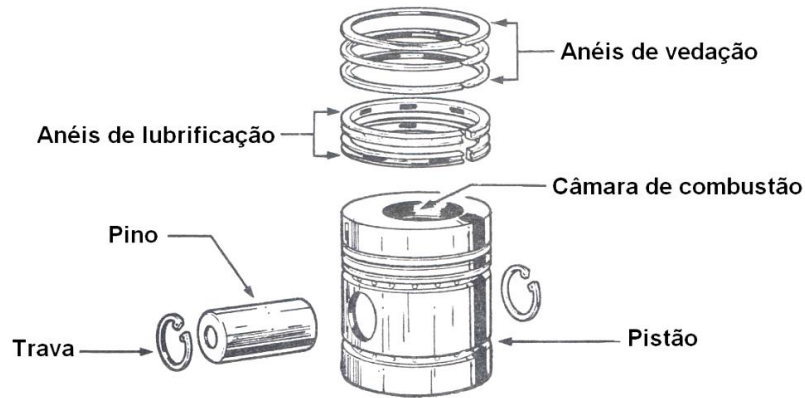


**Figura 2.2-** Camisa do cilindro e sistema de resfriamento da camisa  
**Fonte:** MAN B&W

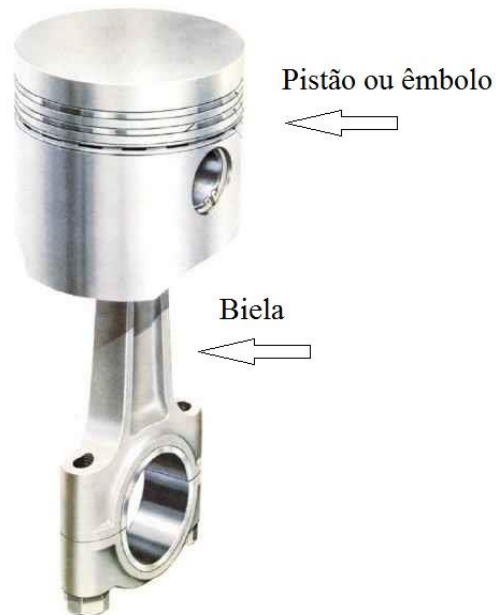
**Pistão (êmbolo):** parte do motor que recebe o movimento de expansão dos gases. Tem um formato cilíndrico e normalmente é feito de ligas de alumínio. É formado por dois tipos de anéis:

- Anéis de vedação – estão mais próximos da parte superior (cabeça) do pistão; e
- Anéis de lubrificação – localizados na parte inferior do pistão e têm a finalidade de lubrificar as paredes do cilindro.

Os pistões são peças que se movimentam verticalmente dentro do cilindro, e é o componente responsável pelo recebimento da potência proveniente da queima na câmara de combustão. Estes transmitem a energia em forma de movimento para o eixo de manivelas através das bielas.



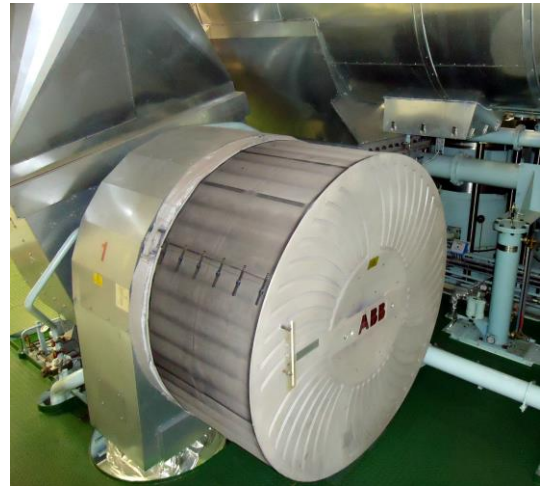
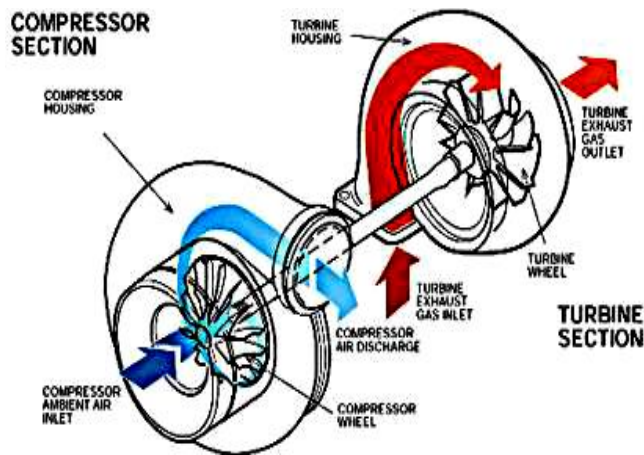
**Figura 2.3-** Partes do Pistão  
**Fonte:** UFPEL- Motores de Combustão Interna- pg 07



**Figura 2.4-** Pistão Motores Diesel  
**Fonte:** Componentes Motor de combustão Interna- 09Set2014  
 Silva, Marcos R

**Turbocharges – turbo compressores:** componentes que garantem o aumento da massa de ar para dentro do cilindro, aumentando a potência gerada na combustão através dos gases de exaustão que giram as pás da turbina que está fixada a um mesmo eixo de um compressor rotativo. O ar é aspirado da praça de máquinas e comprimido pelo movimento da turbina, e por conta da compressão, sua temperatura se eleva. Esse ar pressurizado é resfriado através da passagem em um resfriador (air cooler), que reduz sua temperatura e aumenta sua massa específica, para então ser injetado como ar de lavagem dentro do cilindro.

