

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO**

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELO AMBIENTE DE SERVIÇO EM
MOTORES DIESEL DE UTILIZAÇÃO NAVAL EM REBOCADORES**

WANDERSON CLEITON ARAUJO PINHEIRO

**São Luís - MA
2015**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELO AMBIENTE DE SERVIÇO EM
MOTORES DIESEL DE UTILIZAÇÃO NAVAL EM REBOCADORES**

WANDERSON CLEITON ARAUJO PINHEIRO
ORIENTADOR: Prof. Me. FRANCISMAR RODRIGUES DE SOUSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual do Maranhão, como partados
requisitos necessários para a obtenção do Grau de
Bacharel na área de Engenharia Mecânica.

São Luís - MA
2015

Pinheiro, Wanderson Cleiton Araujo

Análise das alterações provocadas pelo ambiente de serviço em motores diesel de utilização naval em rebocadores. / Wanderson Cleiton Araujo Pinheiro – São Luís, 2015.

... f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2015.

Orientador: Prof. Me.Francismar Rodrigues de Sousa

1.Defeitos.2. Motor diesel.3. Deterioração.I.Título

CDU:621.436:628.538

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

**ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES PROVOCADAS PELO AMBIENTE DE SERVIÇO EM
MOTORES DIESEL DE UTILIZAÇÃO NAVAL EM REBOCADORES**

WANDERSON CLEITON ARAUJO PINHEIRO

Aprovado em, ____ de _____ de 2015.

Prof. Me. Francismar Rodrigues de Sousa.
(Orientador)

Prof.^a Ma. Maria Amália Trindade de Castro.
(Membro da Banca Examinadora)

Prof. Me. Paulino Cutrim Martins.
(Membro da Banca Examinadora)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu Deus por ter me dado saúde, paz e sabedoria. Aos meus pais Benedito e Solange que sempre me apoiaram nos estudos.

A professora Maria de Fátima Saraiva de Moraes, que pra mim foi bem mais que uma professora, foi também Diretora, Psicóloga, Conselheira e Mãe. Além de ter sido uma das primeiras a acreditar e investir no meu potencial.

Ao professor e orientador Francismar Rodrigues de Sousa que sempre esteve disposto a auxiliar nesse trabalho.

A todos meus amigos da UEMA que conviveram comigo no período da graduação dividindo experiências, em especial aos da minha turma 2010.2.

A todos os amigos que fiz ao longo dessa jornada que também contribuíram para que eu chegasse aqui (MUITA gente, preferi agradecer de modo geral).

RESUMO

São Luís é uma cidade portuária e, portanto, tem um grande fluxo de navios e cargueiros diários. O Motor diesel é muito usado em embarcações tais como, rebocadores, ferry boat, e outros tipos, por ser eficiente e gerar menor custo. O ambiente de trabalho desses motores apresenta condições adversas devido principalmente a material estranho, contato metálico direto e corrosão. Isso gera o desgaste do motor e de suas peças móveis comprometendo seu funcionamento e a própria atividade portuária. Por isso, o presente trabalho tem como meta realizar um estudo dos possíveis fatores que contribuem para a deterioração dos motores de utilização naval em rebocadores. Estudaremos a propagação de defeitos em motores diesel, formulando assim, possíveis soluções para o problema.

Palavras chave: “defeitos”, “motor diesel” e “deterioração”.

ABSTRACT

São Luis is a port city and therefore has a daily flow of ships and freighters. The diesel engine is widely used in vessels such as tugs, ferry, etc., Being efficient and generate lower cost. The working environment of these motors presents adverse conditions mainly due to foreign material, direct metal contact and corrosion. This generates engine wear and moving parts affecting its operation and port activity itself. Therefore, this study aims to conduct a study of the possible factors contributing to the deterioration of marine engines used in tugboats. We study the propagation of defects in diesel engines, formulating thus possible solutions to the problem.

Key Words: “defects”, “diesel engine”, “deterioration”.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Ilustração esquemática de dois metais A e B imersos em uma solução. O metal A é o ânodo, o metal B é o cátodo e a solução o eletrólito (Ramanathan, 1990)	16
Figura 02 - Formas de corrosão em metais (adaptado de Gentil, 1996)	19
Figura 03 – Efeito da taxa de aplicação de carga sobre a CST e a fragilização pelo hidrogênio. SPROWLS (1990). (adaptado de OLIVEIRA, 2010).....	25
Figura 04–Exemplo de morfologia típica de grafita encontrada em ferros. A(cinzento), B(vermicular), C(nodular). Imagens feradas por MEV após ataque químico profundo. MARQUARD <i>et al</i> (1998). (adaptado de OLIVEIRA, 2010)	29
Figura 05 - Cabeçote de um motor 08M Caterpillar antes da desmontagem	33
Figura 06 – Sede de escape com desgaste acentuado no cabeçote 02.....	33
Figura 07 – Válvulas e guias de válvulas com desgaste acentuado.....	33
Figura 08 – Válvula do cabeçote 02 com visível desprendimento de material	34
Figura09 – Sedes das válvulas do cabeçote 04 com marcas de esmagamento.....	34
Figura 10 – Válvula do cabeçote 04 com marcas de esmagamento por impurezas	34
Figura 11 – Sedes das válvulas do cabeçote 05.....	35
Figura 12 – Válvulas do cabeçote 05	35
Figura 13 - Carcaça do motor no ambiente de serviço.....	36
Figura 14 - Parafusos sofrendo corrosão.	36
Figura 15 – Parafusos e carcaça de proteção da correia sofrendo corrosão	36
Figura 16 – Foto panorâmica da carcaça do motor mostrando corrosão.....	37
Figura 17 – Foto da carcaça de proteção da correia mostrando corrosão.....	37
Figura 18 – Foto panorâmica do pé da base do motor mostrando corrosão no mancal	38
Figura 19 – Foto superior da carcaça do motor mostrando corrosão	38
Figura 20 – Foto superior mostrando corrosão nos elementos de fixação	39
Figura 21 – Foto panorâmica da carcaça no reversor de rotação mostrando corrosão.....	39
Figura 22 – Foto panorâmica da carcaça no reversor de rotação mostrando corrosão.....	40

LISTA DE TABELA

Tabela 01 - Tabela de Potenciais de Eletrodos Padrão de alguns metais (adaptado de Gentil, 1996)	17
Tabela02 - SALINIDADE EM OCEANOS E MARES (Fonte: GENTIL, V. Corrosão . 5ªEd.Revisada)	20
Tabela 03–Aplicações dos ferros fundidos cinzentos, segundo as classes ASTM(adaptado de CHIAVERINI, 1996).....	30
Tabela 04–Classes, características e aplicações dos ferros fundidos cinzentos segundo ABNT (adaptado de ANDRADE, 2009).....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL	11
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	O Motor Diesel	12
2.1.1	Utilização do motor diesel na propulsão marítima.....	12
2.2	Causas Das Falhas Em Motores Diesel	13
2.2.1	Carbonização nos cabeçotes	13
2.2.1.1	Exame visual.....	13
2.2.1.2	Verificação das folgas das sedes e dos furos guias das válvulas	13
2.2.1.3	Teste de estanqueidade	14
2.2.1.4	Verificação do empenamento	14
2.2.1.5	Verificação das molas das válvulas	14
2.2.1.6	Verificação de vedação das sedes das válvulas	15
2.2.2	Desgaste da sede das válvulas e guias das válvulas	15
2.3	Formas E Meios De Corrosão.....	15
2.3.1	Corrosão	15
2.3.2	Corrosão Atmosférica.....	17
2.3.3	Formas de Corrosão.....	18
2.4	Condições De Serviço No Ambiente Marítimo	19
2.4.1	Água do mar	19
2.4.2	Fatores influentes na Taxa de Corrosão	20
2.4.3	Atmosfera marinha	21
2.4.4	Sintomas de defeitos em motores de utilização naval	21
2.4.5	Sistemas fechados com recirculação de água	22
2.5	Corrosão Sob Tensão	22
2.5.1	Mecanismo de corrosão sob tensão	23
2.5.2	Taxa de corrosão em metais	25
2.6	Revestimento de Proteção: Pintura	26
2.6.1	Tintas de fundo	26

2.6.2	Tintas intermediárias	26
2.6.3	Tintas de acabamento	27
2.6.4	Proteção anticorrosiva em aço	27
2.7	Ferro Fundido Cinzento	27
2.7.1	Classificação	28
2.7.2	Propriedades	29
2.7.3	Aplicações	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	Local Do Estudo	32
3.2	Método de Análise do Material	32
3.2.1	Procedimento para executar o trabalho	32
3.2.2	Inspeção visual e Análise macroscópica	32
3.2.3	Levantamento das condições de serviço e determinação dos mecanismos de corrosão	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5	CONCLUSÃO	42
6	RECOMENDAÇÕES	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

Os motores de combustão interna são motores térmicos, isto é, utilizam o calor liberado por reações químicas (combustão), obtida através da queima dos combustíveis no interior do cilindro, em energia mecânica. Conforme cita Pereira (2003), os motores de combustão interna seguem o princípio segundo o qual os gases se expandem quando aquecidos. Quando controlada, essa pressão pode ser utilizada para mover algum elemento do motor, então, desta forma é possível transformar a energia calorífica do combustível em energia mecânica. Porém, nem toda energia calorífica é efetivamente transformada em trabalho, pois parte dela é perdida no contato com outros elementos do motor (Martins, Keyll C. R.: Souza, José Castro. Apostilas de motores diesel. 2009).

