



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP



Manuel Cipriano Machado Enguiça

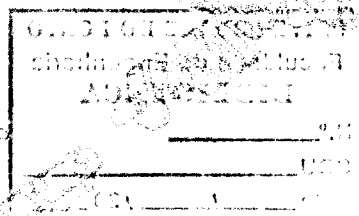
Fiabilidade e Modo de Falha Crítico em Motores Volvo THD 100DB

Um Caso Prático

Fiabilidade e modo de falha crítico em motores Volvo THD 100DB

Um caso prático

Manuel Cipriano Machado Enguiça



Tese submetida com vista à obtenção do grau de Mestre
em Manutenção Industrial

Porto, 2002



Universidade do Porto

FEUP

Faculdade de
Engenharia



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Resumo

Com a abertura da economia nesta viragem do século, vimos assistindo ao aumento de competição entre as empresas. Apenas sobrevivem as mais capazes, as que melhor se adaptam às novas circunstâncias e conseguem o melhor produto ao mais baixo custo. O sector de transporte pesado de passageiros, não obstante a sua função social, não constitui excepção.

Nos últimos anos, a Manutenção tem-se posicionado como uma das funções de maior potencial para a rentabilização da actividade das empresas. Tida até há pouco tempo como um mal necessário, a Manutenção vem ganhando espaço no reconhecimento das funções com contributos positivos para as necessárias mais valias das empresas.

Este contributo da Manutenção não é alheio às evoluções tecnológicas e é obtido pela via da implementação de processos de previsão da condição dos equipamentos. Estes processos, ao proporcionarem maior disponibilidade dos equipamentos, estão em sintonia com uma das regras de ouro das empresas; produzir os produtos certos, nas alturas certas e nas quantidades certas.

Os processos de previsão da condição dos equipamentos não são, infelizmente, extensíveis à vasta gama de tecnologias utilizadas. Nestes casos é necessário acautelar que os equipamentos estejam disponíveis quando necessário. Os modelos de Fiabilidade são uma ferramenta de que a Manutenção dispõe para prossecução daquele objectivo.

O conhecimento do grau de criticidade e de frequência de uma avaria têm algumas repercussões na redução dos tempos de imobilização do equipamento. Com efeito, com aquele conhecimento a Manutenção pode delinear estratégias que se ajustem ao fim em vista, obtendo, adicionalmente, algumas reduções de custos.

Neste trabalho, cálculo da fiabilidade e determinação do modo de falha crítico numa família de motores que equipa parte de uma frota de autocarros de transporte urbano de passageiros, procurámos aplicar as noções enunciadas para maior disponibilidade das viaturas.

Para terminar, foi estabelecido um modelo de decisão recondicionamento *versus* aquisição que irá permitir uma atitude mais racional com as opções de reparação. A perspectiva de trabalhos futuros passará então pela generalização a outros órgãos.

Summary

With the turn of the century, the economy is facing tougher competition between companies and organizations. Only the strongest and most capable to adoption will survive in this environment, and it is fundamental to deliver better and cheaper products in shorter life time cycles. The market of transportation, cargo traffic and public transport, is no exception.

In the last years, Maintenance stepped into focus of one of the areas with the highest potential to cut cost and improve productivity in companies. While seen in the past as something "necessary", Maintenance is more and more considered as a fundamental activity for companies and it's contribution to create value.

This contribution doesn't depend on technological advances, but depends on the right implementation of processes of prevision of equipment conditions. These processes, which try to provide highest availability, are synchronized with one of the golden rules of business: Produce the right product at the right time in the right quantities.

Unfortunately, processes to forecast the condition of equipment are not always applicable due to the vast range of technologies. In this cases, it is important, that the equipment is available whenever necessary. The reliability models are a powerful tool for maintenance to achieve this objective.

The downtime of equipment can be reduced, if frequency and severeness of typical failures are known. With this data at hand, it is possible to develop Maintenance strategies and to reduce downtime and overall costs.

In this paper, we tried to applicate our knowledge to improve availability for a type of motors, which are powering a fleet of urban public transport busses. To achieve this, we calculated reliability and determinated the mode of critical failure.

Finally, it was our objective to establish a model to decide in a more rational matter the fundamental question "Repair versus Acquisition". The perspective for the future is to generalize the same pattern for other types of equipment.

Agradecimentos

Sendo difícil mencionar todos quantos, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, quero começar por agradecer a todos os que se sintam esquecidos ao lerem estas breves linhas.

Começo por manifestar o meu agradecimento aos Srs. Professores Doutores Luís Andrade Ferreira e Filipe Didelet Pereira pelo apoio, incentivo e colaboração que recebi ao longo das várias fases deste trabalho.

Agradeço ainda à Companhia Carris de Ferro de Lisboa todos os meios, financeiros e materiais, que pôs à minha disposição, especialmente aos Srs. Engenheiros Freire da Fonseca e Almeida Nave.

Para os Srs. Engenheiros Vítor Gonçalves e Michael Borsdorf, respectivamente pelo acesso à sua vasta biblioteca e pelo apoio desenvolvido nas pesquisas SAP, o meu agradecimento.

Quero realçar também o Sr. Engenheiro Gomes da Silva da Câmara Municipal de Lisboa pela colaboração prestada.

Finalmente, um grande agradecimento à minha família pelo apoio dado, especialmente pelas horas de convívio roubadas ao José Rafael.

ÍNDICE

	Página
<i>Resumo</i>	<i>i</i>
<i>Summary</i>	<i>ii</i>
<i>Agradecimentos</i>	<i>iii</i>
<i>Índice</i>	<i>iv</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>vii</i>
<i>Índice de tabelas</i>	<i>ix</i>
Capítulo 1 Introdução e objectivos	1
1.1 Enquadramento do problema	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Definições e conceitos utilizados	2
1.3.1 Conceitos gerais	2
1.3.2 Conceitos particulares	3
1.4 Resenha bibliográfica	4
1.4.1 Manutenção. O que é?	4
1.4.2 Importância da Manutenção	4
1.4.3 Objectivos da Manutenção	6
1.4.4 Evolução da Manutenção	7
1.4.4.1 Evolução histórica	7
1.4.4.2 As novas abordagens	8
1.4.5 Conceitos e formas de Manutenção	12
1.4.5.1 Algumas definições importantes	12
1.4.5.2 Formas e tipos de Manutenção	18
1.4.6 Organização da Manutenção	25
1.4.7 Qualidade e Manutenção	27
1.4.8 Custos da Manutenção	29
1.4.9 Subcontratação da Manutenção	33
1.5 Organização da tese	35
Capítulo 2 Metodologia para quantificação da fiabilidade	37
2.1 Estatística e Fiabilidade	37
2.2 Modelos da fiabilidade	41
2.3 Requisitos da fiabilidade	42

2.4	A fiabilidade no ciclo de vida de um equipamento	43
2.5	As etapas da fiabilidade	44
2.6	Metodologia de aplicação	45
2.7	Fiabilidade de sistemas	46
Capítulo 3	Caso em estudo	50
3.1	Enquadramento do problema	50
3.1.1	O meio envolvente	50
3.1.2	A empresa – breve nota histórica	50
3.1.3	A empresa – acções actuais e futuras	51
3.1.4	A empresa – estrutura e funções da Manutenção.....	52
3.1.5	A empresa – organização da Manutenção	54
3.1.6	A empresa – as ferramentas da função Manutenção	57
3.2	Apresentação da situação	57
3.3	Recolha e tratamento de dados	58
3.3.1	Avárias de rotina	58
3.3.2	Recondicionamentos	60
3.4	Cálculo da fiabilidade	62
3.5	Determinação e caracterização do modo de falha crítico	63
3.6	Resultados obtidos	65
3.6.1	Avárias de rotina	66
3.6.2	Recondicionamentos	66
3.7	Conclusões	66
Capítulo 4	Técnicas de Manutenção Preventiva Condicionada (MPC) ...	67
4.1	Técnicas mais frequentes de MPC	67
4.2	Técnicas MPC – resultados de uma experiência	76
4.3	Técnicas MPC a aplicar ao caso em estudo	77
Capítulo 5	Conclusões gerais	80
5.1	Breve resumo do trabalho realizado	80
5.2	Aplicação do um modelo de decisão substituição/recondicionamento .	81
5.3	Conclusões	82
5.4	Sugestões para trabalhos futuros	82
	Referências bibliográficas	84

Anexo I	Organogramas das Direcções de Manutenção e Técnica	88
Anexo II	Organograma de cada uma das Divisões de Manutenção	89
Anexo III	Organograma da Divisão das Oficinas Gerais de Autocarros	90
Anexo IV	Estratégia e operações da Manutenção Programada	91
Anexo V	Plano de Reparações e Aquisições da Frota de Autocarros	96
Anexo VI	Relatório de avarias, percebidas pelo tripulante	97
Anexo VII	Avarias de rotina – Listagem de ocorrências	98
Anexo VIII	Avarias de rotina – Preparação dos dados para o teste de Laplace ..	99
Anexo IX	Recondicionamentos – Contagem dos tempos de serviço	100
Anexo X	Recondicionamentos – Contagem dos tempos em espera nas Divisões de Manutenção	101
Anexo XI	Recondicionamentos – Contagem dos tempos em espera na Divisão de Oficinas Gerais de Ac's	102
Anexo XII	Recondicionamentos – Contagem dos tempos de imobilização para reparação	103
Anexo XIII	Recondicionamentos – Preparação dos dados para aplicação do teste de Laplace	104
Anexo XIV	Avarias de Rotina – Tabela de carregamento de dados e testes χ^2 e K-S	105
Anexo XV	Avarias de Rotina – Estimativa dos parâmetros β e η	106
Anexo XVI	Avarias de Rotina – Cálculo da fiabilidade e tempos característicos .	107
Anexo XVII	Avarias de Rotina – Gráficos $f(t)$ e $h(t)$	108
Anexo XVIII	Avarias de Rotina – Gráficos $R(t)$ e $F(t)$	109
Anexo XIX	Recondicionamentos – Tabela de carregamento de dados e testes χ^2 e K-S	110
Anexo XX	Recondicionamentos – Estimativa dos parâmetros β e η	111
Anexo XXI	Recondicionamentos – Cálculo da fiabilidade e tempos característicos	112
Anexo XXII	Recondicionamentos – Gráficos $f(t)$ e $h(t)$	113
Anexo XXIII	Recondicionamentos – Gráficos $R(t)$ e $F(t)$	114
Anexo XXIV	Critérios de classificação e índices	115
Anexo XXV	Exemplo de uma análise de óleos	117
Anexo XXVI	Equipamento AVL DiSystem 845	119
Anexo XXVII	Funcionamento e modo de emprego do compressómetro Motometer	121

ÍNDICE de FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Triângulo da sobrevivência	5
Figura 1.2 O crescimento das expectativas da Manutenção	8
Figura 1.3 Curva da banheira	14
Figura 1.4 MTTR e MTBF	15
Figura 1.5 Relação entre fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade	16
Figura 1.6 Dependência da disponibilidade operacional	17
Figura 1.7 Formas de intervenção da Manutenção	19
Figura 1.8 Manutenção Curativa	20
Figura 1.9 Manutenção Preventiva Sistemática	22
Figura1.10 Manutenção Preventiva Condicionada	24
Figura1.11 Factores e áreas da Qualidade	28
Figura1.12 Custos directos de manutenção	29
Figura1.13 “Iceberg” de custos	30
Figura1.14 Optimização dos custos	31
Figura1.15 Custo de ciclo de vida	32
Figura1.16 Custo de ciclo de vida	33
Figura1.17 Relacionamentos numa parceria	35
Figura 2.1 Diagrama de blocos de um sistema série de k unidades	46
Figura 2.2 Diagrama de blocos de uma redundância activa de k unidades	47
Figura 2.3 Diagrama de blocos de uma redundância passiva de 2 unidades	48
Figura 2.4 Diagrama de blocos de um sistema complexo paralelo/série	48
Figura 2.5 Diagrama de blocos de um sistema complexo não paralelo/série	49
Figura 3.1 Tela SAP – Pesquisa das avarias de rotina	59
Figura 3.2 Tela SAP – Pesquisa de dados sobre recondicionamentos	60
Figura 3.3 Tela SAP – Locais de utilização	61
Figura 3.4 Tendência dos recondicionamentos	62

Figura 4.1	Amplitude de vibração	68
Figura 4.2	Vibrações harmônicas com frequências diferentes	69
Figura 4.3	Vibrações harmônicas com amplitudes diferentes	69
Figura 4.4	Vibrações harmônicas com fases diferentes	69
Figura 4.5	Curva de tendência	70
Figura 4.6	Espectro de frequências	71
Figura 4.7	Pressão e relação de compressão	79

ÍNDICE de TABELAS

	Página
Tabela 3.1 Recondicionamentos – Repartição dos tempos	61
Tabela 3.2 Recondicionamentos – Sintomas	63
Tabela 3.3 Recondicionamentos – Causas	64
Tabela 3.4 Cálculo do Índice de Severidade	65
Tabela 4.1 Critérios de severidade segundo ISSO 2372	70
Tabela 4.2 Ensaio físico-químico para óleos em aplicações variadas	72
Tabela 4.3 Comprimento de onda associado a cada elemento	74
Tabela 4.4 Elementos detectados em óleos de motor e a sua origem mais frequente	74

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO e OBJECTIVOS

1.1 Enquadramento do problema

No contexto da nova organização da economia mundial novos e sérios desafios se colocam às empresas. A liberalização dos mercados torna mais feroz a luta pela sobrevivência, conduzindo à exploração desenfreada dos recursos. Ao mesmo tempo, ganham cada vez mais adeptos e consistência as teses ecologistas que apelam à qualidade de vida nas suas múltiplas vertentes.

Por outro lado, a evolução exponencial do conhecimento científico vem sendo traduzida por correspondentes e significativos avanços tecnológicos. É neste cenário, aparentemente contraditório e fugaz, que as empresas devem pautar a sua acção e definir as suas estratégias. Assim, devem constituir-se como pedras basilares do desenvolvimento das empresas as seguintes acções:

- Preservação dos recursos naturais;
- Maximização do lucro;
- Minimização dos custos;
- Melhoramento contínuo dos recursos humanos;
- Racionalização dos investimentos;
- “Benchmarking”;
- Avaliação contínua do desempenho;
- Estratégia dirigida para a satisfação do cliente.

Deste modo, resulta claro que o sucesso das empresas assenta, entre outros aspectos, na satisfação e fidelização dos clientes, sendo fundamental que as mesmas entidades sejam conhecedoras dos factores de adesão aos produtos e/ou aos serviços que prestam. Uma das ferramentas mais utilizadas, especialmente nas empresas do sector de transportes públicos, é a realização de inquéritos. O recurso a esta prática, em modo continuado, permite conhecer a evolução da procura e, deste modo, promover os adequados ajustes à oferta.

De acordo com Antunes e Magalhães (2001), os indicadores dos critérios de qualidade mais valorizados em importância atribuída pelos utentes habituais foram a “pontualidade e cumprimento dos horários” e a “frequência de passagem”, respectivamente com 7,8 e 7,7 numa escala de 0 a 10. Embora sem desvalorizar os outros itens de apreciação, em particular a “pontualidade e cumprimento dos horários” que são em grande parte exógenos à empresa, infere-se que o prestador do serviço deve conferir particular atenção à dimensão da sua frota, tendo em vista um quantitativo que corresponda às necessidades. Em princípio, quanto maior tender a ser a dimensão da frota, maiores serão os investimentos com a sua aquisição. Assim, e de acordo com os princípios de racionalização dos investimentos e de minimização dos custos, dever-se-á agir tendo em conta o aumento da disponibilidade das viaturas.

Para Ferreira (1998), aumentar a disponibilidade consiste em reduzir o número de paragens por avaria e os tempos de reparação e inspecção; daqui se conclui que não basta possuir equipamentos fiáveis para se obterem elevados índices de disponibilidade, mas que é também necessário garantir celeridade nas operações de reparação e inspecção.

1.2 Objectivos

Tendo em conta o problema esboçado, o presente trabalho objectiva o estudo e a avaliação de alguns dos factores de afectação da disponibilidade, nomeadamente a fiabilidade e o modo de falha crítico. Através de um caso prático, família de 170 motores de combustão interna e propulsão diesel que se encontram montados sobre chassis Volvo B59 e Volvo B10 R, procuraremos dar resposta a três questões fundamentais:

- Como vai evoluir a degradação dos motores?
- Qual é a falha crítica e como minorar os seus efeitos?
- Em caso de necessidade, justifica-se economicamente o acondicionamento?

Assim, iremos procurar as respostas através do desenvolvimento das seguintes acções:

- Estabelecer os modelos matemáticos para avaliação da fiabilidade;
- Inferir sobre a degradação da fiabilidade em função do tempo;
- Determinar o modo de falha crítico;
- Propor medidas de carácter preventivo, não sistemático, para a falha crítica;
- Estabelecer uma rotina de cálculo para avaliação das opções reparar ou substituir.

1.3 Definições e conceitos utilizados

Estabelecem-se dois níveis diferenciados de conceitos:

- Gerais, que serão definidos a partir de uma abordagem matemática;
- Particulares, que serão definidos a partir da terminologia usual no caso em estudo.

1.3.1 Conceitos Gerais

A formulação matemática de alguns dos conceitos seguintes será apresentada no subcapítulo 1.4.

- **Fiabilidade:** Probabilidade dum item poder executar uma função requerida, sob determinadas condições, durante um dado intervalo de tempo;
- **Manutibilidade:** Probabilidade de uma acção activa de manutenção, para um elemento sob determinadas condições de utilização, poder ser executada dentro de um intervalo de tempo estabelecido, quando a manutenção é realizada nas condições pré-estabelecidas e com a utilização de procedimentos escritos e recursos pré- definidos;

- Disponibilidade: Capacidade de um produto se encontrar num estado de executar uma função requerida, sob dadas condições e num determinado momento ou intervalo de tempo, assumindo que os recursos externos necessários são fornecidos;
- Avaria: Degradação, rápida ou lenta, de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório;
- Modo de avaria: Prognóstico, ou os resultados observados de causa de uma falha num determinado item relacionadas com as condições de exploração no momento da avaria;
- Modo de falha: Um dos estados possíveis de um produto avariado para uma função requerida;
- Análise por árvore de falhas: Análise para determinar quais os modos de falha do produto, subprodutos ou acontecimentos externos, ou combinações destes, que podem resultar num estado de avaria do produto, apresentado em forma de uma representação gráfica arborizada.

1.3.2 Conceitos Particulares

Em conformidade com o estabelecido, definem-se:

- Órgão: Conjunto composto por vários componentes ou peças simples, formando um dispositivo de complexidade média;
- Órgão rotável: Órgão intermutável, que tem a particularidade de poder ser aplicado indistintamente em substituição de outros idênticos;
- Órgão descendente: Órgão intermutável, que depende de um órgão principal para executar a sua função;
- Motor completo: Órgão intermutável, composto por peças e outros órgãos descendentes;
- Motor: Órgão intermutável ao qual foram subtraídos outros órgãos descendentes como a bomba injectora, os injectores, o compressor ou o turbocompressor;
- Recondicionamento de motores: Filosofia de reparação, levada a cabo em oficinas centrais, que consiste em substituir sistematicamente alguns componentes como as unidades cilíndricas, as válvulas, as capas de biela e de cambota, os rolamentos e as juntas de vedação, reparar outros componentes e proceder a um ensaio final para garantia da qualidade;
- Avaria de rotina: Avaria, geralmente associada a custos pouco significativos, que acontece com alguma frequência e saneada nas oficinas periféricas;
- Sintoma da avaria: Alterações à função esperada, percebidas durante a utilização;
- Causa da avaria: Conjunto de circunstâncias durante a utilização que conduzem a uma avaria;
- Modo de falha crítico: Estado de um produto avariado que revela o mais elevado Índice de Severidade.

1.4 Resenha bibliográfica

1.4.1 Manutenção. O que é?

Monchy (1996), ao estabelecer a analogia entre uma vida humana e a vida de uma máquina, ou mais genericamente de um objecto técnico, embora sem juízos de valor entre a importância relativa Homem/ máquina, identifica a manutenção como “a *medicina das máquinas*”. Com efeito numa vida podem estabelecer-se dois marcos fundamentais, o princípio e o fim ou o nascimento e a morte. Nos objectos técnicos também se verificam aqueles marcos com a entrada em serviço e o abate. No que se refere à saúde, entre o primeiro e último dias, podem marcar-se três fases distintas na vida humana: recém-nascido e criança, onde se verifica um decréscimo das doenças típicas desta idade; adolescente e adulto, onde as doenças se vão revelando aleatoriamente; idade geriátrica, onde se verifica uma tendência para o aumento das doenças. Cada uma das fases terá a estratégia médica adequada.

De um modo geral, o comportamento dos objectos técnicos obedece ao mesmo figurino, ou seja. As avarias vão decrescendo em número após o arranque, as avarias ocorrerão aleatoriamente até uma determinada idade ou ao atingir esta idade as avarias tenderão a aumentar em número. Analogamente, cada uma das fases terá a estratégia adequada de manutenção.

Pinto (1994) define a função da manutenção como “*um conjunto integrado de actividades que se desenvolve em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou instalação e que visa manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança*”. Farinha (1997), embora referindo a inexistência de uma definição normalizada, aponta a “*combinação de acções de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos bens, para optimização dos seus ciclos de vida*” como possível definição para a manutenção.

Não se verificam incongruências entre cada uma das definições apresentadas, confirmando ambas a bondade da afirmação de Monchy.

1.4.2 Importância da manutenção

A economia do século XXI assenta no princípio da livre concorrência entre os vários agentes económicos com crescentes níveis de competição entre si.

Para se destacarem entre as demais, as empresas devem otimizar continuamente os vértices do que em gestão empresarial se designa por triângulo da sobrevivência. Os processos de optimização devem ser conduzidos, por um lado através da eliminação das disfunções, dos desperdícios, das perdas e por outro através da melhoria da produtividade e da eficiência numa busca permanente de novas soluções tecnológicas e organizacionais.

O triângulo da sobrevivência focaliza o produto ou serviço como elemento essencial da existência das empresas. Os vértices estão apontados para o mercado/cliente, através das variáveis “qualidade”, “preços” e “prazo de entrega”. A Manutenção, como as demais funções da empresa,

influi directamente aquelas variáveis, dando o seu contributo para o produto final. É o que se pretende representar na figura seguinte.

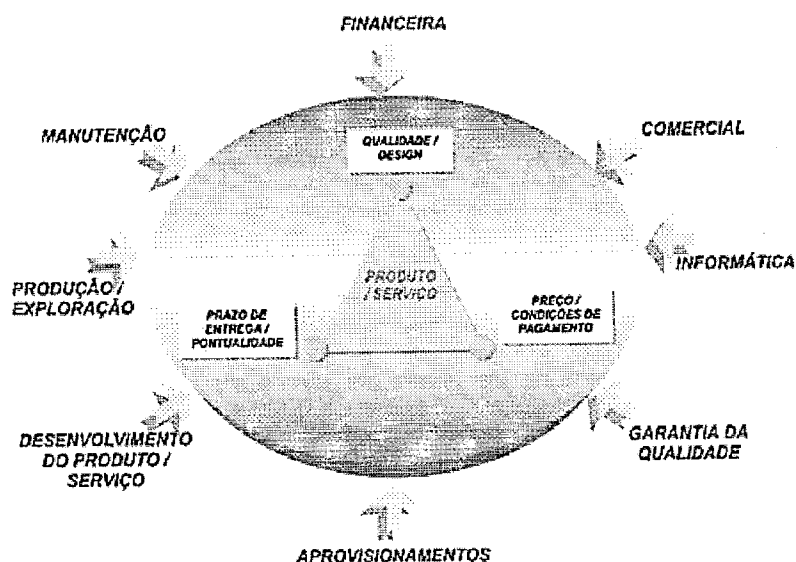


Figura 1.1 – Triângulo da sobrevivência – Cunha (2001)

Sendo normalmente descrita como uma das áreas operacionais de maior ineficiência, a função Manutenção deve ser menos penalizada pelo seu custo directo – mão de obra, materiais e serviços contratados – e efectivamente avaliada pelo seu desempenho na óptica dos contributos dados ao produto/serviço final. O chavão de muitos anos que refere “a *Manutenção como um mal necessário*” já não faz qualquer sentido porque a Manutenção, para além de criar capacidade produtiva, é co-responsável pela optimização da mesma nos mais variados domínios.

Pinto (1994) justifica a importância da Manutenção, analisando três aspectos fundamentais: económicos, legais e sociais.

Na vertente económica aponta a maximização do rendimento dos investimentos efectuados nas instalações e equipamentos, o prolongamento da sua vida útil e o aumento das taxas de operacionalidade. Segundo o mesmo autor, estes resultados são alcançados através da redução dos desperdícios, rejeições e reclamações sobre os produtos/serviços, evitando atrasos ou interrupções da produção/exploração, na redução dos consumos e melhor aproveitamento dos recursos humanos. No estrito cumprimento da legislação, a vertente legal da importância da manutenção comporta atitudes de prevenção com a insegurança ou riscos de acidente, o incómodo (ruído, fumos ou odores), a poluição (emissões gasosas, descargas líquidas e resíduos) ou a insalubridade (temperatura, humidade).

Na vertente social considera-se o conjunto das medidas que, não sendo imposições legais, podem contribuir para a preservação ou melhoramento da imagem da empresa.

1.4.3 Objectivos da Manutenção

Para que as empresas consigam sobreviver, as partes constituintes da mesma devem estar necessariamente em sintonia com os objectivos gerais e os objectivos das políticas de manutenção não podem constituir excepção.

Farinha (1997) considera que o objectivo primário de qualquer sector de manutenção é garantir que os equipamentos sob a sua responsabilidade cumpram a função para a qual foram postos ao serviço dos utilizadores, elegendo a maximização da disponibilidade como objectivo essencial.

Sobre o mesmo tema, Souris (1990) refere que a manutenção pode efectuar-se no âmbito de uma despesa materializada por um orçamento ou em relação com uma actividade industrial determinada, enfatizando o objectivo custo mínimo.

Independentemente do objectivo entendido primordial, as linhas de orientação ou linhas de força da Manutenção devem passar necessariamente pelos seguintes objectivos:

- **Segurança:** Aspecto inegociável que envolve a segurança de todos os elementos intervenientes no processo – pessoas, equipamentos, comunidade e utentes;
- **Qualidade:** Visa a obtenção do melhor rendimento dos equipamentos, com o mínimo de defeitos e o máximo respeito pelas condições de higiene e segurança e pelo meio ambiente;
- **Custo:** Considera que qualquer intervenção de manutenção deve verificar o mínimo custo global, resultante da análise dos custos da produção, dos custos originados pela manutenção ou pela não manutenção;
- **Disponibilidade:** Visa garantir a maior operacionalidade dos equipamentos, ajustando as imobilizações programadas e minimizando as paragens por avaria, por forma a contribuir para a regularidade da produção e cumprimento das prazos.

Condicionalismos de vária ordem limitam a conjugação destes aspectos, por si só difíceis de alcançar por aparente contradição entre eles, e que implicam elevadas doses de sensatez. Este é o desafio permanente a que estão sujeitos os profissionais da manutenção.

A justificação da afirmação anterior pode residir num hipotético caso em que, perante a absoluta necessidade de disponibilizar um dado equipamento, sejam descuradas normas de segurança ou se introduzam custos superiores aos que seriam normais

1.4.4 Evolução da Manutenção

1.4.4.1 Evolução histórica

Pode dizer-se que a manutenção, ainda que em termos minimalistas, tem a idade do Homem. A substituição de uma ponta de sílex, por quebra ou desgaste de outra, executada no período pré-histórico, pode ser considerada uma acção de manutenção.

Em meados do século XIX, com o advento da Revolução Industrial, surgem novos desafios. É introduzido o conceito de mecanização da produção em oposição ao artesanal, único até então. Esta mecanização, ainda que de génese construtiva bastante simples, fez sobressair a necessidade de reparar regularmente as máquinas. Estas intervenções eram então deixadas a cargo dos próprios operadores.

Após a 1ª Guerra Mundial, quando a indústria foi pressionada a atingir padrões mais significativos de produção, assiste-se a uma mudança de atitude relativamente às reparações. Assim, a filosofia de abordagem, embora mantendo uma postura reactiva em face às avarias, passou à constituição de equipas especializadas, dependentes da produção. Esta situação foi mantida até aos anos 30.

A massificação da produção que se verificou a partir daquela altura e a necessidade de se obterem elevados níveis de disponibilidade dos equipamentos durante a 2ª Guerra Mundial, introduziram outra postura relativamente às avarias. As empresas começaram então a preocupar-se, não só em corrigir as falhas, mas também em evitar o seu aparecimento, alargando-se o âmbito da manutenção, que passou também a actuar na prevenção das anomalias através de substituições sistemáticas, assumindo uma atitude proactiva. Estava criado o embrião que haveria de caracterizar a manutenção até à década de 80. O termo “manutenção” tem a sua origem remota, segundo Farinha (1997), no vocábulo militar com o sentido de “manter, nas unidades de combate os efectivos e o material num nível constante”.

O desenvolvimento dos métodos preventivos foi exponenciado pela expansão da aviação comercial a partir do fim da 2ª Guerra Mundial. Nas empresas são criadas estruturas próprias da Manutenção, sem dependência directa da produção.

Começa a ganhar forma uma nova disciplina, a Engenharia da Manutenção, que se sustenta na aplicação de modelos matemáticos e estatísticos à análise e controlo da fiabilidade, só possível pela difusão dos computadores a partir da década de 60, na aplicação intensiva das técnicas de planeamento, anteriormente quase exclusivas da indústria militar, e na criação de processos científicos em manutenção, nomeadamente quanto ao comportamento dos materiais.

A partir dos anos 80, com os avanços tecnológicos, nomeadamente na micro-electrónica, a permitirem a oferta e diversificação de instrumentação digital de alta precisão, passam-se a medir os parâmetros de funcionamento, a avaliar a sua variação e a extrapolar o momento da falha, levando ao diagnóstico precoce de avarias. Mantendo o objectivo de evitar a avaria, nesta fase é retraído o

modo de substituição sistemática em contraponto com a substituição condicionada. Deste modo, parte dos elementos são substituídos atendendo ao seu estado de condição, proporcionando custos de exploração inferiores.

A figura seguinte resume a evolução das expectativas da Manutenção ao longo do tempo em que a mesma funcionou/funciona de modo organizado:

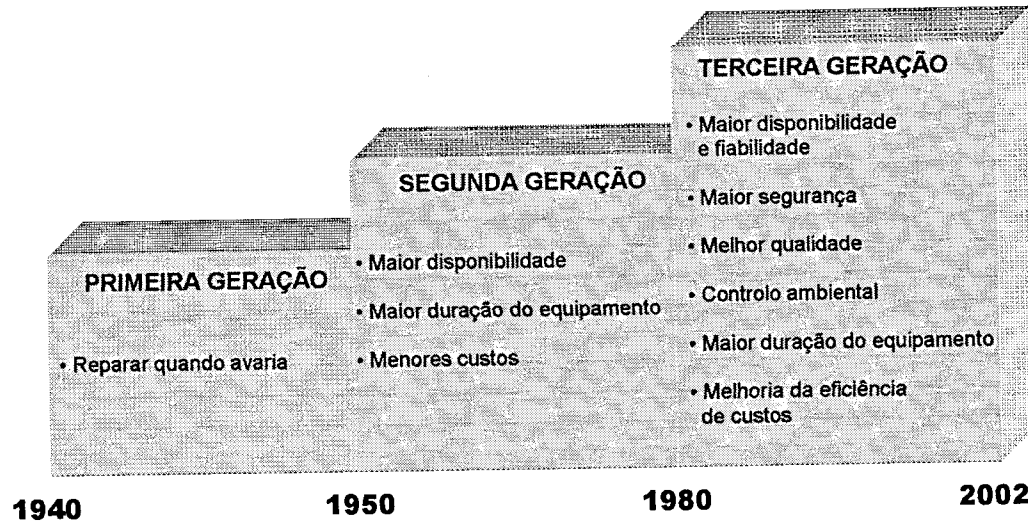


Figura 1.2 – O crescimento das expectativas da Manutenção – Adaptado de Quintas (1998)

É nosso entendimento que as exigências futuras continuarão a acentuar-se sobre a melhoria do desempenho, nomeadamente maiores disponibilidade, fiabilidade e duração da vida útil dos equipamentos/instalações.

1.4.4.2 As novas abordagens

Não obstante o contexto de grande instabilidade e incerteza, a tendência actual da economia vem evoluindo no sentido do crescimento do negócio e, simultaneamente, na redução dos custos. Por outro lado, o mercado torna-se mais exigente quanto aos requisitos da qualidade. Consequentemente os equipamentos tomam-se mais complexos e a Manutenção é naturalmente afectada, sendo, por isso, impulsionada a procurar outras ferramentas e estratégias.

Ferreira (2002), entre as várias estratégias de manutenção, salienta:

- Terotecnologia;
- TPM – Total Productive Maintenance;
- RCM – Reliability-centered Maintenance;
- RBI – Risk-based Inspection;
- EUT – Eindhoven University of Technology Model;
- TQMain – Total Quality Maintenance.

Segundo o mesmo autor, o denominador comum destas estratégias está no apelo que fazem às Tecnologias de Informação para uma gestão proactiva da informação e ao “benchmarking” para estabelecimento de metas.

De entre as estratégias referidas, o RCM e o TPM surgem como as mais destacadas e divulgadas. Iremos debruçar-nos sobre elas nas linhas seguintes.

O RCM consiste numa metodologia iterativa racional e estruturada, baseada nos modos de avaria dos equipamentos e na gravidade das suas consequências, definido formalmente como um processo usado para determinar as acções de manutenção requeridas para cada componente no contexto operativo em que está inserido. Esta estratégia surgiu na década de 60 do século passado, com o aparecimento dos aviões de grande porte que evoluíram a aeronáutica civil. Na década de 70 já era aplicada massivamente a todos os sistemas militares e na década de 80 a instalações industriais civis, nomeadamente centrais térmicas e termo-nucleares.

Sena e Pereira (2002) identificam o desenvolvimento e aplicação do RCM com base nas constatações práticas:

- Pouco impacto das revisões planeadas dos sistemas complexos sobre a fiabilidade, excepto nas situações em que ocorriam modos de falha dominantes;
- Ineficácia da manutenção programada para certos subsistemas e componentes.

A visão RCM – Manutenção que trata da preservação da função dos bens – ao distinguir-se da visão tradicional – Manutenção que trata da preservação física dos bens – aborda sete questões básicas, cuja resposta constitui a metodologia daquela estratégia. Assim:

- Quais as funções e performances do bem, no seu contexto operacional?
- De que forma é um bem incapaz de cumprir as suas funções?
- O que causa cada avaria funcional?
- O que acontece quando cada avaria ocorre?
- Qual a importância de cada avaria?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada avaria?
- O que deve ser feito caso não se encontre a adequada tarefa proactiva?

As respostas às questões anteriores, assentam em três pilares, [Sena e Pereira (2002)]:

- Análise profunda dos sistemas;
- Avaliação das consequências das falhas;
- Aplicação de diagramas lógicos de decisão para a escolha das tarefas de manutenção, de acordo com as consequências das falhas e com a viabilidade técnica e económica das tarefas.

Esta síntese está de acordo com Silva, Resende e Ferreira (2002) que elegem a FMEA como o pilar do desenvolvimento da metodologia RCM. Numa abordagem crítica ao RCM, os autores classificam-no como uma ferramenta de fácil utilização, muito adequada para otimizar um programa de manutenção e dirigida a problemas resultantes de tarefas de manutenção inadequadas, incorrectas, ineficazes ou redundantes mas sem efeitos quando os problemas têm a sua génese em factores humanos, resultando em manutenção deficiente.

Ainda segundo os mesmos autores, uma das fragilidades da metodologia RCM está consubstanciada no facto de não contemplar a gestão de modos de falha com funções de risco com diferentes formas, apontando, a título de exemplo, um componente com função de risco decrescente, ao qual não se deverão aplicar substituições preventivas. Contudo, pensamos que neste caso ainda se justifica a substituição preventiva se estiver em causa a segurança.

A outra limitação desta metodologia incide sobre o carácter meramente qualitativo do diagrama de decisão, não escalonando de forma clara e quantificada as diversas situações. Assim, em detrimento da FMEA é proposto o recurso à FMECA, introduzindo-se a componente quantitativa, o Índice de Severidade, que irá determinar os equipamentos nos quais a prioridade de actuação é maior.

Não obstante as fragilidades apontadas, a metodologia RCM já demonstrou a sua eficiência em várias indústrias e níveis de ciclo de vida dos equipamentos. Se correctamente aplicada, permitirá obter os benefícios:

- Maior segurança e melhor protecção ambiental;
- Aumento no desempenho do processo;
- Optimização dos custos de Manutenção;
- Melhoria na motivação das pessoas;
- Facilita as atitudes proactivas;
- Melhora o clima social.

O conceito TPM foi iniciado no Japão em inícios da década de 70, decorrente da implantação da técnica produtiva KanBan na empresa Nippon Denso, do grupo Toyota. A sua expansão para o exterior, nomeadamente para os Estados Unidos e Europa, teve grande impacto em muitas indústrias, especialmente no sector automóvel, onde se encontram excelentes exemplos.

Na sua génese o TPM, enquanto método de manutenção, integra a filosofia Just in Time (JIT)/KanBan. O JIT elege como objectivos principais o combate ao desperdício e a melhoria contínua e como estratégia primordial o combate ao excesso de “stocks” antes e depois do processo produtivo. A grande limitação do JIT é a aplicação a produções muito diversificadas ou em pequenos lotes.

O TPM, mais do que uma técnica ou um método, é uma atitude que envolve responsáveis e operadores numa união tendente para a maximização da eficiência global, através da eliminação dos factores das perdas. Pode definir-se sumariamente como uma actividade de manutenção, conduzida com a participação de todos, desde a gestão de topo aos operadores mais indiferenciados.

As principais linhas caracterizadoras do TPM podem resumir-se, Cabral (1998):

- Busca da maximização da eficiência global das máquinas e dos equipamentos;
- Sistema total que engloba todo o ciclo de vida útil das máquinas e dos equipamentos;
- Sistema que congrega a participação de todos, a todos os níveis;
- Movimento motivacional, na forma de trabalho de grupo, através da condução de actividades voluntárias.

O envolvimento voluntário dos operadores nas acções preventivas de manutenção da “sua” máquina – inspecção, lubrificação e limpeza – concede um significativo contributo para que os mesmos se identifiquem com o funcionamento da mesma, aumentando a sua capacidade técnica de intervenção e facilitando o diagnóstico precoce. Este facto permite minorar a pressão sobre as equipas da Manutenção e reduzir os tempos de paragem por avaria, donde resulta melhor clima social e maior disponibilidade dos equipamentos. Por outro lado, sendo o diagnóstico mais rápido criam-se condições para que as immobilizações sejam menores, com a contrapartida de novo incremento da disponibilidade. Por último, os conhecimentos adquiridos pelo operador com as acções de manutenção vão permitir ajustar a condução da máquina ao seu estado de condição, donde se obtém outro incremento da disponibilidade, desta vez por aumento da fiabilidade.

Em duas palavras, os objectivos do TPM são a eliminação de perdas:

- Perdas por avaria – as decorrentes das paragens ou quebras de função;
- Perdas por mudança de produto e afinações – as decorrentes dos ajustamentos do equipamento, para fabrico de outro produto;
- Perdas devido às ferramentas - as decorrentes de aspectos associados às ferramentas como o desgaste;
- Perdas por pequenas paragens – as decorrentes de paragens inerentes à quebra do ritmo de fabrico como os encravamentos;
- Perdas por quebra de velocidade – as decorrentes do abrandamento do ritmo de produção por qualquer anomalia momentânea;
- Perdas por produtos defeituosos – as decorrentes de produtos fabricados fora das especificações, bem como as eventuais recuperações;
- Perdas no arranque das máquinas – as decorrentes do início da produção até à estabilização do processo.

A Manutenção praticada pelos operadores é o pilar mais importante do TPM e está consubstanciada na atitude oriental designada por 5 s's, fortemente apelativa aos valores da ordem, limpeza e disciplina. Os resultados esperados com o TPM abarcam, não só a disponibilidade dos equipamentos como referido, mas também a qualidade, a segurança e a redução dos custos, já apresentados como objectivos da Manutenção. De acordo com Cabral (1998), os resultados esperados com o TPM podem sintetizar-se em duas categorias, tangíveis e intangíveis.

Nos resultados tangíveis, enumeram-se:

- Alcançar as zero-avarias;
- Reduzir a degradação da fiabilidade;
- Reduzir os tempos de paragem da produção;
- Reduzir os defeitos de qualidade;
- Incrementar a produtividade;
- Reduzir os acidentes de trabalho;
- Economizar energia e outros recursos.

E nos intangíveis:

- Aumentar a motivação para o trabalho;
- Criar um ambiente agradável de trabalho;
- Melhorar a imagem da empresa.

O sucesso do TPM deve-se, em nosso entender, às peculiaridades da sociedade e cultura japonesas, substancialmente diferentes dos valores vigentes nas sociedades ocidentais. Por ser corrente a adopção de teses e estratégias sem o devido ajuste ao contexto em que as mesmas vão ser aplicadas, não podemos deixar de referir a ressalva de Sena e Pereira (2002) sobre a expansão do TPM, onde referem que a mesma deve ser feita com as devidas adaptações.

1.4.5 Conceitos e formas de Manutenção

1.4.5.1 Algumas definições importantes

Ao adquirir-se um determinado equipamento, é expectável que a partir da sua entrada ao serviço ele corresponda às expectativas que passam necessariamente pela maior disponibilidade ao menor custo. Um dos factores de afectação das expectativas é a ocorrência de avarias.

Desta forma, torna-se necessário desenvolver um conceito que permita relacionar o estado de funcionamento com o tempo. É essa a função da Fiabilidade que pode ser definida como uma medida da capacidade de um item operar sem falha, isto é, como uma probabilidade desse item não falhar durante um determinado intervalo de tempo, como anteriormente definido, ou seja:

$$R(t) = \Pr(T \geq t) \quad (1.1)$$

Essa probabilidade de sobrevivência é função do tempo e representa-se por $R(t)$. Analogamente pode definir-se a “Infiabilidade” ou função acumulada de avarias e representá-la por $F(t)$, tal que:

$$F(t) = \Pr(T < t) \quad (1.2)$$

Dado que os dois estados do item são complementares, então pode escrever-se:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (1.3)$$

Seja $f(t)$ a função densidade de probabilidade de falha, definida por $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ (1.4)

Teremos:
$$\frac{dR(t)}{dt} = -f(t) \quad (1.5)$$

$$\text{ou } F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (1.6) \quad \text{e} \quad R(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad (1.7)$$

Voltaremos a este assunto no Capítulo 2, onde serão abordados os modelos da Fiabilidade.

Falha ou avaria é entendido como a cessação da capacidade de um item para realizar uma função específica. Pereira (1996) considera que esta definição obriga a precisar o conceito de função específica. Com efeito, não se deverá entender que um item só está avariado quando, de todo, o seu funcionamento é interrompido. De facto, deve considerar-se avaria quando não for possível realizar a função dentro das condições especificadas ou esperadas de funcionamento. Ferreira (1998), ao identificar os três estados possíveis de um item, bom funcionamento, modo degradado e avaria, parece contradizer aquele considerando. Esta contradição apenas é aparente na medida em que o estado “modo degradado”, se cumprir a função dentro do especificado, apenas alerta para a necessidade próxima de intervenção por avaria eminente, sem que se possa considerar o item em estado de avaria.