### TURBOCHARGER



**Figura 2.5-** Turbocharger

Fonte: UFRJ- Oceânica

Fonte: Navio Santa Rita- Hamburg Süd

**Soprador auxiliares ( Auxiliary Blowers):** o motor precisa ser abastecido com ar quando começa a operar em baixas velocidades, para isso, se faz necessária a utilização de um soprador auxiliar alimentado por um motor elétrico. Os auxiliary blower devem se desligar automaticamente quando o volume de ar fornecido pelos turbochargers citado anteriormente, for suficiente para o suprimento de ar para o motor.

A figura abaixo representa um soprador auxiliar acoplado ao seu motor elétrico para exercer sua função.



**Figura 2.6-** Auxiliary Blower  
**Fonte:** Marine Diesel Engine- Man B&W

**Caldeiras de Geração de Vapor:** para o aquecimento de tanques de combustível, de água e demais equipamentos da praça de máquinas utilizam-se da produção de vapor que pode ser adquirida pela operação das caldeiras de recuperação dos gases de exaustão ou ainda por caldeiras auxiliares (esta só entra em operação quando a geração de vapor não é suficientemente suprida pela caldeira de recuperação e utiliza da queima de combustível).



**Figura 2.7-** Caldeira de Geração de Vapor de Processo Industrial  
**Fonte:** Planta Industrial

Esses equipamentos demonstrados tratam unicamente dos principais afetados quando o navio navega em baixa rotação, entretanto, podemos dizer que os motores Diesel podem operar de três modos diferentes com o sistema *slow steaming* diferenciando-se pelo uso da caldeira auxiliar e do soprador auxiliar em especial.

Quando se opera em *slow steaming*, os armadores instruem a navegação com a rotação mais baixa possível para um maior consumo, porém de modo que a caldeira de recuperação de gases consiga suprir a demanda de geração de vapor e não seja necessária a utilização dos sopradores auxiliares a fim de evitar gastos com combustível pela caldeira auxiliar e de manutenção dos sopradores que funcionariam constantemente.

Os modos mais adequados para navegação com o sistema *slow steaming* seriam:

- Com a caldeira auxiliar e soprador auxiliar desligados, de forma que toda necessidade de vapor seja suprida pelas caldeiras de recuperação dos gases provenientes da exaustão; e o turbocharger deve garantir toda a demanda de ar de lavagem para os cilindros.
- Operação contínua de caldeira auxiliar e sopradores auxiliares desligados, onde o vapor é produzido pelas caldeiras de recuperação e pelas caldeiras auxiliares e o turbocharger é responsável pelo suprimento da demanda de ar para o motor.
- Caldeira auxiliar operando continuamente e soprador auxiliar também funcionando- não é um dos métodos mais eficientes e viáveis para o armador. A demanda do vapor é suprida pela operação contínua das caldeiras auxiliares devido à redução das temperaturas provenientes dos gases de exaustão devido à baixa carga e baixa rotação, proporcionando também o uso contínuo dos sopradores auxiliares devidos os turbochargers não conseguirem suprir a demanda de suprimento de ar (baixa entalpia dos gases de exaustão).

Desse contexto podemos levar em consideração vários fatores de caráter de operação e operador, ou seja, com o sistema sendo utilizado continuamente como exemplo, os sopradores, podemos dizer que os mesmos apresentarão maiores horas de funcionamento e consequentemente as inspeções e manutenções deverão ser realizadas anteriores ao tempo

determinado ou previsto pelo armador havendo assim, maiores custos relacionados às peças de reposição (sobressalente).

## **2.4 Principais falhas decorrentes do *slow steaming***

Como a redução de carga para aplicação do sistema *slow steaming* implica em diferentes sistemas e parâmetros procedentes de ordem de projeto, pode-se observar que existem desgastes e falhas operacionais frequentes, muitas vezes preocupantes a chefes de máquinas, mesmo em motores onde o fabricante determinou que pudessem operar com segurança em faixas de operação entre 10% e 100% de seu MCR.

Essas ocorrências observadas devido à operação contínua em carga reduzida estarão apresentadas em tópicos listados abaixo.

### **2.4.1 Consumo e dosagem de óleo de cilindro**

Nos navios modernos hoje, o sistema de dosagem de óleo de cilindro e a quantidade de seu consumo, estão diretamente ligados à carga do motor. A expectativa mostra que o consumo de óleo reduzira após a operação em baixa rotação do sistema, porém houve um acúmulo de óleo lubrificante observado nos cilindros de alguns navios (estudados por alguns fabricantes), assim como a formação de uma superfície abrasiva nos anéis de segmento dos pistões (desgastes).