O motor diesel a partir da década de 1930 foi crescentemente utilizado no transporte terrestre de cargas e passageiros. Depois também utilizado na indústria naval em navios, rebocadores, ferry boat. A razão da preferência por esse motor nesses casos deve-se à sua alta eficiência, que se traduz em custos menores com combustível, também à sua grande robustez, por conta de sua simplicidade (Martins, Keyll C. R.: Souza, José Castro. Apostilas de motores diesel. 2009).

O ambiente de trabalho de motores de rebocadores (embarcados) apresenta situações adversas o que gera problemas como desgaste das partes móveis e insalubridade dos componentes. Entretanto, há um aspecto do desgaste, que pode ser tratado teoricamente, de tal forma a apontar algumas tendências de significado prático. A experiência mostra que as principais causas de desgaste nos motores são as matérias estranhas, corrosão e, em alguns casos, contato metálico direto.

Entretanto, os engenheiros durante a seleção dos materiais para uso industrial levam em consideração apenas as propriedades mecânicas dos materiais, sem atentar para a relação entre funcionamento das máquinas versus diferentes tipos de indústria.

Cabe a esse trabalho, investigar as condições do ambiente no qual esses motores operam, analisar as propagações de defeitos e corrosão, apontando as causas e possíveis soluções, com ênfase em dados experimentais obtidos em motores diesel de uso naval (embarcados) iguais ou de características semelhantes.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as influências da corrosão no colapso e deterioração dos motores diesel, com características similares, de utilização naval (embarcados) em um rebocador através da diagnose das mudanças sofridas pelo material metálico (carcaça) em contato direto com o ambiente de serviço.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as alterações provocadas pelo ambiente de serviço nas estruturas metálicas analisadas;
- Comparar com os resultados disponíveis na literatura;
- Acompanhamento técnico no processo de recuperação do motor;
- Avaliar os riscos de ruptura dos materiais e posterior danos ao sistema;
- Fazer recomendações sobre melhorias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Motor Diesel

Os motores a combustão interna são classificados de acordo com o tipo de combustível empregado em motores do ciclo Otto e motores do ciclo Diesel. O motor diesel foi projetado para ser pesado e mais potente do que os motores a gasolina. Estes são empregados em máquinas pesadas, caminhões, locomotivas, navios e em alguns automóveis. O primeiro motor operando no ciclo diesel foi fabricado em 1892 por Rudolph Diesel. A principal característica deste motor é a ignição do combustível por intermédio da compressão (Martins, Keyll C. R.: Souza, José Castro. Apostilas de motores diesel. 2009). De acordo com PENIDO FILHO (1949) os motores térmicos são máquinas cuja finalidade é transformar a energia calorífica em energia mecânica diretamente utilizável. A energia calorífica pode ser proveniente de diversas fontes, tais como energia química, energia elétrica, energia atômica, e outros tipos.

Segundo RACHE (2004) os motores diesel são divididos em três categorias: lentos, velocidade média e rápidos. Onde os mais utilizados no mundo em embarcações, navios, rebocadores, petroleiros, e outros, são os motores lentos por serem mais robustos e de baixa rotação. Além disso, são mais fáceis de operar, de realizar manutenção e mais econômicos quando comparados aos motores movidos a vapor.

2.1.1 Utilização do motor diesel na propulsão marítima

Uma instalação propulsora utilizada atualmente pode existir de diferentes formas, mas sua constituição primária deve ser tal que contenha um conjunto composto por: máquina principal, sistema de transmissão e elemento de propulsão. Essas máquinas principais são basicamente motores de combustão interna, mas também podem ser turbinas a gás e motores elétricos.

De acordo com Woodyard (2004), citado por Valle Filho (2011), a maioria das instalações de propulsão utilizam motores diesel como máquina principal (Sistema Diesel-mecânico) e em menor uso, mas em crescimento, a utilização de sistemas Diesel-elétricos.

Com isso, o uso de propulsão diesel mostra-se dominante, pois tem baixo custo operacional por consumir menos combustível e o óleo pesado é mais barato. Para embarcações de grande porte são empregados motores de baixa rotação (2 tempos), tais como navios porta contêineres. Já para as embarcações menores tais como balsa, navios de pesquisa, utilizam-se motores de média rotação (4 tempos).

2.2 Causas Das Falhas Em Motores Diesel

As falhas em motores diesel são inúmeras, mas neste trabalho estudaremos apenas aquelas mais comuns observadas nos motores retificados na retífica SOMOTORES e as falhas apresentadas no plano de trabalho, relacionadas à corrosão.

2.2.1 Carbonização nos cabeçotes

Segundo RACHE (2004), além de desmontar o motor, o cabeçote deve ser limpo para retirar quaisquer materiais abrasivos para evitar um desgaste futuro e eliminar a carbonização. Feito isso se deve realizar os testes:

2.2.1.1 Exame visual

Devem-se analisar visualmente as partes do motor após ser desmontado para verificar-se a existência de trincas nas válvulas e se estas estão com movimento livre. Assim como avaliar se as sedes das válvulas estão folgadas por desgaste das guias.

2.2.1.2 Verificação das folgas das sedes e dos furos guias das válvulas

Existem intervalos de medidas aceitáveis para folgas na válvula de admissão (de 0,050 e 0,0887mm) e na válvula de escape (de 0,60 a 0,097mm). Todo o trabalho deve ser feito de tal maneira que garanta a perpendicularidade entre o furo da guia e a sede da válvula, além da concentricidade.

2.2.1.3 Teste de estanqueidade

Este teste serve para a identificação de furos ou trincas que possam deixar vazar os gases de combustão. Ele acontece da seguinte forma: fixa-se uma chapa de aço de 50 mm de espessura e com as mesmas furações do cabeçote, de entrada de ar e ar comprimido, que serão vedadas por uma junta de borracha entre o cabeçote e a chapa. Feito isto, deve-se encher o cabeçote com água aquecida entre 80 e 95 graus centígrados e aplica-se ar comprimido na proporção de 6kg/cm² durante 20 minutos. Se a água não vazar e sinal que não existem trincas ou furos, e com isso o cabeçote está em condições de uso.

2.2.1.4 Verificação do empenamento

Este teste serve para verificar se o cabeçote está empenado. Com isso pode-se testar sua planicidade das seguintes formas: utilizando-se uma régua de aço e um calibre de folgas de laminas; pode-se apoiar o cabeçote em três suportes com a mesma altura que devem estar apoiados em uma mesa de aço plana para desempenho. Em seguida deve-se passar o relógio comparador.

2.2.1.5 Verificação das molas das válvulas

Para saber se uma mola será descartada e substituída ela deve ser comparada com uma mola nova e se estiver entre valores iguais ou menores a 1,5 mm devem ser trocadas por molas novas. Feito isto, utiliza-se o dispositivo de teste de molas para medir o seu comprimento com uma carga aplicada, se tiver uma diferença de 2 mm ou mais dentro da carga aplicada deverão ser trocadas. Os valores adequados de carga a serem aplicadas são encontrados nos manuais do fabricante. Além disso, é importante ressaltar que não é adequado o uso de arruelas para compensar a redução do comprimento das molas gastas.

2.2.1.6 Verificação de vedação das sedes das válvulas

Este teste deve ser feito antes e depois da retífica nas sedes das válvulas a existência de algum vazamento nestas. Para isto, deve-se proceder da seguinte maneira: vira-se o cabeçote com a face de vedação para cima e recolocam-se as válvulas sem as molas. Antes da aplicação do ar comprimido pelo outro lado do furo das guias de válvulas deve-se passar água e sabão nas sedes das válvulas e onde elas se tocam. Com isso, se houve vazamento surgiram bolhas de ar ou sabão. As sedes após a limpeza deveram ser retificadas.

2.2.2 Desgaste da sede das válvulas e guias das válvulas

Segundo RACHE (2004), em motores com comando de válvulas por balancim a regulagem é feita entre as válvulas e o eixo, medindo-se a folga entre a ponta do parafuso de regulagem e ponta da haste. Já em motores com eixo comando de válvulas no cabeçote deve-se fazer a regulagem entre as válvulas e o eixo comando de válvulas e a folga deve ser medida entre a came de comando e o disco de acionamento, onde a regulagem pode ser feita trocando-se o disco.

2.3 Formas E Meios De Corrosão

2.3.1 Corrosão

A corrosão pode ser de modo geral classificada como corrosão seca ou corrosão aquosa. A última requer a presença de água, enquanto a primeira não necessariamente. As reações de corrosão envolvem basicamente ânodos, cátodos e eletrólitos. O ânodo refere-se ao metal que se corrói, ou a região onde a corrente deixa o metal, o cátodo é o metal para onde a corrente se dirige. O eletrólito é a solução através da qual a eletricidade ou corrente é conduzida na forma de íons (Ramanathan, 1990). A figura 01 mostra esquematicamente dois metais, A e B, imersos em uma solução. O metal A é o ânodo, o B o cátodo, e a solução o eletrólito. O circuito é completado exteriormente à solução. Os íons são átomos carregados positivamente e negativamente.

