ESTUDO DE MOTORES MARÍTIMOS ATRAVÉS DA ANÁLISE DE LUBRIFICANTES USADOS E ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

Oberdan Carrasco Nogueira[1], Mauro de Vasconcellos Real[2]

RESUMO
O estudo apresenta a comparação de desempenho operacional de motores de combustão principais de embarcações de suporte a plataformas de petróleo, utilizando dados de desgaste de componentes dos motores obtidos através das análises dos lubrificantes em operação nos motores, e modelagem estatística do comportamento de falhas em função do tempo dos mesmos. Primeiramente efetuou-se o estudo dos resultados das análises dos lubrificantes em uso nos motores, classificando-os de acordo com o comportamento, origem e nível de desgaste dos mesmos, e assim obtendo as distribuições de probabilidade dos tempos de falhas da vida para os motores dois-tempos e quatro-tempos. Após esta etapa, realizou-se a modelagem dos motores, utilizando Distribuição de Weibull, em função de seus principais componentes, utilizando a técnica de Diagrama de Blocos. De posse dessas informações, foram determinados os intervalos de tempo correspondentes a um nível requerido de confiabilidade, obtendo consequentemente intervalos ótimos para intervenções de manutenção preventiva nos equipamentos.

PALAVRAS CHAVES: Confiabilidade. Lubrificação. Motor Diesel. Desgaste. Manutenção.

STUDY OF MARITIME DIESEL ENGINES USING OIL ANALYSIS AND RELIABILITY ENGINEERING

ABSTRACT
This work presents the comparison of the operational performance of the main diesel marine engines of vessels which support offshore oil platforms, using data from the engine components' wear. These data were obtained through a predictive analysis of the lubricants in use in these engines and through statistical methodology on the failure behavior related to their lifetime. First, the study of the lubricants analysis results was done, classifying them according to their behavior, origin and wear level and obtaining the distribution parameters of failure-time for two-stroke and four-stroke diesel engines. After this step, the modeling engine was done using the Weibull distribution, using the Blocks Diagram Technique, determining the behavior of failure-time of each subsystem, and subsequently, of the equipment, obtaining the corresponding distribution parameters. With this information, time intervals corresponding to a required reliability level and mean time among failures were determined, obtaining a great range for interventions in preventive and predictive maintenance on equipment.

KEYWORDS: Reliability. Lubrication. Diesel Engine. Wear. Maintenance.

[1]Escola de Engenharia - Universidade Federal de Rio Grande - FURG, Mestre em Engenharia Oceânica. oberdannogueira@furg.br

[2] Escola de Engenharia - Universidade Federal de Rio Grande - FURG, Doutor em Engenharia Civil mauroreal@furg.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com o crescimento da exploração e produção de petróleo no Brasil, se torna cada vez mais evidente a necessidade elevadas disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos envolvidos neste processo, desde as plataformas de petróleo, responsáveis pela extração do produto do subsolo, até os equipamentos de suporte as plataformas, sem os quais as operações de extração não são possíveis.

Entre estes equipamentos de suporte as plataformas, em se tratando especificamente de extração de petróleo em águas profundas, encontram-se as chamadas embarcações *offshore* supridoras de plataformas, mais comumente chamadas de embarcações tipo PSV (*Platform Supply Vessel*), projetadas para enfrentar condições metrológicas adversas e responsáveis pelo transporte de carga (água, combustível, granéis sólidos, ferramentas, etc.) do continente para as unidades de produção de petróleo.

Diante da importância destes equipamentos para o processo, as grandes empresas que atuam neste segmento utilizam elevada tecnologia no que diz respeito à manutenção preventiva e preditiva, sendo o monitoramento dos equipamentos através da análise do lubrificante uma das principais ferramentas de manutenção preditiva em utilização atualmente, podendo ser associada a outras técnicas, tais como Videoscopia, Inspeção Sensitiva, entre outras.

Sobretudo na última década, alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos em âmbito global e nos mais variados segmentos, desde modelos acadêmicos até a análise de dados práticos de embarcações da guarda costeira americana, porém todos com o objetivo de aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos motores diesel marítimos, e utilizando como ferramentas principais os dados de manutenção dos equipamentos e os conceitos de engenharia de confiabilidade.

Considerando o cenário exposto acima, este trabalho tem como objetivo realizar a Análise de Confiabilidade dos Motores de Combustão Principais (MCP) de embarcações do tipo PSV de uma determinada empresa do segmento, utilizando os resultados das análises dos lubrificantes em utilização nos referidos motores, de modo a determinar o comportamento dos níveis de desgaste em função do tempo de

operação, além de realizar, para um modelo específico de motor, a influência do tipo de lubrificante na suas confiabilidade e disponibilidade.

Para tal análise, serão utilizados conceitos de manutenção preditiva associados a análises probabilísticas, baseadas nos resultados dos níveis de metais encontrados nos lubrificantes operantes nos motores através da análise de Espectrometria por Plasma, técnica amplamente utilizada por empresas que prestam serviços de análise de lubrificantes usados.