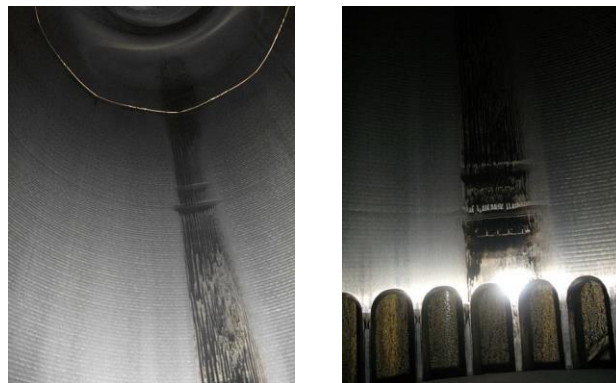
O óleo não queimado flui para baixo dos anéis (saia do pistão), formando um “lodo escuro”, prejudicando assim a eficiência do cilindro e conseqüentemente formação de incrustações em partes do turbocharger e pás das turbinas. Este óleo pode acumular-se no coletor de escape levando a um risco de incêndio e um aumento descontrolado da velocidade do turbocharger, podendo danificar a um ponto que comprometa sua utilização. Deste fato fabricantes informam que, para evitar risco de incêndio, recomenda-se utilizar carga plena do motor por pelo menos 30 minutos ao dia (ou uma hora) quando o navio opera em *slow steaming* pelo menos duas vezes na semana, para ajudar a espalhar todo esse acúmulo de óleo formado.



**Figura 2.8-** Acúmulo de óleo e incrustações formadas pelo excesso de óleo lubrificante  
**Fonte:** Maritime University of Szczecin Poland

#### 2.4.2 Desgastes da camisa do cilindro

Para evitar o acúmulo de óleo de cilindro citado anteriormente, reduz-se a lubrificação, sendo assim, considerando a redução da velocidade do pistão e a redução de óleo lubrificante, fica mais difícil do mesmo exercer sua função de proteção com a película formada entre as partes dos anéis do pistão e a camisa, aumentando o atrito e gerando o desgaste.



**Figura 2.9-** Desgaste da camisa  
**Fonte:** Maritime University of Szczecin Poland

#### 2.4.3 Redução do fluxo de ar de lavagem

Como os motores apresentam-se operando em baixa carga quando comparada à carga de projeto, os turbochargers também funcionam em faixas de operação inferiores, e com isso há uma queda na produção de fluxo de ar injetado para dentro do cilindro, conhecido como ar



de lavagem. Essa redução implica em uma combustão pobre levando ao acúmulo de depósitos de particulados assim como um aumento na temperatura dos gases de exaustão comprometendo os componentes envolvidos na máquina.

#### 2.4.4 Incrustações nos sistemas de exaustão e turbinas

A fuligem acumula-se nas superfícies dos sistemas de exaustão e turbinas devidos problemas associados à má injeção de combustível (atomização), e como visto anteriormente, o que pode causar essa combustão pobre, é a redução do fluxo de ar de lavagem.

As turbinas necessitam de sua lavagem para retirada dessa fuligem, esta lavagem refere-se a uma manutenção que pode ser realizada somente com o motor em 70% a 85% do seu MCR, daí outra informação que demonstra que pelo menos de 30 minutos à 1 hora por pelo menos cada dois dias, deve-se colocar a rotação de projeto no navio em operação, assim diversas manutenções e conduções diárias podem ser realizadas.

Outra forma de se manter em excelente condição de injeção em baixa carga, já citada, é com os modernos motores equipados com sistema de injeção eletrônica, mais conhecido como sistema *common rail*, onde este tem controle flexível das válvulas dos gases de exaustão e apresentam características melhoras de injeção resultando em menores quantidades de depósitos de fuligem e menores índices de incrustações nas turbinas e sistemas de exaustão.



**Figura 2.10-** Incrustações e lavagem da turbina  
**Fonte:** Maritime University of Szczecin Poland

#### 2.4.5 Baixa temperatura de corrosão

A baixa temperatura de corrosão, também denominada corrosão à frio, se dá pelo fato de que a medida que a temperatura dos componentes do motor for diminuindo devido o

suprimento de ar de lavagem ser mantido, vai aumentando-se a probabilidade de formação de ácido sulfúrico, o qual se dá pelo fato de que o enxofre presente nos óleos (lubrificante e bunker), é queimado na câmara de combustão formando os óxidos de enxofre que reagem com o vapor d'água. O condensado do vapor d'água formado ataca as superfícies metálicas das camisas, economizador e válvulas, entre outros componentes.

#### 2.4.6 Sopradores Auxiliares

Os sopradores auxiliares, também chamados auxiliary blowers, devem estar operando somente quando da partida do motor, necessariamente para abastecimento de ar para realização da combustão já que, os turbochargers (turbinas) não estão com ar suficiente para direcionar o cilindro.