Enquanto indicador de fiabilidade, a taxa instantânea de avarias define-se como a variação do número esperado de avarias, verificado ao longo do tempo decorrido, e designa-se por $\lambda(t)$. Se representarmos por $N(t)$ o número de avarias acumuladas entre 0 e t , teremos:

$$\lambda(t) = \frac{d}{dt} [E\{N(t)\}] \quad (1.8)$$

Onde $E[N(t)]$ representa a esperança matemática de $N(t)$. Esta é uma variável aleatória discreta e $E[N(t)]$ a função contínua que mais aproxima $N(t)$.

A taxa instantânea de avarias também pode exprimir-se pela relação entre a derivada da função $F(t)$, função densidade de probabilidade $f(t)$, e a função fiabilidade $R(t)$, tal que:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1.9)$$

A taxa de avarias pode ser decrescente, constante ou crescente. Na figura seguinte representa-se um padrão de avarias, conhecido por “curva da banheira”, onde cada uma daquelas variações corresponde a um período distinto, juventude, maturidade e obsolescência do item. No maior período representado, período de maturidade ou de vida útil, a taxa de avarias é aproximadamente constante, isto é, não depende do tempo. As avarias ocorrem aleatoriamente sendo independentes e identicamente distribuídas.

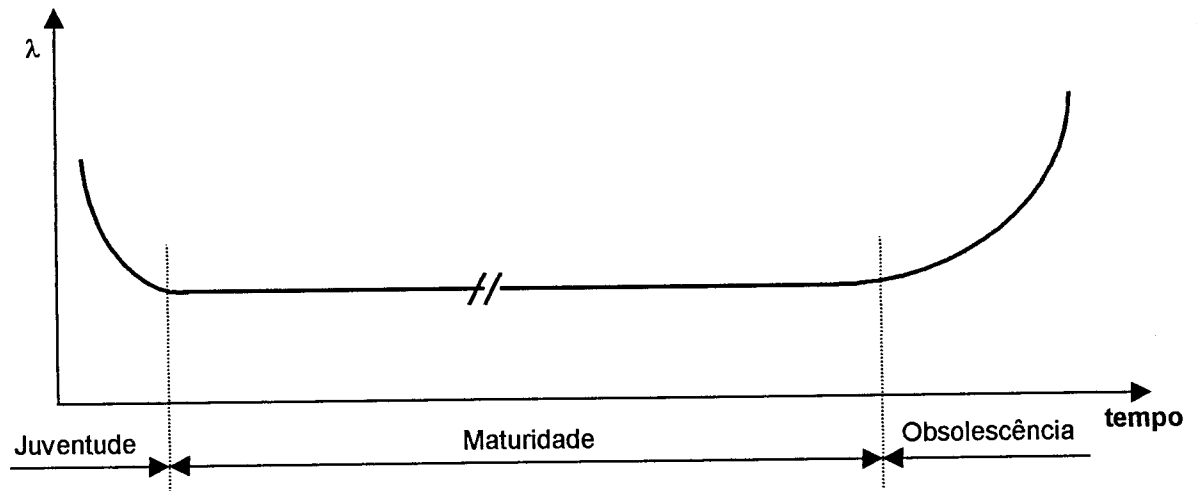


Figura 1.3 – Curva da banheira

Em termos práticos, é utilizada a taxa de avarias média que expressa o número de avarias por unidade de operação (horas, quilómetros, ciclos, etc.).

O MTBF, Mean Time Between Failure nos itens reparáveis e Mean Time Before Failure nos não reparáveis, representa a esperança matemática das avarias. Assim:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1.10)$$

O MTBF é um indicador de fiabilidade, podendo ser definido como o inverso da taxa de avarias quando a mesma é constante.

A Manutibilidade define-se como a probabilidade de recuperar um item e repô-lo nas condições normais de serviço no intervalo de tempo TTR (Time To Repair).

A Manutibilidade é fundamentalmente uma característica de concepção e fabricação do item, onde todos os aspectos que sejam susceptíveis de influenciar a aptidão do mesmo para receber manutenção, devem ser tidos em conta.

O MTTR, Mean Time To Repair, é o valor médio dos TTR's e pode representar:

- O tempo médio de reparação de uma avaria específica numa população de itens idênticos;
- O tempo médio de reparação de uma avaria num dado equipamento.

A taxa de reparação (μ) pode ser definida como o inverso do MTTR e estima-se, na prática, pela expressão:

$$\mu = \frac{\text{número total de reparações}}{\text{tempo total de reparações}} \quad (1.11)$$

A taxa de reparação e o MTTR são indicadores de manutibilidade.

Na figura seguinte, esquematizam-se os conceitos MTBF e MTTR.

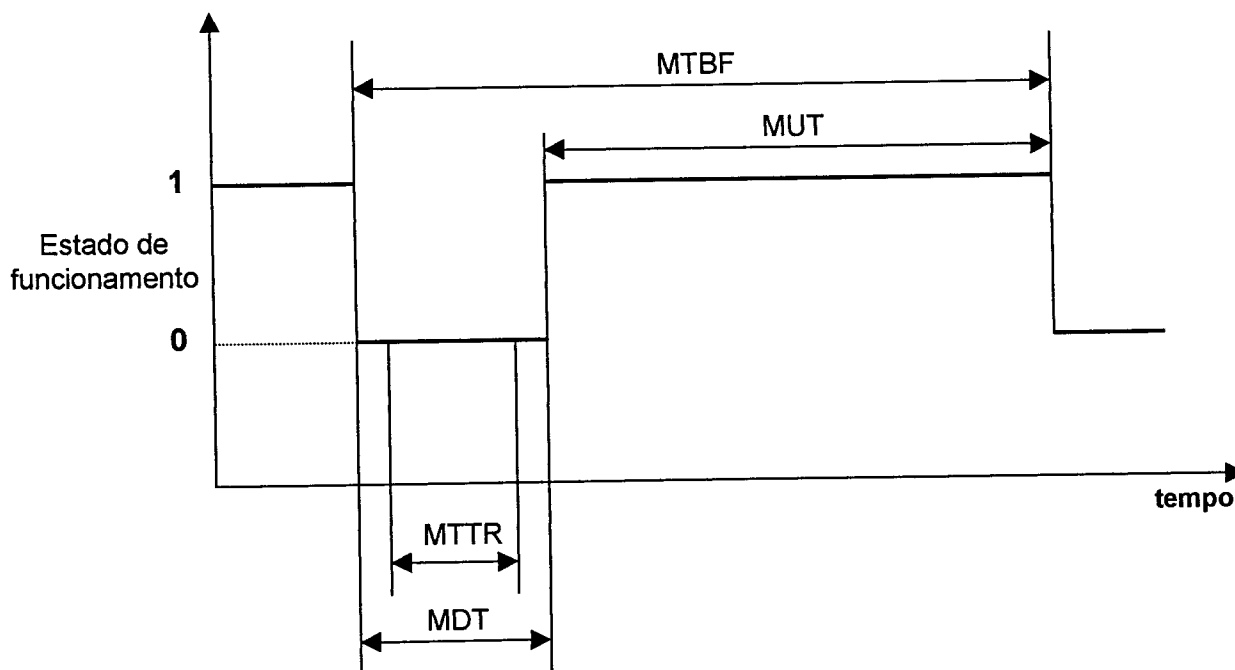


Figura 1.4 – MTTR e MTBF – Adaptado de Ferreira (1998)

O MDT, Mean Down Time ou média dos tempos de paragem, corresponde ao período, durante o qual o equipamento não se encontra disponível para assegurar a função requerida. Pode ser afectado por inúmeros factores como a dimensão da avaria, o tempo de reacção dos serviços da Manutenção, a logística de apoio e a reposição em marcha.

O MUT, Mean Up Time ou média do tempo de funcionamento, corresponde ao período em que o equipamento se encontra disponível para assegurar a função requerida. O MUT pode ser afectado pela ocorrência da avaria, pelos procedimentos de reposição em marcha e pela própria condução do equipamento.

Por disponibilidade, entende-se a probabilidade de um item, equipamento ou instalação se encontrar operacional no instante t , sabendo-se que no instante $t=0$ ele se encontra operacional.

O'Connor (1991) define disponibilidade estacionária como a proporção do tempo total em que o item está disponível. Considerando as taxas de avaria e de reparação constantes, ou seja:

$$\lambda = (MTBF)^{-1} \quad (1.12) \quad \text{e} \quad \mu = (MTTR)^{-1} \quad (1.13)$$

para o cálculo da disponibilidade estacionária, resulta:

$$D = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1.14)$$

Esta expressão relaciona as características próprias do equipamento, a fiabilidade e a manutibilidade. Por isso, é chamada de disponibilidade intrínseca ou inerente, sendo normalmente representada por D_i .

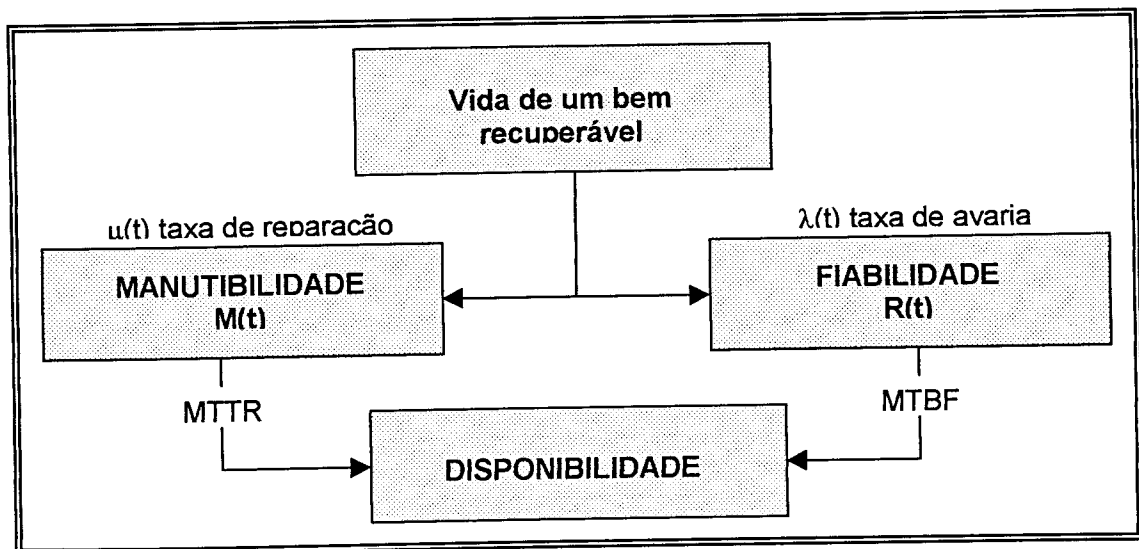


Figura 1.5 – Relação entre fiabilidade, manutibilidade e disponibilidade – Adaptado de Monchy (1996)

Analogamente, para a indisponibilidade estacionária teremos:

$$I = 1 - D = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (1.15)$$

Revelando a sua pouca aplicabilidade por se tratar de um caso ideal, Modarres (1993) propõe, para o cálculo da disponibilidade estacionária, a fórmula:

$$D = \frac{UT}{UT + DT} \quad (1.16)$$

Onde:

- UT (Up Time) é o período de tempo em que o item reúne as condições para ser utilizado;
- DT (Down Time) é o período em que o equipamento não está em condições de ser utilizado.

Admitindo que os modelos de disponibilidade seguem frequentemente uma distribuição exponencial, para sistemas não reparáveis o mesmo autor propõe:

$$D(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(\theta) d\theta \right] \quad (1.17)$$

onde $\lambda(\theta)$ representa a taxa de avarias instantânea.

A disponibilidade média, definida para um período determinado de tempo T , é calculada por:

$$\bar{D} = \frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt \quad (1.18)$$

A disponibilidade operacional depende da disponibilidade intrínseca, acima referida, das políticas estabelecidas para a manutenção e da sua logística. É determinada pela seguinte expressão:

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (1.19)$$

A figura seguinte representa esquematicamente a interdependência entre a disponibilidade operacional e a intrínseca e também as políticas e logística da manutenção.

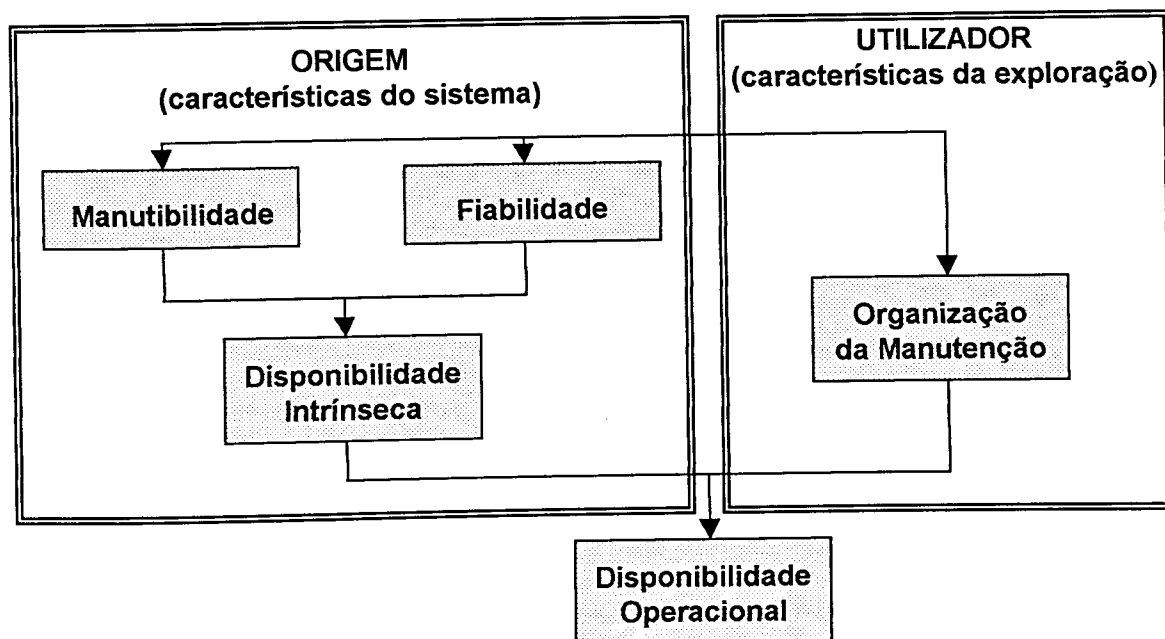


Figura 1.6 – Dependência da disponibilidade operacional

Garantir e aumentar a disponibilidade dos equipamentos constitui-se como o objectivo clássico de qualquer serviço de Manutenção. À semelhança da fiabilidade, também a disponibilidade é afectada pela redundância. Se um sistema standby puder ser reparado enquanto o sistema primário assegura a função requerida, então a disponibilidade global é fortemente incrementada.

1.4.5.2 Formas e tipos de manutenção

Através da evolução histórica da Manutenção foram identificadas duas atitudes básicas de actuação:

- Reactiva – associada a acções do tipo resolutivo, curativo ou correctivo, normalmente não planeadas;
- Proactiva - associada a acções do tipo preventivo, normalmente planeadas.

De acordo com Ferreira (1998), podem considerar-se dois tipos de Manutenção:

- Curativa – Manutenção efectuada após avaria e que se subdivide:
 - Paliativa – reparações provisórias;
 - Curativa – reparações com carácter definitivo.
- Preventiva – Manutenção efectuada com intenção de reduzir a probabilidade de avaria e que se subdivide:
 - Sistemática – pré-determinada;
 - Condicionada – medida, diagnóstico.

As representações gráficas mais comuns dos vários tipos e formas de Manutenção são normalmente explicitadas em ordem aos modos planeado ou não planeado, preventivo ou curativo e reactivo ou proactivo, sendo frequentemente omitidas as relações de interdependência entre as subdivisões daqueles modos bem como a forma de intervenção “Melhoramento” que, numa perspectiva de prolongamento da vida útil, assume importância crescente. Deste modo, esquematizam-se de seguida, em nosso entender de uma forma substancialmente mais clara quando comparada com as representações gráficas mais comuns, as diversas formas de actuação da Manutenção:

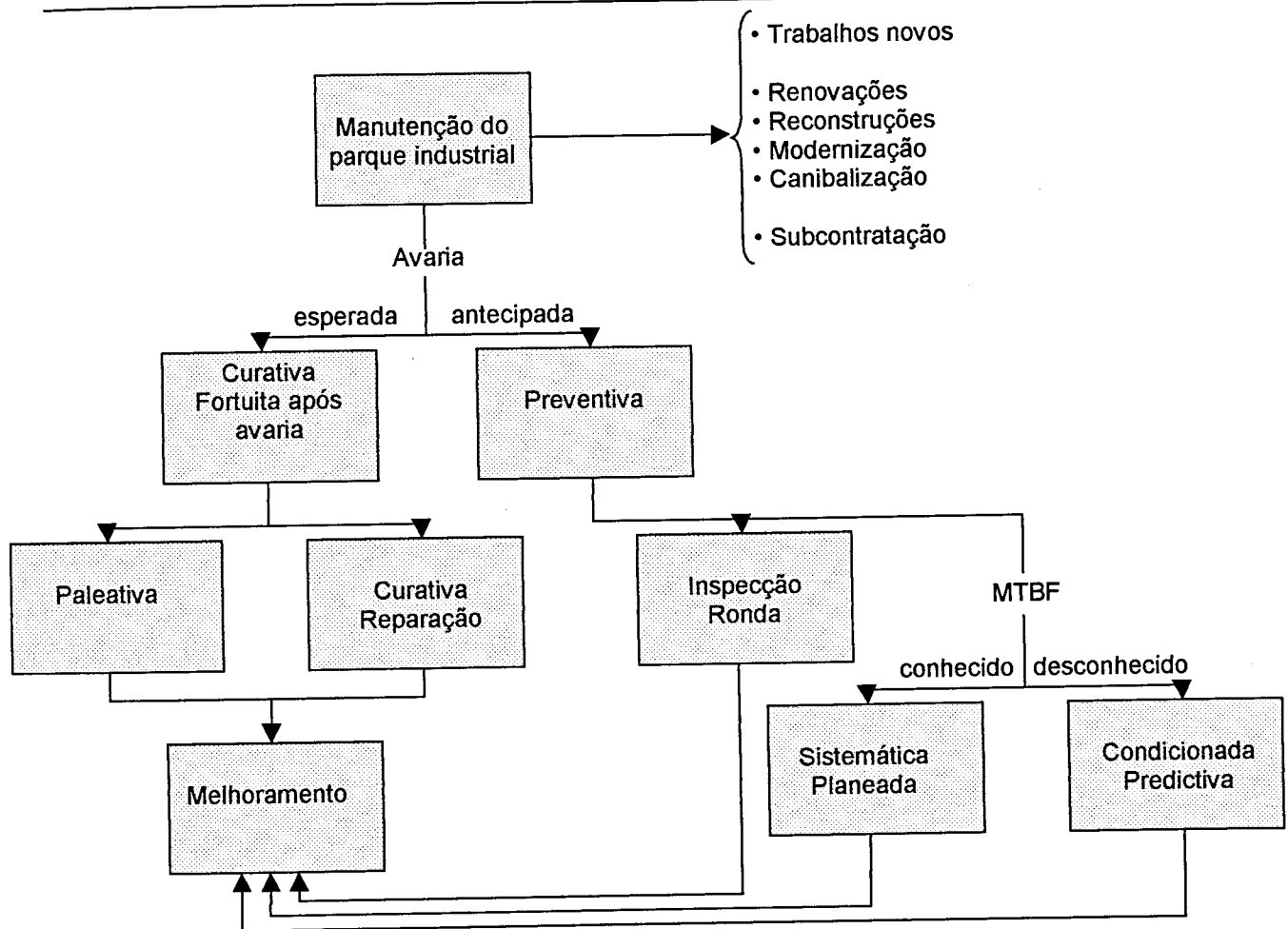


Figura 1.7 – Formas de intervenção da Manutenção – Adaptado de Monchy (1996)

Os trabalhos novos são frequentemente atribuídos à função Manutenção através do conjunto das responsabilidades de instalação de novos equipamentos ou da expansão dos existentes.

A renovação consiste numa inspecção completa de todos os componentes, análise dimensional, substituição de peças deformadas, verificação das características e eventual reparação das peças e subconjuntos avariados. A renovação surge como uma das consequências possíveis de uma revisão geral.

A reconstrução consiste na colocação do equipamento num estado, normalmente definido por um Caderno de Encargos, que impõe a substituição das peças vitais. A reconstrução surge, muitas vezes, combinada com uma renovação.

A modernização consiste na substituição de acessórios, existentes no equipamento na sua forma original, por outros com aperfeiçoamentos técnicos.

A canibalização consiste na subtracção de peças, acessórios, órgãos ou sistemas a equipamentos abatidos do activo. É normalmente praticada quando se dispõem de vários equipamentos iguais, constituição de lote de peças de reserva, ou quando a parte retirada, por si só, pode ser valorizada.

A inspecção ou ronda consiste na vigilância regular, programada e de curta frequência dos equipamentos. Está associada à realização de pequenos trabalhos de curta duração, relativamente pouco exigentes quanto à arte, e pode exigir curtos períodos de imobilização do equipamento. Compreende operações de lubrificação, exames sensoriais e testes, pequenas reparações, afinações e substituições simples e ainda o controlo de alguns parâmetros de funcionamento, sendo por isso considerada, Ferreira (1998), como um tipo de Manutenção entre a preventiva sistemática e a curativa e entre aquela e a condicionada.

A Manutenção Curativa é simplesmente definida como a manutenção efectuada após a ocorrência da avaria. Enquanto método único, é desinteressante pelas consequências que comporta, seja pela imprecisão da disponibilidade dos equipamentos, pelos custos das reparações ou das peças de reserva e pela irregular carga de trabalho. [Ferreira (1998)]

No entanto e segundo o mesmo autor, aquela forma justifica-se quando os custos indirectos da avaria são mínimos, sem afectar a segurança e a produção de forma crítica, quando é possível adoptar uma política de renovação frequente dos equipamentos ou enquanto complemento residual da manutenção Preventiva.

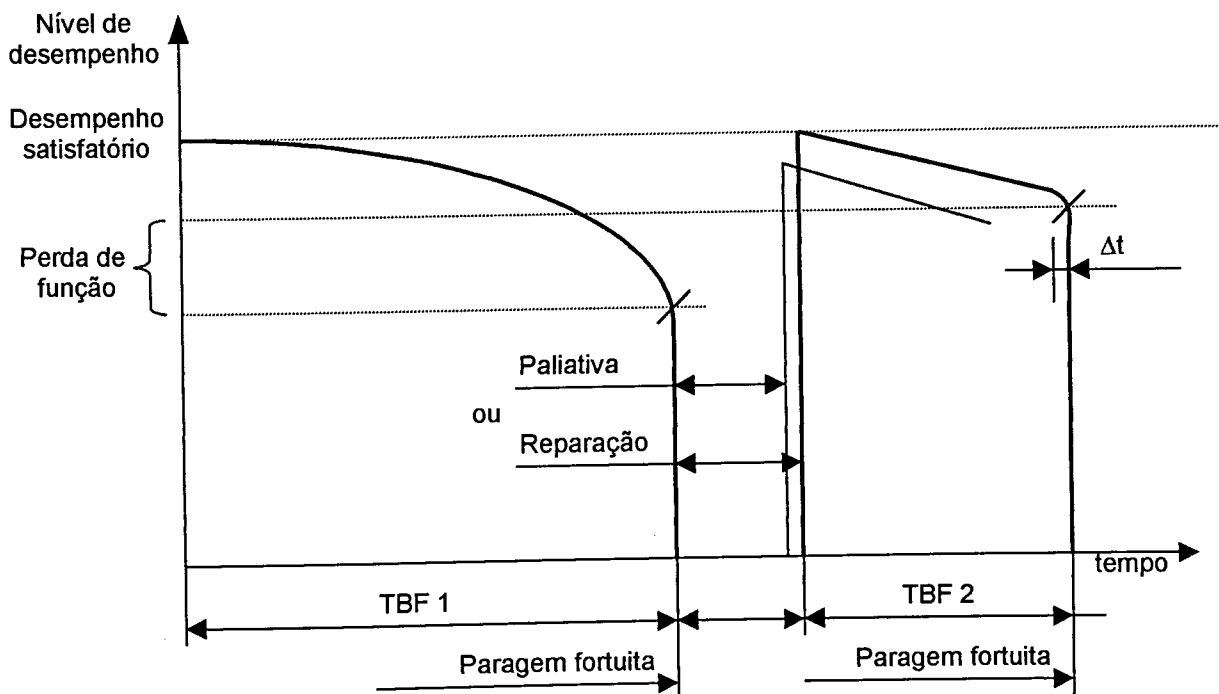


Figura 1.8 – Manutenção Curativa – Adaptado de Monchy (1996)

Na figura anterior evidenciam-se duas falhas com velocidades de propagação distintas: por degradação e brusca. Concretamente, pretendem-se ilustrar os dois modos de intervenção perante a avaria ou perda de função na Manutenção Curativa, reparações com carácter definitivo e reparações

provisórias, sendo que neste caso o valor introduzido não é bastante para atingir um nível de desempenho satisfatório.

A Manutenção Preventiva pode ser definida como a manutenção efectuada antes da ocorrência da avaria. Como referido, reveste-se de duas formas diferentes:

- Sistemática – substituição planeada, concretizada com o vencimento de um prazo;
- Condicionada – substituição decorrente do acompanhamento e apreciação da degradação de parâmetros de funcionamento até um valor considerado insatisfatório.

De acordo com Ferreira (1998) a Manutenção Preventiva visa os seguintes objectivos:

- Aumentar a fiabilidade dos equipamentos, reduzindo as avarias em serviço: redução de custos devido a avarias, aumento da disponibilidade;
- Aumentar a duração de vida eficaz de um equipamento;
- Reduzir e regularizar a carga de trabalho, logo melhorar o planeamento dos trabalhos e as relações com a produção;
- Facilitar a gestão de “stocks” através da maior previsibilidade dos consumos;
- Assegurar a segurança das intervenções, introdução das metodologias adequadas, menor improvisação;
- Reduzir as avarias inesperadas, melhoramento do clima social.

Para que os objectivos da Manutenção Preventiva resultem em benefícios efectivos, ressalta desde já que a maior dificuldade está na resposta à questão “ qual a periodicidade para intervir?”. Para alguns equipamentos, a resposta pode ser dada pelos fabricantes. Numa óptica de optimização devem ser utilizadas as informações internas, obtidas a partir das visitas preventivas. Estas informações podem provir de observações que põem em evidência uma lei de degradação ou da análise estatística, no caso de avarias súbitas e repetitivas. Surge assim a importância do parâmetro “tempo entre avarias” ou TBF como contributo essencial para o elemento definidor daquela periodicidade, o MTBF.

A Manutenção Preventiva Sistemática é efectuada de acordo com um plano e um programa estabelecidos. O primeiro é determinado pelo tempo decorrido ou pelo número de unidades de utilização e tem por objectivos garantir e manter o desempenho dos equipamentos num nível elevado. O segundo é determinado pelo conjunto das acções a desenvolver nomeadamente lubrificações, verificações e substituições.

Na Manutenção Preventiva Sistemática, as periodicidades podem ser repercutidas em tempo absoluto ou de calendário nos casos de utilização regular dos equipamentos, e tempo relativo ou por

unidades de utilização quando esta é irregular. Pode ainda ser classificada de absoluta, sem visitas preventivas entre as substituições, ou vigiada. Neste último caso, as visitas preventivas visam controlar e estimar as diferenças entre o estado constatado, o estado actual e um hipotético estado futuro, para determinação do TBF.

A Manutenção Preventiva Sistemática é por excelência aplicada nos seguintes casos:

- Equipamentos com elevados custos de avaria;
- Equipamentos onde a ocorrência de uma avaria pode implicar a paragem da instalação;
- Equipamentos onde a ocorrência de uma avaria pode colocar em causa a segurança das pessoas;
- Equipamentos onde a ocorrência de uma avaria pode provocar paragens longas.

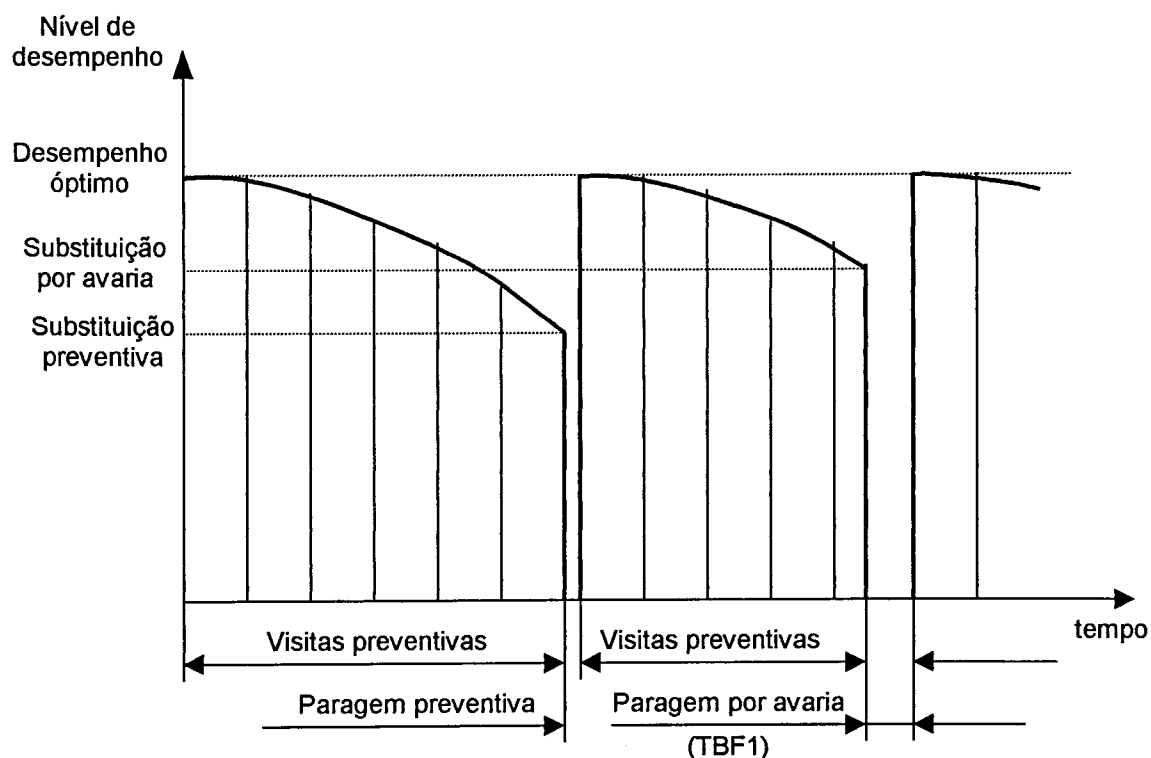


Figura 1.9 – Manutenção Preventiva Sistemática – Adaptado de Monchy (1996)

Na figura anterior pretende mostrar-se a evolução da degradação, normalmente conhecida, de um item substituído preventivamente. Após completado o primeiro ciclo tem lugar o início de novo ciclo, interrompido por avaria daquele item. Esta ocorrência implica, normalmente, paragens mais demoradas e sustenta a já referida complementaridade da Manutenção Curativa. Pretende ilustrar-se ainda que, não obstante ser um objectivo das acções preventivas, a ocorrência de avarias fortuitas é um facto na Manutenção Preventiva Sistemática.

Sendo a gestão da Manutenção Preventiva Sistemática relativamente fácil, Ferreira (1998) aponta-lhe um defeito: o facto de o MTBF ser considerado constante e não decrescente, dada a sua evolução com o tempo de utilização. Acrescentaríamos ainda que a necessidade de “fazer coincidir no tempo” os vários MTBF’s, correspondentes a outros tantos itens a substituir, para que todas as operações se realizem num único momento, minorando a imobilização do equipamento, é outro defeito particular deste modelo.

A Manutenção Preventiva Condicionada consiste na medição de parâmetros e acompanhamento da sua evolução. Ao ser atingido o valor de alarme, o órgão ou componente com evidência experimental de avaria eminente, é substituído preventivamente. Esta breve descrição do modelo levanta, desde já, algumas dificuldades:

- Necessidade de estabelecer uma correlação entre um parâmetro mensurável e o estado do sistema;
- Determinação do valor de alarme;
- Existência de degradação progressiva e detectável.

No Capítulo IV, e já numa abordagem ao objecto em estudo, retomaremos este assunto, nomeadamente a escolha dos parâmetros mensuráveis e a descrição de algumas das técnicas de controlo do estado de condição dos equipamentos.

Na Manutenção Condicionada, a leitura das medidas e a colecta dos dados podem ser efectuadas segundo três formas:

- Estrita ou de vigilância contínua onde os equipamentos são vigiados de modo continuado, permanentemente monitorizados;
- Larga ou de vigilância periódica onde a leitura dos parâmetros é feita com uma determinada periodicidade, normalmente coincidente com as visitas preventivas;
- Integrada ou de auto-vigilância executada pelo operador do equipamento.

Em face dos investimentos necessários à sua implementação, seja na fase de projecto ou quando em exploração, a Manutenção Condicionada é habitualmente considerada mais dispendiosa do que a Sistemática sendo, em nosso entender, complementares entre si. Numa perspectiva dos custos do ciclo de vida, parece-nos que a Condicionada tende a ser, globalmente, menos onerosa.

A Manutenção Preventiva Condicionada, cujo lema se resume ao “ se funciona bem não mexa”, apresenta algumas vantagens em face à Sistemática, que se resumem:

- Utilização plena do potencial dos órgãos e equipamentos;
- Redução do consumo e do stock de peças sobresselentes;

- Redução do número de intervenções ao estritamente necessário;
- Redução substancial da componente Manutenção Curativa residual.

E as desvantagens:

- Dificulta o planeamento das reparações e das renovações dos “stocks” de peças sobresselentes;
- Requer pessoal mais habilitado;
- Requer bases de tratamentos de dados mais potentes;
- Implica uma gestão individualizada da programação das intervenções;
- Introduz a necessidade de controlar os equipamentos de medida.

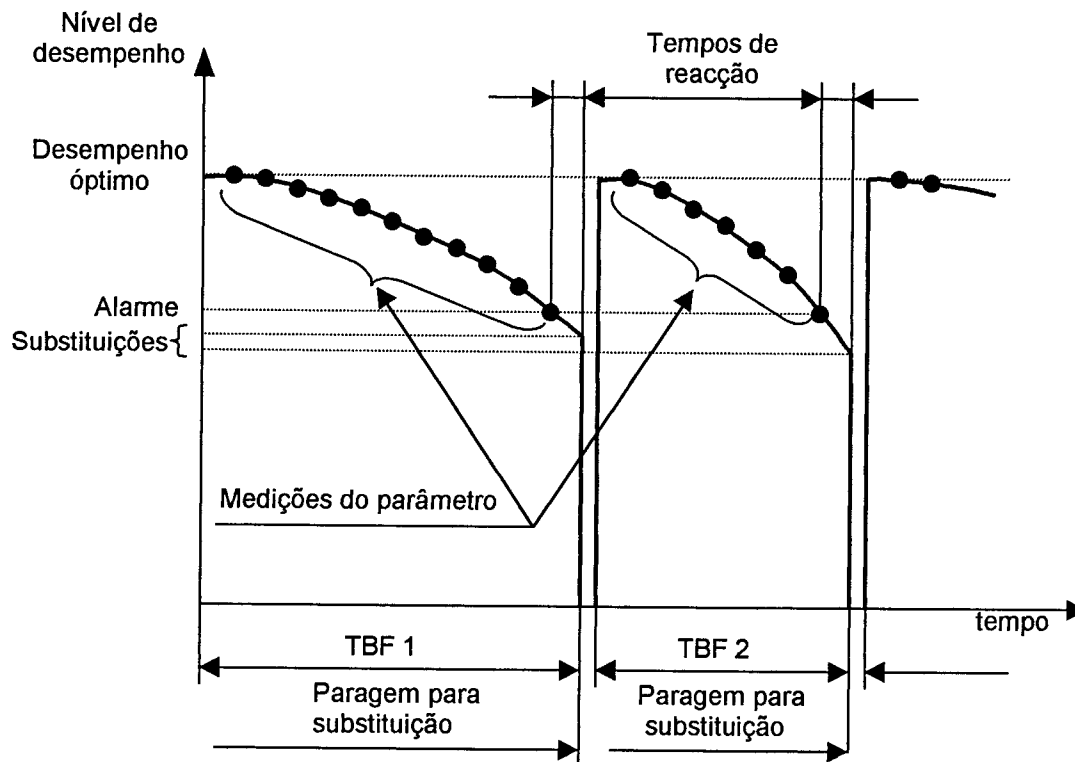


Figura 1.10 – Manutenção Preventiva Condicionada – Adaptado de Monchy (1996)

Na figura anterior pretende-se ilustrar a evolução ao longo do tempo de um órgão ou equipamento, submetido à Manutenção Preventiva Condicionada. São visíveis duas curvas de degradação distintas, embora igualmente progressivas, que conduzem à substituição preventiva. Após cada intervenção é retomado o serviço com um nível de desempenho ótimo. A medição dos parâmetros é entendida como efectuada em simultâneo com as visitas preventivas.

Em face ao exposto, podemos concluir que não há um tipo de manutenção ideal, existindo sim uma evidente complementaridade entre eles.

1.4.6 Organização da Manutenção

Na prossecução dos objectivos da Manutenção, a organização da mesma reveste-se da maior importância. Assim, o modelo de organização deverá ser estruturado segundo uma lógica decorrente daqueles objectivos. MIIT (1993) refere a existência de duas questões fundamentais que não podem ser omitidas quando se aborda a organização da Manutenção:

- O equilíbrio entre a centralização e descentralização da Manutenção;
- A repartição das tarefas.

Embora se registem, actualmente, algumas tendências para a agregação funcional de algumas das tarefas da Manutenção, tradicionalmente identificam-se três grandes tipos – Métodos, Planeamento e Execução.

A função Métodos, que comporta parte substancial do trabalho de menor visibilidade, tem como objectivos elementares a organização e o estudo dos métodos de manutenção. Deve assegurar a gestão técnica dos materiais e equipamentos, efectuar análises de custos, a preparação das intervenções e a assistência técnica. São ainda tarefas dos Métodos a elaboração e apreciação dos cadernos de encargos para a subcontratação de trabalhos no âmbito da Manutenção e os estudos de viabilidade dos melhoramentos. Pela importância do seu contributo nos resultados finais, os meios subjacentes à função Métodos devem passar por profissionais devidamente habilitados, sensíveis à modernização e operando bases de dados de dimensão e responsabilidade assinaláveis.

A função Planeamento, cada vez mais agregada à execução propriamente dita, tem como objectivos a utilização racional dos meios humanos e materiais e a execução dos trabalhos dentro dos prazos. Assim, tem a seu cargo a gestão dos pedidos de trabalho e a emissão das respectivas ordens, a gestão dos “stocks” de materiais destinados à manutenção e o controlo dos canais de informação.

À função Execução cabe a realização do trabalho em si, devendo assegurar os padrões de qualidade e segurança definidos, e a respectiva afectação de horas.

Tradicionalmente, a evolução natural dos executantes mais habilitados prossegue para o planeamento. Assim e dada a proximidade de objectivos entre aquelas funções, é compreensível que as mesmas se reagrupem, proporcionando algumas economias de escala e eliminando alguns potenciais conflitos. Esta prática é, em nosso entender, fundamental para garantir o melhor desempenho da equipa na perspectiva em que planear consiste no ajustamento dos meios existentes às necessidades previstas e imprevistas. Se se entender o acto de planear como uma acção dinâmica, que é, então será mais fácil se dispusermos dos meios. Deste modo, conciliam-se, pensamos, dois dos indicadores mais importantes da Manutenção moderna, a componente operacional da fiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos.

Sendo claro que só da harmoniosa conjugação da totalidade das tarefas da função Manutenção resulta uma acção eficaz, não podemos deixar de salientar o papel da função Métodos, ou mais propriamente Gabinete Técnico da Manutenção, no embate que significa a entrada ao serviço de equipamentos mais evoluídos a par das novas exigências no campo da manutibilidade.

Referida como uma questão fundamental da organização da Manutenção, a opção por uma estrutura mais ou menos centralizada merece uma análise cuidadosa dos factores que a possam condicionar.

Segundo MITT (1993), destacam-se:

- A dimensão e a dispersão geográfica das instalações;
- A diversidade, a complexidade e sensibilidade dos equipamentos;
- A diversidade das especialidades envolvidas.

De seguida, enumeram-se algumas das vantagens da centralização:

- Melhor conhecimento e domínio dos custos;
- Melhor utilização dos meios afectos;
- Melhor gestão do pessoal;
- Melhor uniformização dos critérios de codificação e dos processos de organização de gestão e informação;
- Melhor circulação da informação.

Por outro lado, a descentralização permite:

- Melhor delegação de responsabilidades;
- Melhor relacionamento com a produção;
- Constituição de equipas polivalentes;
- Maior motivação do pessoal afecto.

Sendo certo que as tecnologias da informação aproximam as vantagens de um modelo ao outro, pensamos que a dispersão das instalações é o único factor de peso para a defesa de um modelo descentralizado.

A estrutura da Manutenção reflecte, em maior ou menor grau, a dimensão da empresa, a sua complexidade, o valor dos investimentos nos equipamentos, as políticas e os modelos de gestão. Assim, destacam-se três formas de estrutura de Organização da Manutenção – por especialidade, funcional e operacional. A análise a cada uma destas formas considera que a Gestão da Manutenção se encontra em linha, ou ao mesmo nível hierárquico, com a Gestão da Produção.

A organização por especialidade, onde as várias especialidades estão agrupadas por secções, é mais aconselhada quando a manutenção curativa é residual ou não assuma grande importância. A capacidade de resposta, especialmente em acções não programadas, por envolverem normalmente vários intervenientes de especialidades diferentes, é pouco eficiente. A ultrapassagem deste “handicap” assenta muitas vezes no estabelecimento de redes de relacionamento informal, que por sua vez facilitam a transferência de responsabilidades. A programação dos trabalhos também é prejudicada por depender do relacionamento existente entre as coordenações das várias especialidades. Os pontos fortes deste modelo estão na boa formação profissional que os operacionais vão adquirindo e na garantia de que a chefia directa provém da mesma especialidade dos operacionais que comanda.

A organização funcional, onde as várias especialidades se encontram dispersas pelas várias secções, é mais adequada quando a manutenção curativa tem um peso significativo na actividade. É igualmente eficaz na prossecução dos trabalhos planeados, facilitando a programação, embora com prejuízo para a formação profissional dos operacionais. A coordenação da equipa pode ser prejudicada pela existência das várias especialidades.

A organização operacional consiste na inexistência estruturada de equipas, onde a constituição das mesmas é esporádica, condicionada às necessidades. Para além de impedir a formação profissional, este modelo prejudica as expectativas de carreira. É uma estrutura racionalizada e plena de maleabilidade, indicada para empresas que se dediquem à prestação de serviços na área da Manutenção.

Os prós e os contras de cada forma de organização conduzem a que cada caso seja um caso, ou seja, dificilmente se porá em prática um modelo puro se o mesmo não se adequar aos objectivos globais da empresa.