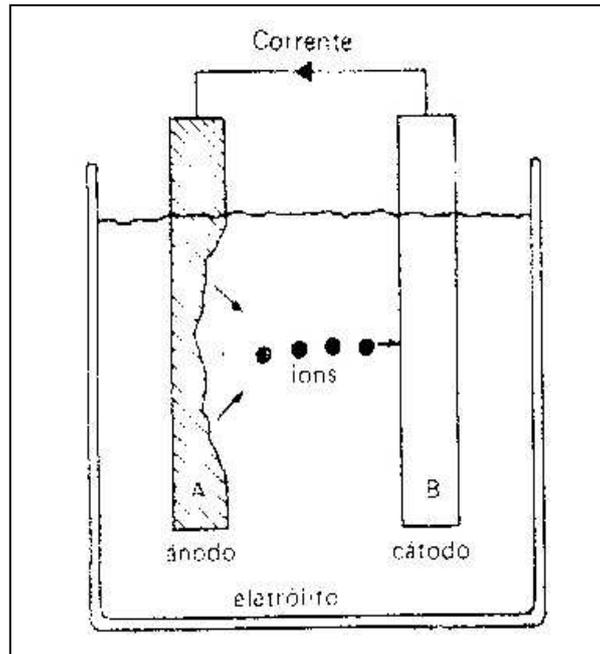
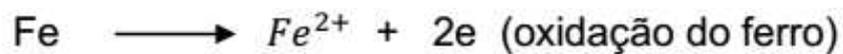


Figura 01 – Ilustração esquemática de dois metais A e B imersos em uma solução. O metal A é o ânodo, o metal B é o cátodo e a solução o eletrólito (Ramanathan, 1990)

Segundo Ramanathan (1990) termo “oxidação” não está associado a oxigênio, mas sim a corrosão ou deterioração do metal. **Oxidação** é a reação em que ocorre perda de elétrons, enquanto que a **redução** é reação em que ocorre ganho de elétrons. Por exemplo, quando o *Fe* se transforma em íon Fe^{2+} , de acordo com a equação:



A tendência de um metal a se comportar como ânodo ou como cátodo em uma reação eletrolítica na presença de outro metal é facilmente analisada pela *Tabela de Potenciais de Eletrodos Padrão*. Temos a tabela a seguir:

Tabela 01 - Tabela de Potenciais de Eletrodos Padrão de alguns metais (adaptado de Gentil, 2007)

Potencial de redução (E_{red}^0)	Estado reduzido	Estado oxidado	Potencial de oxidação (E_{oxid}^0)
-3,04	Li	$\text{Li}^+ + e^-$	+3,04
-2,92	K	$\text{K}^+ + e^-$	+2,92
-2,90	Ba	$\text{Ba}^{2+} + 2e^-$	+2,90
-2,89	Sr	$\text{Sr}^{2+} + 2e^-$	+2,89
-2,87	Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2e^-$	+2,87
-2,71	Na	$\text{Na}^+ + e^-$	+2,71
-2,37	Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e^-$	+2,37
-1,66	Al	$\text{Al}^{3+} + 3e^-$	+1,66
-1,18	Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2e^-$	+1,18
-0,83	$\text{H}_2 + 2(\text{OH})^-$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^-$	+0,83
-0,76	Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e^-$	+0,76
-0,74	Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3e^-$	+0,74
-0,48	S^{2-}	$\text{S} + 2e^-$	+0,48
-0,44	Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2e^-$	+0,44
-0,28	Co	$\text{Co}^{2+} + 2e^-$	+0,28
-0,23	Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2e^-$	+0,23
-0,13	Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2e^-$	+0,13
0,00	H_2	$2\text{H}^+ + 2e^-$	0,00
+0,15	Cu^+	$\text{Cu}^{2+} + e^-$	-0,15
+0,34	Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e^-$	-0,34
+0,40	$2(\text{OH})^-$	$\text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2 + 2e^-$	-0,40
+0,52	Cu	$\text{Cu}^+ + e^-$	-0,52
+0,54	2I^-	$\text{I}_2 + 2e^-$	-0,54
+0,77	Fe^{2+}	$\text{Fe}^{3+} + e^-$	-0,77
+0,80	Ag	$\text{Ag}^+ + e^-$	-0,80
+0,85	Hg	$\text{Hg}^{2+} + 2e^-$	-0,85
+1,09	2Br^-	$\text{Br}_2 + 2e^-$	-1,09
+1,23	H_2O	$2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2e^-$	-1,23
+1,36	2Cl^-	$\text{Cl}_2 + 2e^-$	-1,36
+2,87	2F^-	$\text{F}_2 + 2e^-$	-2,87

2.3.2 Corrosão Atmosférica

A “atmosfera” é o meio ao qual os metais estão mais frequentemente expostos. A composição da atmosfera varia dependendo do local, geografia e época do ano e, dessa forma, a atmosfera é extremamente complexa. Conseqüentemente, a corrosão atmosférica ainda não é completamente compreendida, embora seja a forma de corrosão mais antiga entre as conhecidas (Ramanathan, 1990). Ainda segundo Ramanathan (1990), a corrosão pode ser classificada de acordo com atmosferas distintas, tais como:

- Marítima;

- Industrial;
- Rural;

Alguns mecanismos corrosivos típicos em cada atmosfera citada acima são:

- Corrosão em Água do mar;
- Corrosão por Gases Contaminantes;
- Corrosão por umidade;
- Corrosão pelos Solos;
- Corrosão Biológica.

2.3.3 Formas de Corrosão

Segundo Gentil (2007) são várias as formas de corrosão, todas com características diferentes entre si. Com isso, temos as diferentes formas de corrosão listadas abaixo:

- Uniforme;
- Por placas;
- Alveolar;
- Puntiforme ou por pite;
- Intergranular (ou intercrystalina);
- Intragranular (ou transgranular ou transcristalina);
- Filiforme;
- Por esfoliação;
- Grafítica;
- Dezincificação;
- Empolamento pelo hidrogênio;

A figura 02 apresenta, de maneira esquemática, algumas das principais formas de corrosão conhecidas:

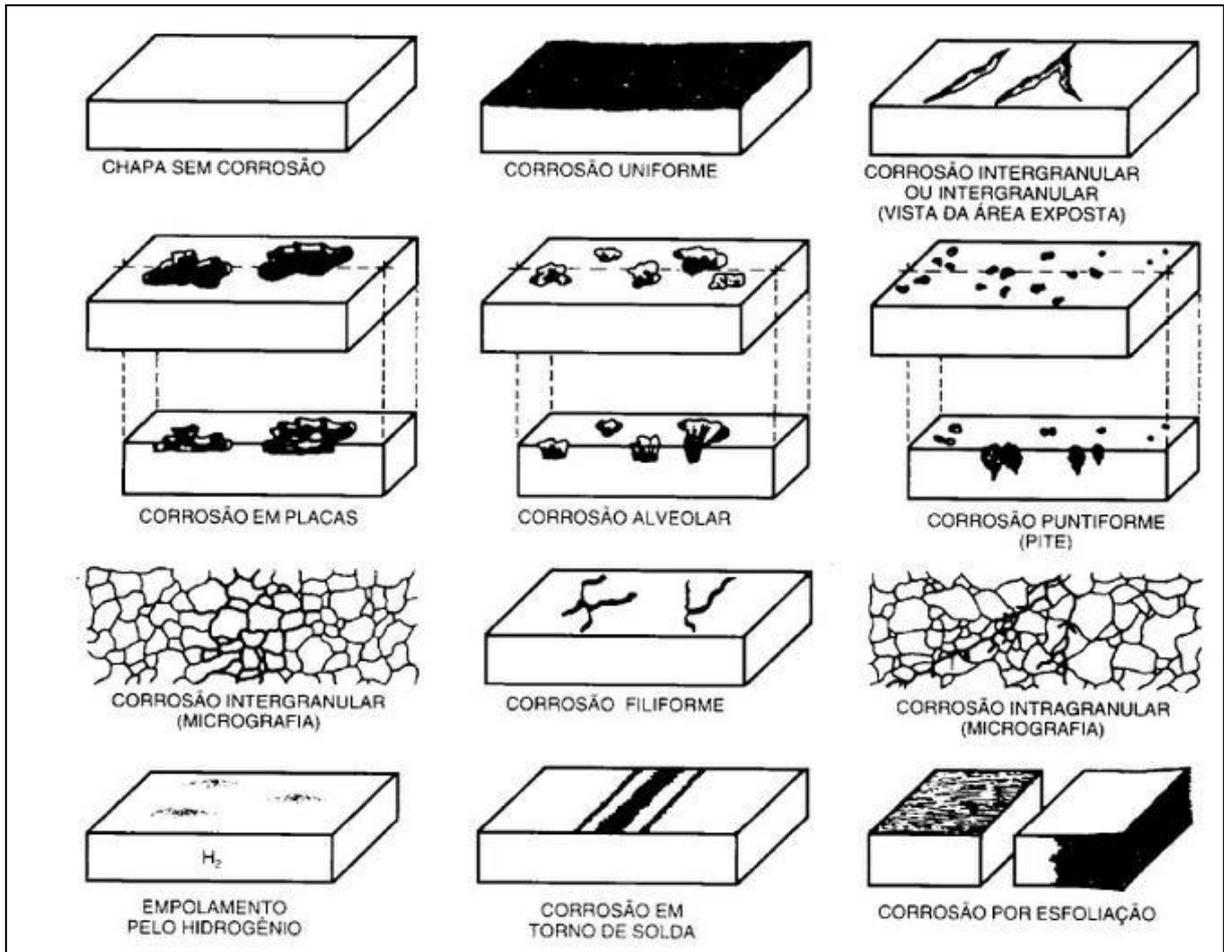


Figura 02 - Formas de corrosão em metais (adaptado de Gentil, 2007).

2.4 Condições De Serviço No Ambiente Marítimo

2.4.1 Água do mar

Devido à grande utilização de motores diesel em processos marítimos, tais como em rebocadores, dragas e navios, é importante ressaltar as influências da salubridade nesses equipamentos. Como o mecanismo do processo corrosivo em águas é eletroquímico, os sais presentes na água do mar a tornam um eletrólito forte e, portanto, aumentam a sua ação corrosiva em equipamentos mecânicos.