Com a operação contínua do motor em *slow steaming*, o volume dos gases de descarga é reduzido e então se necessita, além dos turbochargers, dos sopradores auxiliares para, como o nome já diz, auxiliar nesse volume. Esses sopradores devem desligar-se automaticamente, quando o motor atinge aproximadamente 40% do seu MCR ou quando a pressão de ar de lavagem atingir a faixa mínima para operação somente com as turbinas, porém alguns problemas podem ser causados devido uso contínuo, anormal para tal equipamento, tais como:

- O motor elétrico necessitará de manutenções anteriores às previstas por estar em constante uso já que não foi designado e construído para tal ação;
- Poderá acontecer de, ter que deixar o soprador na condição manual devido condições adversas do tempo que interferem na carga do motor e conseqüentemente na utilização das turbinas necessitando assim de um condutor constante na praça de máquinas;

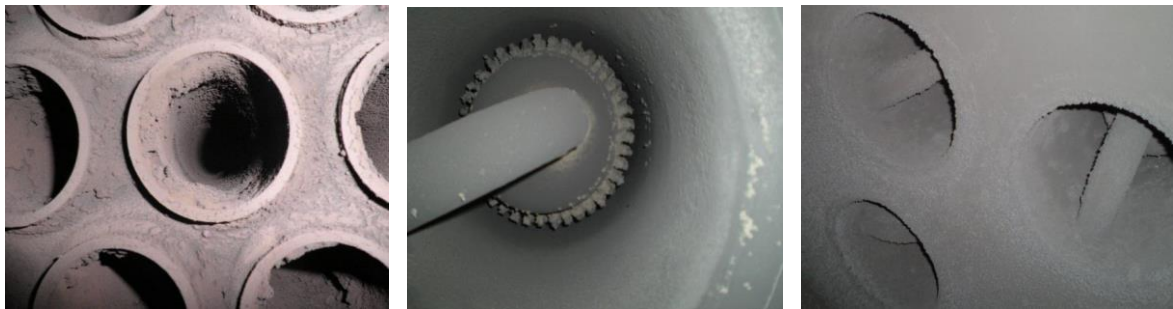
Isso quer dizer que com o aumento do tempo de funcionamento dos sopradores auxiliares, não previsto na fase de projeto, foi identificado um grande histórico de falhas e avarias em tal equipamento e demais componentes dos navios.

#### 2.4.7 Contaminação da Caldeira de Recuperação

Como já mencionado anteriormente, com o sistema de *slow steaming*, a combustão tende a ser pobre em ar, atingindo a qualidade dos gases de exaustão e isso compromete o desempenho e funcionamento da caldeira de recuperação de gases de exaustão, assim como sua vida útil.

A causa disso é que a redução do fluxo de gás de exaustão implica em uma grande redução da velocidade desse gás que entra na caldeira acarretando a formação de fuligem e uma transferência de calor deficiente e seu consequente declínio na geração de vapor.

Abaixo podemos notar alguns pontos da caldeira de recuperação onde houve formação de fuligem:



**Figura 2.11-** Fuligem no interior da caldeira de recuperação

**Fonte:** Maritime University of Szczecin Poland

#### 2.4.8 Incrustações e desempenho

O casco do navio é revestido com uma pintura que tem a função de evitar a formação de incrustações quando navegando a uma faixa específica de sua velocidade, porém quando este navega com o sistema *slow steaming* em operação por um período muito longo, essa tinta protetora não tem o mesmo efeito de seu desempenho causando assim a formação de incrustações no casco, assim ocorre também com o propulsor, o qual tende a ser mais vulnerável a esse tipo de problema. Toda essa descrição nos leva a uma única conclusão, o desempenho do navio em geral será reduzido.

Para que isso seja evitado, deve-se ter uma manutenção preventiva (rotina) de inspeções subaquáticas, assim como a limpeza do casco e seu propulsor.



**Figura 2.12-** Casco do navio com incrustações  
**Fonte:** Maritime University of Szczecin Poland

### 3 IMPACTOS DO SISTEMA SLOW STEAMING

#### 3.1 Vantagens e desvantagens do *slow steaming*

O sistema *slow steaming* tornou-se uma forma amplamente utilizada para a redução de custos no transporte marítimo e foi facilmente aceito por principais construtores de motores e armadores de grandes frotas da navegação. No entanto...

- Os operadores de navios tem que entender que a manutenção exigida será adicional à manutenção normal de operação.
- Algumas das manutenções requerem uma atracação prolongada, ou ainda um tempo maior no porto do que o previsto pelos navios, principalmente porta contêineres os quais são os tipos de navios que apresentam rápidos processos de carga e descarga, passando um menor tempo atracado.
- Necessitará de boa cooperação entre afretador, operador técnico e uma equipe bem treinada para a manutenção programada preventiva e a manutenção que virá anteriores às previstas, podendo assim, ter custos adicionais com mão de obra extra para realização de todos os serviços relacionados juntamente com o serviço padrão do navio.

Apesar de algumas desvantagens citadas durante todo contexto do assunto, pode-se dizer que o sistema *slow steaming* tem sobressaltadas, suas vantagens e, hoje tem sido um dos métodos mais utilizados para redução de gases poluentes, mas não deixamos de citar o sistema conhecido como *commom rail*, ou denominado no nosso português, o sistema de injeção eletrônica de motores Diesel, que também possui suas vantagens e poderão ser descritas.