2. ANÁLISE E METODOLOGIA

2.1. Os Equipamentos

As embarcações tipo PSV devem possuir alta capacidade de manobra e dimensões que permitam o suprimento das unidades de produção de petróleo. Para atingir este objetivo, estes tipos de equipamento possuem lemes e hélices independentes, sendo estas acionadas por motores independentes, geralmente denominados Motor de Combustão Principal Boreste (MCP BE) e Motor de Combustão Principal Bombordo (MCP BB). Esta disposição permite maior mobilidade da embarcação, tanto em deslocamento, quanto em aproximação para descarga. Outros recursos para melhorar a mobilidade destas embarcações foram inseridos, conforme citado por Silveira [8], tais como impelidores laterais de popa (*Stern Thruster*) e de Proa (*Bow Thruster*), porém estes são considerados como motores auxiliares, e não apresentam o mesmo nível de criticidade para as embarcações comparativamente aos motores de combustão principais. A Figura 1 apresenta uma embarcação do tipo PSV em deslocamento.



FIGURA 1 – Embarcação Supridora em aproximação a Plataforma de Petróleo

É importante ressaltar que, apesar da embarcação apresentar dois motores de acionamento independentes, a falha de um destes motores levará a total perda de capacidade da embarcação de executar sua função.

Visando manter a uniformidade das condições de contorno do problema, escolheram-se basicamente dois modelos de motores de combustão principal, tendo suas especificações técnicas apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Principais Especificações Técnicas dos Motores de Combustão Principal

Especificações Técnicas	*Caterpillar MAK 9M-20*	*General Motors EMD 16 645E7*
Combustível	Diesel Marítimo	Diesel Marítimo
Ciclo	Diesel quatro-tempos	Diesel dois-tempos
Potência nominal (HP)	2330	2850
Rotação nominal (RPM)	1000	900
N° de Pistões	16	16
Diâmetro do cilindro (mm)	300	230
Curso do Cilindro (mm)	300	254

2.2. Componentes e parâmetros de monitoramento

Os motores de combustão interna, tanto marítimos quanto veículos comerciais ou fora de estrada, apresentam algumas características particulares e de extrema importância para a investigação de falhas por desgaste de componentes através da análise do lubrificante. Os principais componentes sujeitos a desgaste nestes motores estão sendo apresentados na Figura 2.

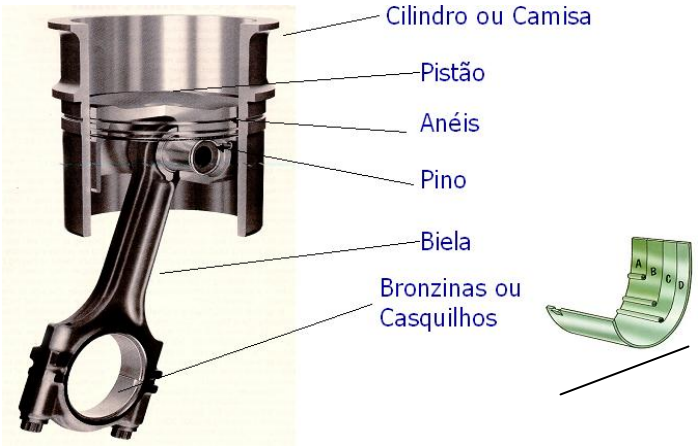


FIGURA 2 – Principais componentes de motores sujeitos a desgaste evidenciado pela análise do lubrificante

2.2.1. Pistões

Os pistões são componentes responsáveis pelo recebimento da potência oriunda da queima na câmara de combustão, transmitindo a energia em forma de movimento para o eixo virabrequim através das bielas. Os cilindros são fabricados utilizando ligas de Alumínio, e em casos de motores com problemas de combustão, podem sofrer aquecimentos localizados que poderão levar a trincas em sua face superior.

A presença de Alumínio nas análises de lubrificantes sugere a ocorrência de desgaste nestes componentes.

2.2.2 Cilindro ou Camisa

São componentes no qual ocorre o movimento do pistão no interior do motor e é o local onde ocorre a transferência de energia da combustão em movimento. As

camisas geralmente são inseridas nos blocos dos motores como luvas, e devido ao fato de serem produzidas em aço, possuem como principal elemento químico detectável através das análises de lubrificantes o Ferro.

2.2.3 Anéis de Segmento

São fixados em ranhuras feitas nos dos pistões, e geralmente são inseridos três anéis por pistão. Os dois anéis superiores têm a incumbência de evitar perdas da potência gerada na combustão e impedir a passagem da mistura ar-combustível para o cárter através do espaçamento entre o pistão e o cilindro. O terceiro anel tem a tarefa de selar a passagem de óleo do cárter para a câmara de combustão. Os anéis apresentam uma separação, que permite sua montagem no pistão e lhes dá uma tendência a se abrirem, pressionando-os contra a parede do cilindro e melhorando a vedação. Geralmente estes componentes são fabricados de Aços ao Cromo, e devido a este fator, a presença de Ferro e Cromo nas análises dos lubrificantes indica a presença de desgaste nos anéis.

2.2.4 Biela

Componente que transmite o movimento do pistão e a potência gerada pela combustão ao eixo de manivelas durante a expansão. A biela também permite movimento ao pistão durante os processos de exaustão, admissão e compressão. A biela consiste de uma haste com dois furos nos extremos. É conectada ao pistão através de um pino que passa através do furo menor. O furo maior é constituído por um mancal fixado por parafusos, que envolve um dos pinos excêntricos do eixo de manivelas. No interior do furo maior da Biela estão dispostas as chamadas Bronzinas ou Casquilhos, componentes que atuam como bucha de deslizamento entre a biela e o eixo virabrequim, reduzindo o atrito mecânico entre os mesmos. Devido a serem produzidas com ligas de cobre, chumbo e estanho são componentes de sacrifício (já que a biela e o eixo virabrequim em geral são constituídos de aço), e a presença destes elementos metálicos no lubrificante em uso indica o desgaste do componente.

