

Departamento de Engenharia de Produção

EPD 839 – Tópicos Especiais em Gestão da Produção: Métodos Estatísticos em  
Confiabilidade e Manutenção de Sistemas Reparáveis e Não Reparáveis

“Análise da Confiabilidade de Óleo Lubrificante”

Bruno Lopes Pinheiron.2007656684

Profs.: Marta Afonso Freitas/Enrico Antônio Colosimo

# **Sumário**

1	Introdução.....	2
2	Revisão .....	2
2.1	Óleo Lubrificante.....	2
2.2	Equipamento.....	2
2.3	Manutenção .....	2
2.4	Métodos estatísticos aplicados na confiabilidade.....	4
3	Análise .....	5
3.1	Considerações iniciais .....	5
3.2	Entrada de dados.....	5
3.3	Ajuste dos modelos.....	5
3.4	Cálculo da Confiabilidade .....	7
3.5	Estudo da viabilidade econômica .....	7
3.5.1	Troca de óleo com 250 horas.....	8
3.5.2	Troca de óleo com 500 horas.....	9
3.5.3	Troca de óleo com 750 horas.....	9
3.5.4	Comparativo .....	9
4	Conclusões.....	10
5	Bibliografia.....	11

# **Índice de Figuras**

Figure 1 - Definição de Falha e Defeito .....	3
Figure 2 - Pirâmide da Manutenção .....	4
Figure 3 - Survival Plot - Kaplan Meir.....	6
Figure 4 - Probability Plot para Weibull, Lognormal, Exponencial e Loglogistic .....	6
Figure 5 - Parametric Survival - Weibull .....	7

# **Introdução**

No presente trabalho, pretende-se desenvolver uma análise estatística da confiabilidade de óleos lubrificantes aplicados em motores a diesel. Para tal, foi considerado o período de um ano (09/10/2006 à 09/10/2007), sendo ao todo 189 amostras.

Atualmente as trocas de óleo são feitas com 250 horas de uso do equipamento, pretende-se estudar a viabilidade de passar este período para 500 ou 750 horas.

O programa utilizado para o levantamento da curva de sobrevivência para o modelo paramétrico e para os não paramétricos foi o Minitab. A posteriori, foi estudada a viabilidade econômica para o aumento entre os períodos de troca de óleo.

## **1 Revisão**

### **1.1 Óleo Lubrificante**

Os óleos lubrificantes são substâncias utilizadas para reduzir o atrito, lubrificando, refrigerando e aumentando a vida útil das máquinas.

Nos ensaios laboratoriais feitos, os seguintes parâmetros foram medidos: teor de Óxidos, Nitratos, Sulfatos, Ferro, Cobre, Cromo, Chumbo, Estanho, Molibdênio, Níquel, Prata, Alumínio, Silício, Sódio, Potássio, Cálcio, Fósforo, Zinco, Manganês, Boro, Bário, Titânio, Antimônio, Vanádio, Manganês, Cádmio, Berílio, Ítrio, Estrôncio, Cobalto, a viscosidade e a presença de partículas em suspensão e o tamanho das mesmas, analisou-se também a existência de água. O próprio laboratório atesta se o óleo está em condições ou não de uso.

### **1.2 Equipamento**

Foi feita uma revisão bibliográfica a respeito do equipamento, porém a mesma será omitida por questões comerciais.

### **1.3 Manutenção**

A manutenção dos equipamentos se faz necessária pelos seguintes motivos:

- Aumento da confiabilidade: pois a boa manutenção reduz o número de paradas das máquinas;
- Melhora da qualidade: sabe-se que máquinas e equipamentos mal ajustados têm mais probabilidade de causar erros ou baixo desempenho e podem causar problemas de qualidade;
- Redução dos custos: os equipamentos quando bem cuidados funcionam com uma maior eficiência;

- Aumento da vida útil: cuidados simples, como limpeza e lubrificação, garantem a durabilidade da máquina, reduzindo os pequenos problemas que podem causar desgaste ou deterioração;
- Melhora da segurança: máquinas e equipamentos bem mantidos têm menos chance de se comportar de forma não previsível ou não padronizada, evitando assim, possíveis riscos ao operário.

O primeiro passo para a manutenção de determinado equipamento é determinar o que vem a ser falha e defeito. A figura 1 representa esta definição. Quando a função do equipamento encontra-se abaixo do limite mínimo admissível, o mesmo encontra-se na condição de FALHA. Se a função do mesmo encontra-se entre o valor especificado e o limite mínimo admissível, diz-se que o equipamento está com defeito. É interessante notar que um equipamento pode apresentar melhoria na sua função, após a manutenção. Isto é devido à melhorias no projeto.