A ação corrosiva da água do mar pode ser determinada inicialmente por sua salinidade. Essa salinidade é praticamente constante em oceanos, mas pode variar em mares interiores, conforme se verifica nos dados apresentados na tabela 02 de salinidade.

Tabela 02 - SALINIDADE EM OCEANOS E MARES(Fonte: GENTIL, V. **Corrosão**. 5ªEd.Revisada)

Oceanos	Salinidade, %
Oceano Atlântico	3,54
Oceano Pacífico	3,49
Mar Mediterrâneo	3,7-3,9
Mar Vermelho	>4,1
Mar Báltico (Golfo da Finlândia)	0,2-0,5
Mar Cáspio	1,0-1,5
Mar Cáspio (Golfo de Karabaguz)	16,4

Em água do mar notam-se com maior frequência as formas de corrosão uniforme, por placas e por pite ou alvéolos. Entre os fatores que podem ocasionar corrosão por pite em materiais metálicos expostos a atmosfera marinha devem ser citados: sais, contaminantes ou poluentes atmosféricos, fatores metalúrgicos (defeitos superficiais e segregações) e falhas em películas protetoras.

Ocorre acentuada corrosão quando materiais metálicos diferentes são ligados e expostos à atmosfera marinha ou submersos em água do mar. Um dos materiais funcionará como anodo da pilha galvânica formada entre eles, e a intensidade de ataque dependerá da posição que esses metais ocuparem na série galvânica.

A corrosão galvânica, resultante da pilha galvânica, se caracteriza por apresentar corrosão localizada próxima à região de acoplamento entre os metais, ocasionando profundas perfurações no metal que funciona como anodo.

2.4.2 Fatores influentes na Taxa de Corrosão

Segundo GENTIL (2007) existe alguns fatores que contribuem no sentido de acelerar a taxa de corrosão em um determinado ambiente, e eles podem ser divididos em:

- Químicos – gases dissolvidos (oxigênio, gás carbônico) salinidade e pH;
- Físicos – velocidade, temperatura e pressão;

- Biológicos – biofouling, vida vegetal (geração de oxigênio e consumo de gás carbônico) e vida animal (consumo de oxigênio e geração de gás carbônico).

2.4.3 Atmosfera marinha

Segundo GENTIL (2007) na atmosfera marinha existe alguns fatores que afetam a ação corrosiva, eles são basicamente:

- Substâncias poluentes (gases, partículas sólidas e névoa salina);
- Temperatura;
- Umidade relativa;
- Tempo de permanência do filme de eletrólito na superfície metálica;
- Fatores climáticos como intensidade e direção dos ventos e chuvas.

2.4.4 Sintomas de defeitos em motores de utilização naval

Segundo RACHE (2004), são vários os defeitos que surgem nos motores Diesel de utilização naval e, de um modo geral, são semelhantes aos dos motores Diesel de utilização veicular.

Entretanto, em alguns barcos existem outras instalações diferentes, como sistema de refrigeração e o tanque de expansão. Com isso, outros defeitos além dos já conhecidos foram identificados, temos:

Corrosão ou cavitação no sistema de refrigeração

Causas:

- Corrosão química;
- Motor sem ligação a terra;
- Vazamento no trocador de calor do sistema de refrigeração;
- Água de refrigeração suja e enferrujada;
- Ar no sistema de refrigeração devido à desaeração insuficiente.

2.4.5 Sistemas fechados com recirculação de água

GENTIL (2007) afirma que em motores Diesel que utilizam sistemas fechados com recirculação de água quente ou superaquecida, com temperaturas que variam entre 80 e 160°C, surgirá nos equipamentos problemas de corrosão e a deposição de algumas incrustações. Além disso, poderão também aparecer defeitos provocados por corrosão-erosão devido à queda de pressão no local a valores menores ao da pressão de vapor, o que gera ebulição da água a baixas temperaturas. E nesse sistema é mais fácil o tratamento da água de resfriamento.

2.5 Corrosão Sob Tensão

OLIVEIRA (2010) ressalta um termo que abrange vários casos dentro de um intervalo que vai de fraturas unicamente mecânicas até corrosão, que vem sendo cada vez mais usado, que é a Trinca Assistida pelo Meio (do inglês Environmentally Assisted Cracking - EAD). Onde os casos de corrosão envolvidos em geral são:

- Fratura por Corrosão Sob Tensão, CST, (do inglês Stress Corrosion Cracking - SCC);
- Corrosão sob fadiga;
- Fratura induzida pelo hidrogênio;
- Fragilização de hidrogênio;
- Irradiação assistida.

Todas essas fraturas têm semelhanças entre si, mas a classe do material, o trabalho mecânico, forças externas, interações físico-químicas entre ambiente e material, é que define a natureza da fratura. Além desses, outros fatores também contribuem para a ocorrência de trincas, tais como:

- Microestrutura do material;
- Condições de carregamento;
- Temperatura, pressão, composição química do meio;

- Da intensidade da interação entre o material e o meio;
- Caráter das forças que operam na interface entre material e meio.

A CST é uma relação entre tensões mecânicas e meio corrosivo até que o material metálico sofra a fratura. Essas tensões podem ser residuais (deformação a frio ou soldagem) ou atuantes (esforços sobre a peça – tração, torção, etc.). Quando o material sofre Corrosão Sob Tensão quase não se percebe a perda de material de modo que este permanece com um bom aspecto até ocorrer a fratura.

A corrosão nesses casos são bem evidentes quando se observa visualmente características como: deformação do metal, fraturas frágeis e seletividade dos meios corrosivos em relação aos metais. No caso da CST, é uma falha localizada (gerada na superfície e propagada em direção perpendicular à direção do esforço) e pode ter proporções devastadoras, principalmente por ocorrerem em metais que, na maioria das vezes, foram selecionados pela resistência à corrosão de maneira generalizada.

Para Oliveira (2010, p. 7), “Um material não fratura em qualquer meio, novas combinações de material e meio que causam a CST estão sendo descobertas com regularidade”.

Os engenheiros devem ser familiarizados com estas combinações críticas para que estas sejam evitadas em novos projetos. Atualmente, os materiais são selecionados pelo seu custo inicial e pela capacidade de aplicação de tensão, além de outras características mecânicas principais. Eles raramente são selecionados para seu desempenho em longo prazo o que deveria incluir a corrosão e a resistência a CST. (OLIVEIRA, 2010, p. 7)

2.5.1 Mecanismo de corrosão sob tensão

GALVELE (1999) citado por OLIVEIRA (2010) cita os principais mecanismos de corrosão sob tensão em relação às ligas em que estes fenômenos são mais frequentes. Os mecanismos são:

- Corrosão sob tensão em caminho ativo:

Também conhecida como dissolução anódica. Propõe-se que na estrutura heterogênea do metal o filme superficial é rompido após aplicação de tensão. Onde segundo

SANDOZ (1972) citado por OLIVEIRA (2010) a exposição do metal ao meio agressivo acarretaria a dissolução de elementos da liga, propagando a trinca através dos caminhos mais viáveis.

Dependendo da taxa de aplicação da carga, o metal sofrerá uma fratura dúctil (para altas taxas) impedindo a repassivação, e só depois ocorrendo a devida corrosão, ou dissolução e repassivação (para baixas taxas), podendo conduzir a corrosão generalizada.

➤ Fragilização pelo hidrogênio:

Quando o hidrogênio na forma atômica (H) penetra o metal de base causa uma fragilização devido a uma diminuição da ductilidade e do tempo necessário até que o material sofra a fratura. Este hidrogênio se difunde, em parte, intersticialmente na interface metal versus solução com certa facilidade devido ao seu baixo volume atômico. Já a maior parte evolui para a molécula de hidrogênio (H₂). Essa absorção do hidrogênio atômico pode acontecer no processo de fabricação do metal de base como durante sua exposição no ambiente de serviço. Além disso, existem alguns processos que o hidrogênio é absorvido, tais como: atmosferas ricas em hidrogênio a temperaturas elevadas (soldas e tratamentos térmicos); reações generalizadas com a água; etc.

Com isso, há duas formas de o hidrogênio atômico fragilizar os metais:

- *Fragilização irreversível:* quando a presença do hidrogênio compromete de maneira definitiva a estrutura do material, mesmo que todo o hidrogênio seja retirado depois. Onde se cria falhas devido aos vazios gerados por produtos gasosos proveniente da reação do hidrogênio com a matriz, elementos não metálicos dispersos ou com ele mesmo. Isso elimina a homogeneidade metálica, intensifica tensões aplicadas e reproduz-se tensões internas adicionais. Essas falhas concentram-se nas discordâncias, vazios, contornos de grão, etc.
- *Fragilização reversível:* quando há presença do hidrogênio no metal durante o carregamento e este pode ser retirado da estrutura do material antes da aplicação da carga. Isso restaura a capacidade de deformação do material.