Diante do exposto, para fins de simplificação, a análise de lubrificantes considera o motor de combustão interna dividido em duas partes principais: a “Parte Alta” e a “Parte Baixa” do motor, tendo como limite o anel de segmento responsável pela selagem do lubrificante na camisa. Considerando este aspecto, a Parte Alta do motor considera Cilindro, Pistões, válvulas e anéis de segmento (incluindo o anel de vedação do óleo), e a Parte Baixa do motor engloba Biela, Eixo Virabrequim, Carter e Casquilhos.

É importante ressaltar que para cada um dos metais acima mencionados, existem limites toleráveis para a presença dos mesmos no lubrificante, de modo que, para fins de análise, estão sendo consideradas como falha a ocorrência de níveis de desgaste acima destes limites, para cada um dos elementos metálicos citados. Por isso, a partir de então, os níveis de desgastes dos motores em estudo serão classificados como desgaste na Parte Alta ou Parte Baixa do motor, e não especificamente dos componentes mecânicos, para fins de simplificação do tratamento dos dados.

2.3. Análise de Confiabilidade e Modelagem do Sistema

Segundo Information Science Consultant [2] e Reliasoft [9], a distribuição de Weibull é uma das distribuições mais utilizadas na Engenharia de Confiabilidade. Devido a sua capacidade de mudar de forma dependendo da variação do parâmetro β, podendo modelar uma grande variedade de dados de vida. Esta distribuição de Probabilidade está sendo apresentada a seguir.

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}, \text{ onde} \qquad (1)$$

β: Parâmetro de forma

γ: Parâmetro de Localização

η: Parâmetro de escala

T: tempo (horas de operação)

Em função dos parâmetros de forma é possível identificar a fase em que os

equipamentos e seus componentes se encontram em termos de sua vida útil, conforme exposto por Lafraia [3]. Existem três fases distintas:

- ✓ *Falhas Prematuras ou Mortalidade Infantil:* falhas decorrentes ainda devido a problemas de projetos e start-up do equipamento. Nesta fase, a taxa de falhas do equipamento é decrescente.
- ✓ *Período de Vida Útil:* apresenta taxa de falhas constante, e corresponde ao período em que o equipamento apresenta apenas falhas aleatórias devido a problemas operacionais, falha humana, etc.
- ✓ *Período de Final de Vida Útil:* último estágio de comportamento da vida útil do equipamento, o qual apresenta taxa de falhas crescente, indicando o período de obsolescência do equipamento, sendo necessária intervenção para recuperação do mesmo e aumento de sua confiabilidade.

Estas três fases formam uma curva muito utilizada na manutenção, denominada "Curva da Banheira", apresentada na Figura 3, conforme apresentado por Aladon [1].



FIGURA 3 – Curva da Banheira

A Função Confiabilidade Weibull é definida por Reliasoft [8] através da seguinte equação

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}, \text{ onde} \qquad (2)$$

β: Parâmetro de forma

γ: Parâmetro de Localização

η: Parâmetro de escala

T: tempo (horas de operação)

R(T): Confiabilidade em T horas

e a Probabilidade de Falha pode ser definida como

$$P(T)=1-R(T), \text{ onde} \quad (3)$$

R(T): Confiabilidade em T horas

P(T): Probabilidade de Falha em T horas

2.3.1 Considerações importantes

Para a realização da análise de confiabilidade dos motores em estudo, se fizeram necessários análise e tratamento dos resultados das análises dos lubrificantes em uso nos mesmos, por um período de aproximadamente cinco anos (janeiro de 2005 a março de 2010), comparando seus níveis de desgaste com os respectivos limites aceitáveis, atribuindo-os ao tempo de uso de cada motor. Foram considerados como dados em suspensão os resultados de desgaste que se encontram dentro dos limites máximos permissíveis, e como falhas aqueles resultados que se encontram fora dos referidos limites, tanto para a Parte Alta quanto para a Parte Baixa dos motores.

Outra premissa importante está relacionada com as técnicas de manutenção adotadas. Em todos os dados analisados, considerou-se que os lubrificantes utilizados apresentam alto desempenho e especificamente desenvolvidos para cada aplicação, e não influenciaram nos resultados de vida dos motores, assim como as técnicas de manutenção, que foram aplicadas com os mesmos critérios de intervenção em todos os casos.

Além disso, para que se possa analisar a comparação dos motores em termos de desempenho sob o ponto de vista de confiabilidade e manutenção, foram escolhidos dois tipos específicos de motores, com dimensões e potências semelhantes, porém com princípio de funcionamento diferente, mas aplicados em mesmas condições operacionais, ou seja, embarcações do tipo PSV.

2.3.2 Análise de Dados

Com base nas observações expostas acima, foi possível identificar, para cada subsistema com o auxílio de software específico para esta finalidade, às distribuições do comportamento das falhas e da duração das mesmas, com base nos conceitos e propriedades oriundas da Teoria de Máxima Verossimilhança para a definição dos Parâmetros de Estimação das mesmas, ajustando-as a Distribuição de Weibull.