1.4.7 Qualidade e Manutenção

Na linguagem corrente, a noção de qualidade surge relacionada com aspectos subjectivos e não mensuráveis dos produtos/serviços.

A afirmação de que um veículo de características todo-o-terreno tem mais qualidade do que uma viatura de estrada, por si só, demonstra a subjectividade do referido, especialmente quando o objectivo é adquirir uma viatura de estrada.

Por qualidade entende-se a aptidão de um produto/serviço para satisfação das necessidades dos utilizadores. Estas podem ser de dois tipos:

- Definidas pelo utilizador através de contratos, encomendas ou Normas
- Definidas pelo produtor através de “feed-back” do mercado

Para Fey e Gogue (1983), a qualidade exprime-se, verdadeiramente, por um conjunto de características medidas que se pode comparar com um outro conjunto de características previstas na definição do produto/serviço.

A qualidade é assim uma grandeza multidimensional, onde se podem estabelecer inúmeros referenciais, no limite um por cada utilizador.

Embora seja um exercício de grande relativismo, as componentes da qualidade podem ser agrupadas em classes. Exemplificando a análise, não exaustiva, da qualidade de um automóvel, resumem-se as principais componentes:

- **Características:** as componentes da qualidade que não concernem directamente ao funcionamento ou modo de utilização do produto/serviço - dimensões, peso e potência.
- **Desempenho funcional:** o que é directamente apercebido pelo utilizador no que diz respeito à função principal que o produto/serviço deve cumprir - velocidade, aceleração e consumo.
- **Disponibilidade:** é o conjunto de factores que fazem intervir a noção de tempo - fiabilidade e intervalo entre revisões.
- **Segurança:** conjunto de factores que concorre para a segurança dos produtos em face das pessoas - sistemas de travagem e comportamento dinâmico.
- **Factores sensoriais:** factores que não concernem directamente ao funcionamento do produto, mas concorrem muitas vezes para o conforto ou prazer do utilizador - "design" da carroçaria e conforto da suspensão.

A gestão da qualidade assenta assim na conciliação de dois princípios fundamentais, a satisfação do cliente e a rentabilidade da empresa, comuns à função Manutenção. Na figura seguinte esquematizam-se os factores e áreas da qualidade em manutenção.

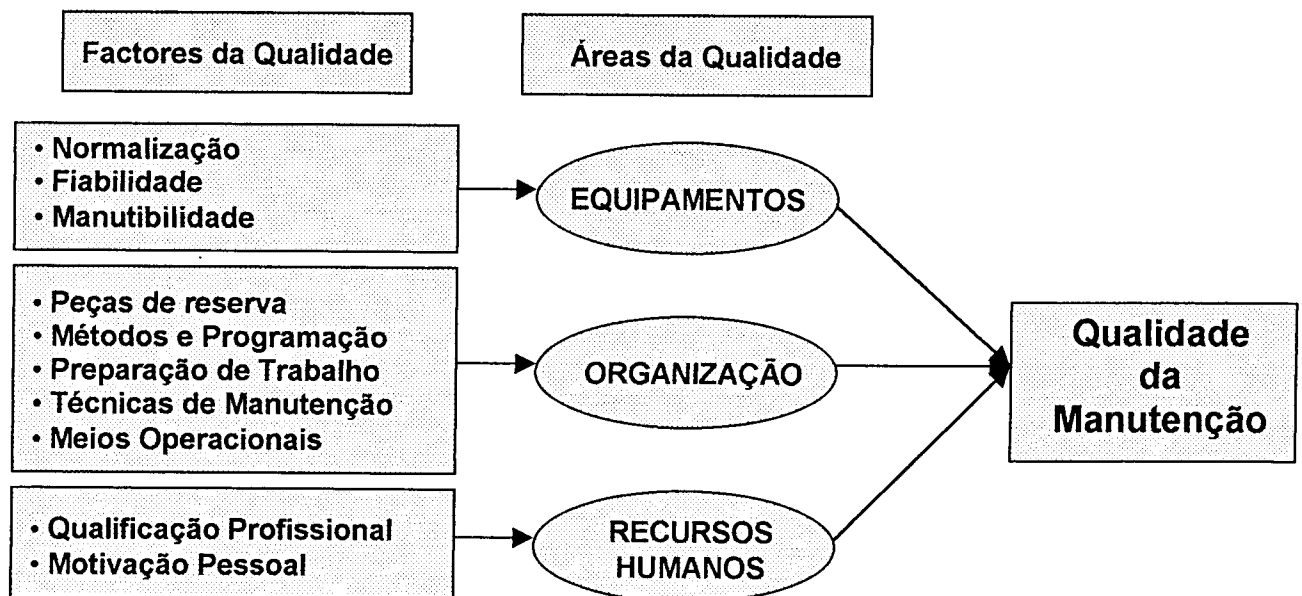


Figura 1.11 – Factores e áreas da Qualidade

1.4.8 Custos da Manutenção

O preço final de um bem produzido comporta, entre outros, os custos inerentes à manutenção. Estes podem atingir valores relativos com algum significado, cerca de 10% no caso em estudo logo uma parcela não negligenciável, acentuando a importância estratégica da análise dos custos.

Ferreira (1998) considera dois tipos de custos em manutenção, directos e indirectos.

Os custos directos, numa dada intervenção, resultam de:

- Mão de obra: produto do tempo gasto pela taxa horária
- Peças substituídas e consumíveis utilizados: valor da factura de compra, mais os custos de transporte e execução da encomenda
- Trabalhos subcontratados: valor da factura emitida pela entidade prestadora do serviço, acrescido de uma parcela, decorrente do apoio técnico como elaboração do Caderno de Encargos, selecção do subcontratante ou controlo da qualidade
- Contratos de manutenção: valor constante do clausulado referente às obrigações pecuniárias, ao qual poderá ser, eventualmente, acrescida uma parcela onde se incluam custos com a avaliação e negociação do contrato ou de posterior verificação da conformidade
- Custos globais da Manutenção: custos fixos e acessórios à manutenção como o apoio administrativo, climatização ou telefones
- Custos de posse de "stock": gastos inerentes à posse dos materiais em armazém, bem como à existência do próprio armazém e do pessoal adstrito
- Custos de posse de ferramentas e máquinas: custos caracterizados por uma taxa de amortização, compreendendo uma desvalorização, por uso ou obsolescência, e um valor residual

De acordo com o mesmo autor, os custos directos de uma intervenção podem relacionar-se com o tempo total de reparação (TTR), através da curva $CM = f(TTR)$ conforme figura:

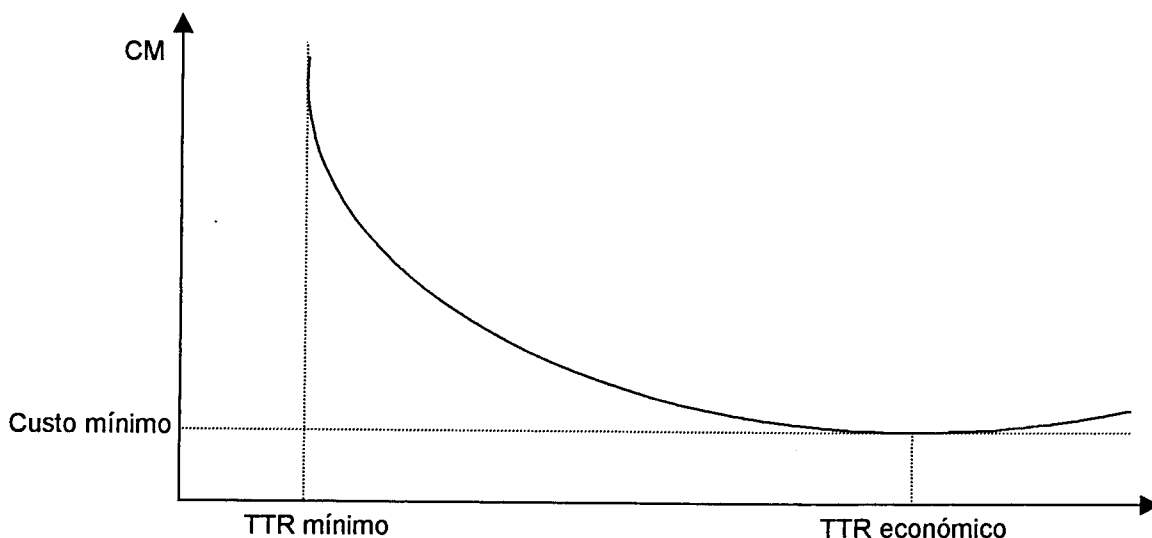


Figura 1.12 – Custos directos de manutenção – Adaptado de Ferreira (1998)

O TTR vai depender dos meios disponíveis no serviço de Manutenção. Objectivando o TTR económico, ordenada do custo mínimo, devem ter-se em conta os custos globais induzidos na instalação para concretização daquele objectivo.

Por outro lado e ainda segundo Ferreira (1998), os custos indirectos ou de perda de produção englobam:

- Custos de desclassificação: consideram perdas dos produtos não fabricados, matérias primas em curso de transformação, perdas de qualidade e perdas de produtos desclassificados
- Custos de inactividade: inerentes à mão de obra da produção, quando inactiva
- Custos de inoperacionalidade: despesas da amortização dos equipamentos parados
- Despesas induzidas: custos por não cumprimento dos prazos, penalidades, perda de clientes ou fraca imagem, por perda da qualidade na fabricação e por arranque dos processos de produção

Cabral (1998) enfatiza que os verdadeiros custos da manutenção, ou aqueles que exprimem realmente o desempenho da função, não são os custos directos. Diríamos que estes custos são a parte visível e mais facilmente quantificável da totalidade dos custos da manutenção. Uma boa ilustração é dada pelo Iceberg de custos.

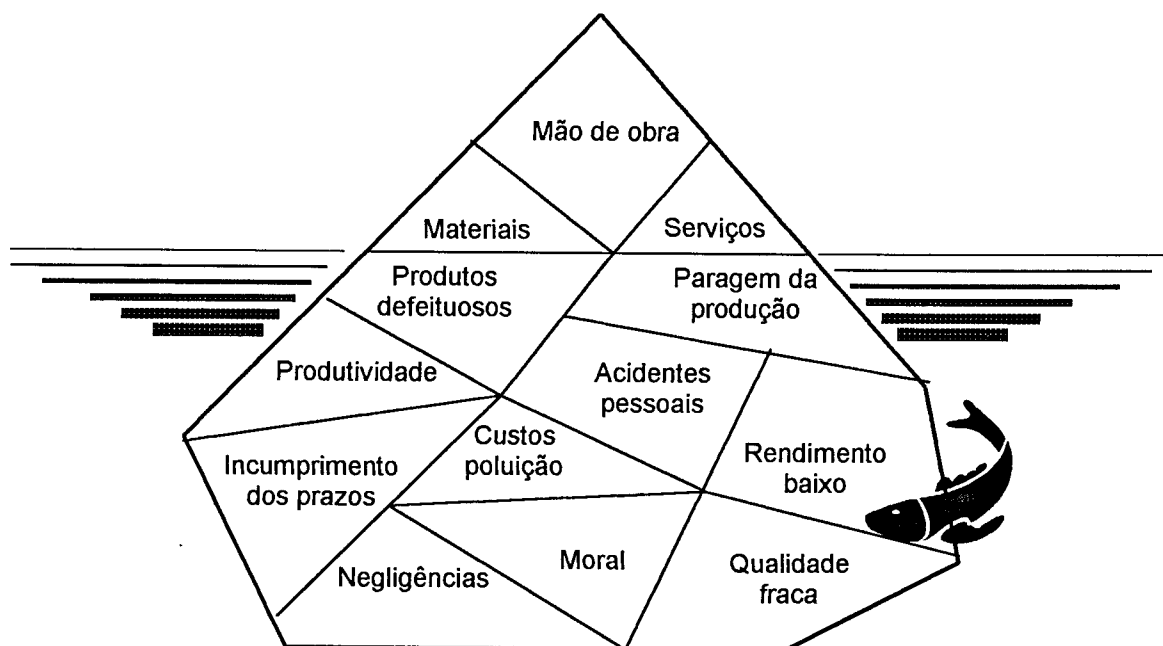


Figura 1.13 – “Iceberg” de custos – Adaptado de Cabral (1998)

A grandeza de algumas das rubricas dos custos indirectos, não obstante as dificuldades na sua quantificação, podem ser inferidas através de rácios que exprimam uma relação entre parâmetros visíveis e não visíveis. Estes rácios ou indicadores de desempenho, constituem uma das técnicas mais usadas no “benchmarking”.

Assim, na actividade específica do transporte pesado de passageiros é vulgar o indicador [Homem/Veículo x km] que relaciona o efectivo com a produção, sendo considerado uma medida de produtividade. Outro indicador amplamente associado à manutenção nesta actividade é o [Homem/Autocarro].

Por si só, os valores destes rácios são abstractos, sendo necessária a comparação com o mesmo indicador de outros operadores.

Monchy (1996) complementa a abordagem dos custos verificando a existência de um nível óptimo de manutenção preventiva para o custo mínimo de avaria. Para o efeito, considera que os custos de paragem de produção ou indirectos, associados à avaria, evoluem de forma inversa aos custos de manutenção.

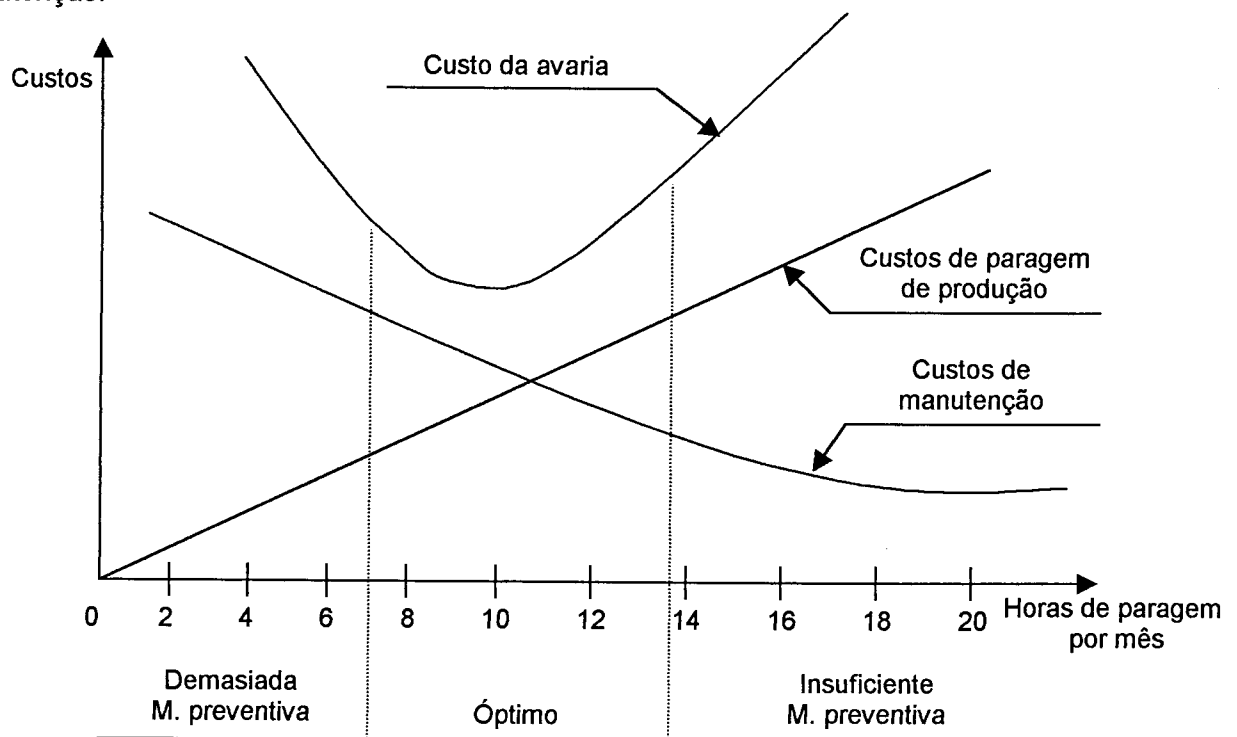


Figura 1.14 – Optimização dos custos – Adaptado de Monchy (1996)

Naquilo que poderíamos classificar por tentativa de simplificação, este modelo engloba na mesma componente de custo os dois tipos de manutenção preventiva, a sistemática e a condicionada. Apesar do carácter preventivo comum aos dois tipos, cada um determina resultados a custos diferenciados. A execução da despesa pode ser entendida constante ao longo do tempo no tipo preventivo sistemático e quase sempre concentrada no instante $t=0$ no tipo preventivo condicionado.

O descrito tem como denominador comum a observância dos custos à “posteriori”, ou seja, somente após a realização da despesa é que é apreciado o valor relativo dos custos. Em Manutenção este aspecto é da maior importância dado o carácter imprevisível de grande parte das avarias, com as

consequências que daí advêm, não só em relação à componente custo directo mas fundamentalmente em relação aos custos de imobilização e de indisponibilidade. Na óptica das empresas, mais importante do que saber quanto custou é saber quanto vai custar. Este aspecto é enfatizado por Assis (1997) que atribui aos custos passados a designação de “custos irrecuperáveis”. Aquando da tomada de decisões relativamente à gestão dos equipamentos devem ser considerados os custos de manutenção, das avarias, o custo médio de funcionamento, o custo global de posse, os custos acumulados, a verificação do período de lucro, em suma; a observação dos acontecimentos de ordem económica ao longo da utilização.

A consideração do custo do ciclo de vida do equipamento ou LCC (Life Cycle Costing), que engloba todos os custos desde o projecto até ao abate, é uma abordagem dos custos de grande importância. O objectivo da análise LCC é a escolha da abordagem mais favorável em termos de custos, por forma a que sejam menores durante a vida útil do equipamento. O LCC permite ao técnico a justificação para uma aquisição ou a escolha de um processo, baseando-se nos custos totais e não nos custos iniciais.

No LCC são consideradas quatro componentes de custos:

- Custos de investimento;
- Custos de manutenção;
- Custos de operação;
- Custos de desactivação.

Geralmente os custos de investimento representam uma pequena parte dos custos de LCC, como se representa na figura seguinte:

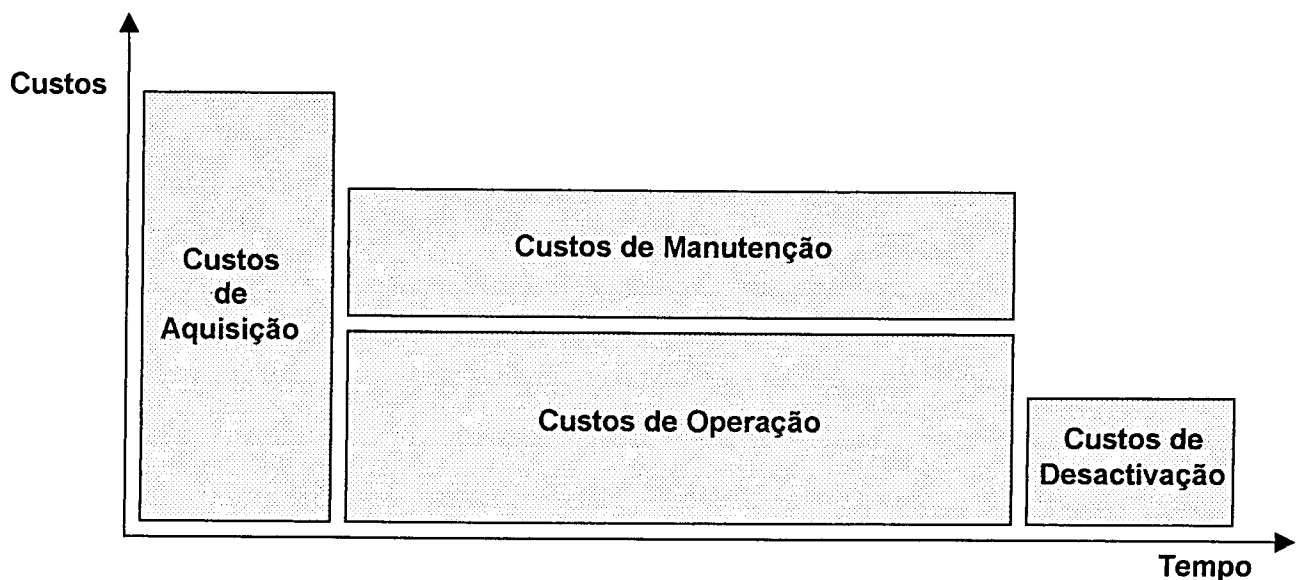


Figura 1.15 – Custo de ciclo de vida – Adaptado de Assis (1997)

Monchy (1996) caracteriza o custo de posse de um equipamento, determinando a respectiva zona de rendibilidade, conforme se verifica na figura seguinte:

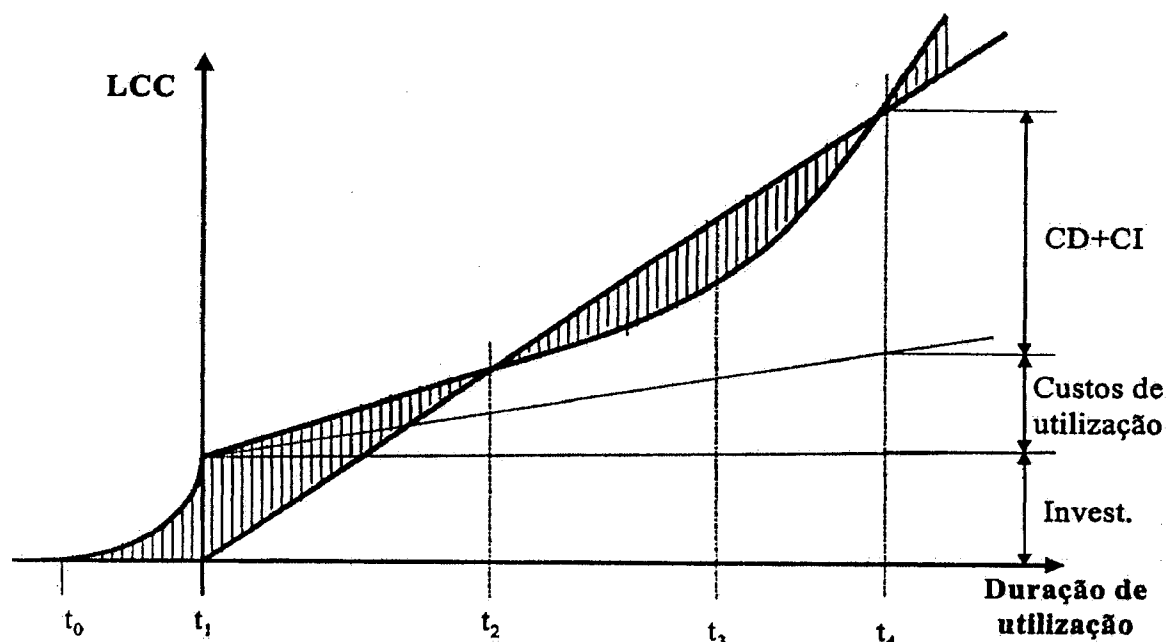


Figura 1.16 – Custo de ciclo de vida – Adaptado de Monchy (1996)

Onde:

t_0 – Decisão de compra

t_1 – Arranque

t_2 – Fim da amortização

t_3 – Rendibilidade máxima

t_4 – Recondicionamento

$(t_4 - t_2)$ – Período de rendibilidade

Neste gráfico está contido todo o ciclo de custo de vida do equipamento. No entanto, esta análise pode ser utilizada em equipamentos que estejam no decurso da sua vida útil. Para tal, basta que disponhamos dos custos acumulados até à data em que se realiza o estudo.

1.4.9 Subcontratação da Manutenção

Com a nova ordem económica mundial, também designada por globalização, o aumento da competição entre as empresas tem implicado profundas reestruturações organizacionais na procura de maior flexibilização e eficiência. Até agora, uma das respostas mais comuns aos novos desafios tem sido a redução em tamanho das organizações, o “downsizing”. As sinergias da empresa são exclusivamente focalizadas para o produto/serviço fundamental, o “core-business”, e as actividades subsidiárias passam a ser encomendadas ao exterior, ou seja; a aplicação dos recursos é concentrada nas acções, das quais se retiram mais valias. A Manutenção é uma das actividades onde se verifica uma acentuada tendência no sentido da recorrência à subcontratação, Villar (1998). Os problemas de organização, de formação e de adaptação, induzidos pelas evoluções e inovações tecnológicas são, em geral, difíceis de suportar pela própria empresa, constituindo-se como outro dos factores que potencia a subcontratação da Manutenção.

Souris (1990), embora num contexto diferente do actual, considera que devem ser externalizadas todas as actividades dificilmente domináveis em tempo e meios, tais como:

- Tarefas afastadas do objectivo de produção fundamental da empresa
- Variações da carga de trabalho, nomeadamente por arranque de novos equipamentos
- Sobrecarga da actividade sazonal durante as paragens de produção
- Reconstrução ou reabilitação de equipamentos

Neste modelo de acção, a entidade subcontratada é confinada ao papel de mero executante dos trabalhos, ficando as acções subsequentes a cargo da empresa contratante. A responsabilidade da subcontratada cessa após a concretização da reparação ou do vencimento do período de garantia.

No quadro evolutivo que vimos traçando podem situar-se três fases distintas:

- “In sourcing”, no qual as empresas concentram em si todas as actividades inerentes à Manutenção
- “Out sourcing” parcial, através do qual as empresas subcontratam tarefas específicas e onde Souris parece situar-se
- “Out sourcing” total ou Parceria, onde a gestão e execução da Manutenção está concentrada num prestador de serviços externo

Neste mesmo quadro e numa óptica de sobrevivência, assiste-se à adaptação e à criação de empresas prestadoras dos serviços de Manutenção, perspectivando a exploração de novas áreas de negócio. Assim, já existem no mercado parceiros que desenvolveram competências por forma a darem resposta às solicitações da função Manutenção, numa perspectiva globalizante e integrada, contribuindo por esta via para a optimização dos activos das instalações industriais e consequente aumento da rentabilidade dos seus clientes. Entretanto, as empresas de sucesso estão a concentrar-se no seu núcleo de negócio, recorrendo cada vez mais a parcerias de média/longa duração, Mendonça (2002).

Este modelo de parceria estabelece e exige relações mais abrangentes entre empresas contratadas e contratantes, considerando aquelas como partes interessadas no negócio, logo sugerindo objectivos comuns, que devem ser aferidos periodicamente, e elevados níveis de confiança mútua. Assim, a implementação de uma parceria deve ser condicionada pelas circunstâncias e metodologias dos parceiros.

É nosso entendimento que os objectivos fundamentais de uma parceria na área da Manutenção não se distinguem dos objectivos dos modelos de Gestão da Manutenção tradicionais. Assim, continuam a ser claramente identificados como objectivos a redução dos custos, a rentabilização da produção e o aumento da disponibilidade dos equipamentos. Para os defensores deste modelo de gestão da Manutenção, a diferença fundamental está na atitude dos parceiros do negócio, onde assumem uma maior partilha dos riscos, visando a obtenção do maior valor acrescentado, conforme se apresenta na figura seguinte:

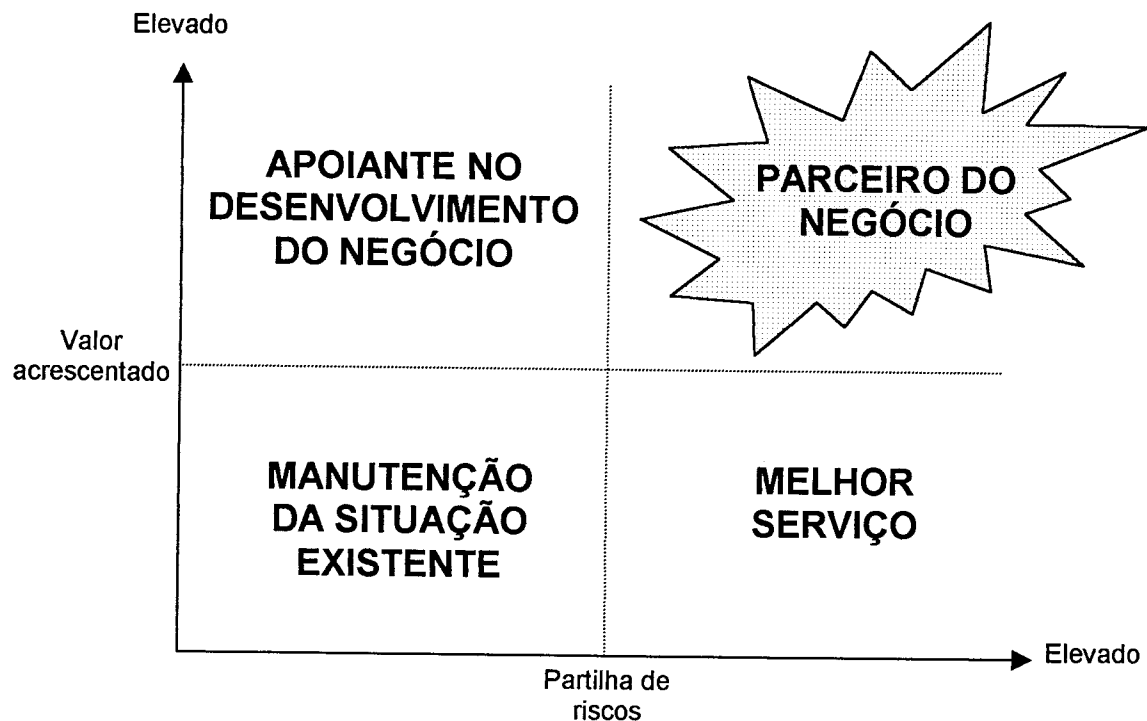


Figura 1.17– Relacionamentos numa parceria – Adaptado de Lourenço (2002)

Para Mendonça (2002), os ganhos esperados de uma parceria assentam na redução dos custos directos de manutenção (serviços de apoio e supervisão, recursos humanos, subcontratação de serviços, materiais e peças de reserva) e no aumento da produtividade (disponibilidade, eficiência e fiabilidade).

Embora não pareçam ser negligenciáveis os ganhos esperados numa parceria, pensamos que, no momento de a concretizar, devem ser equacionados os riscos e os benefícios daquela ligação. Nos textos consultados não observámos a indicação dos perigos que possam advir, sendo que é por demais evidente que a parte contratante tenderá a esvaziar-se do conteúdo técnico, colocando-se na dependência do parceiro.

1.5 Organização da tese

Este trabalho é composto por cinco capítulos:

Neste primeiro capítulo, que se entende subdividido em três partes, é feito o enquadramento do problema através de breves notas sobre os aspectos fundamentais para o desenvolvimento das empresas na economia moderna, nomeadamente no sector de transportes públicos de passageiros; na segunda parte definem-se os conceitos gerais e particulares, os últimos referentes ao objecto técnico em causa, bem como os objectivos a alcançar; na terceira parte apresenta-se uma síntese bibliográfica onde se abordam a evolução, as técnicas, os custos, as estratégias e a organização da Manutenção e a sua relação com a Qualidade.

No segundo capítulo é abordada a fiabilidade em duas vertentes; a operacional e as técnicas quantitativas.

O terceiro capítulo reporta concretamente ao caso em estudo.

No quarto capítulo, são descritas as técnicas da manutenção preventiva condicionada a aplicar ao modo de falha anteriormente caracterizado e uma breve descrição do recurso tecnológico a utilizar.

Finalmente, no quinto e ultimo capítulo, para além da determinação de um modelo decisional reparar versus substituir, são apresentadas as conclusões referentes ao caso estudado e possíveis sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2 – METODOLOGIA para QUANTIFICAÇÃO da FIABILIDADE

Na continuidade do referido no subcapítulo 1.4.5, retomamos aqui o assunto que vínhamos desenvolvendo.

2.1 Estatística e Fiabilidade

Os métodos matemáticos aplicados ao estudo da fiabilidade recorrem a ferramentas de tratamento estatístico dos dados, donde resulta uma estreita relação entre a fiabilidade e a estatística. Para Pereira (1996), não é possível empreender qualquer estudo fiabilístico sem um suporte estatístico prévio, já que a eventualidade de ocorrência de avaria num determinado intervalo de tempo apenas pode ser expressa como uma probabilidade. De acordo com o mesmo autor, um estudo de fiabilidade carece de:

- Conhecimento prévio do suporte estatístico e formas de utilização;
- Conhecimento profundo dos equipamentos em estudo, principalmente no que se refere aos seus modos de falha;
- Definição, para cada caso, do que deve ser entendido como avaria.

Modarres (1993), Klaassen (1989) e também Dhillon (1988), referindo-se às características da fiabilidade das mais importantes funções estatísticas, estabelecem os seus âmbitos de aplicação. Assim:

i. Distribuição Exponencial

É a distribuição mais utilizada nas análises fiabilísticas, especialmente devido à sua simplicidade e ao facto de considerar a taxa de avarias como constante, pelo que pode ser descrita como um processo de Poisson onde os acontecimentos aleatórios correspondem à ocorrência das avarias.

O facto de os processos representados pela distribuição exponencial não terem memória ou seja, a probabilidade de sobrevivência de um item entre t e $t+\Delta t$ ser independente da variável t , é descrito por Modarres (1993) como uma das mais interessantes características desta distribuição.

O mesmo autor, no contexto da curva em banheira e em períodos longos como a zona intermédia daquela curva, classifica-a de frequentemente realista.

Das situações em que é vastamente utilizada, destacam-se:

- Funcionamento pleno após o período de teste inicial;
- Rodagens prévias;
- Verificação após o “burn-in”;
- Sistemas complexos não reparáveis;

A função densidade de probabilidade (fdp) da distribuição exponencial é descrita por:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{(-\lambda t)} \quad (2.1)$$

ii. Normal

A distribuição normal é a distribuição básica da estatística. A média dos valores de n observações aleatórias aproxima-se da distribuição normal, de acordo com o Teorema do Limite Central. Por esta característica, esta distribuição é muito usada em processos de controlo da qualidade.

A variável aleatória da distribuição normal pode tomar valores no intervalo $]-\infty, +\infty[$ pelo que é limitada em utilizações fiabilísticas, nomeadamente as estimativas do tempo até à falha.

A Normal é uma distribuição a dois parâmetros, $N(\mu; \sigma)$, que representam, respectivamente e em análise fiabilística, o MTTR e o desvio padrão do tempo até à falha.

A terceira região da curva em banheira é caracterizada pela distribuição normal sendo, por este motivo, um razoável modelo a aplicar em componentes em fadiga. Este facto é enfatizado pela forma da função de risco, monótona crescente.

A fdp da distribuição normal é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (t-\mu)^2 \right]}, \quad -\infty < t < +\infty, -\infty < \mu < +\infty, \sigma^2 > 0 \quad (2.2)$$

iii. Lognormal

A distribuição lognormal tem uma utilização significativa em análise fiabilística. No essencial, a Lognormal é a distribuição de uma variável aleatória, cujo logaritmo segue uma distribuição normal.

A sua da função de risco $h(t)$ inicialmente é crescente e depois decrescente, sendo a variação do crescimento ou do decrescimento depende do valor dos parâmetros μ e σ .

De entre os domínios de aplicação em análise fiabilística, destacam-se:

- Falhas atribuídas às actividades de manutenção;
- Distribuição de vida de alguns tipos de transístores;
- Tempo até à ruptura por fadiga em componentes;
- Distribuição de taxa de avarias constante se a mesma for a variável aleatória;
- Tempo até à avaria em componentes que revelem falhas precoces.

Para a variável tempo, a fdp Lognormal é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln t - \mu)^2 \right]}, \quad 0 < t < +\infty, -\infty < \mu < +\infty, \sigma^2 > 0 \quad (2.3)$$

iv. Weibull

É a mais versátil das distribuições utilizadas em análises fiabilísticas com uma vasta gama de aplicações. Pela sua variedade de formas, esta distribuição a três parâmetros [parâmetro de forma β (adimensional), parâmetro de escala η e parâmetro de posição γ] pode ajustar-se a qualquer das regiões da curva em banheira. Assim:

- $\beta < 1$ – taxa de avarias decrescente, região de juventude;
- $\beta = 1$ – taxa de avarias constante, região de maturidade;
- $\beta > 1$ – taxa de avarias crescente, região de obsolescência.

A distribuição de Weibull é muito adequada para sistemas ou equipamentos compostos por diferentes peças ou componentes, cuja falha dependa do defeito ou problema mais severo. Por outras palavras, pode representar a fdp do elemento mais fraco.

De entre as suas inúmeras aplicações, destacam-se:

- Resistência à corrosão;
- Tempo até à falha de componentes eléctricos e electrónicos;
- Tempo até à falha de rolamentos de esferas;
- Tempo até à falha de alguns motores eléctricos;
- Tempo até à falha de componentes de sistemas, mesmo nos casos em que o tempo de falha do sistema segue uma distribuição exponencial.

A fdp da distribuição de Weibull é descrita por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}, \quad t > \gamma, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < +\infty \quad (2.4)$$

v. Gamma

É utilizada para representar a ocorrência de k avarias independentes, sabendo que ocorrem a taxa constante. Esta distribuição a dois parâmetros, α e β , pode representar cada uma das três regiões da curva em banheira consoante o parâmetro α assuma os valores inferiores, iguais ou maiores do que 1. Quando $\alpha = n/2$, sendo n um número natural, e $\beta = 2$ a distribuição Gamma coincide com a distribuição do Qui-quadrado com n graus de liberdade.

As aplicações desta fdp, podem resumir-se:

- Distribuição de tempos entre recalibrações de instrumentos de medida que têm que ser recalibrados após k utilizações;
- Distribuição de tempos entre acções de manutenção preventiva sistemática após k ciclos;

- Tempo até à avaria de um sistema com componentes em redundância passiva.

A fdp da distribuição Gamma é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{t}{\beta}}, \quad \alpha, \beta, t > 0 \quad (2.5)$$

onde $\Gamma(\alpha)$ denota a função Gamma, calculada para α .

vi. Distribuição de Valor Extremo

Usada para modelar avarias devidas a situações extremas como elevadas tensões sobre os materiais ou temperaturas muito baixas ou muito elevadas sobre os equipamentos.

É uma distribuição a dois parâmetros, localização λ e escala δ , que pode relacionar-se com a distribuição de Weibull.

A distribuição de valor extremo pode revestir-se de duas formas, valor extremo inferior e valor extremo superior. A primeira forma é particularmente indicada para a análise do tempo até à falha em componentes. A distribuição do valor extremo superior, para além da análise do ciclo de vida, é utilizada para modelar o tempo de vida do componente mais velho a falhar numa determinada população e num dado período.

No caso do valor extremo inferior, a fdp é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\delta} \cdot e^{-\left[\frac{1}{\delta} \cdot (t-\lambda) - e^{\left(\frac{t-\lambda}{\delta} \right)} \right]}, \quad -\infty < \lambda < +\infty, \delta > 0, -\infty < t < +\infty. \quad (2.6)$$

Quando se verificam as condições $\begin{cases} \lambda = \ln \mu \\ \delta = \frac{1}{\beta} \end{cases}$, onde β e μ são respectivamente os parâmetros de forma

e de escala da distribuição de Weibull, estabelece-se a relação entre esta distribuição e a do valor extremo inferior.

No caso do valor extremo superior, a fdp é descrita por:

$$f(t) = \frac{1}{\delta} \cdot e^{-\left[-\frac{1}{\delta} \cdot (t-\lambda) - e^{\left(\frac{t-\lambda}{\delta} \right)} \right]}, \quad -\infty < \lambda < +\infty, \delta > 0, -\infty < t < +\infty. \quad (2.7)$$

vii. Testes de Adequação

Nos estudos de Fiabilidade, os testes de adequação servem para verificar se o comportamento de uma variável aleatória de uma dada amostra segue uma distribuição teórica. Para tal, admite-se na utilização estatística um risco de erro " α " que representa o nível de significância ou a probabilidade de erro utilizando o teste.

Os testes mais utilizados em Fiabilidade são o Qui-quadrado (χ^2) e o de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

O teste de qualidade de ajuste K-S apresenta algumas vantagens sobre o teste χ^2 , nomeadamente a definição rigorosa da distribuição da estatística do teste no caso das distribuições populacionais contínuas se bem que completamente especificadas e é geralmente mais potente.

2.2 Modelos de fiabilidade

Um modelo de fiabilidade é determinado por um número de premissas sobre a avaria dos componentes do sistema em estudo. Tomadas em conjunto estas premissas formam o modelo em que o cálculo da fiabilidade se baseia.

Pereira (1996), ao estabelecer esta definição de modelo de fiabilidade, precisa o conceito, tomando-o inconfundível face a algumas definições que tomam como modelo apenas as distribuições de variáveis.

Os modelos de fiabilidade podem classificar-se em determinísticos, estatísticos e funcionais.

Os modelos determinísticos são modelos baseados nas leis de degradação física dos componentes ou sistemas sujeitos a falha. A premissa fundamental de aplicação de um modelo deste tipo é o profundo conhecimento dos mecanismos da falha, da forma como os controlar e da diminuição da taxa de progressão dos efeitos associados. Assim, com base no conhecimento do processo de deterioração dominante podem fazer-se previsões sobre a vida do componente ou sistema em causa.

A aplicação de um modelo deste tipo está naturalmente limitada pela complexidade do sistema em estudo. Com efeito, não é possível nestes casos definir o processo de deterioração dominante nem aplicar o modelo ao tratamento simultâneo de vários processos em conjunto.

Os modelos estatísticos de fiabilidade são modelos que se sustentam no conhecimento de situações ocorridas no passado com um dado componente, sistema ou equipamento ou com entidades semelhantes para inferir sobre a condição futura dessa entidade. As ferramentas de cálculo utilizadas podem ser o ajustamento a uma distribuição de tipo previamente definido ou através de uma função própria caracterizadora da fiabilidade prevista, embora não explicitada algebricamente. No primeiro caso trata-se de modelos paramétricos e, no segundo caso, de modelos não paramétricos.

Os modelos estatísticos podem ser ainda caracterizados quanto ao tipo de entidade em causa e respectiva função (mecânica, electrónica, informática, etc.) e possibilidades de reparação (reparável ou não reparável).

Podem também estabelecer-se modelos que se baseiam no tipo de falha, como o modelo catastrófico, que supõe um só modo de avaria, ou do tipo de variáveis, como os de Markov, baseados no estado do equipamento e no tempo de observação contado a partir do último zero. Aquelas variáveis podem ser discretas ou contínuas e a cada uma delas pode ajustar-se a distribuição que for mais conveniente.

Por último, na aplicação de um modelo estatístico dever-se-á pressupor que o funcionamento de um componente, ao qual foi ajustada uma dada distribuição, não é afectado por qualquer outro componente do sistema.

Os modelos funcionais opõem-se aos modelos baseados em ocorrências como os determinísticos e os estatísticos. Estes, ao contrário dos modelos funcionais, centram a sua análise nas diversas ocorrências que influenciam o funcionamento dos sistemas enquanto aqueles se preocupam com a forma segundo a qual componentes, sistemas e equipas de trabalho funcionam em conjunto de modo a desempenhar determinadas funções operacionais críticas.

2.3 Requisitos da fiabilidade

Enquanto peça fundamental no aumento da competitividade das empresas, os equipamentos estão sujeitos a níveis de desempenho crescente. Este facto conduz frequentemente à exigência de os equipamentos suportarem maiores cargas e comportarem maior número de funções. A primeira exigência conduz ao funcionamento perto dos limites da resistência e a segunda, porque introduz maior complexidade, faz aumentar os componentes em quantidade.