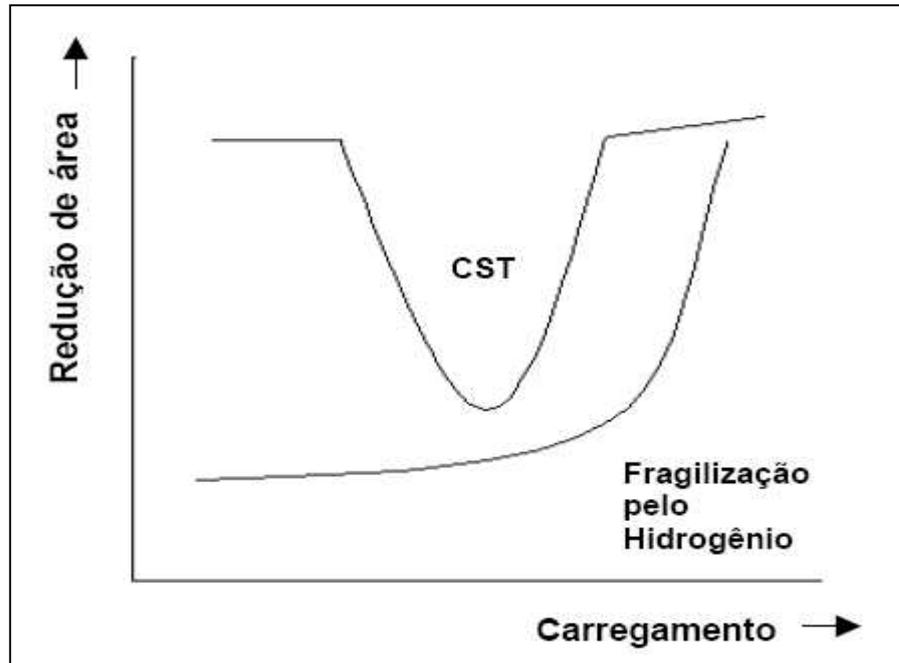


Figura 03 – Efeito da taxa de aplicação de carga sobre a CST e a fragilização pelo hidrogênio. SPROWLS (1990). (adaptado de OLIVEIRA, 2010)

➤ Fragilização pelo mecanismo da mobilidade superficial:

Este tipo de fragilização, que depois gera uma CST, acontece quando a superfície do material é contaminada por espécies do meio corrosivo.

Existem quatro considerações importantes em relação ao mecanismo:

- A difusibilidade superficial é afetada pelo ambiente corrosivo;
- A Corrosão sob Tensão pode ocorrer sem nenhuma deformação plástica;
- A Corrosão sob tensão é causada pela detenção de vazios na ponta da trinca;
- A corrosão sob Tensão ocorre geralmente em temperaturas menores que a metade da temperatura de fusão.

2.5.2 Taxa de corrosão em metais

Segundo VIVANCO(1994) a velocidade com que o desgaste se propaga na superfície do material caracteriza a taxa de corrosão, onde determina a vida útil provável de

equipamentos e instalações industriais. Como a corrosão varia com o tempo e pode não ser a mesma em todo o metal, deve-se levar em consideração no momento de registrar as taxas de corrosão detalhes como:

- Localização da corrosão;
- Exame visual;
- Dependência do tempo.

2.6 Revestimento de Proteção: Pintura

Segundo Gentil (2007), existem três conceitos de pintura dentro da atividade humana: pintura artística, arquitetônica e industrial. Para este trabalho iremos conceituar apenas a pintura industrial.

Uma das propriedades mais importantes da pintura industrial é a proteção contra corrosão que, além de proteger a pintura, proporciona propriedades tais como: sinalização, estética, impermeabilidade, e outros. Em equipamentos e estruturas metálicas o esquema de pintura para proteção anticorrosiva é feito com três tintas diferentes: tinta de fundo (primer), intermediária e de acabamento. Sendo estas utilizadas as três camadas de acordo com as necessidades e especificações.

2.6.1 Tintas de fundo

É a primeira tinta aplicada ao metal. Ela contém os pigmentos anticorrosivos e é mais rugosa o que facilita a aderência da tinta seguinte.

2.6.2 Tintas intermediárias

Estas deixam o revestimento mais espesso, o que protege a tinta de fundo por formar uma barreira entre está e o ambiente. Pode-se aumentar a espessura desta barreira aumentando o número de demãos.

2.6.3 Tintas de acabamento

Estas são aplicadas depois das tintas intermediárias e estarão em contato com ambiente e por isso tem que dar a resistência química necessária ao revestimento.

2.6.4 Proteção anticorrosiva em aço

Segundo Gentil (2007), são três os mecanismos de proteção:

- Barreira: película coloca entre o aço e o meio corrosivo, com alta resistência à corrente de corrosão e alto índice de impermeabilidade.
- Inibição: as tintas de fundo contém pigmentos que formam uma camada que impede a forma iônica na superfície do aço.
- Eletroquímica: liga-se ao aço outro metal que tenha características anódicas para sofrer oxidação.

2.7 Ferro Fundido Cinzento

Os ferros fundidos cinzento são as ligas mais utilizadas na indústria, em várias formas e aplicações, por possuírem características que não são encontradas em outros materiais e tem relativamente custos mais acessíveis.

De acordo com SANTOS FILHO (2014), no Brasil os blocos de motores são fabricados em sua grande maioria de ferro fundido cinzento, seja para blocos de alumínio com camisa em ferro fundido ou monolíticos (peça única).

Segundo CHIAVERINI (1996) existem seis características que fazem do ferro fundido cinzento a liga mais utilizada na indústria:

- Fácil fusão e moldagem
- Boa resistência mecânica
- Excelente usinabilidade
- Boa resistência ao desgaste
- Boa capacidade de amortecimento

Este tipo de liga metálica se defini a partir de uma relação entre sua estrutura e propriedades. Portanto, para que se possa prever as propriedades dos ferros fundidos cinzentos basta levar em consideração, de acordo com sua composição química:

- Teores de carbono grafitico e de silício
- Espessura das peças
- A forma como a grafita se apresenta
- A composição química

GUESSER (2009), citado por SANTOS FILHO (2014), afirma que as ligas de ferro fundido são formadas por Fe-C-Si e podendo ter ainda diversos outros elementos de liga como Mn, S e P. Com isso, é possível criar várias combinações de ferro fundido de acordo com as necessidades de cada aplicação.

O'Rourke (2011), citado por ANDRADE (2009) ressalta que algumas vezes os ferros fundidos são considerados compósitos por serem constituídos de partículas de grafita imersas em um metal composto por ferro e carbono. E, nos ferros fundidos sua microestrutura é diretamente afetada por quatro fatores: composição química, taxa de resfriamento, inoculação, velocidade de solidificação.

Ainda segundo ANDRADE (2009) o fator predominante na composição química dos ferros fundidos cinzentos é a grafita, que neste caso apresenta-se em forma de veios.

2.7.1 Classificação

Segundo a ABNT, citada por CHIAVERINI (1996), a representação FC significa ferro fundido cinzento e a numeração da sequência significa o limite mínimo de resistência à tração. Através dessa simbologia essas ligas são classificadas de acordo com suas propriedades mecânicas.

CHIAVERINI (1996) ressalta ainda que os ferros fundidos mais comuns são FC-10 e FC-15, ambas com uma boa usinabilidade e fundibilidade.

Segundo ANDRADE (2009), os ferros fundidos são selecionados a partir do limite de resistência à tração e da dureza. Estas propriedades por sua vez não fornecem informações sobre o material no ambiente de serviço, mas são utilizadas por ser fácil a realização do experimento para determinar seus valores. A ABNT EB-126 e DIN 1691 citadas por

ANDRADE (2009) também enfatiza que a identificação dos ferros fundidos cinzentos faz-se a partir das siglas FC e GG, ligados ou não ligados respectivamente. Além disso, o número que aparece em seguida representa o limite mínimo de resistência à tração admissível (kgf/mm²).

2.7.2 Propriedades

Segundo CHIAVERINI (1996) as propriedades dos ferros fundidos cinzentos estão em função dos fatores:

- Microestrutura: a quantidade (mais ou menos mole) e a forma da grafita (carbono livre) afeta diretamente nas propriedades.
- Secção do material: peça muito espessa tem uma lenta velocidade de resfriamento o que gera uma maior quantidade de grafita (carbono livre); peça fina tem rápida velocidade de resfriamento o que gera ferro fundido mesclado
- Composição química: basicamente os elementos que afetam nas propriedades mecânicas são carbono, silício e fósforo (este em menor quantidade). Onde o silício é considerado o mais importante, pois é o principal responsável pela formação da grafita além de melhorar a resistência à corrosão e oxidação quando o material está exposto a altas temperaturas.

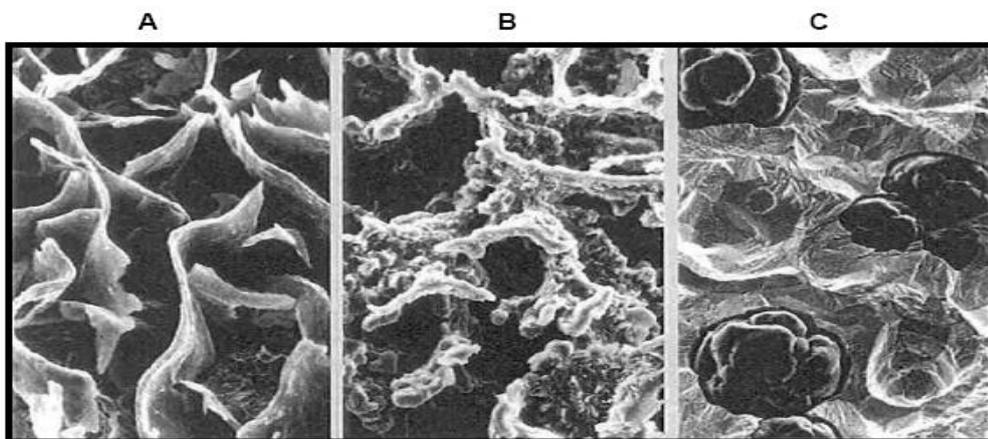


Figura 04 – Exemplo de morfologia típica de grafita encontrada em ferros. A (cinzento), B (vermicular), C (nodular). Imagens geradas por MEV após ataque químico profundo. MARQUARD *et al* (1998). (adaptado de OLIVEIRA, 2010)

Segundo SANTOS FILHO (2014), a grafita presente no ferro fundido deixa-o com características similares à dos aços em sua microestrutura. Além disso, a grafita possui baixa resistência mecânica o que dependendo da situação pode causar um efeito de concentração de tensões. Assim como grafita em forma de veios pode influenciar positivamente algumas propriedades como condutividade térmica, amortecimento de vibrações, usinabilidade.