Além disso, utilizaram-se os conceitos de Matriz de Fischer para a definição dos intervalos de confiança, considerando como premissa que a probabilidade de que os valores reais dos estimadores estejam dentro do intervalo proposto seja de 95% bilateralmente à distribuição.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros das distribuições para cada subsistema do equipamento, quando aplicável, de acordo com Reliasoft [6].

TABELA 2 – Parâmetros das Distribuições de Weibull

Especificação do Motor	*Parte Alta*			*Parte Baixa*		
	β	γ	η	β	γ	η
Caterpillar MAK 9M-20	2,2321	0	133.057,54	0,7447	0	608.330,87
General Motors EMD 16 645E7	10,5669	0	71.018,86	10,2603	0	68.873,22

Através dos resultados iniciais é possível observar a condição de final de vida útil (taxa de falhas crescente) para os motores General Motors, tanto para a parte alta quanto para a parte baixa dos motores, sugerindo a necessidade de realização de intervenções nestes componentes para adequação da taxa de falhas.

No entanto, esta condição não se torna tão acentuada para os motores Caterpillar. Para estes motores, enquanto a parte alta encontra-se com a taxa de falhas crescente (final de vida útil), a parte baixa dos motores ainda apresentam taxa de falhas decrescente, implicando ainda em falhas devido muito provavelmente a amaciamento. Considerando os limites de confiança estabelecidos, é possível observar que o valor de β para a parte baixa destes motores pode ser considerada com tendência a falhas aleatórias (β=1).

Além disso, fica evidente também a grande diferença dos fatores de escala η. De acordo com Reliasoft [5], elevados valores de η estão relacionados a elevadas vidas

úteis dos componentes.

As Figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam as funções de confiabilidade de cada subsistema em função do tempo (horas de operação).