Com elevada probabilidade, qualquer destas exigências pode resultar em maior número de avarias com a consequente redução da disponibilidade esperada, a não ser que se possa adoptar uma adequada estratégia preventiva.

Assim, a melhoria simultânea do desempenho e da fiabilidade afigura-se-nos contraditória pelo que devem ser conciliadas por compromisso.

A exigência de os equipamentos estarem dotados com um número maior de funções, conduz naturalmente a custos de aquisição mais elevados. Por outro lado, quanto maior for a fiabilidade desejada, maiores serão os custos para a obter. Assim, verifica-se que a fiabilidade e o custos também devem ser conciliados por compromisso.

Para delimitar o curso entre os requisitos da fiabilidade e os requisitos de desempenho, Assis (1997) utiliza os exemplos de um carro de competição, onde os requisitos de fiabilidade estão necessariamente secundados pelos requisitos de desempenho, e um avião comercial, onde os requisitos de fiabilidade são predominantes sobre quaisquer outros.

Em situações intermédias, os requisitos de fiabilidade são quase sempre colocados numa perspectiva económica. Assim, interessa encontrar o melhor compromisso entre o custo de aquisição de uma fiabilidade elevada e o custo resultante das paragens por avarias ao longo da vida útil ou seja; custos de fiabilidade “versus” custos de não-fiabilidade.

2.4 A fiabilidade no ciclo de vida de um equipamento

Como referido anteriormente, o conceito relacional do estado de funcionamento de um equipamento com o seu ciclo de vida é designado por Fiabilidade, também já definida como a capacidade de um item operar sem falha. Deste modo, o conceito surge associado às varias fases do ciclo de vida dos equipamentos que se resumem:

- Projecto ou concepção;
- Fabricação ou construção;
- Operação ou exploração;
- Desactivação ou eliminação.

Na fase de projecto são definidos os requisitos funcionais, as condições de serviço, a vida útil do equipamento e a fiabilidade requerida, numa relação de compromisso com os custos e o nível de segurança. A garantia da qualidade para prossecução daqueles objectivos, passa pela construção de protótipos e realização de ensaios sobre os mesmos. Nestes ensaios, para além do estabelecimento e verificação dos coeficientes de segurança, são analisados os potenciais modos e mecanismos de falha, bem como a identificação dos componentes de desgaste e/ou fadiga para definição das periodicidades das acções preventivas. Enquanto característica da concepção, a manutibilidade também é “medida” nesta fase. Desta forma é determinada a fiabilidade inerente ou intrínseca do equipamento.

Na fase de construção, as considerações de fiabilidade encontram-se estritamente relacionadas com o controlo da qualidade, ou seja, apenas devem ser incorporados técnicas de fabrico e materiais e/ou componentes em conformidade com o projecto para não afectar o valor da fiabilidade requerida.

Na fase de exploração, as condições de serviço e as periodicidades das acções preventivas devem ser escrupulosamente respeitadas pois, só assim, será possível ajustar a fiabilidade informada pelo fabricante com a fiabilidade demonstrada em serviço. Esta, também designada por fiabilidade extrínseca, depende do comportamento real do equipamento e da fiabilidade intrínseca.

A importância desta prática é fundamental para uma gestão económica dos equipamentos, nomeadamente quanto à necessidade de melhoramentos, à implementação de políticas racionais de gestão de “stocks”, à equilibrada dotação de órgãos de reserva e/ou redundâncias.

2.5 As etapas da fiabilidade

Estabelecendo o princípio de que qualquer equipamento deve funcionar em condições que proporcionem a maior eficácia, segurança e economia dos meios, Assis (1997) define três etapas para desenvolver a fiabilidade em serviço; medir, melhorar e otimizar.

A dedução da expressão de fiabilidade e investigação do seu resultado é efectuada na 1ª etapa. Neste caso, o cálculo pode ser inicialmente desenvolvido a partir do componente elementar, mas sempre com base na realização de ensaios. As condições de realização dos ensaios de fiabilidade devem ser representativas da utilização normal do item, equipamento ou sistema ensaiado. De igual modo representativa deve ser a dimensão da amostra no caso de estudos de fiabilidade de uma população ou série de fabrico. Os ensaios de fiabilidade podem ser classificados em:

- Completos se limitados pela falha do último item ensaiado;
- Truncados se limitados por uma porção de tempo previamente definida;
- Censurados se limitados por uma quantidade de falhas previamente definida;
- Sequenciais se limitados pela constatação de um valor predeterminado da fiabilidade e com um nível de confiança.

A 2ª etapa tem lugar quando todas as inter-dependências da fiabilidade da instalação forem assimiladas, podendo visar-se a melhoria da fiabilidade global. As formas de melhoria subjacentes a esta etapa são:

- Redução da complexidade à sua mínima expressão possível;
- Aumento da fiabilidade individual dos componentes;
- Introdução de componentes ou órgãos redundantes;
- Estabelecimento de políticas de manutenção preventiva.

As duas primeiras medidas encontram-se naturalmente limitadas pela evolução tecnológica. As restrições que se colocam às duas últimas são essencialmente de natureza económica.

Por ultimo, a 3ª etapa diz respeito à melhoria contínua das medidas enunciadas ou, inversamente, para uma fiabilidade fixada como objectivo, minimizá-las.

2.6 Metodologia de aplicação

O primeiro passo para aplicação de uma técnica estatística é a recolha de dados. Num processo de recolha, os dados dizem-se primários, se fizerem parte do sistema de informação da empresa ou obtidos propositadamente para uma determinada análise, ou secundários se forem compilados. Os processos de recolha de dados podem classificar-se em experimentais ou observacionais. Para

Guimarães e Cabral (1998) os processos experimentais são potencialmente mais reveladores da influência de certos factores na medida em que se exerce um controlo directo sobre os mesmos.

Depois de apresentar a expressão matemática da fiabilidade, dos métodos estatísticos para o seu cálculo e dos testes de adequação, Ferreira (1998) propõe a uma metodologia de análise fiabilística. Após a recolha, os dados deverão ser classificados em função de uma variável aleatória. Em Manutenção é frequente considerar-se o tempo como unidade de utilização. No entanto, outras unidades de medida podem ser utilizadas como a quilometragem vencida por um veículo ou o número de ciclos de um actuador, sendo que neste último caso a variável aleatória é discreta. Para variáveis contínuas e para variáveis discretas a função de repartição $F(t)$, valor acumulado de avarias até ao instante t , pode representar-se respectivamente por:

$$F(ti) = \int_{-\infty}^{ti} f(t) dt = \text{Prob}(T < ti) \quad (2.8)$$

$$F(tn) = \sum_0^n (ti) = \text{Prob}(T < tn) \quad (2.9)$$

Com os dados obtidos por consulta do histórico, datas da avaria e de reentrada ao serviço, classificam-se por ordem crescente os tempos de bom funcionamento (TBF), ou seja; os tempos que decorrem entre as N avarias.

No caso de amostras com alguma dimensão, $N > 50$, o mesmo autor recomenda o agrupamento por classes. O quantitativo das k classes é dado por:

$$k = \sqrt{N} \quad (2.10)$$

Seguindo a metodologia, após determinado o número de classes calculam-se as frequências relativas de cada classe e depois a frequência acumulada F_i . Deste modo temos:

$$F_i = \frac{\text{número de avarias antes de } t_i}{\text{número de avarias totais}} \quad (2.11)$$

$$\text{De 1.2 temos } F(t) = \text{Pr}(T < t) \text{ então } F(i) = \text{Pr}(T < t_i) \Rightarrow F(i) = F(t) \quad (2.12)$$

Verifica-se que existe identidade entre a função repartição (de natureza probabilística) e as frequências relativas acumuladas (de natureza descritiva), excepto nos valores extremos que se podem desprezar.

No caso de amostras de menor dimensão, $N < 50$, é atribuído um número de ordem i a cada avaria, pelo que os TBF's não são agrupados em classes. Daqui resulta uma maior divergência nos valores extremos da frequência acumulada, tornando-se necessária a sua correcção para os aproximar de $F(t)$. Assim, se $20 < N < 50$ é utilizada a fórmula (2.6) de aproximação dos números de ordem médios e se $N < 20$ é utilizada a fórmula (2.7) de aproximação dos números de ordem medianos.

$$F(i) = \frac{i}{N+i} \quad (2.13)$$

$$F(i) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \quad (2.14)$$

2.7 Fiabilidade de sistemas

Uma das técnicas para melhorar a fiabilidade dos sistemas, sobretudo nos mais críticos, é a utilização de equipamentos redundantes. Há, no entanto, constrangimentos de natureza económica, tecnológica e física que tornam aquela técnica impraticável.

Numa óptica de melhoramento da fiabilidade e a título de exemplo, seria desejável que um veículo pudesse dispor de um segundo sistema de propulsão e de transmissão de potência que asseguraria a continuidade da função em caso de falha do primeiro. As implicações decorrentes, resumem-se:

- Menor potência útil;
- Estruturas de chassis mais resistentes e pesadas;
- Custos de fabrico e de aquisição mais elevados;
- Custos de manutenção globalmente superiores;
- Aspectos construtivos mais complexos;
- Períodos superiores de imobilização;
- Custo global mais elevado.

Numa situação como a referida, é fácil verificar a sua inexequibilidade. Na realidade, a generalidade destes sistemas funciona em série onde, com a perda de função do motor térmico, da caixa de velocidades ou de cada um dos elementos de transmissão é inevitável a perda de função do sistema.

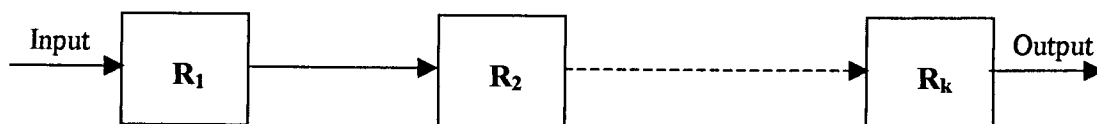


Figura 2.1 – Diagrama de blocos de um sistema série de k unidades

De acordo com Dhillon (1988), num sistema de k unidades, onde a probabilidade de ocorrência de avarias em cada unidade é independente das restantes, a fiabilidade R_s do sistema é dada por:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_k \quad (2.15)$$

Se a variável métrica for o tempo e forem conhecidas as distribuições estatísticas das falhas de cada unidade, então a expressão geral da fiabilidade R_s de um sistema série é:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^k \exp \left[- \left(\int_0^t \lambda_i(x) dx \right) \right] \quad (2.16)$$

onde $\lambda_i(x)$ é a função de risco da unidade i , com $i=1,2,3,\dots,k$

O tempo médio até à avaria (MTTF) de um sistema série é dado por:

$$MTTF_S = \int_0^\infty \left\{ \prod_{i=1}^k \exp \left[- \left(\int_0^t \lambda_i(x) dx \right) \right] \right\} dt \quad (2.17)$$

Um sistema paralelo é obtido quando duas ou mais unidades iguais são dispostas de tal modo que formam um sistema e a resposta de saída do mesmo pode ser dada por cada uma das unidades funcionais. Neste tipo de sistema só não é assegurada a função se todas as unidades falharem ou, por outras palavras, o sistema assegura a função desde que uma unidade o faça.

A redundância activa é uma das configurações de um sistema paralelo, onde as K unidades se encontram em operação.

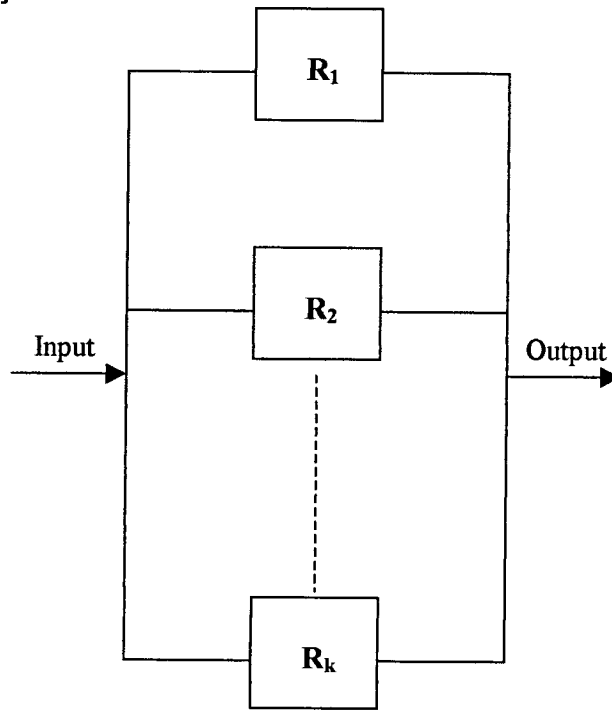


Figura 2.2 – Diagrama de blocos de uma redundância activa de k unidades

Se a probabilidade de ocorrência de avarias em cada unidade é independente das restantes, a fiabilidade R_{PA} do sistema é dada por:

$$R_{PA} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_k) \quad (2.18)$$

Nos casos em que a redundância activa não é exequível, pode recorrer-se à redundância passiva ou "standby". Tal como no caso anterior, o sucesso do sistema é obtido quando uma unidade está em

condições de o garantir. Nesta configuração, onde apenas uma das unidades está em operação, é introduzido um elemento que comuta uma unidade quando ocorre uma falha na outra. A introdução deste elemento terá óbvios reflexos na fiabilidade do sistema, dado que ele também pode falhar. Nas expressões seguintes, o comutador é considerado perfeito.

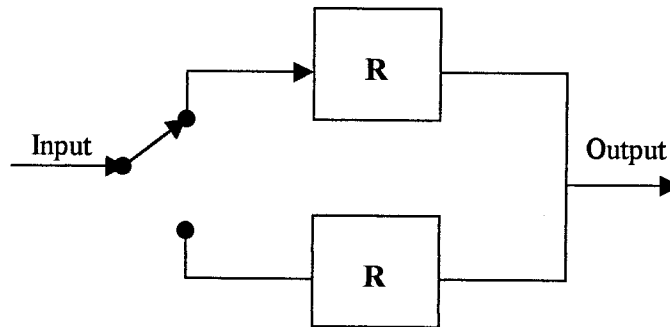


Figura 2.3 – Diagrama de blocos de uma redundância passiva de 2 unidades

Para um sistema “standby”, a fiabilidade R_{PS} do sistema é dada pela expressão:

$$R_{PS} = R \cdot (1 - \ln R) \quad (2.19)$$

onde R é a fiabilidade de uma unidade.

Em muitas aplicações práticas os sistemas não se resumem às configurações em série ou paralelo, apresentando-se antes como uma combinação de ambos. Trata-se de um sistema complexo também designado por paralelo/série.

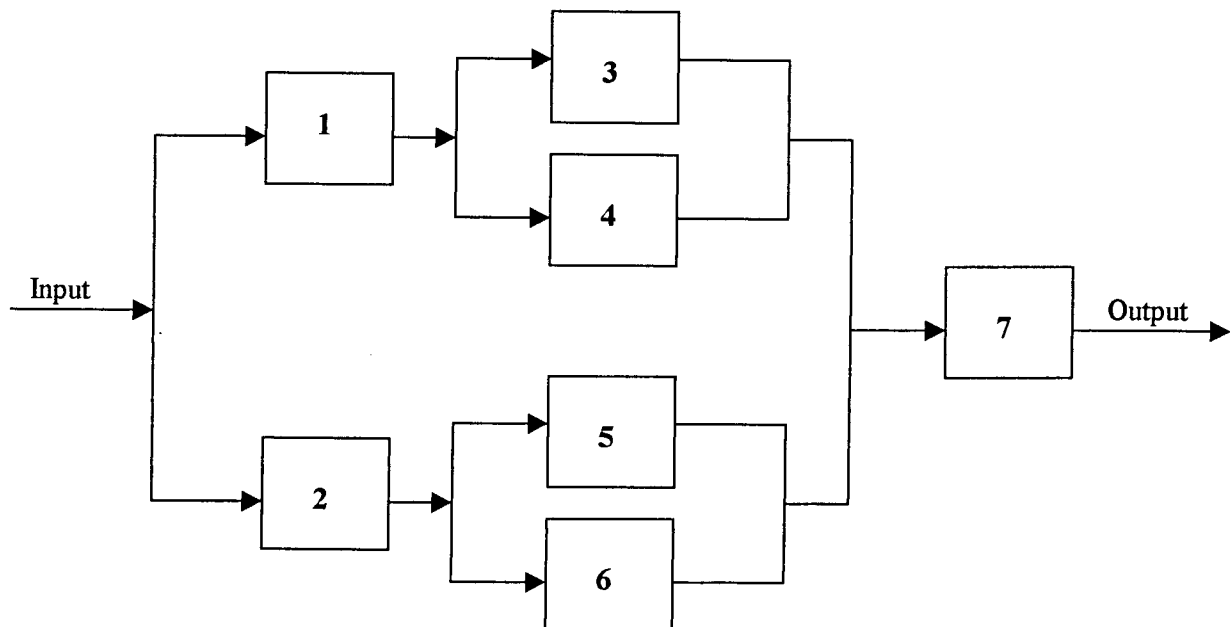


Figura 2.4 – Diagrama de blocos de um sistema complexo paralelo/série

Nestes sistemas, a fiabilidade do conjunto é determinada após a análise e divisão em sistemas elementares, sobre os quais se calcula a fiabilidade dos subconjuntos.

Outros sistemas, como o representado na figura seguinte, não são decomponíveis em sistemas elementares. São designados por sistemas complexos não paralelo/série.

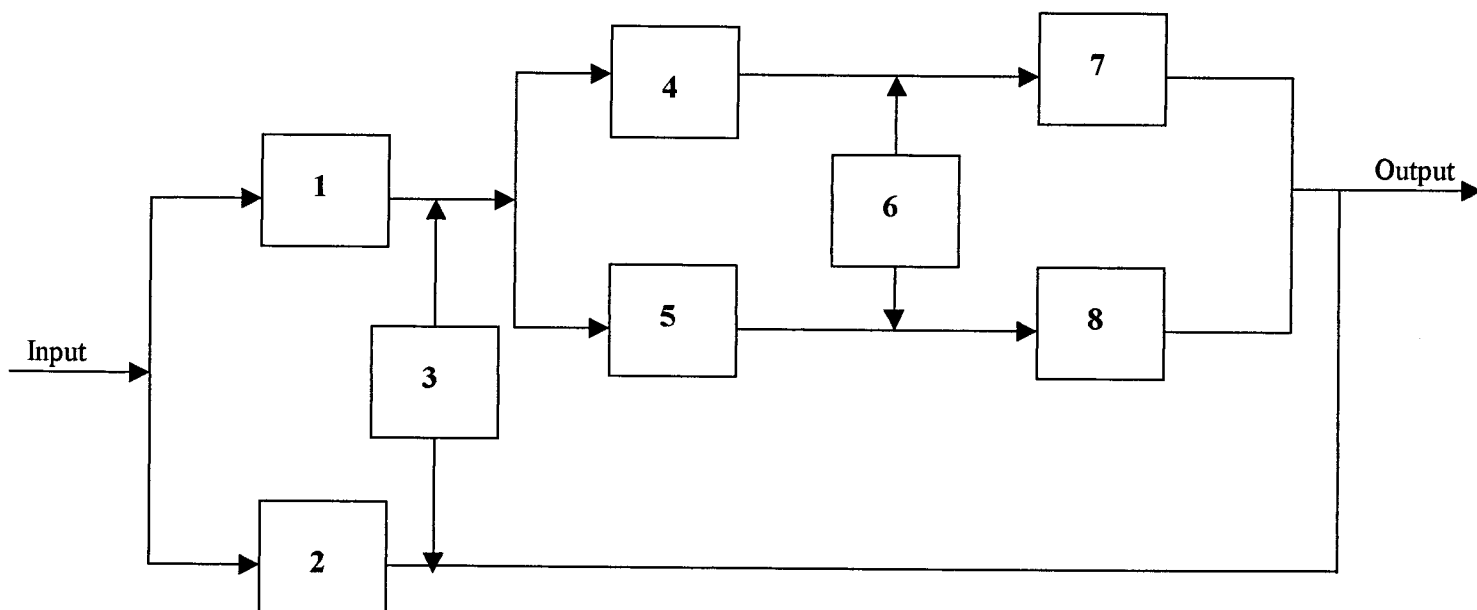


Figura 2.5 – Diagrama de blocos de um sistema complexo não paralelo/série

Modarres (1993) propõe o Teorema de Bay como ferramenta de decomposição de um sistema complexo não paralelo/série, no caso de o mesmo ter poucas unidades. Na situação inversa, o mesmo autor considera mais adequada a árvores de falhas.

Capítulo 3 – CASO em ESTUDO

3.1 Enquadramento do problema

3.1.1 O meio envolvente

Com uma área de cerca de 84 km² e 5,5x10⁵ habitantes, a cidade de Lisboa é o centro de uma Área Metropolitana com cerca de 3120 km² e 2,66x10⁶ habitantes, abrangendo 19 concelhos.

A cidade de Lisboa, que oferece 50% dos empregos existentes na Área Metropolitana, absorve parte substancial das 4,0x10⁶ deslocações diárias, das quais cerca de 75% são motorizadas. A evolução dos índices de motorização individual, com acentuado crescimento nos últimos anos e contrariamente ao que se verifica noutras metrópoles europeias, tem-se repercutido directamente nos índices de utilização do transporte público, donde decorre um aumento dos congestionamentos dos acessos à cidade e um agravamento da dificuldade de gestão da mobilidade.

3.1.2 A empresa – breve nota histórica

A Companhia Carris de Ferro de Lisboa (CCFL) integra o sistema de transportes públicos da cidade de Lisboa, desenvolvendo a sua actividade de transportador de superfície nos modos autocarro e eléctrico. A sua história inicia-se por volta do 3º quartel do século XIX, quando a cidade de Lisboa dispunha de escassos meios de transporte público. Para além dos Trens de Praça, registam-se os carros da “Companhia de Carroagens Lisbonnenses”, que efectuavam a ligação entre o Cais do Sodré e Belém, e o “Caminho de Ferro Larmanjat” que efectuava a ligação a Sintra e Torres Vedras.

Neste pano de fundo e objectivando dotar a cidade de Lisboa de uma rede de transportes públicos colectivos, a C.C.F.L. foi fundada em 1872 no Rio de Janeiro, onde manteria a sua sede até 1876.

Em 17 de Novembro de 1873 tem lugar a inauguração da primeira linha entre Sta Apolónia e Santos, utilizando veículos de tracção animal com deslocamento sobre carris, os “Americanos”. Em face do sucesso obtido, e também da forte concorrência movida por outras empresas do sector, foram iniciados estudos tendo em vista a exploração de um sistema denominado de “Electricidade por condutores eléctricos com motor”. Na madrugada do dia 31 de Agosto de 1901 entra em funcionamento a primeira linha de carros eléctricos entre o Cais do Sodré e Algés que surpreendeu pela “comodidade e rapidez”. A expansão da rede determinou o desaparecimento do “Americanos” em 1905.

Em 1937, começou a ser delineada a estratégia para alargamento ao modo autocarro. Tendo em vista o reforço do transporte de visitantes para a Exposição do Mundo Português em 1940, são adquiridos seis autocarros. Em 9 de Abril de 1944 é oficialmente inaugurado o serviço regular daquelas viaturas com três carreiras.

Desde então, a frota e o serviço têm sido constantemente ampliados e renovados para os valores actuais:

- 840 autocarros de várias tipologias e modos de propulsão diesel e gás natural comprimido;

- 45 carros eléctricos históricos e 10 articulados;
- 101 carreiras de autocarros com a extensão total de cerca de 300 km;
- 5 carreiras de carros eléctricos com extensão total de 25 km;
- transporte de cerca de 325×10^6 passageiros por ano.

3.1.3 A empresa – acções actuais e futuras

No sentido de ajustar o seu funcionamento às necessidades do mercado, a CCFL. vem desenvolvendo múltiplas acções em vários domínios, dos quais se destacam:

na óptica da melhoria da eficiência económica

- racionalização do efectivo
- redução dos custos gerais de funcionamento
- rentabilização dos meios disponíveis
- renovação geral dos sistemas informáticos

na óptica da melhoria da informação aos clientes

- instalação de painéis informativos nos abrigos e paragens
- integração de um sistema de informação em tempo real

na óptica de renovação da frota

- remodelação da frota de carros eléctricos históricos
- aquisição de novos carros eléctricos de grande capacidade
- aquisição de novos autocarros articulados
- aquisição de autocarros adaptados para o transporte de deficientes

na óptica do aumento da regularidade

- gestão mais eficaz da rede através de GPS para localização automática das viaturas
- desenvolvimento do sistema de regulação de tráfego

Numa dinâmica de modernização, para além do aprofundamento dos processos em curso, destacam-se os projectos futuros:

- adequar permanentemente o parque de viaturas às novas características da procura;
- aumentar progressivamente a velocidade comercial;
- renovar o material circulante para cumprimento do normativo sobre poluição atmosférica;
- aprofundar a utilização das energias alternativas – nomeadamente gás natural e biodiesel;
- acompanhar o desenvolvimento da propulsão a pilha de combustível;
- desenvolver o processo de videovigilância nas viaturas de serviço público.

3.1.4 A empresa - estrutura e funções da Manutenção

A gestão da Manutenção está enquadrada num órgão de 1ª linha, designado por Direcção de Manutenção (Anexo I).

As inerentes competências deste órgão da estrutura no modo autocarro, podem resumir-se:

- Executar todos os níveis de manutenção do material circulante, assegurando a sua manutenção preventiva, curativa, correctiva e de melhoramento;
- Gerir o stock de órgãos rotáveis, estabelecendo os seus quantitativos e decidindo de acordo com dados técnicos e económicos da oportunidade da substituição relativamente à execução da reparação;
- Participar/colaborar na definição das especificações dos veículos e bem assim das respectivas intervenções de todos os níveis de manutenção;
- Garantir e gerir as informações ao órgão próprio para a produção dos indicadores de gestão;
- Definir a organização do trabalho oficial;
- Garantir o fornecimento à Exploração do quantitativo de veículos acordado, no momento exacto:
 - com capacidade de segurança adequada;
 - com a qualidade adequada;
 - ao mais baixo custo possível por quilómetro.

As funções directamente relacionadas com a Manutenção e não contidas nas competências anteriores, Estudos Técnicos, Métodos de Manutenção, Gestão de “Stocks” e Estatísticas da Manutenção, estão integradas noutro órgão, também de 1ª linha, designado por Direcção Técnica (Anexo I).

No modo autocarro, a CCFL dispõe de quatro parques de recolha, situados ao longo da periferia da cidade de Lisboa. Em cada um destes parques, para além do órgão que efectua a gestão da exploração de tráfego, reside uma unidade avançada, Divisão de Manutenção (Anexo II), que tem a seu cargo a execução das tarefas correspondentes aos 1º, 2º e 3º níveis de intervenção e cujas funções se enunciam resumidamente:

- Planear e executar os 1º, 2º e 3º níveis de manutenção da frota;
- Executar o abastecimento e assegurar a limpeza;
- Proceder à afectação dos veículos ao serviço, tendo em atenção as respectivas características;
- Assegurar a operacionalidade das infraestruturas e equipamentos que lhe estão confiados;
- Colaborar na definição dos métodos de manutenção;
- Colaborar na gestão das garantias;
- Recolher e analisar dados da actividade técnica.

Para a Manutenção em geral é comum distinguirem-se cinco níveis de intervenção, NF X60-010 e NF X50-501. Dentro deste contexto, na actividade transportadora, teremos:

- 1.º nível
Compreende as operações de abastecimento de combustível, de verificação dos níveis de óleo e de água do sistema de arrefecimento do motor, de limpeza interior, de lavagem exterior e de verificação do enchimento dos pneus, que se efectuam diariamente após o serviço;
- 2.º nível
Compreende a manutenção preventiva, curativa e correctiva em que as operações se fazem sem necessidade de retirar os órgãos dos veículos. Todo este conjunto de operações não se prolonga para lá de um ou dois dias de imobilização do veículo;
- 3.º nível
Compreende a substituição de órgãos com o objectivo de serem reparados;
- 4.º nível
Compreende a reparação de órgãos, e todos os trabalhos de manutenção preventiva, curativa e correctiva de grande dimensão e que exigem ou equipamento oneroso e de pouca utilização ou mão de obra qualificada;
- 5.º nível
Corresponde à reparação geral ou à reconstrução do veículo – no primeiro caso mantendo-se as características do veículo, enquanto no segundo caso se efectuam alterações.

A CCFL dispõe, ainda, de uma unidade central, designada por Divisão das Oficinas Gerais de Autocarros, por sua vez subdividida em dois Departamentos, Órgãos e Veículos (Anexo III). Para além das competências inerentes aos 4º e 5º níveis de intervenção, estes órgãos da estrutura ainda incorporam funções de fabrico de peças para autocarros e carros eléctricos, manutenção geral das viaturas que constituem a frota de apoio, manutenção de equipamentos e de algumas infra-estruturas, donde se excluem os edifícios. As funções atribuídas às Oficinas Gerais, podem resumir-se:

- Executar os 4º e 5º níveis de manutenção da frota de autocarros no domínio de veículos e órgãos;
- Definir o stock de órgãos rotáveis, estabelecendo os seus quantitativos e decidindo de acordo com dados técnicos e económicos da oportunidade da substituição relativamente à execução da reparação;
- Assegurar o cumprimento dos padrões de qualidade das reparações e efectuar os testes/ensaios finais aos veículos e órgãos intervencionados;
- Elaborar o Plano de Reparações e Aquisições da Frota de Autocarros.
- Assegurar a operacionalidade das infraestruturas e equipamentos que lhe estão confiados;
- Recolher e analisar dados da actividade técnica.

A Direcção de Manutenção dispõe ainda de órgãos de “staff” para as funções Logística, Recursos Humanos e Controlo de Custos. As funções no tocante à manutenção, resumem-se:

- Promover e coordenar a elaboração dos orçamentos anuais de Exploração e de Investimentos, assegurando a sua compatibilização entre os vários órgãos da empresa;
- Assegurar o modelo de contabilidade analítica nos aspectos relativos à sua utilização, adequação sistemática e análise permanente;
- Participar na definição da política de recursos humanos da Direcção e assegurar a sua adequação funcional, o seu provimento, mobilidade e formação;

3.1.5 A empresa - organização da função Manutenção

A partir dos programas de manutenção preventiva, específicos para cada segmento de frota e elaborados com base nos dados dos fabricantes com ajustamentos à realidade concreta da exploração de autocarros em circuito urbano, as Divisões de Manutenção das Estações determinam as respectivas cargas de trabalho, alocando os adequados e necessários recursos. A actividade programada comporta aqui duas vertentes:

- Execução dos programas de manutenção, cujo planeamento é função da distância percorrida, (Anexo IV);
- Preparação e acompanhamento dos autocarros para as Inspekções Periódicas Obrigatórias (IPO), enquanto requisito legal.

As acções de reabastecimento e limpeza, de verificação de níveis e inspekção aos pneus são rotinas diárias que antecedem a recolha dos autocarros ao parque no final da jornada, sendo efectuadas por equipas onde se inclui o motorista. Estas funções, de momento, encontram-se parcialmente subcontratadas.

A manutenção programada representa nas Oficinas Gerais cerca de 30% do total da actividade. O PRAFA, (Anexo V), enquanto elemento de previsão dos investimentos mais significativos na frota de autocarros, estabelece, nos planos quantitativo e qualitativo, as grandes reparações de carroçarias a concretizar. Todos os aspectos subjacentes às grandes reparações, previsão de consumos de materiais e afectação dos recursos humanos, são produzidos nas Oficinas Gerais.

Quando a segurança não é posta a risco e sendo possível, são adiadas algumas necessidades, nomeadamente na carroçaria e seus elementos, de intervenção de génese imprevista para minorar o efeito da imobilização dos autocarros, ou seja, aumentar os índices de disponibilidade. Com esta medida, é introduzida uma componente ambígua no planeamento das intervenções, ao mesmo tempo grata para o gestor da manutenção por ser programável e ingrata por implicar constantes reestruturações e ajustamentos no plano das reparações.

As condições muito particulares do serviço de transporte colectivo urbano de passageiros em Lisboa, pendentes muito acentuadas, piso em mau estado e escassez de corredores “bus”, são fortemente penalizadoras para a generalidade dos sistemas que compõem o autocarro e as avarias, enquanto promotoras de actividade não planeada, têm uma expressão muito significativa nos custos da manutenção e na imobilização imprevista das viaturas. A detecção e percepção das avarias tem lugar privilegiado em três momentos:

- Durante a jornada de trabalho com a percepção do tripulante (Anexo VI);
- No final da jornada de trabalho, durante as operações de recolha;
- No decorrer das acções programadas pelas Divisões de Manutenção com a percepção da equipa de manutenção.

No caso de a avaria ocorrer durante o serviço, também designada por avaria de rua, após a chamada de uma unidade de Pronto Socorro, podem distinguir-se duas situações:

- O autocarro prossegue o trabalho com a falha totalmente corrigida ou apenas em parte (paliativa);
- Os meios locais são insuficientes e o autocarro é rebocado para a Estação onde está alocado.

Se a detecção acontece durante os procedimentos de recolha ou no decorrer das acções programadas:

- A anomalia é corrigida de imediato ou com a brevidade de dois ou três dias pelas equipas da Divisão de Manutenção;
- A viatura ou órgão é deslocada(o) para as Oficinas Gerais.

As avarias percepcionadas durante os procedimentos de recolha são, normalmente, de pouco significado. Cada Divisão de Manutenção dispõe de uma equipa nocturna, especificamente dirigida para a resolução destas avarias.

As ocorrências evidenciadas nos pontos anteriores, exceptuando-se as que implicam deslocação para as Oficinas Gerais, foram identificadas como “avarias de rotina”.

Um aspecto particular da actividade não planeada é o caso dos abalroamentos, onde está sempre envolvida a área de Contencioso do Gabinete Jurídico. Nestes casos, após participação da ocorrência feita pelo órgão de estrutura detentor do autocarro, tem lugar a elaboração de um orçamento e o consequente reajustamento do planeamento. Estas reparações são, em face da extensão dos danos, executadas nas Divisões de Manutenção ou nas Oficinas Gerais.

Se uma dada avaria está fora do âmbito das competências da Divisão de Manutenção, a mesma desmonta o órgão e envia-o para reparação sendo que, nestes casos é desejável que se disponha da

adequada reserva no local. O modelo de intervenção em órgãos nas Oficinas Gerais passa, invariavelmente, pelo recondicionamento.

O recondicionamento, enquanto filosofia de reparação, consiste na substituição sistemática de alguns componentes por novos e na reparação de outros. Os critérios que estão subjacentes à substituição sistemática dos componentes, assentam na sua “reparabilidade”, na sua importância relativa e custo. Assim, para exemplificação do referido e no caso do motor Volvo THD 100DB temos que são sistematicamente substituídas as unidades cilíndricas – camisas, êmbolos e segmentos – os tubos de injeção, juntas, rolamentos e válvulas de admissão e escape. Raramente se aplicam cabeças de motor e árvores de cames. A necessidade de substituição da árvore de manivelas ou do bloco, inviabiliza economicamente a reparação. Nestes casos procede-se à canibalização da unidade abatida ao efectivo.

As fases de recondicionamento de um motor, são:

- Desmontagem e lavagem;
- Avaliação das causas da avaria e do estado dos componentes reparáveis;
- Orçamentação dos custos e exequibilidade da reparação;
- Encomenda de componentes novos;
- Reparação de componentes;
- Montagem do motor;
- Ensaio final em banco com a dupla finalidade – rodagem e garantia da qualidade.

Nos ensaios de garantia da qualidade são obtidas as curvas reais de potência, binário e consumo específico. Seguidamente as mesmas são comparadas com as curvas de referência, dados do fabricante.

Para além da necessária intermutabilidade, a classificação de órgão rotável é atribuída nos casos em que se pretende “seguir” o percurso de um elemento da família. Esta distinção apenas é utilizada nos órgãos mais importantes como motores, caixas de velocidades, bombas injectoras e pontes traseiras, dado o volume adicional de trabalho administrativo que implica. Cada órgão é assim identificado pelo seu código específico, que o acompanha até ao abate. Os órgãos rotáveis com avaria são recepcionados pela Logística, que também tem a seu cargo a expedição dos mesmos após a reparação.

Os órgãos não rotáveis, por exemplo injectores e obliteradores, seguem um percurso diferente dos rotáveis. A sua gestão é efectuada pelos “Stocks”, que os recepcionam e expedem via Armazém Central, possuindo para o efeito duas designações adicionais ao código de família: novo e usado.

3.1.6 A empresa – as ferramentas da função Manutenção

Como auxiliares das tomadas de decisão, de apoio à Gestão da Manutenção e controlo da mesma, a CCFL dispõe de algumas boas ferramentas, das quais se destacam:

- Registo histórico da Manutenção;
- Contabilidade Analítica;
- Folha de obra.

O registo histórico da manutenção dos veículos ou de órgãos rotáveis é o conjunto da informação recolhida ao longo da sua vida, contendo dados referentes às suas características e às operações de manutenção neles realizadas. Dado o volume de informação produzida e a necessidade de a actualizar constantemente, o registo está organizado como uma base de dados.

A contabilidade analítica é uma estrutura ordenada de códigos que permite a repartição dos custos de cada operação. Tal como o registo histórico, também a contabilidade analítica está organizada como base de dados.

A folha de obra é o documento de suporte técnico e administrativo com a qual se inicia qualquer trabalho, o seu controlo e onde são registados todos os dados referentes à intervenção. Como tal, a folha de obra é o suporte dos dados introduzidos nos registos históricos e da contabilidade analítica.

A CCFL dispõe de um suporte informático integrado desde Janeiro de 1999, o SAP R3. Trata-se de um software modular que cobre parte substancial das áreas de Recursos Humanos, Contabilidade, Gestão de Materiais e Planeamento da Manutenção. A grande vantagem que os software's integrados proporcionam, para além de correrem num sistema operativo comum e consequentemente reduzirem o risco de conflitos, reside em que um determinado dado é introduzido uma única vez, mantendo-se imutável ao longo do processo. Este facto é determinante para que o apuramento dos custos e constituição do histórico, objectivos fundamentais nestas ferramentas, sejam coerentes e fiáveis.

Outra característica importante do SAP R3 é a sua compatibilidade com outras plataformas. No caso em estudo, aquela revelou-se determinante quando foi necessário estabelecer uma interface com os contadores dos sistemas de abastecimento, que por sua vez desencadeiam os contadores da manutenção preventiva e a emissão automática das respectivas ordens de trabalho.

3.2 Apresentação da situação

No subcapítulo anterior foram apresentadas algumas vantagens das bases de dados integradas. O desenvolvimento destes produtos, por muito parametrizáveis que sejam, apelam constantemente à normalização e aos padrões "standard", omitindo aspectos mais específicos e/ou científicos. A referida aplicação, dentro da gama de indicadores importantes para a função Manutenção como a fiabilidade e a

taxa de avarias, apenas disponibiliza o MTBF e o MTTR, claramente determinados como simples médias aritméticas, respectivamente dos tempos entre avarias e tempos de reparação das mesmas. Introduzir o necessário rigor científico no cálculo de noções importantes da manutenção é uma das consequências deste trabalho.

Para este arranque, considerámos os motores Volvo THD 100DB, também identificados por Volvo THD 437, por duas razões:

- Porque representam uma proporção significativa, cerca de 20%, dos motores existentes;
- Pelo historial acumulado, que permite uma comparação entre o valor agora determinado e um valor estimado.

Como referido anteriormente, o SAP R3 entrou em funcionamento no início de 1999. Para a obtenção de resultados tão significativos quanto possível, foi entendido prolongar o período de análise até ao momento em que todos os motores registavam, pelo menos, um recondicionamento.

No que se refere às avarias de rotina, ficámos-nos pelos dados introduzidos no SAP R3, por si só representativos do volume de manutenção curativa praticado. Aqui, regista-se uma lacuna da base de dados, a qual consiste em permitir inserir texto livre num campo reservado para a descrição das avarias. Deste modo, não sendo uniformes os critérios de preenchimento daquele campo, impedindo uma ordenação automática, está posto em causa o rigor desejado de um objectivo parcial deste trabalho; a determinação do modo de falha crítico nas avarias de rotina.

Assim, para a realização deste estudo consideram-se:

- Quantitativo de motores – 170;
- Período de observação, recondicionamentos – 28/10/92 a 16/07/2001;
- Período de observação, avarias de rotina – 02/02/1999 a 12/02/2001;
- Quantidade de recondicionamentos – 323;
- Motores em recondicionamento - 8;
- Quantidade de avarias de rotina – 1018;
- Unidade de contagem – Dia;
- Distância média percorrida anualmente por autocarro – 60000 km.

3.3 Recolha e tratamento de dados

3.3.1 Avarias de rotina

A partir de uma consulta directa ao SAP, obtêm-se uma listagem das notas PM encerradas, rotina que suporta a abertura de ordens de trabalho, onde constam os sintomas da avaria e as datas da início e fim de reparação da avaria. A tela obtida está representada na figura seguinte:

Nota	Descrição	Status usuário	P	Local de ins
9285473	ALTERNADOR AVARIADO/PISCAS	OPER		1372
9285480	ASTE DO ESPELHO PARTIDA	OPER		1349
9285490	VIDRO DE CORRER JANELA DO MOT.PARTIDO	OPER		1348
9285495	DIRECÇÃO	OPER		1339
9285511	TRAUÕES E RETARDAMENTO	IREF	X	1335
9285555	AQUECIMENTO DO MOTOR E PNEU FURADO	IREF	X	1328
9285560	AQUECIMENTO E TRAUÕES (U.F.M.)	IREF	X	1337
9285561	AQUECIMENTO DO MOTOR	IREF	X	1366
9285562	TRIANGULO DA FRENTE PARTIDO	IREF	X	1368
9285563	AQUECIMENTO DO MOTOR	IREF	X	1331
9285565	AQUECIMENTO	IREF	X	1314
9285566	AC TREME MUITO C/A MUDANÇA (UFM)	IREF	X	1363
9285569	CAIXA DE VELOCIDADES PATINA	OPER		1358

PRD (2) (990) sapprod DVA 02:08PM

Figura 3.1 – Tela SAP - Pesquisa das avarias de rotina

Através do texto da descrição, do status IREF e do número de frota do autocarro são seleccionadas as Notas PM que interessam, no caso vertente as que mencionam motores Volvo THD 437 de acordo com o conceito particular de “motor”, referido em 1.3.2.

De seguida, os dados foram migrados para uma folha de cálculo (Anexo VII) e “trabalhados” para aplicação do teste de Laplace (Anexo VIII). O objectivo deste teste é verificar se as ocorrências são Independentemente e Identicamente Distribuídas (IID), formulando-se para tal duas hipóteses:

- H_0 – ocorrências IID;
- H_1 – ocorrências não IID.

Como o teste é limitado por tempo, a identificação da estatística do mesmo (ET) e caracterização da respectiva distribuição amostral é dada por:

$$ET = \sqrt{12 \times N} \times \left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N \times t_0} - 0.5 \right] \quad (3.1)$$

Onde:

- N é o número de ocorrências;
- t_i é o tempo decorrido até à avaria i ;
- t_0 é o tempo total.

Assim, verifica-se:

- $\Sigma t_i = 66217550$ dias; $N = 1018$ avarias; $t_0 = 125970$ dias; $Nt_0 = 128237460$;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = 1,80894$.