2.7.3 Aplicações

As aplicações do ferro fundido cinzento são inúmeras. Onde as mais importantes são citadas na tabela abaixo:

Tabela 03 –Aplicações dos ferros fundidos cinzentos, segundo as classes ASTM(adaptado de CHIAVERINI, 1996)

CLASSES	ESPESSURA DAS PEÇAS	APLICAÇÕES
20	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	Utensílios domésticos; anéis de pistão; produtos sanitários, etc. Bases de máquinas; fundidos ornamentais; carcaça metálica, etc. Certos tipos de tubos, bases de máquinas pesadas, etc.
25	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	Aplicações idênticas às da classe 20, quando se necessita de maior resistência mecânica.
30	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	Elementos construtivos: pequenos tambores de freio, placas de embreagem, carters, blocos de motor bucha, grade de filtro, rotores, etc.
35	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	Aplicações idênticas às da classe 30

40	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	Aplicações de maiores dureza e resistência à tração, para o que se pode usar inoculações ou elementos de liga em baixos teores: engrenagens, eixo comando de válvulas, pequenos virabrequins, pequenos blocos de motor, cabeçotes, buchas, compressores, etc.
50	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	Aplicações idênticas à classe 40.
60	fina: até 13mm média: de 13 a 25mm grossa: acima de 25mm	É a classe de maior resistência mecânica, usando-se normalmente pequenos teores de Ni, Cr e Mo. Tambores de freio, virabrequins, bielas, cabeçotes, corpos de máquinas diesel, etc.

ANDRADE (2009) também ressalta as classes dos ferros fundidos cinzentos e suas aplicações de acordo com a ABNT:

Tabela 04 – Classes, características e aplicações dos ferros fundidos cinzentos segundo ABNT(adaptado de ANDRADE, 2009)

CLASSE	CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
FC10 e FC15	São os mais comuns e apresentam ótima usinabilidade e fundibilidade.	FC15 é muito utilizado em base de máquina e carcaça metálica.
FC20 e FC25	Apresentam ótima usinabilidade e fundibilidade, mas possuem melhor resistência mecânica.	Aplicados em cabeçotes, elementos estruturais, mesas de máquinas operatrizes.
FC30 e FC35	Possuem maior dureza e resistência mecânica.	Aplicados em grandes blocos de motores, colunas de máquinas, virabrequins, engrenagens, buchas.
FC40	É a classe que possui maior resistência mecânica no comércio. Tem elementos de liga combinados em sua microestrutura(Ni, Cr, Mo).	Utilização limitada a peças de espessura média e grossa.

3 METODOLOGIA

3.1 Local Do Estudo

O estudo foi desenvolvido na empresa Retífica SOMOTORES em São Luís - MA, com ênfase nas falhas provocadas pelo ambiente de serviço em motores diesel de utilização naval (embarcados) em rebocadores, em especial as falhas descritas no relatório da empresa: carbonização nos cabeçotes; desgaste das sedes de válvulas e guias de válvulas; válvulas de admissão e escape com incrustações por carbonização e assentamento irregular. Além da análise de possíveis formas de corrosão na carcaça do motor.

3.2 Método de Análise do Material

Neste trabalho foram feitas inspeções visuais e análise macroscópica dos motores diesel sendo retificados no ambiente de serviço.

3.2.1 Procedimento para executar o trabalho

Para começarmos o estudo primeiro entramos em contato com dono da retífica SOMOTORES, para expormos o projeto e recebermos autorização por parte dele para visitarmos as instalações da empresa. Na visita tivemos acesso aos motores que estavam sendo retificados, onde se pode visualizar todos os problemas descritos anteriormente. Além de acesso aos relatórios técnicos dos mesmos.

3.2.2 Inspeção visual e Análise macroscópica

Durante as visitas foi possível acompanhar a desmontagem no início da retífica de um motor diesel de utilização naval (embarcado), desde a limpeza até a constatação dos problemas, avarias e manutenção.

Após a retirada dos cabeçotes N° 01,02, 03,04 e 05, verificou-se que todos os 05 cabeçotes apresentavam alto índice de carbonização. Após a limpeza mecânica, limpeza química e desmontagem pode-se avaliar o estado destes componentes e executar os serviços de retífica.



Figura 05- Cabeçote de um motor 08M Caterpillar antes da desmontagem.

O cabeçote 02 apresentou desgaste acentuado nas sedes de escape e nas válvulas de escape. Com desprendimento de metal nas válvulas.

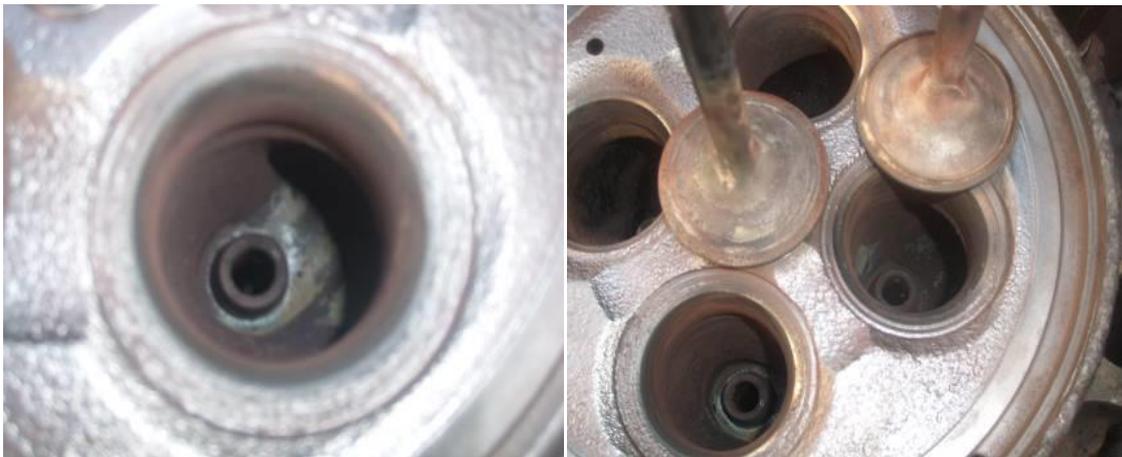


Figura 06 – Sede de escape com desgaste acentuado no cabeçote 02.



Figura 07 – Válvulas e guias de válvulas com desgaste acentuado.

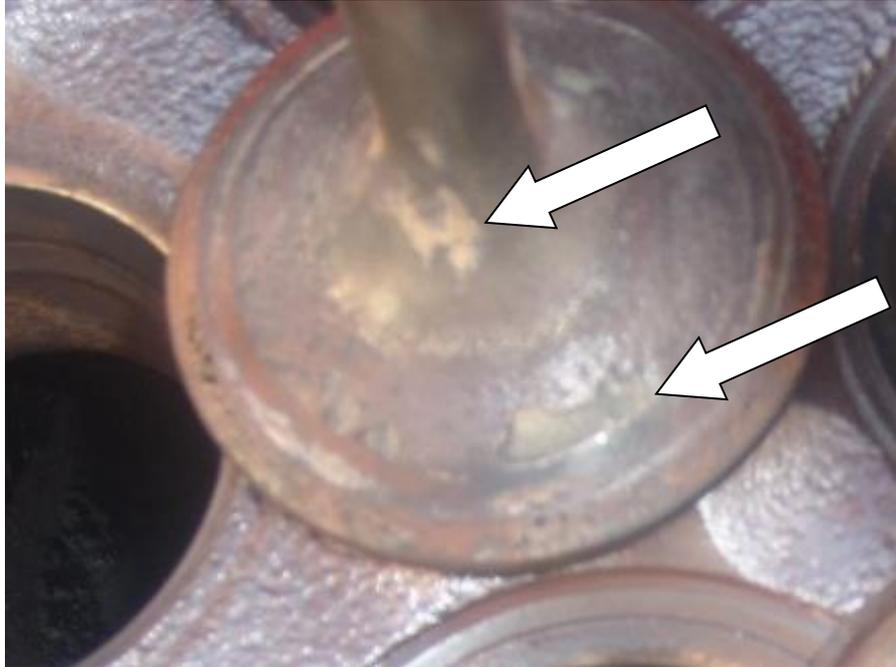


Figura 08 – Válvula do cabeçote 02 com visível desprendimento de material.

O cabeçote 03 apresentou apenas carbonização nas sedes e nas válvulas. Da mesma forma o cabeçote 04 apresentou desgaste muito acentuado nas sedes de escape e nas válvulas de escape, sendo que as sedes e as válvulas de escape tinham marcas de esmagamento por algum tipo de impureza metálica, não permitindo retificação e vedação.