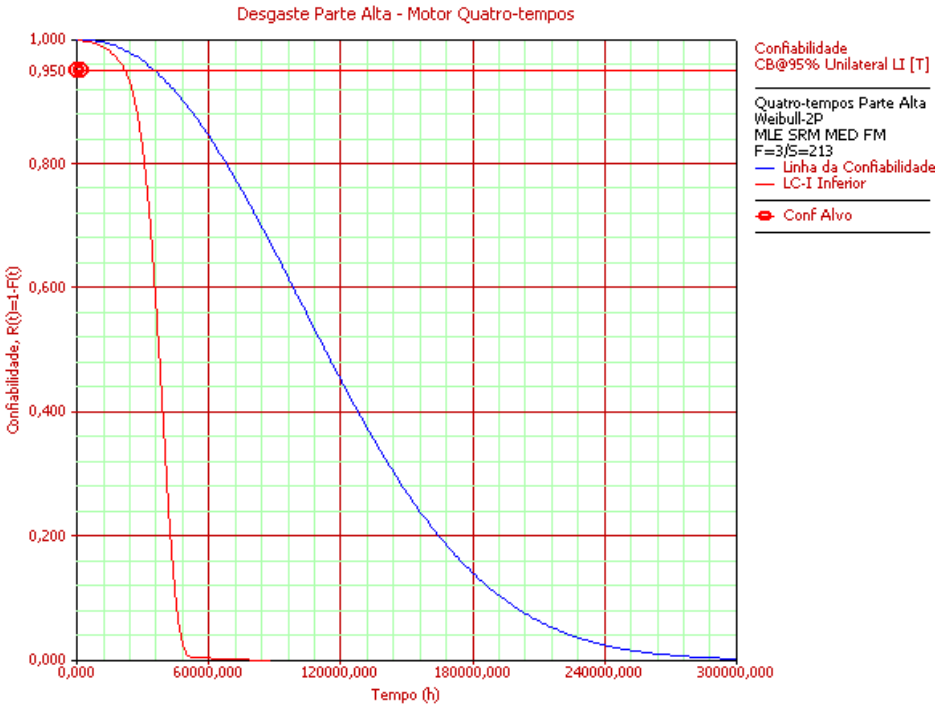


FIGURA 4 – Função Confiabilidade do Motor Caterpillar – Parte Alta

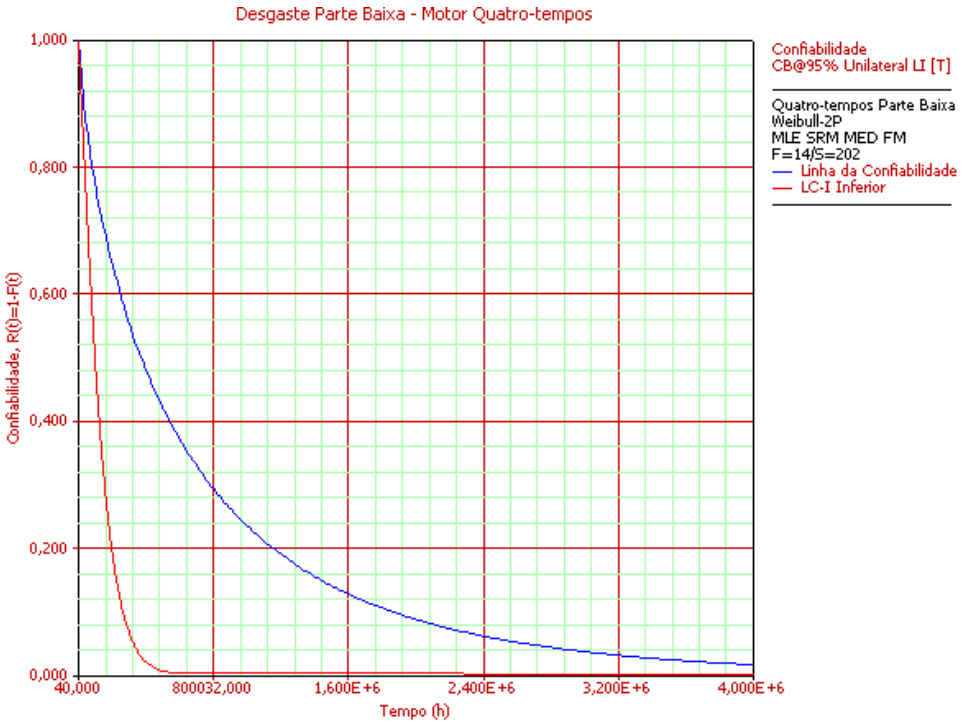


FIGURA 5 – Função Confiabilidade do Motor Caterpillar – Parte Baixa

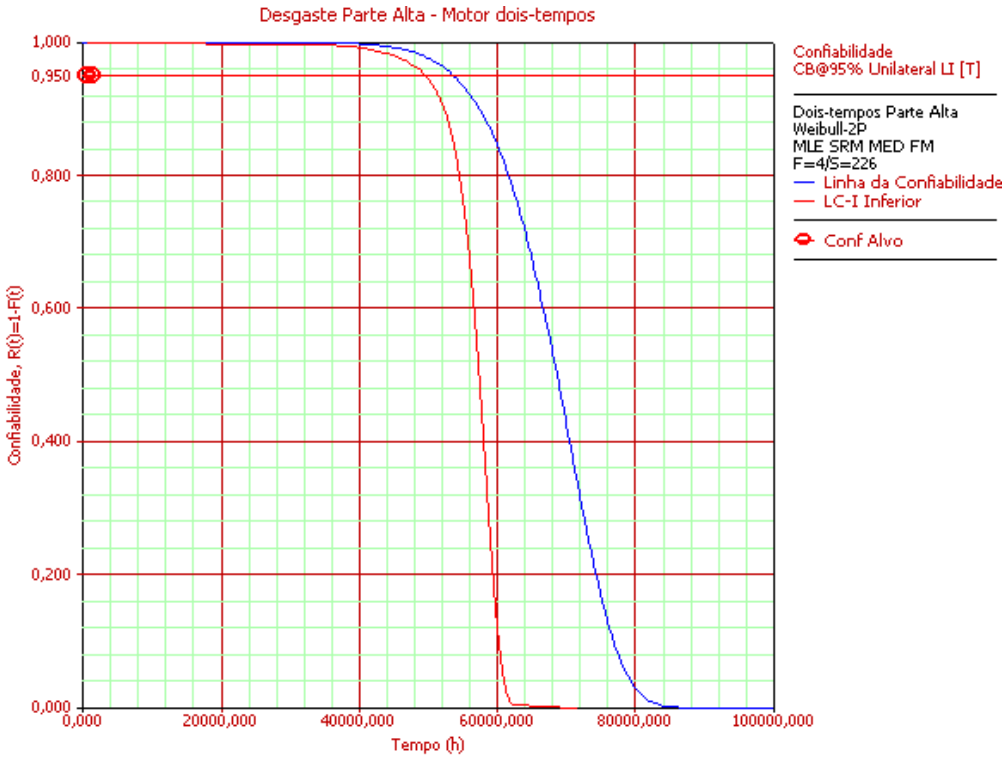


FIGURA 6 – Função Confiabilidade do Motor General Motors – Parte Alta

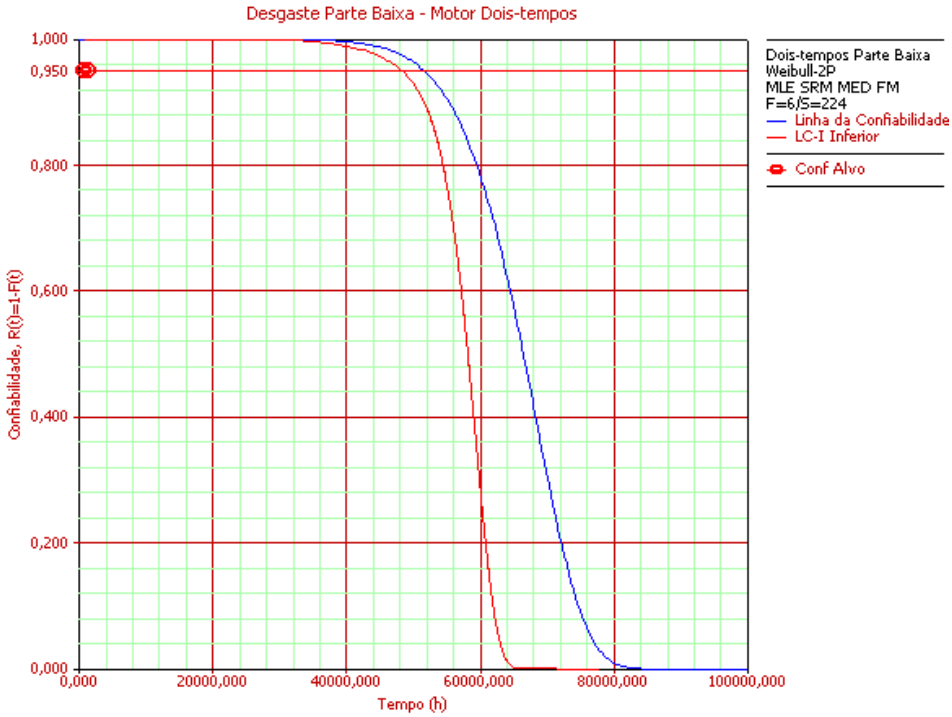


FIGURA 7 – Função Confiabilidade do Motor General Motors – Parte Baixa

Considerando que o tempo de operação médio diário das embarcações é de 75% (6570 horas trabalhadas por ano), A Tabela 3 apresenta os resultados tempo de operação sem manutenções preventivas nos subsistemas, para uma confiabilidade de 95%, e os Tempos Médios entre Falhas para cada subsistema.

TABELA 3 – Tempo de Operação e Tempo Médio entre Falhas para cada subsistema

Especificação do Motor	*Subsistema*	*Tempo para R(t)=0,95 (horas)*	*Tempo Médio entre Falhas (horas)*
Caterpillar MAK 9M-20	Parte Alta	35.167	37.822
	Parte Baixa	11.275	146.950
General Motors EMD 16 645E7	Parte Alta	53.317	57.024
	Parte Baixa	51.561	57.711