Donde se conclui que, para um nível de significância bilateral de 2,5% aceita-se H_0 , taxa de avarias constante.

3.3.2 Recondicionamentos

Identificando cada órgão pelo seu número rotável obtêm-se uma listagem das notas PM encerradas, nas quais constam os sintomas e as causas das avarias bem como as datas de início e fim do recondicionamento, conforme figura:

Equipam.	Descrição	Prob	Caus	InícioAvar	Fim avaria
W00021148	1403 - FALTA COMPRESSÃO 1125114 KM	1101	1102	10.02.1999	13.04.1999
W00038466	1306 - COMPRESSÃO 996912 KM	1101	1102	03.07.1999	02.11.1999
W00021156	1315 - FALTA COMPRESSÃO 1131373 KMS	1101	1102	14.09.1999	16.11.1999
W00038903	1434 - COMPRESSÃO 1037417 KM	1101	1102	15.10.1999	16.11.1999
W00038458	1338 - FALTA DE COMPRESSÃO 1093795 Km	1101	1102	22.10.1999	20.12.1999
W00038971	1341 - COMPRES. PASSA-SE (DEV. AV.) 1223058 Km	1101	1102	17.11.1999	05.01.2000
W00039853	1445 - COMPRESSÃO 1112112 KM	1101	1102	19.11.1999	27.01.2000
W00039659	1430 - FALTA COMPRESSÃO 1064681 KM	1101	1102	09.12.1999	25.01.2000
W00039781	1476 - COMPRESSÃO 949996 KM	1101	1102	12.01.2000	03.03.2000
W00038989	1358 - PASSAGEM COMPRESSÃO 1134607 Km	1101	1102	14.01.2000	31.03.2000
W00039430	1440 - COMPRESSÃO 1007626 KM	1101	1102	23.01.2000	01.03.2000
W00039632	1420 - COMPRESSÃO 1059909 KM	1101	1102	26.01.2000	18.02.2000
W00039136	1323 - COMPRESSÃO PASSA-SE 1064109 Km	1101	1102	01.02.2000	11.05.2000
W00039985	1485 - FALTA COMPRESSÃO 1070441 KM	1101	1102	04.02.2000	17.03.2000

Figura 3.2 – Tela SAP – Pesquisa de dados sobre recondicionamentos

De acordo com o referido em 3.2, foi necessário recuar a uma altura anterior à entrada em produtivo do SAP R3. Em face da estrutura arborescente da base de dados, para cada número rotável considerado foram verificados os locais de instalação utilizados, sendo que, na mesma rotina são contabilizados os tempos de espera, antes e pós recondicionamento. Estes passos estão representados na figura seguinte:

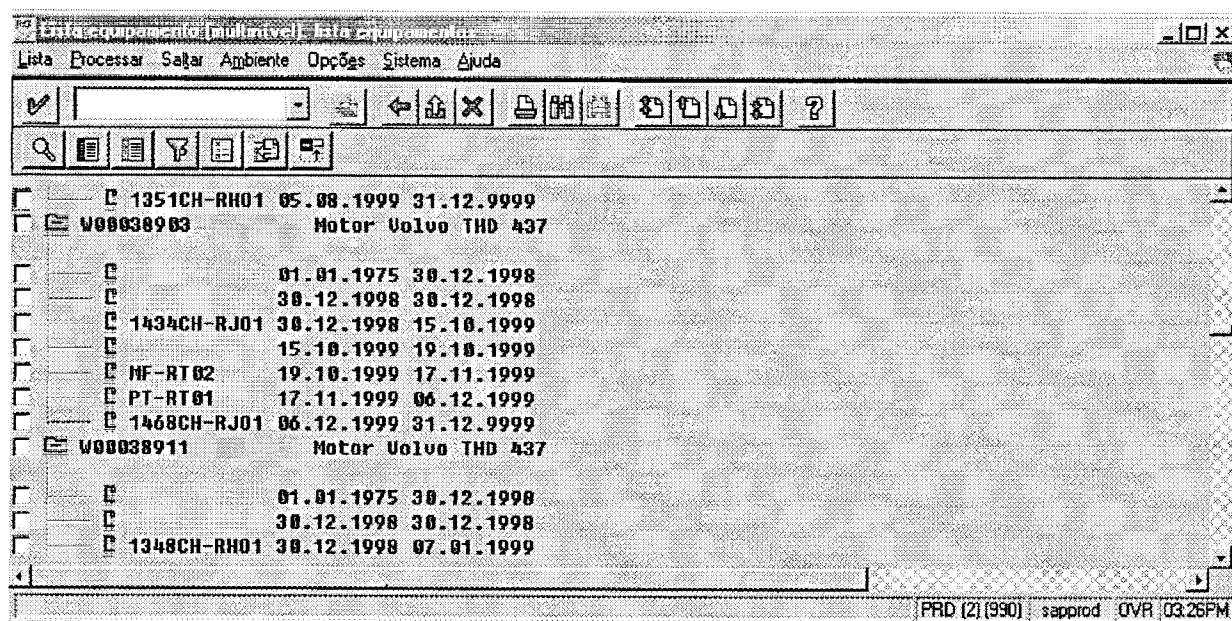


Figura 3.3 – Tela SAP - Locais de utilização

A chave dos códigos dos locais de utilização, para o exemplo anterior, é a seguinte:

- 1434CH-RJ01 e 1468CH- RJ01- número de frota onde esteve montado o motor W00038903;
- MF-RT02 – Em recondicionamento;
- PT-RT01 – Código da estação (CR, MG, MF e PT) para onde foi enviado o motor após recondicionado e tempo de espera até entrada noutra local de instalação;
- Ausência de código após 01/1999 – Em trânsito.

Seguidamente os dados foram migrados para uma folha de cálculo, onde foram arrançados por “Tempo em Serviço”, “Tempo em Espera nas Estações”, “Tempo em Espera nas Oficinas Gerais” e “Tempo em Recondicionamento”, (Anexos IX a XII).

Dado que o Tempo em Serviço representa quase 96% do tempo total, tabela seguinte, para efeitos da aplicação do teste de Laplace (Anexo XIII), as restantes parcelas de tempo foram consideradas sem expressão.

Σ dos tempos	[dias]	%
Em serviço	519024	95,9
Em espera, antes e pós recondicionamento, nas Estações	2415	0,4
Em espera, antes e pós recondicionamento, na Oficina	919	0,2
Dos recondicionamentos efectuados	18131	3,4
Dos recondicionamentos a decorrer na altura do estudo	791	0,1

Tabela 3.1 – Reconcondicionamentos - Repartição dos tempos

Seguindo os passos e a terminologia de 3.3.1, obtivemos:

- $\Sigma t_i = 94482430$ dias; $N = 323$ avarias; $t_0 = 541280$ dias; $Nt_0 = 174833440$;
- Se $\alpha = 0.050 \Rightarrow -1,96 < z < 1,96$;
- $ET = 2,51607$.

Donde se conclui que, para um nível de significância bilateral de 2,5%, rejeita-se a hipótese nula H_0 , taxa de avarias constante.

Para verificação da tendência, as avarias conducentes a recondicionamentos foram agrupadas ano a ano, tendo-se obtido o gráfico:

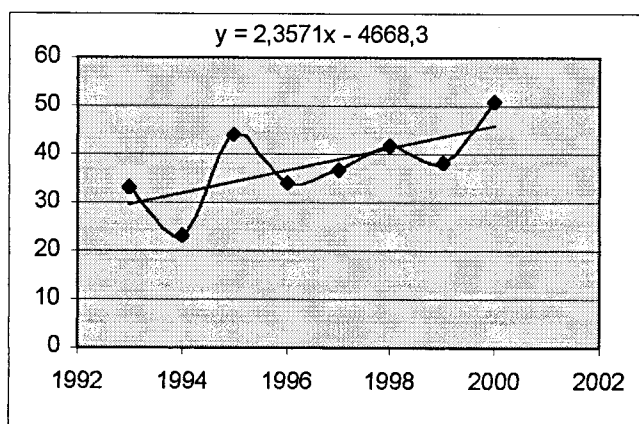


Figura 3.4 – Tendência dos recondicionamentos

Por constituírem anos incompletos, foram suprimidos os recondicionamentos realizados em 1992 e 2001. A regressão linear mostra claramente que, na vertente recondicionamentos, a taxa de avarias é crescente.

3.4 Cálculo da fiabilidade

O cálculo da fiabilidade foi realizado com o "Reliability Analysis Software", facultado pela referência Elsayed (1996). A evolução dos procedimentos de cálculo, documentada pelas respectivas telas, encontra-se nos Anexos XIV a XXIII. Os passos foram os seguintes:

- Carregamento dos dados;
- Indicação do modelo matemático;
- Escolha do intervalo de confiança.

Automaticamente obtêm-se:

- Testes de bondade do Qui-quadrado e Kolmogorov - Smirnov;
- Curvas $F(t)$, $R(t)$, $f(t)$ e $h(t)$;
- Tabelas de tempos característicos e de valores expectáveis.

Por serem ocorrências IID, no caso das avarias de rotina a fiabilidade foi calculada pela distribuição de Weibull com os respectivos parâmetros determinados pelo programa, (Anexos XIV a XVIII).

No caso dos recondicionamentos, taxa de avarias crescente, aconselhar-se-ia a distribuição de Rayleigh. A grande flexibilidade da distribuição de Weibull permite, Elsayed (1996), uma aproximação à distribuição de Rayleigh através da imposição do valor 2 ao parâmetro de forma β . Deste modo, o cálculo da fiabilidade dos recondicionamentos seguiu o mesmo processo utilizado nas avarias de rotina, como se documenta nos Anexos XIX a XXIII.

Para as duas situações, o cálculo foi desenvolvido em duas vertentes:

- Foram impostos alguns parâmetros ($\gamma = 0$ no caso das avarias de rotina e $\gamma = 0$ e $\beta = 2$ no caso dos recondicionamentos) para o cálculo;
- Os parâmetros foram calculados automaticamente;
- Por último foram verificadas e analisadas as diferenças e assumidos os valores mais favoráveis.

3.5 Determinação e caracterização do modo de falha crítico

Esta vertente do estudo foi muito dificultada pela falta de uniformização das designações, quer dos sintomas quer das causas das avarias, especialmente nas de rotina. Também se verificaram situações de falta de rigor nas designações atribuídas e causas pouco concretas. Dentro do que foi possível apurar, através de consultas à base de dados e aos registos em papel, ficou uma certeza; a necessidade de a curto prazo realizar um estudo que conduza à uniformização dos dados referentes aos sintomas e causas das avarias.

Dentro das pesquisas efectuadas aos recondicionamentos, identificaram-se as causas e os sintomas que se codificam, bem como os quantitativos:

Sintomas			
Código	Designação	Quantidade	Frequência
1101	Falta de compressão	163	49,24
1102	Pancada	52	15,71
1103	Gripagem	11	3,32
1104	Água no óleo	9	2,72
1105	Passagem de água pelas camisas	82	24,77
1106	Bloco partido	2	0,60
1107	Consumo excessivo de óleo	10	3,02
1198	Outras	1	0,31
1199	Avaria desconhecida	1	0,31
Totais		331	100,00

Tabela 3.2 – Recondicionamentos - Sintomas

Causas			
Código	Designação	Quantidade	Frequência
2101	Camisas, êmbolos e segmentos com desgaste	173	52,27
2102	Camisas, êmbolos e segmentos gripados	74	22,36
2103	Camisas, êmbolos e segmentos partidos	23	6,95
2104	Folgas nos moentes da cambota	14	4,23
2105	Cambota gripada ou partida	1	0,30
2106	Veio de excêntricos gripado ou partido	2	0,60
2107	Biela empenada ou partida	1	0,31
2108	Válvulas partidas	1	0,31
2199	Avaria desconhecida/não indicada	42	12,67
Totais		331	100,00

Tabela 3.3 – Recondicionamentos - Causas

Como referido anteriormente, a determinação das causas e sintomas das avarias de rotina revelou-se uma tarefa ingrata, comprometendo um dos objectivos parciais deste estudo. Dentro que foi possível apurar, identificam-se 407 ocorrências por aquecimento e 325 por fuga de água, cerca de 72% do total, cujas causas não se podem, em consciência, caracterizar.

Os critérios utilizados para determinação do modo de falha crítico seguem, em parte, o proposto por Ferreira, Silva e Resende (2002). Assim, são adoptados os critérios severidade do efeito, frequência de ocorrência e probabilidade de detecção cujas classificações e índices se indicam no Anexo XXIV.

$$\text{Índice de Severidade } (I_s) = \text{Severidade} \times \text{Detectabilidade} \times \text{Frequência} \quad (3.2)$$

De acordo com os mesmos autores, o Índice de Severidade é um precioso indicador do grau de criticidade de um dado modo de avaria. Determinado por 3.2 será tanto mais crítico quanto mais elevado for o seu valor.

Na tabela seguinte são apresentados os índices de cada critério por código de causa de avaria, definidos em função da realidade de C.C.F.L..

Por reflectir situações de imprecisão e, como tal, de difícil classificação, a causa 2199 não foi considerada para o cálculo do Índice de Severidade.

Causas	Índice atribuído a cada critério			Is
	Severidade	Detectabilidade	Frequência	
2101	3	2	10	60
2102	3	3	6	54
2103	4	3	4	48
2104	3	2	2	12
2105	4	3	1	12
2106	4	3	2	24
2107	4	3	1	12
2108	4	3	1	12

Tabela 3.4 – Cálculo do Índice de Severidade

A causa com o mais elevado Índice de Severidade, camisas, êmbolos e segmentos com desgaste, é entendida como o modo de falha crítico.

As consequências do desgaste naqueles componentes, especialmente no contacto segmentos/camisas, traduzem-se normalmente numa redução da pressão de compressão.

A pressão de compressão consiste no valor que a grandeza pressão atinge pelo efeito da expansão dos gases no interior da câmara de combustão quando o volume desta é mínimo. Se, por acção de vedações deficientes, o valor da pressão baixar a força transmitida à cambota também é reduzida, com a consequente perda de potência.

A redução da pressão de compressão não tem uma causa única. Assim:

- Se for verificada em todos os cilindros, a causa provém do desgaste do par segmentos/camisas;
- Se for verificada num cilindro isolado, então é mais provável que a causa se situe em deficiente vedação das válvulas, em segmentos partidos ou junta da cabeça danificada.

Um facto que nos parece significativo de realçar é a classificação do modo de falha crítico apurado, 60 pontos, e o valor máximo atribuível, 280 pontos, indiciando criticidade moderada dos efeitos que conduzem aos recondicionamentos.

No subcapítulo 4.3 retomaremos este assunto, nomeadamente a apresentação das técnicas de controlo da condição aplicáveis ao modo de falha crítico.

3.6 Resultados obtidos

De acordo com o referido no subcapítulo 3.4, indicam-se os resultados obtidos para as situações mais favoráveis. A variável métrica considerada é o número de dias entre avarias.

3.6.1 Avarias de rotina

Para um intervalo de confiança de 95%, no caso das avarias de rotina, foram apurados os resultados:

- Parâmetro de forma $\beta = 1,365$;
- Parâmetro de escala $\eta = 195,6$ dias;
- Parâmetro de posição $\gamma = 65,8$ dias;
- Tempo médio até à falha MTTF = 244,8 dias;
- Desvio padrão $\sigma = 132,7$ dias.

Nos Anexos XIV a XVIII apresentam-se algumas das telas disponibilizadas pelo “software” utilizado.

3.6.2 Recondicionamentos

Para um intervalo de confiança de 95%, no caso das avarias de rotina, foram apurados os resultados:

- Parâmetro de forma $\beta = 1,241$;
- Parâmetro de escala $\eta = 1841,4$ dias;
- Parâmetro de posição $\gamma = 0$ dias;
- Tempo médio até à falha MTTF = 1717,9 dias;
- Desvio padrão $\sigma = 1392,2$ dias.

Nos Anexos XIX a XXIII apresentam-se algumas das telas disponibilizadas pelo “software” utilizado.

3.7 Conclusões

Dadas as condições de circulação dos autocarros da C.C.F.L. e que as mesmas são particularmente incidentes sobre o motor, os resultados obtidos não são surpreendentes.

No caso dos recondicionamentos era expectável que o MTTF, ou MTBF para sermos mais precisos, fosse ligeiramente superior, 320 000 km em vez dos cerca de 280 000 apurados. Se atendermos ao sentido crescente da taxa de avarias, consubstanciado pelo valor de $\beta > 1$, o valor apurado aproximar-se-á mais à realidade.

O modo de falha crítico apurado é claramente resultante de um fenómeno de desgaste. De acordo com Ferreira (1998), o parâmetro de forma é associado ao desgaste quando $3 < \beta < 4$, bastante acima do parâmetro de forma calculado. A este facto atribuímos as simplificações introduzidas, ao considerar desprezáveis os tempos em espera e os tempos em recondicionamento.

Capítulo 4 – TÉCNICAS de MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONDICIONADA (MPC)

De acordo com o referido em 1.4.5.2, retomamos neste capítulo a Manutenção Preventiva Condicionada.

4.1 Técnicas mais frequentes de MPC

A MPC baseia-se na análise de um conjunto de parâmetros característicos do funcionamento de um determinado equipamento, recolhidos de uma forma sistemática ao longo da sua vida útil.

Os parâmetros seleccionados devem satisfazer a condição de que qualquer variação do seu valor corresponda a alterações funcionais do equipamento ou de outro modo, manifeste uma degradação determinada pelo valor do parâmetro, conducente a uma tendência para uma possível ocorrência de avaria.

As tecnologias actuais proporcionam uma significativa quantidade de técnicas que podem ser utilizadas no controlo de condição e de diagnóstico dos equipamentos. As técnicas mais utilizadas são:

- Nível global de vibrações;
- Controlo de impulsos de choque;
- Termometria;
- Controlo de variáveis de processo;
- Análise de óleos;
- Análise de parâmetros eléctricos;
- Análise espectral de frequências;
- Termografia;
- Ultrasons.

Como a maior parte dos equipamentos industriais são rotativos e existe uma relação causa efeito entre o nível das vibrações e as avarias nas máquinas rotativas, a medição de vibrações é normalmente uma técnica chave nos programas de manutenção condicionada. As causas das vibrações podem ter origem em:

- Desequilíbrio de partes rotativas;
- Desalinhamentos;
- Veios empenados;
- Engrenagens gastas, excêntricas ou danificadas;
- Correias ou correntes de transmissão em mau estado;
- Rolamentos defeituosos;

- Forças electromagnéticas, aerodinâmicas ou hidráulicas;
- Desapertos ou folgas;
- Contacto entre superfícies;
- Ressonância.

Roque (1999) define vibração como o movimento relativo de um ponto ou de um corpo em relação a uma posição de referência, normalmente a sua posição de repouso. Este movimento oscilatório pode ser periódico ou aleatório.

Quando um sistema entra em vibração, normalmente encontram-se presentes quatro forças que caracterizam o sinal vibratório. Uma força excitadora, as forças relacionadas com a massa, com o amortecimento e com a rigidez.

A amplitude de vibração caracteriza a severidade do fenómeno vibratório. Assim, na amplitude de vibração distinguem-se:

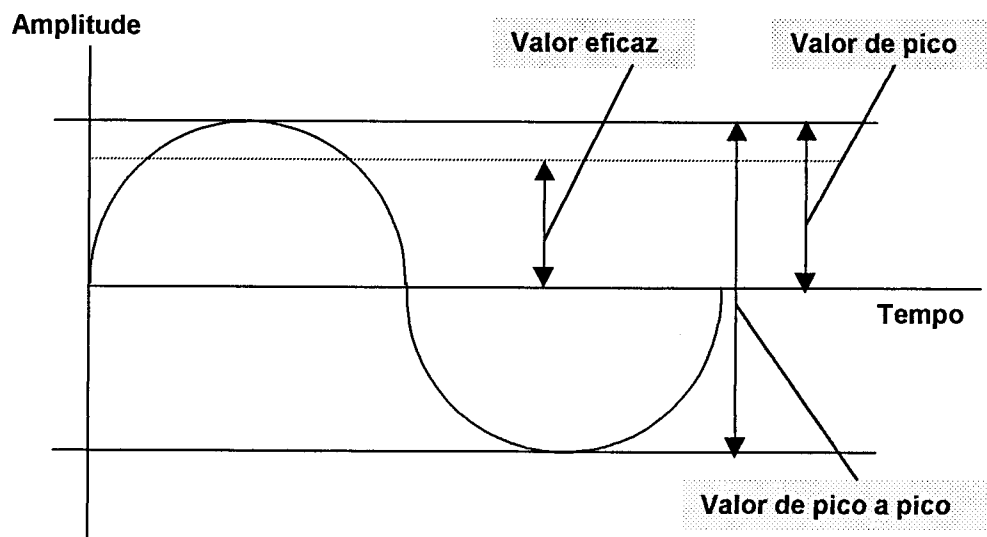


Figura 4.1 – Amplitude de vibração – Adaptado de Roque (1999)

O valor pico a pico encontra-se relacionado com as tensões dinâmicas ou folgas presentes e é particularmente importante para medir o movimento total ou deslocamento de uma máquina.

O valor de pico apenas indica qual foi o máximo valor da amplitude e não tem em conta a evolução do sinal no tempo. É particularmente importante em choques de curta duração.

O valor Root Mean Square (*RMS*) ou valor eficaz é o mais relevante para definir a amplitude de vibração uma vez que tem em conta a evolução do sinal no tempo e se encontra directamente relacionado com a energia contida na vibração. Expressa a capacidade destrutiva do sinal

vibratório. Considerando que o sinal vibratório é observado durante o tempo T , o seu valor RMS é dado por:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2(t) dt} \quad (4.1)$$

Os sinais vibratórios são caracterizados pela frequência, amplitude de vibração (em deslocamento, velocidade ou aceleração) e fase.

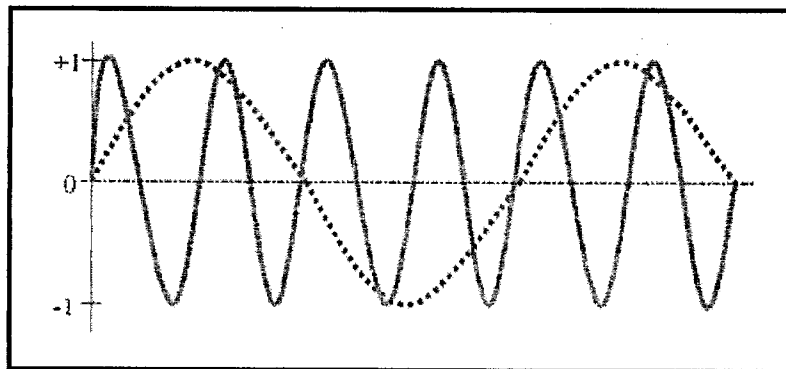


Figura 4.2 – Vibrações harmônicas com frequências diferentes

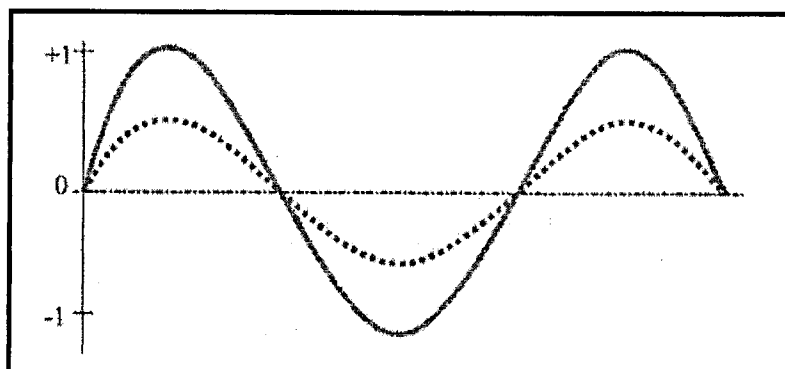


Figura 4.3 – Vibrações harmônicas com amplitudes diferentes

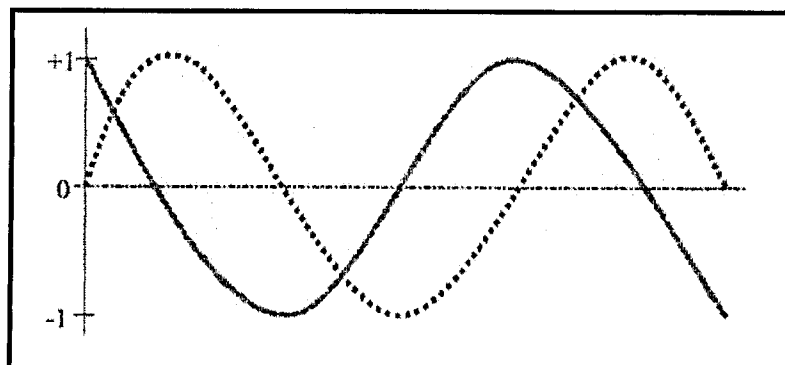


Figura 4.4 – Vibrações harmônicas com fases diferentes

É com base no parâmetro RMS que a Norma ISO 2372 estabelece as condições de funcionamento das máquinas rotativas, conforme se mostra na figura seguinte:

mm/s RMS	mm/s Pico	Até 15 Kw CLASSE I	De 15 a 75 kW CLASSE II	De 75 a 300 kW CLASSE III	Mais de 300 kW CLASSE IV
0,28	0,40	BOM	BOM	BOM	BOM
0,45	0,64				
0,71	1,00				
1,12	1,58	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL	ACEITÁVEL
1,80	2,54				
2,80	3,96	AINDA ACEITÁVEL	AINDA ACEITÁVEL	AINDA ACEITÁVEL	AINDA ACEITÁVEL
4,50	6,37				
7,10	10,00	NÃO ACEITÁVEL	NÃO ACEITÁVEL	NÃO ACEITÁVEL	NÃO ACEITÁVEL
11,20	15,80				
18,00	25,40				
28,00	39,60				
45,00	63,70				

Tabela 4.1 – Critérios de severidade segundo ISO 2372

A medição sistematizada do nível global de vibrações permite o estabelecer curvas de tendência, como se exemplifica na figura seguinte:

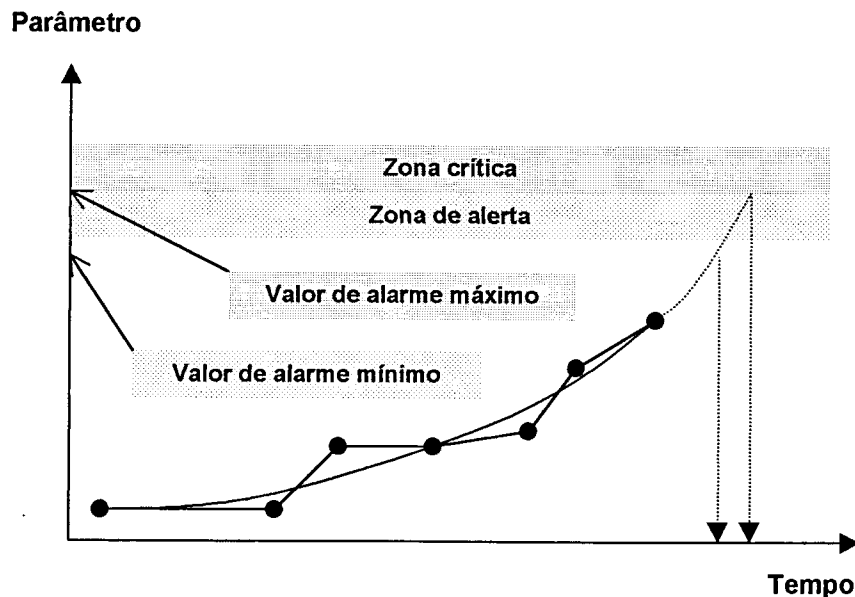


Figura 4.5 – Curva de tendência – Adaptado de Roque (1999)

Esta ferramenta, para a qual existem alguns suportes informáticos, é fundamental para o gestor da manutenção porque a extrapolação da degradação do parâmetro permite programar a acção de reparação da anomalia.

Na prática, o estabelecimento dos valores de alarme afigura-se um exercício difícil e de grande relatividade. Assim, aqueles valores devem ser definidos tendo em conta:

- Os indicados por Normas;
- Os preconizados pelos fabricantes;
- Importância do equipamento no contexto geral;
- Implicações com a segurança de pessoas e bens;
- Histórico do equipamento;
- Experiência em equipamentos idênticos.

Por nível global de vibrações é entendido o somatório das amplitudes dos vários picos do espectro de frequências. O nível global de vibrações não é revelador, por si só, do estado de condição do equipamento, antes consistindo no primeiro nível de apreciação. Para um diagnóstico da causa da avaria é necessário recorrer ao espectro de frequências, onde a análise recai sobre os picos de maior amplitude.

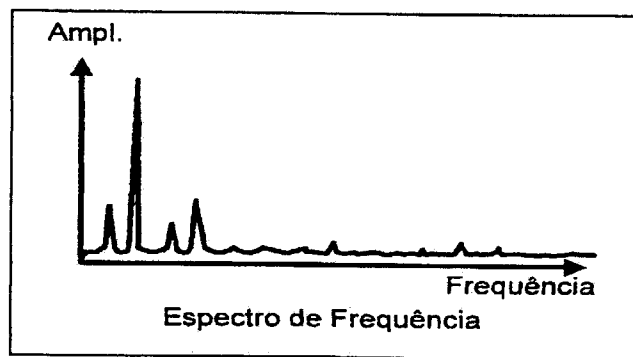


Figura 4.6 – Espectro de frequências – Roque (1999)

Assim e a título de exemplo, se a causa do sinal vibratório estiver num desequilíbrio, o fenómeno é repetido à velocidade de rotação mas, se for por desaperto a ocorrência é verificada duas vezes numa rotação.

Das técnicas de controlo da condição atrás enunciadas, a análise de óleos será, porventura, a mais importante técnica, das aplicáveis aos motores de combustão interna. As análises aos óleos permitem, para além da avaliação do estado de condição do lubrificante e da sua permanência ou não em serviço, obter o prognóstico de condição do equipamento do qual foi retirada a amostra.

A análise de um lubrificante inclui a determinação de vários parâmetros físico-químicos e uma avaliação dos metais de desgaste. No Anexo XXV apresenta-se um relatório referente à análise de uma amostra de óleo, colhida num dos motores Volvo THD 100DB.

As análises físico-químicas variam consoante o tipo e a aplicação do óleo. De seguida tabelam-se os vários testes a que os óleos são habitualmente submetidos em função da sua aplicação.

Teste/Tipo Lubrificante	Método	Motor	Turbina	Hidrául.	Transformador	Compressor	Transfer. Calor
Viscosidade a 40 °C	ASTM D-445		✓	✓		✓	✓
Viscosidade a 100 °C	ASTM D-445	✓					
Part. Insolúveis		✓	✓	✓		✓	✓
Teor de água	ASTM D-95	✓	✓	✓	✓	✓	
Índice de Acidez	ASTM D-974		✓	✓	✓		✓
Oxidação		✓	✓	✓		✓ ~	✓
Diluição por combustível		✓					
Presença anticongelante		✓					
Índice de alcalinidade	ASTM D-974	✓					
Demulsibilidade			✓	✓			
Tempo de libert. de ar			✓				
Espuma	ASTM D-892		✓				
Rigidez dieléctrica	ASTM D-877				✓		
Ponto de inflamação	ASTM D-92	✓					✓

Tabela 4.2 – Ensaios físico-químicos para óleos em aplicações variadas – Cabral (1998)

A viscosidade define-se como a resistência que um fluido oferece ao escorrimento a uma determinada temperatura. Embora sendo uma das principais características dos lubrificantes não tem nenhuma conotação qualitativa. Como a viscosidade varia com a temperatura, se esta aumenta aquela diminui, é usual medir e indicar a viscosidade a 40 °C e a 100 °C de acordo com as Normas Internacionais, SAE, ISO, etc., que classificam os vários graus de viscosidade. Existem dois tipos mensuráveis de viscosidade: a absoluta e a cinemática. Estas duas grandezas relacionam-se do seguinte modo:

$$V_C = \frac{V_A}{\rho} \quad (4.2)$$

Onde:

- V_C é a viscosidade cinemática em mm²/s;
- V_A é a viscosidade absoluta em mPa/s;
- ρ é o peso específico em g/cm³.

Para além da variação da temperatura, em serviço a viscosidade dos óleos altera-se por influência de algumas variáveis de natureza operacional. Assim e no caso dos motores de combustão interna, a diminuição da viscosidade pode estar relacionada com a diluição com combustível, com o atesto de um óleo de viscosidade inferior e ainda com o efeito do contacto em superfícies a elevada temperatura, o chamado "cracking" térmico.

O aumento da viscosidade dos óleos em serviço pode resultar de atestos com lubrificantes mais viscosos ou por oxidação como no caso das misturas pobres.

Por insolúveis são entendidas as partículas sólidas que permanecem neste estado depois de submetidas à acção de um solvente.

A escolha do solvente depende do objectivo que se pretende atingir: o pentano e o hexano servem para dissolver toda a matéria gorda e o tolueno para diluir o carbono sólido presente no lubrificante.

A identificação da presença de água num óleo lubrificante e a sua quantificação revestem-se de grande importância dado o estreito relacionamento entre aquele elemento e a corrosão.

O índice de acidez, normalmente abreviado pelas iniciais TAN – Total Acid Number – e SAN – Strong Acid Number – representa a concentração de compostos ácidos existentes no óleo e é determinado através da neutralização de uma base de hidróxido de potássio.

Alguns dos aditivos presentes no óleo enquanto novo conferem-lhe um certo índice de acidez. Numa primeira fase da utilização, por consumo dos aditivos, o índice de acidez tende a decrescer. Com o uso e devido ao processo de oxidação formam-se ácidos orgânicos que podem provocar um aumento brusco e acentuado do TAN e do SAN, indicando ataque químico do óleo por contaminação com uma substância externa à sua composição.

A oxidação dos óleos resulta do contacto dos mesmos com o oxigénio e das altas temperaturas. Laboratorialmente é medida por espectrofotometria de infravermelhos, onde as moléculas oxidadas apresentam uma banda perfeitamente identificável e razoavelmente quantificável. O escurecimento do fluido acompanhado de um cheiro característico, denuncia, de uma forma expedita, a oxidação do óleo.

O índice de alcalinidade ou TBN – Total Base Number – representa a quantidade de ácido necessário para neutralizar os constituintes alcalinos presentes no óleo.

Os produtos ácidos que se formam com a combustão provocam oxidação nos componentes do motor e contaminam o óleo e os aditivos alcalinos existentes nas formulações dos óleos tendem a anular aquele efeito. O TBN permite avaliar o grau de protecção ainda disponível do lubrificante.

A demulsibilidade representa a capacidade que o óleo tem em se separar da água. A degradação dos aditivos pode provocar alterações na demulsibilidade do óleo, incapacitando-o de se separar eficazmente da água.

A análise de metais de desgaste é uma técnica que combina a espectrometria e a ferrografia, permitindo caracterizar e quantificar as partículas metálicas existentes na massa de óleo.

A cada elemento químico corresponde uma emissão ou absorção de radiação com um determinado comprimento de onda, conforme se indica na tabela seguinte:

Elemento	Comprimento de Onda (Angstrom)
Zinco (Zn)	2138
Estanho (Sn)	2246
Níquel (Ni)	2320
Ferro (Fe)	2483
Silica (Si)	2516
Chumbo (Pb)	2833
Magnésio (Mg)	2852
Alumínio (Al)	3093
Cobre (Cu)	3247
Prata (Ag)	3281
Bário (Ba)	5536
Crômio (Cr)	3579
Sódio (Na)	5890
Potássio (K)	7665

Tabela 4.3 – Comprimento de onda associado a cada elemento – Cabral (1998)

Na análise de óleos, a espectrometria permite estabelecer e quantificar as concentrações dos diversos elementos presentes no lubrificante, quer sob a forma de aditivos, quer sob a forma de partículas de desgaste ou de contaminantes sólidos. Uma vez detectados os vários elementos, é possível determinar a sua origem como se exemplifica na tabela seguinte:

Elemento	Origem
Ferro	Desgaste de camisas, segmentos, engrenagens, veios de excêntricos
Crômio	Desgaste de segmentos superiores revestidos a Crômio
Alumínio	- Desgaste de êmbolos (<i>scuffing</i>, <i>scoring</i>) e/ou de chumaceiras - Poeiras
Cobre	- Chumaceiras (geralmente associados a um teor de Chumbo elevado) - Peças de desgaste em bronze - Radiadores de óleo
Chumbo	- Chumaceiras - Contaminação da amostra com gasolina - Contaminação com compostos de chumbo (aditivos, tintas)
Silício	- Ocasionalmente pode ter origem noutros componentes do motor - Poeiras
Sódio	- Resíduos de anticongelante - Resíduos de água salgada

Tabela 4.4 – Elementos detectados em óleos de motor e a sua origem mais frequente – Cabral (1998)

A espectrometria de emissão tem tendência a considerar apenas partículas de pequenas dimensões, normalmente até 10 μm , pelo que a interpretação dos resultados deve ser feita com grande prudência.

Tirando partido das propriedades ferromagnéticas de alguns dos metais de desgaste, a análise ferrográfica reveste-se de duas formas: a ferrografia de leitura directa e a ferrografia analítica.

Na ferrografia de leitura directa, as partículas existentes no seio do óleo são fixadas num tubo de vidro por acção de um campo magnético, posicionam-se em função das suas características magnéticas e dimensões. Por intermédio de um sistema óptico são determinadas as quantidades de partículas, em função da sua dimensão, na amostra de óleo. Com base nestes valores é possível definir vários parâmetros que monitorizam a severidade do desgaste, designadamente:

- Concentração de partículas de desgaste;
- Percentagem de grandes partículas;
- Quantidade específica de partículas de desgaste;
- Índice específico de severidade do desgaste.

Deste modo, a ferrografia de leitura directa é reveladora de uma tendência do desgaste.

A ferrografia analítica identifica os tipos das partículas de desgaste e associa-os a um modo específico de desgaste. A diferenciação das partículas é efectuada tendo em conta:

- Dimensões – pequena, grande, fina ou espessa;
- Forma – rectangular, redonda ou esférica;
- Tipo de bordos – direitos ou recortados;
- Tipo de superfície – lisa, ondulada ou fissurada;
- Cor;
- Estrutura – cristalina ou amorfa.

Uma análise ferrográfica carece de um ferrográfo para preparação do ferrograma e de um ferrosκόpio para medição e análise.

Depois de diluída, a amostra de óleo é colocada sobre um prato de vidro de declive controlado, sobre o qual flui. Submetida a um campo magnético, a amostra de óleo, tal como no tubo de vidro da ferrografia de leitura directa, vai deixando sucessivamente, desde a entrada do ferrograma até à saída do mesmo, as partículas ferrosas de maior dimensão. No final ficam depositadas as partículas não ferromagnéticas.

A identificação das partículas ferrosas em relação às demais é obtida através da verificação do seu alinhamento com as linhas de força do campo magnético.

A medição e análise é efectuada num microscópio bicromático dotado de câmaras fotográficas, o ferrosκόpio. Sob grandes ampliações é distinguido o tamanho, a composição, a forma e a

textura das partículas metálicas e não metálicas, conduzindo à sua classificação e identificação do tipo de desgaste.

A amostra de um óleo para análise deve ser representativa de todo o sistema de lubrificação da máquina. Assim, no processo de recolha da amostra e de acordo com Graça e Seabra (1996), deve ter-se em consideração:

- Recolher a amostra onde exista uma boa circulação do óleo, de preferência a montante do filtro;
- Recolher, se possível, a amostra com a máquina em funcionamento e sempre dentro das mesmas condições operacionais;
- Se a amostra não poder ser obtida com a máquina em funcionamento, a recolha deverá ser efectuada o mais rapidamente após a paragem e tendo sempre em consideração a tempo de sedimentação das partículas de desgaste;
- A amostra deverá ser retirada para um frasco de vidro transparente e incolor, perfeitamente limpo e com uma capacidade de, pelo menos, 1/3 maior que o volume da amostra;
- A amostra deverá ser sempre acompanhada de informações referentes ao lubrificante e à máquina bem como da data e ponto de recolha e tempo de serviço.

4.2 Técnicas MPC – resultados de uma experiência

No subcapítulo 1.2 foram enunciados os objectivos deste trabalho. A proposta de medidas de carácter preventivo condicionado para o modo de falha crítico foi constituída como um daqueles objectivos.

Ao tomarmos conhecimento que os Serviços de Manutenção da Câmara Municipal de Lisboa efectuavam, em colaboração com uma petrolífera, testes de diagnóstico em motores das viaturas pesadas, solicitámos a colaboração daquela instituição.

A unidade de testes utilizada, AVL DiSystem 845, é apresentada no Anexo XXVI.

Objectivando uma técnica a aplicar ao modo de falha crítico, de entre a gama de ensaios disponibilizados pelo equipamento apenas se revelariam interessantes o teste de compressão relativa e o estabelecimento da curva de potência.

Numa análise mais cuidada, concluímos que o teste de compressão apresentado no subcapítulo seguinte, não obstante a necessária remoção dos injectores, é mais interessante pelos resultados que proporciona.

A análise comparada da compressão relativa com a curva de potência pode fornecer dados sobre a eficácia de vedação dos segmentos dado que a redução daquela eficácia tem reflexos na potência do motor. Não sendo causa única para redução da potência, normalmente este facto está mais associado a problemas com o sistema de alimentação de combustível, a interpretação do parâmetro a controlar deixaria de ser objectiva. Em nosso entender, este facto é incomportável com a tomada de decisões baseada em diagnósticos.

Contudo, não podemos deixar de registar que este equipamento é uma ferramenta de inegável valor para diagnóstico de avarias em bombas injectoras e injectores.

4.3 Técnicas MPC a aplicar ao caso em estudo

No caso em estudo foi apurada a falta de compressão como a falha crítica. Para aplicação das técnicas MPC vamos supor que esta apenas tem lugar nas unidades cilíndricas e é decorrente do desgaste proveniente do contacto entre os segmentos e as camisas de cilindro.

Além das deformações de ordem mecânica e térmica, pelo efeito das elevadas pressões e temperaturas, aqueles elementos do motor Diesel estão sujeitos a desgaste que são atribuíveis a três causas principais: o atrito, a abrasão e a corrosão.

O atrito é uma consequência dos contacto entre os corpos e pode ser reduzido pela interposição de uma película lubrificante. Na zona de desgaste em apreço, dada a proximidade de uma elevada fonte de calor, a lubrificação não vai além de uma camada limite. Por outro lado, a necessidade de se obter uma vedação tão eficiente quanto possível também é redutora da capacidade daquela película lubrificante.

A colmatação ou a inadequação dos filtros de ar do sistema de admissão ou ainda a falta de cuidados aquando das mudanças de óleo, podem promover a infiltração de partículas, respectivamente, nas câmaras de combustão ou no circuito de lubrificação. Em qualquer das situações, o desgaste será consideravelmente aumentado pelo efeito de abrasão.

Se ocorrer a formação de produtos ácidos na massa de óleo, normalmente verificada pela reacção entre o enxofre contido no combustível e alguma humidade presente, a corrosão resultante acelera ainda mais o desgaste, visto que as películas corrosivas são mais facilmente desalojadas do que as partículas do contacto, permitindo constantemente que nova superfície metálica fique exposta ao ataque.

Resultantes da combustão imperfeita, a formação de partículas de fuligem e de outros produtos parcialmente oxidados potencia, entre outros, os efeitos do desgaste.