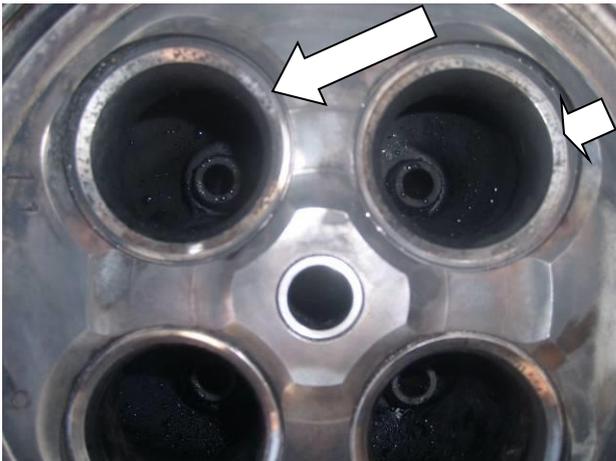


Figura 09 – Sedes das válvulas do cabeçote 04 com marcas de esmagamento por impurezas metálicas.

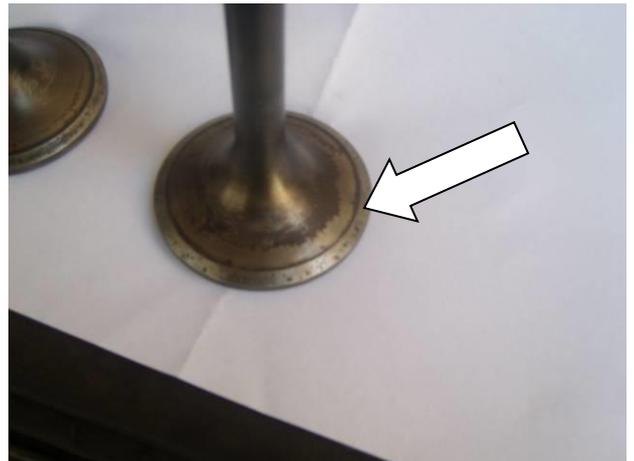


Figura 10 – Válvula do cabeçote 04 com marcas de esmagamento por impurezas.

O cabeçote 05 foi o que apresentou as piores condições, todas as válvulas e sedes estavam avariadas e um guia de admissão fora das especificações.



Figura 11 – Sedes das válvulas do cabeçote 05.



Figura 12 – Válvulas do cabeçote 05.

3.2.3 Levantamento das condições de serviço e determinação dos mecanismos de corrosão

Como já foi dito, o ambiente marítimo apresenta uma salinidade elevada o que facilita ação corrosiva de superfícies metálicas expostas ou próximas destes ambientes. Além disso, outros fatores podem contribuir no sentido de acelerar essa corrosão, tais como fatores climáticos, temperatura a que esse metal está exposto, entre outros. No caso dos motores de utilização naval em rebocadores, na maioria dos casos, estes não tem contato direto com a água do mar, mas, forma-se uma camada de eletrólito na sua superfície que depois de algum tempo gera desgaste por corrosão eletroquímica. Isso pode ser visto nas fotos:

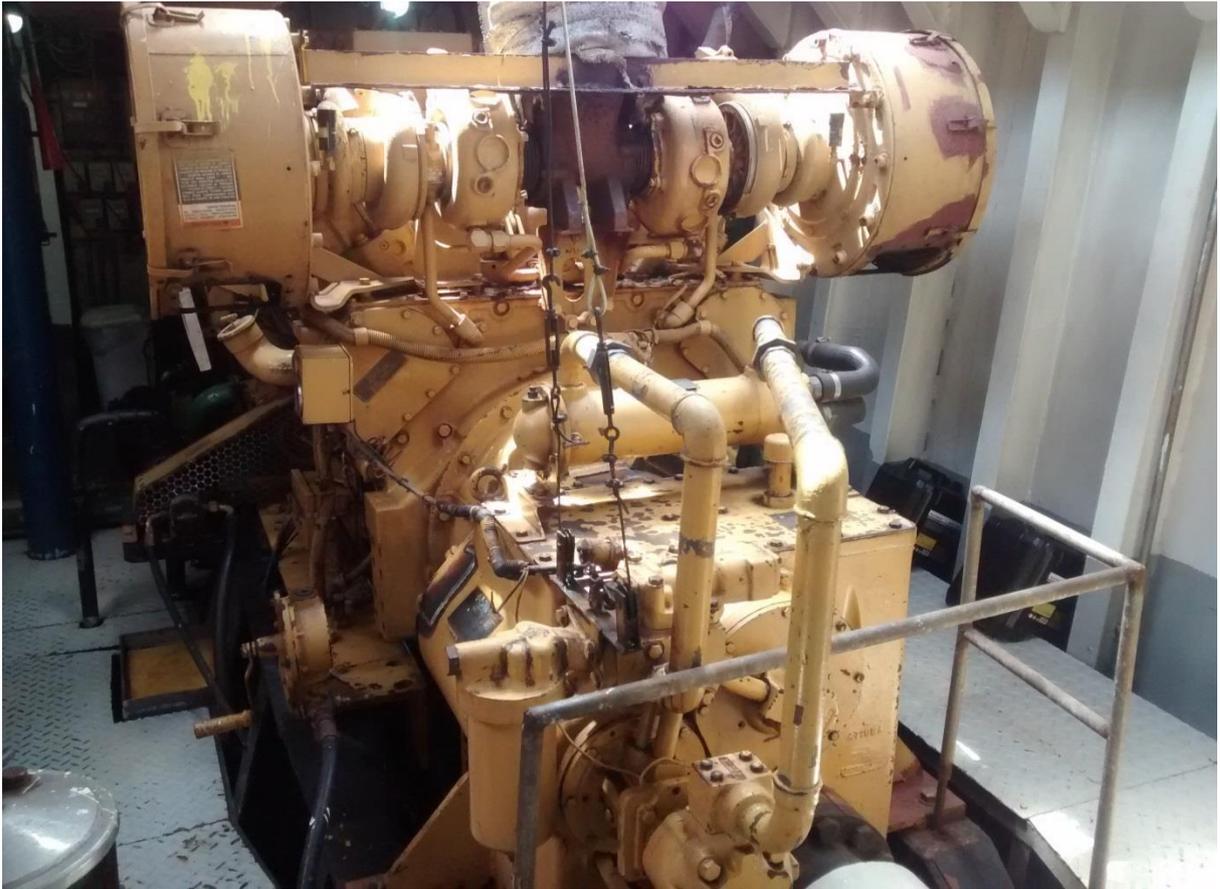


Figura13 – Carcaça do motor no ambiente de serviço.



Figura 14 – Parafusos sofrendo corrosão.



Figura 15 – Parafusos e carcaça de proteção da correia sofrendo corrosão.



Figura 16 – Foto panorâmica da carcaça do motor mostrando corrosão.

Nas outras partes externas ao motor também se encontrou focos de corrosão.



Figura 17 – Foto da carcaça de proteção da correia mostrando corrosão.



Figura 18 – Foto panorâmica do pé da base do motor mostrando corrosão no mancal.

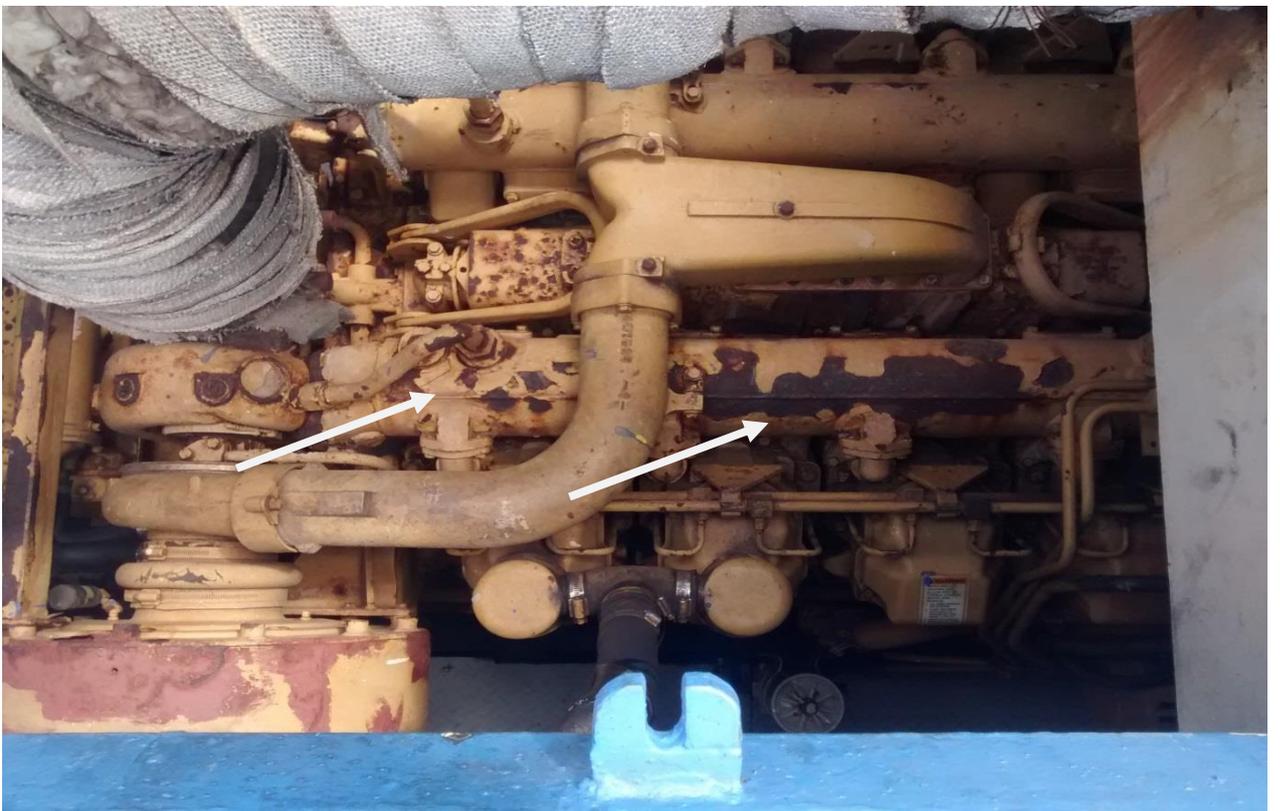


Figura 19 – Foto superior da carcaça do motor mostrando corrosão.