Pode-se observar que o fato dos motores General Motors apresentarem β elevados implicam em uma maior previsibilidade de falhas, os tempos médios entre falhas dos motores Caterpillar são superiores, devido ao fato de apresentarem seus valores η maiores e β menores.

2.4. Modelagem dos Sistemas

Após a determinação das Distribuições dos subsistemas, é possível realizar a modelagem dos sistemas, utilizando a técnica de Diagrama de Blocos, onde cada bloco corresponde a um subsistema dos motores, sendo o posicionamento dos mesmos em função da condição de projeto do equipamento.

A Figura 8 apresenta o Diagrama de Blocos apresentada por Reliasoft [6], correspondente aos motores das embarcações, compostos pelos subsistemas Parte Alta e Parte Baixa. O modelo para ambos os motores é o mesmo, porém as distribuições de probabilidade de cada subsistema dependem dos dados de cada um deles.

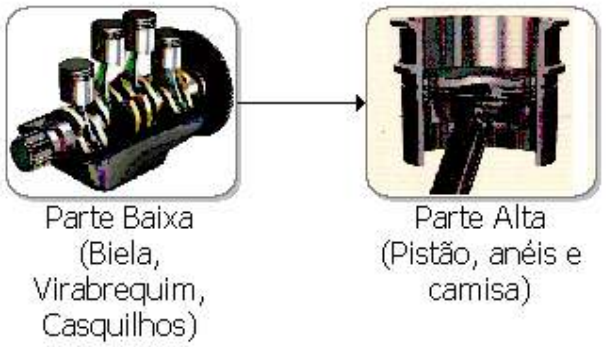


FIGURA 8 – Diagrama de Blocos dos Motores Caterpillar e General Motors

Através do Diagrama de Blocos dos sistemas é possível obter os gráficos de confiabilidade para cada modelo de motor, os quais estão sendo apresentados nas Figuras 9 e 10.