Dadas as ilações que se podem retirar das análises do óleo de lubrificação do motor, esta técnica de controlo da condição parece-nos muito adequada para integrar o programa de MPC, dada a falha crítica determinada. No objecto em estudo, esta técnica já é utilizada desde há muito.

Se se pensar que existe um lapso de tempo entre o início do processo, recolha da amostra de óleo, e o momento da tomada de posição em face da interpretação dos resultados da análise, que aquele lapso de tempo pode ser bastante para levar a um acondicionamento inesperado e ainda que a diminuição da periodicidade da análise do óleo pode ser anti-económica, então poderemos introduzir no programa de MPC outra técnica que a complemente.

Eram grandes as expectativas quando iniciámos a observação da técnica descrita em 4.2. O decurso da experiência veio demonstrar que a utilização do AVL DiSystem 845 é mais adequado para o diagnóstico de avarias no sistema de alimentação do motor, particularmente da injeção de combustível, portanto fora do âmbito das implicações do modo de falha crítico.

Assim, para complementar a análise do óleo lubrificante propõe-se que, imediatamente antes da recolha da amostra de óleo, seja efectuada a medição da pressão de compressão.

A pressão de compressão é uma medida da quantidade de ar admitida no cilindro e da eficiência dos componentes, válvulas e segmentos, que garantem a vedação.

A uniformidade da pressão de compressão nos vários cilindros é fundamental para o funcionamento “redondo” do motor ou seja, o impulso decorrente da expansão deve ser igual em cada unidade cilíndrica.

Se a pressão de compressão for insuficiente num cilindro ou notoriamente desigual entre as várias unidades cilíndricas, tem como reflexo a combustão incompleta.

A pressão de compressão depende da pressão de admissão de ar, da temperatura final e da relação de compressão ε .

$$\varepsilon = \frac{V + V_0}{V_0} \quad (4.1)$$

Onde V é o volume varrido (produto da secção da camisa com o curso) e V_0 o volume da câmara de compressão.

Uma vez que a pressão de compressão também depende da temperatura de trabalho, para medição do valor da pressão de compressão dever-se-á rodar o motor até à temperatura de trabalho.

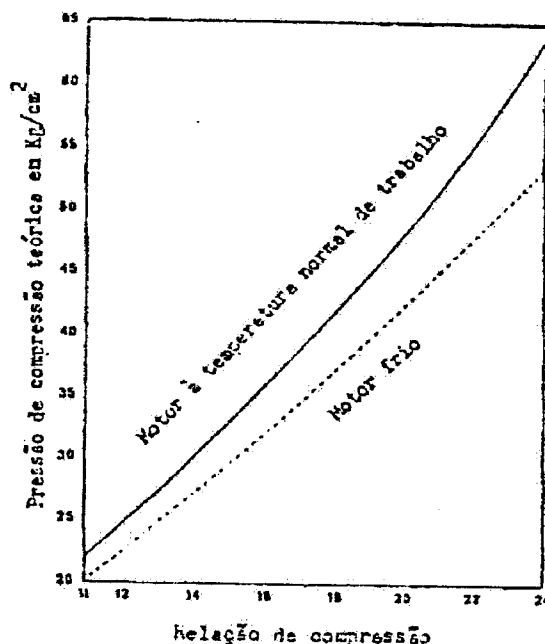


Figura 4.7– Pressão e relação de compressão – Manual de reparação Volvo

A prova de compressão que propomos é um método simples e seguro para avaliar o estado de condição do motor, nomeadamente a eficácia de vedação dos segmentos, que será tanto menor quanto maior for o desgaste, e o estado das válvulas.

O princípio de funcionamento e as instruções de utilização do equipamento serão apresentadas no Anexo XXVII.

De acordo com o Manual de Serviço da Volvo, o valor da pressão de compressão deve situar-se entre os 260 e os 235 kPa. Abaixo deste valor é entendida uma vedação ineficiente.

Para o modo de falha crítico determinado e no âmbito das técnicas de MPC, propomos a combinação das duas técnicas seguintes:

- Análise de óleos;
- Medição da pressão de compressão.

Capítulo 5 – CONCLUSÕES GERAIS

5.1 Breve resumo do trabalho realizado

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos; no primeiro capítulo, para além da apresentação dos objectivos e definição dos conceitos gerais e particulares, foi apresentada uma revisão bibliográfica sobre a Manutenção em geral; no segundo capítulo foram abordados mais pormenorizadamente alguns aspectos relacionados especificamente com a Fiabilidade; os terceiro e quarto capítulos reportam ao caso estudado. Este quinto capítulo apresenta um modelo decisional substituição/recondicionamento, as conclusões gerais e sugestões para trabalhos futuros.

Garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos é um objectivo elementar de qualquer serviço de Manutenção e este facto é, entre outros, fundamental para que as empresas consigam responder à concorrência. Os factores que afectam a disponibilidade de um bem reparável são, enquanto características de origem, a fiabilidade e a manutibilidade,. Já no que se refere à disponibilidade para a produção é de inegável importância o modo de organização da Manutenção. Em Manutenção não existem modelos puros, as diversas formas de intervenção complementam-se entre si para que se atinjam os objectivos traçados. No contexto actual, onde minimizar as despesas e aumentar a qualidade é uma imposição quase diária, surgem novas abordagens como o RCM e o TPM para responder aos desafios. Uma das respostas típicas das empresas em face aos desafios é a concentração dos recursos, humanos, materiais e financeiros, nos seus produtos ou serviços mais rentáveis. Consequentemente surgem novos nichos de negócio como a prestação de serviços de manutenção total ou parcial.

A fiabilidade, enquanto indicador de previsão da ocorrência de avarias, é uma excelente ferramenta que os gestores da Manutenção não podem descurar. Como conceito probabilístico que é, socorre-se da matemática estatística para ajustamento às mais variadas situações em componentes ou sistemas. O conjunto das premissas sobre as avarias ocorridas num determinado componente de um sistema podem determinar um modelo de fiabilidade. Estes podem classificar-se em determinísticos, estatísticos e funcionais. As exigências sobre os níveis de desempenho a que os equipamentos vêm sendo submetidos podem ter reflexos sobre a fiabilidade, inerente ou intrínseca se característica da concepção e extrínseca se por acções de natureza operacional. Deste modo, a fiabilidade deve ser medida através de ensaios que permitam garantir o funcionamento dos equipamentos com a melhor eficácia, segurança e economia.

Para que a gestão da Manutenção possa ser eficiente, dado o volume de informação normalmente produzida e necessária, recorre-se cada vez mais a bases de dados mais potentes. As aplicações de “software” integrado, ao colocarem a Manutenção na gestão global das empresas, têm contribuído para o papel mais científico daquela actividade, afastando a ideia de que o melhor técnico de Manutenção é o mais “desenrascado”. Só assim, de resto, é possível actuar sobre sistemas cada vez mais complexos. Normalmente, estes sistemas já são dotados de dispositivos de controlo de alguns parâmetros de funcionamento.

No caso de equipamentos menos evoluídos como o objecto técnico em causa é necessário verificar o seu estado de condição para o desempenho esperado. De entre as técnicas de controlo da condição e diagnóstico, por entendermos mais adequadas ao modo de falha crítico detectado, propomos a análise de óleos lubrificantes e medição da pressão de compressão.

Um problema que é colocado frequentemente aos técnicos de Manutenção consiste na verificação da viabilidade económica de reparação de uma determinada avaria num equipamento. Para além dos factores de ordem estratégica e/ou comercial que não são exclusivos da função Manutenção, a decisão de substituição ou não do equipamento deve obedecer a critérios técnicos e económicos como se representa no subcapítulo 5.2.

5.2 Aplicação de um modelo de decisão substituição/recondicionamento

Para que a utilização de um dado órgão seja regular, Simões (1996) refere que a existência de órgãos rotáveis apenas se justifica se houver famílias com alguma expressão numérica. Dado o enquadramento dos motores Volvo THD 100DB naquela filosofia, a aplicação de um modelo de decisão substituição versus recondicionamento apenas pode ser tomada individualmente e a partir do momento em que dispomos da estimativa dos custos do recondicionamento. Com uma razoável precisão, este valor apenas pode ser obtido após a desmontagem e apreciação dos componentes.

Para evitar a despesa introduzida pela desmontagem, foi idealizado que o modelo de decisão poderia ser baseado no modo de falha. A comparação dos custos por modo de falha não nos permitiu estabelecer uma relação entre a ocorrência e o respectivo custo, dada a grande dispersão dos valores do custo, encontrada em cada modo de falha. A leitura cruzada com informações provenientes de outras famílias de motores permitiu concluir que, nem sempre para o mesmo modo de falha o recondicionamento incorpora o mesmo material e este absorve parte substancial, cerca de 65%, do custo total. Indo mais ao pormenor, verificou-se que a inclusão do veio de manivelas apenas teve lugar em cerca de metade dos recondicionamentos,

levados a cabo por gripagem. Pelo seu elevado preço, a inclusão daquele componente quase duplica o valor em custo do material.

Dado que o modo de falha dominante nos motores Volvo THD 100DB é por desgaste das unidades cilíndricas e que a tendência da taxa de avarias é crescente, entendemos que o modelo de decisão apresentado reflectisse aquela evolução. Tomando como válido o princípio de que a situação mais favorável é a que gera menos despesa, foi estabelecida uma relação entre o custo da acção, aquisição de um motor novo ou recondicionamento, e a utilização expectável em qualquer dos casos. No caso de aquisição de um motor novo, o valor residual do motor a substituir foi considerado irrelevante. Os custos de manutenção preventiva não foram considerados no modelo por serem entendidos iguais em cada uma das opções.

$$C_R \leq \frac{C_N}{(MTTF)_N} (MTBF)_R \quad (5.1)$$

Onde:

- C_R é o custo de recondicionamento;
- C_N é o custo de aquisição de um motor novo;
- $(MTTF)_N$ é o valor esperado de utilização de um motor novo;
- $(MTBF)_R$ é o valor esperado de utilização de um motor recondicionado.

5.3 Conclusões

Não obstante a não determinação do modo de falha crítico nas avarias de rotina, pensamos que os objectivos enunciados foram claramente atingidos. Assim:

- Foram estabelecidos os modelos matemáticos para quantificação da fiabilidade;
- Foi estabelecida a curva da fiabilidade em função do tempo;
- Foi determinado o modo de falha crítico que conduz aos recondicionamentos;
- Foram propostas técnicas de MPC para o modo de falha crítico;
- Foi apresentada uma rotina de cálculo de apoio à decisão reparar/adquirir.

Admitindo que os motores agora estudados já têm cerca de vinte anos de serviço em condições operacionais bastante gravosas e que a expectativa para motores novos, a funcionar nas mesmas condições, é de 500 000 km, pensamos que os resultados obtidos são interessantes, quer do ponto de vista económico, o custo de um recondicionamento é cerca de 25% do custo de um motor novo, quer no que se refere à qualidade das reparações.

Ao fazer incidir a medição da pressão de compressão com a recolha do óleo para análise, esperamos uma melhoria da detectabilidade do modo de falha crítico e, desta forma, reduzir a criticidade do efeito, conferindo maior previsibilidade aos recondiçionamentos com os consequentes ganhos pelo planeamento do trabalho.

Explorando o facto de não termos sido tão bem sucedidos nas avarias de rotina, especialmente por não ser possível estabelecer uma relação entre os sintomas e as causas, pensamos que fica em aberto uma perspectiva de melhoria na organização da Manutenção das Estações de Serviço.

Finalizando, pensamos que a generalização da aplicação do modelo a outras famílias de motores e a outros órgãos de custos de reparação significativos como as caixas de velocidades, irá ter reflexos no planeamento da carga de trabalho das Oficinas Gerais.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

A realização deste trabalho deixa abertas novas perspectivas de desenvolvimento.

Por um lado e desde já a realização de alguns acertos em sede do SAP R3, nomeadamente:

- Uniformização do texto descritivo da avaria ou, preferencialmente, através de caixas de validação de texto predefinido;
- Aprofundamento do estudo das tabelas dinâmicas, ferramenta disponibilizada pelo SAP R3, para implementação de rotinas que conduzam directamente a uma folha de cálculo como se exemplifica nos Anexos 7 e 8;
- Avaliação das potencialidades da base de dados no que se refere ao cálculo mais rigoroso dos indicadores de fiabilidade;
- Estabelecimento de listas de notas, como a exemplificada na figura 3.2, para as avarias de rotina.

Por outro lado e dentro das técnicas da Manutenção, pensamos que as perspectivas de desenvolvimento passam por:

- Introdução de critérios para determinação dos índices de severidade noutros órgãos;
- Avaliação/validação do conjunto das técnicas de MPC propostas;
- Implementação do cálculo da fiabilidade a outras famílias de órgãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, M. J. L. e Magalhães, P. C.

Inquérito sobre transportes públicos

Relatório preliminar: elementos para a construção do índice de satisfação de utentes

Projecto Q – Consultores/CESOP, Abril 2001

Assis, Rui

Manutenção Centrada na Fiabilidade

LIDEL – Edições Técnicas Lda, Outubro 1997, ISBN 972-757-037-2

Cabral, José Saraiva

Organização e Gestão da Manutenção

LIDEL – Edições Técnicas Lda, Março 1998, ISBN 972-757-052-6

Cunha, H.E.

O verdadeiro papel da manutenção na gestão empresarial

in Revista Ingenium, 2ª série, Nº 63, Novembro 2001, págs. 78 a 80

Dhillon, B.S.

Mechanical Reliability: Theory, Models and Applications

AIAA – Education Series, Washington DC, 1988, ISBN 0-930403-38-X

Elsayed, Elsayed A.

Reliability Engineering

Addison Wesley Longman, Inc., 1996, ISBN 0-201-63481-3

Farinha, J. M. Torres

Manutenção das Instalações e Equipamentos Hospitalares

Livraria Minerva Editora, Coimbra, 1997, ISBN 972-8318-16-2

Ferreira, Luis Andrade

Uma Introdução à Manutenção

Publindústria, Edições Técnicas, Porto, 1ª edição, Março 1998, ISBN 972-95794-4-X

Ferreira, Luís Andrade

A importância de atingir níveis elevados de Disponibilidade e Segurança em Sistemas Complexos

in 7º Congresso Nacional de Manutenção – Viseu, Abril 2002

Fey, Robert e Gogue, Jean-Marie

La Maîtrise de la Qualité Industrielle/Princípios da Gestão da Qualidade

Original: Les éditions d'organisation, Paris 1983

Tradução :Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Novembro 1989, ISBN 972-31-0497-0

Graça, B. e Seabra, J.

O Lubrificante e a Manutenção Condicionada

in Revista Manutenção Nº 50/51, Julho - Outubro de 1996, págs. 13 a 16

Guimarães, Rui Campos e Cabral, José A. Sarsfield

Estatística

McGraw Hill D Portugal, 1977, ISBN 972-8298-45-5

Klaassen, Klaas B.

System Reliability: Concepts and Applications

Hodder and Stoughton, London, 1989, ISBN 0-340-50142-1

Lourenço, Nelson

A prestação de serviços na área da Manutenção em abordagem de serviço integrado e responsabilização de resultados

in 7º Congresso Nacional de Manutenção – Viseu, Abril 2002

Mendonça, Helder

“Outsourcing” da Manutenção – da Subcontratação à Parceria

in 7º Congresso Nacional de Manutenção – Viseu, Abril 2002

MIIT – Manutenção Industrial Informatizada e Tecnologia, Lda

Organização da Manutenção

DOC:FOR Refª 01 de 15 – 01 – 1993

Modarres, Mohammad

Reliability and Risk Analysis

Marcel Dekker, Inc., New York, 1993, ISBN 0-8247-8958-X

Monchy, François

La fonction maintenance

Masson, Paris, 1996, ISBN 2-225-85518-8

O'Connor, Patrick D. T.

Practical Reliability Engineering – 3rd ed.

John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 1991, ISBN 0-471-92696-5

Pereira, Filipe José Didelet

Modelos de Fiabilidade em Equipamentos Mecânicos

Tese de Doutoramento submetida à FEUP, Porto, 1996

Pinto, Victor M.

Gestão da Manutenção

Edição IAPMEI, Lisboa, Julho 1994, ISBN 972-9205-57-4

Quintas, A . Costa

Definição de uma estratégia de Manutenção com vista à melhoria de rendimento global da Empresa

in 10º Congresso Ibero-Americano de Manutenção – Lisboa, Setembro 1998

Roque, António Afonso

Curso de Mestrado em Manutenção Industrial

Folhas da cadeira de Vibrações e Tribologia

FEUP/ISEL, Lisboa, 1999

Silva, Nuno Oliveira, Resende, Paulo e Ferreira, Luís Andrade

Aplicação Industrial do RCM: Metodologia e Análise Crítica

in Revista Manutenção Nº 72, 1º Trimestre de 2002, págs. 10 a 14

Simões, João F. Reis

A manutenção na actividade transportadora

in Revista Manutenção Nº 50/51, Julho - Outubro de 1996, págs. 32 a 41

Sena, Francisco M. Vicente e Pereira, Filipe J. Didelet

Alguns Factores Determinantes na Actual Gestão da Manutenção

in Revista Manutenção Nº 72, 1º Trimestre de 2002, págs. 4 a 8

Souris, Jean-Paul

La Maintenance, Source de Profits / Manutenção Industrial, Custo ou Benefício ?

Original: : Les editions d'organisation, 1990

LIDEL – Edições Técnicas Lda, 1992, ISBN 972-9018-25-1

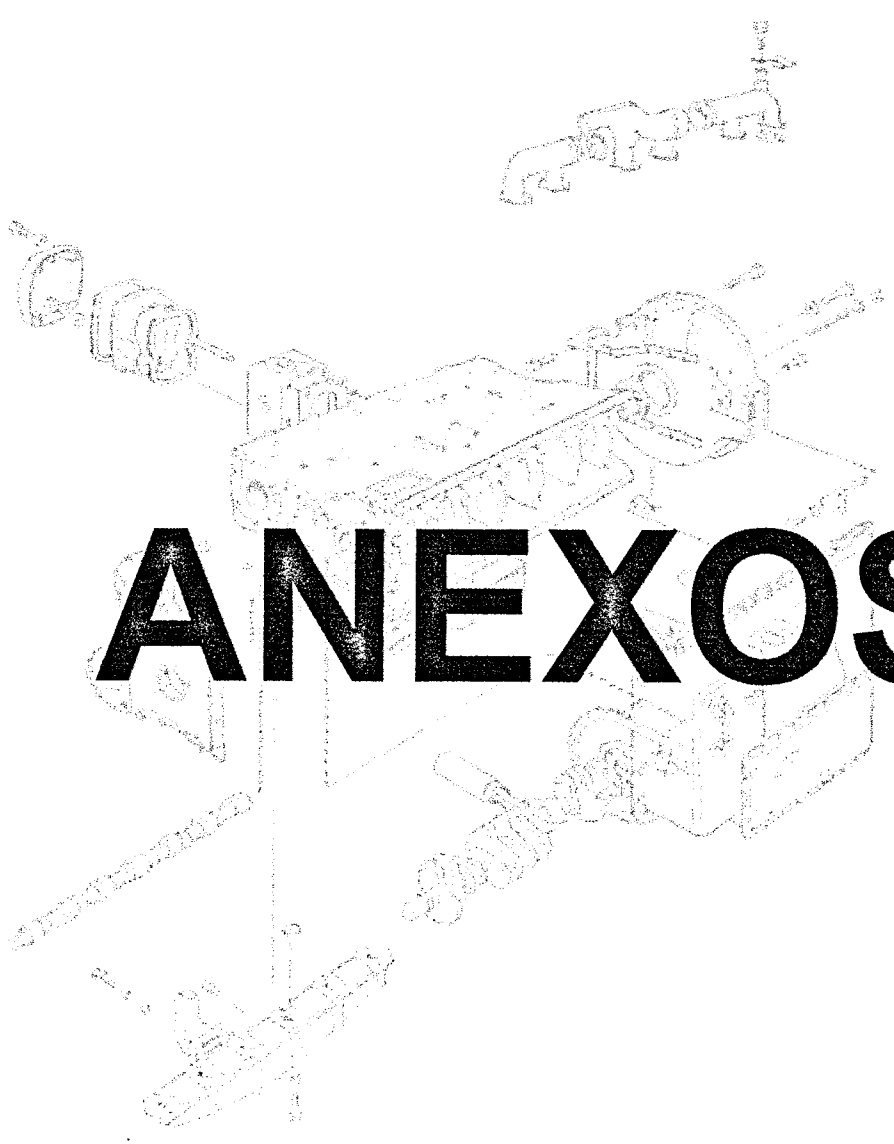
Villar, Pablo Gálvez

Downsizing y tercerización en el mantenimiento

in 10º Congresso Ibero-Americano de Manutenção – Lisboa, Setembro 1998

UNIVERSIDADE do PORTO

Faculdade de Engenharia



ANEXOS



Universidade do Porto

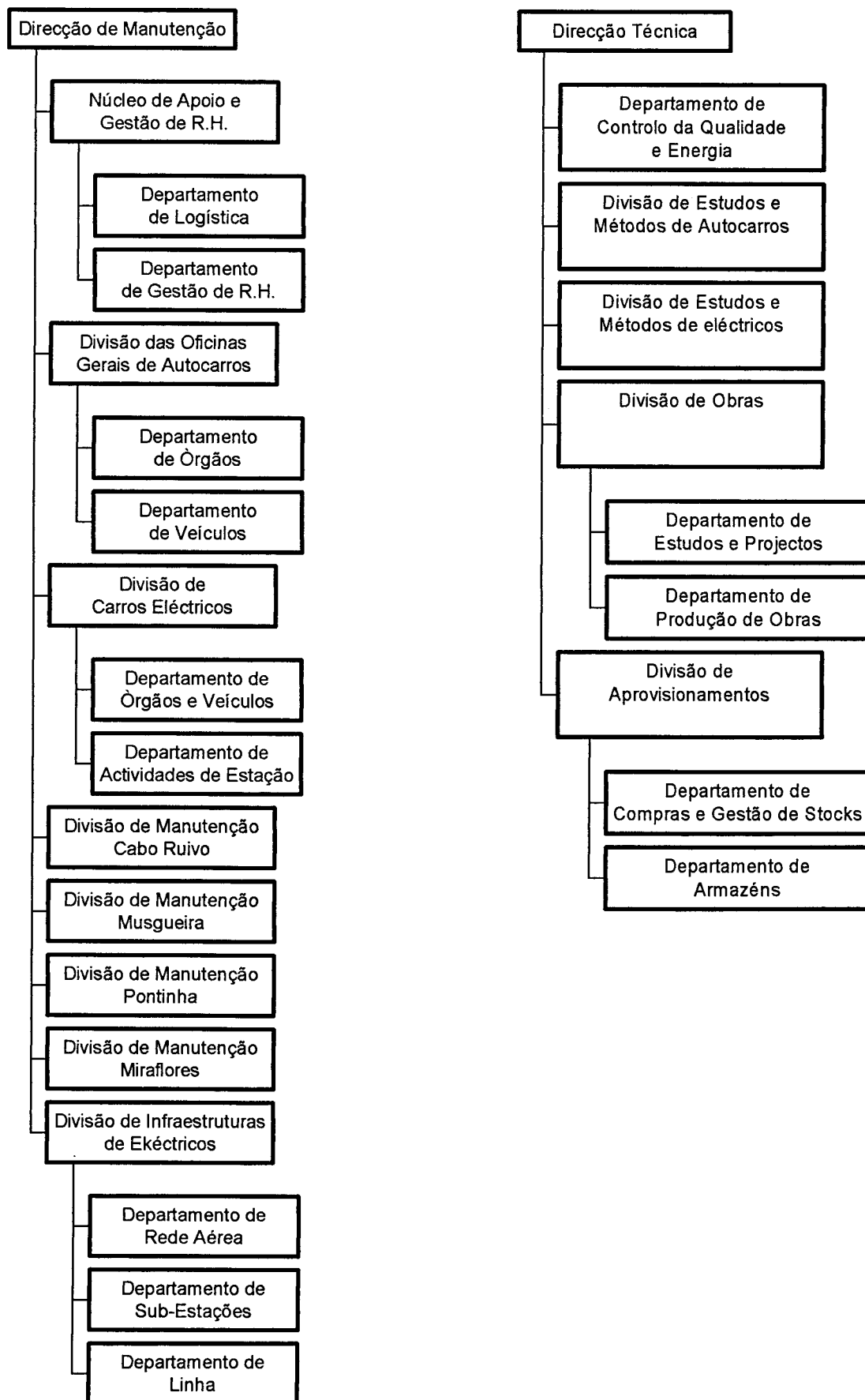
FEUP

Faculdade de
Engenharia

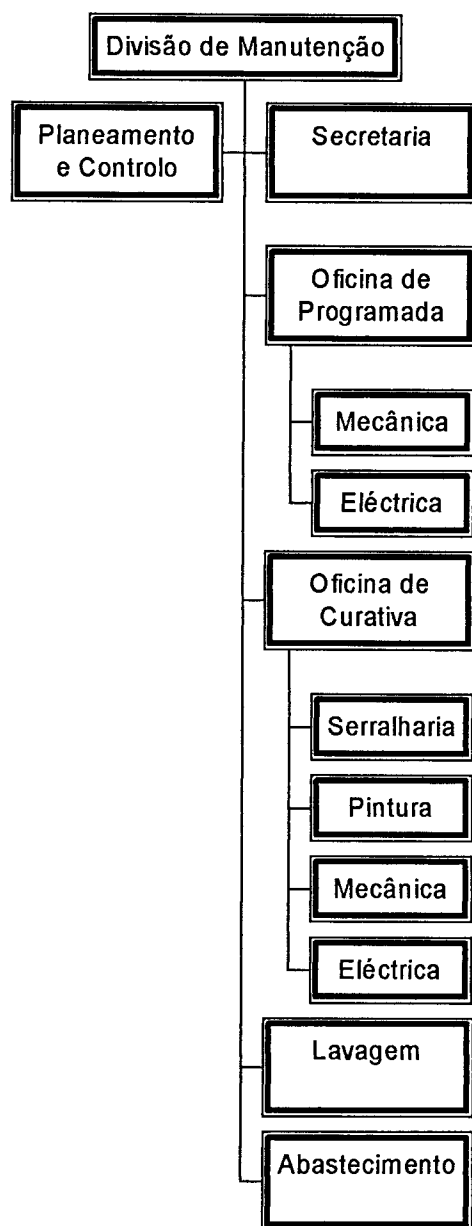


ISEL

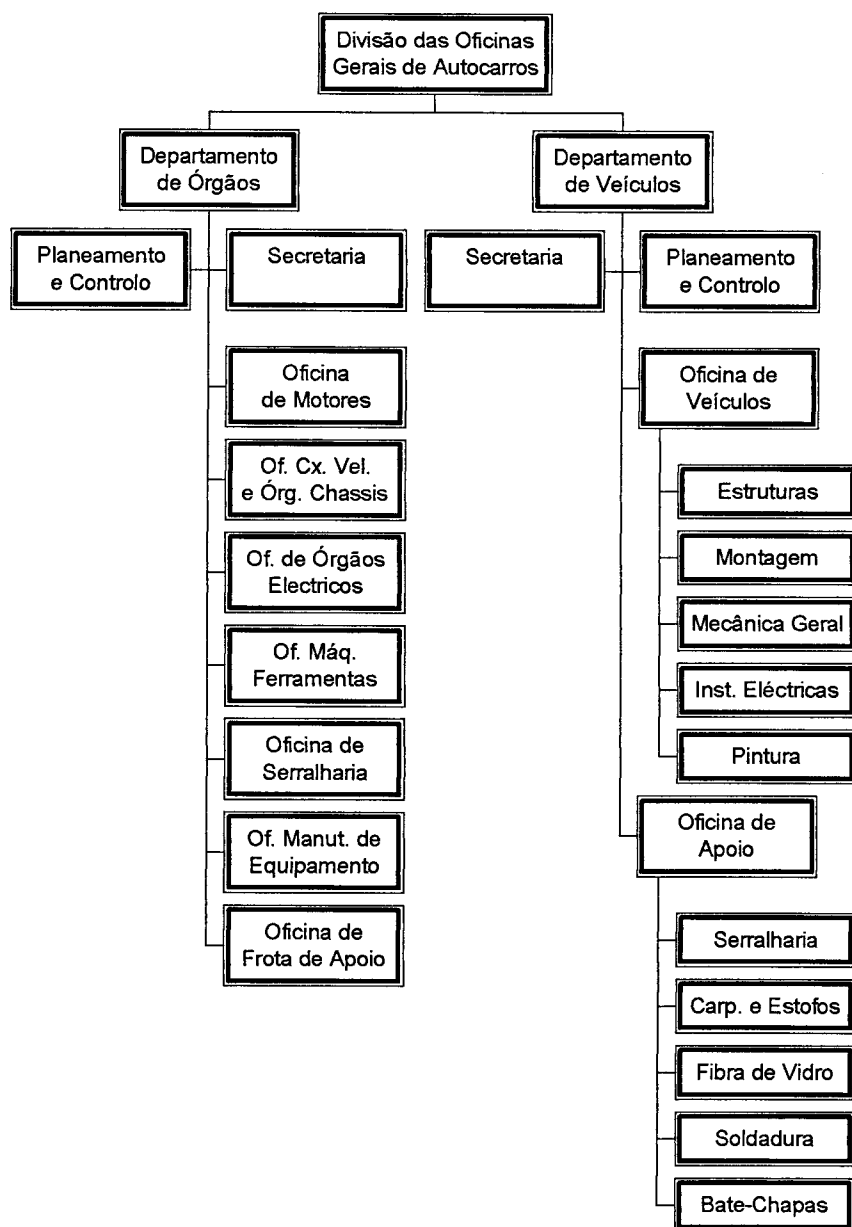
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA



Organogramas das Direcções de Manutenção e Técnica



Organograma da cada uma das Divisões de Manutenção



Organograma da Divisão das Oficinas Gerais de Autocarros

Seleção de pacote mantida			Seleção de pacote X		
Pac	Tx. pacote				Hi
☐	R1	Inspecção dos 2 500			01
☐	R2	Inspecção dos 5 000			01
☐	C6	Complem. Inspec. (3 x15.000) H3			01
☐	C6	Complem. Inspec. (3 x15.000) H4			01
☐	C6	Complem. Inspec. (3 x15.000) H5			01
☐	C6	Complem. Inspec. (3 x15.000) H2			01
☐	R3	Inspecção dos 15 000			01
☐	C1	Complem. Inspec. (16x 5.000) H2			01

☒ Copiar
 ☐
☐
☐
☐
☐

Seleção de pacote manutenção opção: 0000 X

Pac	Tx. pacote	Hi
☐ R4	Inspeção dos 30.000	01
☐ C7	Complem. Inspec. (3 x 30.000) H4	01
☐ C7	Complem. Inspec. (3 x 30.000) H5	01
☐ R5	Inspeção dos 60.000	01
☐ C2	Complem. Inspec. (2 x 60.000) H5	01
☐ C3	Complem. Inspec. (3 x 60.000) H5	01
☐ C4	Complem. Inspec. (10 x 60.000) H5	01
☐ C5	Complem. Inspec. (16 x 5.000) H5	01

☒ Copiar
 ☐
☐
☐
☐
☐

Fiabilidade e modo de falha crítico em motores Volvo THD 100DB – Um caso prático

Fiabilidade e modo de falha crítico em motores Volvo THD 100DB – Um caso prático

Modif list tarefas geral síntese de operações

Instruções Processar Salvar Operação Suplementos Ambiente Sistema Ajuda

Interno Externo

Grp.rot. 609 Insp.MF/VOLVO (RS-VOL2/1301A) NumGrpRo1

Atribuições por operação: Pacotes manut. Componente RD MAP

Síntese geral de operações

Oper	SubO	Centrab	Ctrl	Descrição da operação	TD	Trab.
☐ 0030	0320	MF-PREV	AM04	T.P.-Veio Trans.-Cardans/Lubrif.RZQ.3.01	☐	
☐ 0030	0330	MF-PREV	AM04	T.P.-VeioT.-Ter.Estriado/Lubrif.RZQ.3.02	☐	
☐ 0030	0340	MF-PREV	AM04	T.P.-V. T.-Flanges-Aperto/Verif.RZQ.3.05	☐	
☐ 0030	0350	MF-PREV	AM04	T.P.-Diferênc.-Óleo-Nível/Verif.RVQ.4.01	☐	
☐ 0030	0360	MF-PREV	AM04	T.P.-Dif.-Vál. Respiro/Limpeza RZQ.4.01	☐	
☐ 0030	0370	MF-PREV	AM04	MOTOR-Sist.Lubrif.-Óleo/Mudança RY0.2.02	☐	
☐ 0030	0380	MF-PREV	AM04	M-S.Lubrif.-Filtros Óleo/Subst. RY0.2.03	☐	
☐ 0030	0390	MF-PREV	AM04	MOT.-S.Arref.-Bomba Água/Lubrif.RY0.3.04	☐	
☐ 0030	0400	MF-PREV	AM04	M.-S.arr.-Radiador/Lavagem Ext. RZ0.3.03	☐	

Entrada 97 / 247

PRD (1) (990) sapprod OVR 04:28PM

Tela SAP –Manutenção Programada, algumas operações do pacote R4

Modificação geral / Início de operação									
Instruções	Processar	Saltar	Operação	Suplementos	Ambiente	Sistema	Ajuda		
☒									
☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
Grp.rot. 609 Insp.MF/VOLVO (RS-VOL2/1301A) NumGrpRot									
Atribuições por operação: ☒ Pacotes manut. ☒ Componente ☒ RD ☒ MAF									
Síntese geral de operações									
Oper	SubO	CenTrab	Ctrl	Descrição da operação	TD	Trab.			
☒	0060	0380	NF-PREU	AM04	MOTOR-Sist.Lubrif.-Óleo/Mudança RY0.2.02	☒			
☒	0060	0390	NF-PREU	AM04	M-S.Lubrif.-Filtros Óleo/Subst. RY0.2.03	☒			
☒	0060	0400	NF-PREU	AM04	MOT.-S.Arref.-Bomba Água/Lubrif.RY0.3.04	☒			
☒	0060	0410	NF-PREU	AM04	M.-S.Arr.-Radiador/Lavagem Ext. RZ0.3.03	☒			
☒	0060	0420	NF-PREU	AM04	MOT.-Sist.Arref.-Tubagem/Verif. RY0.3.11	☒			
☒	0060	0430	NF-PREU	AM04	MOT.-S.Arref.-Filtro Água/Subst.RY0.3.03	☒			
☒	0060	0440	NF-PREU	AM04	MOT.Sist.Arref.-Líquido/Mudança RY0.3.02	☒			
☒	0060	0450	NF-PREU	AM04	M.-S.A.-Vent./Hível/Óleo/Verif. RY0.3.05	☒			
☒	0060	0480	NF-PREU	AM04	M.-Sist.Alim.- Dep.Gasól/P.Água RY0.4.09	☒			
☒	0060	0490	NF-PREU	AM04	M.-S.A./Esc.-Silenc.-Fix./Verif.RY0.5.14	☒			
☒	0060	0500	NF-PREU	AM04	M.-S.A.E.-F.Ar Colmatagem/Verif.RZ0.5.01	☒			
☒	0060	0510	NF-PREU	AM04	M.-S.A.E-Colet.Adm.-Fugas/Verif.RY0.5.06	☒			
☒	0060	0520	NF-PREU	AM04	M.-S.A.E-Colet.Esc.-Fugas/Verif.RY0.5.07	☒			
☒	0060	0530	NF-PREU	AM04	M.-S.Adm./Esc.-Gases Esc./Verif.RZ0.5.04	☒			
☒	0060	0540	NF-PREU	AM04	M.-Con.- Acelerador Pé /Lubrif. RY0.6.01	☒			
☒	0060	0550	NF-PREU	AM04	M.-C.-S.Accler.Pé(Pneum)/Verif. RY0.6.02	☒			
☒	0060	0580	NF-PREU	AM04	MOTOR - Válvulas / Afinação RY0.1.01	☒			
☒	0060	0590	NF-PREU	AM04	MOTOR - Inspeção e Ensaio AVL RZ2.0.01	☒			
☒	0060	0600	NF-PREU	AM04	CX.VELoc.-Insp./Ens. T. Estrada RZ2.0.01	☒			
☒	0060	0610	NF-PREU	AM04	S.P.T.-Reservatórios Ar/P.Água RZR.4.01	☒			
☒	0060	0620	NF-PREU	AM04	S.P.T.-Calços - Desgaste/Verif. RYR.6.02	☒			
☒	0060	0630	NF-PREU	AM04	SIST.PNEU.TRAVÕES-Fugas/Verif. RYR.0.02	☒			
☒	0060	0640	NF-PREU	AM04	S.P.T.-Afin.Autom.Folga/Lubrif. RYR.5.01	☒			
☒	0060	0650	NF-PREU	AM04	S.P.T.-Veio Excêntricos/Lubrif. RYR.5.04	☒			
☒	0060	0660	NF-PREU	AM04	S.P.T.-Afin.Autom. Folga/Curso RYR.5.03	☒			
☒	0060	0670	NF-PREU	AM04	S.P.T.-A.A.F./Binário Pat/Verif.RYR.5.07	☒			
Entrada						294	/	247	
PRD (1) [990] sapprod OVR 04:31PM									

PRAFA

INTERVENÇÕES	ANOS	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1) REP. INTERNAS GERAIS, COMERCIAIS E PALEATIVAS		(G)20-Volvo B 10M (5ª Aq.) (P)8 Man SL200 (P)25 Volvo B59 (1ª Aq.)	(C)16 Volvo B 10M (8ª Aq.) (C)9 Renault B120	14 Volvo B 10M (8ª Aq.) 16 Volvo B 10M (10ª Aq.)	20 Volvo B 10R 14 Volvo B 10M (10ª Aq.)	44 Volvo B 10R	55 Mercedes Benz O405
	Total 1)	53	25	30	34	44	55
2) AQUISIÇÕES (Aq.)			46 Novo Médio 15 Standard 10 Standard GNC 9 Articulado	69 Standard 73 Standard GNC	25 Novo Médio 42 Standard 40 Standard GNC	54 Standard 40 Standard GNC	23 Standard 17 Standard GNC
	Total 2)		80	142	107	94	40
3) 3.1) P / RESERVA (Retirados da Frota Nominal) Sub-Total 3.1)	A B A F T L E S N		30 Volvo B 59 - 1100	30 B 59 - 1300 10 Man SL200	20 B 59 - 1300+10 Man SL200 10 Volvo B 10R	30 Volvo B 10R 10 Man SL 200F	20 Man SL 200F 20 Volvo B 10R
3.2) P / VENDA / DEMOL.			20 Renault B120 15 Man 10,150 + 15 Volvo B 59-58 Man SL 200	10 B 59 - 1100+36 B 59-1300 58 Man SL 200	25 Man 10,150 20 B 59 - 1300+22 Man SL200	4 Man SL 200 50 Man SL 200F	40
	Sub-Total 3.2)		50	102	67	54	0
	Total 3.1) + 3.2)		80	142	107	94	40
4) PARA VENDA / DEMOLICÃO (Retirados da Reserva)			30 Volvo B 59 - 1100	30 B 59 - 1100+10 Man SL200	30 B 59 - 1300+10 Man SL200 10 Man SL 200F	20 Volvo B 10R+10 Man SL 200F	
	Total 4)		30	40	40	40	40
Total Mão de Obra		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Total Materiais		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Total só Reparações		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Total Geral		0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
FROTA NOMINAL (1 Jan. de cada ano)		800	800	800	800	800	800
FROTA RESERVA (1 Jan. de cada ano)		40	40	40	40	40	40
IDADE MÉDIA		15,45	14,53	11,13	9,15	7,43	7,33
		14,96	13,96	10,44	8,37	6,60	6,45

02/09/17

Prafa2002-2007(5-09-02).com Id Méd

DM / A

carris 

Relatório de Avarias

Assinale as avarias verificadas

Autocarro N^o

1503

(Registe o N^o de Código da avaria e, se necessário, faça um resumo)Semana de -2/1992 a 13/1992

Código		Registo de avarias (A preencher pelo Motorista)			Informação da Manutenção							
		N ^o Chapa	Hora	Código	Código	Classe	P. Seguro	Sam. provis.	Com Avaria	Assin.	Assin.	
Motorista	1. Avaria sem avaria ou avaria											
	2. Manobra avaria											
	3. Botão desligado											
	4. Fumaça											
	5. Avaria de motor											
	6. Fumaça de motor											
	7. Fumaça de escape											
	8. Fumaça de água											
	9. Fumaça de óleo											
	10. Aquecimento do motor											
	11. Transmissão patina											
	12. Retardador											
	13. Troca de óleo											
	14. Troca de água											
	15. Compressor de ar condicionado											
	16. Direção											
	17. Suspensão											
	18. Freio											
Equipamento Técnico	19. Sistema de injeção											
	20. Sistema de injeção											
	21. Sistema de injeção											
	22. Sistema de injeção											
	23. Sistema de injeção											
	24. Sistema de injeção											
	25. Sistema de injeção											
	26. Sistema de injeção											
	27. Sistema de injeção											
	28. Sistema de injeção											
	29. Sistema de injeção											
	30. Sistema de injeção											
	31. Sistema de injeção											
	32. Sistema de injeção											
	33. Sistema de injeção											
	34. Sistema de injeção											
	Outros	35. Sistema de injeção										
		36. Sistema de injeção										
37. Sistema de injeção												
38. Sistema de injeção												
39. Sistema de injeção												
40. Sistema de injeção												
41. Sistema de injeção												
42. Sistema de injeção												
43. Sistema de injeção												
44. Sistema de injeção												
45. Sistema de injeção												
46. Sistema de injeção												
47. Sistema de injeção												
48. Sistema de injeção												
49. Sistema de injeção												
Outros		50. Sistema de injeção										
		51. Sistema de injeção										
		52. Sistema de injeção										
	53. Sistema de injeção											
	54. Sistema de injeção											
	55. Sistema de injeção											
	56. Sistema de injeção											
	57. Sistema de injeção											
	58. Sistema de injeção											
	59. Sistema de injeção											
	60. Sistema de injeção											
	61. Sistema de injeção											
	62. Sistema de injeção											
	63. Sistema de injeção											
	64. Sistema de injeção											
	65. Sistema de injeção											