Figura 20 – Foto superior mostrando corrosão nos elementos de fixação.



Figura 21 – Foto panorâmica da carcaça no reversor de rotação mostrando corrosão.

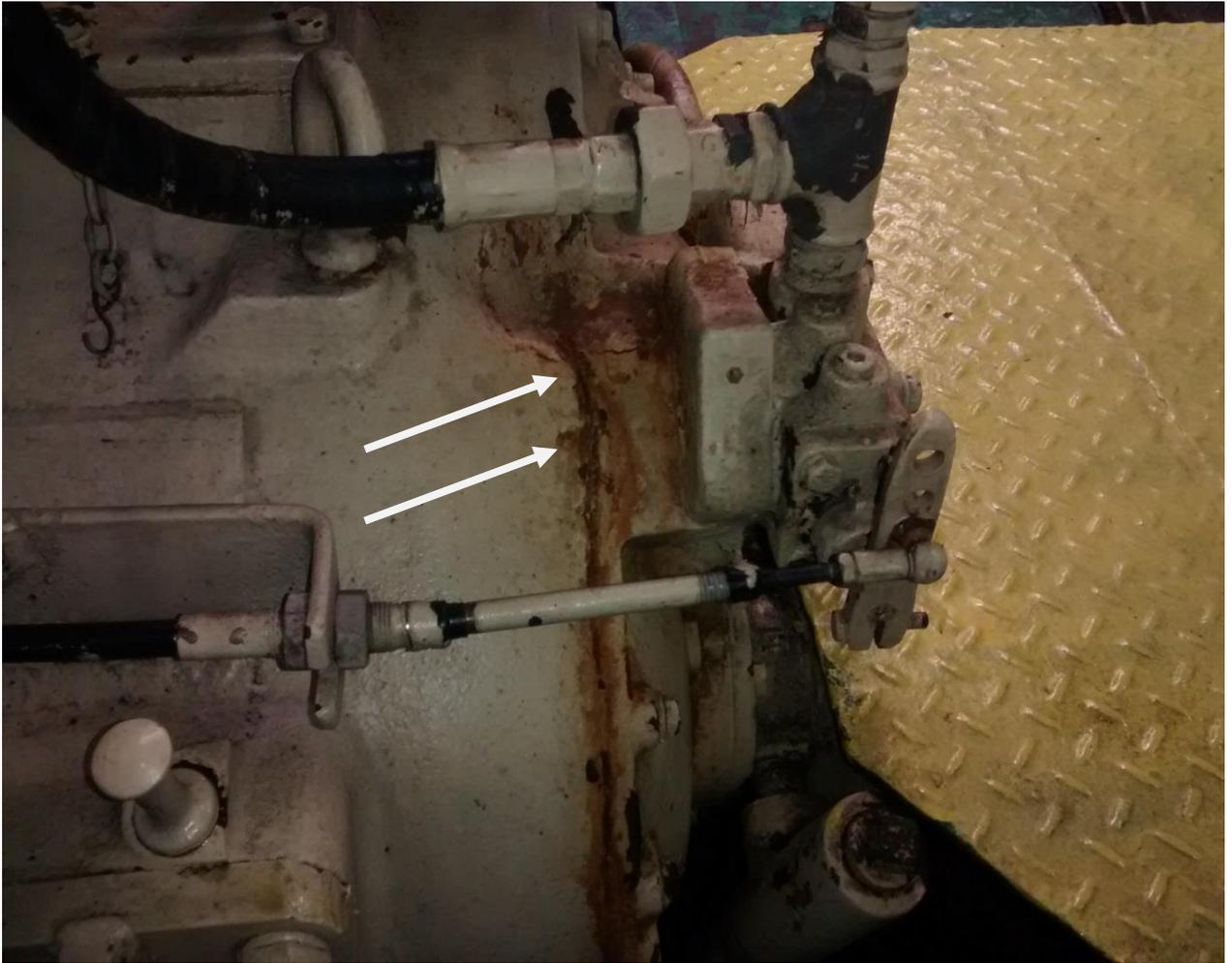


Figura 22 – Foto panorâmica da carcaçano reversor de rotação mostrando corrosão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que há corrosão em várias partes da carcaça do motor devido ao seu ambiente de serviço ter condições favoráveis para isto. Onde as principais são temperatura elevada, salinidade, umidade.

Além disso, nota-se que a corrosão nos elementos de fixação pode causar algum tipo de dano maior devido à vibração do motor, uma vez que este elemento pode romper por desgaste.

Assim, se não houver uma manutenção preventiva e um adequado método de combate à corrosão, esta poderá afetar os mecanismos metálicos de transmissão de movimento, potência, e elementos de fixação, os levando possivelmente a uma falha ou ruptura.

5 CONCLUSÃO

Portanto, depois das análises visuais e macroscópicas, todas as falhas citadas na metodologia foram confirmadas nos respectivos cabeçotes, válvulas, guias de válvulas, sede de válvulas. Assim como desgaste por corrosão eletroquímica na carcaça do motor. Entretanto, a pesquisa básica nesse campo está apenas começando e não se propôs aqui um tratamento detalhado. Mas, houve um aspecto do desgaste, com respeito aos motores, que pôde ser tratado teoricamente, de tal forma a apontar algumas tendências de significado prático. A inspeção visual e análise macroscópica confirmam que a principal causa de desgaste nos motores é corrosão e, em alguns casos, contato metálico direto. Por isso, é preciso que, cada vez mais profissionais altamente qualificados manuseiem ferramentas de precisão na diagnose de falhas desses equipamentos, no sentido de identificar problemas simples, diagnosticá-los e repará-los rapidamente, para evitar paradas não programadas, perda de material e equipamentos, o que implica diretamente na perda de receita por falta de controle dos custos envolvidos.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a realização de estudos futuros para a melhoria da qualidade da vida e do desempenho em serviço dos motores e outros equipamentos, tais como:

- ✓ Revestimentos periódicos;
- ✓ Proteção catódica:

Mecanismo simples, mas para ser utilizado exige experiência do projetista e do instalador do sistema. Com isso, transforma-se as áreas anódicas em catódicas por um processo artificial.

O sistema de proteção a ser utilizado seria o de proteção catódica galvânica ou por anodos galvânicos ou de sacrifício. Para isso os anodos de sacrifício mais viáveis seriam os de alumínio ou zinco que são aplicados em estruturas metálicas imersas em água do mar.

- ✓ Aplicação de revestimentos periódicos e proteção catódica ao mesmo tempo. Com isso os sistemas de proteção se complementariam, o que deixaria o processo mais econômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Ricardo Batista de. **Parâmetros térmicos e estruturais em ferros fundidos cinzento e nodular solidificados em moldes de areia e unidirecionalmente/** Ricardo batista de Andrade. – Campinas, SP: [s.n.], 2009. 129p. Tese de doutorado.

CHIAVERINI, V. – **Aços de Ferros Fundidos**, 7a edição, 1996, pp. 493 – 506.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5ª Ed. Revisada. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora, 2007.

MARTINS, Keyll C. R.: Souza, José Castro. **Apostilas de motores diesel**. Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Maranhão. São Luís. 2009.

OLIVEIRA, Flavio Lima de. **Desenvolvimento de um dispositivo para ensaio de corrosão sobtensão: aplicação para ferro fundido cinzento imerso em biodiesel B100 de soja/** Flavio Lima de Oliveira. – Campinas, SP: [s.n.], 2010. 107p. Tese de mestrado.

PENIDO FILHO, Paulo.**Os motores a combustão interna: para curso de máquinas térmicas, engenheiros, técnicos e mecânicos em geral que se interessam por motores/** Paulo Penido Filho. - Belo Horizonte: Lemi, 1983. (1949)

PEREIRA, José Cláudio. **Motores e geradores: princípios de funcionamento, instalação, operação e manutenção de grupos diesel geradores**. 2003. Disponível em: <<http://www.joseclaudio.eng.br>>. Acesso em: 9 de maio de 2013.

RACHE, Marco A.M. **Mecânica Diesel: Caminhões - pick-ups - Barcos**. Hemus Editora Ltda., 2004.

RAMANHATAN, L. **Corrosão e seu Controle**. São Paulo. Ed. Hemus, 1990, pp. 17 - 22.

SANTOS FILHO, Dinecio dos. **Alterações metalúrgicas e topográficas do cilindro de bloco de motor de combustão interna flexfuel/** D. dos Santos Filho. – versão corr. – São Paulo, 2014. 140 p. Tese de mestrado.

VALLE FILHO, Gilberto Dória do. **Avaliação das instalações de máquinas em navios visando redução do uso de combustível fóssil /** G.D. do Valle Filho. – ed. rev. –São Paulo, 2011. 103p. Tese de mestrado.

VIVANCO, Mario Javier Ferrúa. **Análise de valores extremos no tratamento estatístico da corrosão de equipamentos /** Mario Javier FerrúaVivanco. – Campinas, SP: [s.n.], 1994. 116p. Tese de mestrado.