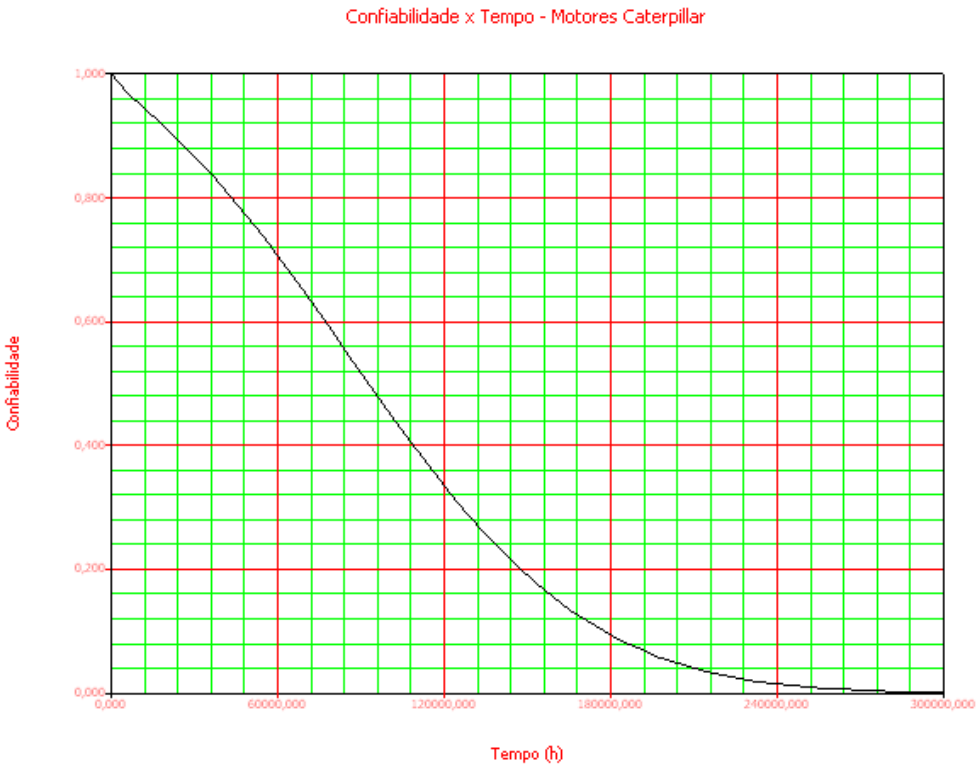


FIGURA 9 – Confiabilidade x Tempo - Motores Caterpillar

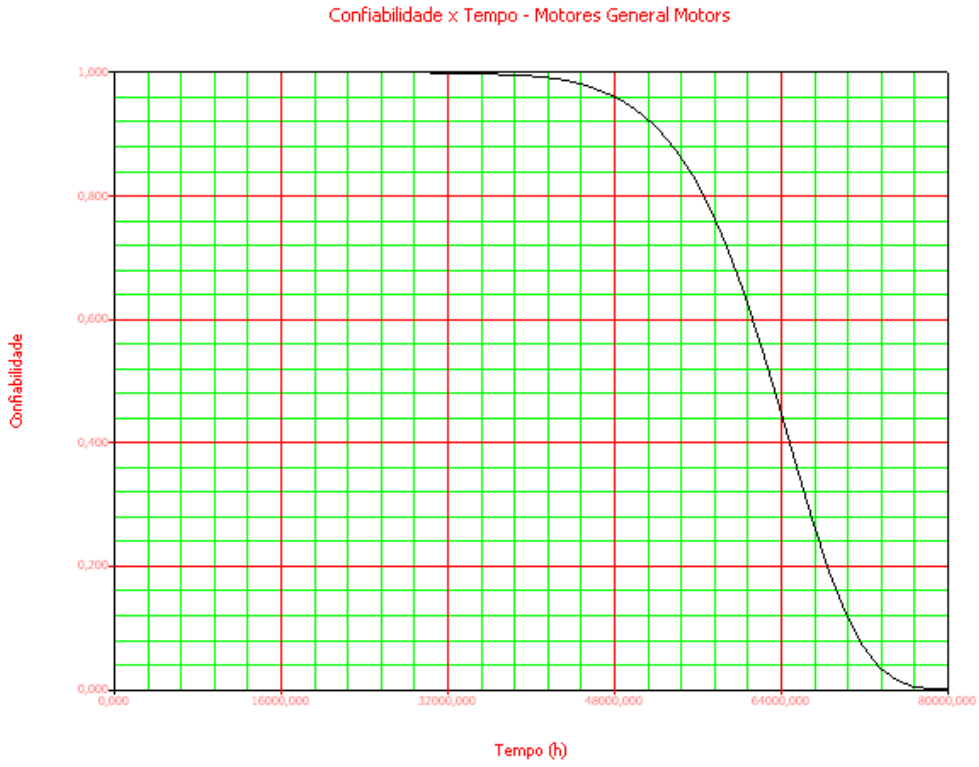


FIGURA 10 – Confiabilidade x Tempo - Motores General Motors

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a real necessidade de equipamentos confiáveis durante suas operações, a comparação entre os motores de Caterpillar (quatro-tempos) e General Motors (dois-tempos) foi conduzida com foco em confiabilidade requerida, analisando a diferença de desempenho sob o ponto de vista de mantenabilidade.

Para isso, se utilizou como confiabilidade mínima requerida para os equipamentos o valor de 95%, ou seja, espera-se que a probabilidade de ocorrência de desgastes anormais nos motores (parte alta ou parte baixa) em um dado tempo *t* seja inferior a 5%. Utilizando este raciocínio, a Tabela 4 apresenta os tempos de operação para cada modelo de motor correspondente a confiabilidade de 95%.

TABELA 4 – Tempo de Operação para confiabilidade de 95%

Especificação do Motor	*Ciclo de funcionamento*	*Tempo para R(t)=0,95 (horas)*
Caterpillar MAK 9M-20	Quatro-tempos	10.307
General Motors EMD 16 645E7	Dois-tempos	49.100

É possível observar a maior previsibilidade de falhas para os motores General Motors em comparação ao motor Caterpillar, o que já era de se esperar em função da análise dos resultados de seus subsistemas apresentados na Tabela 3.

Além das informações apresentadas anteriormente, pode-se também obter o tempo médio entre falhas (MTBF) para cada tipo de motor.

Considerando o tempo de operação de 41900 horas, maior período de operação entre os dois motores, a Tabela 5 apresenta os dados acima para os modelos de motores em estudo.

Tabela 6 – Indicadores de Desempenho Estimados através de Simulação para 49.100 horas de operação

Indicador de Desempenho	*Caterpillar MAK 9M-20 (quatro-tempos)*	*General Motors EMD 16 645E7 (dois-tempos)*
Confiabilidade (%)	77,43	95,00
Tempo Médio entre Falhas - MTBF(h)	97.703	62.272

É possível observar que, apesar do maior MTBF dos motores Caterpillar em comparação ao General Motors, sua imprevisibilidade de ocorrência das falhas acarreta na redução de confiabilidade, o que sob o ponto de vista operacional, se torna uma desvantagem considerável.