#### 3.2 Vantagens do sistema de injeção eletrônica

A injeção eletrônica tem se tornado tão conhecida como o sistema operado com carga reduzida- *slow steaming*, por apresentar-se bem disposto inicialmente e dar um grande avanço com a sua tecnologia, aperfeiçoando vários critérios da navegação em pouco tempo. A seguir estão relacionados alguns benefícios proporcionados pela injeção eletrônica:

- Menores emissões de gases poluentes, tendo o motor em perfeito funcionamento e aproveitamento do combustível, o qual se reduzirá a sobra do mesmo a ser liberada.
- Rápidas partidas, devido eficiência da injeção dos bicos atomizadores;
- Eficiência do consumo de combustível, tendo melhor aproveitamento do mesmo;
- Maior economia, pois será injetada somente a quantidade necessária de combustível para a queima completa e eficiente;
- Melhor rendimento do motor, pois receberá o volume de combustível que realmente necessita para o seu perfeito funcionamento, evitando entupimento dos bicos.
- As peças de reparo são as mesmas que para os motores mecânicos e as ferramentas de reparação no resto das partes também, só mudam as necessárias para o sistema de injeção.
- Este design é convincente por causa de seu consumo de combustível muito favorável e específico - com uma taxa de eficiência de mais de 50% (cinquenta por cento), os motores de funcionamento lento à diesel são os melhores motores térmicos. Eles garantem, também, baixos custos de manutenção e alta confiabilidade.
- O tempo de injeção e a quantidade de combustível podem ser calculados para cada cilindro individual, e o combustível é injetado através de comutação rápida de válvulas solenóide. O combustível de altíssima pressão (cerca de 700 bar) alimenta eletronicamente as válvulas do injetor a partir de um acumulador de pressão comum. Um sistema de injeção convencional, por outro lado, gera novamente a pressão necessária para cada evento de injeção, mas nem sempre atinge a combustão ideal, especialmente quando a velocidade do motor é baixa.
- O diagnóstico de falhas é realizado por meio de ferramentas eletrônicas, que analisam todo o sistema eletroeletrônico, e o condutor deve ficar atento às luzes indicadoras de anomalias no painel de instrumentos. Um dispositivo de proteção permite que o navio chegue a um local para reparo sem comprometer seriamente o conjunto.
- Os sintomas que indicam avarias no sistema são falta de potência e torque, consumo elevado de combustível, falha de funcionamento do motor, excesso

de fumaça, cilindro com mau funcionamento devido a um injetor danificado, entre outros que podem ser facilmente controlado e verificados pelo condutor.

Então reconhecemos que para determinar a viabilidade do *slow steaming* ou ainda de *motores de injeção eletrônica*, devemos reconhecer o custo da adição de novos navios para um serviço de maior demora ao cumprimento de chegada nos portos para entrega da carga, bem como o aumento de estoques de sobressalentes e custos para carregadores e operacionais que variam com base do numero de navios e de suas determinadas características.

Analisado em um intervalo de tempo, como por exemplo, de um ano, quando o navio reduz sua velocidade, ele apresenta grandes economias de combustível pelo motor principal, em compensação, ele demora mais tempo navegando e não consegue transportar toda a carga que transportaria quando em sua velocidade de projeto, solucionando somente com o transporte dessa carga com outras embarcações, obrigando armadores ao afretamento de navios do mercado para suprir a demanda logística do transporte. Com essa análise, deve-se avaliar se os ganhos obtidos pela economia de combustível compensam os gastos extras com o afretamento de outros navios, os possíveis aumentos com custo de manutenção quando o navio opera em carga reduzida, e o consumo de bunker, caso o navio opere em cargas muito reduzidas, havendo a necessidade de funcionamento das caldeiras e sopradoras auxiliares e por ultimo, tem em relevância que, reduzindo a velocidade, reduz-se o numero de viagens em um ano, diminuindo assim os gastos portuários como já citado no inicio. Caso a economia de combustível supere todos os demais gastos (desde equipamentos principais- MCP, como auxiliares), a prática do sistema *slow steaming* realmente deve ser aplicada.

## 4 POLUENTES DO MEIO MARITIMO

### 4.1 Caminho para qualidade ambiental

O caminho para uma melhor qualidade de vida passa pela valorização do ambiente natural que usufruímos o que, necessariamente, implica numa revisão dos nossos procedimentos ou postura com relação à natureza, o que poderia ser considerado um processo de reeducação ambiental, nela incluída a consciência dos valores naturais e da necessidade de seu uso adequado.

Todos sabem que o transporte marítimo tem grande importância para importação e exportação de produtos e conseqüentemente, é de grande valor para o crescimento financeiro mundial, mas a estudo de Brasil, podemos dizer que a redução de gases poluentes diretamente ligados aos sistemas de transporte marítimo auxilia, além de financeiramente, a uma postura significativa de avanços sobre questões ambientais para os países que estão diretamente ligados aos consumos de nosso trabalho.

A indústria de transporte global enfrenta atualmente um excesso de oferta de navios o que cria uma oportunidade única para utilizar o sistema *slow steaming* a fim de adequar à demanda do caminho correto para emissões mais baixas de poluentes.

As reduções de emissões provavelmente exigem um número grande de diferentes medidas a tomar. Aumentar a eficiência operacional da frota (em termos de emissões por tonelada de milhas navegadas) é uma categoria de medidas, além de outras que incluiriam conceitos de novos navios, novos cascos e projetos de superestrutura, a melhoria da potencia e sistemas de propulsão, combustíveis de baixo carbono (mais caros), o uso de fontes de energia renováveis como eólica, a gestão de frotas, otimização de viagens entre varias outras.