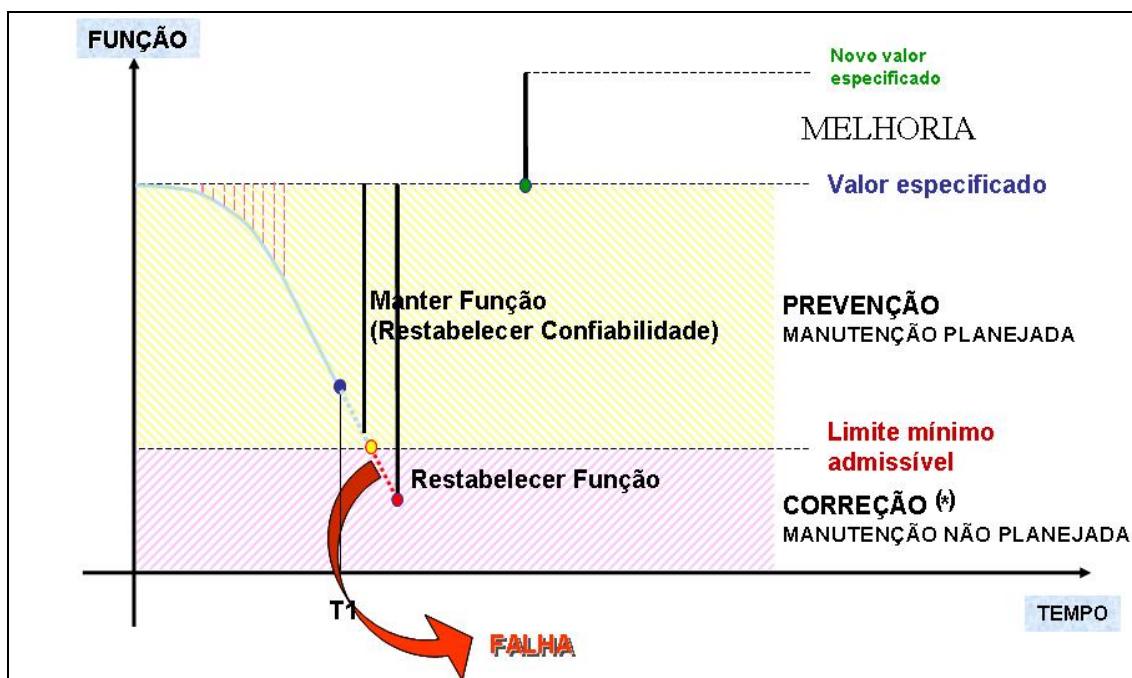


Figure 1 - Definição de Falha e Defeito

A manutenção dos equipamentos pode ser dividida em:

- **Manutenção Corretiva:** Como o próprio nome diz, este tipo de manutenção significa deixar o equipamento trabalhar até quebrar (ou falhar) e, depois, corrigir o problema. Ela não é necessariamente uma manutenção de emergência, pois entra em ação quando há quebra, ou quando o equipamento começa a operar com desempenho deficiente. Em linhas gerais, a Manutenção Corretiva significa Restaurar ou Corrigir o funcionamento da máquina. A manutenção corretiva pode ser dividida em **Manutenção Corretiva Não Planejada** (como ela não é planejada, geralmente implica em altos custos, pois a quebra inesperada pode gerar perdas de produção e de qualidade do produto) e em **Manutenção Corretiva Planejada** (ocorre quando percebemos que o equipamento não está trabalhando como deveria. Ela é mais barata, rápida e mais segura que a manutenção corretiva não planejada).

- **Manutenção Preventiva:** É a manutenção realizada com a intenção de reduzir ou evitar a quebra ou a queda no desempenho do equipamento. Para isso, utiliza-se um plano antecipado com intervalos de tempo definidos.
- **Manutenção Preditiva:** A manutenção preditiva é aquela que visa realizar ajustes no maquinário ou no equipamento apenas quando eles precisarem, porém, sem deixá-los quebrar ou falhar. Com um acompanhamento direto e constante é possível prever falhas, saber quando será necessário fazer uma intervenção e, claro, entrar em ação.

A figura 2 representa a pirâmide da manutenção. Como pode ser visto, a engenharia de confiabilidade encontra-se em uma posição bem superior, indicando que boa parte da rotina de manutenção já deve ter sido consolidada para o bom funcionamento da mesma. Vale a pena ressaltar a grande dificuldade em se obter dados confiáveis para os estudos estatísticos.