Relatório de avarias, percebidas pelo tripulante

Motor Volvo 437 - Manutenção curativa									
Refere as avarias nos 170 motores entre 02/02/99 e 12/02/01									
Nota	Id	Equipamento	InicioAvar	Fim_avaria	Tempo [d]	Descrição	Categoria	Posicao Contador (km)	
5	AR	1 W00002798	12-02-2000	12-02-2000	1	TEMPERATURA ELEVADA/PERDE OLEO P/B-VENT	Aquecimento - Bomba Ventoinha	990167	
6	AR	1 W00002798	21-02-2000	21-02-2000	1	PERDE ÁGUA	Fuga Água	991634	
7	AR	1 W00002798	04-04-2000	04-04-2000	1	PERDE OLEO PELA VENTONINHA	Fuga Oleo - Bomba Ventoinha	1001526	
8	AR	1 W00002798	14-06-2000	14-06-2000	1	AQUECIMENTO DO MOTOR, TRAVÃO CHIA	Aquecimento	1016739	
9	AR	1 W00002798	05-11-2000	05-11-2000	1	PERDE ÁGUA	Fuga Água	1035627	
10	AR	2 W00003549	18-03-1999	18-03-1999	1	FUGA DE ÓLEO NO MOTOR	Fuga Oleo	1223869	
11	AR	2 W00003549	13-07-1999	13-07-1999	1	SUPORTE FILTRO AGUA PARTIDO	SUPORTE DO FILTRO DE ÁG	1247195	
12	AR	2 W00003549	22-07-1999	22-07-1999	1	PERDE OLEO PELO TUBO DO DEPOSITO	Fuga Oleo - Deposito	1249515	
13	AR	2 W00003549	24-02-2000	24-02-2000	1	PERDE ÓLEO	Fuga Oleo	1290829	
14	AR	2 W00003549	02-03-2000	03-03-2000	2	PERDE ÁGUA	Fuga Água	1292316	
15	AR	2 W00003549	09-05-2000	09-05-2000	1	DEITA FUMO PRETO	Fumo	1308493	
16	AR	2 W00003549	19-12-2000	06-02-2001	50	MOTOR C/PASSAGEM DE COMPRESSÃO (CX-VEL-	Passagem Compressão	1335631	
17	AR	2 W00003549	12-07-1999	12-07-1999	1	FUGA DE ÁGUA	Fuga Água	1247048	
18	AR	2 W00003549	17-05-1999	17-05-1999	1	PRRDE ÁGUA	Fuga Água	1233880	
19	AR	2 W00003549	03-05-1999	03-05-1999	1	TEMPERATURA ALTA	Aquecimento	1231164	
20	AR	3 W00006815	08-04-1999	07-04-1999	2	AQUECIMENTO DO MOTOR	Aquecimento	1113776	
21	AR	3 W00006815	11-10-1999	12-10-1999	2	PERDE AGUA JUNTAS DE CABEÇA DO MOTOR	Fuga Água - Cabeças	1154552	
22	AR	3 W00006815	22-11-1999	22-11-1999	1	PERDE AGUA PELAS JUNTAS DE CABEÇA	Fuga Água - Cabeças	1160903	
23	AR	3 W00006815	04-01-2000	04-01-2000	1	PERDE AGUA E LUZ PRESSÃO OLEO ACESA	Fuga Água	1172648	
24	AR	3 W00006815	17-01-2000	18-01-2000	2	PERDE AGUA PELAS JUNTAS DE CABEÇA	Fuga Água - Cabeças	1174540	
25	AR	3 W00006815	20-08-2000	20-08-2000	1	AQUECIMENTO DO MOTOR	Aquecimento	1194021	
26	AR	3 W00006815	08-04-1999	08-04-1999	1	AQUECIMENTO DO MOTOR	Aquecimento	1114114	
27	AR	3 W00006815	04-08-1999	04-08-1999	1	FUGA DE OLEO E RODA TRAS DRT- AQUECE	Fuga Oleo	1139603	
28	AR	3 W00006815	07-04-1999	07-04-1999	1	JUNTA CABEÇA QUEIMADA	Junta Cabeça queimada	1113937	
29	AR	3 W00006815	29-06-1999	29-06-1999	1	PANCADA NO MOTOR	PANCADA	1131545	
30	AR	3 W00006815	06-10-1999	06-10-1999	1	TEMPERATURA MOTOR	Aquecimento	1153371	
31	AR	4 W00006823	08-07-1999	08-07-1999	1	SUPORTE DO APOIO DO MOTOR PARTIDO	Apoio Motor	1256675	
32	AR	4 W00006823	21-01-2000	22-01-2000	2	PERDE ÁGUA	Fuga Água	1292789	
33	AR	4 W00006823	22-02-2000	22-02-2000	1	PERDE AGUA	Fuga Água	1299772	
34	AR	4 W00006823	21-02-2000	22-02-2000	2	TEMPERATURA MOTOR	Aquecimento	1299400	
35	AR	4 W00006823	23-03-2000	23-03-2000	1	PERDE AGUA	Fuga Água	1306171	
990	AR	162 W00039918	14-12-2000	21-12-2000	8	JUNTA DA 5ª CABEÇA DO MOTOR QUEIMADA	Junta Cabeça queimada	1240166	
991	AR	162 W00039918	15-04-1999	15-04-1999	1	1415 BOMBA D'ÁGUA	Fuga Água - Bomba de Água	1161965	
992	AR	163 W00039926	16-06-2000	19-06-2000	4	BOMBA DE VENTONINHA *302976*	Bomba de Oleo da Ventoinha	1047147	
993	AR	164 W00039934	27-01-2000	03-02-2000	8	SUBSTITUIR MOTOR	Motor	1001556	
994	AR	164 W00039934	15-06-2000	15-06-2000	1	DEPOSITO DA AGUA 302999	DEPOSITO AGUA	1021701	
995	AR	164 W00039934	28-09-2000	28-09-2000	1	VISOR NIVEL OLEO PARTIDO (302799)	Diversos	1042777	
996	AR	165 W00039942	16-08-2000	16-08-2000	1	AQUECE BOMBA VENTONINHA AVARIADA *303027*	Bomba de Oleo da Ventoinha	1053294	
997	AR	166 W00039951	13-04-2000	13-04-2000	1	1415- AQUECIMENTO	Aquecimento	1148368	
998	AR	166 W00039951	15-07-2000	15-07-2000	1	MOTOR AQUECE MUITO	Aquecimento	1159403	
999	AR	167 W00039969	16-05-2000	16-05-2000	1	PERDE AGUA	Fuga Água	1184800	
1000	AR	167 W00039969	24-05-2000	25-05-2000	2	RADIADOR RÔTO	Radiador	1186085	
1001	AR	167 W00039969	19-07-2000	19-07-2000	1	PERDE ÁGUA	Fuga Água	1195500	
1002	AR	167 W00039969	25-07-2000	25-07-2000	1	AQUECIMENTO DO MOTOR E PERDE ÁGUA	Aquecimento - Fuga Água	1196501	
1003	AR	167 W00039969	17-10-2000	19-10-2000	3	PERDE OLEO PELO MOTOR	Fuga Oleo	1211638	
1004	AR	167 W00039969	12-11-2000	12-11-2000	1	AQUECIMENTO DO MOTOR	Aquecimento	1216824	
1005	AR	167 W00039969	13-12-2000	13-12-2000	1	AQUECIMENTO	Aquecimento	1222956	
1006	AR	167 W00039969	05-02-2001	05-02-2001	1	JUNTAS DE CABEÇA QUEIMADAS	Junta Cabeça queimada	1231649	
1007	AR	167 W00039969	21-04-1999	21-04-1999	1	PERDE AGUA	Fuga Água	1148427	
1008	AR	167 W00039969	07-03-1999	07-03-1999	1	Junta de cabeça queimada	Junta Cabeça queimada	1139619	
1009	AR	168 W00039977	17-12-1999	17-12-1999	1	TEMPERATURA ALTA	Aquecimento	980432	
1010	AR	169 W00039985	28-09-1999	16-10-1999	19	PERDE ÁGUA ENTRE AS CABEÇAS DO MOTOR	Fuga Água - Cabeças	1054117	
1011	AR	169 W00039985	05-12-1999	05-12-1999	1	PERDE ÓLEO PELO DEPOSITO	Fuga Oleo - Deposito	1063415	
1012	AR	169 W00039985	08-11-1999	29-12-1999	52	PERDE ÁGUA P/CABEÇAS + FUGAS ÓLEO MOTOR	Fuga Água - Cabeças	1059486	
1013	AR	169 W00039985	01-02-2000	07-02-2000	7	SUBST MOTOR	Motor	1070441	
1014	AR	169 W00039985	15-06-2000	15-06-2000	1	AQUECIMENTO DO MOTOR	Aquecimento	1084342	
1015	AR	169 W00039985	12-12-2000	12-12-2000	1	1421- PERDE ÁGUA	Fuga Água	1115941	
1016	AR	170 W00054712	02-08-2000	03-08-2000	2	BARULHO NO MOTOR	BARULHO NO MOTOR	1182325	
1017	AR	170 W00054712	11-12-2000	12-12-2000	2	PERDE ÓLEO PELO SUPORTE DOS FILTROS MOT	Fuga Oleo - Suporte dos Filtrc	1205105	
1018	AR	170 W00054712	01-02-2001	02-02-2001	2	FAZ FUMO BRANCO (V-F-M)	Fumo	1215448	
1019	AR	170 W00054712	03-09-1999	03-09-1999	1	TEMPERATURA ALTA	Aquecimento	1127394	
1020	AR	170 W00054712	14-07-1999	14-07-1999	1	TEMPERATURA MOTOR	Aquecimento	1118282	
1021	AR	170 W00054712	06-04-1999	06-04-1999	1	TEMPERATURA DO MOTOR	Aquecimento	1116136	
1022	AR	170 W00054712	04-03-1999	04-03-1999	1	temp- da cx- velocidades alta	Diversos	1109962	
1023									
1024									

Avarias de Rotina – Listagem das ocorrências

Microsoft Excel - Dados Curativ												
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda												
Borda Preenchimento Formatação Numeração e Listas AutoSoma Tabelas e Gráficos Referências Ferramentas de Desenvolvimento												
Arial 9 pt N I B U L E T A % 000 100%												
G11 = (E11-E10)*170												
B C D E F G H I J K L												
Motor Volvo 437 - Teste de Laplace												
Ordenação dos tempos para aplicação do teste de Laplace												
Id Data Controlo Data Avaria Dias II Dados p/ Elsayed												
5	36	02-02-1999	02-02-1999	1	170	170						
6	46	02-02-1999	14-02-1999	13	2210	2040						
7	52	02-02-1999	18-02-1999	17	2890	680						
8	106	02-02-1999	18-02-1999	17	2890	680						
9	26	02-02-1999	22-02-1999	21	3570	680						
10	90	02-02-1999	22-02-1999	21	3570	680						
11	43	02-02-1999	24-02-1999	23	3910	340						
12	74	02-02-1999	24-02-1999	23	3910	340						
13	88	02-02-1999	24-02-1999	23	3910	340						
14	49	02-02-1999	25-02-1999	24	4080	170						
15	90	02-02-1999	25-02-1999	24	4080	170						
16	24	02-02-1999	03-03-1999	30	5100	1020						
17	170	02-02-1999	04-03-1999	31	5270	170						
18	167	02-02-1999	07-03-1999	34	5780	510						
19	82	02-02-1999	08-03-1999	35	5950	170						
20	82	02-02-1999	08-03-1999	35	5950	170						
21	112	02-02-1999	09-03-1999	36	6120	170						
22	46	02-02-1999	10-03-1999	37	6290	170						
23	46	02-02-1999	11-03-1999	38	6460	170						
24	97	02-02-1999	12-03-1999	39	6630	170						
25	47	02-02-1999	16-03-1999	43	7310	680						
26	148	02-02-1999	16-03-1999	43	7310	680						
27	2	02-02-1999	18-03-1999	45	7650	340						
28	49	02-02-1999	18-03-1999	45	7650	340						
29	49	02-02-1999	18-03-1999	45	7650	340						
30	60	02-02-1999	18-03-1999	45	7650	340						
31	76	02-02-1999	18-03-1999	45	7650	340						
993	30	02-02-1999	16-01-2001	715	121550	680						
994	32	02-02-1999	18-01-2001	717	121890	340						
995	91	02-02-1999	18-01-2001	717	121890	340						
996	47	02-02-1999	19-01-2001	718	122060	170						
997	22	02-02-1999	22-01-2001	721	122570	510						
998	99	02-02-1999	22-01-2001	721	122570	510						
999	5	02-02-1999	23-01-2001	722	122740	170						
1000	97	02-02-1999	23-01-2001	722	122740	170						
1001	32	02-02-1999	25-01-2001	724	123080	340						
1002	44	02-02-1999	26-01-2001	725	123250	170						
1003	147	02-02-1999	29-01-2001	728	123760	510						
1004	23	02-02-1999	30-01-2001	729	123930	170						
1005	52	02-02-1999	30-01-2001	729	123930	170						
1006	147	02-02-1999	30-01-2001	729	123930	170						
1007	69	02-02-1999	31-01-2001	730	124100	170						
1008	69	02-02-1999	01-02-2001	731	124270	170						
1009	78	02-02-1999	01-02-2001	731	124270	170						
1010	170	02-02-1999	01-02-2001	731	124270	170						
1011	167	02-02-1999	05-02-2001	735	124950	680						
1012	25	02-02-1999	07-02-2001	737	125290	340						
1013	96	02-02-1999	07-02-2001	737	125290	340						
1014	150	02-02-1999	07-02-2001	737	125290	340						
1015	9	02-02-1999	10-02-2001	740	125800	510						
1016	25	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1017	28	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1018	41	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1019	76	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1020	91	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1021	118	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1022	138	02-02-1999	12-02-2001	742	126140	340						
1023	1018		66217550									
1024												
1025												
H:\sumula\Curativa Est. Laplace\												
Pronto												
Microsoft Excel - Da... Microsoft PowerPoint - a... Microsoft Word - 8												

Avárias de Rotina – Preparação dos dados para o teste de Laplace

Microsoft Excel - Dados Reccond															
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
100%															
H8 =G8-FB+1															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
Motores Volvo 437 - Tempo em Serviço															
Refere o estado "Tempo de serviço" dos 178 motores ao longo do período 28/10/92 a 16/07/01															
No_seq	Id	Rotável	Veiculo	Posicao	Data_in	Data_fim	Dias								
1	1	1	W00002798	1396	Em Serviço	28-10-92	11-03-97	1596							
4	1	1	W00002798	1207	Em Serviço	16-04-97	07-10-99	905							
9	1	1	W00002798	1382	Em Serviço	18-01-00	16-07-01	546							
10	2	2	W00003549	1385	Em Serviço	28-10-92	01-02-01	3019							
13	3	3	W00006815	1319	Em Serviço	28-10-92	11-10-93	349							
15	3	3	W00006815	1315	Em Serviço	30-10-93	15-04-96	899							
17	3	3	W00006815	1201	Em Serviço	05-06-96	26-06-97	387							
20	3	3	W00006815	1328	Em Serviço	21-08-97	10-03-00	933							
25	3	3	W00006815	1365	Em Serviço	27-06-00	25-01-01	213							
28	4	4	W00006823	1393	Em Serviço	28-10-92	07-04-95	892							
30	4	4	W00006823	1311	Em Serviço	10-05-95	16-07-01	2260							
31	5	5	W00013382	1210	Em Serviço	28-10-92	27-04-93	182							
33	5	5	W00013382	1359	Em Serviço	15-05-93	08-01-95	604							
36	5	5	W00013382	1390	Em Serviço	17-02-95	14-10-99	1701							
41	5	5	W00013382	1323	Em Serviço	01-02-00	16-07-01	532							
42	6	6	W00021148	1419	Em Serviço	28-10-92	07-01-93	72							
45	6	6	W00021148	1403	Em Serviço	12-02-93	10-02-99	2190							
50	6	6	W00021148	1446	Em Serviço	23-04-99	16-07-01	816							
51	7	7	W00021156	1212	Em Serviço	28-10-92	28-02-96	1219							
54	7	7	W00021156	1315	Em Serviço	29-03-96	14-09-99	1265							
59	7	7	W00021156	1312	Em Serviço	29-12-99	16-05-00	140							
64	7	7	W00021156	1350	Em Serviço	01-09-00	16-07-01	319							
65	8	8	W00021202	1458	Em Serviço	28-10-92	18-12-95	1148							
67	8	8	W00021202	1409	Em Serviço	17-01-96	31-01-98	746							
70	8	8	W00021202	1472	Em Serviço	14-03-98	04-12-00	997							
74	8	8	W00021202	1452	Em Serviço	15-06-01	16-07-01	32							
75	9	9	W00023167	1316	Em Serviço	28-10-92	24-01-94	454							
77	9	9	W00023167	1346	Em Serviço	15-02-94	16-07-01	2709							
78	10	10	W00027413	1337	Em Serviço	28-10-92	28-07-97	1735							
80	10	10	W00027413	1339	Em Serviço	23-08-97	16-07-01	1424							
81	11	11	W00028321		Em Serviço	28-10-92	26-09-95	1064							
1074	149	149	W00039781	1476	Em Serviço	15-07-96	12-01-00	1277							
1078	149	149	W00039781	1465	Em Serviço	21-03-00	16-07-01	483							
1079	150	150	W00039799	1482	Em Serviço	28-10-92	11-05-93	196							
1153	159	159	W00039888	1414	Em Serviço	21-01-94	29-07-99	2016							
1158	159	159	W00039888	1473	Em Serviço	29-10-99	16-07-01	627							
1159	160	160	W00039896	1465	Em Serviço	28-10-92	05-08-97	1743							
1162	160	160	W00039896	1490	Em Serviço	16-09-97	16-07-01	1400							
1163	161	161	W00039900	1481	Em Serviço	28-10-92	13-04-98	1994							
1165	161	161	W00039900	1483	Em Serviço	15-05-98	21-08-00	830							
1170	161	161	W00039900	1430	Em Serviço	14-11-00	16-07-01	245							
1171	162	162	W00039918	1415	Em Serviço	28-10-92	02-09-99	2501							
1175	162	162	W00039918	1423	Em Serviço	04-11-99	12-07-00	252							
1180	162	162	W00039918	1429	Em Serviço	29-09-00	16-07-01	291							
1181	163	163	W00039926	1427	Em Serviço	28-10-92	13-11-97	1843							
1184	163	163	W00039926	1409	Em Serviço	29-01-98	16-07-01	1265							
1185	164	164	W00039934	1467	Em Serviço	28-10-92	02-12-96	1497							
1188	164	164	W00039934	1453	Em Serviço	21-01-97	27-01-00	1102							
1193	164	164	W00039934	1444	Em Serviço	01-03-00	16-07-01	503							
1194	165	165	W00039942	1414	Em Serviço	28-10-92	02-07-97	1709							
1197	165	165	W00039942	1422	Em Serviço	28-08-97	08-06-01	1379							
1200	166	166	W00039951	1479	Em Serviço	28-10-92	19-07-99	2456							
1204	166	166	W00039951	1415	Em Serviço	13-09-99	16-07-01	673							
1205	167	167	W00039969	1408	Em Serviço	28-10-92	27-07-94	638							
1208	167	167	W00039969	1357	Em Serviço	01-10-94	29-07-99	1763							
1212	167	167	W00039969	1385	Em Serviço	15-01-00	16-07-01	549							
1213	168	168	W00039977	1408	Em Serviço	28-10-92	15-09-96	1419							
1216	168	168	W00039977	1426	Em Serviço	18-10-96	09-07-99	995							
1220	168	168	W00039977	1417	Em Serviço	03-09-99	16-07-01	683							
1221	169	169	W00039985	1485	Em Serviço	28-10-92	04-02-00	2656							
1226	169	169	W00039985	1421	Em Serviço	28-03-00	16-07-01	476							
1227	170	170	W00054712	1431	Em Serviço	28-10-92	26-01-96	1186							
1230	170	170	W00054712	1352	Em Serviço	12-03-96	14-04-99	1129							
1235	170	170	W00054712	1342	Em Serviço	07-07-99	16-07-01	741							
Ode=	323					Soma=	519024								
Estado trab / Laplace / Tempo Serviço / Tempo Espera Est / Tempo Espera Of / Tempo Reccond / Em Reccond / Calculos Aux / 1															
Pronto															
Microsoft Word - X Microsoft Excel - Dad... 13:30															

Recondicionamentos – Contagem dos tempos de serviço

Microsoft Excel - Dados Recond

Arquivo

Editar

Ver

Inserir

Formatar

Ferramentas

Dados

Janela

Ajuda

</

Microsoft Excel - Dados Recond															
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
Arial 9 N I S Anular 100%															
H6 =G6-F6+1															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Motores Volvo 437 - Tempo em Espera na Oficina															
Refere o estado "Tempo de espera para recondicionamento" dos 170 motores ao longo do período 28/10/92 a 16/07/01															
No_seq	Id	Rotável	Veiculo	Posicao	Data_in	Data_fim	Dias								
7	1	W00002798	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-11-99	10-01-00	68								
23	3	W00006815	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	18-05-00	18-05-00	1								
39	5	W00013392	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	27-01-00	30-01-00	4								
48	6	W00021148	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	29-03-99	29-03-99	1								
57	7	W00021156	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	17-11-99	17-11-99	1								
62	7	W00021156	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	09-08-00	24-08-00	16								
100	14	W00038369	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	25-05-01	25-05-01	1								
119	17	W00038393	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	22-09-99	08-10-99	17								
151	22	W00038440	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	22-09-00	28-09-00	7								
162	23	W00038458	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	22-12-99	06-01-00	16								
193	28	W00038521	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	02-07-99	27-07-99	26								
227	33	W00038580	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	02-12-99	18-01-00	48								
233	34	W00038598	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	12-09-00	22-09-00	11								
242	35	W00038601	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	21-06-00	26-06-00	6								
253	38	W00038636	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	12-11-99	14-11-99	3								
274	39	W00038644	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	11-07-00	01-08-00	22								
303	44	W00038709	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	09-02-00	27-02-00	19								
312	45	W00038717	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	03-02-00	08-03-00	35								
334	57	W00038849	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	16-07-99	20-07-99	5								
406	59	W00038865	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-06-99	13-06-99	10								
449	65	W00038920	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	22-05-01	22-05-01	1								
472	67	W00038946	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	03-11-00	11-12-00	39								
501	70	W00038971	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	12-01-00	03-02-00	23								
511	71	W00038989	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-04-00	27-04-00	24								
524	73	W00039004	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	08-11-99	22-11-99	15								
533	74	W00039012	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	24-01-01	24-01-01	1								
542	75	W00039021	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	25-05-00	25-05-00	1								
553	76	W00039039	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	10-09-99	14-09-99	5								
563	77	W00039047	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	19-08-99	22-09-99	35								
574	78	W00039055	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	09-08-99	11-10-99	64								
586	81	W00039098	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	19-11-99	03-12-99	15								
553	76	W00039039	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	10-09-99	14-09-99	5								
563	77	W00039047	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	19-08-99	22-09-99	35								
574	78	W00039055	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	09-08-99	11-10-99	64								
586	81	W00039098	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	19-11-99	03-12-99	15								
627	85	W00039136	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	12-05-00	12-09-00	124								
636	86	W00039144	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	15-03-00	02-05-00	49								
647	87	W00039152	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	23-03-00	29-03-00	7								
688	92	W00039209	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	27-04-01	27-04-01	1								
730	97	W00039250	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	30-06-00	28-07-00	29								
776	104	W00039322	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	07-06-00	10-07-00	34								
787	105	W00039331	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	05-05-00	10-05-00	6								
796	106	W00039357	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-04-00	04-04-00	1								
818	110	W00039390	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	21-07-00	02-08-00	13								
843	114	W00039438	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	01-03-00	02-03-00	2								
858	116	W00039454	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	16-06-00	27-06-00	12								
891	121	W00039501	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	05-06-01	05-06-01	1								
912	125	W00039543	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	19-05-00	02-06-00	15								
925	127	W00039560	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	23-03-01	27-03-01	5								
952	131	W00039608	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	12-07-00	31-07-00	20								
989	134	W00039632	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	21-02-00	21-02-00	1								
981	135	W00039641	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-10-00	09-10-00	6								
990	136	W00039659	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	28-01-00	28-01-00	1								
1013	139	W00039683	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-05-00	04-05-00	1								
1058	147	W00039764	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	29-11-00	11-12-00	13								
1110	153	W00039829	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-08-00	08-08-00	5								
1118	154	W00039837	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	06-07-01	06-07-01	1								
1135	156	W00039853	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	01-02-00	01-02-00	1								
1156	159	W00039888	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	07-10-99	27-10-99	21								
1168	161	W00039900	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	04-10-00	04-10-00	1								
1178	162	W00039918	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	18-09-00	20-09-00	3								
1191	164	W00039934	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	29-02-00	29-02-00	1								
1224	169	W00039985	MF-RT00	Recond - Stand by Serviço Oficina	20-03-00	24-03-00	5								
							Soma=	919							
Pronto															
Iniciat Anexos Microsoft Excel - Dad... Microsoft Word - folha bra...															
15:01															

Recondicionamentos—Contagem dos tempos em espera na Divisão de Oficinas Gerais de Ac's

Microsoft Excel - Dados Recor												
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda												
G11 =F11-E11+1												
A B C D E F G H I J K L M												
1	Motores Volvo 437 - Tempo em recondicionamento											
2	Refere o estado "Tempo em recondicionamento" dos 178 motores ao longo do período 28/10/92 a 16/07/01											
3	Ordenação por data de início											
4	No_seq	Id	Equipamento	Posicao	Data_in	Data_fim	Dias					
5	799	107	W00039365	Em recondicionamento	28-10-92	28-12-92	62					
6	762	102	W00039306	Em recondicionamento	03-11-92	25-11-92	23					
7	253	37	W00038628	Em recondicionamento	09-11-92	21-12-92	43					
8	1053	147	W00039764	Em recondicionamento	20-11-92	15-01-93	57					
9	453	66	W00038938	Em recondicionamento	28-11-92	09-01-93	43					
10	267	39	W00038644	Em recondicionamento	04-01-93	25-01-93	22					
11	43	6	W00021148	Em recondicionamento	08-01-93	11-02-93	35					
12	375	54	W00038806	Em recondicionamento	08-02-93	06-03-93	27					
13	416	61	W00038881	Em recondicionamento	15-02-93	09-03-93	23					
14	807	109	W00039381	Em recondicionamento	22-02-93	10-03-93	17					
15	1021	141	W00039705	Em recondicionamento	15-03-93	08-04-93	25					
16	401	59	W00038865	Em recondicionamento	02-04-93	15-04-93	14					
17	348	51	W00038776	Em recondicionamento	21-04-93	12-05-93	22					
18	830	113	W00039420	Em recondicionamento	23-04-93	18-05-93	26					
19	32	5	W00013382	Em recondicionamento	28-04-93	14-05-93	17					
20	1080	150	W00039799	Em recondicionamento	12-05-93	27-05-93	16					
21	591	81	W00039098	Em recondicionamento	18-05-93	02-06-93	15					
22	141	21	W00038431	Em recondicionamento	24-05-93	08-06-93	16					
23	283	41	W00038661	Em recondicionamento	03-06-93	17-06-93	15					
24	291	43	W00038695	Em recondicionamento	21-06-93	20-07-93	30					
25	567	78	W00039055	Em recondicionamento	05-07-93	21-07-93	17					
26	476	68	W00038954	Em recondicionamento	29-07-93	03-10-93	67					
27	723	97	W00039250	Em recondicionamento	02-08-93	18-08-93	17					
28	734	98	W00039268	Em recondicionamento	10-08-93	27-08-93	18					
29	754	101	W00039292	Em recondicionamento	18-08-93	30-08-93	13					
30	780	105	W00039331	Em recondicionamento	27-08-93	14-09-93	19					
31	410	60	W00038873	Em recondicionamento	13-09-93	04-10-93	22					
32	1100	153	W00039829	Em recondicionamento	23-09-93	20-10-93	28					
33	14	3	W00006815	Em recondicionamento	12-10-93	29-10-93	18					
34	197	29	W00038539	Em recondicionamento	21-10-93	10-11-93	21					
35	1177	162	W00039918	Em recondicionamento	31-07-00	18-09-00	50					
296	1096	152	W00039811	Em recondicionamento	03-08-00	14-09-00	43					
297	471	67	W00038946	Em recondicionamento	03-08-00	03-11-00	93					
298	324	46	W00038725	Em recondicionamento	11-08-00	11-01-01	154					
299	1167	161	W00039900	Em recondicionamento	23-08-00	03-10-00	42					
300	980	135	W00039641	Em recondicionamento	23-08-00	04-10-00	43					
301	338	49	W00038750	Em recondicionamento	23-08-00	19-12-00	119					
302	1003	138	W00039675	Em recondicionamento	11-09-00	01-02-01	144					
303	1057	147	W00039764	Em recondicionamento	14-09-00	29-11-00	77					
304	704	94	W00039225	Em recondicionamento	21-09-00	01-03-01	162					
305	532	74	W00039012	Em recondicionamento	22-09-00	23-01-01	124					
306	982	120	W00039497	Em recondicionamento	03-10-00	27-11-00	58					
307	459	66	W00038938	Em recondicionamento	09-10-00	03-01-01	87					
308	201	29	W00038539	Em recondicionamento	10-10-00	06-04-01	179					
309	480	68	W00038954	Em recondicionamento	13-10-00	02-04-01	172					
310	99	14	W00038369	Em recondicionamento	17-11-00	24-05-01	189					
311	924	127	W00039560	Em recondicionamento	21-11-00	23-03-01	123					
312	72	8	W00021202	Em recondicionamento	07-12-00	07-06-01	183					
313	687	92	W00039209	Em recondicionamento	04-01-01	26-04-01	113					
314	448	65	W00038920	Em recondicionamento	04-01-01	22-05-01	139					
315	890	121	W00039501	Em recondicionamento	10-01-01	04-06-01	146					
316	246	35	W00038601	Em recondicionamento	15-01-01	25-06-01	162					
317	216	31	W00038555	Em recondicionamento	18-01-01	17-06-01	151					
318	27	3	W00006815	Em recondicionamento	30-01-01	16-07-01	168					
319	12	2	W00003549	Em recondicionamento	06-02-01	16-07-01	161					
320	85	11	W00028321	Em recondicionamento	14-03-01	16-07-01	125					
321	346	50	W00038768	Em recondicionamento	27-03-01	16-07-01	112					
322	1117	154	W00039837	Em recondicionamento	29-03-01	06-07-01	100					
323	752	100	W00039284	Em recondicionamento	10-04-01	16-07-01	98					
324	589	80	W00039071	Em recondicionamento	11-05-01	16-07-01	67					
325	1199	165	W00039942	Em recondicionamento	08-06-01	16-07-01	39					
326	361	52	W00038784	Em recondicionamento	26-06-01	16-07-01	21					
327	NºInt= 323						Soma= 18131					
328												
329												
330												
331	Estado trab / Laplace / Tempo Espera Est / Tempo Espera Of / Tempo Recond / Em Recond / Tempo Serviço / Calculos Aux / 1											
332	Pronto											
333	Inicias Anexos EPSON SMART PANEL Microsoft Excel - Da... Microsoft Word - folha bra... 0:08											

Recondicionamentos – Contagem dos tempos de imobilização para reparação

Microsoft Excel - Dados Record															
Ficheiro Editar Ver Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda															
Arial - 9 - =H9-HB															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Motores Volvo 437 - Teste de Laplace														
2	Ordenação dos tempos para aplicação do teste de Laplace														
3															
4	No_seq	Id	Rotável	Data controlo	Data_in	Data_avaria	Dias	Ti	Dados p/ Elsayed						
5	761	102	W00039306	28-10-1992	28-10-92	25-11-92	29	4930	4930						
6	252	37	W00038628	28-10-1992	28-10-92	21-12-92	55	9350	4420						
7	452	66	W00038938	28-10-1992	28-10-92	09-01-93	74	12580	3230						
8	1052	147	W00039764	28-10-1992	28-10-92	14-01-93	79	13430	850						
9	266	39	W00038644	28-10-1992	28-10-92	25-01-93	90	15300	1870						
10	42	6	W00021148	28-10-1992	28-10-92	11-02-93	107	18180	2890						
11	374	54	W00038806	28-10-1992	28-10-92	05-03-93	129	21930	3740						
12	415	61	W00038881	28-10-1992	28-10-92	09-03-93	133	22810	680						
13	806	109	W00039381	28-10-1992	28-10-92	10-03-93	134	22780	170						
14	1020	141	W00039705	28-10-1992	28-10-92	07-04-93	162	27540	4760						
15	400	59	W00038865	28-10-1992	28-10-92	15-04-93	170	28900	1360						
16	347	51	W00038776	28-10-1992	28-10-92	12-05-93	197	33490	4590						
17	31	5	W00013382	28-10-1992	28-10-92	14-05-93	199	33930	340						
18	829	113	W00039420	28-10-1992	28-10-92	18-05-93	203	34510	680						
19	1079	150	W00039799	28-10-1992	28-10-92	27-05-93	212	36040	1530						
20	590	81	W00039098	28-10-1992	28-10-92	02-06-93	218	37060	1020						
21	140	21	W00038431	28-10-1992	28-10-92	08-06-93	224	38080	1020						
22	282	41	W00038661	28-10-1992	28-10-92	17-06-93	233	39510	1530						
23	290	43	W00038695	28-10-1992	28-10-92	20-07-93	266	45220	5610						
24	566	78	W00039055	28-10-1992	28-10-92	21-07-93	267	45390	170						
25	722	97	W00039250	28-10-1992	28-10-92	18-08-93	295	50150	4760						
26	733	98	W00039268	28-10-1992	28-10-92	27-08-93	304	51680	1530						
27	753	101	W00039292	28-10-1992	28-10-92	30-08-93	307	52190	510						
28	779	105	W00039331	28-10-1992	28-10-92	14-09-93	322	54740	2550						
29	475	68	W00038954	28-10-1992	28-10-92	03-10-93	341	57970	3230						
30	409	60	W00038873	28-10-1992	28-10-92	04-10-93	342	58140	170						
31	1099	153	W00039829	28-10-1992	28-10-92	20-10-93	358	60960	2720						
32	852	116	W00039454	28-10-1992	28-10-92	28-10-93	366	62220	1360						
33	12	3	W00000916	28-10-1992	28-10-92	28-10-93	367	62290	470						
297	181	27	W00038512	28-10-1992	27-12-95	17-09-00	2882	489940	680						
298	230	34	W00038598	28-10-1992	28-10-92	26-09-00	2891	491470	1530						
299	1175	162	W00039918	28-10-1992	04-11-99	28-09-00	2893	491810	340						
300	147	22	W00038440	28-10-1992	26-08-95	01-10-00	2896	492320	510						
301	369	53	W00038792	28-10-1992	30-04-99	11-10-00	2906	494020	1700						
302	485	69	W00038862	28-10-1992	14-12-94	07-11-00	2933	498610	4590						
303	977	135	W00039641	28-10-1992	31-12-97	12-11-00	2938	499460	850						
304	1165	181	W00039900	28-10-1992	15-05-98	13-11-00	2939	499630	170						
305	879	120	W00038497	28-10-1992	07-07-94	04-12-00	2960	503200	3570						
306	1054	147	W00039764	28-10-1992	15-01-93	11-12-00	2967	504390	1190						
307	468	67	W00038946	28-10-1992	19-07-95	17-12-00	2973	505410	1020						
308	335	49	W00038750	28-10-1992	16-11-94	19-12-00	2975	505750	340						
309	456	66	W00038938	28-10-1992	28-10-98	02-01-01	2989	508130	2380						
310	1093	152	W00039811	28-10-1992	05-09-95	08-01-01	2995	509150	1020						
311	322	46	W00038725	28-10-1992	01-09-99	16-01-01	3003	510510	1360						
312	529	74	W00039012	28-10-1992	20-06-95	24-01-01	3011	511970	1360						
313	1000	138	W00039675	28-10-1992	05-07-96	31-01-01	3018	513060	1190						
314	701	94	W00039225	28-10-1992	14-11-98	13-03-01	3059	520030	6970						
315	921	127	W00039560	28-10-1992	21-01-98	28-03-01	3074	522580	2550						
316	477	68	W00038954	28-10-1992	04-10-93	01-04-01	3078	523260	680						
317	198	29	W00038639	28-10-1992	11-11-93	09-04-01	3086	524520	1360						
318	684	92	W00039209	28-10-1992	10-02-94	01-05-01	3108	528360	3740						
319	445	65	W00038920	28-10-1992	27-10-95	22-05-01	3129	531930	3570						
320	96	14	W00038369	28-10-1992	09-01-97	28-05-01	3135	532950	1020						
321	887	121	W00039501	28-10-1992	18-10-97	05-06-01	3143	534310	1360						
322	69	8	W00021202	28-10-1992	14-03-98	14-06-01	3152	535340	1530						
323	213	31	W00038555	28-10-1992	05-06-98	17-06-01	3155	536350	510						
324	244	35	W00038601	28-10-1992	28-06-00	27-06-01	3165	538050	1700						
325	1114	154	W00039637	28-10-1992	18-11-97	08-07-01	3176	539920	1870						
326	10	2	W00003549	28-10-1992	28-10-92	16-07-01	3184	541280	1360						
327	800	107	W00039365	28-10-1992	28-10-92	16-07-01	3184	541280	0						
328	323														
329															
Pronto															
Iniciar Anexos EPSON SMART PANEL L... Microsoft Excel - Da... Microsoft Word - 13 021															

Recondicionamentos - Preparação dos dados para aplicação do teste de Laplace

Data Entry [curativ.rel]

Unit	Time to Failure
1	170
2	170
3	170
4	170
5	170
6	170
7	170
8	170
9	170
10	170
11	170
12	170
13	170
14	170
15	170
16	170

Detect sample size and classify data in ascending order Proceed

Sample Size 1018
Failures 1018

☒ Complete Sample
☐ Censored by Nr. Units
☐ Censored by Time
☐ Random Censoring Close

Location Parameter
☐ Provided by User
☒ Provided by Computer Location Parameter Auto

User's Observations:

Type 'C' to toggle between complete and censored time to failure
Type 'P' to reproduce the value of the previous cell

Avarias de Rotina – Tabela de carregamento de dados

Goodness of Fit Tests

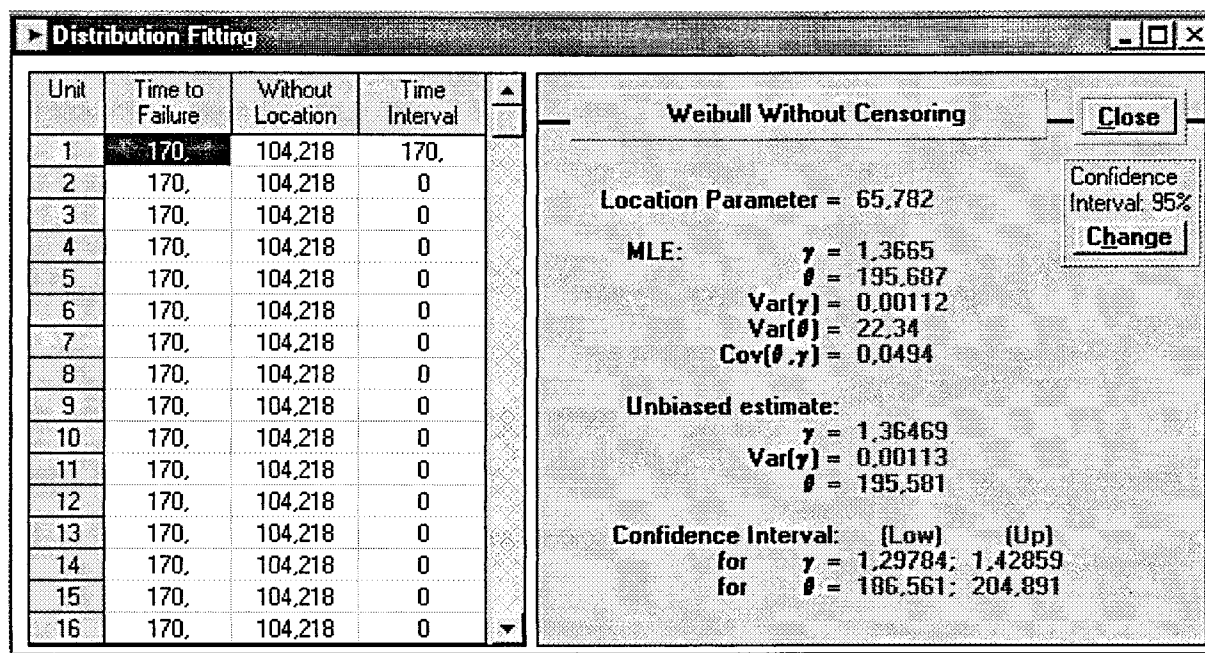
Chi-square Test (χ^2):

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare Value
76,5	140,781	0	241,1	241,15
140,781	205,063	763	234,2	1.193,56
205,063	269,344	0	188,5	188,54
269,344	333,625	0	134,9	134,93
333,625	397,906	164	89,4	62,30
397,906	462,188	0	55,8	55,83
462,188	526,469	43	33,2	2,87
526,469	590,75	0	19,	18,98

Chi-square = 1,32 E+07 with 29 d.f.
Significance level = 0,0001 Close

Kolmogorov-Smirnov Test (K-S):
Estimated Kolmogorov DN = 0,40422
Approximate significance level = 0,0001

Avarias de Rotina – Testes χ^2 e K-S



Avarias de Rotina – Estimativa dos parâmetros β e η

Extended Calculation

Model Option

☐ Exponential ☐ Linear Exponential
☒ Weibull ☐ Lognormal
☐ Gamma

☒ Fitted Parameters and Model

Parameters

Location Parameter: 65.7817

Shape Parameter γ : 1.3647

Scale Parameter θ : 195.5811

Calc **Graph** **Times** **Close**

$R(t)$.50 $t = 215.298$

t 215 $R(t) = 0.50094$
 $h(t) = 0.00632$

Expected Values

Mean time to failure = 244.788
 Standard deviation = 132.677

Avarias de Rotina – Cálculo da Fiabilidade

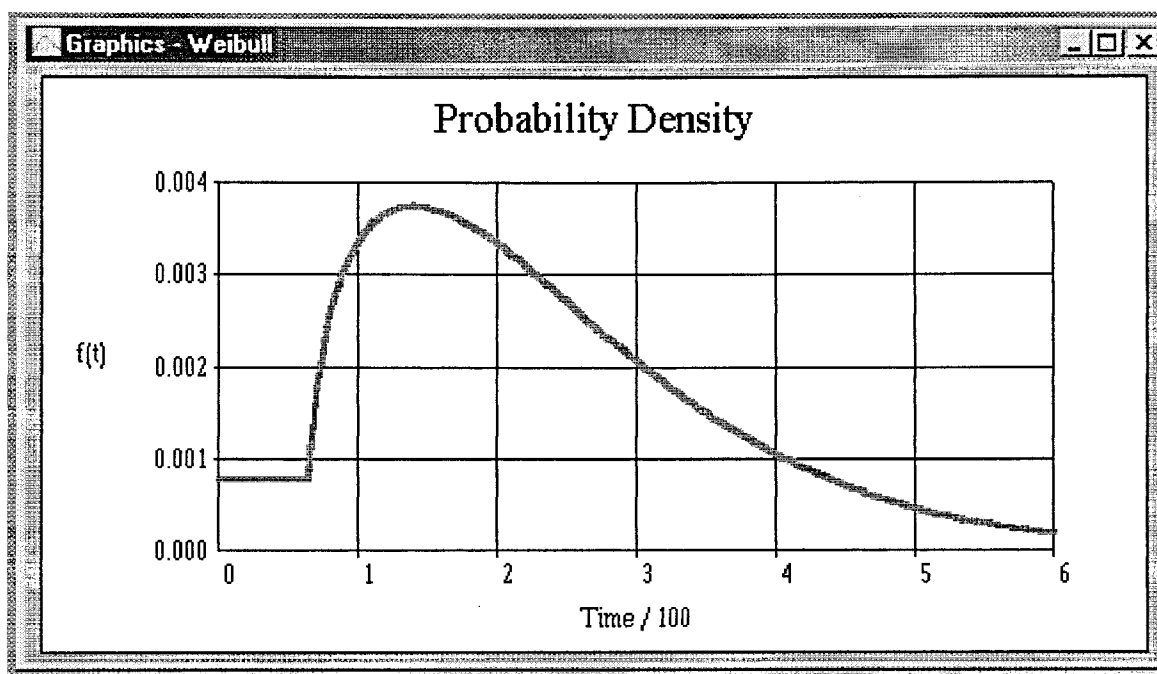
Characteristics Times - Weibull

Required Reliability	Estimated Time
99%	72.502
95%	87.969
90%	103.381
75%	144.276
50%	215.298
25%	314.252
10%	426.15
5%	502.792
1%	664.649