Estudos demonstram que uma redução de 10% na velocidade correspondente, há uma diminuição de emissões de cerca de 27% por unidade de tempo ou 19% por unidade de distância . Na realidade, a redução das emissões será um pouco superior a 19% por unidade de distância pelo fato dos navios navegarem apenas uma parte do seu tempo em sua velocidade ideal (velocidade de projeto).



Como regra geral, a potência do motor é relacionada para enviar velocidade por uma função de potência. Isto significa como já dito anteriormente, que uma redução de 10% na velocidade resulta numa redução de aproximadamente 27 % nos requisitos de potência, no entanto, um navio 10% mais lento vai usar cerca de 11% mais tempo para cobrir uma certa distância. Se este é levado em conta, uma nova regra pode ser elaborada afirmando que, por tonelada milhas, existe uma relação quadrática entre a velocidade e consumo de combustível, de modo que uma diminuição de 10 % na velocidade vai resultar em uma redução de 19 % na potência do motor. No entanto, esta regra tem uma aplicabilidade limitada, devido ao fato de que o consumo específico de combustível dos motores (isto é, a quantidade de combustível utilizado para gerar um kWh de energia) varia fortemente com a carga do motor.

Isso evidencia que armadores sabendo usufruir de tais condições, podem muito contribuir para auxiliar na redução de emissões de gases poluentes responsáveis principalmente pelo efeito estufa do nosso planeta.

## **4.2 Gases emitidos e resultados positivos**

Os gases emitidos por navios podem ser classificados em várias categorias, dentre elas, a que contribui diretamente para o aquecimento global conhecida como *GHG (Green House Gases)*, incluindo o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), entre diversos outros que não se necessita citarem.

Em 1997, em Kyoto, a UNFCCC (*United Nations Framework Conference on Climate Change – Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*) designou a IMO (*Agência especializada das Nações Unidas responsável pela Proteção e Segurança da Navegação e Prevenção da Poluição Marítima por Navios*), o órgão responsável por regular as emissões de poluentes provenientes da área marítima, entretanto esse processo foi lento e somente em 2008, o MPEC (*Marine Environment Protection Committee – Comitê de Proteção do Meio Marinho*) aprovou alterações aos regulamentos *MARPOL Anexo VI*, que tratam das emissões de SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>. Enfim, a era da “não regulamentação” para GHGs chegou ao fim em julho de 2011, quando, depois de vários debates, foi adotado o EEDI (*Energy Efficiency Design Index – Índice de Eficiência Energética de Projeto*) para novos navios.

Entre os gases descritos, causadores de poluição e principais contribuintes para mudanças climáticas (temperatura ambiental em maior escala), estão os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), compostos orgânicos não voláteis (NMVOC) além de materiais particulados (PM) presentes nos gases resultantes da queima do combustível usado nos motores marítimos da categoria 3, ou seja, aqueles usados na propulsão de navios oceânicos, que variam de 3.000 a 100.000 HP para a potência do motor principal.

A quantidade de SO<sub>x</sub> e PM dependem da porcentagem de enxofre no combustível conhecido como Bunker, já a redução desses gases podem ser dados com o uso de combustível destilado- diesel por exemplo- no lugar do Bunker- óleo pesado. Há um método conhecido como scrubber, ou seja, limpeza dos gases de descarga com lavagem pela água do mar, que é capaz de reduzir o SO<sub>x</sub> em até 99%, o NO<sub>x</sub> em 5% e o PM em 80%, porém para a utilização do mesmo, haverá a necessidade de prescrever critérios para descarga dessa água utilizada a fim de evitar com ela a poluição do mar.

Elevadas concentrações desses poluentes advindos da atividade marítima é uma das principais causas da baixa qualidade do ar que não afeta somente o ser humano, mas também toda a natureza. A toxidez do ar, provocada por estes agentes, ocasiona destruição de florestas, fortes chuvas que provocam erosão do solo e o entupimento dos rios, e um aumento da proporção desses gases na atmosfera pode ocasionar um aquecimento da superfície terrestre, o chamado aquecimento global, provocando assim o derretimento do gelo existente nas zonas polares (calotas polares) e conseqüentemente, o nível do mar irá subir, inundando a maioria das cidades litorâneas.

Para tentar-se reduzir esses impactos da poluição atmosférica no meio ambiente (que afeta tanto o ambiente marítimo como o terrestre), evitando um maior aquecimento global, devemos criar uma rigorosa legislação antipoluição e armadores podem contribuir iniciando com o passo mais fácil a ser seguido, a redução de carga- slow steaming- que seria o ponto de partida já que a troca de uma frota toda ou de poucos navios, em época de crise econômica brasileira, seria de alto custo e de mais difícil acesso a todos, e o sistema implantado pode sim ser atribuído sem maiores custos (em evidente sem considerar ter que suprir a carga que tendera mais tempo à sua chegada no porto).