A manutenção centrada na confiabilidade (MCC) objetiva elevar ao máximo a confiabilidade dos equipamentos, utilizando métodos probabilísticos para a estimativa da ocorrência de falhas.



Figure 2 - Pirâmide da Manutenção

#### 1.4 Métodos estatísticos aplicados na confiabilidade

Para a análise dos dados obtidos, utiliza-se normalmente: não-paramétricas via Kaplan-Meier e paramétricas via modelos: **Exponencial**, **Weibull** e **Log-Normal**. O objetivo primordial passa a ser o levantamento da curva de sobrevivência (confiabilidade) do item em questão.

## 2 Análise

### 2.1 Considerações iniciais

Os dados obtidos pelas análises de óleo indicam apenas se o mesmo falhou ou não. Portanto, se o mesmo não falhou, considerar-se-á que o experimento está censurado à direita, porém, se o mesmo falhou, o correto seria considerar, censura à esquerda. Devido à questões de cálculo (complexidade), optou-se por desprezar a censura à esquerda, sendo arbitrado que os óleos assumam um tempo de falha igual ao da realização dos testes. No artigo “Shelf life determination using sensory evaluation scores: a general Weibull modeling approach” – Freitas, Marta A. e Costa, Josenette C., os autores propõe um método para estes casos de censura à direita e à esquerda.

Quem irá definir se o sistema óleo/motor falhou é o laboratório.

### 2.2 Entrada de dados

As 189 amostras foram inseridas no Minitab, sendo informado o tempo e a condição da mesma (falhado ou censurado).

### 2.3 Ajuste dos modelos

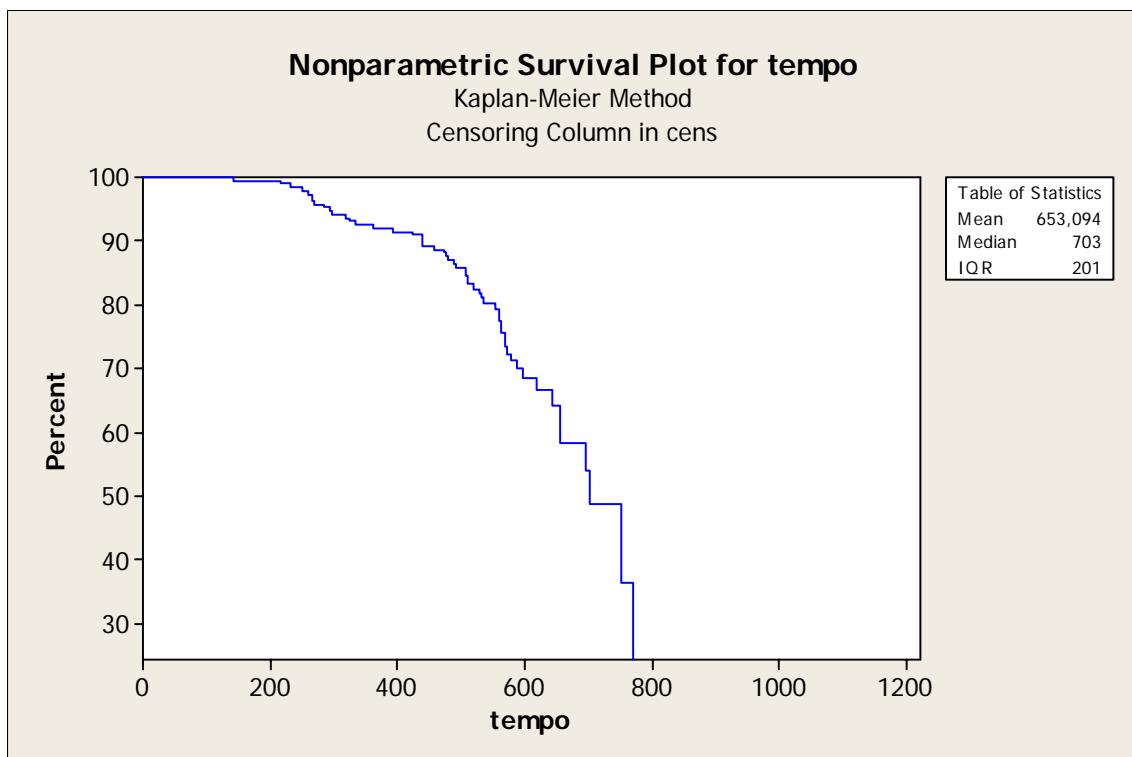
Com o auxílio do programa MINITAB, foi calculado inicialmente o estimador de Kaplan-Meier que é dado por:

$$\hat{R}(t) = \frac{n^o\_itens\_em\_Operação\_até\_o\_tempo\_t}{n^o\_itens\_sob\_teste}$$