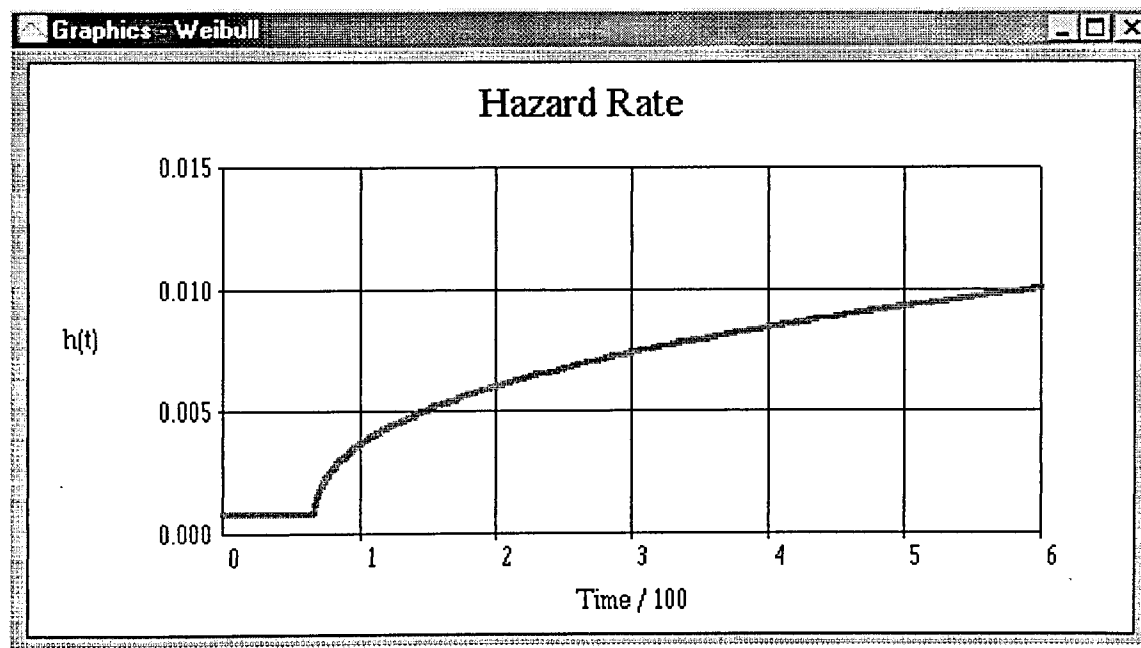
Close

Print

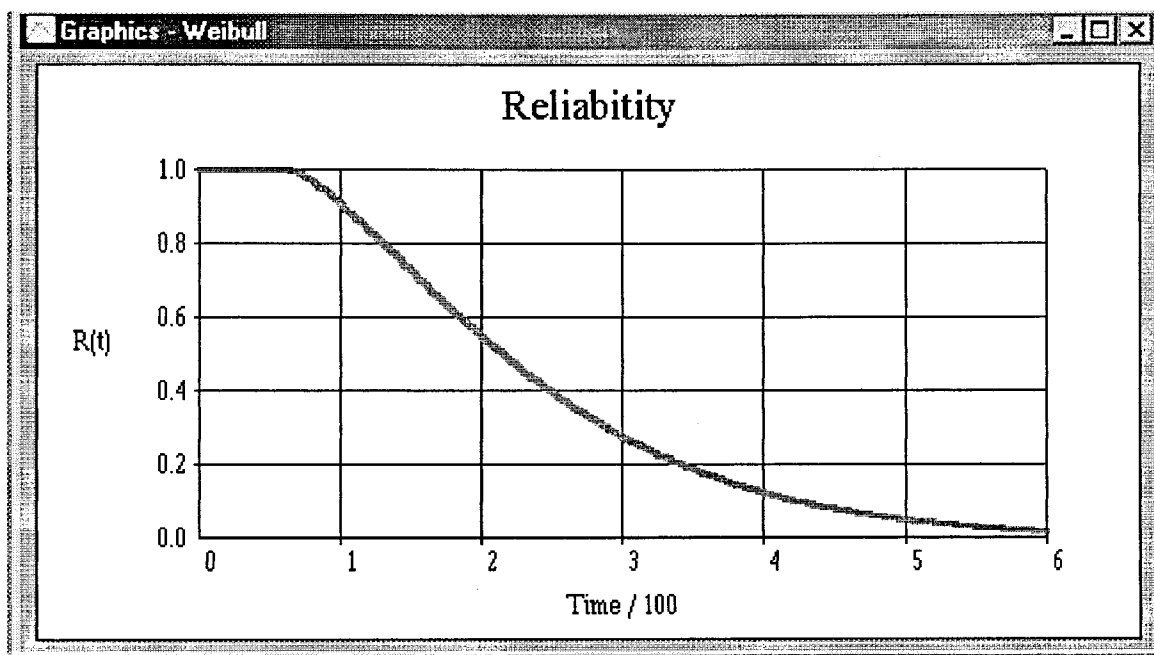
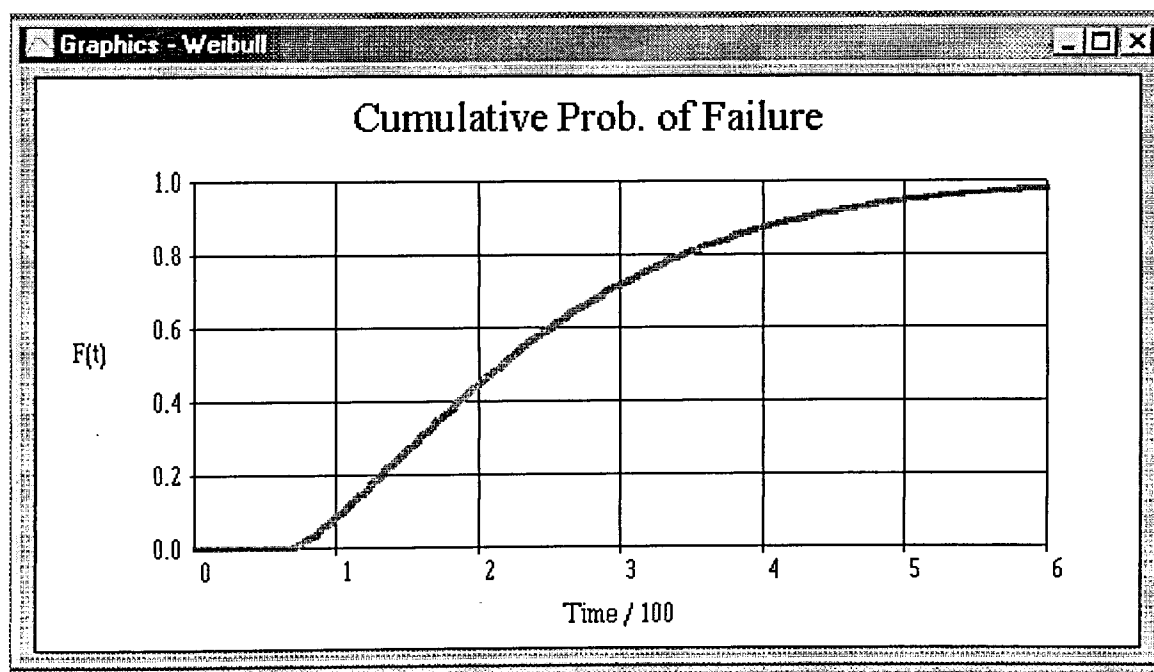
Avarias de Rotina – Tempos característicos



Avárias de Rotina – Gráfico $f(t)$, função densidade de probabilidade de falha



Avárias de Rotina – Gráfico $h(t)$, função de risco

Avarias de Rotina – Gráfico $R(t)$ – função fiabilidadeAvarias de Rotina – Gráfico $F(t)$, função probabilidade acumulada de falha

Data Entry [recond.rel]

Unit	Time to Failure
1	170
2	170
3	170
4	170
5	170
6	170
7	170
8	170
9	170
10	170
11	170
12	170
13	170
14	170
15	170
16	170

Detect sample size and classify data in ascending order **Proceed**

Sample Size 316
Failures 316

☒ Complete Sample
☐ Censored by Nr. Units
☐ Censored by Time
☐ Random Censoring **Close**

Location Parameter
☐ Provided by User
☒ Provided by Computer
 Location Parameter **Auto**

User's Observations:
 -

Type 'C' to toggle between complete and censored time to failure
 Type 'P' to reproduce the value of the previous cell

Recondicionamentos – Tabela de carregamento de dados

Goodness of Fit Tests

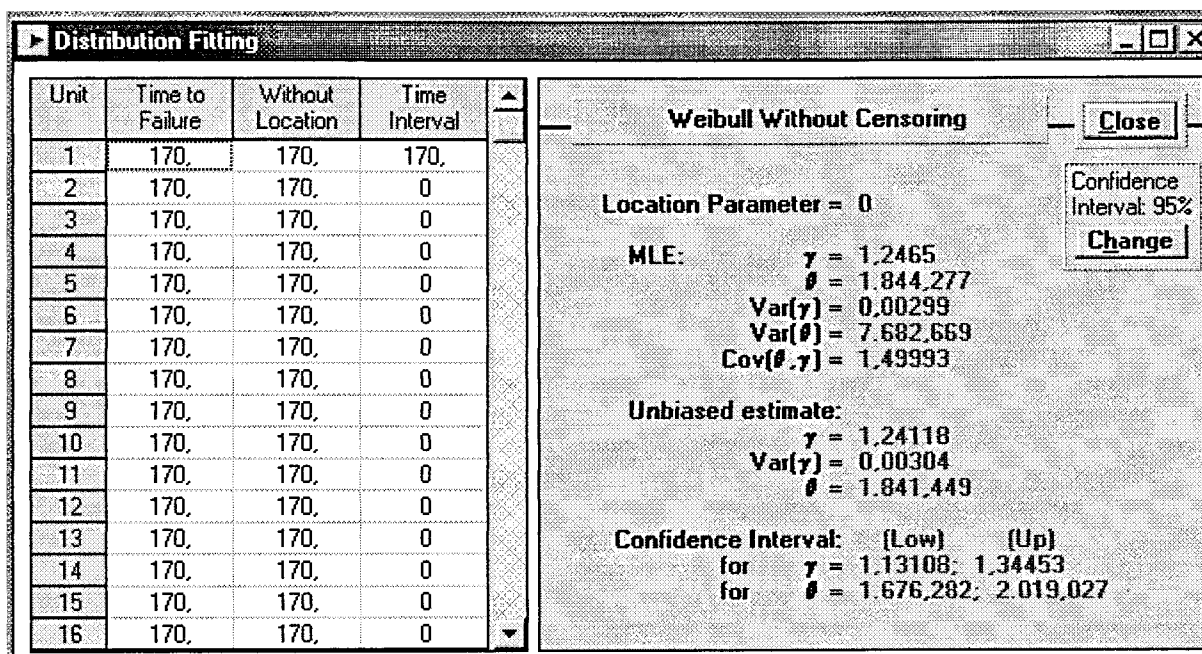
Chi-square Test (χ^2):

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare Value
0	535,028	68	61,3	0,73
535,028	1.070,056	64	64,9	0,01
1.070,056	1.605,083	64	53,8	1,93
1.605,083	2.140,111	27	41,3	4,94
2.140,111	2.675,139	26	30,2	0,59
2.675,139	3.210,167	15	21,4	1,92
3.210,167	3.745,194	27	14,8	10,12
3.745,194	4.280,222	5	10,	2,48

Chi-square = 31,80 with 15 d.f.
 Significance level = 0,0068 **Close**

Kolmogorov-Smirnov Test (K-S):
 Estimated Kolmogorov DN = 0,0752
 Approximate significance level = 0,0002

Recondicionamentos – Testes χ^2 e K-S



Recondicionamentos – Estimativa dos parâmetros β e η

Extended Calculation

Model Option

☐ Exponential ☐ Linear Exponential
☒ Weibull ☐ Lognormal
☐ Gamma

☐ Fitted Parameters and Model

Parameters

Location Parameter:

Shape Parameter γ :

Scale Parameter θ :

Calc **Graph** **Times** **Close**

$R(t)$ $t = 1.370,62$

t $R(t) = 0,50019$
 $h(t) = 6,2763 \text{ E-}04$

Expected Values

Mean time to failure = 1.717,888
 Standard deviation = 1.392,21

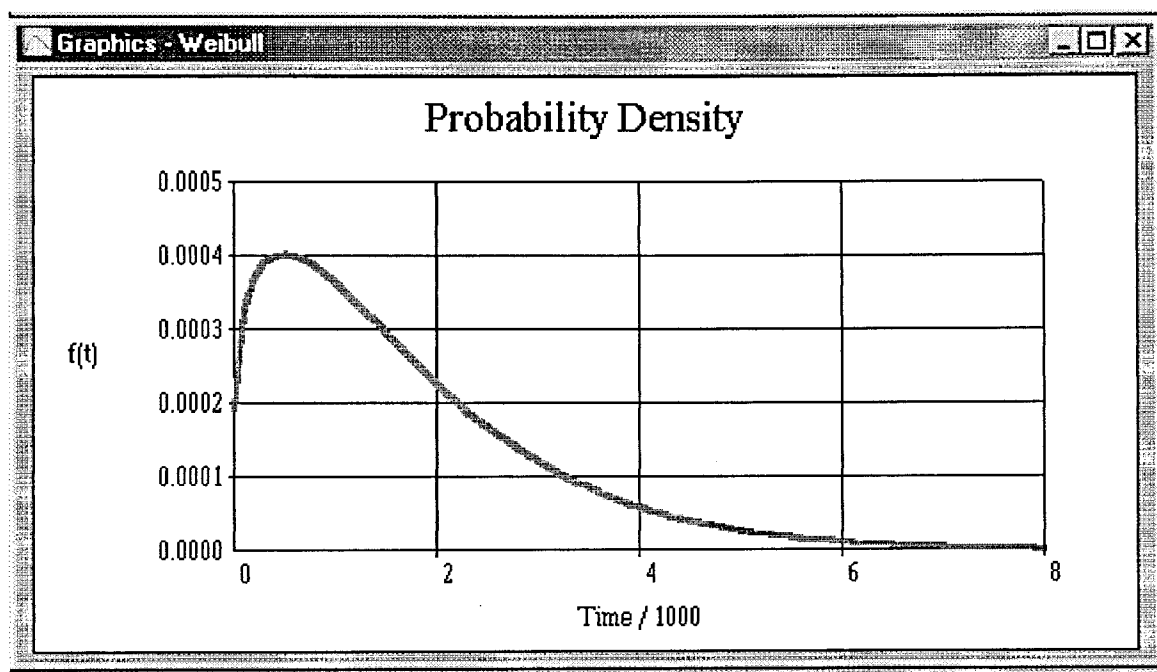
Recondicionamentos – Cálculo da Fiabilidade

Characteristics Times - Weibull

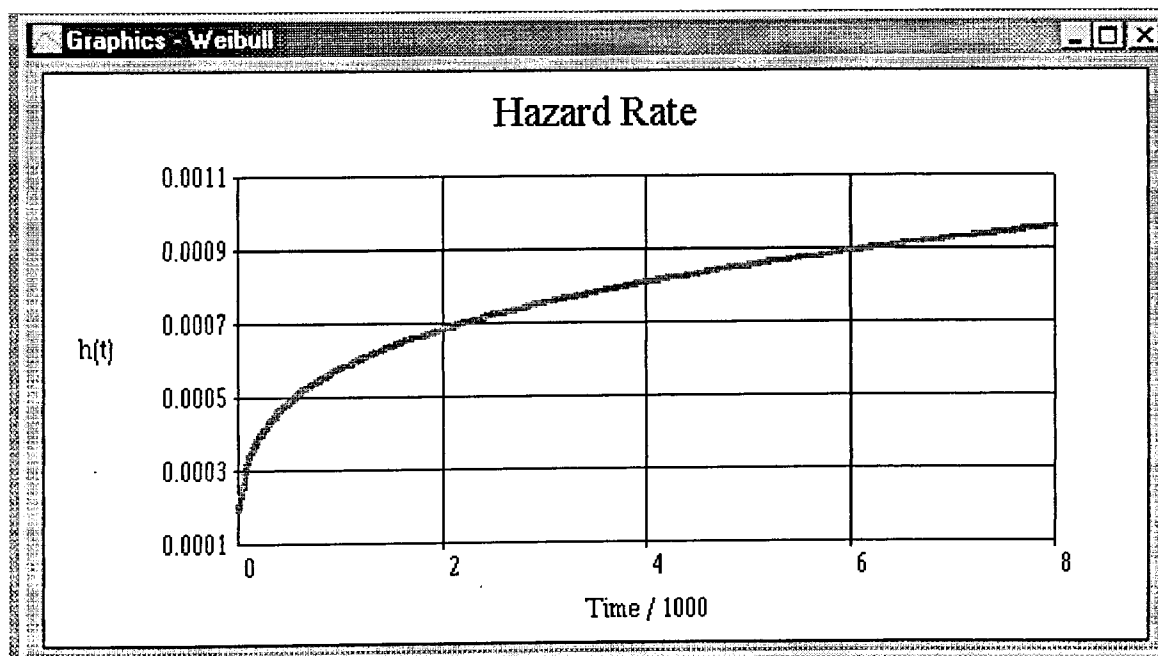
Required Reliability	Estimated Time
99%	45,243
95%	168,219
90%	300,432
75%	674,86
50%	1.370,614
25%	2.395,799
10%	3.605,715
5%	4.457,29
1%	6.302,7

Close **Print**

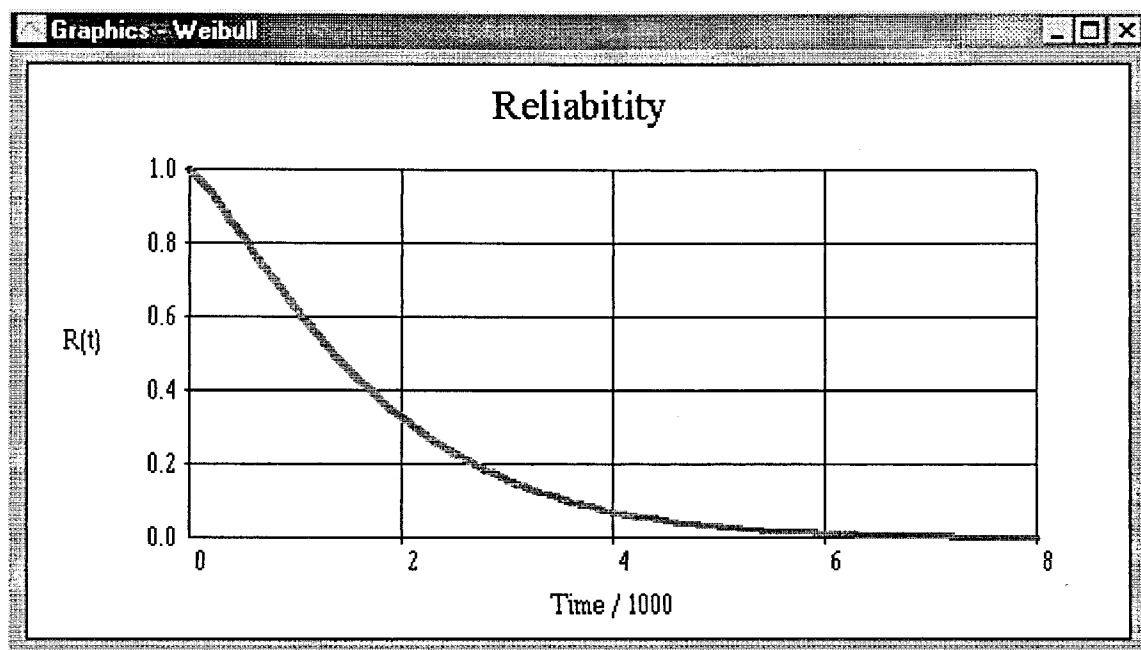
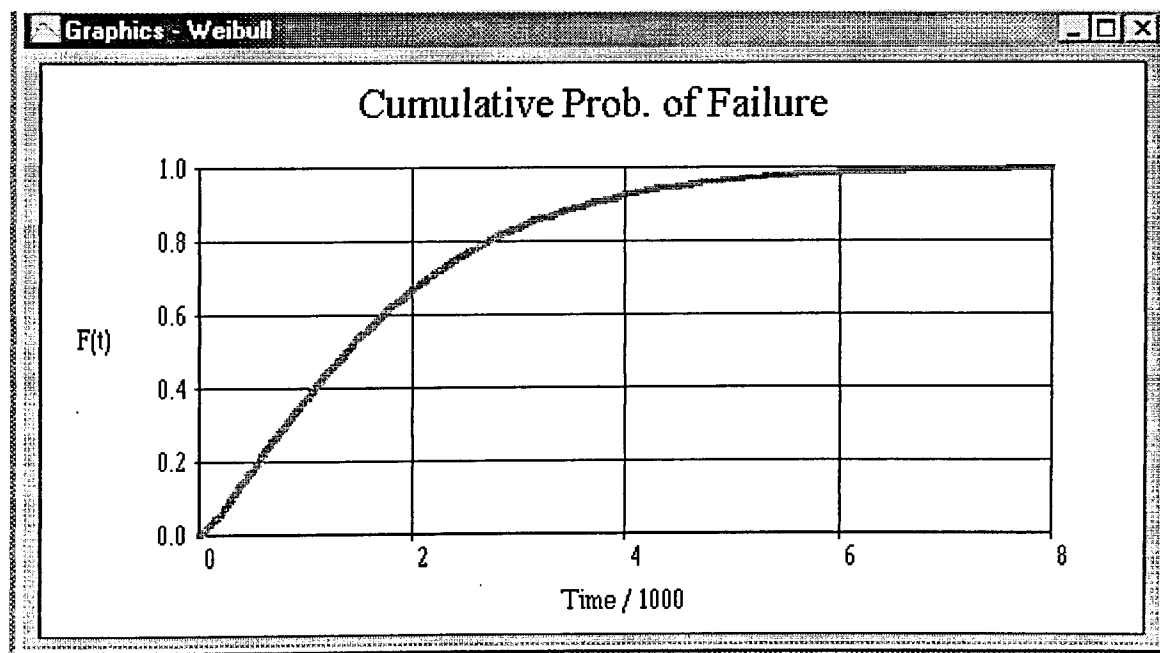
Recondicionamentos – Tempos característicos



Recondicionamentos – Gráfico $f(t)$, função densidade de probabilidade de falha



Recondicionamentos – Gráfico $h(t)$, função de risco

Recondicionamentos – Gráfico $R(t)$ – função fiabilidadeRecondicionamentos – Gráfico $F(t)$, função probabilidade acumulada de falha

• **Classificação da severidade**

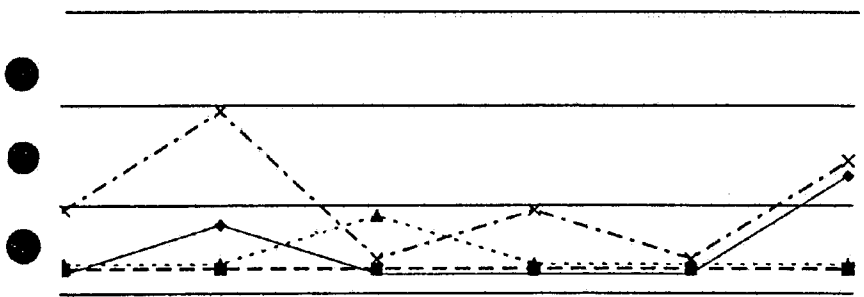
Efeito	Critério – Severidade do efeito	Índice
Muito perigoso	A avaria ocorre bruscamente, pondo em causa: • A segurança do tripulante e passageiros; • A integridade do veículo; • As normas ambientais.	7
Perigoso	A avaria ocorre com aviso, pondo em causa: • A segurança do tripulante e passageiros • A integridade do veículo; • As normas ambientais.	6
Moderadamente Perigoso	A ocorrência da avaria põe em causa: • A integridade do veículo; • A integridade do motor e dos seus órgãos descendentes; • A retoma do serviço.	5
Elevadas consequências comerciais e materiais	A ocorrência da avaria põe em causa: • A retoma do serviço; • A integridade do motor e dos seus órgãos descendentes;	4
Moderadas consequências comerciais e elevadas consequências materiais	A ocorrência da avaria põe em causa: • A retoma imediata do serviço; • A reparação do motor sem desmontagem do chassis.	3
Moderadas consequências comerciais e materiais	A ocorrência da avaria não põe em causa: • A retoma imediata do serviço; • A reparação do motor sem desmontagem do chassis.	2
Sem consequências comerciais e materiais	A ocorrência da avaria não põe em causa: • A retoma imediata do serviço; • A integridade do motor e dos seus órgãos descendentes.	1

- **Classificação da frequência**

Probabilidade de ocorrência	Critério – Frequência da ocorrência	Índice
Muito alta	Frequência superior a 50%	10
Alta	Frequência superior a 25% e inferior a 50%	8
Moderada	Frequência superior a 10% e inferior a 25%	6
Baixa	Frequência superior a 2% e inferior a 10%	4
Muito baixa	Frequência superior a 0.5% e inferior a 2%	2
Remota	Frequência inferior a 0.5%	1

- **Classificação de detectabilidade**

Probabilidade de detecção	Critério – Probabilidade de detecção	Índice
Remota	A avaria ocorre subitamente e não existem dispositivos de detecção.	4
Baixa	A avaria ocorre subitamente e existem dispositivos de detecção.	3
Moderada	A avaria não ocorre subitamente e não existem dispositivos de detecção.	2
Elevada	A avaria não ocorre subitamente e existem dispositivos de detecção.	1

	Shell e-Quip	Registo N° : 00133801/AMOT				
Referência do Equipamento : FR 63 11 Descrição do Equipamento : VOLVO B 59 Sector : 1330 Descrição do Órgão : VOLVO THD 100 D Número da Amostra : 02491127 Data de Colheita da Amostra : 02/09/2002 Data de Registo da Amostra : 19/09/2002 Lubrificante em Utilização: SHELL RIMULA SUPER FE 10W/40 Nome do Cliente : Internet Login :						
COMPANHIA CARRIS DE FERRO DE LISBOA						
DIAGNOSTICO : Ambra Amostra N° 02491127 02/09/2002						
Contaminação acentuada por combustível causando significativa redução na viscosidade. Verificar os injectores e assegurar que não existe passagem directa de combustível para o óleo. Presença anormal de partículas abrasivas com incidência no desgaste do motor. Verificar a vedação do circuito de admissão.						
CONTACTOS:						
HISTORICO						
Alto desgaste --- P-ixo desgaste - - - Combustao - - - Contaminacao - - -						
Diagnóstico	V	A	V	V	V	A
Amostra N°	1939758	1994131	1994361	1994389	2488751	02491127
Data do diagnóstico	27/11/2000	28/03/2001	26/06/2001	13/10/2001	20/03/2002	20/09/2002
Duração de vida do material km/h	120820	145059	161674	181037	211432	242935
Duração de vida lubrificante km/h	21264	24239	16615	19363	13724	15987
Atestos desde última amostra (l/kg)	17	23	16	0,0	11	0,0
INTERVENCAO Amostra N° 02491127 02/09/2002						
Nota : 9330496 Nota : 9311265						

 Shell e-Quip 						
RESULTADOS						
Tipo de Órgão : VOLVO THD 100 D						
Número sequencial	3	4	5	6	7	8
Amostra N°	1939758	1994131	1994361	1994389	2488751	02491127
Teste	DECO	DECO	DECO	DECO	DECO	DECO
Amostra recolhida	13/10/2000	16/02/2001	15/05/2001	05/09/2001	07/03/2002	02/09/2002
Amostra recebida	27/11/2000	27/03/2001	25/06/2001	12/10/2001	20/03/2002	19/09/2002
Data do diagnóstico	27/11/2000	28/03/2001	26/06/2001	13/10/2001	20/03/2002	20/09/2002
Duração de vida do material km/h	120820	145059	161674	181037	211432	242935
Duração de vida lubrificante km/h	21264	24239	16615	19363	13724	15987
Ateos desde última amostra (l/kg)	17	23	16	0,0	11	0,0
Viscosidade HOUILLON						
Viscosidade 100°C cSt	13.9	8.1	14.5	14.6	14.6	8.1
AGUA						
Agua %	0	0.08	0.04	0	0	0.08
Ponto de inflamação 180°C						
Ponto de inflamação VF-PMCC	>180	145	>180	>180	>180	170
Teste de mancha de óleo						
.C %	1.7	1.2	1.6	1.5	1.1	.7
MD	93	88	87	87	92	95
DP	11	14	20	19	8	3
Espectrometria						
P %	.11	.08	.11	.08	.11	.06
Zn %	.14	.10	.13	.11	.13	.05
Ca %	.45	.29	.36	.33	.41	.17
Ba %	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Mg ppm	26	13	11	7	8	18
Al ppm	7	7	6	5	5	38
Fe ppm	84	58	58	48	48	106
Cr ppm	3	2	3	2	2	2
Mo ppm	1	1	0	0	0	1
Cu ppm	5	5	5	4	4	41
Pb ppm	7	11	8	5	5	9
Sn ppm	0	0	2	0	0	3
Si ppm	12	15	10	14	10	25
La ppm	3	7	0	0	2	8
B ppm	29	6	2	2	6	64
V ppm	0	0	0	0	0	0
S %	.59	.51	.62	.64	.73	.42
Ni ppm	0	1	0	0	0	0
Ag ppm	0	0	0	0	0	0
Ti ppm	0	1	0	0	0	0
Diagnóstico	V	A	V	V	V	A



AVL DiSystem 845

The Complete Diesel Engine Tester

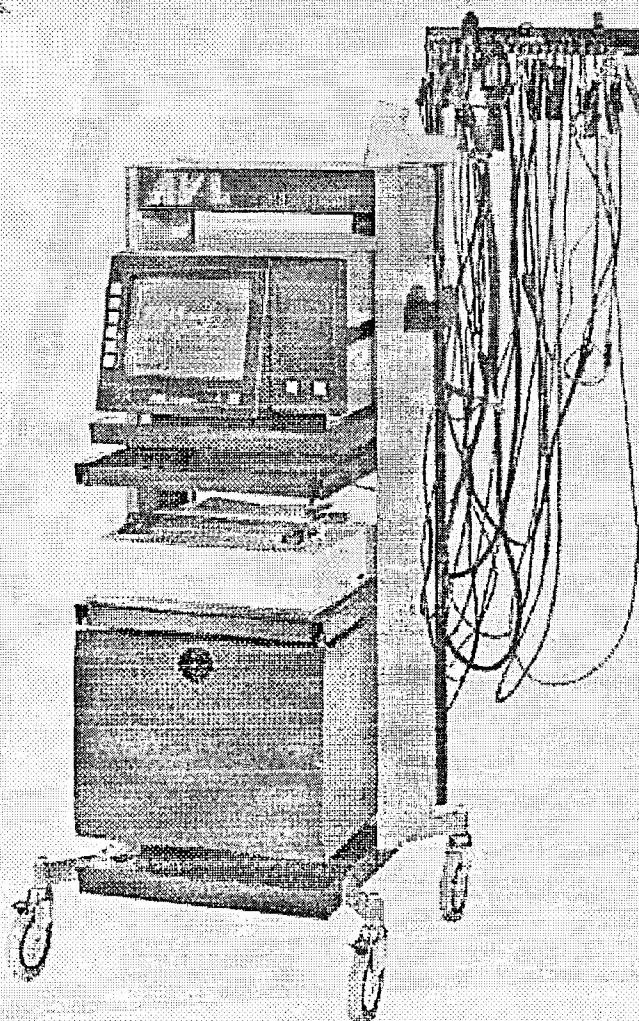
The need to test exhaust emissions has generated a tremendous demand for diesel diagnostic systems. Values exceeding the statutory emissions limits are usually attributable to imperfect engine settings, particularly in the mixture preparation or injection systems.

The **AVL DiagnosisPlus** of the **Exhaust Gas Testers 435/465** represents an initial diagnostics aid to measure the start of delivery, injection timing and opacity curve.

The **AVL DiSystem 845** now represents a new dimension in diesel diagnostics. It can measure compression and power without a roller dynamometer and provide information on the mechanical condition of both diesel and petrol engines.

The pressure curves of diesel injection lines can be recorded using our proven clamp-on transducer technology; the **AVL Diesel-Scope** quickly detects any error in the injection pump or nozzle. This makes the **AVL DiSystem 845** the only fully comprehensive diesel engine tester on the market so far, with the **Ignition-Scope** option available for petrol engines.

- Great performance from a compact instrument
- All-inclusive user-friendly package with trolley and accessories
- Simple menu-driven operation
- Diesel-Scope: diagnosis of injection system errors without having to remove components
- Power and torque measurement: dynamic testing without test bed or chassis dynamometer, particularly suitable for comparative measurements
- All diesel tests with proven AVL clamp-on transducer technology
- Relative compression with cylinder identification
- Measurement of dynamic start of delivery on all systems
- Measurement of speed with evaluation of speed fluctuations
- Ignition Scope for petrol engines as option

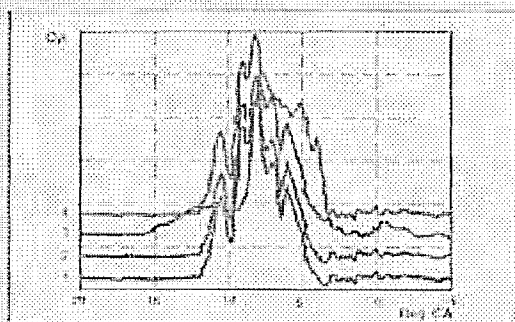


AVL DiSystem 845



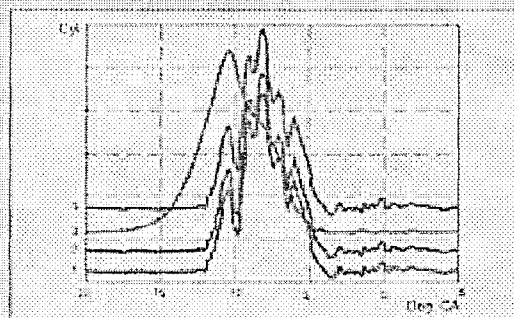
Measurement Examples

The advantages of the AVL DiSystem 845 at a glance:

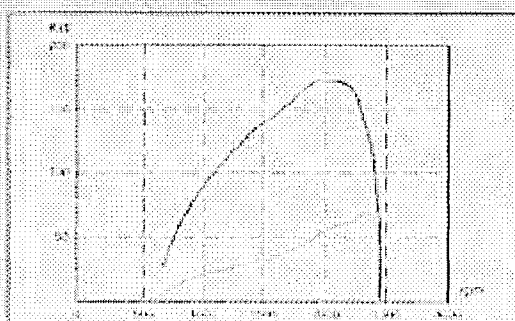


This example shows how easily damage to the injection system can be diagnosed. The uncontrolled round and very premature injection pressure rise of cylinder 3 suggests a **defective relief valve**. The non-invasive measurement using the AVL clamp-on transducer saves having to dismantle and test the pump on a pump testbed.

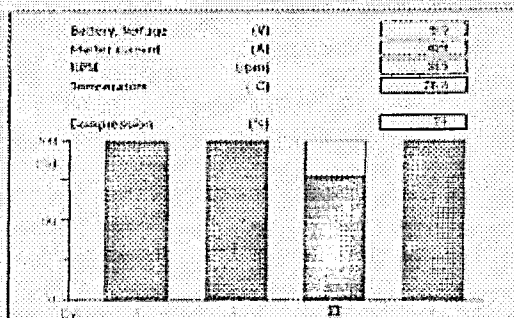
▶ The diesel oscilloscope readily recognizes any cylinder that is not functioning properly. On the oscilloscope it is easier to see errors in the diesel injection system than ignition errors. This example shows the significantly later injection pressure rise of cylinder no. 3 caused by a **leaking nozzle seat**. The test is carried out on a running engine so there is no need to dismantle the nozzle.



▶ The dynamic power and torque measurement is made during free acceleration without either a rotating load or dynamometer. As well as the **power curve**, the friction loss is also measured as the engine runs down (lower curve). This lost and cost-efficient power test is particularly suitable for comparative measurements.



▶ The relative compression measurement is a simple quick test using the starter currents. The compression values are assigned to the cylinders. In our example, cylinder no. 3 exceeds the tolerance limit of 15% compression loss - indicating that it needs repairing.

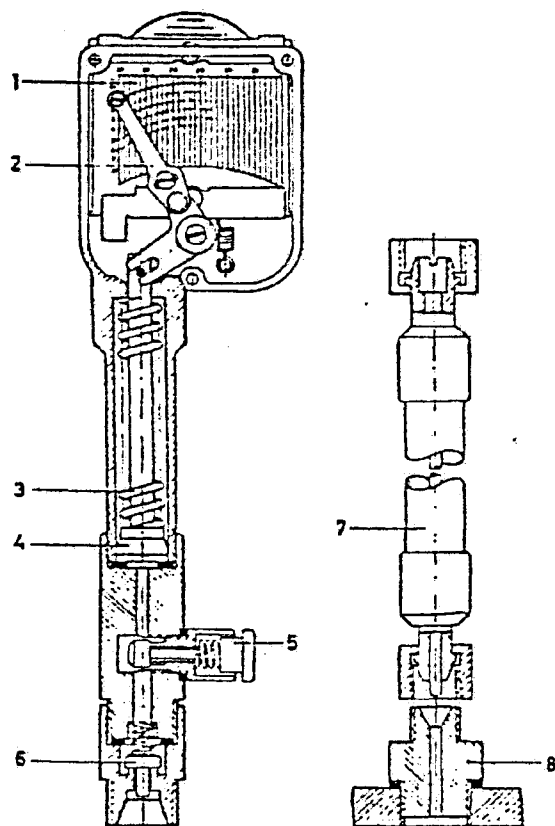




COMPANHIA CARRIS DE FERRO DE LISBOA

.3.

III. FUNCIONAMENTO



O compressómetro registador MOTOMETER é baseado no princípio do manómetro de êmbolo. A pressão de compressão passa pelo tubo flexível de alta pressão (7) através de uma válvula de não retorno (6) para o tubo onde está o êmbolo (4). O êmbolo tem uma rede que efectua a vedação no tubo. A rola de compressão (3) é calibrada para uma escala de medida e serve como forma de equilibragem entre a pressão de conversão e a leitura a qualquer pressão de compressão. A haste do êmbolo que está solidária com este, faz mover o ponteiro (2) através de uma alavanca ajustável.

A posição do ponteiro tem também afinação.

Na parte de trás da caixa, uma cavilha amovível, está rebitada numa mola em folha contida na caixa. Quando a cavilha é puxada para cima, a mola em folha faz avançar o quadro para posição seguinte para testar a compressão no cilindro seguinte. Uma mola de retorno recupera a cavilha para a sua posição normal. O estilete está montado na ponta do ponteiro (2) e assenta com uma leve pressão no cartão e quando em movimento, remove a camada de cera, deixando à vista um fino traço encarnado.

Imediatamente a seguir à retirada de carga no êmbolo, a válvula de retenção fecha-se e mantém a câmara do compressómetro em pressão não havendo fuga. Além disso esta válvula não aumenta a câmara de compressão do cilindro.



COMPANHIA CARRIS DE FERRO DE LISBOA

.4.

A câmara do compressómetro é apenas cheia pelo êmbolo do motor. Se não existisse a válvula de não retorno, a pressão de compressão seria menor de acordo com o correspondente aumento da câmara de compressão. Para que o tubo de alta pressão não crie um aumento da câmara de compressão o tubo contém um pequeno cilindro que evita esse aumento e ao mesmo tempo actua como filtro. Apesar da existência na união de um filtro de rede, é ainda possível que partículas muito finas de fuligem penetrem através do tubo no registador. Estas partículas depositar-se-iam na rede da válvula de retenção uma vedação defeituosa.

IV. MODO DE EMPREGO

A pressão de alimentação depende, além de outros factores, da estanquicidade dos segmentos e das válvulas. A maior estanquicidade é assegurada com o motor a uma temperatura normal de trabalho.

Teste:

1. Deixe o motor funcionar até à temperatura de trabalho.
2. Ponha um novo cartão no registador e verifique se o ponteiro se encontra no valor inicial.
3. Fixe o tubo flexível ao registador.
4. Pare o motor cortando o fornecimento de gasóleo (stop manual).
5. Use a união correspondente para ligar o compressómetro ao motor; esta união substitui o porta injector.
 - 5.1 Desapertar o porta injector.
 - 5.2 Rodar o motor por meio do motor de arranque, várias voltas para expulsar quaisquer resíduos de carvão existente na câmara de compressão.
 - 5.3 Aparafusar a união no local do porta injector.
 - 5.4 Apertar o registador por meio do tubo flexível à união.
6. Rodar o motor, por meio do motor de arranque, até que o ponteiro chegue ao máximo da pressão de compressão.
Atenção ao primeiro curso de compressão, isto é, ao aumento de pressão.



COMPANHIA CARRIS DE FERRO DE LISBOA

.5.

7. Pressionar a válvula de descarga (5) para sair o ar do registador (o ponteiro deve voltar à posição inicial).
8. Avance o cartão para a posição seguinte puxando a cavilha.
9. Aperte a união no cilindro seguinte.
A medição enceta-se como se descreve acima.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

1. Aumento normal da pressão

Com os segmentos e válvulas em bom estado o primeiro curso de compressão mostrará o máximo aumento de pressão. Durante as voltas seguintes a pressão deve chegar ao máximo.

2. Aumento suave da pressão

Se a compressão aumenta gradualmente desde o início para cada ciclo do motor, indica ~~medas~~ das válvulas queimadas ou guias das válvulas gastas.

3. Baixa pressão final

Uma baixa pressão final em todos os cilindros indica que segmentos ou válvulas precisam de reparação. Se verificarmos uma baixa de pressão em cilindros contíguos, em relação aos outros, isso indica que a junta da cabeça entre esses cilindros está queimada.

4. Compressão uniforme

Ainda que seja desejável sempre a máxima pressão de compressão, uma pressão de compressão uniforme nos vários cilindros é, apesar disso, da maior importância, porque o equilíbrio do motor depende precisamente dessa uniformidade.

5. Perdas mais elevadas de compressão

Se houver uma elevada quebra na pressão num cilindro, deve-se fazer um segundo teste. No entanto, antes deste segundo teste, deve-se deitar uma "colher de sopa" do óleo do motor, no cilindro através do furo do porta injector.

Accione o motor durante algumas voltas por intermédio do motor de arranque para que o óleo se distribua pelo êmbolo e pelas paredes da camisa. Repetir o teste e comparar os valores registados nos dois cartões. Se fôr registada uma pressão substancialmente mais



COMPANHIA CAMINHOS DE FERRO DE LISBOA

.6.

alta, é porque os segmentos estão gastos ou o êmbolo da camisa não está em boas condições. Se o aumento da pressão não fôr substancial em relação ao primeiro teste, indica que as válvulas não estão em bom estado. Um aumento médio na pressão de compressão, indica que as válvulas e segmentos não estão em más condições.





FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000067153