### 4.3 Exemplo de slow steaming em embarcações

Temos como solução tomada por alguns armadores de grandes empresas, em especial a contêiner, alguns exemplos das relações: consumo de combustível pelo tamanho do navio e velocidade de projeto. Por exemplo, enquanto um navio de contêiner de cerca de 8.000 TEU (unidade de medida padrão para containerização) consumiria cerca de 225 toneladas de combustível por dia a 24 nós, a 21 nós esse mesmo consumo cairia para cerca de 150 toneladas (cerca de 33%), porém enquanto as companhias de navegação preferem consumir a menor quantidade de combustível através da adoção do sistema *slow steaming* (baixas velocidades), tem-se que analisar se as vantagens vão ser atenuadas com o tempo de entrega mais longos. Bem como a atribuição de mais navios em um serviço para manter a mesma frequência de entregas e janelas nos portos.

As principais classes de velocidades dos navios são:

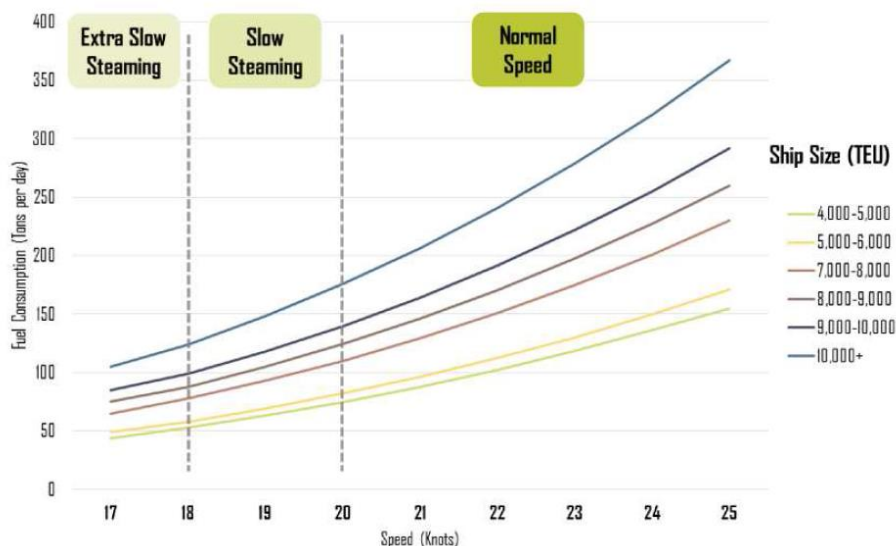
- Normal (20-25 nós; 37,0-46,3 km / h). Representa a velocidade de projeto para as quais a embarcação e seu motor foi fabricado para se navegar. Ele também reflete os limites hidrodinâmicos do casco para executar dentro de níveis aceitáveis de consumo de combustível. A maioria das embarcações contêineras é projetada para se deslocar em velocidades média de 24 nós.

- Média velocidade (18-20 nós; 33,3-37,0 km / h). Podem-se ter motores de navios abaixo da capacidade para economizar o consumo de combustível, mas há um custo de um tempo de viagem adicional, especialmente em longas distâncias. Esta é susceptível de se tornar a velocidade operacional dominante como mais de 50% da capacidade de transporte de contêineres global estava operando sob tais condições a partir de 2011.

- Baixa velocidade (15-18 nós; 27,8-33,3 km / h). Também conhecida como velocidade econômica ou eco speed. Uma diminuição substancial na velocidade para o fim de atingir um nível mínimo de consumo de combustível, enquanto ainda mantém um serviço comercial. Pode ser aplicado em rotas específicas de curta distância.

- Custos mínimo – Super eco speed- (12-15 nós; 22,2-27,8 km / h). A velocidade mais baixa tecnicamente possível, uma vez que velocidades mais baixas não levam a qualquer economia de combustível adicional significativo. O nível de serviço é, no entanto

comercialmente inaceitável, por isso é pouco provável que as empresas de transporte marítimo adotassem essas velocidades, mas devidos a grandes fatores ambientais embutidos aos fatores economicos, hoje, armadores e clientes não se veêm seperados desse sistema.



**Gráfico 4.1-** Adaptado de Notteboom, T. And P. Carriou (2009) “Fuel surcharge practices of container shipping lines.”

**Fonte:** Proceedings of the 2009 International Association of Maritime Economists (IAME)

Portanto se torna claro que, não somente para contêineiros, mas para as mais variadas embarcações, uma das melhores formas de se reduzir combustível é a redução de sua velocidade de projeto (dentro de limites estabelecidos), de forma que não interfiram em problemáticas excessivas relacionadas às manutenções ou que interfiram em outros meios que, ao invés de se tornarem vantagens, se tornem desconfortos aos armadores e afretadores das embarcações envolvendo economias e assim, podendo prejudicar clientes e ao fim de tudo, a grande população, que muito depende desse meio de transporte para area comercial.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução de velocidade ou, o sistema denominado *slow steaming* foi adotado pela comunidade marítima desde 2007 com um foco crescente. Os motores foram construídos para funcionarem constantemente a plena carga o que, com tal aquisição do sistema, não tem sido tipicamente o padrão operacional recente, constituindo de desafios para os operadores a fim de maximizar o rendimento e a competitividade de acordo com este novo mercado.

Os custos de combustível é o fator primordial para adoção de tal sistema para quem não tem implantado a modernização de motores com sistemas de injeção eletrônica que também proporcionam além de custos de redução de combustível e de óleo lubrificante, aumentam o desempenho dos motores.

Menor consumo de combustível significa menores emissões de poluentes, um efeito positivo em um mundo onde as normas ambientais estão cada vez mais rigorosas.