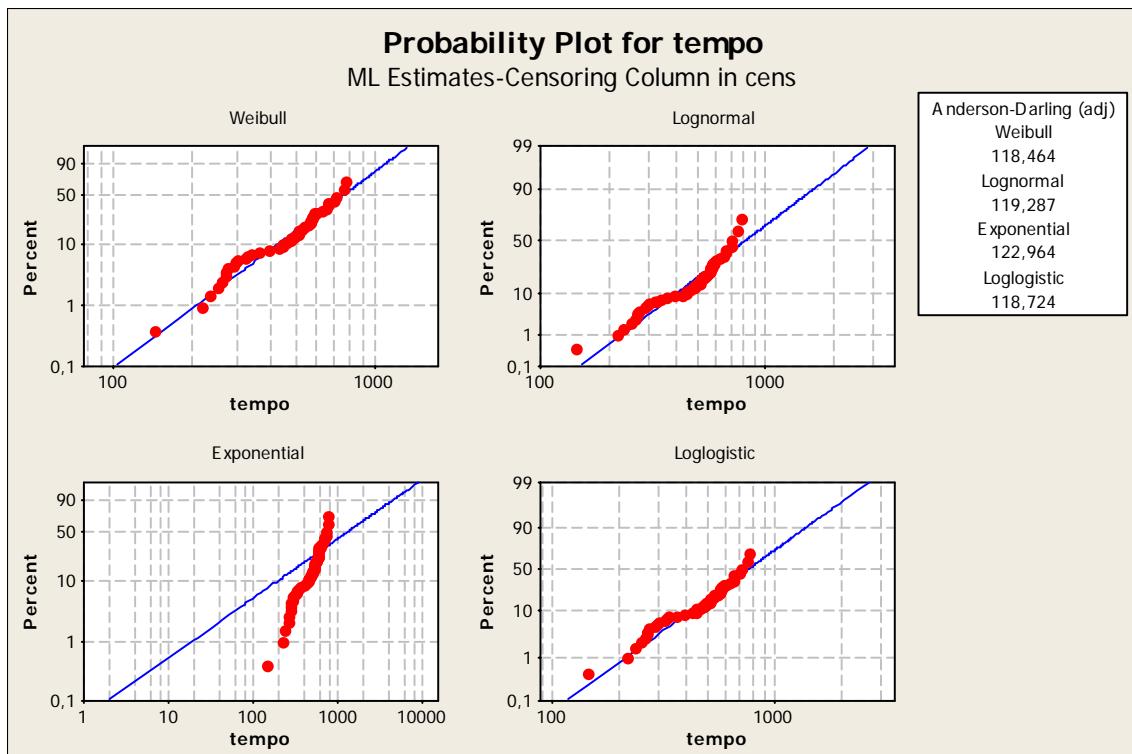
A confiabilidade dada pelo estimador de Kaplan Méier pode ser vista na figura 3.

A confiabilidade utilizando Weibull, Log-normal e Exponencial também foi calculada. Nos métodos, optou-se pela utilização da Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood), adotou-se também um intervalo de confiança de 95%. Como pode ser visto na figura 4, o melhor ajuste foi obtido pela distribuição de Weibull. Ficou evidente que a distribuição exponencial não é adequada.