4. CONCLUSÕES

Através das análises e simulações apresentadas, pode-se concluir que os motores quatro-tempos, apesar de apresentarem MTBF superior ao de motores dois-tempos, sua alta imprevisibilidade de falhas faz com que sua confiabilidade seja menor para um mesmo período de tempo, considerando períodos de tempo relativamente curtos, dentro dos quais ocorram os desgastes dos componentes mecânicos e seus consecutivos reparos.

O comportamento mecânico dos motores dois-tempos, provavelmente devido a sua maior simplicidade em comparação aos motores quatro-tempos, implica em uma maior previsibilidade de falhas, o que sob o ponto de vista de mantenabilidade, é uma vantagem considerável, visto que em situações práticas, as embarcações estarão menos sujeitas a falhas aleatórias, o que poderá ocorrer com maior freqüência em motores quatro-tempos, o que permite a aplicação de estratégia de manutenção preventiva baseada no tempo, ao invés de investimentos com manutenção preditiva, reduzindo o custo de manutenção com estes componentes.

Além dos aspectos acima citados, deverá ser considerado ainda o impacto dos custos com combustíveis e lubrificantes, visto que é sabido que motores dois-tempos apresentam maiores consumos destes insumos, em comparação aos motores quatro-tempos, o que implica em maior custo operacional.

Algumas ações podem ser tomadas no intuito de aumentar a previsibilidade de falhas dos motores quatro-tempos e consequentemente viabilizar sua aplicação sob o ponto de vista de mantenabilidade. Dentre estas ações, podem-se destacar as seguintes:

- ✓ Aplicação de Técnicas de Manutenção Preditiva para Monitoramento de

condições do equipamento, tais como inspeção sensitiva, análise de lubrificantes usados, videoscopia, etc.

- ✓ Utilização de Metodologias de Análise e Bloqueio de Falhas, tais como PDCA, 5 Porquês, Árvore de Falhas, Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA), etc., visando evitar a reincidência das falhas ocorridas;
- ✓ Implantação de melhorias no equipamento oriundas de problemas de projeto do mesmo;
- ✓ Padronização de procedimentos operacionais, no intuito de reduzir possibilidades de falhas aleatórias por erro humano;
- ✓ Elaboração de Planos de Manutenção e Lubrificação considerando os modos de falhas dos subsistemas, utilizando ferramentas de confiabilidade (Manutenção Centrada em Confiabilidade – RCM e Lubrificação Centrada em Confiabilidade – RCL).

5. REFERÊNCIAS

1. ALADON, LTD. **Maintenance Management.** Lutterworth, 1999.

2. CONSULTANT, I.S. **An Introduction to Reliability-Centered Spares**. Lechlade, 2001.

3. LAFRAIA, J.R.B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2001.

4. RELIASOFT, **BlockSim User's Guide.** Arizona, Reliasoft Publishing, 2006.

5. RELIASOFT, **Life Data Analysis Reference.** Arizona, Reliasoft Publishing, 2006.

6. RELIASOFT, **System Analysis Reference – Reliability, Availability and Optimization.** Arizona, Reliasoft Publishing, 2006.

7. RELIASOFT, **Weibull ++ User's Guide.** Arizona, Reliasoft Publishing, 2006.

8. SILVEIRA, M.M. **Introdução ao Apoio Marítimo**, Rio de Janeiro, 2002.

9. SHELL, **Treinamento de Lubrificação Automotiva**, Rio de Janeiro, 2008.

10. CATERPILLAR, **Marine Engine Selection Guide**, London, 2008.

11. VAZ, L. **Motores de Combustão – Propulsão de Navios**, Pós Graduação em Engenharia de Máquinas Navais e offshore. Rio de Janeiro, 2008.

12. ALHO, A. **Sistemas Navais e Offshore**, Pós Graduação em Engenharia de Máquinas Navais e offshore. Rio de Janeiro, 2008.

13. BOCCHETTI, D.; GIORGIO, M.,GUIDA, M.; PULCINI, G. **A competing risk model for the reliability of cylinder liners in marine Diesel engines**. Reliability Engineering and System Safety. Italy, 2007.

14. LOUIT, D.M.; PASCUAL, R.; JARDINE, A.K.S. **A practical procedure for selection of time-to-failure models based on the assessment of trends in maintenance data**. Reliability Engineering and System Safety. Chile, 2008.

15. ARTANA, K.B.; ISHIDA, K. **Spreadsheet modeling of optimal maintenance schedule for components in wear-out phase**. Reliability Engineering and System Safety. Japan, 2008.

16. MOKASHI, A.J.; WANG, J.; VERMAR, A.K. **A study of reliability-centred maintenance in marine operations**. Marine Policy. India, 2002.

17. MILKIE, C.M.; PERAKIS, A.N. **Statistical method for planning Diesel Engine overhauls in the U.S. Coast Guard**. Naval Engineering Journal. USA, 2004.

18. LAMARIS, V.T.; HOUNTALAS, D.T. **A general purpose diagnostic technique for marine diesel engines – Aplication on the main propulsion and auxiliary diesel units of a marine vessel.** Energy Conversion and Management. Greace, 2009.

19. LUGTIGHEID, D.; BANJEVIC, D.; JARDINE, A.K.S. **System repairs: When to perform and what to do?**. Reliability Engineering and System Safety. Canada, 2005.