Há uma diferença significativa na abordagem a esta questão por aqueles que já utilizam do sistema à sua rota de navegação em relação àqueles que ainda não, pois estes apresentam maiores conformidades ambientais, investindo em soluções que inicialmente podem trazer certos desconfortos a todos que estão diretamente ligados, como tripulantes e gerentes técnicos das embarcações, assim como armadores podendo atingir até mesmo fabricantes de equipamentos e motores, aumentando os custos, mas que, com estas determinações, conseguirá ver as vantagens com um tempo de retorno rápido.

*“É melhor planejar agora uma estratégia avançada, prática, com que se possa trabalhar, do que esperar pela inevitável imposição súbita no futuro de legislação ambiental mais exigente”.*

*“O mundo está mudando e é responsabilidade da indústria marítima mudar com ele ou, então, a navegação começará a ser ultrapassada por outros modais de transporte que se prepararam melhor para os desafios do futuro.”*

Ministro dos Transportes do Reino Unido, Dr. Stephan Ladyman  
“Ship Management International”, nº 6, Março-Abril 2007

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- **IMO. Convenção SOLAS** – Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar. Londres, 1974/1988. Emendada em jul. 2014. Tradução de CCA-IMO. Disponível em: < <https://www.ccaimo.mar.mil.br/sites/default/files/SOLAS.pdf> >. Acesso em: 07 de Abril de 2015.
- 2- **BRANDÃO, Fernanda Dias. Avaliação de Impactos Econômicos e Operacionais em Regime SLOW STEAMING-** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Setembro/2013
- 3- **DA SILVA, Yuri Carvalho Torres. Análise Econômica de um navio em SLOW STEAMING-** Universidade Federal do Rio de Janeiro -Fevereiro/2014
- 4- **CONPENHAGEN, Blue Business & Shipping Conference-2014** Disponível em: <<http://www.staff.dtu.dk/kontova/Publicationskontova@transport.dtu.dk>> Acesso em: 06 Abril 2015
- 5- **SARDINHA, Alvaro- Poluição e o Transporte Marítimo.** Coleção Mar Fundamental-LISBOA, Junho/2013
- 6- **JORGENSEN, R. Maersk –SLOW STEAMING - the full story.** Disponível em: <<http://www.maersk.com/Innovation/WorkingWithInnovation/Documents/Slow%20Steaming%20-%20the%20full%20story.pdf>>. Acesso em: Abril 2013.
- 7- **GERDES, J. SLOW STEAMING - Technical Challenges and Solution.** Wärtisilä Services. 2012
- 8- **OPERATION: SLOW STEAMING Marine Diesels.** Disponível em: <<http://www.marinediesels.info/>>. Acesso em: Abril 2015.
- 9- **CRS (Sistema Common Rail). Bosh.** Disponível em: <<http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/diesel/crs.htm>>. Acesso em: Abril 2015.
- 10- **PSARAFTIS, H. N.; KONTOVAS, C. A., Speed models for energy-efficient maritime transportation: A taxonomy and survey.** Transportation Research Part C, pp. 331-351, 2013.
- 11- **PSARAFTIS, H. N.; KONTOVAS, C. A., CO2 Emissions statistics for the world commercial fleet.** Elint Conference, Novembro de 2008.
- 12- **HAMBURG SUD GROUP, Sustentabilidade, Ecologia e Tecnologia do Navio, Common Rail,** Disponível em : <<http://www.hamburgsued.com/group/pt/corporatehome/qualityenvironment/ecology/shiptechnology/commonrail/commonrail.html>> Acessado em: 20/04/2015
- 13- **NOTTEBOOM, T. and P. CARRIOU (2009) "Fuel surcharge practices of container shipping lines: Is it about cost recovery or revenue making?"**. Proceedings of the 2009

International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, **June**, Copenhagen, Denmark. Acessado em: 24/ Maio/ 15 . Disponível em [http://www.people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/fuel\\_consumption\\_contai](http://www.people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch8en/conc8en/fuel_consumption_contai)

14- **COLLYER, UNIVERSIDADE PETROBRÁS- *Gestão do Conhecimento- Somar para Multiplicar***, Mercado de Bunker, Analista de Comercialização e Logística Pleno.

15- **PETERSEN, P. Dan and GROUP MARKETING – *Slow Steaming Pratices in the Global Shipping Industries-*** Man Diesel e Turbo- Disponível em: [www.mandieselturbo.com](http://www.mandieselturbo.com). Acessado em: 27/Abril/2015

16- **JENSEN, M. C.; JAKOBSEN, S. B. *Low Load Operation*** - Service Letter SL11-544/MTS. MAN Diesel & Turbo. Copenhagen SV. 201

17- **TAYLOR, D. A. *Introduction to Marine Engineering***. 2<sup>a</sup>. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. Único, 1996.

18- **MEYER, J; Stahlbock, R.; Voss, S., *SLOW STEAMING IN CONTAINER SHIPPING***; *System Science*, Hawaii International Conference, 45<sup>o</sup>, pp. 1306-1314, 2012.

19- **LIU, Z.; Meng, Q.; WANG, Shuaian, W., *Bunker consumption optimization methods in shipping: A critical review and extensions***. Transportation Research Part E, pp. 49-62, 2013