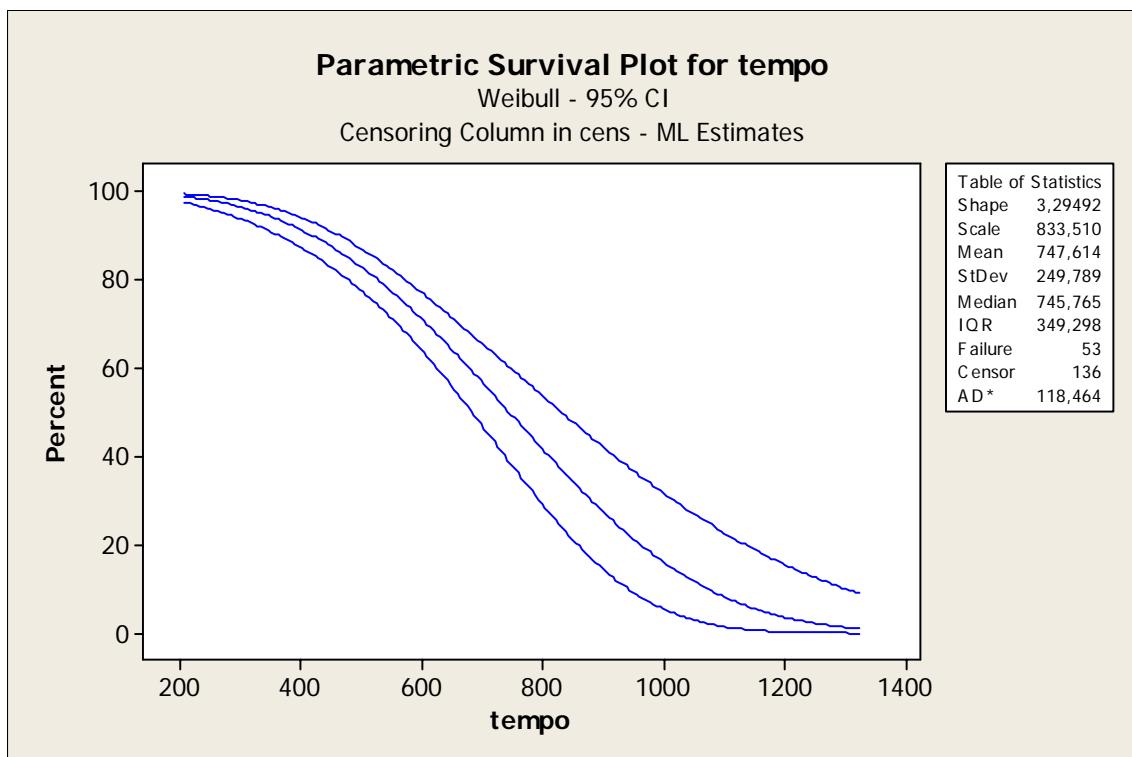
A figura 5 apresenta a confiabilidade para o sistema motor/óleo, considerando a distribuição de Weibull (mais adequada).



**Figure 3 - Survival Plot - Kaplan Meir**



**Figure 4 - Probability Plot para Weibull, Lognormal, Exponencial e Loglogistico**



**Figure 5 - Parametric Survival - Weibull**

## 2.4 Cálculo da Confiabilidade

Atualmente a troca de óleo é feita com 250 horas. Como os equipamentos têm paradas programadas para os múltiplos de 250, neste trabalho iremos comparar a confiabilidade do óleo para 250, 500 e 750 horas de uso.

Como foi visto no subitem anterior, a melhor distribuição para a confiabilidade de óleos é a de Weibull.

Time	Probability	Lower	Upper
250	0,981261	0,962030	0,990798
500	0,830555	0,777412	0,872055
750	0,493515	0,380233	0,597049

A confiabilidade para a troca em 250 horas é elevadíssima (98,1%) ao contrário da de 750 horas que é de 49,3%.

## 2.5 Estudo da viabilidade econômica

Como nos cálculos das confiabilidades, desprezou-se a censura a esquerda, optei por considerar o limite inferior da confiabilidade como base para os cálculos de viabilidade econômica para a modificação do intervalo de 250 horas para 500 e 750. A taxa interna de retorno (TIR) foi desconsiderada durante os cálculos.

Para os cálculos foram feitas as seguintes considerações:

- Troca do Kit

Troca Kit	
Material	Mão de Obra
R\$ 250,000.00	R\$ 50,000.00

- Lucro cessante

Descrição	valor	unid.
Tempo Parada	120	hrs
Produtividade Caminhão	500	ton/hrs
Lucro	2	R\$/ton
Eficiência	0.8	
Total	96000	R\$

- Custo total

Total do Custo da Manutenção	
Lucro cessante	R\$ 96,000.00
Troca Kit	R\$ 300,000.00
Total	R\$ 396,000.00

- Análise de óleo

Descrição	valor	unid.
Análise de Óleo	R\$ 80.00	hrs
Troca de Óleo	10	R\$/L

- A vida útil do caminhão para a empresa é de 50000 horas
- A troca do Kit é prevista para a revisão de 20000 horas

### 2.5.1 Troca de óleo com 250 horas

Para uma troca de óleo com 250 horas, que é a idealizada pelo fabricante, tem-se:

Troca de Óleo Standart - 250 hrs - Confiabilidade 96,2%		
Troca de Óleo com	250	Horas
Reforma do Motor com	20000	Horas
Vida útil do Caminhão	50000	Horas
Trocadas de óleo	200	trocas
Reservatório	215	Litros
Custo do Óleo	10	R\$/L
Custo com Óleo	430000	R\$
Custo da Análise de Óleo	80	R\$
Custo com Análises de Óleo	16000	R\$
Número de Reformas Esperadas	2.5	reformas
Custo da Reforma de Motor	396000	R\$

Custo com Reforma do Motor	990000	R\$
Custo total com o conjunto Óleo/Motor	R\$ 1,436,000.00	

### 2.5.2 Troca de óleo com 500 horas

Para uma troca de óleo com 500 horas, tem-se:

Troca de Óleo - 500 hrs - Confiabilidade 77,7%		
Troca de Óleo com	500	Horas
Reforma do Motor com	15000	Horas
Vida útil do Caminhão	50000	Horas
Trocas de óleo	100	trocas
Reservatório	215	Litros
Custo do Óleo	10	R\$/L
Custo com Óleo	215000	R\$
Custo da Análise de Óleo	80	R\$
Custo com Análises de Óleo	8000	R\$
Número de Reformas Esperadas	3.333333333	reformas
Custo da Reforma de Motor	396000	R\$
Custo com Reforma do Motor	1320000	R\$

Custo total com o conjunto Óleo/Motor	R\$ 1,543,000.00
---------------------------------------	------------------

### 2.5.3 Troca de óleo com 750 horas

Para uma troca de óleo com 750 horas, tem-se:

Troca de Óleo - 750 hrs - Confiabilidade 38%		
Troca de Óleo com	750	Horas
Reforma do Motor com	7500	Horas
Vida útil do Caminhão	50000	Horas
Trocas de óleo	66.66666667	trocas
Reservatório	215	Litros
Custo do Óleo	10	R\$/L
Custo com Óleo	143333.3333	R\$
Custo da Análise de Óleo	80	R\$
Custo com Análises de Óleo	5333.333333	R\$
Número de Reformas Esperadas	6.666666667	reformas
Custo da Reforma de Motor	396000	R\$
Custo com Reforma do Motor	2640000	R\$

Custo total com o conjunto Óleo/Motor	R\$ 2,788,666.67
---------------------------------------	------------------

### 2.5.4 Comparativo

Comparando as três modalidades possíveis para troca de óleo, tem-se:

Troca de Óleo Standart - 250 hrs - Confiabilidade 96,2%		
Custo total com o conjunto Óleo/Motor	R\$ 1,436,000.00	
Litros de óleo	43000	Litros
Troca de Óleo - 500 hrs - Confiabilidade 77,7%		
Custo total com o conjunto Óleo/Motor	R\$ 1,543,000.00	
Litros de óleo	21500	Litros
Troca de Óleo - 750 hrs - Confiabilidade 38%		
Custo total com o conjunto Óleo/Motor	R\$ 2,788,666.67	
Litros de óleo	14333	Litros

Fica evidente que o menor custo de manutenção irá ocorrer para o caso da troca de óleo com 250 horas. Porém, por questões ambientais, a troca de óleo com 500 horas também pode ser considerada interessante, uma vez que o óleo descartado fica reduzido em 50%.

### 3 Conclusões

O período de troca de óleo estipulado pelo fabricante visa redução nos custos de manutenção. Com a troca de 250 horas, a confiabilidade do sistema motor/óleo é elevada (96,2%). Sendo a troca do kit força do motor minimizada.

Por questões ambientais, acho interessante um melhor estudo da troca de óleo com 500 horas, pois apesar dos custos de manutenção serem 7,5% maiores, o óleo descartado fica reduzido em 50%.

A possibilidade de troca de óleo com 750 horas foi descartada, pois a confiabilidade do sistema fica demasiadamente reduzida (38%).

O trabalho desenvolvido nesta disciplina mostrou a importância da mesma para a manutenção. A engenharia de confiabilidade é uma ferramenta rebuscada e de grande valor para o planejamento da manutenção.

## **4 Bibliografia**

NAKAJIMA, S. Total productive maintenance. Productivity Press, 1988.

FREITAS, Marta A. e COSTA, Josenette C., “Shelf life determination using sensory evaluation scores: a general Weibull modeling approach”

FREITAS, Marta A. e COLOSIMO, Enrico A., “Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados”, Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1997